



Ulaştırma Uygulamalarına Yönelik Çok Modlu Model Önerisi

Danışment VURAL¹ Cevriye GENCER² Doğan KARADOĞAN³

Öz

Her bir ulaştırma türünün, maliyet, sürat, hizmet, güvenilirlik ve güvenlik anlamında avantajlı olduğu yönler bulunmaktadır. Bu kapsamda günümüzde her bir ulaştırma türünün en verimli şekilde kullanılmasını sağlayan çok modlu ulaştırma sistemleri de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yükün veya yolcunun farklı en az iki taşıma modu kullanılarak taşınması olan çok modlu taşımacılıkta tüm yolculuk, ayrı ayrı aşamalardan oluşan bir süreç değil, entegre bir sistem olarak görülmektedir. Bu çalışmada, tren ve kamyonlar ile yapılacak çok modlu taşımacılık uygulamaları kapsamında, ulaştırma faaliyetlerine yönelik olarak bir ana depo, on beş tali depo ve yirmi dokuz müşteri ile oluşturulan problemde üç ayrı tip malzeme üç farklı senaryo içerisinde Yer Seçimi Rotalama Problemi (YSRP) olarak model önerileri yapılmış ve mevcut durumla kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Multimodal, Ulaştırma, Yer Seçimi Rotalama Problemi.

Multimodal Model Suggestion for Transportation Applications

Abstract

Every transportation mode has its own advantage based upon cost, speed, service, reliability and security. Exploiting the advantage of each transportation mode, multi mode transportation systems have begun to be used frequently today. In multimode transportation Freight or passenger is carried by at least two different modes but regarded as an integrated unique process. In this study, based on the multimode transportation, within three scenarios, three different materials are delivered by both trains and trucks in the problem, which consists of one main depot, fifteen depots and twenty nine customers. The problem is modelled as location routing problem and comparisons are made within scenarios and the actual situation.

Keywords: Multimodal, Transportation, Location Routing Problem.

Giriş

Firmalar ve kuruluşlar maliyetlerini azaltarak daha kazançlı ve verimli bir şekilde faaliyetlerini sürdürebilmek için çeşitli yollara başvurumaktadırlar. Böyle bir tutum izlenmesinde başvurulan bir faktör olarak lojistik, gittikçe daha fazla önem kazanan bir faaliyet alanı olarak karşımıza çıkmaktadır.

¹ Yazışma adresi: Dr., Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Harekât Araştırması AD, Ankara, dvural@kkk.tsk.tr

² Prof., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh. Böl., Ankara.

³ Dr., Atılım Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Ankara.

Lojistiğin en önemli fonksiyonlarından ve tabii ki aynı zamanda maliyet kalemlerinden olan ulaştırmanın etkisi de büyüktür. Günümüzde ulaştırmanın geldiği seviye gerek sürat, gerek taşıma kapasitesi ve teknolojik imkânları ile oldukça yüksek standartlardadır. Rekabet ortamında firma ve kurumların maliyetlerinde oldukça önemli paylar alabilen ulaştırmanın planlanması ve organizasyonu başlı başına bir değer yaratmakta ve önem kazanmaktadır.

Günümüzde ulaştırma faaliyetlerinde kullanılan türler (modlar); karayolu, demiryolu, denizyolu, havayolu, boru taşımacılığı ve iç su (nehir) taşımacılığı olarak sınıflandırılabilir. Taşıma türlerinin kıyaslanması Tablo-1’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde, kıyaslama kriterleri olarak; maliyet, hız, hizmet alanı, tarifeli seferlerin sıklığı ve tarifelerin uygulama güvenilirliği seçildiği görülmektedir (Çancı ve Erdal, 2003).

Tablo-1: Taşıma Türlerinin Kıyaslanması

Taşıma Türü	Maliyet	Hız	Hizmet Alanı	Tarifeli Seferlerin Sıklığı	Tarifelerin Uygulanma Güvenilirliği
Karayolu	Yüksek	Hızlı	Çok Geniş	Yüksek	Yüksek
Denizyolu	Çok Düşük	Yavaş	Sınırlı	Çok Düşük	Orta
Havayolu	Çok Yüksek	Çok Hızlı	Geniş	Yüksek	Orta
Demiryolu	Orta	Orta	Orta	Düşük	Çok Yüksek
İç su yolu	Düşük	Yavaş	Sınırlı	Düşük	Orta
Boru Hattı	Düşük	Yavaş	Çok Sınırlı	Orta	Yüksek

Ulaştırma modları arasındaki yoğun rekabet, bölünmüş ve entegre olmayan bir ulaştırma sistemine yol açmaktadır. Her bir ulaştırma türünün, maliyet, sürat, hizmet, güvenilirlik ve güvenlik anlamında avantajlı olduğu yönler bulunmaktadır. Ancak, günümüzde okyanus aşırı ticaretin de etkisiyle, her bir ulaştırma türünün en verimli şekilde kullanılmasını sağlayan çok modlu ulaştırma sistemleri de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Çok modlu taşımacılıkta tüm yolculuk, ayrı ayrı aşamalardan oluşan bir süreç değil, entegre bir sistem olarak görülmektedir. Bu entegre taşımacılık sistemi; çok modlu (multimodal) taşımacılık, modlar arası taşımacılık (intermodal) ve kombine (combined) taşımacılık olarak bölümlenir.

Modlar arası, çok modlu ve kombine taşımacılık kavramları zaman zaman yanlış veya birbirlerinin yerine kullanılmaktadır. Birleşmiş Milletler ve ECMT (European Conference of Minister of Transportation) tarafından kabul edilmiş tanımlamalara göre bu üç terim de her ne kadar ülkemizde aynı anlamda kullanılabilirlerse de birbirinden farklı içeriklere sahiptir

Çok modlu taşıma ürünlerin en az iki farklı taşıma yöntemi ile taşınması olarak tanımlanmıştır. Birleşmiş Milletler Uluslararası Çok Modlu Taşımacılık konvansiyonunda da bu tanıma, bir ülkeden farklı bir taşıma sistemi ile yüklenip, diğer ülkeden başka bir taşıma yöntemi ile teslim edilmesi eklenmiştir. (Erdal, 2004).

Modlar arası taşıma tek yüklemeyle ve aynı taşıma birimi içinde ürünlerin ellenmeden, birden çok taşıma yöntemleri ile taşınması olarak tanımlanmaktadır. Bunda konteyner taşımacılığı veya treylerin hiç açılmadan karayolu, demiryolu veya denizyolu ile taşınması kastedilmektedir. Hedef yüklemede ağız kapatılan ünitenin teslim yerinde açılmasıdır (Yıldız ve Coşkun, 2009)

Kombine Taşımacılık ise, önce modlar arası taşımacılık şeklinde anlaşılmalı ise de daha sonra AB komisyonu tarafından 19 numaralı tavsiye kararı ile kombine taşımacılığın enerji harcayan bir taşımacılık yöntemi ile enerji harcamayan diğer yöntemin birlikte kullanımı şeklinde açıklaması yapılmıştır. Ro-Ro gemisine yüklenen kamyonların veya trene yüklenen kamyonların durumu bu açıklamaya girmektedir (www.und.org.tr).

Modlar arası ve çok modlu taşımacılık sistemleri çok aşamalı ve karmaşık yapılar olması sebebi ile sistemin her aşamasında farklı problemlere çözüm getirilmesi gerekmektedir. Mevcut literatürde çok sayıda çalışmanın modlar arası ve çok modlu taşımacılık sistemini değişik yönleri ile ele aldığı ve uygulayıcılar ve araştırmacılar tarafından ilgi gördüğü anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, çok modlu ulaştırma sistemlerinden karayolu ve demiryolunun birlikte kullanıldığı, ana depo, tali depo ve müşteri olmak üzere üç kademeli bir ulaştırma sistemi; Yer Seçimi Rotalama Problemi (YSRP) olarak üç farklı malzeme ele alınarak çözüme kavuşturulmuştur. Bu sistem her biri özel durumlar ihtiva eden üç farklı senaryoda incelenmiştir.

Bu çalışmayla, müşterilerin yıllık mühimmat ihtiyacının ekonomik ve süratli olarak dağıtımına yönelik günümüzde gittikçe önem kazanan çok modlu (multimodal) taşımacılık sistemine dayalı demiryolu ve karayolunun kullanımını esas alan ikmal sisteminin geliştirilmesine yönelik bir model önerilmiştir. Bu problemin çözümünde yer seçimi-rotalama modeli kullanılmıştır. Uygulanabilir ve etkin bir model geliştirilerek, sistemin matematiksel modelinin kurulması ve GAMS Paket programı kullanımı ile çözümlerinin elde edilmesi sağlanmıştır. YSRP kapsamında çok modlu taşımacılık problemlerine çözüm getirilmesi konusunda literatüre katkı sağlanmaktadır.

Yer Seçimi Rotalama Problemi

Lojistik faaliyetlere yönelik alınan kararlar ve yürütülen faaliyetlerde yer seçimi ve dağıtım (rotalama) önemli bir yer tutmaktadır. Ancak günümüzde bunların tek başlarına kullanılmasının gerçek şartları tam olarak yansıtamadığı görüşü geçerlilik kazanmıştır. Bu açığı kapatacak şekilde yer seçimi, tahsis ve rotalama kararlarının aynı anda ele alınması kaçınılmaz bir hal almıştır.

Dağıtım amaçlı bir lojistik sistem kurmaya ilk olarak depo yerlerinin seçimi ile başlanır. Fiziki, ekonomik ve diğer bir takım kısıtlar dikkate alınarak potansiyel depo yerleri belirlenir. Potansiyel aday noktalar belirlendikten sonra amaçlara uygun olarak depo(lar) konuşlandırılır. Depoların müşterilere tahsisi, buna bağlı olarak dağıtım rotalarının tespiti hususlarının depo yeri seçimi ile birlikte değerlendirilmesinin uygun olduğu görülmüştür. Bu faaliyetlerin birbiriyle entegre edilme ihtiyacı YSRP ile çözüm bulmaktadır.

YSRP verilen aday tesis yerleri arasından en uygun yerlerin seçilmesini ve seçilen tesis yerlerinden tüm müşterilere hizmetin sağlanacağı araç rotalarının belirlenmesini kapsar. Bu işlem yapılırken yerleştirme ile ortaya çıkacak maliyet ve dağıtım maliyetlerinin toplamının enküçüklenmesi amaçlanır.

YSRP problemlerinin klasik yer seçimi problemleri ve Araç Rotalama Problemleri (ARP) ile ilişkili olduğu açıktır. Aslında hem yer seçimi, hem de ARP YSRP'nin özel halleridir. Şöyle ki, tüm müşterilerin tam araç kapasitesinde taleplerinin olması ve direkt olarak depodan hizmet almaları söz konusu olduğunda problem yer seçimi problemine, öte yandan depo yerinin seçimi önceden belirlenip sabitlendiğinde ise ARP olmaktadır.

ARP içerisinde depo yerinin konumu dağıtım sisteminin toplam maliyetinde büyük etkiye sahiptir. Aynı şekilde, yer seçimi problemleri içerisinde araç rotalama konusunun toplam sistem maliyetinin enküçüklenmesinde önemli bir yeri bulunmaktadır. Bu yüzden araç rotalama ve yer seçimi konularının beraber düşünülmesi önem arz etmektedir.

Yer seçimi problemlerinde rotalamanın önemine ilk olarak Maranza (1964), Webb (1968), Christofides ve Eilon (1969)'ın yayımlarında dikkat çekilmiştir. Araştırmacılar rota uzunluğunun tahminin ve bunun yer seçiminde kullanılmasının direkt dağıtımda kullanılan uzunluktan daha karmaşık bir yapıya sahip olduğunu belirtmişlerdir. YSRP'lerinin ilk modelinin oluşturulması Watson vd. (1973) tarafından bir dağıtım merkezinin yerleştirilmesi ve buradan kamyonetle yapılan dağıtım şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Literatürdeki YSRP ile ilgili ilk kapsamlı çalışma ise Laporte (1988) tarafından yapılmıştır. 1998 yılına kadar olan yayımlar ise Min ve diğerleri (1998) tarafından yapılan çalışmada ele alınmıştır. Bu çalışmada YSRP için sınıflandırma da önerilmiştir. Son olarak da Nagy ve Salhi (2007) tarafından yapılan çalışmada kapsamlı bir tarama yapılmıştır. Yapılan sınıflandırmada veri türü, planlama periyodu, çözüm tekniği, amaç fonksiyonu çözüm uzayı, depo sayısı, araç sayısı, filo tipi, rota yapısı gibi parametreler dikkate alınmıştır.

YSRP'nin sadece akademik çalışmalara değil, birçok gerçek dünya problemine de çözüm ürettiği gözlemlenmektedir. Genellikle ürün veya kargo dağıtımını konu almasına rağmen sağlık, askeri, iletişim gibi çeşitli alanlarda çalışmaların olduğu görülmektedir (Gorr vd. (2001) evlere yemeklerin 1400 F olmasını garanti eden bir yemek şirketini ele almışlardır. Bu kapsamda mutfağı nerede konuşlandıracağı ve dağıtım için izlenecek rotaların nasıl olacağı belirlenmiştir, Bruns ve diğerleri (2000) Posta Kurumunun kargo dağıtımını problemine çözüm aramıştır. Barnhart vd. (2002) hizmet ağı tasarımının özel bir hali olan hızlı gönderi teslimatı problemini incelemişlerdir. Paltrow (2003) yaptığı çalışmada internet üzerinden kitap, cd ve dvd satışı yapan bir mağazayı (barnesandnoble.com) konu edinmiştir. Oum ve Park (2004) çok uluslu firmaların kuzeydoğu Asya bölgesinde dağıtım için merkezi yeri seçimi problemini incelemişlerdir. Erlebacher ve Meller (2000) firmaların karar vermek zorunda olduğu dağıtım merkezi sayısı ve bu merkezlerin yer seçimi problemini ele almışlardır. Derbel ve diğerleri, (2010) çok depolu YSRP çözümüne aşamalı olarak ulaşımlardır. Chowdhury (2000) kentsel alanlarda yolculara modlar arası taşımacılık hizmetinin bir demiryolu transit hattı ve farklı transfer istasyonlarında bağlanan bir dizi besleyici rotadan oluşabileceğini

belirtmiştir. Chowdhury ve Chien (2002) kentsel alanlarda toplu taşıma talebinin yolculara modlar arası bir toplu taşıma sistemi hizmeti oluşturulmasını ele almıştır. Teo ve Shu (2004) depo-perakendeci ağı tasarım problemini incelemiştir. Eskigün vd. (2005) gecikme zamanlarını da dikkate alarak dağıtım ağı tasarımında yeni bir bakış açısı sunmuşlardır. Plant (2002) modlar arası yük taşımacılığında demiryolunun rolü ve modlar arası yük hareketleri etrafında gelişen kamusal politikaları incelemiştir. Arnold vd. (2004) yük taşımacılığı için demiryolu / karayolu terminallerinin en uygun yer seçimi problemi üzerinde durmuşlardır. Warsing vd. (2001), arz ve talep noktalarından oluşan bir ağda, özel havayolu-kargo temelli dağıtım merkezi ile geleneksel bölgeler arası nakliye metotlarını kullanmanın karşılaştırmalı bir değerlendirmesini yapmıştır. Peric (2006) taşımacılık ağlarının tasarımında transit firmaların araçlarının çeşitli transit rotalarına atanması problemini ele almıştır. Zarandi ve diğerleri, (2013) gri talep ve dağıtım süreleri bulunan YSRP'ne çözüm aramışlardır. BOCCIA ve diğerleri (2011) iki kademeli kentsel taşımacılık sistemi oluştururken YSRP modellerini kullanmışlardır. Contardo ve diğerleri (2012), iki kademeli YSRP'ne yönelik iki algoritma önermişlerdir. Baldacci ve diğerleri (2013) iki kademeli ARP geliştirdikleri algoritmayla eniyi olarak çözmüşlerdir.

Uygulama

Kara Kuvvetleri Komutanlığı Türkiye'nin her noktasında görev yapan büyük bir kurumdur. Böylesine büyük bir kurumun ister istemez lojistiği de büyük öneme sahiptir. Gerek barış ve gerekse sefer ortamında lojistik, muharebe gücünün vazgeçilmez bir parçasını teşkil etmektedir. Bu haliyle vazgeçilmez olan lojistik destek, aynı zamanda önemli bir maliyet kalemidir.

Bu çalışmayla, birliklerinin yıllık mühimmat ihtiyacının ikmaline yönelik faaliyetlerinin günümüzde gittikçe önem kazanan çok modlu taşımacılık sistemine dayalı demiryolu ve karayolunun kullanımını esas alan ikmal sistemi ile uygulamasına yönelik bir model önerilmiştir.

Tehdit algılamasının değişmesinin yanı sıra, hızla gelişen teknoloji ile değişen silahlar arkasında kullanılmayan ve emniyetle imhayı bekleyen tonlarca mühimmat ve atıl depolar bırakmıştır. İkmal olanaklarının da günümüzde oldukça gelişmiş olması mühimmatın depolanması ve dağıtımını gözden geçirmeyi bir gereksinim haline getirmiştir.

Üretilen ya da tedarik edilen mühimmatın, ana depo'nun bulunduğu tesise teslim edildiği, mühimmatın dağıtım görevinin ve sorumluluğunun da ana depo'dan başladığı varsayımı yapılmıştır.

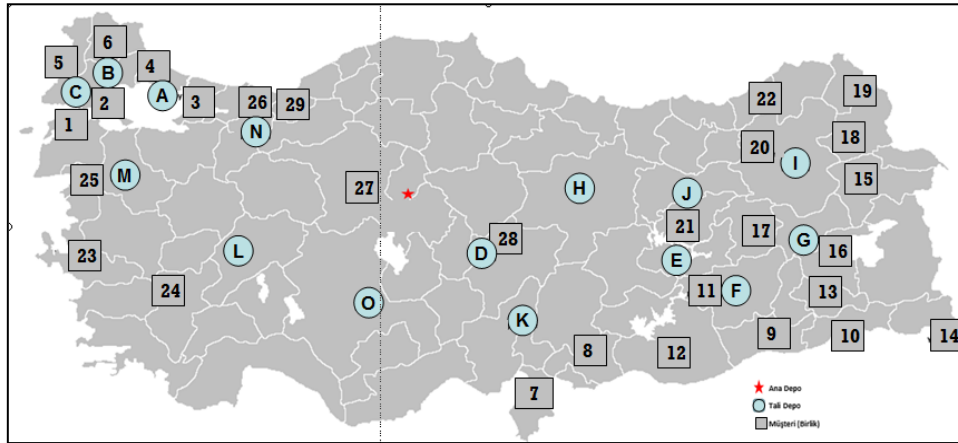
Ana depodaki mühimmat, birliklerin (müşterilerin) ihtiyaçları dikkate alınarak, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde konuşlu bulunan mühimmat depolarına (tali depo) sevk edilmektedir. Ana depo ve mühimmat depoları TCDD'nin demiryolu şebekesi içerisinde yer almaktadırlar.

Bu çalışma ile barış şartlarında kullanılan ve birlikler tarafından yıllık olarak ihtiyaç miktarı belirlenerek, her yıl eylül ayında başlayan eğitim yılı içerisinde kullanılacak bazı özel cins mühimmatın ana depodan mühimmat depolarına (tali depo) ve depolardan birliklere (müşteri) ikmalinin yapılmasına yönelik bir ikmal sistemi modellenmiştir.

Model ile mevcut mühimmat depolarından (tali depo) bazıları YSRP esaslarında seçilerek, buralardan birliklerin (müşteri) bazı özel cins mühimmat ihtiyaçlarının karşılanması ve rotalama ile dağıtım yapılması planlanmıştır. Seçilen mühimmat depolarına modern elleçleme cihazlarının kurulumları ile belirlenecek rotalamaya uygun şekilde birliklere ulaşılarak ikmal sağlanması amaçlanmaktadır. Dağıtım için gerekli kamyon sayıları model tarafından belirlenecektir.

Model, ana depodan başlayan ve demiryolu şebekesini kullanan tren rotalamasını, aday mühimmat depolarından da hizmet verecek olanların seçimini ve buralardan birliklere kamyonlarla dağıtım rotalamasını belirlemektedir.

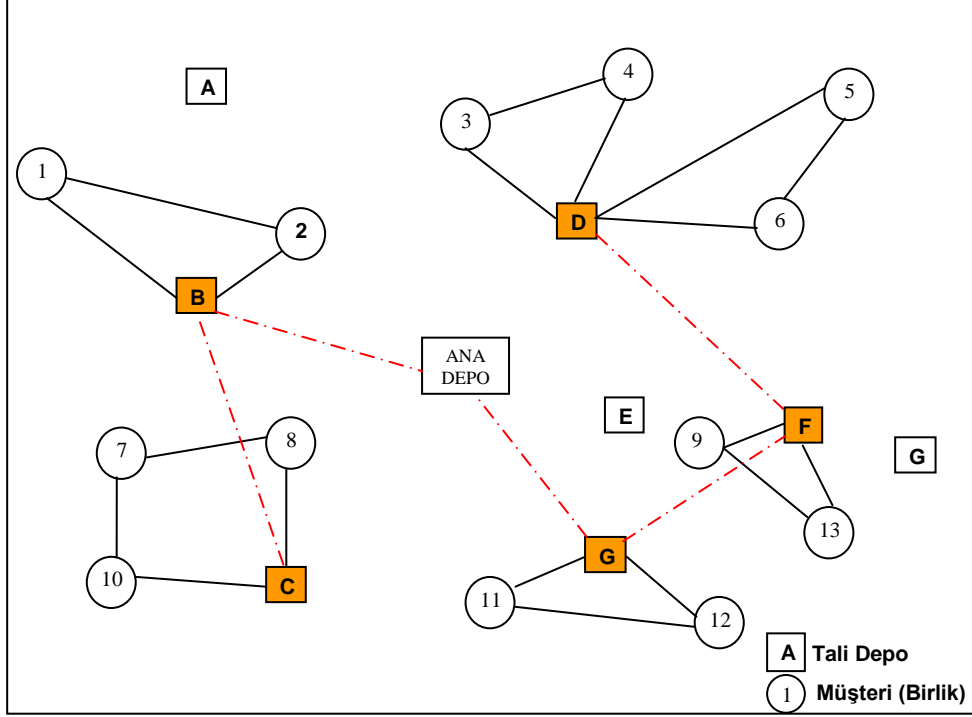
Şekil-1'de kullanılan ana depo, tali depolar ve müşterilerin serimi yer almaktadır.



Şekil-1: Depo ve Müşteriler

Depolardan hizmet verecek olanların yer seçimi modelleri ile seçimini, belirlenen tali depolara ana depodan başlayan ve demiryolu

şebekesini kullanan araç rotalamasını, son olarak tali depolardan müşterilere kamyonlarla vasıtasıyla yapılacak araç rotalamasını belirlemektedir (Şekil-2).



Şekil-2: Modelin Gösterimi

Önerilen Matematiksel Model

Önerilen problem; ana depo, tali depolar ve müşterilerin oluşturduğu düğümler ve bu düğümler arasındaki yollar (karayolu/demiryolu)'dan oluşan bir şebeke üzerinde modellenmektedir.

$$G = (N, A)$$

$$N = N_A \cup N_M \cup N_B$$

N_A : Ana depo kümesini,

N_M : Tali depoların kümesini,

N_B : Müşterilerin kümesini temsil etmektedir.

Ayrıca;

$$N_{AM} = N_A \cup N_M$$

$$N_{MB} = N_M \cup N_B$$

Düğümlemler arasındaki yollar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$A = A_{TCDD} \cup A_{KRY}$$

$$A_{TCDD} = [D_{ij}] \quad \forall i \in N_{AM}, \quad \forall j \in N_{AM}$$

$$A_{KRY} = [D_{jk}] \quad \forall j \in N_{MB}, \quad \forall k \in N_{MB}$$

Burada,

A_{TCDD} : Ana depo ve tali depolardan oluşan düğümler arasındaki demiryolu uzunluklarını,

A_{KRY} : Tali depolar ile müşterilerin birbirleri ile olan karayolu uzaklıklarını, göstermektedir. Tüm kümeyle ait uzaklıklar D_{ij} matrisi ile oluşturulmaktadır.

Aynı şekilde,

V : Araç kümesini,

V_{TREN} : Ana depo ve tali depolar arasında çalışan trenlerin oluşturduğu araç kümesini,

V_{KMY} : Tali depolar ve müşterilerin birbirleri arasındaki ulaşımını sağlayan kamyon kümesini temsil etmektedir.

$$V =: V_{TREN} \cup V_{KMY}$$

Modelde kullanılacak maliyet değişkenleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$TC_v \text{ (Ulaşım Maliyeti)} = M_{TCDD} + M_{KRY}$$

$$M_{TCDD} = D_{ij} * price_{TCDD} \quad \forall i \in N_{AM}, \quad \forall j \in N_{AM}$$

$$M_{KRY} = D_{jk} * price_{KRY} \quad \forall j \in N_{MB}, \quad \forall k \in N_{MB}$$

Ulaşım maliyeti araçların kilometre başına hesaplanan maliyetleridir. Daha önce belirlenen mesafe matrisleri, ilgili aracın (tren veya kamyon) kilometre başına masrafı ile çarpılarak ulaşım maliyet matrisleri oluşturulur.

FC_j : Tali depo açma maliyeti $\forall j \in N_M$

Tali deponun dağıtım merkezi olarak seçilmesi durumunda ortaya çıkacak tesis, araç-gereç ve personel masraflarının toplamından oluşan dağıtım merkezi açma maliyetidir.

PC_v : Araç tedarik maliyeti $\forall v \in V_{KMY}$

Diğer maliyet değişkeni ise Dağıtım Merkezi olarak seçilecek Tali depolarından müşterilere dağıtımını gerçekleştirilecek kamyonların tedarik maliyetidir. Dikkat edilecek diğer bir husus tren tedarik masrafının olmayışıdır. Trenler ile ilgili tek masraf ulaşım masrafıdır.

p : Taşınacak mühimmat cinsi $\forall p \in P$

Q_{jp} : j tali deposunun p cinsi mühimmat talebi $\forall j \in N_M, \forall p \in P$

Q_{kp} : k müşterisinin p cinsi mühimmat talebi $\forall k \in N_B, \forall p \in P$

K_{jp} : j tali deposunun p cinsi mühimmat kapasitesi $\forall j \in N_M, \forall p \in P$

K_v : v aracının taşıma kapasitesi $\forall v \in V$

Müşterilerin ve müşterilere bağlı olarak tali depoların silahların özellikleri (hafif, orta ve ağır olmak üzere 3 sınıf) ve buna yönelik kullanacağı p cinsi mühimmat talepleri bulunmaktadır. Bununla birlikte tali depolarının depolama kısıtları bulunmaktadır. Ana deponun kapasitesiz olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca araçların da mühimmat taşıma kapasiteleri bulunmaktadır.

Modelde kullanılan karar değişkenleri aşağıda tanımlanmıştır:

f_{ijvp} : i noktasından j noktasına v aracıyla yapılan p cinsi mühimmat taşıma miktarı

$$x_{ijv} = \begin{cases} 1, & i \text{ noktasından } j \text{ noktasına } v \text{ aracıyla taşıma yapılırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & j \text{ Tali deposunun seçilmesi} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

İçerisinde sadece ana deponun bulunduğu küme ile tali depoların bulunduğu küme birlikte düşünüldüğünde, bu haliyle problem tek depolu YSRP olmaktadır. Tali depolarının bulunduğu küme ile müşterilerin olduğu kümeyi birlikte değerlendirdiğimizde ise, problem çok depolu YSRP haline gelmektedir.

Önerilen model aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

$$\text{Enk } Z = \sum_{j \in N_M} FC_j y_j + \sum_{j \in N_M} \sum_{k \in N_B} \sum_{v \in V_{KMY}} PC_v x_{jkv} + \sum_{i \in N_{AM}} \sum_{j \in N_{AM}} \sum_{v \in V_{TREN}} \sum_{p \in P} M_{icdd} f_{ijvp} \\ + \sum_{j \in N_{MB}} \sum_{k \in N_{MB}} \sum_{v \in V_{KMY}} \sum_{p \in P} M_{kmy} f_{jkvp}$$

s.t.

$$\sum_{v \in V_{TREN}} \left(\sum_{i \in N_{AM}} f_{ijvp} - \sum_{m \in N_M} f_{jmvp} \right) \geq \sum_{v \in V_{KMY}} \sum_{k \in N_B} f_{jkvp} \quad \forall j \in N_M, \forall p \in P \quad (1)$$

$$\sum_{v \in V_{KMY}} \left(\sum_{j \in N_{MB}} f_{jkvp} - \sum_{n \in N_B} f_{knvp} \right) \geq Q_{kp} \quad \forall k \in N_B, \forall p \in P \quad (2)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in N_{AM}} f_{ijvp} \geq \sum_{p \in P} \sum_{m \in N_M} f_{jmvp} \quad \forall j \in N_M, \forall v \in V_{TREN} \quad (3)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{j \in N_{MB}} f_{jkvp} \geq \sum_{p \in P} \sum_{n \in N_B} f_{knvp} \quad \forall k \in N_B, \forall v \in V_{KMY} \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N_A} \sum_{j \in N_M} x_{ijv} \leq 1 \quad \forall v \in V_{TREN} \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N_M} \sum_{k \in N_B} x_{jkv} \leq 1 \quad \forall v \in V_{KMY} \quad (6)$$

$$\sum_{k \in N_B} x_{kqv} = \sum_{k \in N_B} x_{jkv} \quad \forall j \in N_M, \forall v \in V_{KMY} \quad (7)$$

$$\sum_{j \in N_{MB}} x_{jkv} = \sum_{j \in N_{MB}} x_{kjv} \quad \forall k \in N_B, \forall v \in V_{KMY}, k \neq j \quad (8)$$

$$\sum_{v \in V_{KMY}} \sum_{k \in N_B} f_{jkvp} \leq K_{jp} y_j \quad \forall j \in N_M, \forall p \in P \quad (9)$$

$$\sum_{p \in P} f_{ijvp} \leq K_v x_{ijv} \quad i \in N_A, \forall j \in N_M, \forall v \in V_{TREN} \quad (10)$$

$$\sum_{p \in P} f_{jkvp} \leq K_v x_{jkv} \quad \forall j \in N_M, \forall k \in N_B, \forall v \in V_{KMY} \quad (11)$$

$$\left(\sum_{p \in P} \sum_{k \in N_B} Q_{kp} \right) x_{ijv} \geq \sum_{p \in P} f_{ijvp} \quad i \in N_{AM}, \forall j \in N_{AM}, \forall v \in V_{TREN} \quad (12)$$

$$\left(\sum_{p \in P} \sum_{k \in N_B} Q_{kp} \right) x_{jkv} \geq \sum_{p \in P} f_{jkvp} \quad \forall j \in N_{MB}, \forall k \in N_{MB}, \forall v \in V_{KMY} \quad (13)$$

$$f_{ijvp} \geq 0 \quad \forall i \in N, \forall j \in N, \forall v \in V, \forall p \in P, i \neq j \quad (14)$$

$$x_{ijv} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, \forall v \in V, i \neq j \quad (15)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in N_M \quad (16)$$

Amaç fonksiyonu toplam maliyeti enküçükmektir. Maliyet kalemleri; tali depo açma maliyeti, tali depoda işletilecek kamyonların tedarik maliyeti, tren ve kamyonlarla taşınacak mühimmatın taşıma maliyetlerinden oluşmaktadır.

(1)'inci kısıt, tali deponun müşterilerine kamyonlarla yapacağı taşıma miktarına eşit ya da fazlasının o tali depoya trenlerle gelmesini; (2)'nci kısıt, müşterinin her bir cins mühimmata ait ihtiyacının karşılanmasını; (3) ve (4)'üncü kısıtlar, araçlara taşıma yaptıkları depo ve müşterilerden ilave mühimmat eklenmemesini; (5)'nci kısıt trenin ana depodan bir tali depoya ve (6)'nci kısıt kamyonun tali depodan bir müşteriye gidebileceğini sağlamaktadır. (7)'nci kısıt, tali depodan müşterilere dağıtım yapan kamyonun yine o tali depoya geri dönmesini, turu tamamlamasını garanti etmektedir. (8)'inci kısıt, müşteriye mühimmat taşıyan kamyonun müşteride kalmamasını yani turu tamamlamasını sağlamaktadır. (9)'uncü kısıt, tali deponun kapasite kısıtıdır. (10) ve (11)'inci kısıtlar araçların taşıma kapasite kısıtlarıdır. (12)'nci kısıt ana depodan tali depoya, (13)'üncü kısıt ise tali depodan müşteriye bir dağıtım ilişkisi olmadıkça taşıma yapılamayacağını sağlamaktadır. Burada

$(\sum_{p \in P} \sum_{k \in N_B} Q_{kp})$ büyük bir sayı yerine kullanılmıştır. (14), (15) ve (16)'nci kısıtlar pozitiflik ve 0-1 kısıtlarıdır.

YSRP'de depo ve müşteri sayısı arttıkça eniyi çözümünün aranması uzun zaman almakta ya da bulunamamaktadır. Bu kapsamda, yukarıda belirtilen modelin kısa sürede çözüme kavuşması için bu çalışmada model üç kısma ayrıştırılmıştır. İlk olarak; müşterilerin ihtiyaçlarının belirlenecek depolardan karşılanmasını sağlayacak tali depoların yerleri, Daskin (1995)'in P -ortanca (P -median) yer seçimi modeliyle çözümlenmesi hedeflenmiştir. Belirlenen tali depolara ana depodan yapılacak trenle ikmal ikinci kısmı oluştururken, belirlenen tali depolardan müşterilere yapılacak kamyonla ikmal üçüncü kısmı oluşturmuştur. İki ve üçüncü kısımların araç rotalama modelleriyle çözüme kavuşturulması amaçlanmıştır. Klasik ARP'ye her biri senaryolara has özgün kısıtlar ilave edilerek üç farklı senaryo, 1 ana depo, 15 aday tali depo ve 29 müşteri için uygulanmıştır.

Oluşturulan üç farklı senaryoya göre özetle; ilk senaryoda ana depo ve tali depolarda her üç cins mühimmat bulunmakta, tali depoların kapasitesi mühimmat farkı gözetmeksizin her üç cinsin toplamına eşit ya da küçük olmaktadır ve sadece müşterilere dağıtımını konu edinmektedir. İkinci senaryoda birincisinden farklı olarak tali depolarda her üç cins mühimmatın ayrı kapasitesi bulunmakta, hatta bazı tali depolarda bazı cins mühimmat bulunmayabilmektedir. Bu senaryo da sadece dağıtım ele alınmıştır. Üçüncü senaryoda ise ilk ikisinden farklı olarak geri toplama da söz konusudur. Mühimmatın artıkları geri toplanmaktadır.

Senaryo-1: Homojen Depolama - Dağıtım Problemi

Bu modelde ana depo ve tali depolarda her cins mühimmatın bulunabildiği ve depolanabildiği, tali depo kapasitesinin toplam mühimmat miktarıyla sınırlandırıldığı varsayılmaktadır. Ana depodan seçilecek tali depolara dağıtım belirlenen rota takip edilerek trenler vasıtasıyla yapılmaktadır. Seçimi yapılan tali depolardan bu tali depoların belirlenen müşterilerine dağıtım kamyonlarla bulunacak rotaya uygun olarak yapılmaktadır. Her müşterinin bütün cins mühimmat ihtiyaçları saptanan tek tali depodan gerçekleştirilmektedir.

Tali Depo Seçimi Modeli

YSRP'nin çözümüne yönelik ilk olarak tali depoların seçimi yapılmaktadır. Yer seçimi problemi olarak modellenerek, müşterilerin taleplerini karşılayacak şekilde aday tali depolardan bazıları belirlenmektedir. Önerilen matematiksel model aşağıdaki gibidir:

$$\text{Enk } Z = \sum_{j \in N_M} FC_j y_j + \sum_{j \in N_{MB}} \sum_{k \in N_{MB}} \sum_{v \in V_{KMV}} \sum_{p \in P} M_{kmy} f_{ijvp}$$

st

$$\sum_{j \in N_M} f_{jkp} \geq Q_{kp} \quad \forall k \in N_B, \forall p \in P \quad (1)$$

$$\sum_{j \in N_M} x_{jk} \leq 1 \quad \forall k \in N_B \quad (2)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in N_B} f_{jkp} \leq K_j y_j \quad \forall j \in N_M \quad (3)$$

$$\left(\sum_{p \in P} \sum_{k \in N_B} Q_{kp} \right) x_{jk} \geq \sum_{p \in P} f_{jkp} \quad \forall j \in N_M, \forall k \in N_B \quad (4)$$

$$y_j \geq x_{jk} \quad \forall j \in N_M, \forall k \in N_B \quad (5)$$

$$f_{jkp} \geq 0 \quad \forall j \in N_M, \forall k \in N_B, \forall p \in P \quad (6)$$

$$x_{jk} \in \{0,1\} \quad \forall j \in N_M, \forall k \in N_B \quad (7)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in N_M \quad (8)$$

Amaç fonksiyonu toplam maliyeti enküçükmektir. Maliyet kalemleri; tali depo açma maliyeti ile kamyonlarla müşterilere taşınacak mühimmatın taşıma maliyetlerinden oluşmaktadır. (1)'inci kısıt, müşterinin her bir cins mühimmata ait ihtiyacının karşılanmasını; (2)'nci kısıt, müşterinin ihtiyacının tek bir tali depodan karşılanmasını sağlamaktadır. (3)'üncü kısıt depo kapasite kısıdudur. (4)'üncü kısıt, tali depodan müşteriye bir dağıtım ilişkisi olmadıkça taşıma yapılamayacağını belirtmektedir. (5)'inci kısıt, tali deponun açılmadıkça oradan hizmet veremeyeceğini sağlamaktadır. (6), (7) ve (8)'inci kısıtlar pozitiflik ve 0-1 kısıtlarıdır. Modeldeki değişken sayısı 1756, kısıt sayısı 1002, ve iterasyon sayısı 452209'dür.

Tren Rotalama Modeli

İkinci aşamada, ana depodan yukarıdaki modelle neticesi belirlenen tali depolara yapılacak dağıtım için trenlerin güzergâhı belirlenmektedir. ARP şeklinde modellenerek çözüm bulunmaktadır. Önerilen model aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

$$\text{Enk} \quad Z = \sum_{i \in N_{AM}} \sum_{j \in N_{AM}} \sum_{v \in V_{TREN}} \sum_{p \in P} M_{icdd} f_{ijvp}$$

st

$$\sum_{v \in V_{TREN}} \left(\sum_{i \in N_{AM}} f_{ijvp} - \sum_{m \in N_M} f_{jmvp} \right) \geq Q_{jp} \quad \forall j \in N_M, \forall p \in P \quad (1)$$

$$\sum_{i \in N_{AM}} f_{ijvp} \geq \sum_{m \in N_M} f_{jmvp} \quad \forall j \in N_M, \forall v \in V_{TREN}, \forall p \in P \quad (2)$$

$$t_v \geq \sum_{i \in N_{AM}} \sum_{j \in N_M} x_{ijv} \quad \forall v \in V_{TREN} \quad (3)$$

$$\sum_{v \in V_{TREN}} \sum_{m \in N_M} x_{mjv} + \sum_{v \in V_{TREN}} \sum_{i \in N_A} x_{ijv} \leq 1 \quad \forall j \in N_M \quad (4)$$

$$\sum_{p \in P} f_{ijvp} \leq x_{ijv} K_V \quad \forall i \in N_{AM}, \forall j \in N_M, \forall v \in V_{TREN} \quad (5)$$

$$f_{ijvp} \geq 0 \quad \forall i \in N_{AM}, \forall j \in N_M, \forall v \in V_{TREN}, \forall p \in P \quad (6)$$

$$x_{ijv} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N_{AM}, \forall j \in N_M, \forall v \in V_{TREN} \quad (7)$$

$$t_v \in \{0,1\} \quad \forall v \in V_{TREN} \quad (8)$$

Amaç fonksiyonu tren ile taşınacak mühimmatın taşıma maliyetini enküçüklemektedir. (1)'nci kısıt, tali deponun her bir cins mühimmata ait ihtiyacının ana depodan karşılanmasını sağlamaktadır. Bu ihtiyaç tali deponun hizmet vereceği müşterilerinin ihtiyaçlarının toplamına eşittir. (2)'nci kısıt, trenlere taşıma yaptıkları depodan ilave mühimmat eklenmemesini; (3)'üncü kısıt, ana depodan tali depoya ve tali depolar arası belirlenecek trenle taşıma yapılmasını; (4)'üncü kısıt, trenin rotası içerisinde tali depoya bir kere uğramasını sağlamaktadır. (5)'inci kısıt trenin yük taşıma kapasite kısıtıdır. (6), (7) ve (8)'inci kısıtlar pozitiflik ve 0-1 kısıtlarıdır. Modeldeki değişken sayısı 901, kısıt sayısı 929, ve iterasyon sayısı 120783'dür.

Modelde kullanılan karar değişkeni;

$$t_v = \begin{cases} 1, & v \text{ treninin seçilmesi} \\ 0, & \text{diğer durumlardadır.} \end{cases}$$

Kamyon Rotalama Modeli

Son aşamada ise, belirlenmiş tali depolardan müşterilere kamyonlarla yapılacak dağıtım şekli ortaya çıkmaktadır. ARP şeklinde modellenerek çözüm aranmaktadır. Tren rotalamasında trenlerin ana depoya dönmesi beklenmemekte iken, kamyon rotalamasında tali deponun

envanterinde yer alan kamyonların depoya geri dönmesi sağlanmaktadır. Önerilen model aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur:

$$\text{Enk } Z = \sum_{j \in N_M} \sum_{k \in N_B} \sum_{v \in V_{KMY}} PC_v x_{jkv} + \sum_{j \in N_{MB}} \sum_{k \in N_{MB}} \sum_{v \in V_{KMY}} \sum_{p \in P} M_{kmy} f_{jkvp}$$

st

$$\sum_{v \in V_{KMY}} \left(\sum_{j \in N_{MB}} f_{jkvp} - \sum_{n \in N_{MB}} f_{knvp} \right) \geq Q_{kp} \quad \forall k \in N_B, \forall p \in P \quad (1)$$

$$\sum_{n \in N_{MB}} f_{nkvp} \geq \sum_{m \in N_{MB}} f_{kmvp} \quad \forall k \in N_B, \forall v \in V_{KMY}, \forall p \in P \quad (2)$$

$$t_v \geq \sum_{j \in N_M} \sum_{k \in N_B} x_{jkv} \quad \forall v \in V_{KMY} \quad (3)$$

$$t_v \geq \sum_{n \in N_B} x_{knv} \quad \forall v \in V_{KMY}, \forall k \in N_B \quad (4)$$

$$t_v \geq \sum_{n \in N_B} x_{knv} + \sum_{j \in N_M} x_{kjh} \quad \forall v \in V_{KMY}, \forall k \in N_B \quad (5)$$

$$\sum_{v \in V_{KMY}} \sum_{n \in N_B} x_{nkvh} + \sum_{v \in V_{KMY}} \sum_{j \in N_M} x_{jkvh} \leq 1 \quad \forall k \in N_B \quad (6)$$

$$\sum_{m \in N_{MB}} x_{mkv} \geq \sum_{j \in N_M} x_{kjh} \quad \forall k \in N_B, \forall v \in V_{KMY} \quad (7)$$

$$\sum_{p \in P} f_{jkvp} \leq x_{jkv} K_V \quad \forall j \in N_{MB}, \forall k \in N_{MB}, \forall v \in V_{KMY} \quad (8)$$

$$\sum_{k \in N_B} x_{jkv} = \sum_{k \in N_B} x_{kjh} \quad \forall j \in N_M, \forall v \in V_{KMY} \quad (9)$$

$$f_{jkvp} \geq 0 \quad \forall j \in N_{MB}, \forall k \in N_{MB}, \forall v \in V_{KMY}, \forall p \in P \quad (10)$$

$$x_{jkv} \in \{0,1\} \quad \forall j \in N_{MB}, \forall k \in N_{MB}, \forall v \in V_{KMY}$$

$$(11)$$

$$t_v \in \{0,1\} \quad \forall v \in V_{KMY} \quad (12)$$

Amaç fonksiyonu, tali depoda işletilecek kamyonların tedarik maliyeti ile kamyonlar ile taşınacak mükimmatın taşıma maliyetini enküçüklemektedir. (1)'inci kısıt, müşterilerin her bir cins mükimmata ait ihtiyacının tali depodan karşılanmasını; (2)'nci kısıt, kamyonlarla taşıma yaptıkları müşterilerden ilave mükimmat eklenmemesini sağlamaktadır. (3), (4) ve (5)'inci kısıt, mükimmat taşımanın rota üzerindeki tali depodan müşteriye, müşteriler arası ve nihayetinde tekrar başladığı tali depoya belirlenecek aynı kamyonla yapılmasını; (6)'nci kısıt, kamyonun rotası içerisinde müşteriye bir kere uğramasını; (7)'nci kısıt varılan düğümü aynı araçla terk edilmesini sağlamaktadır. (8)'nci kısıt araç kapasite kısıdudur. (9)'uncu kısıt, müşteriye mükimmat taşıyan kamyonun müşteride kalmamasını yani turu tamamlamasını sağlamaktadır. (10), (11) ve (12)'nci kısıtlar pozitiflik ve 0-1 kısıtlarıdır. Modeldeki değişken sayısı 379, kısıt sayısı 252 ve iterasyon sayısı 17403'dür.

Senaryo-2: Heterojen Depolama – Dağıtım Problemi

Bu senaryoda ana depoda her bir cins mükimmat bulunup depolanabilirken, tali depolarda mükimmatın özelliğine göre ihtisaslaşma vardır ve belli cins mükimmat depolanmaktadır. Tali depolarda her bir cins mükimmata ait farklı depo kapasitesi vardır. İlk modelde olduğu gibi ana depodan seçilecek tali depolara taşıma belirlenen rota takip edilerek trenler vasıtasıyla yapılmaktadır. Seçimi yapılan tali depolardan bu tali depoların belirlenen müşterilerine dağıtım kamyonlarla bulunacak rotaya uygun olarak yapılmaktadır. İlk senaryodan farklı olarak, müşterinin bütün cins mükimmat ihtiyaçları saptanan tek tali depodan karşılanamayabilmektedir. Bu durumda her cins mükimmat için ayrı ayrı tali depo görevlendirilebilmektedir.

Tali Depo Seçimi Modeli

İlk senaryoda olduğu gibi, YSRP'nin çözümüne yönelik ilk olarak tali depoların seçimi yapılmaktadır. Yer seçimi problemi olarak modellenerek, müşterilerin her cins mükimmata olan taleplerini karşılayacak şekilde aday tali depolardan bazıları belirlenmiştir.

Matematiksel modelin ilk senaryodan farklı olan kısıtları düzenlenerek yeniden oluşturulmuştur. Değişen kısıtlar aşağıdaki gibidir:

$$\sum_{k \in N_B} f_{jkp} \leq K_{jp} y_j \quad j \in N_M, \forall p \in P \quad (3a)$$

$$\left(\sum_{p \in P} \sum_{k \in N_B} Q_{kp} \right) x_{jkp} \geq f_{jkp} \quad \forall j \in N_M, \forall k \in N_B, \forall p \in P \quad (4a)$$

$$y_j \geq x_{jkp} \quad \forall j \in N_M, \forall k \in N_B, \forall p \in P \quad (5a)$$

(3a)'ncı kısıt, tali depolardaki her cins mühimmata ait ayrı ayrı kapasiteye göre düzenlenmiştir. (4a) ve (5a)'ncı kısıdın her mühimmata göre ayrı ayrı ilişkilendirilmesi sağlanmıştır. Modeldeki değişken sayısı 2626, kısıt sayısı 2830 ve iterasyon sayısı 13997'dir.

Tren Rotalama Modeli

İkinci aşamada, ana depodan tali depolara dağıtım için trenlerin güzergâhı belirlenmektedir. ARP şeklinde modellenerek çözüm bulunmaktadır. Tren rotalama problemine ait model ilk senaryo ile aynıdır, kısıtlarda bir değişiklik yapılmamıştır.

Kamyon Rotalama Modeli

İlk senaryoda olduğu gibi son aşamada, belirlenmiş tali depolardan müşterilere kamyonlarla yapılacak dağıtım şekli ortaya çıkmaktadır. ARP şeklinde modellenerek çözüm aranmaktadır. Burada farklılık müşterinin tüm ihtiyaçlarının tek bir tali depodan karşılanamaması halidir. Bu durum değiştirilen kısıtlarla yerine getirilmiştir.

Değişen kısıtlar aşağıdaki gibidir:

$$\sum_{v \in V_{KMY}} \sum_{n \in N_B} x_{nk v} + \sum_{v \in V_{KMY}} \sum_{j \in N_M} x_{j k v} \leq 1 \quad \forall k \in N_B \quad (6)$$

Her tali depoda tüm cins mühimmat bulunamadığından, müşterinin tüm cins mühimmat ihtiyaçları tek bir depodan karşılanamayabilmektedir. Bu kapsamda (6)ncı kısıt kaldırılmıştır.

$$\sum_{k \in N_B} \sum_{v \in V_{KMY}} f_{jkvp} \leq K_{jp} \quad \forall j \in N_M, \forall p \in P \quad (13)$$

Her cins mühimmat cinsinden depo kapasite kısıdının yer aldığı (13)'üncü kısıt ilave edilmiştir. Modeldeki değişken sayısı 1189, kısıt sayısı 716, ve iterasyon sayısı 974614'dir.

Senaryo-3: Heterojen Depolama – Eş Zamanlı Dağıtım Toplama Problemi

Bu senaryoda, ana depoda her bir cins mühimmat bulunup depolanabilirken, tali depolarda belli cins mühimmat depolanmakta ve her bir cins mühimmata ait farklı depo kapasiteleri bulunmaktadır. İlk iki senaryoda olduğu gibi ana depodan seçilecek tali depolara dağıtım belirlenen güzergâhlar takip edilerek trenler vasıtasıyla yapılmaktadır. Seçimi yapılan tali depolardan bu tali depoların belirlenen müşterilerine dağıtım bulunacak rotaya uygun olarak kamyonlarla yapılmaktadır. İlk iki modelden farklı olarak, müşterinin elinde bulunan mühimmat artıkları (hurda vb) tali depolara geri toplanmaktadır. Bu husus kamyon rotalamasında dikkate alınmaktadır.

Tali Depo Seçimi Modeli

Diğer iki senaryoda olduğu gibi, YSRP'nin çözümüne yönelik olarak ilk olarak tali depoların seçimi yapılmaktadır. Yer seçimi problemi olarak modellenerek, müşterilerin her cins mühimmata olan taleplerini karşılayacak şekilde aday tali depolardan bazıları belirlenmiştir. Model bir önceki senaryodakiyle aynıdır, kısıtlarda bir değişiklik yapılmamıştır.

Tren Rotalama Modeli

Tren rotalama problemine ait model diğer senaryolar ile aynıdır ve kısıtlarda bir değişiklik yapılmamıştır.

Kamyon Rotalama Modeli

Matematiksel modelin senaryo-2'deki modelden farklı olan kısıtları düzenlenerek yeniden oluşturulmuştur. Değişen kısıtlar aşağıdaki gibidir.

$$\text{Enk } Z = \sum_{j \in N_M} \sum_{k \in N_B} \sum_{v \in V_{KMY}} PC_v x_{jkv} + \sum_{j \in N_{MB}} \sum_{k \in N_{MB}} \sum_{v \in V_{KMY}} \sum_{p \in P} M_{kmy} f_{jkvp} +$$

$$\sum_{j \in N_{MB}} \sum_{k \in N_{MB}} \sum_{v \in V_{KMY}} M_{kmy} g_{jkvs} + \sum_{p \in P} f_{knvp} + g_{knvs} \leq x_{knv} K_V$$

$$\forall k \in N_B, \forall n \in N_B, \forall v \in V_{KMY} \quad (8b)$$

$$\sum_{v \in V_{KMY}} \left(\sum_{m \in N_{MB}} g_{kmvs} - \sum_{n \in N_{MB}} g_{nkvs} \right) \geq P_{ks} \quad \forall k \in N_B, \forall s \quad (14)$$

$$\sum_{m \in N_{MB}} g_{kmvs} \geq \sum_{n \in N_{MB}} g_{nkvs} \quad \forall k \in N_B, \forall v \in V_{KMY}, \forall s \quad (15)$$

$$g_{jkvs} \geq 0 \quad \forall j \in N_{MB}, \forall k \in N_{MB}, \forall v \in V_{KMY}, \forall s \quad (16)$$

Amaç fonksiyonu toplam maliyeti enküçükmektedir. Maliyet kalemlerine geri toplamalı taşımanın maliyeti de ilave edilmiştir. Araç kapasite kısıtı olan (8b)'inci kısıt eş zamanlı geri toplama da dahil edilerek yeniden düzenlenmiştir. İlave edilen (14)'üncü kısıt, müşterilerin tali depolara göndereceği artık mühimmatın toplanmasını sağlamaya yönelik kısıttır. (15)'inci kısıt, kamyonlarla eş zamanlı geri toplama yaptıkları müşterilere artık mühimmat ilave edilmemesini sağlamaktadır. Geri toplama için de pozitiflik kısıtı (16)'ncı kısıt olarak ilave edilmiştir. Modeldeki değişken sayısı 1540 , kısıt sayısı 834, ve iterasyon sayısı 959799'dur.

Sonuçların Değerlendirilmesi

Önerilen modeller 2 GB Yüklü bellek (RAM), Pentium dual core CPU E6300 @ 2,80 GHz işlemcili bilgisayarda, GAMS Paket programı 2.0.34.19 sürümü ile çözülmüştür. Sonuçlar, çözüm sonucu elde edilen değerler ve çözüm süreleri olmak üzere iki açıdan analiz edilmiş ve mevcut durum ile kıyaslanmıştır. Ayrıca tren kullanımı ile ilgili alternatifler de değerlendirilmiştir.

Her üç senaryonun ilk kısımda bulunan tali depolara ait sonuçlar bulunmuştur. İki ve üçüncü kısımlarda tren ve kamyon rotalamaları sonuçlarına ulaşılmıştır.

Tablo-2'de tren rotalaması sonuçları yer almaktadır.

Tablo-2: Tren ile Tali Depolara Dağıtım

S.No.	Rota		
	Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3
1	AD- N - B	AD- N - A - B	AD- N - A - B
2	AD- L - K	AD- K	AD- K
3	AD- F - G - I	AD- F - G - I	AD- F - G - I

Tablo-3'de ise tüm senaryolara göre kamyon rotalaması sonuçları gösterilmektedir.

Tablo-3: Kamyon ile Birliklere Dağıtım

S.No.	Rota		
	Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3
1	B-4-2-B	A-4-3-26-29-27-A	A-3-26-29-27-A
2	B-6-5-1-B	A-6-1-A	A-4-6-1-A
3	F-11-9-10-F	B-6-5-2-3-1-B	B-6-5-1-2-3-B
4	F-21-F	F-21-12-8-7-F	F-12-8-7-28-F
5	G-16-13-G	F-11-13-10-29-F	F-11-13-10-F
6	G-17-G	G-16-13-14-10-9-G	F-21-F
7	I-18-19-22-I	G-17-21-22-20-15-G	G-13-9-10-G
8	I-20-15-14-I	I-18-19-I	G-17-21-22-20-G
9	K-7-28-K	I-20-17-16-I	G-16-14-15-G
10	K-8-12-K	K-7-8-12-9-K	I-18-19-I
11	L-24-23-25-L	N-25-23-24-N	I-20-17-16-I
12	L-27-L	N-26-29-27-N	K-7-8-12-9-K
13	N-26-29-N		N-25-24-23-N
14	N-3-N		N-26-29-27-N

Tablo-4’de elde edilen sonuçların karşılaştırılması yer almaktadır.

Tablo-4: Sonuçların Karşılaştırılması

	Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3	Mevcut Durum
Araç Sayısı	14	12	14	29
Tren Sayısı	3	3	3	4
Tali Depo Sayısı	7	7	7	15
Tren ile Kat edilen Mesafe (km)	2833	2473	2473	4392
Kamyon ile Kat Edilen Mesafe (km)	8311	10472	12506	9714

Tablo-4 incelendiğinde mevcut durumda kullanılan araç sayısının önerilen modele göre oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, mevcut durumda her müşterinin kendi ihtiyacını tahsis edilen tali depodan kendine ait araçlarla karşılıyor olmasıdır. Diğer bir ifade ile rotalama yapılmıyor oluşudur. Bunun neticesi olarak kat edilen mesafenin fazla olması da tabloda görülmektedir. Özellikle tren ile kat edilen mesafenin oldukça fazla oluşunun nedeni her bir aday tali depoya mühimmat ikmalinin yapıyor oluşudur. Kamyon ile kat edilen mesafenin senaryo-1 ile senaryo-

2 arasındaki oluşan farkın nedeni tali depolardaki depolama niteliğinin değişmesinden kaynaklanmaktadır. Senaryo-2 ile senaryo-3 arasındaki fark ise eş zamanlı geri toplama nedeni ile kamyonların dağıtım kapasitelerinin değişmesidir.

Tablo-5’de çözüm süreleri özet olarak verilmiştir.

Tablo-5: Çözüm Süreleri

	Senaryo-1 dk., sn., sl.	Senaryo-2 dk., sn., sl.	Senaryo-3 sa., dk., sn., sl.
Depo Seçimi	00.11.014	00.13.587	00.00.13.587
Tren Rotalama	00.17.306 (AD-N-B) 00.21.760 (AD-L-K) 01.35.155 (AD-F-G-I)	00.52.112 (AD-N-A-B) 00.00.756 (AD-K) 01.05.723 (AD-F-G-I)	00.00.52.112 (AD-N-A-B) 00.00.00.756 (AD-K) 00.01.05.723 (AD-F-G-I)
Kamyon Rotalama	00.00.343 (K-7-28-K) 00.00.352 (N-26-29-N) 00.00.407 (G-16-13-G) 00.00.421 (I-18-19-22-I) 00.00.483 (B-6-5-1-B) 00.01.352 (L-24-23-25-L) 00.04.543 (F-11-9-10-F)	00.00.637 (I-20-17-16-I) 00.01.675 (N-25-23-24-N) 00.05.503 (K-7-8-12-9-K) 00.07.119 (F-11-13-10-29-F) 00.14.648 (B-6-5-2-3-1-B) 00.21.142 (G-17-21-22-20-15-G) 02.38.601 (A-4-3-26-29-27-A)	00.00.00.888 (I-20-17-16-I) 00.00.06.938 (N-25-24-23-N) 00.00.29.804 (F-12-8-7-28-F) 00.00.36.585 (G-17-21-22-20-G) 00.03.31.624 (A-3-26-29-27-A) 00.04.46.085 (K-7-8-12-9-K) 01.28.29.821 (B-6-5-1-2-3-B)

Tablo-5’deki süreler incelendiğinde, çok kısa sürelerde çözümlerin elde edildiği görülmektedir. Senaryoların karmaşıklaşması ile çözüm sürelerinde az da olsa gecikme olduğu da gözlenmiştir.

Kamyon rotalamalarına ait çözüm süreleri gösterilirken, her bir tali deponun en uzun rotalama süresi gösterilmiştir. Çözüm süresi en uzun olan (1 saat 28 dakika 29 saniye 821 salise) Heterojen Depolama - Eş Zamanlı Dağıtım Toplama senaryosundaki kamyon rotalama modelinde B tali deposuna ait kamyon rotalamalarına ait olduğu görülmektedir. Söz konusu tali depo daha fazla araç ile ve diğerlerine oranla daha fazla müşteriye hizmet vermekte ve bunun sonucu olarak rota sürelerinin hesaplanmasında üssel olarak zaman artmaktadır.

Çalışma kapsamında yük miktarına bağlı olarak hesaplanan maliyetlerin yanında, tren kullanımı ile ilgili diğer alternatifler;

- a. Vagon kiralama,
- b. Tren kiralama,
- c. Tren satın alma şeklindedir.

TCDD tarafından uygulama şartları ve ücretleri belirlenen bu alternatiflerden vagon kiralama, kiralanan vagonların tarifeli seferlere ait trenlere ilave edilmek suretiyle kiralayan müşteriye tahsis edilmesi işlemidir.

Tren kiralama, teşkilatı, hareket saatleri ve güzergâhı treni kiralayan müşteri tarafından belirlenmek suretiyle işletilmesidir.

Tren satın alma ile ilgili mevcut kanun ve yönetmelikler henüz bu seçeneğe olanak tanımamaktadır. Ancak bu hususa yönelik kanun çalışmalarının ve düzenlemelerin önümüzdeki dönemlerde yapılacağı değerlendirilmektedir. Bu haliyle bu seçeneğin değerlendirilmesi yapılmamıştır.

Tablo 6’da tren kullanımı alternatiflerinin mevcut durum ve yapısal olarak mevcut durumla örtüşen senaryo-1’de önerilen durumla karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo-6: Tren Kullanımı Maliyetleri (TL)

	Mevcut Durum	Önerilen Durum (Senaryo-1)
Vagon Kiralama	21.960	14.165
Tren Kiralama	52.704	33.966

Vagon kiralama ve tren kiralama işlemlerinde kilometre başına bir ücret ödenmektedir. Vagon kiralama ücreti basit olarak kiralanan vagon sayısı ile doğru orantılı iken, tren kiralamada lokomotif, furgon, jeneratör veya sofaj için sabit bir ücret ve ayrıca eklenecek vagonların her biri için ilave ücret yer almaktadır.

Tren kiralama maliyeti yüksek olmasına karşın, izleyeceği güzergâhı seçme inisiyatifi ve beklemeksizin işletilmesi avantajlarına sahiptir. Ancak bu çalışmaya özgü olarak, uygun bir planlama yapıldığında tren kiralama yerine vagon kiralama hizmetinin tercih edilmesinin uygun olabileceği değerlendirilebilir.

Sonuç olarak, her ikisi de NP-Zor olan yer seçimi ve rotalama problemlerinin beraber ele alındığı YSRP ile üç alt model oluşturularak makul çözümler elde edilmiştir. Sonuçların da gösterdiği şekilde çok modlu taşımacılık sayesinde lojistik maliyetlerin azaltılması mümkün olabilmektedir.

Ülkemizde nispeten geri kalan demiryolu ulaşımında artan yatırımlar neticesi gerek kamu sektörü gerekse özel sektör daha cazip olan demiryolu ulaşımını kullanır hale gelmektedir. Bunun neticesi çok modlu ve kombine ulaşım yöntemleri daha çok kullanılır hale gelecektir. Başta demiryolları olmak üzere, deniz taşımacılığının da istenen seviyelere çıkmasıyla lojistik sektöründe daha etkin çözümler üretilen modeller oluşturulacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Arnold, P., Peeters, D. VE Thomas, I. (2004). Modelling a Rail/Road Intermodal Transportation System. *Transportation Research, Part E* 40, 255–270.
- Baldacci, R. ve diğerleri. (2013). An Exact Algorithm for the Two-Echelon Capacitated Vehicle Routing Problem. *Operations Research*, 61 (2), 298-314.
- Barnhart, C. ve diğerleri. (2002). Network Design for Express Shipment Delivery. *Computational Optimization and Applications*, 53, 48–60.
- Boccia, M. ve diğerleri. (2011). Location-Routing Models for Designing a Two-Echelon Freight Distribution System. *Cirrelt*, 2011-06.
- Bruns, A., Klose, A. ve Stahly, P. (2000). Restructuring of Swiss Parcel Delivery Services. *OR Spektrum*, 22, 285–302.
- Chowdhury, M.S. (2000). *Intermodal Transit System Coordination with Dynamic Vehicle Dispatching*, New Jersey: New Jersey Institute of Technology.
- Chowdhury, M.S. ve Chien, S.I. (2002). *Intermodal Transit System Coordination*. *Transportation Planning and Technology*, 25, 257-287.
- Christofides, N. ve Eilon, S. (1969). An Algorithm for The Vehicle Dispatching Problem. *Operational Research Quarterly*, 20 (3).
- Contardo, C. ve diğerleri. (2012). Lower and Upper Bounds for The Two-Echelon Capacitated Location-Routing Problem. *Computers & Operations Research Volume*, 39 (12), 3185–3199.

- Çancı, M. ve Erdal, M. (2003). Taşımacılık Yönetimi. İstanbul: UTIKAD (Uluslararası Taşımacılık ve Lojistik Hizmet Üretenler Derneği).
- Daskın, M.S. (1995). Network and Discrete Location: Models Algorithms and Applications. New York: Wiley.
- Derbel, H. ve diğerleri. (2010). An Iterated Local Search for Solving a Location-Routing Problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 36, 875–882.
- Erdal, M. (2004). Lojistik ve Dış Ticaret Sözlüğü. İstanbul: UTIKAD (Uluslararası Taşımacılık ve Lojistik Hizmet Üretenler Derneği).
- Erlebacher, S.J. ve Meller, R.D. (2000). The Interaction of Location and Inventory in Designing Distribution Systems. *IIE Transactions*, 32, 155-166.
- Eskigün, E. ve diğerleri. (2005). Outbound Supply Chain Network Design with Mode Selection, Lead Times and Capacitated Vehicle Distribution Centers. *European Journal of Operational Research*, 165, 182–206.
- Gorr, W.P., Johnson, M.P. Ve Roehrig, S. (2001). Facility Location Model for Home-Delivered Services: Application To The Meals On Wheels Program. *Journal of Geographic Systems*, 3, 181–197.
- Laporte, G., Nobert, Y. ve Taillefer, S. (1988). Solving a Family of Multi-Depot Vehicle Routing and Location-Routing Problems. *Transportation Science*, 22, 161–172.
- Maranzana, F. (1964). On the Location of Supply Points to Minimize Transport Costs. *Operations Research Quarterly*, 15, 261–70.
- Min, H., Jayaram, V. ve Srivastava, R. (1998). Combined Location-Routing Problems: A Synthesis and Future Research Directions. *European Journal of Operational Research*, 108, 1–15.
- Nagy, G. ve Salhi, S. (2007). Location Routing: Issues, Models and Methods. *European Journal of Operational Research*, 177, 649-672.
- Oum, T.H. ve Park, J.H. (2004). Multinational Firms Location Preference For Regional Distribution Centers Focus on The Northeast. *Transportation Research*, 40, 101-121.
- Paltrow, S.J. (2003). Selling Strategies– Profiting From Impatience. *The Wall Street Journal*.
- Peric, K. (2006). Bi-Level Model for Transit Vehicle Allocation in Intermodal Transportation Networks. New Jersey: The State University of New Jersey.

- Plant, J.F. (2002). Railroad Policy and Intermodalism: Policy Choices After Deregulation. *The Review of Policy Research*, 19(2), 13-32.
- Teo, C.P. ve Shu, J. (2004). Warehouse Retailer Network Design Problem. *Operations Research*, 52(3), 396–408.
- Toyoglu, H., Karasan, O.E. ve Kara B.Y. (2011). Distribution Network Design On The Battlefield. *Naval Research Logistics*, 58 (3), 188–209.
- Watson, G. ve diğ erleri. (1973). Depot Location With Van Salesmen – A Practical Approach. *Omega*, 1, 321–329.
- Webb, M.H.J. (1968). Cost Functions in The Location of Depots for Multiple-Delivery Journeys. *Operational Research Quarterly*, 19, 311–320.
- Yıldız, E.S. ve Coş kun, D. (2010). Türkiye Demir Ağ larını Yeniden Keş fediyor. http://www.persemerotasi.com/?29m=detay&konu_id=1281 adresinden alınmıştır.
- Zarandi, M.H. ve diğ erleri. (2013). Capacitated Location-Routing Problem With Time Windows Under Uncertainty. *Knowledge-Based Systems*, Volume 37, 480–489.

Extended Summary

Multimodal Model Suggestion for Land Forces Transportation Applications

Introduction

In order to sustain their activities more profitable, companies and organizations are resorting to various means of reducing costs. In such an attitude, logistics is getting more and more importance each day.

Of the most important functions and, also of the cost item of logistics, the transportation has a great effect. In the competitive environment, quite important share of costs of companies and organizations belongs to transportation planning and organization that can receive head to head competition and it is important to create value.

The type used for transport activities (modes) can be classified as; road, rail, sea, air, pipe and inland water (river). Comparison of Transport modes is given in Table 1. Examining the table; cost, speed, service area, the frequency of scheduled transport and reliability of Schedule transport emerge as benchmarking (Erdal and Cancun, 2003).

Table-1: Comparison of Transportation Modes

Mode	Cost	Speed	Service area	Frequency of scheduled transport	Reliability of scheduled transport
Road	High	Fast	Very broad	High	High
Sea	Very low	Slow	Restricted	Very low	Middle
Air	Very high	Very fast	Broad	High	High
Rail	Middle	Middle	Middle	Low	Very high
Inland Water	Low	Slow	Restricted	Low	Middle
Pipe	Low	Slow	Very restricted	Low	Middle

The intense competition between transport modes leads to a split and non-integrated transport system. Each of the modes of transportation has advantageous aspects, in the sense of cost, speed, service, reliability and security. However, nowadays with the effect of transoceanic trade, multi-

modal transport systems, which are making use of the most efficient side of each transport modes, also have been used widely.

In this study, multi-modal transport system (road and rail are used together) was investigated as a Location Routing Problem (LRP) within three different scenarios. As a LRP, three-tiered transportation system was used between the main depot, secondary depot, and customers, with three different materials.

Location Routing Problem

Of the decisions taken for logistics activities and operations, location selection and distribution (routing) is an important place. But nowadays their use-alone can not fully reflect the actual circumstances. To close this gap, the selection, assignment and routing decisions to be addressed at the same time has become inevitable

To establish a logistics system for distribution starts first with the choice of location of depot. Potential depot locations are determined considering physical, economic and other constraints. After determining the potential candidate points, depot(s) are deployed in accordance with the purpose. Allocation of depot to customers, consequently the determination of the distribution route with regard to the evaluation of the depot location selection was found to be suitable. The need for these activities to be integrated with each other is solved by LRP.

LRP comprises facility location among the candidates and determining routes of the vehicle providing service to all customers from selected facility. Total cost minimization is intended during this process.

The importance of routing in location selection problems was drawn attention by Maranza first (1964), Webb (1968), Christofides and Eilon (1969) in their publications. Researchers stated that estimation of the length of the route and the use thereof in selecting the location is more complex than of the direct distribution. The first LRP is performed by Watson et al. (1973) locating the distribution center considering a delivery by a truck.

Not only academic studies, but also many real-world solutions are performed by LRP. Although the subject is usually the product or cargo distribution, health, military, communication and various fields are studied (Gorr et al. (2001), Bruns et al. (2000), Barnhart et al. (2002), Paltrow (2003), Oum and Park (2004), Erlebacher and Meller (2000), Derbel et al. (2010), Chowdhury (2000), Chowdhury and Chien (2002), Teo and Shu (2004), Eskigün et al. (2005), Plant (2002), Arnold et al. (2003), Warsing et al. (2001), Peric (2006), Zarandi et al. (2013), Boccia et al. (2011), Contardo

et al. (2012), Baldacci et al. (2013), Laporte (1988), Min et al. (1998), Nagy and Salhi (2007)).

Application

The amount of ammunition to be used in the training year, which begins in September, is calculated annually. The supply system to be modeled includes this calculated ammunition distribution to the ammunition depots from home depot and from the ammunition depots to the troops (the customer). Some of the ammunition depots are selected by LRP. From these depots customer's ammunition needs are met. With this study routing and distribution is planned.

Model determines rail routing starting from the home depot, location of the depots which will serve and the distribution routing of trucks to the troops. Sample distribution representation is indicated in Figure 1.

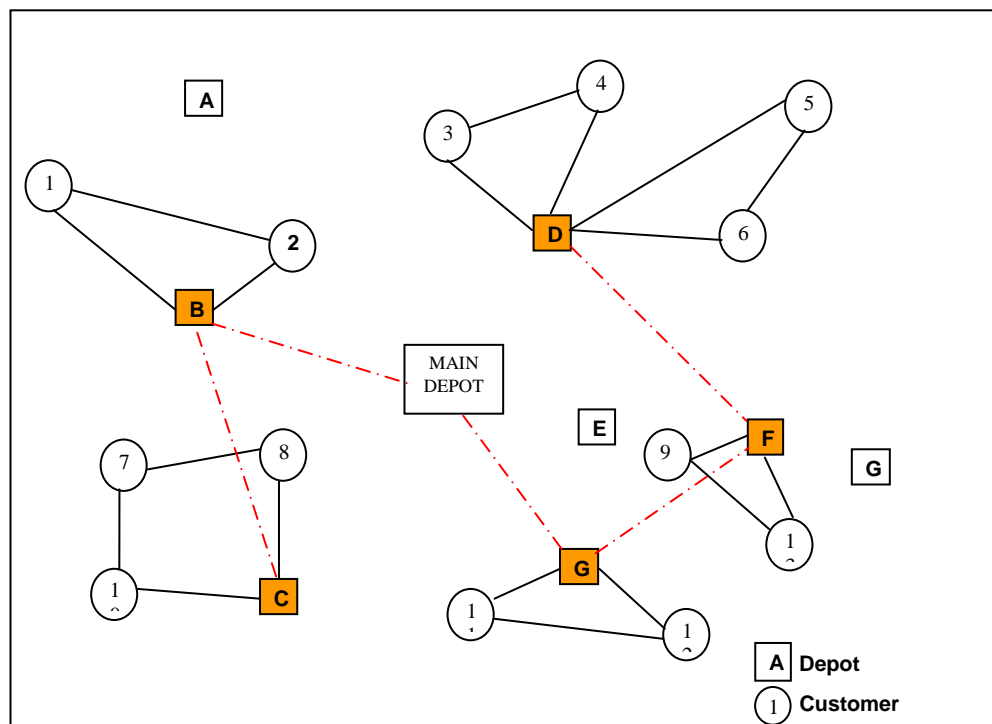


Figure-1: Model Representation

As the number of customers and the depots increase, search of the optimal solution takes a long time or can not be found in LRP. In this context, for the above mentioned models to be resolved in a short time, in

this study the model were separated into three parts. First, to determine the needs of customers, ammunition depots' location selection was aimed. After determination of the depots, supplying to these depots from the main depot by train was the second part of the problem. And consequently, the supply to the customers by trucks was the third and the last stage. The proposed model has been applied to three different scenarios.

Scenario-1: Homogenous Depot - Distribution Problem

In this scenario, in the home depot and ammunition depots every type of ammunition can be stored, the secondary depots' capacity is assumed to be limited to the total amount of ammunition stored.

Senaryo-2: Heterogeneous Depot – Distribution Problem

In this scenario, the availability of each ammunition type can be found in the home depot, but in the secondary depots, certain ammunition types are stored. Each depot is specialized depending on the nature of the ammunition, so each depot has different storage capacity. Unlike the first scenario, the customer's all type needs cannot be met from one depot. In this case, the secondary depots can be employed separately for every type of ammunition.

Scenario-3: Heterogeneous Depot – Simultaneous Pick-Up and Delivery Problem

In this scenario, unlike the first two models, the customer's ammunition scraps are brought back to secondary depots. This effects the routing of trucks.

Conclusion

Problem can be solved in a very short time; the complexity of the scenarios in the solution time causes a slight delay.

Number of vehicles used by the proposed model appears to be quite a few compared to the actual system. The reason for this; in the present case the need of each customer is supplied by their own trucks. In other words, routing is not done. As a result, the total distance is more than that of the model's suggestion. With this study it is suggested that an efficient multimodal transportation application can be achieved.