

# Harekât Ortamında Mühimmat Lojistiğinin Optimizasyonu

Sibel ATAN\*

Levent Sabahattin GÜLDAĞI\*\*

Alınış Tarihi: 30 Mart 2017

Kabul Tarihi: 05 Şubat 2019

**Öz:** Askeri alanda ve sivil sektörde, lojistiğin en temel fonksiyon sahalarından biri olan ulaştırma faaliyeti, teknolojinin gelişmesi ile birlikte ülke ekonomileri için büyük bir kuvvet çarpanı haline gelmiştir. En az maliyetle en fazla taşıma yapılması prensibine sahip bu kuvvet çarpanı ne kadar etkin kullanılırsa ülke ekonomisi de o ölçüde kalkınacaktır. Bu çalışmada, muharebe ortamındaki belli sayıda tank birliklerinin, muharebede alacakları görevlere göre mühimmat ikmallerinin dağıtım maliyetlerinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda; üç mühimmat deposu ile muharebe görevi almış sekiz tank birliği arasındaki tank mühimmat dağıtımına ilişkin oluşturulan ulaştırma problemi çözülmüştür. Kuzeybatı köşe, en düşük maliyetli gözeler ve VAM yöntemleri kullanılarak çözülen ulaştırma probleminde taşıma maliyetleri sırasıyla; 128 345,5981 TL, 120 083,48456 TL (Satır Yaklaşımı), 123 087,1971 TL.(Kolon Yaklaşımı), 114 799,7395 TL (Genel Yaklaşım), 114 052,79191 TL. olarak bulunmuştur. Vogel'in yaklaşım yöntemi ile bulunan başlangıç çözümü MODİ yöntemi ile test edilmiş, düzeltilmiş maliyet, 113 390,042 TL ile en iyi olmuştur. Ulaştırma problemi ayrıca Lingo ve Excel programlama vasıtasıyla çözülmüş maliyet, yine 113 390,042 TL çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Doğrusal Programlama, Kuvvet Çarpanı, Ulaştırma Modeli, Mühimmat Dağıtım, Uygunlaştırma

## *Optimization of the Operational Environment Ammunition*

**Abstract:** Transportation activity, which is one of the most basic functions of logistics in the military field and the civil sector, has become a major force multiplier for the country's economy with the development of technology. The more effectively this multiplier which has the principle of carrying the maximum amount with minimum costs used, the greater the country's economy will be. In this study, it was aimed to minimize the distribution costs of ammunition supplies according to the tasks to be taken by combatants of a certain number of tank units in the battlefield. In this scope; The transport problem related to the distribution of tank ammunition between the three ammunition depots and the eight tank units engaged in combat has been resolved. Transportation costs in the transport problem solved by using with the North-west Corner, Minimum Cost Cells, and Vogel's Approximation Methods; 128 345,5981 TL, 120 083,48456 TL (Line Approach), 123 087,1971 TL (Colon Approach), 114 799,7395 TL (General Approach), 114 052,79191 TL The initial solution found by Vogel's approach method was tested with Jumping Stone and MODI methods, adjusted cost has been the best with 113 390,042 TL The transportation problem was also solved by Lingo and Excel programming and the cost was increased to 113 390,042 TL again.

**Keywords:** Linear Programming, Optimization, Transportation Model, Ammunition Distribution, Force Multiplier

Atatürk  
Üniversitesi

\* Doç. Dr., Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü

\*\* Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

## **I. Giriş**

Lojistik, genel anlamı itibariyle; üretim merkezinde üretilen herhangi bir malın tüketiciye ulaştırılana kadar yapılması gereken tüm işlemler olarak tanımlanabilir. Askeri bakımdan değerlendirildiğinde lojistik; mevcut ve öngörülen kuvvet yapısının, sistemler, alt yapı ve hizmetlerinin, ömür devri çerçevesinde barışta, gerginlik/kriz döneminde ve savaşta yetki ve sorumluluklara uygun yönetimini kapsayan faaliyetler bütünü olarak tanımlanır. Gerek sivil sektörde ve gerekse askeri alanda lojistiğin temel amacı, ihtiyaç duyulan mal ve hizmetin, istenilen yer ve zamanda, istenilen durumda hazır bulundurulmasıdır. Askeri ortamda gerçekleştirilen lojistiğin temel fonksiyonları; planlama, ikmal, bakım, ulaştırma, sıhhi tahliye ve tedavi, üretim/yenileştirme/modernizasyon, inşaat emlak, lojistik karar destek ve seferberlik olarak bölümlere ayrılabilir.

Barışta ve savaşta, birlikler, alacakları görevlere, teşkilatlarına, büyüklüklerine ve envanter durumlarına bağlı olarak, harekât planlarını sürekli günceller, harekât lojistiği ile ilgili bir takım talep tahminlerinde bulunur ve bu ihtiyaçlarını gerçeğe en yakın şekilde test etmek maksadıyla arazi ve bilgisayar destekli simülasyon tatbikatları icra ederler. Bu tatbikatların ve plan çalışmalarının sonucunda barışta ve savaşta ayrı ayrı olmak üzere her birliğin yiyecek, teçhizat, akaryakıt, mühimmat gibi ikmal maddelerini, nereden, nasıl ve ne şekilde temin edeceklerine dair çıkarımlarda bulunurlar ve talep tahminlerini gerçeğe yakın bir şekilde yaparak alacakları her türlü görevin lojistik desteği yönünden hazır olurlar. Bunun için ilgili ikmal maddelerine ait depoların nerede konuşlanacağı, bu depolardan ikmal maddelerinin birliklere nasıl ulaştırılacağı, bakım, idame, işletme gibi lojistik mimariyi ilgilendiren hususlar bilgisayar ortamında ve manuel olarak planlanır ve tespit edilen eksiklikler geri besleme faaliyeti ile giderilir. Bu kapsamda; depolardan yapılacak malzeme dağıtımlarının hangi tip araçlarla hangi cins malzemelerin hangi güzergahı takip ederek birliklere ulaştırılacağı hususu zaman ve kapasite kısıtları da göz önünde bulundurularak kurulacak ulaştırma modeline dahil edilmektedir.

Bu bilgiler ışığında, çalışmada, geleceğin muharebe ortamında harekât icra edebilecek muharebe sahasının en önemli karar silahlarından biri olan tank birliklerinin, harekâtın belirli bir süresi içerisinde sarf edebilecekleri toplam mühimmatın ikmalinde maliyet minimizasyonu hakkında tahminlerde bulunulması, mühimmatın birliklere ulaştırılması konusunda çıkarımlar yapılması ve yorumlanması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda; 3 sunum merkezi (mühimmat depoları) ve 8 tank birliğine muharebe ortamında ihtiyaç duyacakları tank mühimmatını en ekonomik bir şekilde ulaştırılması için problem çözme tekniklerinden ulaştırma modeli bir çözüm yöntemi olarak kullanılacaktır.

Yöneylem araştırmalarında etkin olarak kullanılan ulaştırma problemi daha çok doğrusal programlamanın bir çeşidi olması nedeniyle en optimal çözümler için yalnızca doğrusal programlama modelinin tanımlanması hedeflenmiştir. Bu kapsamda; elde edilen ulaştırma problemi özel çözümler yöntemlerinin yanı sıra doğrusal programlama modeli olarak da çözümlenecek ve elde edilen sonuçlar buna uygun olarak değerlendirilecektir.

## II. Fonksiyon Çeşitlerine Göre Matematiksel Modeller

Optimizasyon problemlerinde, uygulanan matematiksel modellerin iherdiği karar değişkenleri genellikle iki şekilde karşımıza çıkmaktadır. Bu değişkenler, tamsayılı veya sürekli olurken kısıt ve amaç fonksiyonları ise doğrusal veya doğrusal olmayan şekilde görülebilir. Bu şekilde oluşturulan modeller sayesinde karşılaşılan optimizasyon problemlerine alternatifli çözümler üretilmesi mümkün olabilmektedir. Bu çözümler yöntemleri iherisinde en yaygın olarak tercih edilen, doğrusal programlamalardır. Bu programlarda kullanılan bütün kısıt ve amaç fonksiyonları da doğrusaldır. (Taha, 2002).

### A. Doğrusal Programlama

Eldeki kıt kaynakların daha ekonomik, aynı zamanda etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak için oluşturulmuş matematiksel yöntemlerin iherisinde en çok kullanılan doğrusal programlamadır. Ekonomi, endüstri, sağlık, ulaştırma sektörleri başta olmak üzere sosyal bilimlerde ve askerlik alanında uygulanmuş başarıları kanıtlanmış birçok doğrusal programlama örnekleri vardır (Taha, 2002). Etkin olarak en çok kullanılan optimizasyon tekniği doğrusal programlamadır (Edgar, 2001). Kısıtlayıcı ve amaç fonksiyonlarının doğrusal olması durumunda optimizasyon problemi en basit halini alır (Greig, 1980).

Doğrusal programlama tekniği ilk kez Kantoroviç ismiyle 1942 yılında anılmaya başlanırken, 1947 yılında bir algoritma çeşidi olan “simplex yöntemi” ise Dantzig tarafından ortaya atılmıştır. Ekonomik büyüme hızı ile piyasa ekonomisinin nasıl artırılacağını ifade eden matematiksel model Von Neumann, doğrusal programlamanın şirket teorisine uygulanması fikri ise ilk kez Dorfmann tarafından ortaya atılmıştır. Bu çalışmaların akabinde Solow, Samuelson ve Gale gibi birçok matematikçi ve iktisatçılar bu tekniğin çeşitli sektörlerde ve alanlarda uygulanması için yoğun çalışma iherisinde bulunmuşlardır (Tor, 1991).

Doğrusal programlamanın uygulanmasında öngörülen bazı varsayımlar, izleyen maddelerde belirtildiği gibi ifade edilebilir (Kara, 1991):

#### *Bölünebilirlik*

Problemi oluşturan değişkenler, her tür gerçek değerler ile ifade edilebiliyorsa, bölünebilirlik özelliğinin var olduğu anlamı ortaya çıkmaktadır.

#### *Oranlılık*

Araştırma yapılan probleme ait değişkenlere ilişkin değerlere uygun olarak; amaç ve kısıt fonksiyonları da sabit bir oranda değişiyorsa, bu özelliğin sağlandığı anlamı ortaya çıkmaktadır. Bir başka ifadeyle, en iyi sonucu ortaya

çıkarmak için oluşturulan amaç fonksiyonunu etkileyen etmenlerin her bir değişkene göre belirli bir oranda ifade edilmesidir.

*Toplanabilirlik*

Amaç fonksiyonunu etkileyen değişkenlerin her birinin aldıkları değerlere göre; elde edilen sonuçlar toplandığında ortaya çıkan sonuç toplam katkıyı vermekle birlikte, bu katkının sağlanması için harcanan kaynakların her birinin toplamı da toplam kaynak kullanımını ifade ediyorsa, oluşturulan modelin toplanabilirlik özelliğine sahip olduğu anlamı ortaya çıkmaktadır. Bu özellik, aynı zamanda ortaya çıkarılan katkı ve harcanan kaynakların aynı matematiksel ifade ile ortaya konması anlamını taşımaktadır.

*Belirlilik*

Matematiksel modeli oluşturan tüm değişkenlere ait sayısal değerlerin bilinmesi söz konusu özelliğin var olduğu anlamına gelmektedir. Modeli doğrudan etkileyen, ancak karar mekanizmasının kontrolü dışında gerçekleşen parametrelerin, bazı etmenlerin yardımıyla tespit edilmiş olması, belirlilik özelliğinin bir göstergesidir.

*B. Doğrusal Programlama Probleminin Matematiksel Modeli*

Doğrusal programlama probleminin modellenmesi için; model kurulması, uygulanacak karar probleminin belirlenmesi, modelin ve problemin formüle edilmesi, modelden çözüm elde edilmesi, modelin uygulanması ve geçerliliğinin sınanması, son olarak da sonuçlarının yorumlanması gerekmektedir. (Ergülen ve Kazan, 2007)

Karar değişkenlerinin  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  doğrusal fonksiyonu olan amaç fonksiyonu, maksimizasyon ya da minimizasyon amaçlı olabilir. Amaç fonksiyonunu maksimize edecek doğrusal programlama problemine ait amaç fonksiyonu ve kısıtlar aşağıda izleyen maddelerde belirtilmiştir.

*Amaç Fonksiyonu:*

$$\text{Max. } f(x) = \sum_{j=1}^n C_j x_j \quad (1)$$

*Kısıtlayıcılar:*

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

*Pozitif kısıtlama:*

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

şeklinde açıklanır. (Apaydın, 2005).

Doğrusal programlama matematiksel modelindeki denklemlerde, bilinen sabitler ve kararı etkileyen değişkenler yer almaktadır. Söz konusu değişkenler, fonksiyon 2.2’de ifade edilen kısıtları sağlayarak problemin çözümünü gerçekleştiriyorsa ‘çözüm’, hem fonksiyon 2.2 hem de fonksiyon 2.3’deki kısıtlar sağlanarak problemin çözümü gerçekleştiriliyorsa ‘en iyi çözüm’ sağlanmış olmaktadır. Bu modeldeki amaç, en iyi çözümü bulmaktır (Apaydın, 2005).

Bir matematiksel model oluşturulmadan önce aşağıda tanımlanan sorulara cevap bulunması gerekmektedir.

- Oluşturulan model ile elde edilmesi istenen durum nedir? Oluşturulan modelin, parametreleri neler olmalıdır?
- Modelde yer alan parametrelere hangi kısıtlar ilave edilmelidir?
- Muhtemel tüm parametre değerleri içerisinde en uygun çözümü ortaya koymak için ulaşılmaması gereken amaç ne olmalıdır?

Bu durumda, doğrusal programlama matematiksel modelinin oluşturulması için kararı etkileyen parametrelerin tespit edilmesi, kısıtların ve uygun amaç fonksiyonunun ortaya konması büyük önem arz etmektedir (Apaydın, 2005).

### *C. Simpleks Algoritması*

Simpleks algoritması, başlangıç temel çözümünü kullanarak, elde edilen amaç fonksiyonunu devamlı olarak iyileştirmek için, en uygun temel parametre değerlerini bulmayı sağlayan bir doğrusal programlama algoritması olarak tanımlanabilir. Doğrusal programlama probleminin en uygun çözümünü sağlamak için kullanılan bu yaklaşım, ardışık sayılarla yapılan matematiksel işlemleri araştıran bir tekniği kullanmaktadır. Bu algoritma ile yoğun matematiksel işlem yükü azaltılabilmektedir (Kara, 1991).

### *Ç. Dualite*

Bir doğrusal programlama modelinin maksimizasyonu ve buna karşılık gelen minimizasyonunun amaç fonksiyonlarına ait en iyi değerleri birbirine denktir. Aynı durum, bu durumun tam tersi için de geçerlidir. Buna göre, ilk değerlendirilmesi yapılan modele primal, bunun karşılığındaki modele ise dual denir. (Çakanel, 2008).

### *D. Doğrusal Programlama Problemlerinin Bilgisayarda Çözülmesi*

Bilgisayar yazılım programlarının gelişmesi sayesinde doğrusal programlama yönteminin uygulanışı da büyük gelişme göstermiştir. Modeli oluşturan parametre sayısının fazla olması durumunda simplex yöntemi yetersiz kalacağından doğrusal programlama modelleri Lingo, WinQSB, MATLAB, Gino vb. bilgisayar programları ile çözülebilmektedir. Ayrıca bu problemler Microsoft Excel yardımıyla da çözülebilmektedir. Ancak Excel de Simplex algoritmasında olduğu gibi değişken sayısının fazla olması durumunda yetersiz kalabilmektedir. Amaç ve kısıtlayıcı fonksiyonlarının parametre cinsinden ifade edilmesi, doğrusal programlama problemlerinin çözülmesi için bir zorunluluktur (Alan ve Yeşilyurt, 2004).

Oluşturulan model için gerekli tanımlama yapılmasına müteakip çözüm için hazırlanmış uygun bilgisayar yazılımları kullanılarak en optimal çözüme ulaşılabilir. Bu kapsamda Lingo, duyarlılık analizi yaparak en uygun sonuçlar üretebilen bir bilgisayar programı olup Windows ortamında da sağlıklı sonuçlar verebilmektedir. (Sipahioglu ve Saraç, 2003).

## **III. Ulaştırma Problemleri ve Modeli**

Ulaştırma modeli, yönelem araştırmasında, problem çözüm yöntemlerinden biri olup birçok sektörde yaklaşık 55 yıldır etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntem bir çok alanda faaliyet gösteren şirket/firma, fabrika veya organizasyonların ürettikleri malların pazarlara dağıtımında, çeşitli rotalama ve güzergah seçimi problemlerinde, belirli bir sistemin parçası durumunda bulunan makinelerin ve personelin uygun şekilde dağıtımının yapılması gibi konularda meydana gelen problemlerin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır. Ulaştırma modelinin amacı; en rasyonel şekilde, en az maliyetle, en uygun dağıtımın yapılmasıdır. (Işık ve Ertuğrul, 2008).

### *A. Ulaştırma Probleminin Matematiksel Modeli*

Ulaştırma modeli, matematiksel bir model olup, ürünlerin sunum merkezlerinden, istem merkezlerine, minimum maliyet ilkesi ile dağılımını belirler. Bu modele ait parametreler arz, talep ve birim maliyetlerdir (Chanas ve Kuchta, 1998). Bu problemler, merkezlerin kapasitelerine ilişkin kısıtlamalar ve sunum merkezlerinden istem merkezlerine ait birim taşıma maliyetleri ile belirlenir. (Çelikoğlu ve Moralı, 2000)

Ulaştırma modellerinin uygulanmasında doğrusal programlama varsayımları kullanılmaktadır (Aksoy, 1999).

*Ulaştırma modelinde kullanılan varsayımlar:*

Doğrusal programlama modellerinde olduğu gibi, ulaştırma modelinin kurulması ve uygulanmasında da bazı varsayımların kabul edilmesi gerekmektedir. Bu varsayımlar, aşağıda verildiği şekilde sıralanabilir:

1. Sunum ve istem merkezleri arasında dağıtım yapılacak bütün malların, aynı birimlerle ifade edilmesi gerekmektedir.
2. Dağıtım yapılacak olan malların, sunum merkezinden doğrudan üretim merkezine gönderilmesi, yani arada herhangi bir tali depodan veya ara dağıtım merkezinden nakil olmaması gerekir.
3. Sunum merkezinde üretilen toplam ürün miktarı ile istem merkezinin talep ettiği ürün miktarı denk olmalıdır. Aksi takdirde eşitliği sağlamak için ilave bir istem merkezi, yani kukla olarak tabir edilen yeni bir istem merkezi açmak, hesaplamaları buna uygun olarak yapmak gerekir.
4. Üretim merkezleri ile tüketim merkezleri arasındaki her malın, bir birimlik taşıma maliyeti bilinmeli ve bu maliyet değişmemelidir.
5. Ulaştırma modelinde yer alan kısıtlayıcılara ait karar parametrelerinin katsayıları 1 veya 0 olmalıdır.

Bu varsayımlara göre, genel olarak ulaştırma modeli matematiksel yapısı aşağıda belirtildiği şekilde tanımlanmaktadır (Kara, 1991).

*Amaç fonksiyonu:*

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (4)$$

*Kısıtlayıcılar:*

*1) Sunum kısıtı,*

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

Yukarıda belirtilen (3.2) numaralı formül üretim merkezinin toplam kapasitesini göstermektedir.

*2) İstem kısıtları,*

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Yukarıda belirtilen (3.3) numaralı formül istem merkezinin toplam talep miktarını göstermektedir.

Negatif değer almama Şartı:

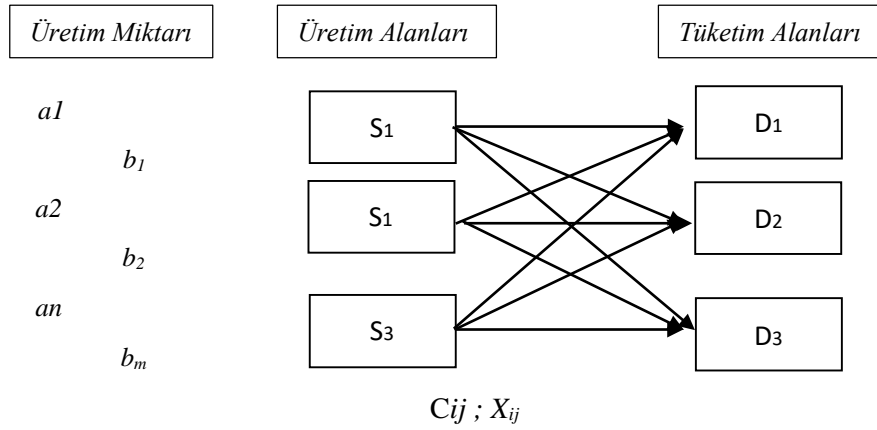
$$x_{ij} \geq 0 \quad (7)$$

$i=1,2,3..m$  ve  $j=1,2,3..n$

$$\sum_{i=1}^m a_i \geq \sum_{j=1}^n b_j \quad (8)$$

Uygun çözümü bulmak için sunum miktarı ile talep miktarı eşit olmalıdır. Bu durum, verilen matematiksel model içinde görülmektedir.

Üretim merkezinden tüketim merkezine ulaştırma probleminin gösterimi aşağıda belirtilmiştir (Özkal'dan aktarılan Kocaoğlu, 2010).



Şekil 1. Üretim Merkezinden Tüketim Merkezine Problemin Gösterilmesi

$m$  : Ulaştırma modelindeki toplam sunum alanı sayısı,

$n$  : Ulaştırma modelindeki toplam istem alanı sayısı,

$C_{ij}$  :  $i$ . üretim alanından  $j$ . tüketim alanına bir birimlik malın taşınması maliyeti

$a_i$  : Üretim alanının kapasitesi

$b_j$  : Tüketim alanının kapasitesi

$x_{ij}$  : Karar parametresi,  $i$  üretim alanından  $j$  tüketim alanına ulaştırılacak mal sayısı

$i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n$



		TÜKETİM MERKEZLERİ				
ÜRETİM MERKEZLERİ	1	2	.....	n	Toplam Üretim	
	1	C11 X11	C12 X12	C13	C14 X1n	a1
2	C21	C22	C23	C24	a2	
...					...	
m	Cm1 Xm1	Cm2 Xm2	Cm3	Cm4 Xm,n	am	
Toplam Talep	b1	b2		bn		

Şekil 2. Ulaştırma Tablosunun Genel Gösterilmesi

Şekil-2’de tabloda yer alan her bir bölüm göze veya hücre adıyla tanımlanmaktadır.  $X_{i,j}$  her i.hücreden j.hücreye taşınacak mal miktarını,  $C_{i,j}$  ise bu taşınan her malın birim fiyatını temsil etmektedir (Kotaman, 1998). Oluşturulan ulaştırma modeline ait uygun çözüme ulaşılabilmesi için toplam üretim miktarının, toplam tüketim miktarına eşit veya ondan büyük olması gerekmektedir. Yukarıdaki tabloda m sayısı kadar satır, n sayısı kadar sütun vardır. Dolayısıyla toplam hücre sayısı  $m \times n$  ifadesinden elde edilmektedir.

#### B. Dengeli ve Dengesiz Ulaştırma Problemleri

Ulaştırma modelinde, üretim merkezlerindeki üretim miktarı ile talep edilen ürün miktarı eşitse, bu ulaştırma problemine *Dengeli Ulaştırma Problemi* denir. (Kabak, 2000).

Eğer arz edilen ürün miktarları ile talep edilen ürün miktarları arasında eşitlik yok ise bu durumda ortaya çıkan ulaştırma problemlerine, *Dengesiz Ulaştırma Problemleri* denir. Bu problemin dengeli hale getirebilmesi için “kukla” diye tabir edilen ilave bir istem merkezine ihtiyaç duyulur.

Bu sorunun dengelenmesi için aradaki arz fazlası miktar için yapay talep noktası oluşturulur. Yapay olarak hazırlanmış bu talepler, gerçekten gönderim yapılmayacağı için, gönderim yani ulaştırma maliyeti sıfır olacaktır.

Toplam arz edilen ürün miktarı, talep edilen ürünün miktarını karşılamıyorsa oluşacak durumdur. Karşılanamayan bu talep miktarı kadar yapay olarak arz noktası oluşturulur. Gerçekte karşılanamamış bu talep miktarı veya olmayan bir arz noktasından karşılanması durumunda ortaya ceza maliyeti çıkar.

*C. Ulaştırma Probleminin Başlangıç Çözüm Yöntemleri*

Doğrusal programlama modellerinde oluşturulan matematiksel modellerin çözümünde simplex algoritması kullanıldığı gibi en uygun çözüme ulaşabilmek için Kuzeybatı köşe, en düşük maliyetli gözeler ve VAM yöntemleri de kullanılmaktadır (Kabak, 2000).

*Kuzeybatı köşe yöntemi:*

Kuzeybatı köşe yöntemi ilk kez Dantzig tarafından önerilmiş olup, Charnes ve Cooper tarafından da uygulamaya dönük çalışmalar yapılmıştır (Kabak, 2000). Kuzeybatı köşe yönteminde başlangıç çözümüne ulaşmak için uygulanması gereken safhalar, aşağıda sıralanmış maddelerde belirtilmiştir (Winston, 2004):

1. Üretim ve talep miktarları arasında yer alan en küçük miktar mal, ulaştırma tablosunun sol üstünde yer alan  $X_{1,1}$  hücresine gönderilir.

2. Gönderme yapılan hücreye atanan mal miktarı değerlendirildiğinde; 1. üretim merkezinin ürettiği ürün miktarı kullanılmasına rağmen 1. tüketim merkezinin talep miktarı karşılanamamış ise ilk sütunda aşağıya doğru hareket edilerek karşılaşılan hücreye üretim ve tüketim merkezleri içerisinde yer alan en düşük miktar malın dağıtımı yapılır.

3. Ancak,  $X_{1,1}$  hücresinde bulunan 1. tüketim merkezinin talep miktarı karşılanmasına rağmen, 1. üretim merkezi tarafından üretilen üretim miktarı hâlâ bitmemiş ise 1. sütun işleminden çıkarılır. Daha sonra sağ istikamette ilerlenerek, karşılaşılan ilk hücreye, üretim ve tüketim miktarları içinde en düşük miktarın ataması yapılır.

4. 1. satır, 1.sütunda yer alan hücreye yapılan dağıtım ile 1. üretim merkezinin üretim miktarının dağıtımı yapılmış ve 1. tüketim merkezinin talebi karşılanmış ise, birinci satır ve birinci sütun yapılan işleminden çıkartılır ve hücrenin sağ altında yer alan hücreye geçilerek diğer işlemlere devam edilir.

Bu yöntem, uygulama itibariyle en basit ancak elde edilen çözüme göre en iyi çözüme uzak olan bir yöntemdir (Kabak, 2000).

*En düşük maliyetli gözeler yöntemi:*

Bu yöntemde, üç tür yaklaşım metodu uygulanır:

*1.Satır yaklaşımı*

Tabloda yer alan ilk satırdaki en küçük maliyetli hücreye üretim ve tüketim miktarları içinden en düşük miktar kadar dağıtım yapılır. Bu tahsis yapıldıktan sonra tüketim talebi karşılanmış fakat üretim merkezindeki ürün miktarının hepsinin dağıtımı yapılmamış ise aynı satırda yer alan ikinci en düşük maliyetli hücreye üretim ve talep miktarlarına dikkat edilerek dağıtım yapılır ve üretim merkezindeki toplam üretim miktarı sona erdikten sonra bir alt satıra geçilerek işlemlere devam edilir.

### 2. Sütun yaklaşımı

Tabloda yer alan ilk sütunun en küçük maliyetli olan hücresine üretim ve tüketim merkezleri içerisinde en küçük miktar kadar dağıtım yapılır. Bu dağıtım sonrasında tüketim merkezinin talebi karşılanmamış ise ikinci en düşük maliyetli hücreye üretim ve tüketim merkezlerindeki miktarlar dikkate alınarak dağıtım yapılır, tüketim merkezindeki talep miktarı karşılanmış ise sağdaki sütuna geçilerek aynı işlemlerin uygulanmasına devam edilir.

### 3. Genel yaklaşım

Bu yaklaşım uygulanırken tabloda yer alan hücreler arasındaki en düşük maliyetli hücre seçilerek, o hücreye ait tüketim ve üretim miktarları göz önünde bulundurulurken en büyük miktarda atama yapılır. Bu işlemin aynı sırasıyla diğer düşük maliyetli hücrelere de uygulanır. Bu yaklaşımın esas gayesi en düşük maliyetli hücreye en yüksek dağıtım miktarının yapılmasıdır.

#### Vogel'in yaklaşım yöntemi:

Vogel'in yaklaşım yöntemi kısaca VAM yöntemi olarak da ifade edilebilir. Bu yöntemde diğer yöntemlerdekinin aksine başlangıç çözüm yöntemine kolay bir şekilde ulaşılamaz fakat yöntemin uygulanması ile elde edilen sonuçlar, en iyi çözüme oldukça yakındır (Kabak, 2000).

Vogel'in yaklaşım yönteminde izleyen maddelerde belirtilmiş işlemler yapılır (Kara 1991, Winston 2004):

1. Tablodaki maliyetler dikkate alındığında aynı sütun ve aynı satır içerisinde en düşük maliyetli iki hücre ayrı ayrı olarak belirlenir. Bu işlem tüm satır ve sütunlar için ayrı ayrı olacak şekilde yapılır.

2. En düşük maliyetli iki hücre belirlendikten sonra büyük olan maliyetten küçük olanı çıkartılarak her bir satır ve sütun için ceza değerleri tespit edilir. Bu belirlenen ceza değerleri her bir satır ve sütunun sonuna yazılır.

3. Satır ve sütunların her birinin sonuna yazılan ceza değerleri içerisinde en kötü yani en büyük fark belirlenir. Bu belirlenen en yüksek ceza değeri hangi satır veya sütunda ise o satır veya sütunda yer alan en düşük maliyetli hücreye üretim ve tüketim merkezlerindeki miktarlar göz önüne alınarak en küçük miktarda dağıtım yapılır. Talebi karşılanan sütun veya üretimi biten satır tablodan çıkartılarak işlemlere devam edilir.

4. Yukarıdaki işlemler diğer satır ve sütunlar için de yapılır ve işlemlere satır veya sütun sayısı teke indirilene kadar devam edilir. En küçük maliyetli hücreye atama yapılması ile çözüm elde edilmiş olur.

Satır ve sütunların ceza miktarları hesaplandıktan sonra birden fazla en yüksek ceza değeri elde edilebilir. Böyle bir durumda çözümün daha hızlı bir şekilde ortaya çıkartılabilmesi için aşağıda sıralanmış maddelerde belirtilen adımlar izlenmelidir (Kabak, 2000):

1. Aynı satır veya sütunda en büyük ceza değeri mevcutsa bu durumda en düşük maliyetin keşiştiği hücreye dağıtım yapılır. Ancak bu hücredeki maliyet değeri en düşük değilse bu kez aynı satır veya sütunda bulunan en düşük maliyetli hücre hangisiyse o hücreye dağıtım yapılır.

2. Ceza değerleri içerisinde en yüksek ceza değeri birden çok satır veya sütunda bulunuyorsa bu satır veya sütunlar içerisinde talep ve üretim miktarı bakımından en yüksek miktar seçilerek uygun dağıtım yapılır.

*D. En İyi Çözümün Elde Edilmesi İçin Uygulanması Gereken Yöntemler*

Yukarıda ifade edilen çözüm yöntemlerinden hangisi uygulanırsa uygulansın, elde edilen çözümün en iyi çözüm olduğunu test etmek gerekmektedir. Elde edilmiş çözümde, satır ve sütun sayısı toplamının bir eksiği kadar hücreye dağıtım yapılmışsa, bu çözümlerden herhangi birine en iyi çözümü bulma testi yapılabilir (Aksoy, 1999).

Ulaştırma modeline uygun olarak icra edilen yöntemlerle, başlangıç çözüm yöntemini ortaya çıkardıktan sonra, bu çözüm ile ulaşılabilecek maliyetin en ekonomik olup olmadığı test edilir. Bu test icra edilirken amaç fonksiyonunun en iyi sonucu ortaya koyması için temel olmayan parametrelerin model üzerinde denenmesi gerekmektedir. Bu işlemlerin yapılması ile temel olmayan parametreler, temel parametre durumuna getirilerek, amaç fonksiyonundaki iyileşmelere bakılır. Temel haline gelecek parametrelerin ortaya çıkarılması için başlangıç çözümünde atama yapılmamış hücrelerden hareket edilir (Aksoy, 1999).

Belirlenmiş başlangıç çözüm yöntemine, en iyi çözüm bulma testini uygulayabilmek için 2 alternatif bulunmaktadır. Bunlar; Atlama Taşı ve MODİ yöntemleridir.

*Atlama taşı yöntemi:*

Bu yöntem, başlangıç çözümünde elde edilen dağıtım planına göre boş kalan bir hücreye yapılan atamanın amaç fonksiyonunu ne kadar etkileyeceğini hesaplamak için uygulanır. Temel olmayan parametrelerin temel hale getirilmesi amacıyla boş bırakılmış her bir hücreye yapılacak bir birimlik bir atama ile meydana gelecek test miktarı ( $d_{i,j}$ ) hesap edilmelidir. Bu test miktarı aynı zamanda gizli maliyet anlamına gelmektedir. Bu yöntem uygulanırken yapılması gereken işlem sırası izleyen maddelerde belirtilmiştir (Kabak, 2000):

1. Boş hücreler kontrol edilir, saklı maliyeti hesaplanacak hücre tespit edilir.
2. Tespit edilen gözeden başlayarak yalnızca yatay ve dikey hareket edip dolu hücrelerde ise dik açılı dönüşler yaparak en sonunda aynı boş hücreye dönen çevrimler oluşturulur.
3. Yukarıdaki belirtilen faaliyet yapılırken atama yapılmamış olan hücrenin maliyeti pozitif, döngü içerisindeki maliyetler ise sırasıyla negatif, pozitif ve negatif kabul edilir.
4. Belirlenen döngü içerisindeki gözelerle ait maliyetler bir önceki adımda belirlenen negatif ya da pozitif olmaları dikkate alınarak toplanır. Yapılan işlem sonucunda boş olan gözelerin saklı maliyeti tespit edilmiş olur. Söz konusu saklı maliyet üç şekilde olabilir:

i.  $d_{i,j} > 0$  ise, atama yapılmamış olan gözeeye atama yapıldığı takdirde toplam maliyet artar. Bu nedenle boş bırakılan gözenin aynı şekilde kalmasına karar verilir.

ii.  $d_{i,j} < 0$  ise, atama yapılmamış olan gözeeye atama yapılması toplam maliyeti azaltacaktır. Bu nedenle bu gözeeye atama yapılır. Ancak dikkat edilmesi gereken husus o gözenin yer aldığı satır ve kolon miktarının aynı şekilde kalması gerektiğidir. Boş gözeeye atanacak en ideal miktar, döngü içerisindeki negatif olarak işaretlenen gözelerdeki en düşük seviyedeki atama miktarı olmalıdır. Söz konusu miktar pozitif olarak işaretlenen gözelerle eklenirken, negatif olarak işaretlenen gözelerden ise eksiltilir. Bu şekilde yapılan işlemle o gözeeye ait kolon ve satır toplam atama sayısının sabit kalması gerçekleştirilmiş olur.

iii. Test miktarı sıfıra eşitse ( $d_{i,j}=0$ ), atama yapılmamış olan hücreye atama yapılması toplam maliyeti değiştirmeyecektir. Ancak bu seçenek dağıtım planı içerisinde birbirinin yedeği olabilecek planların da olabileceğini göstermektedir.

5. Her atama yapılmamış olan gözelerin saklı maliyetleri tek tek hesaplanmalıdır. Çözümün en uygun çözüm olması için saklı maliyetlerin sıfıra eşit veya büyük olması gerekmektedir. Ne kadar çok saklı maliyet değeri sıfır rakamını veriyorsa o kadar sayıda birbirinin yedeği olabilecek dağıtım planı var demektir.

6. Dağıtım planında belirtilen tablodaki boş kalan hücrelerin hepsinin saklı maliyetleri sıfır ya da sıfırdan büyük olana kadar yukarıda belirtilen işlemler tekrarlanır. Eğer birbirinin yedeği olabilecek dağıtım planları tespit edilmek isteniyorsa, saklı maliyeti sıfıra eşit olan gözelerle de aynı işlemler tekrar edilerek en düşük maliyetli en iyi çözüme ulaşılmış olur.

*MODİ yöntemi:*

MODİ yönteminde, atlama taşı yönteminde olduğu gibi atama yapılmamış olan gözelerdeki saklı maliyeti bulmak için çevrim yapılmaz. Atlama taşı yöntemi bu bakımdan oldukça zahmetliken MODİ yönteminde uygulanan işlem sayısı daha pratik yöntemler içermektedir.

MODİ yönteminde problem mutlaka dengelenmiş kabul edilir ve oluşturulan ulaştırma modelinin genel formülü aşağıdaki matematiksel ifadeyle gösterilebilir:

Model (Primal):

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (3.6)$$

Kısıtlayıcılar:

i. Sunum:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.7)$$

ii. İstem:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.8)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i = \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_{ij} \quad (3.9)$$

Negatif değer almama şartı:

$$x_{ij} \geq 0 \quad i=1,2,3,\dots,m \quad (3.10)$$
$$j=1,2,3,\dots,n$$

Model (Dual):

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Max } Y = \sum_{i=1}^m a_i U_i + \sum_{j=1}^n b_j V_j \quad (3.11)$$

Kısıtlayıcılar:

$$U_i + V_j \leq C_{ij} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.12)$$
$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Birer değişken olan  $U_i$  ve  $V_j$  (+) veya (-) değerlere sahip olabilir. Dual modeldeki değişken miktarı primal modelde yer alan satır ve sütun sayılarının toplamı kadardır. Çünkü primal modelde satır ve sütun sayısı toplamı kadar kısıtlayıcı fonksiyon bulunmaktadır. Model Dual'de yer alan  $U_i$  değişkeni sunum kısıtlayıcısı,  $V_j$  değişkeni ise istem kısıtlayıcısı olarak değerlendirilmektedir. Buna ilaveten dual modelde 'm' sayısı kadar satır ve 'n' sayısı kadar sütun olduğu için toplam denklem sayısının (m+n) kadar olduğu açıktır.

Ancak bu tespit edilen denklemlerden satır ve sütun sayısının ancak bir eksiği kadar çözüm sayısına ulaşılacağından hareketle  $V_j$  veya  $U_i$  değerlerinden biri sıfır olarak kabul edilmelidir. Bu koşullar içerisinde genel bir uygulama olarak  $U_i$  değeri sıfır kabul edilerek yapılan hesaplamalarda  $U_i + V_j$ 'nin toplamı o gözedeki maliyet değerine ( $C_{ij}$ ) eşit olmalıdır. Bu kural bize hesaplamalarda  $U_i$  veya  $V_j$ 'nin değerini verecektir. Atama yapılmamış olan

gözelerin saklı maliyetleri (diğ) de  $U_i$  ve  $V_j$ 'nin toplamından o gözedeki maliyetin çıkartılması ile bulunur.

*MODİ yönteminde yapılması gereken işlemler:*

1. Kuzeybatı köşe, en düşük maliyetler veya VAM yaklaşım yöntemlerinden biriyle tespit edilen en düşük maliyetli başlangıç çözüm yöntemindeki dağıtım planı tespit edilir.

2. Her bir satır/sunum merkezine  $U_i$ , her bir sütun/istem merkezine ise  $V_j$  değeri hesap edilmelidir. Bu işlem yapılırken genel bir uygulama olarak  $U_1$  değer sıfır olarak kabul edilir. Atama yapılmış olan gözeler için  $U_i$  ve  $V_j$  değerlerinin toplamı o gözedeki maliyet hesabını vermesi gerektiğinden hareketle satır ve sütunların her birinin  $U_i$  ve  $V_j$  değerleri hesap edilir.

3.  $U_i$  ve  $V_j$  değerleri hesap edildikten sonra her bir boş gözenin saklı maliyetleri o satır ve sütuna ait  $U_i$  ve  $V_j$  değerleri toplamından yine o gözedeki maliyetin çıkartılması ile bulunur.

4. Atama yapılmamış boş bırakılmış bütün gözelerin gizli maliyetleri, sıfıra eşit veya sıfırdan küçükse mevcut çözüm en uygun çözüm olacaktır. Bu değer pozitif olması söz konusu gözeye atama yapıldığı takdirde maliyetin azaltılabileceği anlamını taşır. Eğer birden fazla pozitif değerli saklı maliyet varsa bu durumda en büyük pozitif değerli gözeye atama yapılmalıdır.

5. Atama yapıldığı takdirde maliyetin azaltılabileceği göze tespit edilmeyi müteakip söz konusu hücreden başlamak şartıyla kapalı bir döngü oluşturulur.

6. Atama yapılacak içi boş hücreye pozitif öteki dolu hücrelere ise sırasıyla; negatif, pozitif ve negatif değerler tahsis edilir. Döngü içerisindeki ilerleme istikameti atama yapılmış olan gözelerde yatay ve dikey 90 derece olacak şekilde uygulanmalıdır.

7. Atama yapılmamış olan hücreye yapılacak dağıtım miktarı, çevrimde (-) olarak işaretlenmiş olan hücreler içerisinde en düşük hücrenin değeri kadar olmalıdır. Bu değer tespit edildikten sonra sunum ve istem miktarlarının aynı kalması koşuluyla döngü içerisindeki yapılan işaretlemeyle uygun olarak ilgili gözelerde eksiltme veya artırma yapılır.

8. Atama yapılmamış hücrelerin tümünün saklı olan maliyetleri "0" veya negatif bir rakam olana kadar devam edilmelidir. Bu şart sağlandığında elde edilen dağıtım planı en uygun dağıtım planı olacaktır.

#### *E. Ulaştırma Problemleri Konusunda Yapılmış Çalışmalar*

Bir kurum veya organizasyona ait personel, malzeme ya da üretimi gerçekleştirilen çeşitli malların bir/birçok merkezden çeşitli dağıtım noktalarına taşınması faaliyeti tedarik zincirinin en maliyetli halkasını oluşturmaktadır. Bu faaliyetin etkin olarak yürütülebilmesi için, kurumların ve organizasyonların ulaştırma problemlerini optimum çözümü verecek şekilde modellemesi ve icra etmesi gerekmektedir. Bu kapsamda çeşitli kurumların ulaştırma problemlerine çözüm üretmek konusunda yapmış oldukları çalışmalar incelenmiş ve çalışmalarda elde edilen sonuçlar izleyen maddelerde sunulmuştur.

Akaryakıt ve yağ dağıtım maliyet optimizasyonu örnekleri:

Tor (1991), yaptığı çalışmada; ulaştırma modelini kullanarak akaryakıt dağıtımının maliyet optimizasyonu konusunu incelemiştir. Çalışmada 1988 verileri ile bir petrol şirketine ait toplam dört rafineden üç şehir merkezine benzin dağıtımının taşıma maliyetini en aza indirecek bir dağıtım planı oluşturulmuştur. Çalışmada sadece kuzeybatı köşe yöntemi kullanılmış, diğer yöntemleri en iyi çözümü vermesine rağmen kullanılmamıştır. Bu çözüm yöntemi ile elde edilen başlangıç çözüm yöntemi üzerinden en iyi çözüm bulma testleri yapılmıştır.

Kabak (2000), yaptığı çalışmada ulaştırma modelini kullanarak akaryakıt dağıtımının maliyet optimizasyonu konusunu incelemiştir. Çalışmada Kara Kuvvetlerine ait dört birliğin, dört ihtiyaç maddesinin iki farklı dağıtım yolu ile ulaştırma maliyetinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. VAM yöntemi ile en iyi başlangıç çözüm yöntemi elde edilmiş, en iyi çözüm bulma testinde Atlama Taşı ve MODİ yöntemleri kullanılmış ve Lindo programı ile bilgisayar ortamında çözüm gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda; akaryakıt ikmallerinin araştırma yapılmadan ve isteklere göre dağıtım yapılması durumunda ulaştırma maliyetinin çok daha fazla olacağı tespit edilmiştir.

Kocaoğlu (2010) yaptığı çalışmada, ulaştırma modelini kullanarak akaryakıt dağıtımının maliyet optimizasyonu konusunu incelemiştir. Çalışmada MSB'ye bağlı bir başkanlığa ait Trakya bölgesinde üç değişik bölgede yer alan depolardan yirmi yedi farklı ilçede bulunan askeri birliklere akaryakıt taşınması problemi ulaştırma modeli yardımıyla çözülmüştür. En düşük maliyetli gözeler yöntemiyle en iyi başlangıç çözümü elde edilmiş, en iyi çözüm bulma testinde Atlama Taşı ve MODİ yöntemleri kullanılmış ve Lingo yazılımı ile MATLAB Optimization Toolbox kullanılarak bilgisayar ortamında çözüm gerçekleştirilmiştir. Çalışma nihayetinde tespit edilen dağıtım planına uygun olarak maliyet toplamı 104.561,84 TL olarak hesaplanmıştır.

Aksoy (1999), yaptığı çalışmada ulaştırma modelini kullanarak madeni yağ dağıtımının maliyet optimizasyonu konusunu incelemiştir. 1998 yılına ait veriler kullanılarak yapılan çalışmada TPO kurumuna ait iki madeni yağ fabrikasından çeşitli il ve ilçelerde bulunan 21 adet depoya madeni yağ dağıtımının ulaştırma modeli ile maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. VAM yöntemi ile en iyi başlangıç çözüm yöntemi tespit edilmiş ve en iyi çözüm bulma testleri elde edilen sonuca uygulanmıştır. Elde edilen ulaştırma modelinin çözümü ayrıca QSB paket programı kullanılarak ta yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile mevcut dağıtım planı karşılaştırıldığında ulaştırma maliyetinde büyük ölçüde tasarruf sağlandığı tespit edilmiştir.

Gıda ve tekstil ürünlerinin dağıtım maliyet optimizasyonu örnekleri:

Sakarya vd (1996), yaptığı çalışmada ulaştırma modelini kullanarak et dağıtımının maliyet optimizasyonu konusunu incelemiştir. Çalışmada başlangıçta; 1992 verileri ile bir et balık kurumuna ait toplam 31 işletmenin taşıma maliyetlerini en aza indirecek bir dağıtım planı oluşturulmuştur. VAM yöntemi ile en iyi başlangıç çözüm yöntemi elde edilmiş ve bu çözüme uygulanan



MODİ testiyle en uygun çözüm bulunmuştur. Bu sonuçların elde edilmesiyle birlikte işletmeler arasında gerekli düzenlemeler yapılarak bazıları birleştirilmiş ve bu işletmeler arasından iki işletme dağıtım noktası olarak kabul edilerek transit ulaştırma modeli oluşturulmuştur. Bu yöntemle elde edilen sonuçlar bir önceki çalışma ile mukayese edildiğinde ulaştırma maliyetleri konusunda çok daha fazla tasarruf sağlandığı tespit edilmiştir.

Ergülen (2003), yaptığı çalışmada tamsayılı doğrusal programlama ile gıda ürünlerinin karayolu ile taşınması konusunu incelemiştir. Çalışmada bir firmaya ait yirmi dört ildeki temsilcilerine atama planı uygulanmıştır. Çalışmada her ayın ilk, ikinci ve üçüncü on günlerine ait değişken sefer sayısı kısıtları ve maliyetleri dikkate alınarak oluşturulan ulaştırma modeli Lindo paket programında çözülmüş ve elde edilen sonuçla mevcut durum karşılaştırıldığında ulaştırma maliyeti konusunda %9,01 lik bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sonuçla işletmelerde tamsayılı bir doğrusal programlama ile ulaştırma modeller kurularak maliyetin azaltılabileceği kanısına ulaşılmıştır.

Isık ve Ertugrul (2008), yaptıkları çalışmada ulaştırma modeli kullanarak bir gıda işletmesinde üretilen ürünlerin dağıtımlarının maliyet optimizasyonu konusunu incelemiştir. Çalışmada, bir ilde bulunan gıda alanındaki bir işletme tarafından üretilen bir ürünün depolardan tüketim merkezlerine dağıtımına ilişkin bir ulaştırma problemi ele alınmıştır. Bunun için işletmeye ait farklı üç ildeki depolardan beş adet markete yapılacak dağıtımda 2007 yılına ait birim taşıma maliyetleri hesap edilmiştir. VAM yöntemi ile en iyi başlangıç çözüm yöntemi elde edilmiş ve MODİ testiyle en uygun çözüm testi yapılmıştır. Yapılan test sonucunda başlangıç çözüm yöntemi ile bulunan dağıtım planının en iyi çözüm yöntemi olduğuna karar verilmiş ve dolayısıyla başlangıçta elde edilen bu dağıtım planı üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Problem ayrıca WinQSB paket programı kullanılarak da çözülmüş ve aynı sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda elde edilen model ile ulaştırma maliyeti konusunda %2 lik bir iyileşme tespit edilmiştir. Ayrıca bundan sonraki yapılan çalışmalarda genetik algoritmalar, tavlama benzetimi ve tabu arama gibi genel amaçlı sezgisel yöntemlerin de kullanılmasının uygun olacağı önerisinde bulunulmuştur.

Çakanel (2008), yaptığı çalışmada ulaştırma modeli kullanarak tekstil ürünlerinin dağıtımının maliyet optimizasyonu konusunu incelemiştir. 2007 yılı birim taşıma maliyetleri kullanılarak yapılan çalışmada bir ilde faaliyet gösteren tekstil fabrikasına ait ürünlerin üç farklı ilde bulunan gümrük merkezlerinden on farklı yabancı ülkeye yalnız karayolu ile ulaştırılması konusu ele alınmıştır. Oluşturulan modelde VAM yöntemi ile elde edilen başlangıç çözüm yöntemine Atlama Taşı ve MODİ testleri yapılmış ve yapılan test sonuçlarına göre başlangıç çözüm yönteminde elde edilen dağıtım planında değişiklikler yapılarak en iyi çözüm üreten dağıtım planı oluşturulmuştur. Problem ayrıca WinQSB paket programıyla da çözülmüş ve aynı sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan çalışma ile

oluşturulan model sayesinde taşıma maliyetlerinde yüksek miktarda kâr elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Taşımacılık sektöründe maliyet optimizasyonu örnekleri:

Günaydın (2006), yaptığı çalışmada ulaştırma modelini kullanarak ring taşımacılık faaliyetlerinin maliyet optimizasyonu konusunu incelemiştir. Çalışmada bir kurumda 2001 yılından itibaren icra edilen ring taşımacılık faaliyetinin maliyet etkinlik analizi ve rota optimizasyonu çalışması yapılmıştır. Ulaştırma modeli oluşturulurken tıpkı seyyar satıcı probleminde olduğu gibi ‘‘n’’ sayıda şehri ziyaret eden, her şehre yalnızca bir defa giden ve en kısa yoldan rotasını tamamlayarak başlangıç noktasına dönmeyi amaçlayan bir ulaştırma problemi ele alınmıştır. Bu kapsamda yapılması gereken çözüm algoritmaları oluşturulmuş ve çalışma sonucunda en düşük maliyetli rotanın tespit edilmesi sağlanmıştır.

Ergülen ve Kazan (2007), yaptıkları çalışmada bulanık mantığı tamsayılı doğrusal programlama modeli ile birleştirerek taşımacılık sektöründe maliyet optimizasyonu konusunu incelemiştir. Bu kapsamda; yüklerin taşınması için oluşturulan sistemlerin uygulanan çalışma prensiplerine göre çok çeşitli akış veya rota değerlendirilmesi, maliyet hesaplamaları ve alternatif işletim analizleri yapılarak oluşturulan model ile taşıma maliyetlerinin en aza indirilmesine çalışılmıştır. Çalışmada, bir firmanın bünyesinde yer alan departmanlarına yaptığı dağıtım için birinci aya ait 10’ar günlük taşıma miktar ve maliyet verileri kullanılarak matematiksel model oluşturulmuştur. Karar parametreleri tanımlanarak oluşturulan doğrusal programlama modelinin WinQSB paket programı yardımıyla çözümlenmesi sağlanmıştır. Bir sunum merkezinden birçok istem merkezine dağıtım yapıldığı ve istem merkezlerinin talep ettiği miktarların bulanık olduğu bir işletme için kurulmuş olan taşıma maliyet problemi çözümünde karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Sonuç olarak önerilen model ile mevcut durum karşılaştırıldığında taşıma maliyetlerinde %11,51 oranında bir iyileşme yapılabileceği tespit edilmiştir.

Mühimmat dağıtımında maliyet optimizasyonu örnekleri:

Kotaman (1998), yaptığı çalışmada ulaştırma modelini kullanarak mühimmat dağıtımının maliyet optimizasyonu konusunu incelemiştir. Çalışmada kolordu büyüklüğündeki bir birliğin bünyesinde yer alan 4 taburun, farklı cinslerdeki top mermisi ihtiyaçlarının 2 alternatifli yolla temin edilmesi faaliyeti ulaştırma modeli tanımlanmış ve söz konusu problemin amaç fonksiyonu ulaştırma maliyetinin minimize edilmesi olarak belirlenmiştir. VAM yöntemi ile en iyi başlangıç çözüm yöntemi elde edilmiş ve bu çözüm yöntemine en iyi çözüm bulma testlerinden Atlama Taşı ve MODİ yöntemlerinin her ikisi de uygulanmıştır. Bu yöntemle elde edilen sonuçlar mevcut durum ile karşılaştırıldığında ulaştırma maliyeti konusunda tasarruf sağlandığı görülmüştür. Ancak çalışmada; bilgisayar programının kullanılmadığı, yapılan işlemlerde bazı hesap hatalarının olduğu ve uygulanan yöntemlerin anlatımında birbirleriyle çelişkili ifadeler olduğu da gözlemlenmiştir.

#### IV. Gereç ve Yöntem

##### A. Gereç

Askeri birlikler ülkenin her noktasında görev yapmaktadırlar. Askeri ikmal maddelerinin, şehir merkezlerinde görev yapan birliklerden, ta en uçta hudut hattında nöbet bekleyen erlere kadar ulaştırılması ise lojistiğin en önemli maliyet kalemini oluşturmaktadır. Gerek barış gerekse de sefer zamanında birliklerin lojistik bakımından zamanında desteklenmesi hayati öneme haiz bir konudur. Bu kapsamda eldeki kaynakların etkin kullanılması zaman, maliyet ve iş gücü tasarrufu sağlayacağından lojistiğin can damarı olan ulaştırma probleminin de en rasyonel şekilde çözülmesi gerekmektedir. Bu kapsamda; yapılacak etkin bir ulaştırma sistemi lojistik desteğin, zamanında ve daha az maliyetle icra edilmesini sağlayacak ve önemli bir tasarrufu da beraberinde getirecektir.

Bu çalışmayla, günümüz muharebe koşullarında olası bir sınır ötesi harekâta muharebe görevi alabilecek tank birliklerinin, icra edecekleri harekât çeşitlerine göre, muharebenin ilk belli bir süresinde ihtiyaç duyacakları tank topu mühimmatlarının, en ekonomik şekilde birliklere nasıl ulaştırılması gerektiğine dair bir model geliştirilmeye çalışılmıştır.

Mühimmatların, mühimmat depolarında değil de birliklerin üzerinde bulundurulmasını sağlamak; bakım, uygun şartlarda muhafaza, emniyet, dağıtım gibi faaliyetlerin icrası için çok yüksek miktarda kaynak, insan gücü ve zaman kaybına neden olacaktır. Ayrıca yüksek miktarda depolanan mühimmatın kullanım süresi dolduktan sonra emniyetli bir şekilde envanterden çıkartılması hususu da ilave kaynak israfına neden olacaktır.

Bu çalışmada, üç adet mühimmat deposundan, mühimmat sefer stok planlamasına göre sevk edilen tank topu mühimmatlarının, birliklerin görev alacakları yerlerde herhangi bir ara kademeye uğramadan doğrudan muharebe sahasına yakın yerlerde önceden belirlenen noktalara konteynır araçlarla sevk edilmesine yönelik hesaplamalar yapılmıştır.

##### B. Yöntem

Bu çalışmada, çeşitli harekât nevelerine uygun olarak değişik bölgelerde görev alabilecek, toplam 8 Taburun, harekâtın ilk 12 günü içerisinde ihtiyaç duyacağı mühimmat miktarının, lojistik destek üssüne karayolu ile ulaştırma maliyetini minimize edecek bir çalışma yapılmıştır.

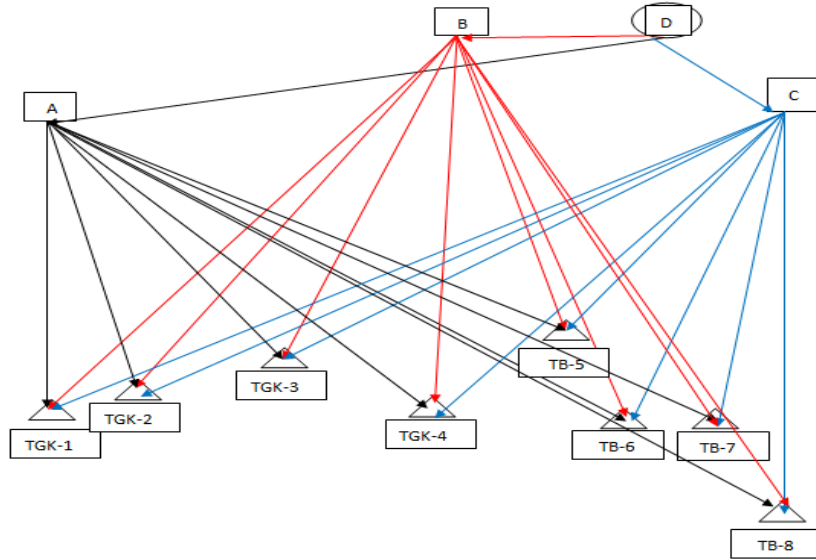
Önerilen matematiksel modelde kullanılmak üzere, taburların mühimmat talep miktarlarının belirlenmesi maksadıyla; ilgili dokümanlarda yer alan bazı verilere ve parametrelere başvurulmuştur. Bunlar sırasıyla, bir tank tabur görev kuvveti ve tank taburlarının envanterinde bulunan tank cinsleri ve mevcutları, söz konusu taburların icra edebileceği harekât çeşitlerine göre önceden bazı faktörlere göre hesaplanmış mühimmat sarf miktarları, taburların sahip olduğu her bir tank cinsine ait kıta yükü mühimmat miktarları, ulaştırma desteğinde kullanılacak araç tipleri ve sayıları ile çeşitli tipteki tank mühimmatına ait ambalaj özellikleridir. Harekât bölgesindeki ilgili mühimmat depoları ile destek

verilen tugayların cephane büroları arasındaki mesafeler ve dağıtım güzergâhlarını kapsayan şebeke ise ANDROUTE yol programı ve T.C. Karayolları Haritası kullanılarak elde edilmiştir.

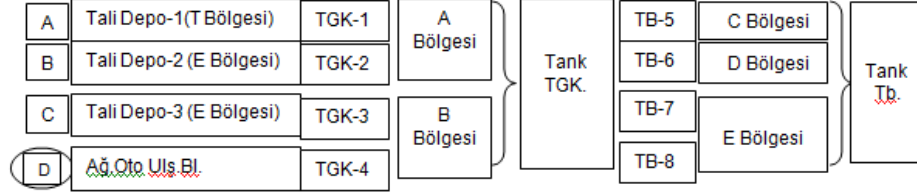
Bu kapsamda; A, B ve C bölgelerinde bulunan tali depolardan, D bölgesinde bulunan Ulaştırma Birliği'ne ait Konteynır araçlarıyla birliklerin hemen gerisinde bulunan lojistik destek üssüne ulaştırma problemi üzerinde durulmuştur.

Problemin çözümü ile ilgili olarak kabul edilen özel varsayımlar şunlardır:

1. Depolarda bulunan tüm mühimmatlar, aynı birimle ifade edilmektedir.
2. A, B ve C depolarından alınacak ve birliklere taşınacak mühimmat miktarları, tam olarak bilinmektedir.
3. A, B ve C depolarından her birliğin arazide bulunduğu noktaya kadar olan mesafe için bir birimlik taşıma maliyeti TL/Ton üzerinden hesaplanmıştır.
4. Mühimmat miktarları, önceden belirlenen stok miktarları ve depoların kapasitelerine göre önceden tali depolara taşınmıştır.
5. Hesaplamalarda, sadece tali depolardan, birliklerin arazide konuşlu oldukları yerlere olan mesafeler dikkate alınmıştır.



Şekil 2. Ulaştırma Modelinin Gösterimi

**Açıklama:**

Yukarıda belirtilen ulaştırma modeline uygun olarak ulaştırma birliğinde bulunan konteynır araçlarının, tali depolara, buradan taburların lojistik üssü olarak seçilen noktalara olan mesafeleri km cinsinden gidiş-dönüş olmak üzere hesaplanarak aşağıda belirtilmiştir

Tablo 1. Ulaştırma Bölüğü- Depo-Birlik Lojistik Üssü Arasındaki Mesafeler (Gidiş-Dönüş)

D → A → TGK-2 (1042 km.)	D → B → TGK-2 (1268 km.)	D → C → TGK-2 (1130 km.)
D → A → TGK-3 (1178 km.)	D → B → TGK-3 (956 km.)	D → C → TGK-3 (742 km.)
D → A → TGK-4 (1202 km.)	D → B → TGK-4 (968 km.)	D → C → TGK-4 (732 km.)
D → A → TB-5 (1538 km.)	D → B → TB-5 (798 km.)	D → C → TB-5 (396 km.)
D → A → TB-6 (1858 km.)	D → B → TB-6 (802 km.)	D → C → TB-6 (778 km.)
D → A → TB-7 (2178 km.)	D → B → TB-7 (1178 km.)	D → C → TB-7 (790 km.)
D → A → TB-8 (2200 km.)	D → B → TB-8 (1190 km.)	D → C → TB-8 (394 km.)

Atatürk  
Üniversitesi

Çalışmanın esas konusu, tankların muharebeye girdikten sonraki sarf edecekleri tank mühimmatının, *en düşük maliyetle birliğe kadar götürme usulü* ile yeniden ikmal edilebilmesidir. Tank birliklerinin muharebeye girmeden evvel hangi harekât çeşidinde nasıl kullanılacağı, askeri karar verme süreci içerisinde tam olarak tespit edilmektedir. Muharebe sahasında çeşitli görevlerde kullanılacak olan tank birliklerinin, muharebenin ilk 12 günü ihtiyaç duyacakları tank topu mühimmat tonajı belirlendikten sonra her bir tali depo yerinden birliklerin hemen geri bölgesinde oluşturulacak lojistik üssüne olan mesafeler dikkate alınarak ulaştırma maliyet hesabı TL/Ton olarak belirlenmiştir. Her bir konteynır aracı; mühimmat sandıklarının hacmi ve ağırlığı ile orantılı olarak maksimum 13 ton alabilecek şekilde yüklenebilmektedir. Söz konusu araçların 1 km. deki maliyeti 1.28 kuruş olarak tespit edilmiştir.

## *Harekât Ortamında Mühimmat Lojistiğinin Optimizasyonu*

Bu çalışmada oluşturulan ulaştırma probleminin başlangıç çözümlerini bulmak için izleyen maddelerde belirtilen çözüm yöntemleri kullanılmıştır.

1. Kuzey Batı Köşe Yöntemi
2. En Düşük Maliyetli Gözeler Yöntemi
3. VAM Yöntemi

Yukarıda ifade edilen çözüm yöntemlerinin ulaştırma problemine uygulanmasının ardından elde edilen başlangıç çözüm yöntemi MODI testine tabi tutulmuş ve en iyi çözüm yöntemine göre mühimmat dağıtım planı elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen en iyi çözüm yöntemi Lingo bilgisayar programı ve Microsoft Excel'de de çözülmüş ve aynı sonuçlar elde edilmiştir.

### V. Araştırma Bulguları

Üç adet mühimmat deposundan, sekiz adet tank birliğine ulaştırılması hedeflenen mühimmat ulaştırma problemi, dengelenmemiş bir ulaştırma problemidir. Çünkü sunum merkezindeki toplam mühimmat miktarı 1.649,02 ton iken istem merkezlerinin harekât ortamında alacakları görevlere göre 12 gün süre içerisinde ihtiyaç duyacakları mühimmat miktarı toplam 1 411,638 tondur. Bu durumda ulaştırma probleminin dengeli hale getirilmesi için TB-9 adıyla bir kukla istem merkezi oluşturulmuş ve bu merkezin istem talebi 237,382 ton olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda, yeniden oluşturulan ulaştırma tablosu Çizelge 5.1’de verilmiştir. Söz konusu ulaştırma modelinin başlangıç çözümünü bulmak için sırasıyla kuzeybatı köşe yöntemi, en düşük maliyetli gözeler yöntemi (satır, kolon ve genel yaklaşım) ve Vogel’in yaklaşım yöntemi uygulanmıştır.

Tablo 2. Dengelenmiş Ulaştırma Tablosu

İSTEM MERKEZLERİ										
SUNUM MERKEZLERİ	TGK-1	TGK-2	TGK-3	TGK-4	TB-5	TB-6	TB-7	TB-8	TB-9 (KUKLA)	SUNUM MİKTARI
A	101,21	102,59	115,98	118,35	151,43	182,94	214,44	216,61	0.00	538,3
	X1,1	X1,2	X1,3	X1,4	X1,5	X1,6	X1,7	X1,8	X1,9	
B	123,07	124,84	94,12	95,31	78,57	78,96	115,98	117,16	0.00	531,88
	X2,1	X2,2	X2,3	X2,4	X2,5	X2,6	X2,7	X2,8	X2,9	
C	112,24	111,26	73,05	72,07	38,99	38,79	76,60	77,78	0.00	578,84
	X3,1	X3,2	X3,3	X3,4	X3,5	X3,6	X3,7	X3,8	X3,9	
İSTEM MİKTARI	129,574	118,166	124,380	193,536	286,720	208,666	190,340	160,256	237,382	1649,02

Tablo 3. Dengelenmiş Ulaştırma Tablosu

İSTEM MERKEZLERİ										
SUNUM MERKEZLERİ	TGK-1	TGK-2	TGK-3	TGK-4	TB-5	TB-6	TB-7	TB-8	TB-9 (KUKLA)	SUNUM MİKTARI
A	101,21	102,59	115,98	118,35	151,43	182,94	214,44	216,61	0.00	538,3
	X1.1	X1.2	X1.3	X1.4	X1.5	X1.6	X1.7	X1.8	X1.9	
B	123,07	124,84	94,12	95,31	78,57	78,96	115,98	117,16	0.00	531,88
	X2.1	X2.2	X2.3	X2.4	X2.5	X2.6	X2.7	X2.8	X2.9	
C	112,24	111,26	73,05	72,07	38,99	38,79	76,60	77,78	0.00	578,84
	X3.1	X3.2	X3.3	X3.4	X3.5	X3.6	X3.7	X3.8	X3.9	
İSTEM MİKTARI	129,574	118,166	124,380	193,536	286,720	208,666	190,340	160,256	237,382	1649,02

*A.En İyi Çözümün Bulunması*

Ulaştırma problemine uygulanan çözüm yöntemlerinden sonra elde edilen dağıtım planına göre her bir çözüm yöntemi için gereken taşıma maliyetleri hesaplanır. Söz konusu taşıma maliyetleri Çizelge 5.2’de gösterilmiştir. Tablodan anlaşılacağı üzere; en düşük maliyet Vogel’in yaklaşım yönteminde elde edilmiştir.

Bu sonuca göre, en iyi çözüm testine VAM yaklaşımı ile elde edilen başlangıç çözüm yöntemindeki dağıtım planı tabi tutulacaktır. Elde edilen başlangıç çözüm yöntemi MODİ testine tabi tutularak en iyi çözüm elde edilmeye çalışılacaktır.

*Anatürk  
Üniversitesi*

Tablo 4. Uygulanan Çözüm Yöntemlerine Göre Maliyetlerin Mukayesesi

Uygulanan Çözüm Yöntemi	Taşıma Maliyetleri Toplamı (TL)	
Kuzeybatı Köşe Yöntemi	128 345,5981	
En Düşük Maliyetli Gözeler Yöntemi	Satır Yaklaşımı	120 083,48456
	Kolon Yaklaşımı	123 087,1971
	Genel Yaklaşım	114 799,7395
Yaklaşım Yöntemi (VAM Yöntemi)	114 052,79194	



B. MODİ Yöntemi

Uygulanan çözüm yöntemlerine göre en düşük maliyeti veren Yaklaşım Yöntemine(VAM Yöntemi) göre elde edilen maliyet dağıtım tablosu Çizelge-5'te verilmiştir. Bu maliyet tablosu üzerinde en iyi çözüme ulaşmak için MODİ yöntemi kullanılacaktır.

Tablo 5. VAM Yöntemine Göre Elde Edilen Maliyet Başlangıç Tablosu

SUNUM MERKEZLERİ	İSTEM MERKEZLERİ									SUNUM MİKTARI
	TGK-1	TGK-2	TGK-3	TGK-4	TB-5	TB-6	TB-7	TB-8	TB-9 (KUKLA)	
A	101,21	102,59	115,98	118,35	151,43	182,94	214,44	216,61	0,00	538,3
	X1,1 129,574	X1,2 118,166	X1,3	X1,4 53,178	X1,5	X1,6	X1,7	X1,8	X1,9 237,382	
B	123,07	124,84	94,12	95,31	78,57	78,96	115,98	117,16	0,00	531,88
	X2,1	X2,2	X2,3 124,380	X2,4 140,358	X2,5	X2,6	X2,7 106,886	X2,8 160,256	X2,9	
C	112,24	111,26	73,05	72,07	38,99	38,79	76,60	77,78	0,00	578,84
	X3,1	X3,2	X3,3	X3,4	X3,5 286,720	X3,6 208,666	X3,7 83,454	X3,8	X3,9	
İSTEM MİKTARI	129,574	118,166	124,380	193,536	286,720	208,666	190,340	160,256	237,382	1649,02

Taşıma Maliyeti: 114 052,79194 TL<sup>□</sup>

1. Tablo 5' de ifade edilen dağıtım planına göre dağıtım yapılmış hücreler için gösterge değerleri  $U1+V1=Cij$  denklemiyle hesaplanır. Gösterge değerlerinin elde edilmesi için  $U1=0$  olarak kabul edilir. Buna göre elde edilen sonuçlar aşağıdadır;

$$\begin{aligned}
 U1+ V1 &= C1,1 \\
 U1+ V2 &= C1,2 \\
 U1+ V3 &= C1,3 \\
 U1+ V9 &= C1,9 \\
 U2+ V3 &= C2,3 \\
 U2+ V4 &= C2,4 \\
 U2+ V5 &= C2,5 \\
 U3+ V5 &= C3,5 \\
 U3+ V6 &= C3,6 \\
 U3+ V7 &= C3,7 \\
 U3+ V8 &= C3,8
 \end{aligned}$$

U1=0 kabul edilerek.

$$\begin{aligned}
 U1 &= 0 \\
 U2 &= -23,04 \\
 U3 &= -62,42 \\
 V1 &= 101,21 \\
 V2 &= 102,59 \\
 V3 &= 117,16 \\
 V4 &= 118,35 \\
 V5 &= 101,41 \\
 V6 &= 101,21 \\
 V7 &= 139,02 \\
 V8 &= 140,2 \\
 V9 &= 0
 \end{aligned}$$

2. Dağıtım yapılmış hücrelerin gösterge değerleri kullanılarak dağıtım yapılmayan hücreler için saklı maliyet değerleri  $d_{ij}=U_i+V_j-C_{ij}$  formülü ile hesap edilir. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar aşağıdadır;

$$d_{1,3}= U_1+ V_3-C_{1,3} = 0+117,16-115,98= 1,18$$

$$d_{1,5}= U_1+ V_5-C_{1,5} = 0+101,41-151,43= -50,02$$

$$d_{1,6}= U_1+ V_6-C_{1,6} = 0+101,21-182,94= -81,73$$

$$d_{1,7}= U_1+ V_7-C_{1,7} = 0+139,02-214,44= -75,42$$

$$d_{1,8}= U_1+ V_8-C_{1,8} = 0+140,2-216,61= -76,41$$

$$d_{2,1}= U_2+ V_1-C_{2,1}=-23,04+101,21-123,07= -44,9$$

$$d_{2,2}= U_2+ V_2-C_{2,2}= -23,04+102,59-124,84= -45,29$$

$$d_{2,5}= U_2+ V_5-C_{2,5}= -23,04+101,41-78,57=-0,2$$

$$d_{2,6}= U_2+ V_6-C_{2,6}= -23,04+101,21-78,96= -0,79$$

$$d_{2,9}= U_2+ V_9-C_{2,9}= -23,04+0-0= -23,04$$

$$d_{3,1}= U_3+ V_1-C_{3,1}= -62,42+101,21-112,24= -73,45$$

$$d_{3,2}= U_3+ V_2-C_{3,2}= -62,42+102,59-111,26= -71,09$$

$$d_{3,3}= U_3+ V_3-C_{3,3}= -62,42+117,16-73,05= -18,31$$

$$d_{3,4}= U_3+ V_4-C_{3,4}= -62,42+118,35-72,07= -16,14$$

$$d_{3,8}= U_3+ V_8-C_{3,8}= -62,42+140,2-77,78= 0$$

$$d_{3,9}= U_3+ V_9-C_{3,9}= -62,42+0-0= -62,42$$

3.  $d_{1,3}$  saklı maliyet değeri pozitif olduğundan çözüm en iyi çözüm değildir. Bu nedenle çözüm testinin yapılabilmesi için pozitif değerli saklı maliyetli hücre olan seçilir.

4.  $X_{1,3}$  hücresinden başlamak suretiyle dağıtım yapılmış hücrelerde dik açılı istikamette ilerlenerek yeniden bu hücreye gelecek şekilde kapalı bir döngü oluşturulur. Bu kapsamda  $X_{1,3}$  gözesi için oluşturulan döngü;  $X_{1,3} - X_{2,3} + X_{2,4} - X_{1,4}$  şeklindedir.

5. Oluşturulan döngü içerisinde negatif değerli olan hücrelerden en düşük miktarlı olan Çizelge 5.21'de görüldüğü üzere 53,178'dir.

6. Çevrim içerisinde pozitif değer olarak işaretlenen hücrelere bu mühimmat miktarı kadar bir artış, negatif değer olarak işaretlenen hücrelere ise yine bu mühimmat miktarı kadar bir azalış yapılır. Bu işlem sonrasında oluşturulan yeni dağıtım planı; Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Tablo 6 MODİ Yöntemi İle En İyi Çözümün Uygulanması

SUNUM MERKEZLERİ	TGK-1	TGK-2	TGK-3	TGK-4	TB-5	TB-6	TB-7	TB-8	TB-9 (KUKLA)	SUNUM MİKTARI
A	101,21	102,59	115,98	118,35	151,43	182,94	214,44	216,61	0,00	538,3
	X1.1 129,574	X1.2 118,166	X1.3 53,178	X1.4	X1.5	X1.6	X1.7	X1.8	X1.9 237,382	
B	123,07	124,84	94,12	95,31	78,57	78,96	115,98	117,16	0,00	531,88
	X2.1	X2.2	X2.3 71,202	X2.4 193,536	X2.5	X2.6	X2.7 106,886	X2.8 160,256	X2.9	
C	112,24	111,26	73,05	72,07	38,99	38,79	76,60	77,78	0,00	578,84
	X3.1	X3.2	X3.3	X3.4	X3.5 286,720	X3.6 208,666	X3.7 83,454	X3.8	X3.9	
İSTEM MİKTARI	129,574	118,166	124,380	193,536	286,720	208,666	190,340	160,256	237,382	1649,02

Taşınma Maliyeti: 113 390,042 TL

Tablo 7 MODİ Yöntemine Göre Yapılan Yineleme Sonucunda Oluşan Dağıtım Planı

SUNUM MERKEZLERİ	V1=101,21	V2=102,59	V3=117,16	V4=118,35	V4=118,35	V6=101,21	V7=139,02	V8=140,2	V9=0	SUNUM MİKTARI	
A $U1=0$	101,21	102,59	115,98	118,35	118,35	151,43	182,94	214,44	216,61	0,00	538,3
	X1.1 129,574	X1.2 118,166	X1.3 81,3	X1.4 53,178	X1.5	X1.6	X1.7	X1.8	X1.9 237,382		
B $U2=-23,04$	123,07	124,84	94,12	95,31	95,31	78,57	78,96	115,98	117,16	0,00	531,88
	X2.1	X2.2	X2.3 124,380	X2.4 140,358	X2.5	X2.6	X2.7 106,886	X2.8 160,256	X2.9		
C $U3=-62,42$	112,24	111,26	73,05	72,07	72,07	38,99	38,79	76,60	77,78	0,00	578,84
	X3.1	X3.2	X3.3	X3.4	X3.5 286,720	X3.6 208,666	X3.7 83,454	X3.8	X3.9		
İSTEM MİKTARI	129,574	118,166	124,380	193,536	193,536	286,720	208,666	190,340	160,256	237,382	1649,02

7. Dağıtım yapılmamış diğer hücrelerin saklı maliyet değerlerine bakıldığında pozitif değerli bir maliyetin olmadığı görülmektedir. Bu aşamada elde edilen dağıtım planı en iyi çözümü sunmaktadır. Buna göre en iyi çözüm;

$$X1,1 = 129,564 \quad X2,7 = 106,886 \quad X1,9 = 237,382$$

$$X1,2 = 118,166 \quad X2,8 = 160,256$$

$$X1,3 = 53,178 \quad X3,5 = 286,720$$

$$X2,3 = 71,202 \quad X3,6 = 208,666$$

$$X2,4 = 193,536 \quad X3,7 = 83,454 \text{ şeklindedir.}$$

*Toplam taşıma maliyeti*

*Amaç fonksiyonu:*

$$Z_{\min} = X1,1 * C1,1 + X1,2 * C1,2 + X1,3 * C1,3 + X1,9 * C1,9 + X2,3 * C2,3 + X2,4 * C2,4 + X2,7 * C2,7 + X2,8 * C2,8 + X3,5 * C3,5 + X3,6 * C3,6 + X3,7 * C3,7$$

$$Z_{\min} = (129,574 * 101,21 = 13114,18454) + (118,166 * 102,59 = 12122,64994) + (53,178 * 115,98 = 6157,58444) + (237,382 * 0,00 = 0,00) + (71,202 * 94,12 = 6701,53224) + (193,536 * 95,31 = 18445,91616) + (106,886 * 115,98 = 12396,63828) + (160,256 * 117,16 = 18775,59296) + (286,720 * 38,99 = 11179,2128) + (208,666 * 38,79 = 8094,15414) + (83,454 * 76,6 = 6392,5764) = 113 390,042 TL.$$

Uygun temel çözümün elde edilmesi için satır ve sütun sayısının toplamının bir eksiği kadar yani  $3+9-1=11$  hücreye mühimmat dağıtımı yapılmış ve temel uygun çözüme ulaşılmıştır.

## VI. Sonuç

Modern harbin muharebe silahlarına getirdiği yenilikler, muharebe hizmet desteği için de geçerli olmuştur. Muharebe hizmet desteği; harekât alanındaki tüm unsurların, harbin her seviyesinde idamesi için gerekli olan temel imkân ve kabiliyetler, işlevler, faaliyetler ve görevlerdir. Muharebe hizmet desteği tek başına bir harbi kazanamaz, fakat onun olmayışı veya yetersiz oluşu mağlubiyetin sebeplerinden biridir.

Muharebe sahası, gelecekte büyük bir ihtimalle olağanüstü lojistik problemlerin ortaya çıkabileceği oldukça oynak muharebe faaliyetlerine sahne olabilecektir. Bu nedenle, muharebe hizmet desteğinden istenen amaç; birliklere uygun yer ve zamanda, tam olarak ihtiyaç duydukları ikmal ve hizmetleri sağlamaktır. Bunun yolu da barış zamanından başlayarak savaş zamanında da etkili bir dağıtım sistemi oluşturulmasıdır.

Muhtemel bir harekâta, birliklerin ihtiyaç duyacağı en önemli ikmal maddelerinden biri de mühimmatır. Mühimmat ikmalinin tam zamanında ve eksiksiz olarak ihtiyacı olan birliklere dağıtılması, muharebe etkinliğinin idamesi için son derece hassas ve önemli bir lojistik konusudur. Bu bakımdan mühimmat sarfiyatının diğer harekât nevelerine göre daha yüksek olduğu taarruz harekâtında da başarıya ulaşabilmek için birliklerin muharebe sahasında ihtiyaç duyacağı mühimmat ikmalinin zamanında ve aksaksız olarak yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada harekât ortamında muharebe görevi almış sekiz tank birliğinin, sınır ötesi bir harekâta alabileceği muhtemel görevlere yönelik olarak, muharebenin ilk 12 günü ihtiyaç duyacakları tank topu mühimmatlarının üç farklı il/ilçede bulunan mühimmat depolarından karayolu ile taşınması problemi ulaştırma modeli ile çözülmüştür.

Önerilen matematiksel modelde kullanılmak üzere, taburların mühimmat talep miktarlarının belirlenmesi maksadıyla; ilgili dokümanlarda yer alan bazı verilere ve parametrelere başvurulmuştur. Bunlar sırasıyla, bir tank tabur görev kuvveti ve tank taburlarının envanterinde bulunan tank cinsleri ve mevcutları, söz konusu taburların icra edebileceği harekât çeşitlerine göre önceden bazı faktörlere göre hesaplanmış mühimmat sarf miktarları, taburların sahip olduğu her bir tank cinsine ait kıta yükü mühimmat miktarları, ulaştırma desteğinde kullanılacak araç tipleri ve sayıları ile çeşitli tipteki tank mühimmatına ait ambalaj özellikleridir. Harekât bölgesindeki ilgili mühimmat depoları ile destek verilen tugayların cephane büroları arasındaki mesafeler ve dağıtım güzergâhlarını kapsayan şebeke ise ANDROUTE yol programı ve T.C. Karayolları Haritası kullanılarak elde edilmiştir.

Belirlenen kısıtlar çerçevesinde oluşturulan ulaştırma modelinin başlangıç çözümü için sırasıyla; Kuzey Batı Köşe, En Düşük Maliyetli Gözeler ve VAM Yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan bu başlangıç yöntemleri içerisinde en az taşıma maliyetini veren yöntem VAM yöntemi olmuştur. Bunun sonucunda; tespit edilen dağıtım planı MODİ yöntemi ile test edilmiştir. Ayrıca söz konusu ulaştırma problemi bilgisayar ortamında Lingo 17.0 bilgisayar programı ve Microsoft Excel yazılımı ile de çözülmüştür.

Atatürk  
Üniversitesi

### Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çizelge 4’de uygulanan çözüm yöntemleri, taşıma maliyeti toplamlarına göre kıyaslandığında; VAM yaklaşımı sonucunda elde edilen dağıtım planına göre toplam taşıma maliyeti 114 052,79194 iken en iyi çözüm yöntemleri ile yapılan testler neticesinde toplam taşıma maliyeti 113 390,042 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca söz konusu ulaştırma problemi bilgisayar programı ve yazılımı ile de çözülmüş ve sonuç aynı çıkmıştır.

Çalışmada muharebe görevi almış toplam sekiz tank birliğinin, muharebeye girdikten sonra, çeşitli harekât nevelerine göre, muharebenin ilk 12 günü içerisinde harcaması öngörülen tank top mühimmatının ulaştırma birliğine ait 30 adet konteynır kamyonlarla, muharebeyi icra eden her bir birliğin, hemen cephe gerisinde oluşturulacak lojistik destek üslerine taşınma problemi ele alınmıştır. Mevcut durumda, harekât ortamında mühimmat lojistiğinin sağlanması hali, muharebeye katılan birliklerin mühimmat istekleri doğrultusunda karşılanmakta, önceden bir planlama yapılmamaktadır. Bu çalışma ile muharebe ortamının karışıklığında tank topu gibi kritik olarak değerlendirilebilecek mühimmatın önceden yapılmış olan bir planlama ile daha seri ve daha ekonomik olarak taşınması öngörülmektedir. Aynı çalışma diğer birlikler için harekât ortamında kullanılan top, tanksavar gibi diğer silahların mühimmat ikmal için, bunun dışında yiyecek, su, teçhizat, akaryakıt gibi diğer ikmal maddelerinin birliklere en ekonomik şekilde ulaştırılması konusunda da yapılabilir.

Çalışmada, mühimmatların yalnızca karayoluyla birliklere kadar ulaştırılması planlandığından sadece bu ulaşım sistemine uygun olarak belirlenen rotalar dikkate alınmıştır. Ancak ani gelişen durumlara uygun olarak ve zor muharebe şartları dikkate alındığında; özellikle hafif silah mühimmatları için hava yolu veya diğer silahlar için de tren yolu gibi vasıtaların tercih edilmesi sağlanabilir. Bu koşullar çerçevesinde arzu edildiği takdirde tren ve hava yolu gibi diğer ulaşım vasıtaları da modele dahil edilebilir. Bu durumda; barış ve savaş ortamlarına göre askeri birliklere verilecek vazifenin önem ve öncelik derecesi dikkate alındığında lojistik bakımından hangi ulaşım vasıtasıyla hangi sonuçların elde edileceğine dair bazı çıkarımlarda bulunulabilir. Söz konusu çalışmada oluşturulan ulaştırma problemine süre gibi farklı değişkenlerin de eklenmesi suretiyle daha kapsamlı ve farklı sonuçların elde edilmesi mümkündür.

Sonuç olarak; gelişen dünya teknolojisi içerisinde, gerek askeri alanda gerekse sivil sektörde, lojistiğin en temel fonksiyon sahalarından biri olan ulaştırma faaliyeti, ülke ekonomileri için büyük bir kuvvet çarpanıdır. Ülkelerin refah ve gelişmişlik düzeylerine doğrudan etki edebilecek bu kuvvet çarpanı ne kadar etkin bir şekilde kullanılırsa, ülke ekonomisi de o ölçüde kalkınacaktır. Seferin ihtimalât ve müteakip harekât planları ile özellikle lojistik planların erken safhalarda yapılması zorunluluğu bir ihtiyaç olarak kendini göstermiştir. Bu kapsamda; tedarik zincirinin ve lojistik mimarının en önemli ve en maliyetli fonksiyon sahası olan ulaştırma faaliyetlerinin, süreklilik arz edecek şekilde, en az maliyetle en çok taşımının yapılması prensibiyle hareket edilmesi devletler için hayati öneme haiz bir konu haline gelmiştir.

#### **Kaynaklar**

Akardere, Y. (2005). Dinamik Mühimmat İkmal Sistemi Optimizasyon Çalışması, Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

- Aksoy, C.N. 1999.Ulaştırma Modeli ile İşletmelerde Dağıtım Sistemi Optimizasyonu ve Türkiye Petrol Ofisi Kurumunda Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, 103 s. Ankara
- Albayrak, A. 2005. Taktik Seviyedeki Kara Muharebeleri İçin Mühimmat İhtiyacının Belirlenmesinde Muharebe Modellerinin Kullanılması, Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Apaydın, A. 2005. Optimizasyon.389 s.Ankara.
- Çakanel, N. 2008.Ulaştırma Modeli ile Maliyet Optimizasyonu ve Bir Uygulama Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi,146 s., Denizli.
- Çetin, E. Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi Web Sitesi. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/matematik/kuralim.htm>  
Erişim Tarihi Ekim 2009
- Erdal, H. (2014). Mühimmat Dağıtım Ağı Optimizasyonu. Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Ergülen, A. ve Kazan, H. 2007.Taşımacılık Sektörünün İşleyiş Süreci, Bulanık Dağıtım Probleminin Tamsayı Doğrusal Model Denemesi. ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt 3 (Sayı 6);109-125.
- Ergülen, A. 2003. Gıda Ürünlerinin Kara Yolu ile Taşınmasında Maliyet Minimasyonu, Bir Tamsayı Doğrusal Programlama Uygulaması, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt.22 (Sayı 2);203-232
- Georgiev, A.V. (2004). Planning and Management of the Surplus Ammunition Disposal Process in the Bulgarian Armed Forces. (MBA Professional Report), Naval Postgraduate School, Monterey, California.
- Günaydın, D. 2006.Türk Silahlı Kuvvetlerinde Ring Taşımacılık Faaliyetlerinin Maliyet Etkinlik Analizi ve Ulaştırma Modelleri Yardımıyla Güzergah Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, 99 s.,İstanbul
- Isık, A.T. ve Ertugrul, 2. 2008. Bir Gıda İşletmesinde Ulaştırma Modeli ile Yeni Bir Dağıtım Planı Geliştirme, KMU 22BF Dergisi.Sayı 14
- Kabak, M. 2000. Kara Kuvvetleri Akaryakıt İkmal Sistemlerinde Ulaştırma Modelleri Yardımıyla Maliyet Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, 156 s.,İstanbul.
- Kara, 2. 1991, Doğrusal Programlama Bilim Teknik Yayınevi, 270,Eskisehir.
- Kocaoğlu, 2010 Bir Akaryakıt Dağıtım Dizgesinin Ulaştırma Giderinin Doğrusal Programlama Yoluyla En Aza İndirgenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, 114 s, Ankara

- Kotaman, S. 1998. Silahlı Kuvvetlerde İkmal Sistemlerinin Ulaştırma Modelleri Yardımıyla Maliyet Olarak Minimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, 165 s., İstanbul.
- Lingo Systems Inc. Web Sitesi. [www.lingo.17.com](http://www.lingo.17.com), Erisim Tarihi: 2018
- Sipahioglu, A. ve Saraç, T. 2003. Lingo 6 Kullanım Kılavuzu. [www.baskent.edu.tr/~bkececi/END304/Klavuz.pdf](http://www.baskent.edu.tr/~bkececi/END304/Klavuz.pdf) 2009
- Taha, H. A. 2002. Yöneylem Araştırması, (Çev. Baray, S. A. ve Esnaf, S.), Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Tor, F.O. 1991. Doğrusal Programlama ve Benzin Dağıtımının Ulaştırma Modeli Yardımı ile Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, 103 s., Ankara