



TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE BİR ÇİMENTO FABRİKASININ NAKLİYE PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

M. L. GÜL, S. ELEVLİ*

Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kütahya, TÜRKİYE

ÖZET

Karar değişkenlerinin tamsayı değerli olması gerektiği durumlarda kullanılan ve doğrusal programlama tekniğine benzer bir yaklaşım olan Tamsayılı Doğrusal Programlama Tekniği, lojistik problemlerin çözümünde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın ana amacı, bir çimento fabrikasının torba çimento nakliye işinde bir dış kaynak firmasından yararlanması durumunda elde edeceği maliyet avantajının tespit edilmesidir. Bu kapsamda, dış kaynak firmasının sahip olması gereken kamyon filosunun büyüklüğünün belirlenmesinde tamsayılı doğrusal programlamadan yararlanılmıştır. Çimento fabrikasının bayilerinin talepleri ve fabrikaya olan uzaklıkları ile değişik kapasiteli üç farklı kamyon tipine ilişkin maliyet bilgileri ana girdileri oluşturmuştur. Elde edilen çözüm yardımıyla çimento fabrikasına önerilecek nakliye fiyatları belirlenmiş ve bu fiyatların taşıyıcı kooperatiflerin fiyatlarına göre %35.1 oranında daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tam Sayılı Doğrusal Programlama, Çimento, Nakliye, Dış Kaynak Kullanımı.

SOLUTION of a CEMENT PLANT'S TRANSPORTATION PROBLEM BY USING INTEGER PROGRAMMING

ABSTRACT

Integer Programming similar to linear programming, used when decision variables required being integer, is widely used in solving logistic problems. Main goal of this study is to determine advantage of a cement plant in case of utilizing an outsourcing company for cement transportation. In this scope, integer programming has been used for determining the size of truck fleet of outsourcing company. Demand of each vendor of plant, their distance to plant and cost data about the three types of truck with different capacities have been main inputs for the study. Transportation prices for plant has been determined based on the fleet size obtained from the solution of integer programming model and found to be 35.1% less than the prices of transporter cooperatives.

Keywords: Integer Programming, Cement, Transportation, Outsourcing.

*E-posta: selevli@dumlupinar.edu.tr

1. GİRİŞ

1.1. Nakliye

Lojistik, çok genel olarak ürün akışının çıkış noktasından varış noktasına kadar planlanması, uygulanması ve kontrolüdür. Her türlü malzeme hareketini içeren faaliyetleri kapsamına alan lojistiğin temeli doğru ürünün doğru yerde, tam zamanında ve istenen miktarda bulunmasını sağlamak oluşturmaktadır.

Bir ürünün fiyatını belirleyen başlıca etkenlerden birisi lojistik maliyetleridir. Lojistik maliyetlerin ana parçaları ise toplam lojistik maliyetinin üçte birine karşılık gelen nakliye ve beşte birine karşılık gelen envanter maliyetleridir [1]. Bilindiği üzere nakliye veya taşımacılık en çok bilinen temel lojistik faaliyetlerden birisidir. Bu nedenle özellikle nakliye problemleri üzerine odaklanmak ve nakliye maliyetlerini mümkün oldukça aşağıya çekmek şirketlerin yoğun rekabet ortamında ayakta kalmalarının başlıca koşullarından birisi haline gelmiştir.

Bu kapsamda benzer olmakla birlikte süre, mesafe, taşıyıcı adeti ve taşınacak ürün miktarı gibi çeşitli konularda farklı ihtiyaçları ve varsayımları olan nakliye problemlerinin ele alındığı birçok çalışma yapılmıştır. Bunlara örnek olarak Shih [2], Ulucan ve Tarım [3], Kim and Kim [1], Ruiz et al [4], Chu [5] ve Olsson and Lohmander [6] verilebilir. İlgili çalışmalarda problemin modellenmesi ve çözümünde doğrusal programlama, tamsayılı doğrusal programlama ve karışık tamsayılı doğrusal programlama tekniklerinden faydalanılmış ve maliyet minimizasyonu hedeflenmiştir.

1.2. Türk Çimento Sektörü

Türk Çimento sektörü, teknolojik alt yapısıyla ve 39'u entegre 18'i öğütme ve paketleme olmak üzere 57 tesisiyle Avrupa'da ilk, dünyada ilk on üretici olma durumundadır. Sektörde faaliyet gösteren şirket sayısının yüksek oluşu, sektör içinde kıyasıya bir rekabetin yaşanmasına neden olmaktadır. Çimento fabrikalarının böyle bir ortamda varlıklarını sürdürebilmek için kalite, fiyat ve zamanında teslimat gibi hususlarda rekabet avantajına sahip olmaları gerekmektedir. Nitekim Ulusoy [7] tarafından yapılan bir çalışmada; çimento fabrikalarının "İstikrarlı Bir Kalite Düzeyi", "Güvenirliliği Yüksek Mamuller", "Teslimatta Güvenilirlik", "Düşük Fiyat" ve "Hızlı Teslimat" parametrelerini ilk beş rekabetçi öncelik olarak gördüklerini ortaya koymuştur.

Burada özellikle müşteriye teslimat noktasında önemli bir gelişme potansiyeli bulunmaktadır. Nitekim genellikle inşaat faaliyetlerinin hız kazandığı Mart ve Kasım ayları arasında ortaya çıkan yüksek talep artışı, zaman zaman çimento üreticilerinin müşteriye ürün teslimatında aksamalar yaşamasına neden olmaktadır. Bunun en önemli nedenlerinden birisi, çimento fabrikalarının nakliye işinde aynı dönemlerde iş yoğunluğu artan taşıyıcı kooperatiflerden yararlanmasıdır. Son yıllarda bu problemin çözümü için nakliye alanında uzman bir dış kaynak firmasından yararlanılması önemli bir alternatif olarak gündeme gelmiştir. Bilindiği üzere Dış Kaynak Kullanımı (DKK), daha önce firmanın kendisi tarafından gerçekleştirilen fonksiyonlarının başka bir firma tarafından temin edilmesidir. Bu şekilde çimento nakliyesi işinin uzman dış kaynak firması tarafından üstlenilmesi, zamanında ve problemsiz ürün teslimi nedeniyle müşteri memnuniyetinin artmasına neden olacaktır. Ayrıca, nakliye işinin tek elden sistematik olarak yapılması önemli maliyet avantajı da sağlayacaktır. Bu durum ise çimento satış fiyatının müşteri lehine değişmesine yol açacaktır.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma kapsamında, bir çimento fabrikasının torba çimento nakliyesini üstlenecek bir dış kaynak firmasının ihtiyaç duyacağı araç filosu, tamsayılı doğrusal programlama kullanılarak bilgisayar ortamına hesaplanacaktır. Bu hesaplamada çimento fabrikasının bayilerinin 2004 yılına ilişkin aylık talepleri, nakliye mesafeleri ve farklı kapasiteli üç adet kamyonun birim maliyetleri kullanılacaktır. Son olarak elde edilen bulgular ışığında nakliye bedelleri tespit edilecek ve bunlar taşıyıcı kooperatiflerin nakliye bedelleri ile karşılaştırılacaktır.

2. KAMYON FİLOSUNUN TESPİTİ

2.1. Kullanılacak Kamyon Modelinin Tespiti

Halen yürürlükte bulunan Karayolları Trafik Kanununun ilgili maddesi uyarınca, ulaştırma hizmetlerinde kullanılan araçların yükleme kapasitesi en fazla, tahriksiz tek dingilli araçlarda 10 ton, dingiller arası mesafe 1 m ile 3 m arasında ise 16 ton ve dingiller arası mesafe 1.3 m ile 1.4 m arası ise 24 ton olmak zorundadır. Dolayısıyla çimento nakliyesini gerçekleştirecek araçların seçiminde 10, 16 ve 24 tonluk kamyonlar esas alınmak zorunluluğu bulunmaktadır. Tablo 1’de bu tonajlarda yük taşıyabilen kamyonların 2005 fiyatları ile yaklaşık satın alma bedelleri, motor güçleri ve yakıt tüketimleri verilmektedir.

Tablo 1. Farklı Kapasiteli Kamyonlarla İlişkili Özellikler.

Kapasite (ton)	Satın Alma Bedeli ¹ (\$)	Motor Gücü (kW)	*Yakıt Tüketimi (l/km)
24	99629	221	0.320
16	63648	172	0.265
10	38677	110	0.182

* İlgili model kamyonun tam kapasite yüklü halde, 60 km/h sabit hızda, ortalama %10 eğime sahip çevre yolunda tüketeceği yakıt miktarıdır. (Türkiye’de çevre yollarının %98’i, %10 eğime sahiptir).

2.2. Kamyonların Birim Maliyetlerinin Tespiti

2.2.1. Sabit Giderler

Sabit giderler kapsamında; amortisman, faiz, sigorta ve yönetim giderlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamalar için bazı kabuller yapılmış olup, bunlar aşağıda sıralanmaktadır.

- Tablo 1’de verilen kamyonların faydalı ömrü Vergi Usul Kanunu’na göre 5 yıldır^{II}. Kamyonlar bu sürenin sonunda elden çıkarılacaktır.
- Kamyonların motor ömrü 500 000 km olduğundan yılda ortalama 100 000 km yol yapacaklardır.
- Kamyonların hurda bedeli 5 yaşındaki piyasa satış fiyatıdır.
- Piyasa faiz oranı %16 ve genel enflasyon oranı %8’dir.
- Sigorta oranı %5’dir.
- Yönetim giderleri tüm kamyonlar için sabit olup, km başına 0.001 \$’dır.

Bu kabuller altında hesaplanan sabit giderler Tablo 2’de verilmektedir.

2.2.2. Değişken Giderler

Değişken giderler kapsamında, akaryakıt, lastik, bakım-onarım ve personel giderlerinin hesaplanması gerekmektedir. Tablo 3’te verilen söz konusu hesaplamalar için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Akaryakıt birim fiyatı 1.40 \$/L’dir.
- Km başına akaryakıt tüketimi 24, 16 ve 10 tonluk kamyonlar için sırasıyla 0.320 L, 0.265 L ve 0.182 L’dir.
- Lastik gideri ön ve arka lastik giderlerinin toplamından oluşmaktadır.
- Ön lastik sayısı 2 adet olup, arka lastik sayısı ise 24, 16 ve 10 ton’luk kamyonlar için sırasıyla 14, 10 ve 8 adettir.
- Ön lastik ve arka lastik fiyatları sırasıyla 385 \$/adet ve 407 \$/adet’tir.
- Lastik değişim periyodu ön lastikler için 120 000 km, arka lastikler için 160 000 km’dir.
- Kamyonlar her 20 000 km sonunda periyodik bakıma alınmaktadır.

^I 1 \$= 1.35 YTL kabul edilmiştir.

^{II} VUK, “Amortisman Tabii İktisadi Kıymetler”, Vergi Usul Kanunu Genel Tebliği Sıra No: 333, 28.04.2004 tarih ve 25446 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmıştır.

- 24, 16 ve 10 ton'luk kamyonlar için periyot başına bakım maliyeti sırasıyla 481, 407 ve 222 \$'dır.
- Beklenmeyen tamir gideri, periyodik bakım giderinin %50'sidir.
- Net personel maaşı 740 \$/ay, SSK payı %19.5 ve işsizlik sigorta fonu payı %2'dir.

Tablo 2. Kamyonların Sabit Giderleri.

Giderler		Kamyon Tipi		
		24 tonluk	16 tonluk	10 tonluk
Amortisman ¹	\$/yıl	11955	7633	4609
	\$/km	0.119	0.0763	0.0640
Faiz ²	\$/yıl	4424	2825	1717
	\$/km	0.0442	0.0282	0.0172
Sigorta ³	\$/yıl	2988	1909	1160
	\$/km	0.0298	0.0190	0.0116
Yönetim	\$/yıl	100	100	100
	\$/km	0.001	0.001	0.001

$$^1 D_t = \frac{P-S}{n}$$

D_t : Amortisman değeri (\$/yıl)
P : Satın alma bedeli (\$)
S : Hurda değeri (\$)
n : Faydalı ömür/süre (yıl)

$$^2 FG = P \cdot \left[\frac{n+1}{2n} \right] \cdot \left[\frac{i-j}{1+j} \right]$$

FG = Yıllık faiz gideri (\$/yıl)
i = Piyasa faiz oranı (%)
j = Yıllık enflasyon oranı (%)

$$^3 SG = \left[\frac{n+1}{2n} \right] \cdot P \cdot S_o$$

SG = Yıllık sigorta gideri (\$/yıl)
n = Kamyonun ekonomik ömrü (yıl)
S_o = Sigorta oranı (%)

Tablo 3. Kamyonların Değişken Giderleri.

Giderler		Kamyon Tipi		
		24 tonluk	16 tonluk	10 tonluk
Akaryakıt ¹	\$/yıl	44700	37000	29200
	\$/km	0.447	0.370	0.292
Lastik ²	\$/yıl	4000	3000	2500
	\$/km	0.040	0.030	0.025
Bakım Onarım ³	\$/yıl	3610	3055	1665
	\$/km	0.0361	0.0305	0.0166
Personel ⁴	\$/yıl	10800	10800	10800
	\$/km	0.108	0.108	0.108

$$^1 G_A = S_{YT} \cdot F_{AB}$$

G_A : Akaryakıt gideri (\$/km)
S_{YT} : Yakıt tüketimi (L/km)
F_{AB} : Akaryakıt fiyatı (\$/L)

$$^2 L_G = \frac{F_L \cdot S_L \cdot DP_L}{n}$$

L_G = Lastik gideri (\$/km),
F_L = Lastik Birim Fiyatı (\$/adet)
S_L = Lastik sayısı (adet)
DP_L = Lastik değişim periyodu (adet)
n = Kamyon faydalı ömrü (km)

$$^3 G_B = \frac{G_B + G_T}{T_B}$$

G_B = Bakım gideri (\$/km),
G_S = Servis maliyeti (\$/periyot)
G_T = Beklenmeyen tamir gideri (\$/periyot)
T_B = Bakım periyodu (km)

$$^4 G_P = \frac{[P + P \cdot 0.195 + P \cdot 0.02] \cdot 12}{100000}$$

G_P : Personel gideri (\$/km),
P : Net şoför maaşı (\$/ay),

2.2.3. Toplam Giderler

Tablo 4'te verilen Toplam Giderler, Tablo 2 ve Tablo 3'te hesaplanan sabit ve değişken giderlerin toplamından oluşmaktadır. Burada ayrıca önceden tespiti mümkün olmayan giderler için %1'lik bir orana karşılık gelen Beklenmeyen Giderler kalemi de göz önüne alınmıştır.

Toplam giderlerden hareket ederek 1 ton çimentoyu 1 km taşıma maliyeti 24, 16 ve 10 ton'luk kamyonlar için sırasıyla M₁= 0.0353 \$/km-ton, M₂=0.0432 \$/km-ton ve M₃= 0.0520 \$/km-ton olarak bulunmuştur.

Tablo 4. Toplam Giderler (\$/ton).

		Kamyon Modeli		
		24 ton	16 ton	10 ton
Sabit Giderler	Amortisman	0.119	0.0763	0.0460
	Faiz	0.0442	0.0282	0.0172
	Sigorta	0.0298	0.0190	0.0116
	Yönetim	0.0135	0.0135	0.0135
Değişken Giderler	Akaryakıt	0.447	0.370	0.292
	Lastik	0.040	0.037	0.025
	Bakım-Onarım	0.036	0.030	0.025
	Personel	0.108	0.108	0.108
Ara Toplam		0.8375	0.6820	0.5133
Beklenmeyen Giderler (%1)		0.0113	0.0091	0.0071
Toplam Giderler (\$/km)		0.8488	0.6911	0.5204

2.3. Bayi Talepleri ve Mesafeler

Ele alınan çimento fabrikasının 8 adet bayisi bulunmakta olup, bu bayilerin fabrikaya olan uzaklıkları ve 2004 yılı mayıs ayı talepleri Tablo 5’de verilmektedir. Kurulacak olan modelde Şekil 1’de görüleceği üzere en fazla talebin gerçekleştiği Mayıs ayının verileri dikkate alınmıştır. Bunun nedeni söz konusu ayın talebini karşılayacak olan kamyon filosunun diğer aylardaki talebi de rahatlıkla karşılayabileceğidir.

Tablo 5. Bayilerin Fabrikaya Olan Uzaklıkları ve Talep Miktarları.

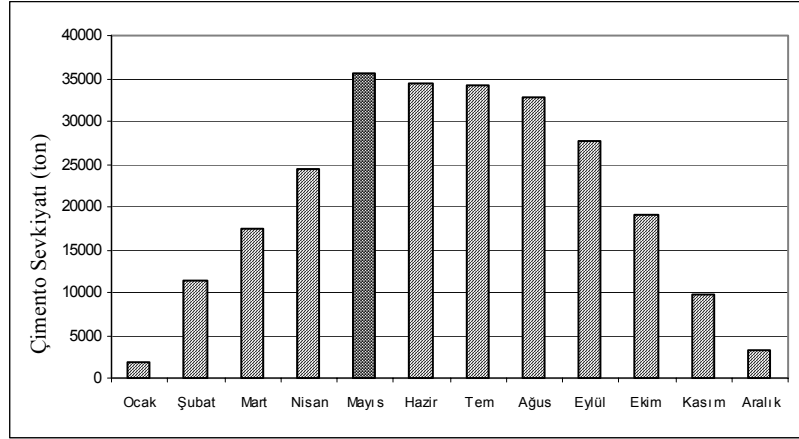
Bayi	Fabrikaya Olan Uzaklık (km)	Nakliye/Tur Mesafesi (km)	Bayi Talebi (ton)
1	185	370	4936
2	296	592	4126
3	78	156	2428
4	30	60	7497
5	55	110	5920
6	80	160	5748
7	165	330	1470
8	222	444	3490

2.4. Tamsayı Doğrusal Programlama Modelinin Oluşturulması

2.4.1. Modelin Tanımlanması

Bazı problemlerde tam sayı değerli olmayan çözüm değişkenlerinin bir anlamı bulunmamaktadır. Bazı girdi ve çıktıların bölünmezlik sorunu, karar değişkenlerinin tam sayı değerli olmasını gerektirir. Doğrusal programlama problemlerinin tam sayılı çözümünün elde edilmesinde kullanılan algoritma (işlem) tam sayılı programlamadır. Doğrusal programlama modeli ile tam sayılı doğrusal programlama modeli arasındaki tek ayrıcalık, doğrusal programlamadaki pozitif olma koşulunun ($X_{ij} \geq 0$), tam sayılı olma koşuluna ($X_{ij}=0,1,2,3,4,5,\dots$) dönüşmesidir. Tam sayılı programlamada tüm X_{ij} değişkenlerinin değerleri sifıra eşit veya sıfırdan büyük tamsayıdır [8].

Bu çalışmada kullanılan karar modeli, kamyon sayılarının tam sayılı olması gerekliliğinden dolayı bütünüyle tamsayı programlama modelidir. Modelde, fabrikadan sekiz farklı bayi deposuna bayi talebini karşılayacak çimento nakliyesinin kaç seferde hangi tip kamyon ile yapılması gerektiği bulunacaktır. Modelde kullanılan notasyonlar aşağıda verilmektedir.



Şekil 1. Bayilerin Aylık Çimento Talepleri.

i : Kamyon Tipi

j : Bayiler

24 tonluk kamyon için $i=1$

16 tonluk kamyon için $i=2$

10 tonluk kamyon için $i=3$

1. Bayi için $j = 1$

2. Bayi için $j = 2$

3. Bayi için $j = 3$

4. Bayi için $j = 4$

5. Bayi için $j = 5$

6. Bayi için $j = 6$

7. Bayi için $j = 7$

8. Bayi için $j = 8$

M_i = i tipi kamyonun kilometre başına 1 ton çimentoyu taşıma maliyeti (\$/km-ton)

y_j = fabrika ile j bayisi arasındaki bir tur mesafesi (km)

T_j = j bayisinin Mayıs ayındaki talep miktarı (ton)

X_{ij} = i tipi kamyonun j bayisine yapacağı sefer sayısı

Karar Değişkeni X_{ij} olan problemin amaç fonksiyonu 1 numaralı eşitlikte ve kısıtları ise sırasıyla 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı eşitliklerde verilmektedir [9].

$$\text{Min}Z = \sum_i \sum_j [M_i \cdot X_{ij}] \cdot y_j \quad (1)$$

$$24 \cdot X_{1j} + 16 \cdot X_{2j} + 10 \cdot X_{3j} = T_j \quad (2)$$

$$24 \cdot X_{1j} \leq T_j \quad (3)$$

$$16 \cdot X_{2j} \leq T_j \quad (4)$$

$$10 \cdot X_{3j} \leq T_j \quad (5)$$

$$X_{ij} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (6)$$

Söz konusu matematiksel ifadeler eşitlik numarasına göre aşağıda verildiği şekilde tanımlanmaktadır;

1. Fabrika ile bayiler arasındaki çimento nakliyesini gerçekleştirecek kamyonların maliyetini minimize eder.
2. Her üç tip kamyonun taşıdıkları toplam çimento miktarının, bayi talebini aşmamasını sağlar.
3. 24 ton kapasiteli kamyonun taşıdığı yükün j bayisinin talebini aşmamasını sağlar
4. 16 ton kapasiteli kamyonun taşıdığı yükün j bayisinin talebini aşmamasını sağlar
5. 10 ton kapasiteli kamyonun taşıdığı yükün j bayisinin talebini aşmamasını sağlar
6. Bulunan sonuçların negatif değer almamasını ve tamsayı olmasını sağlar.

2.4.2. Modelde Göz Önüne Alınan Varsayımlar

Modelin kurulması aşamasında aşağıdaki varsayımlar yapılmış ve model çözümü sonucunda bulunan değerler bu varsayımlar doğrultusunda değerlendirilmiştir.

- *Amaç Fonksiyonunun Doğrusal ve Kantitatif Olarak İfade Edilebilmesi:* Taşınan mal miktarıyla, toplam taşıma maliyeti arasında doğru orantılı bir ilişki vardır ve bunun doğrusallığı birim taşıma maliyetinin taşıma miktarına göre değişip değişmediğine bağlıdır. Birim taşıma maliyetinin değişmediği kabul edildiğinden, toplam taşıma maliyeti ile taşınan miktar arasında doğrusal bir ilişki vardır.
- *Verilerin Aynı Ölçü Birimi İle İfade Edilebilmesi:* Doğrusal programlama modelinin uygulanabilmesi için, verilerin aynı ölçü birimi ile ifade edilebilmesi gerekir. Çalışmada ölçü birimi olarak ton alınmıştır.
- *Tüm Bayilerin Aylık Çimento Talebinin Kesin Olarak Bilinmesi:* Fabrikadan alınan veriler 2004 yılındaki 8 adet çimento bayisinin aylara göre çimento talebini göstermektedir. Çalışmada 2005 yılındaki bayi talebinin bir önceki yıl ile aynı olduğu kabul edilmiştir.
- *Toplam Arzın Toplam Talebe Eşit Olması:* Bayilerin yapmış olduğu çimento talebini fabrikanın her şekilde karşılayabildiği yani kaynağın sınırsız olduğu varsayılmıştır.
- *Oluşturulan Filonun Tüm Yıl Boyunca İhtiyacı Karşılama:* Şekil 1’de görüldüğü üzere fabrikadan en fazla çimento sevkiyatının yapıldığı ay Mayıs ayı olmuştur. Yani, nakliye firması, bu ayda yapılan çimento nakliyesini karşılayacak araç parkına sahip olduğu taktirde diğer aylardaki çimento talebini de rahatlıkla karşılayabilecektir.

2.4.3. Modelin Çözümü

1 numaralı eşitlikte verilmiş olan amaç fonksiyonuna ilgili veriler girildiği taktirde 7 numaralı eşitlik elde edilecektir. Ayrıca kısıtlar Tablo 6’da verildiği gibi olacaktır.

$$Z_{\min} = [0.0353 \quad 0.0432 \quad 0.0520] \cdot \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & X_{14} & X_{15} & X_{16} & X_{17} & X_{18} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & X_{24} & X_{25} & X_{26} & X_{27} & X_{28} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} & X_{34} & X_{35} & X_{36} & X_{37} & X_{38} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 370 \\ 592 \\ 156 \\ 60 \\ 110 \\ 160 \\ 330 \\ 444 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Oluşturulan tam sayılı doğrusal programlama modelinin bilgisayar ortamında çözümünde Tora ve QSB bilgisayar programlarından yararlanılmıştır. Program çözümleri Ek 1’ de ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Bu çözümler neticesinde elde edilen sonuçlar Tablo 7’de özetlenmiştir. Söz konusu tabloda her bir bayi için hangi kamyon tipi ile kaç sefer yapılması gerektiği değerleri yer almaktadır. Özellikle birim maliyeti en düşük olan 24 ton’luk kamyonların en fazla sefer yapacağı açıkça anlaşılmaktadır.

2.4.4. Kamyon Sayılarının Tespiti

Sefer sayılarının tespitinden sonraki adım kamyon sayılarının hesaplanmasıdır. Kamyon sayılarının hesaplanmasında 8 numaralı eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\text{Kamyon Sayısı} = \sum_{j=1}^8 \frac{X_{ij} \cdot y_j}{Yol_{\max}} \quad (8)$$

Tablo 6. Model Kısıtları.

1. Bayi		5. Bayi	
1.	$24 X_{11} + 16 X_{21} + 10 X_{31} = 4936$	17.	$24 X_{15} + 16 X_{25} + 10 X_{35} = 5920$
2.	$24 X_{11} \leq 4936$	18.	$24 X_{15} \leq 5920$
3.	$16 X_{21} \leq 4936$	19.	$16 X_{25} \leq 5920$
4.	$10 X_{31} \leq 4936$	20.	$10 X_{35} \leq 5920$
2. Bayi		6. Bayi	
5.	$24 X_{12} + 16 X_{22} + 10 X_{32} = 4126$	21.	$24 X_{16} + 16 X_{26} + 10 X_{36} = 5748$
6.	$24 X_{12} \leq 4126$	22.	$24 X_{16} \leq 5748$
7.	$16 X_{22} \leq 4126$	23.	$16 X_{26} \leq 5748$
8.	$10 X_{32} \leq 4126$	24.	$10 X_{36} \leq 5748$
3. Bayi		7. Bayi	
9.	$24 X_{13} + 16 X_{23} + 10 X_{33} = 2428$	25.	$24 X_{17} + 16 X_{27} + 10 X_{37} = 1470$
10.	$24 X_{13} \leq 2428$	26.	$24 X_{17} \leq 1470$
11.	$16 X_{23} \leq 2428$	27.	$16 X_{27} \leq 1470$
12.	$10 X_{33} \leq 2428$	28.	$10 X_{37} \leq 1470$
4. Bayi		8. Bayi	
13.	$24 X_{14} + 16 X_{24} + 10 X_{34} = 7498$	29.	$24 X_{18} + 16 X_{28} + 10 X_{38} = 3490$
14.	$24 X_{14} \leq 7498$	30.	$24 X_{18} \leq 3490$
15.	$16 X_{24} \leq 7498$	31.	$16 X_{28} \leq 3490$
16.	$10 X_{34} \leq 7498$	32.	$10 X_{38} \leq 3490$
$\forall X_{ij} \geq 0$ ve tamsayı			

Tablo 7. Kamyon Sefer Sayıları.

Kamyon Tipi	Bayiler							
	1	2	3	4	5	6	7	8
24 ton	205	170	99	312	246	238	60	145
16 ton	1	1	2		1	1		
10 ton		3	2	1		2	3	1

Burada;

X_{ij} = i tipi kamyonun j bayisine yapacağı sefer sayısı (adet)

y_j = Fabrika ile j Bayisi arasındaki bir tur mesafesi (km),

Yol_{max} = i tipi kamyonun bir ayda yapabileceği maksimum mesafe (km)'dir.

Bu eşitliğin kullanılabilmesi için i tipi kamyonun bir ayda yapabileceği maksimum mesafenin hesaplanması gerekmektedir. Daha öncede belirtildiği gibi çimento sektöründeki talep yoğunluğu, inşaat faaliyetlerinin hızlandığı yaz aylarında yaşanmaktadır. Buradan kamyonların her ay aynı mesafeyi katetmeyecekleri anlaşılmaktadır. Nitekim bu husus çimento fabrikasının bayilerine yaptığı aylık çimento satış verilerini gösteren Tablo 8'den de anlaşılmaktadır. Burada Mayıs ayı çimento satışının toplam satışlara oranının %15.89 olduğu görülmektedir. Bu durumda, kamyonların yılda en fazla 100 000 km yol yaptığı kabul edilirse, Mayıs ayında 100 000 km'nin %15.38'inin yapılması gerekmektedir. Buradan Yol_{max} değerinin 15 380 km olacağı sonucuna ulaşılır. 8 numaralı eşitlik yardımıyla her bir bayi için gerekli kamyon sayıları hesaplanmış olup, sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir.

3. NAKLİYE FİYATININ BELİRLENMESİ

3.1. Bayındırlık Bakanlığı Esaslı Nakliye Fiyatı

T.C. Bayındırlık Bakanlığı'nın her yıl yayımladığı *İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları*'na göre taşıma rayici, 9 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır [10]. Taşıyıcı kooperatifler bu yaklaşımdan yararlanmaktadır.

$$F = K \cdot (0.0007 \cdot M + 0.01) \quad (9)$$

Burada;

F = 1 ton her cins inşaat malzemesinin M km mesafeye kârsız taşıma fiyatı (\$/ton),

K = Kullanılan motorlu taşıtın cinsi, tonajı ne olursa olsun sekiz saatlik gündeliğine eşit ve her sene Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Rayiç komisyonu tarafından tespit ve tamim edilen bir katsayı (2005 yılı için 02.017 numaralı rayiçe karşılık gelen değer 68.44 \$'dır),

M = Yolun toplam uzunluğu (km)'dur.

Tablo 8. Fabrikanın Aylara Göre Çimento Satışı

Aylar	Çimento Satış (ton)	Satış İçindeki Pay (%)
Ocak	1 974	0.85
Şubat	11 417	4.93
Mart	17 420	7.52
Nisan	24 415	10.55
Mayıs	35 615	15.38
Haziran	29 707	12.83
Temmuz	27 951	12.07
Ağustos	27 960	12.08
Eylül	25 344	10.95
Ekim	16 587	7.17
Kasım	9 852	4.26
Aralık	3 254	1.41
Toplam	231 496	100

Tablo 9. Çimento Nakliyesini Gerçekleştirecek Kamyon Sayıları.

Kamyon Tipi	Bayiler								Toplam
	1	2	3	4	5	6	7	8	
24 ton	5	7	1	1	2	2	1	4	23
16 ton	1	1	1	0	1	1	0	0	1
10 ton	0	1	1	1	0	1	1	1	1
Toplam Kamyon Sayısı									25

Yukarıdaki eşitlikten yararlanarak elde edilen fiyata %25 oranında bir kar payı eklenerek, nihai nakliye fiyatı belirlenir. Tablo 10'da bu hesaplama sonucu verilmiştir.

Tablo 10. Bayındırlık Bakanlığı Esaslı Çimento Nakliyesi Ücreti.

Bayi	Nakliye Fiyatı (Kar Hariç) (\$/ton)	Kar Dahil Nakliye Fiyatı (\$/ton)	Nakliye Mesafesi (km)	Birim Nakliye Fiyatı (\$/km-ton)
1	9.54	11.925	185	0.0644
2	14.86	18.575	296	0.0627
3	4.42	5.525	78	0.0708
4	2.12	2.173	30	0.0724
5	3.32	4.150	55	0.0754
6	4.51	5.637	80	0.0704
7	8.59	10.737	165	0.0650
8	11.32	14.15	222	0.0637
Ortalama				0.0681

3.2. Dış Kaynak Firması Birim Fiyatı

Kamyon tipi ve sayısı belirlenen bir dış kaynak firmasının çimento fabrikasına önereceği kar dahil (%25) birim nakliye fiyatları Tablo 11'de verilmiştir. Bu hesaplamalarda Tablo 9'da verilen kamyon sayıları, Bölüm 2.2.3'te hesaplanan 1 ton malzemeyi 1 km taşıma maliyetleri ve Tablo 5'te verilen bayi taleplerinden yararlanılmıştır. Yapılan hesaplamalara göre kar dahil birim nakliye fiyatı ortalaması 0.0442 \$/km-ton mertebesindedir.

Tablo 11. Nakliye Fiyatları.

1. Bayi						
Kamyon Tipi	Taşınan Miktar (ton)	Taşıma Maliyeti (\$/km-ton)	Maliyet (\$/km)	Top. Maliyet (\$/km)	Birim Nakliye Fiyatı (\$/km-ton)	
24 ton	4920	0.0353	173.67	174.36	Kar Hariç	Kar Dahil
16 ton	16	0.0432	0.6912		0.0353	0.0441
10 ton	0	0.0520	0			
2. Bayi						
Kamyon Tipi	Taşınan Miktar (ton)	Taşıma Maliyeti (\$/km-ton)	Maliyet (\$/km)	Top. Maliyet (\$/km)	Birim Nakliye Fiyatı (\$/km-ton)	
24 ton	4080	0.0353	144.02	146.27	Kar Hariç	Kar Dahil
16 ton	16	0.0432	0.6912		0.0354	0.0442
10 ton	30	0.0520	1.5600			
3. Bayi						
Kamyon Tipi	Taşınan Miktar (ton)	Taşıma Maliyeti (\$/km-ton)	Maliyet (\$/km)	Top. Maliyet (\$/km)	Birim Nakliye Fiyatı (\$/km-ton)	
24 ton	2376	0.0353	83.87	86.292	Kar Hariç	Kar Dahil
16 ton	32	0.0432	1.3824		0.355	0.0444
10 ton	20	0.0520	1.0400			
4. Bayi						
Kamyon Tipi	Taşınan Miktar (ton)	Taşıma Maliyeti (\$/km-ton)	Maliyet (\$/km)	Top. Maliyet (\$/km)	Birim Nakliye Fiyatı (\$/km-ton)	
24 ton	7488	0.0353	264.32	264.84	Kar Hariç	Kar Dahil
16 ton	0	0.0432	0		0.0353	0.0441
10 ton	10	0.0520	0.52			
5. Bayi						
Kamyon Tipi	Taşınan Miktar (ton)	Taşıma Maliyeti (\$/km-ton)	Maliyet (\$/km)	Top. Maliyet (\$/km)	Birim Nakliye Fiyatı (\$/km-ton)	
24 ton	5904	0.0353	208.41	209.10	Kar Hariç	Kar Dahil
16 ton	16	0.0432	0.6912		0.0353	0.0441
10 ton	0	0.0520	0			
6. Bayi						
Kamyon Tipi	Taşınan Miktar (ton)	Taşıma Maliyeti (\$/km-ton)	Maliyet (\$/km)	Top. Maliyet (\$/km)	Birim Nakliye Fiyatı (\$/km-ton)	
24 ton	5712	0.0353	201.63	203.36	Kar Hariç	Kar Dahil
16 ton	16	0.0432	0.6912		0.0353	0.0441
10 ton	20	0.0520	1.04			
7. Bayi						
Kamyon Tipi	Taşınan Miktar (ton)	Taşıma Maliyeti (\$/km-ton)	Maliyet (\$/km)	Top. Maliyet (\$/km)	Birim Nakliye Fiyatı (\$/km-ton)	
24 ton	1440	0.0353	50.83	52.39	Kar Hariç	Kar Dahil
16 ton	0	0.0432	0		0.0356	0.0445
10 ton	30	0.0520	1.56			
8. Bayi						
Kamyon Tipi	Taşınan Miktar (ton)	Taşıma Maliyeti (\$/km-ton)	Maliyet (\$/km)	Top. Maliyet (\$/km)	Birim Nakliye Fiyatı (\$/km-ton)	
24 ton	3480	0.0353	122.84	123.36	Kar Hariç	Kar Dahil
16 ton	0	0.0432	0		0.0353	0.0445
10 ton	10	0.0520	0.52			

3.3. Fiyat Karşılaştırması

Çalışmanın başlangıcındaki beklenti, çimento fabrikasının çimento nakliye işini, taşıyıcı kooperatifler aracılığı ile sistematik olmayan ve riskli bir şekilde yapması yerine, dış kaynak firmasından faydalanması durumunda zamanında ve güvenilir teslimatın yanı sıra önemli bir maliyet avantajı elde edeceği idi. Bunun gerçekleşip gerçekleşmediğini anlayabilmek üzere Bölüm 3.1 ve Bölüm 3.2’de elde edilen ortalama birim nakliye fiyatları mukayese edilmesi gerekmektedir. Bayındırlık Bakanlığı esaslı fiyat ortalaması 0.0681 \$/km-ton ve dış kaynak firması fiyat ortalaması ise 0.0442 \$/km-ton olarak belirlenmişti. Buradan dış kaynak firması fiyatlarının %35.1 daha az olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda çimento fabrikasının müşteriye yerinde teslim fiyatlarında, diğer fabrikalara oranla önemli bir rekabet avantajı yakalayacağı açıkça ortaya çıkmaktadır.

4. SONUÇLAR

Çimento sektörünün en belirgin özelliklerinden birisi, inşaat sektöründe yaz aylarında yaşanan canlanmanın bu aylar da çimento talebinde yaklaşık üç kat artışa neden olmasıdır. Bu dönemlerde taşıyıcı kooperatiflerden yararlanıldığı durumlarda çimento üreticilerinin ürünlerini müşterilerine zamanında ve güvenli bir şekilde ulaştırmaları güçleştirmektedir. Bunun önemli nedenlerinden birisi, aynı dönemlerde taşıyıcı kooperatiflere başka sektörlerden de yoğun talep gelmesidir.

Hızlı ve güvenli teslimatın yanı sıra, yoğun rekabetin yaşandığı çimento sektöründe bir diğer rekabet unsuru fiyattır. Fiyat üzerinde etkili parametrelerden birisi nakliye maliyetidir. Dolayısı ile bu maliyetin aşağıya çekilmesi fabrikaların önemli bir rekabet avantajı elde etmesini sağlayacaktır.

Yukarıda sıralanan hususlar kapsamında yapılan bu çalışmada, bir çimento fabrikasının nakliye işinin tamamını bir dış kaynak firmasına aktarması durumunda sağlayacağı avantajların gösterilmesi amaçlanmıştır. Yapılan hesaplamalar ve değerlendirmeler sonucunda çimento fabrikasının dış kaynak firmasından yararlanması durumunda nakliye maliyetlerinden %35.1 oranında tasarruf sağlayabileceği anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Kim J-U and Kim Y-D, “A Lagrangian Relaxation approach to Multi-Period Inventory/ Distribution Planning”, Journal of the Operational Research Society, v.51, 2000, p.364-370
2. Shih L-H, “Planning of Fuel Coal Imports Using Mized Integer Programming Method”, International Journal of Production Economics, v.51, 1997, p.243-249
3. Ulucan A. Ve Tarım Ş. A., “Petrol Ürünlerinin Deniz Yolu İle Taşınmasında Maliyet Minimizasyonu: Petrol Ofisi A.Ş. İçin Karışık Tamsayı Programlama Uygulaması”, H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 15, Sayı 1, 1997, s.189-197
4. Ruiz R., Maroto C. and Alcaraz J., “A Decision Support System for a Real Vehicle Routing Problem”, European Journal of Operational Research, v.153, 2004, p.593-606
5. Chu C-W, “A Heuristic Algorithm for the Truckload and Less-Than-Truckload Problem”, European Journal of Operational Research, v.165, 2005, p.657-667
6. Olsson L. and Lohmander P., “Optimal Forest Transportation with Respect to Road Investments”, Forest Policy and Economics, v.7, 2005, p.369-379
7. Ulusoy G., “Rekabet Stratejileri ve En İyi Uygulamalar Türk Çimento Sektörü”, Tüsiad Rekabet Stratejileri Dizisi-2, 1997, s.45.
8. Öztürk A., “Yöneylem Araştırması”, Tam Sayılı Doğrusal Programlama Algoritması, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa, 2001, s.167.
9. Gül M.L., “Lojistik Faaliyetlerde Dış Kaynak Kullanımı: Çimento Fabrikası Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005
10. Anonim, “Tesisat ve Birim Fiyatları”, T.C. Bayındırlık Bakanlığı Yayınları, 2005 s.244.

EK-1

TORA ÇÖZÜMÜ

TORA Optimization System - Version 2.0, Oct 1996
Copyright (c)1989-96 Hamdy A. Taha. All Rights Reserved.

- Title: Çimento Nakliye

Current solution found at node: 44
Nbr of nodes so far examined: 44

*** CURRENT BEST INTEGER SOLUTION ***

Objective value (min) = 12976.6790			
Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x1 X11	205.0000	13.0610	2677.5050
x2 X21	1.0000	15.9840	15.9840
x3 X31	0.0000	19.2400	0.0000
x4 X12	170.0000	20.8976	3552.5920
x5 X22	1.0000	25.5744	25.5744
x6 X32	3.0000	30.7840	92.3520
x7 X13	99.0000	5.5068	545.1732
x8 X23	2.0000	6.7392	13.4784
x9 X33	2.0000	8.1120	16.2240
x10 X14	312.0000	2.1180	660.8160
x11 X24	0.0000	2.5920	0.0000
x12 X34	1.0000	3.1200	3.1200
x13 X15	246.0000	3.8830	955.2180
x14 X25	1.0000	4.7520	4.7520
x15 X35	0.0000	5.7200	0.0000
x16 X16	238.0000	5.6480	1344.2240
x17 X26	1.0000	6.9120	6.91200
x18 X36	2.0000	8.3200	16.6400
x19 X17	60.0000	11.6490	698.9400
x20 X27	0.0000	14.2560	0.0000
x21 X37	3.0000	17.1600	51.4800
x22 X18	145.0000	15.6732	2272.6140
x23 X28	0.0000	19.1808	0.0000
x24 X38	1.0000	23.0800	23.0800

QSB ÇÖZÜMÜ

Quantitative Systems for Business"
Copyright (C) Prentice-Hall, Inc., 1986
BASRUN20.EXE Version 2.0 Copyright (C) IBM Corp., 1985

Summary of results for 1. Bayi					
Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient	Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient
1. X11	205	13.0610	3. X31	0.000	19.240
2. X21	1	15.984			
Minimum value of the OBJ = 2693.489					

Summary of results for 2. Bayi					
Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient	Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient
1. X12	170	20.8976	3. X32	3	30.7840
2. X22	1	25.5744			
Minimum value of the OBJ = 3670.518					

Summary of results for 3. Bayi					
Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient	Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient
1. X13	99	5.5068	3. X33	2	8.1120
2. X23	2	6.7392			
Minimum value of the OBJ = 574.8756					

Summary of results for 4. Bayi					
Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient	Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient
1. X14	312	2.1180	3. X34	1	3.1200
2. X24	0.000	2.5920			
Minimum value of the OBJ = 663.9360					

Summary of results for 5. Bayi					
Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient	Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient
1. X15	246	3.8830	3. X35	0.000	5.720
2. X25	1	4.7520			
Minimum value of the OBJ = 959.97					

Summary of results for 6. Bayi					
Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient	Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient
1. X16	238	5.6480	3. X36	2	8.3200
2. X26	1	6.9120			
Minimum value of the OBJ = 1367.776					

Summary of results for 7. Bayi					
Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient	Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient
1. X17	60	11.6490	3. X37	3	17.1600
2. X27	0.000	14.2560			
Minimum value of the OBJ = 750.420					

Summary of results for 8. Bayi					
Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient	Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient
1. X18	145	15.6732	3. X38	1	23.0800
2. X28	0.000	19.1808			
Minimum value of the OBJ = 2295.694					