

## DOĞRUSAL PROGRAMLAMA TEKNİĞİ İLE KAPASİTE PLANLAMASI YAKLAŞIMI VE ÇİMENTO İŞLETMESİNDE BİR UYGULAMASI

Yrd. Doç. Dr. Hüdaverdi BİRCAN  
Cumhuriyet Üniversitesi, İ.İ.B.F, İşletme Bölümü

Yrd. Doç. Dr. Zafer KARTAL  
Atatürk Üniversitesi, Bayburt Meslek YO

### Özet

Bu çalışmanın amacı, kantitatif karar verme tekniklerinden doğrusal programlama tekniğinin kurulu işletme kapasitelerinin en kârlı biçimde kullanılmasında gösterdiği yararları ortaya koymaktır. Bu amaca dönük olarak YİBİTAŞ/LAFARGE Sivas Çimento İşletmesinde bir kapasite planlaması gerçekleştirilmiştir.

İşletmenin son 4,5 yıllık verileri baz alınarak optimum kapasite kullanımı için bir pazar sınırlaması modeli geliştirilmiştir. Oluşturulan model ile fiili durumdaki işletmenin dar boğaz oluşturan üniteleri ve atıl kapasiteleri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Liner Programlama, Kapasite Planlaması

### Capacity Planning Approach With Linear Programming Techniques and Its Application in Cement Plant

#### Abstract

The aim of this study is to put forward that linear programming techniques, which is one of the quantitative decision techniques, are very helpful in using available capacities in the most profitable way. For this purpose, we realized a capacity planning in Yibitaş/Lafarge Cement Plant in Sivas.

Using the lost 4.5 years data of the plant, a market constraint model for optimal capacity usage has been developed. Using this model, the units causing bottlenecks and the unused capacities of the plant in process have been determined.

**Keywords:** Linear Programming, Capacity Planning, Cement Business

### GİRİŞ

Kapasite, işletmenin belirli bir süre içerisinde üretim faktörlerini rasyonel bir şekilde kullanarak meydana getireceği üretim miktarıdır (Tatar, 1993, s.83). İşletmelerin pazara karşı olan hassasiyetlerinin ölçüsü, belirledikleri ya da belirleyecekleri üretim kapasiteleridir. Kapasite, bir taraftan kaynakların verimliliğini diğer taraftan müşteriye verilecek hizmet düzeyini belirlediği gibi programlama faaliyetini etkileyen önemli bir faktördür (Chase-Aquilano, 1992, s.362-363).

Uygulamada kapasite ile üretim programlama faaliyetlerinin birbirlerinden ayrılmadıkları görülmektedir. Üretim programlaması aşamasında yapılan hatalar bir kapasite sorunu şeklinde düşünülmekte, yetersiz kapasite ise sürekli programlama güçlükleri ile karşı karşıya bırakmaktadır. Halbuki esas itibariyle kapasite, üretken kaynakların elde edilmesi ile, üretim programlaması ise bunların kullanımının zamanlamasıyla ilgili faaliyetlerdir (Meredith, 1987, s.180).

Şüphesiz yeni kurulacak bir işletmede kapasite kararı verilecektir. Ancak, faaliyet halinde olan işletmelerin de zaman zaman kapasite değişikliklerine gitmeleri gerekebilir. Kapasite değişikliklerinin miktar ve zamanına ilişkin kararların sistematik bir süreç içinde verilmesi yararlı olacaktır. Bu sürecin aşamaları şu şekilde sıralanabilir (Üreten, 1997, s.271):

1. Mevcut kapasitenin belirlenmesi.
2. Tüm ürün ve hizmetler için kısa ve uzun dönemli kapasite ihtiyaçlarının tahmin edilmesi.
3. Gelecekteki kapasite ihtiyaçlarının karşılanması için alternatiflerin belirlenmesi.
4. Kapasite alternatiflerinin değerlendirilmesi ve bunlar arasında seçim yapılması.

Programlama problemleri, ihtiyaçlarımızı karşılamak için kıt kaynakların etkin dağılımı yada kullanımı ile ilgilidir (Gass, 1982, s.271). Gittikçe yaygınlaşan modern işletmelerde bilgi toplama ve problemleri çözme işi artık daha çabuk ve kolay olmaktadır.

Bugün endüstriyel ve ekonomik analizlerde yaygın olarak kullanılan Doğrusal Programlama, tüm nicel teknikler arasında en geniş etki alanı olanıdır. Bilindiği gibi doğrusal programlama; kaynakların seçenekli dağılımının, optimal üretim biçiminin, minimum maliyet veren girdi bileşiminin, en uygun karın ve en az maliyetin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Öztürk, 2001, s.23). Doğrusal programlama modeli, bugünkü anlamıyla 1947 yılında G.B.Dantzig tarafından ileriye sürülmüştür (Alptekin, 1988, s.126).

Anı miktarda kapasite veya makinelere sahip, aynı miktar ve kalitedeki hammaddeleri işleyen, aynı miktarda tecrübe ve bilgileri olan işçileri çalıştıran iki işletmeden birinin diğerlerinden daha verimli ve karlı üretim faaliyetinde bulunduğu görülür. Üretim faktörlerinde, başka bir deyimle, verilerde herhangi bir farklılık bulunmadığına göre, sonuçlarda meydana gelen bu farklılığın tek nedeni, işletmeler arasında optimum sonuca ulaşma yönünden bir ayrıcalığın bulunmasıdır (Gülerman, 1976, s.197).

Doğrusal programlama tekniği, özellikle genişleme yatırımlarının işletmenin hangi bölüm ya da bölümlerinde yapılması gerektiğine ilişkin kesin sonuçlar alınmasına olanak vermektedir. Ayrıca, genişleme yatırımlar için en uygun olarak saptanan üretim bölümünde değişik yatırım seviyelerinin (kısmi kapasite büyüklüklerinin) işletmenin toplam kârına olan etkileri de bu yöntemle belirlenebilir (Müftüoğlu, 1978, s.193).

## **1- MATERYAL VE METOT**

### **1.1. Materyal**

Bu çalışmada, kurulu sanayii işletmelerinde kantitatif karar verme metodu ile kapasite planlaması sorununa nasıl bir çözüm aranacağı, ana üretim üniteleri itibarıyla darboğazların belirlenmesi ve giderilmesi üzerinde durulmuştur. Uygulama yeri olarak Sivas ilinde faaliyet gösteren Yibitaş/Lafarge çimento fabrikası seçilmiştir. Bu fabrikadan alınan veriler QSA ve Lindo paket programları ile analiz edilmişlerdir.

### **2.2 Metod**

#### **2.2.1. Doğrusal Programlama Modeli**

Doğrusal programlama tekniği aşağıdaki varsayımlara dayanır (Serper, Gürsakal, 1982, s.7; Tatar, 1993, s.25):

a-Amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı şartlar doğru tanımlanmalıdır. Amacın kâr maksimizasyonu mu yoksa maliyet minimizasyonu mu olduğu açıkça belirtilmelidir.

b-Değişkenler kantitatif olmalıdır. Doğrusal programlama kalitatif (rakamla ifade edilemeyen) değişkenler için kullanılmaz.

c-Değişkenler kendi aralarında ilişkili olmalıdır.

d-Kullanılacak kaynaklar sınırlı olmalıdır.

e) Değişkenler arasında kurulan bağıntılar doğrusal olmalıdır.

f) Değişkenler arasında alternatif seçim olanağı olmalıdır.

g) Doğrusal programlamanın uygulanacağı işletme problemi kısa dönemli olmalıdır.

h- Bağımlı değişkenlerin sıfır yada pozitif olması gerekir.

Doğrusal programlamanın teorik yapısında üç etkeni göz önüne almamız gerekir. Bunlar; amaç fonksiyonu, kısıtlayıcı koşullar ve pozitiflik koşulu (Richard, 1991, s.31-44;Paul, 1988, s.45-72):

$x_j$  : Karar değişkenlerini (Üretim yada maliyet miktarları gibi),

$c_j$  : Birim kâr veya maliyet katsayısını,

$b_i$  : Kaynak kapasitesini,

$a_{ij}$  : Teknik katsayıyı göstermek üzere.

Genel olarak bir doğrusal programlama probleminin teorik yapısı,

$$z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (j=1,2, \dots, n) \quad \text{Amaç Fonksiyonu (max, min)}$$

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

olabilir)

$$x_j \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad \text{Pozitiflik Şartı}$$

şeklinde gösterilebilir.

Doğrusal Programlamanın teorik modelini matris notasyonu ile,

$C_{1n}$  : Amaç denkleminin katsayılar satır matrisini

$x_{n1}$  : Karar değişkenleri sütun matrisini

$A_{mn}$  : Kısıtlayıcıların katsayılar matrisini

$B_{m1}$  : Kapasite sütun matrisini

olmak üzere,

$$\left. \begin{array}{l} Z = CX \\ AX \leq B \\ X \geq 0 \end{array} \right\} \text{ modeli,}$$

$$Z = CX = [c_1 \quad c_2 \quad \dots \quad c_n] \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} \quad \text{Amaç Fonksiyonu}$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{mn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} \begin{matrix} \geq \\ = \\ \leq \end{matrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_m \end{bmatrix} \quad \text{Kısıtlayıcı Koşullar}$$

$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$  Pozitiflik Şartı

şeklinde gösterilir.

## 2. UYGULAMA

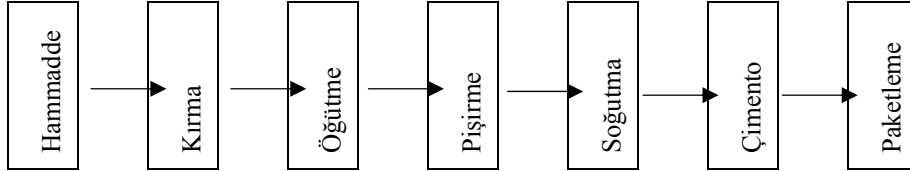
### 2.1. Çimento Üretim İşlemi

Çimento fabrikasında, ocaklardan getirilen kalker, kil, alçı taşı ve tras hammaddeleri açık stok holde ayrı ayrı depolanarak, bunlardan kil hariç diğer hammaddeler gezer vinç ile kırma işlemi yapan konkasör makinesine getirilir. Konkasörden çıkan kırılmış kalker ile belli oranda kil karıştırılarak bunkerlerle öğütölmek üzere 2 adet farin değirmenlerine aktarılır. Farin değirmenlerinde öğütülen kalker-kil karışımı malzeme 800'er tonluk 2 adet homojen silosunda homojenize edilmesini müteakip elevatörlerle 350 şer tonluk 8 adet siloya alınır. Artık farin adını alan bu malzeme tartılarak siklonlardan döner fırınlara aktarılır. Biri 20 ton/h ve diğeri 32 ton/h kuruluş kapasitesinde olan mevcut 2 döner fırında kömür değirmeni yardımıyla farin hammaddesi belli bir ısıda pişirmeye tabi tutulur. Pişirilen farin artık klinkere dönüşmüştür. Çimentonun ana hammaddesi olan klinker döner fırın çıkışında soğutmaya tabi tutulduktan sonra kapalı stok hole aktarılır. Kapalı stok holde bulunan diğer kırılmış alçı ve tras hammaddeleri ile üretilecek çimento türüne göre belli oranlarda birleştirilen klinker, biri 75 ton/h, diğeri 15 ton/h ve diğer ikisi de 22 ton/h kuruluş kapasiteli 4 çimento değirmenine sevk edilir. Elde edilen çimento 2000 tonluk altı adet çimento silolarına alınarak döner kantarlarda tartılır ve açık ya da paket halinde sipariş mahallerine sevk edilir.

Üretimi özet olarak anlatılan çimento fabrikasının iş akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.

Kapasite belirlenmesinde, genel iş akımındaki işlemlerin gruplandırılması zorunluluğu vardır. Esasen Şekil 1'de ki iş akım şemasında bulunan 21 işlemin tamamını kapasite sınırlayıcısı değildir. Örneğin kırma işlemi konkasörde yapılmaktadır. Konkasöre hammaddenin nakli ve kırılan hammaddenin stok holde depolanması işlemleri konkasör makinesine bağlı işlemlerdir. Dolayısıyla üretimde darboğaz teşkil edebilecek işlemler bu şekilde gruplandırılarak Şekil

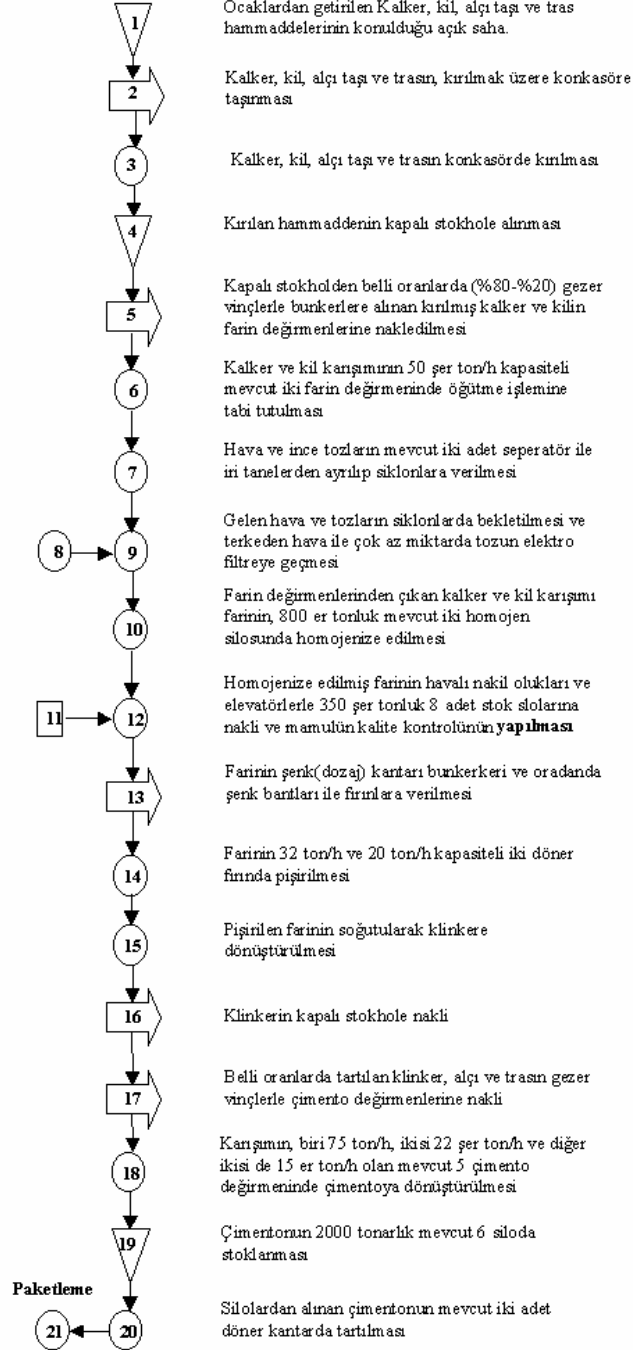
2’de ki ana üretim üniteleri belirlenmiş olup fazladan (gereksiz) kısıtlayıcı belirlenmesinden de kaçınılmış olunacaktır.



Şekil: 1 Ana Üretim Üniteleri

## 2.2. İşletmenin Ana Üretim Üniteleri

*Hammadde Ünitesi:* Çimentonun ana hammaddeleri tabiatta çokça bulunan kalker, kil ve alçı taşı, fabrikaya yakın mevkilerden elde edilmekte, bir diğer hammadde tras ise Kayseri ilinden temin edilmektedir. Mevcut hammadde kaynakları, hali hazırdaki işletme kapasitesi kapsamında uzun zaman (50 yıldan fazla) yetecek miktarda olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla hammadde temini bakımından üretim için bir kapasite sınırlaması söz konusu görülmemektedir. Bununla birlikte; hammaddelerin ve klinkerin stok edildiği açık ve kapalı stok holler de yeteri kadar büyüklükte olup kapasite için sınırlayıcı faktör olmamaktadır. *Kırma Ünitesi:* Ocaklardan getirilen kalker, alçı taşı ve tras hammaddelerinin çimento oluşumundan önceki ilk aşamaları konkasör makinesinde kırılmalarıdır. Konkasör makinesinin kuruluş kapasitesi 250 ton/h dır.



Şekil: 2 İş Akım Şeması

*Öğütme Ünitesi:* Çimento fabrikasının ana yarı mamul maddesi diyebileceğimiz klinkerin oluşması bu üniteye başlar. Klinkerin hammaddeleri kalker ve kildir. Karışımın %80 i kalker ve %20 si de kil dir. Malzemedeki nem oranı yaklaşık %5-10 civarına düşürülmektedir. Bu ünite sonundaki malzeme farin adını almaktadır.

*Pişirme Ünitesi:* Farin biri 32 ton/h ve diğeri 20 ton/h kuruluş kapasiteli iki döner fırına alınarak bu üniteye yüksek ısıda pişirilir. Yüksek ısıdan dolayı oluşan kimyasal olaylar sonrası farin, klinker halini almış olmaktadır.*Soğutma Ünitesi:* Sıcak klinker bu üniteye soğutulur. 100 C° sıcaklığa kadar soğutulan klinker hollerde depolanır. Kapasite planlaması için sınırlayıcı bir özellik taşımamaktadır.

*Çimento Ünitesi:* Klinker ile alçı, tras ve diğer yardımcı malzemeler belli oranlarda karıştırılmak suretiyle değişik türde çimento üretimi yapılır

Fabrikada 5 adet çimento değirmeni bulunmaktadır. Kuruluş kapasiteleri şöyledir:

- 1 numaralı çimento değirmeni : 75 ton/saat
- 2 numaralı çimento değirmeni : 15 ton/saat
- 3 numaralı çimento değirmeni : 22 ton/saat
- 4 numaralı çimento değirmeni : 22 ton/saat
- 5 numaralı çimento değirmeni : 15 ton/saat (çalıştırılmamaktadır)

*Paketleme Ünitesi:* Bu ünite çimento üretimini sınırlayıcı bir özellik taşımamaktadır.

### 2.3. İşletmede üretilen ürünler

İşletmede siparişe göre Katkılı Çimento (KÇ), Portland Çimento (PÇ), Traslı Çimento (TÇ), Portland Katkılı Çimento (PKÇ) ve Travers ürünleri üretilmektedir. Ayrıca işletme ürünlerin ana katkı maddesi olan klinker mamulünü de piyasaya satmaktadır.

**Katkılı Çimento (KÇ) :** Genellikle bina yapımında kullanılan normal basınçta bir çimento türüdür. %4 ü alçı, %20 si tras ve geri kalanı klinkerden oluşan karışımdan elde edilir.

**Portland Çimento (PÇ) :** Dayanıklılığı katkılı çimentoya göre daha fazla olan ve genellikle baraj yapımlarında kullanılan bir çimento türüdür. Bu çimentoda tras katkısı yoktur. Karışımının %4 ü alçı ve %96 sı klinkerden oluşur.



**Trashlı Çimento (TÇ) :** Tras karışımı Katkılı Çimento'dan daha fazla olan bir çimento türüdür. Bu da bina yapımlarında kullanılır. Karışımı %4 alçı, %29 tras ve %67 klinkerden oluşur.

**Portland Katkılı Çimento (PKÇ) :** Yeni üretilmeye başlanılmış bir çimento çeşididir. Dayanımı TS standartlarında olmak kaydıyla ( $32,5 \text{ N/cm}^2$ ) kalker karışımı da yapılan bu çimentonun fiili karışım oranları ortalama olarak, %4 alçı, %19,5 tras, %10 kalker ve %66,5 klinkerden oluşmaktadır.

**Travers Çimento (TrÇ):** Özel sipariş ile imal edilen bir çimento türüdür. Dayanımı  $42,5 \text{ N/cm}^2$  dir. Portland çimento ile aynı karışım oranına sahip olmasına karşın. Çimento değirmeninde daha fazla öğütülmesinden kaynaklanan daha fazla dayanım gücüne (PÇ ye göre) ulaşmaktadır. Demiryollarında kullanılan travers yapımında kullanılır. Karışım oranı ortalama %4 alçı ve %96 klinkerdir.

#### 2.4. Kısıtlayıcıların Bulunması

**Sağ taraf sabitleri:** Ana üretim ünitelerinin yıllık ortalama çalışma sürelerinden faydalanılarak bulunur. Aşağıda, işletme verilerinden yararlanarak ünitelerin bir yıllık ortalama fiili çalışma süreleri çıkarılmıştır.

Kırma	Öğütme	Pişirme	Çimento
4289	7172	7655	3480

**Teknik katsayılar:** Kısıtlayıcıların katsayıları, ana üretim ünitelerinin üretilen ürünler itibariyle kapasitelerinin belirlenmesi ile ilgilidir. Teknik katsayılar işletmenin 1994 yılından 1998 in ilk altı ayına kadar işletmenin üretim raporları verilerinden elde edilmiştir.

Çimento üretiminde kullanılan malzemelerin ana üretim ünitelerinden geçiş süreleri; hammaddenin yapısına, hammadde karışım miktarına ve ünitelerde kullanılan makinelerin teknolojik yapısı ile ilişkilidir. Tablo 3.1 de işletmede üretilen nihai çimento mamullerinin hammadde ve yarı mamul karışım oranları görülmektedir. Bu oranlar kapasite denklemlerinin kurulmasında temel teşkil eder.

**Tablo 3. 1 Üretilen Çimento Türleri İçin Ham Madde-Yarı Mamul Karışım Oranları Ortalaması(%)**

	Alçı	Tras	Kl.Katkısı	Klinker
<b>Katkılı Çimento</b>	4	19	0	77
<b>Portland Çimento</b>	4	0	0	96
<b>Trashlı Çimento</b>	4	29	0	67
<b>Portland Katkılı Çimento</b>	4	19,5	10	66,5
<b>Travers</b>	4	0	0	96

**2.4.1. Çimento Ünitesi Teknik Katsayıları:** Alınan her bir ürünün çimento değirmenlerindeki saatlik üretim miktarlarına ilişkin veriler Tablo 3.2 de gösterilmiştir.

**Tablo 3. 2 Çimento Türlerine Göre Çimento Ünitesinde Ortalama Saatlik Üretim (Ton/h)**

	Katkılı Ç.	Portland Ç.	Traslı Ç.	Prt.Katkı Ç.	Travers
Çimento Değir.1	68	47	61	57	42
Çimento Değir.2	13	9	12	11	8
Çimento Değir.3	20	13	18	16	12
Çimento Değir.4	20	13	18	16	12
<b>Ort.Saatlik Üretim</b>	<b>121</b>	<b>82</b>	<b>109</b>	<b>100</b>	<b>74</b>

Böylece çimento ünitesinin kısıtlayıcı denklemi;

$$KÇ: x_1 \quad PÇ: x_2 \quad TÇ: x_3 \quad PKÇ: x_4 \quad Tr: x_5$$

Olmak üzere;

$$\frac{x_1}{121} + \frac{x_2}{82} + \frac{x_3}{109} + \frac{x_4}{100} + \frac{x_5}{74} \leq 3480 \text{ bulunur.}$$

Tablo 3.1'deki oranlar Tablo 3.2'deki ürünler itibariyle bir saatlik ortalama çimento üretimi miktarları ile çarpılarak Tablo 3.3'deki katkı miktarları elde edilmiştir.

**Tablo 3. 3 Çimento Türlerine Göre Saatlik Üretim Miktarındaki Yarı Mamul Katkı Miktarları (Ton)**

	Saatlik Üretim (1)	Alçı Oranı(2)	Alçı Miktarı (3)=(1)x(2)	Tras Oranı (4)	Tras Miktarı (5)=(1)x(4)	Kalker K.Oranı (6)	Kalker Miktarı (7)=(1)x(6)	Klinker Oranı (8)	Klinker Miktarı (9)=(1)x(8)
Katkılı Ç.	121	0,04	4,84	0,19	22,99	0	0	0,77	93,17
Portland Ç.	82	0,04	3,28	0	0	0	0	0,96	78,72
Traslı Ç.	109	0,04	4,36	0,29	31,61	0	0	0,67	73,03
Portl. Kat. Ç.	100	0,04	4	0,195	19,5	0,1	10	0,665	66,5
Travers	74	0,04	2,96	0	0	0	0	0,96	71,04

**2.4.2. Pişirme Ünitesi teknik Katsayıları:** İşletme belirtilen çimento ürünleri haricinde ayrıca ürettiği klinkerin önemli bir kısmını satmaktadır. Bu durum, satışı yapılan klinkerin de bir ürün olarak değerlendirilip lineer programlama modeline konulmasını zorunlu kılmaktadır. 4,5 yıllık toplam klinker üretim miktarı 1729500 ton, (yıllık klinker üretim zamanı x 4,5 yıl) değerine bölünerek, saatlik üretim miktarı elde edilir.

$$\text{Ort.Klinker Üretimi} = \frac{1729500}{4,5 \times 7655} = 50,21 \text{ ton/saat bulunur.}$$

Çimento değirmenlerinde yetkililer klinkerin %08 lik bir kayba uğradığını ifade etmişlerdir. Buna göre Tablo 3.3'ün son sütunundaki klinker miktarları %08 lik kayıptan sonraki miktarlardır. Bu miktarlar ile bunların saatlik mamul üretim miktarına oranları (klinker çarpanı) Tablo 3.4'de görülmektedir.

**Tablo 3. 4 Her Mamul İçin Pişirme Ünitesinde Üretilmesi Gereken Klinker Oranı**

	Saatlik Üretim (1) ton	Klinker Katkısı (2) ton	Gerekli Klinker (3)=(2)/0,992	Klinker Çarpanı (4)=(3)/(1)
Katkılı Çimento	121	93,17	93,92	0,776
Portland Çimento	82	78,72	79,35	0,968
Traslı Çimento	109	73,03	73,62	0,675
Portland Katkılı Ç.	100	66,5	67,04	0,670
Travers	74	71,04	71,61	0,968
Klinker(satış)	50,2	50,2	50,2	1

Elde edilen bu sonuçlara göre döner fırınlarda yani pişirme ünitesinin sınırlayıcı denklemi;

$$\text{KÇ: } x_1 \quad \text{PÇ: } x_2 \quad \text{TÇ: } x_3 \quad \text{PKÇ: } x_4 \quad \text{Tr: } x_5 \quad \text{Klinker (Kln): } x_6$$

olmak üzere,

$$\frac{0,776x_1}{50,2} + \frac{0,968x_2}{50,2} + \frac{0,675x_3}{50,2} + \frac{0,670x_4}{50,2} + \frac{0,968x_5}{50,2} + \frac{x_6}{50,2} \leq 7655 \text{ bulunur.}$$

**2.4.3. Öğütme Ünitesi Teknik Katsayıları:** Üretim kapasiteleri aynı olan Farin 1 ve Farin 2 değirmenlerinin bulunduğu pişirme ünitesinin 4,5 yıllık toplam üretimi 2726993 tondur. Daha önce öğütme ünitesinin ortalama yıllık çalışma zamanı 7172 saat/yıl olarak bulunduğuna göre.

$$\text{Saatlik üretim} = \frac{2726993}{4,5 \times 7172} = 84,5 \text{ ton/saat bulunur.}$$

$$\text{Yetkililer} \frac{\text{Farin}}{1,65} = \text{Klinker oranının yaklaşık olarak mevcut olduğunu, yani}$$

100 ton klinker üretimi için 165 ton farin gerekli olduğunu bildirmişlerdir. Bu durumda Tablo 3.5'nin -Gerekli Klinker- sütunundaki klinker miktarlarının 1,65 katsayısı ile çarpılması sonucunda, pişirme (farin) ünitesinde bir saatlik çimento üretimi için üretilmesi gerekli malzeme (farin) miktarları bulunur. Tablo 3.5'de

bu miktarlar görülmektedir. Aynı tabloda bulunan bu değerler saatlik çimento üretimine bölünerek farin çarpanı çıkarılmıştır.

**Tablo 3. 5 Saatlik Çimento Üretimi İçin Gerekli Farin Miktarı (Ton)**

	Saat.Ç. Üretimi (1) ton	Gerekli Klinker (2)	Farin Katsayısı (3) ton	Farin Miktarı (4)=(2)x(3)	FarinÇarpanı (5)=(4)/(1)
Katkılı Çimento	121	93,92	1,65	154,97	1,281
Portland Çimento	82	79,35	1,65	130,93	1,597
Traslı Çimento	109	73,62	1,65	121,47	1,114
Portland Katkılı Ç.	100	67,04	1,65	110,62	1,106
Travers	74	71,61	1,65	118,16	1,597
Klinker(satış)	50,2	50,2	1,65	82,83	1,65

Elde edilen bu sonuçlara göre öğütme ünitesinin sınırlayıcı denklemleri;

$$\begin{aligned} \text{KÇ: } x_1 \quad \text{PÇ: } x_2 \quad \text{TÇ: } x_3 \quad \text{PKÇ: } x_4 \quad \text{Tr: } x_5 \\ \text{Kln.: } x_6 \end{aligned}$$

olmak üzere,

$$\frac{1,281x_1}{84,5} + \frac{1,597x_2}{84,5} + \frac{1,114x_3}{84,5} + \frac{1,106x_4}{84,5} + \frac{1,597x_5}{84,5} + \frac{1,650x_6}{84,5} \leq 7172 \text{ bulunur.}$$

**2.4.4. Kırma Ünitesi Teknik Katsayıları:** Kırma ünitesinde bir adet konkasör bulunmakta olup 4,5 yıllık toplam üretimi 2410878 tondur. Daha önce kırma ünitesinin ortalama yıllık çalışma zamanı 3952 saat/yıl olarak bulunduğu göre.

$$\text{Saatlik üretim} = \frac{2410878}{4,5 \times 3952} = 135,6 \text{ ton/saat bulunur.}$$

Kırma ünitesinde hammaddelerden kalker, alçı taşı ve tras burada ilk kırma işlemine tabi tutulmaktadır. Her bir mamulün saatlik üretimi için kırıcıdan ne kadar malzeme üretileceğine ilişkin bilgiler, Tablo 3.3 ve 3.5'den de yararlanılarak Tablo 3.6'da verilmiştir. Alçı, tras ve kalker malzemeleri nemden dolayı çimento değirmenlerinde kayba uğramaktadırlar. Bu kayıp oranları; kalkerde %5, alçıda %5 ve trasta %15 civarındadır. Dolayısıyla bu oranlardaki miktarlar, kuru bazdaki nispi miktarlarına eklenmek suretiyle kırıcıdan çıkan malzeme miktarı bulunacaktır.

**Tablo 3. 6 Saatlik Çimento Üretimi İçin Kırma Ünitesinde Üretilen Malzeme Miktarı (Ton)**

	Saatlik Üretim (1)	Alçı		Tras		Kalker		Farin Kalkeri		Top. Malz. (2)	Üretim Çarpanı (3)=(1)/(2)
		Karışım	Kayıp %5	Karışım	Kayıp %15	Karışım	Kayıp %5	Farin	Kalker		
Katkılı Ç.	121	4,84	0,242	22,99	3,448	0	0	154,97	135,047	166,567	1,377
Portland Ç.	82	3,28	0,164	0	0	0	0	130,93	114,098	117,542	1,433
Traslı Ç.	109	4,36	0,218	31,61	4,741	0	0	121,47	105,854	146,783	1,347
Portl. Kat. Ç.	100	4	0,2	19,5	2,925	10	0,5	110,62	97,195	133,82	1,338
Travers	74	2,96	0,148	0	0	0	0	118,16	102,969	106,077	1,433
Klinker (satış)	50,2	-	-	-	-	-	-	82,23	71,659	71,659	1,427

Öğütme ünitesi farinin üretildiği ünite olup, bu üniteye bulunması gereken malzemenin %80 ini kalker ve %20 sini de kil oluşturmaktadır. Ancak malzeme işleme tabi tutulduğunda kalker %6 ve kil ise %17 civarında kayba uğramaktadır. Bu işlemten sonra Tablo 3.5'deki farin miktarları elde edilmektedir. O zaman öğütme (farin) ünitesinde bulunması gereken malzeme miktarını aşağıdaki biçimde formülize edebiliriz.

F : Farin, m : Gerekli malzeme (%80 kalker + %20 kil)

$$F = 0,8m - (0,8m \times 0,06) + 0,2m - (0,2m \times 0,17)$$

$$F = 0,8m(1 - 0,06) + 0,2m(1 - 0,17)$$

$$F = 0,8m \times 0,94 + 0,2m \times 0,83$$

$$F = m(0,8 \times 0,94 + 0,2 \times 0,83)$$

$$F = 0,918m \quad m = \frac{F}{0,918} \quad \text{yani} \quad m = 1,0893F \text{ olarak hesaplanabilir.}$$

1,0893 değerine *Farin Malzemesi Katsayısı* diyebiliriz. Farin malzemesi katsayısı, örneğin saatlik katkılı çimento üretimi için gerekli farin miktarı olan 154,97 ton ile çarpılarak, bunun için gerekli kalker ve kil karışım malzeme miktarı elde edilir.

$$m = 1,0893F = 1,0893 \times 154,97 = 168,809 \text{ ton}$$

Bu miktarın %80 i kalker olduğuna göre, kırıcının vermesi gereken kırılmış kalker miktarı;

$$168,809 \times 0,8 = 135,047 \text{ ton olarak bulunur.}$$

Diğer mamuller için de aynı şekilde değerler bulalım:

$$PÇ: 130,93 \times 1,0893 \times 0,8 = 114,098 \text{ ton}$$

$$TÇ: 121,47 \times 1,0893 \times 0,8 = 105,854$$

$$PKÇ: 110,62 \times 1,0893 \times 0,8 = 97,195 \text{ ton}$$

$$Tr: 118,16 \times 1,0893 \times 0,8 = 102,969$$

$$Kl: 82,23 \times 1,0893 \times 0,8 = 71,659$$

Sonuçta, bulunan farin kalkerı değerleri ile diğer kalker, alçı ve tras karışım ve kayıp miktarları toplanarak, her bir mamulün bir saatlik üretimi için gerekli, kırıcı ünitesi üretimi bulunmuş olur. Bu miktarların her bir mamulün saatlik üretimine oranı ile her bir ürün için kırma ünitesi katsayıları elde edilmiş olacaktır. Tablo 3.6'da bu oranlar son sütunda verilmiştir.

Bulunan bu sonuçlara göre kırma ünitesinin sınırlayıcı denklemi;

$$KÇ: x_1 \quad PÇ: x_2 \quad TÇ: x_3 \quad PKÇ: x_4 \quad Tr: x_5 \quad Kl.: x_6$$

olmak üzere,

$$\frac{1,377x_1}{135,6} + \frac{1,433x_2}{135,6} + \frac{1,347x_3}{135,6} + \frac{1,338x_4}{135,6} + \frac{1,433x_5}{135,6} + \frac{1,427x_6}{135,6} \leq 4289$$

olarak belirlenmiş olur.

## 2.5. Amaç Fonksiyonunun Katsayılarının Bulunması

İşletmenin; kapasite planlamasında kurulacak doğrusal programlama modelinin tutarlılığı, amaç fonksiyonunun katsayılarını oluşturacak ürün kârlarının doğruluğu oranında anlamlı olacaktır. İşletmeden alınan ürün satış fiyatları ile değişken maliyet ve kâr değerleri USA doları olarak Tablo 3.7'de belirtilmiştir.

**Tablo 3. 7 Ürünlerin Birim Kârları**

	Satış Fiyatı(1)	Birim Değ. Maliyet (2)	Birim Kâr(3)=(1)-(2)
Katkılı Çimento	41	16,72	24,28
Portland Çimento	50,5	26,4	24,1
Traslı Çimento	36	15,84	20,16
Portland Katkılı Ç.	38	17,6	20,4
Travers	70	31,68	38,32
Klinker(satış)	25	16	9

Görüldüğü gibi birim kârın elde edilmesinde birim değişken maliyetler kullanılmıştır. Bunun da nedeni, değişken maliyetlerin üretim miktarının artış ve azalışlarından etkilenen maliyetler olmasıdır. Aralarındaki ilişki de lineer programlama problemlerinin varsayımından hareketle doğrusal olarak kabul edilmektedir. Buna göre birim kârı en fazla olan mamul 38,32 \$ ile Travers çimentodur.

Bu verilerle işletmenin kârını maksimize eden amaç fonksiyonu;

$$Z_{\max} = 24,28x_1 + 24,1x_2 + 20,16x_3 + 20,4x_4 + 38,32x_5 + 9x_6$$

biçiminde olacaktır.

## 2.6. Doğrusal Programlama Modeli

Tablo 3.8'de görüleceği gibi işletme PKÇ satışına 1998 yılında başlamış, travers ve PÇ yıllık satış ortalaması ise 10000 tonun altında kalmıştır.

**Tablo 3. 8 Yıllık Ürün Satış Ortalaması**

MAMÜL	1994	1995	1996	1997	1998(6AY)	Toplam	Ortalama
KÇ X <sub>1</sub>	166609	269324	255473	279233	2149	972788	216175
PÇ X <sub>2</sub>	855	9562	8118	509	905	19949	4433
TÇ X <sub>3</sub>	95054	117187	78912	103185	1147	395485	87885
PKÇ X <sub>4</sub>	0	0	0	0	146464	146464	32547
Travers X <sub>5</sub>	10502	5427	12097	8973	540	37539	8342
Klinker X <sub>6</sub>	112000	80937	149459	70049	107509	519954	115545

Tablo 3.8'deki veriler dikkate alınarak; Portland Çimento (PÇ) ile Traversin, yıllık satışlarının az olması ve yıllık satış ortalamalarının da 10000 tonun altında bulunması nedeniyle, Pazar sınırlamalarının 10000 ton olarak alınması uygun olacaktır.

**Amaç Fonksiyonu;**

$$Z_{\max} = 24,28x_1 + 24,1x_2 + 20,16x_3 + 20,4x_4 + 38,32x_5 + 9x_6$$

**Sınırlayıcı Denklemler;**

**Kırma Ünitesi Sınırlaması,**

$$0,010155x_1 + 0,010568x_2 + 0,009934x_3 + 0,009867x_4 + 0,010568x_5 + 0,010524x_6 \leq 4289$$

**Öğütme Ünitesi Sınırlaması,**

$$0,01516x_1 + 0,018899x_2 + 0,013183x_3 + 0,013089x_4 + 0,018899x_5 + 0,019527x_6 \leq 7172$$

**Pişirme Ünitesi Sınırlaması,**

$$0,015458x_1 + 0,019283x_2 + 0,013446x_3 + 0,013347x_4 + 0,019283x_5 + 0,019920x_6 \leq 7655$$

**Çimento Ünitesi Sınırlaması,**

$$0,008264x_1 + 0,012195x_2 + 0,009174x_3 + 0,01x_4 + 0,013514x_5 \leq 3480$$

**Satış Sınırlaması,**

$$x_2 \leq 10000$$

$$x_5 \leq 10000$$

**Pozitiflik Şartı;**

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \geq 0$$

Bu modelin başlangıç simpleks tablosu Tablo 3.9'de görülmektedir.

**Tablo 3. 9 Maksimizasyon Başlangıç Simpleks Tablosu**

Bir im Kâr c <sub>b</sub>	C <sub>j</sub> Temel	24,28	24,1	20,16	20,4	38,32	9	0	0	0	0	0	0	Çözüm
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	
0	S <sub>1</sub>	$\frac{1,377}{135,6}$	$\frac{1,433}{135,6}$	$\frac{1,347}{135,6}$	$\frac{1,338}{135,6}$	$\frac{1,433}{135,6}$	$\frac{1,427}{135,6}$	1	0	0	0	0	0	4289
0	S <sub>2</sub>	$\frac{1,281}{84,5}$	$\frac{1,597}{84,5}$	$\frac{1,114}{84,5}$	$\frac{1,106}{84,5}$	$\frac{1,597}{84,5}$	$\frac{1,650}{84,5}$	0	1	0	0	0	0	7172
0	S <sub>3</sub>	$\frac{0,776}{50,2}$	$\frac{0,968}{50,2}$	$\frac{0,675}{50,2}$	$\frac{0,670}{50,2}$	$\frac{0,968}{50,2}$	$\frac{1}{50,2}$	0	0	1	0	0	0	7655
0	S <sub>4</sub>	$\frac{1}{121}$	$\frac{1}{82}$	$\frac{1}{109}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{74}$	0	0	0	0	1	0	0	3480
0	S <sub>5</sub>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	10000
0	S <sub>6</sub>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	10000
Z <sub>i</sub>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c <sub>j</sub> - Z <sub>i</sub>		-24,28	-24,1	-20,16	-20,4	-38,32	-9	0	0	0	0	0	0	



**Tablo 3. 10 MODEL' in Çözümü**

Summarized Report for MODEL Page : 1						
Num Varble	Solution	Opportunity Cost	Objective Coefficient	Minimum Obj. Coeff	Maximum Obj. Coeff	
1	X1	+404750.75	0	+24.280001	+19.191950	+26.591013
2	X2	0	+7.9516578	+24.100000	- Infinity	+32.051659
3	X3	0	+5.6483283	+20.160000	- Infinity	+25.808329
4	X4	0	+6.9098330	+20.400000	- Infinity	+27.309832
5	X5	+10000.000	0	+38.320000	+34.540833	+ Infinity
6	X6	+6943.7544	0	+9.0000000	+2.4134150	+25.162258
Maximized OBJ = 1.027304E+07 Iteration = 3 Elapsed CPU second = 0						
Summarized Report for MODEL Page : 2						
Constr.	Status	RHS	Shadow Price	Slack or Surplus	Minimum RHS	Maximum RHS
1	Tight	<+4289.0000	+855.18811	0	+4215.9238	+4672.4048
2	Loose	<+7172.0000	0	+711.39758	+6460.6025	+ Infinity
3	Loose	<+7655.0000	0	+1067.2133	+6587.7866	+ Infinity
4	Tight	<+3480.0000	+1887.1692	0	+1883.4592	+3539.4683
5	Loose	<+10000.000	0	+10000.000	0	+ Infinity
6	Tight	<+10000.000	+3.7791662	0	0	+143922.27
Maximized OBJ = 1.027304E+07 Iteration = 3 Elapsed CPU second = 0						

Başlangıç tablosu verilen bu model QSA bilgisayar paket programı ile çözülerek Tablo 3.10'da görüldüğü gibi optimum çözüm değerleri bulunmuştur.

Optimum çözüm sonunda;

Katkılı Çimento Üretimi:

$$x_1 = 404750,7 \text{ ton/yıl}$$

Travers Üretimi:

$$x_5 = 10000 \text{ ton/yıl}$$

Klinker Üretimi (satış için):

$$x_6 = 6943 \text{ ton/yıl}$$

Kâr Z(Kâr):

$$10.273.000 \$$$

bulunmuştur.

Bu kâr işletmenin vergi öncesi karı olup toplam sabit maliyetler dikkate alınmamıştır.

Bu model ile getirilen çözümde öğütme ve pişirme ünitelerinde önemli düzeyde atıl kapasite söz konusudur. Tablo 3.10'dan atıl kapasite miktarları;

Öğütme Ünitesinde ..... 711 saat

Pişirme Ünitesinde ..... 1067 saat tir.

Tam kapasite ile çalışan kırma ünitesinin gölge fiyatı 855 \$, çimento ünitesinin gölge fiyatı ise 1887 \$ dir. Yani bu ünitelerin ilâve bir saat çalışması kâra sırasıyla 855 \$ ve 1887 \$ katkı sağlayacaktır.

Ünitelerin, gölge fiyatlarını ve çözüm setini etkilemeyen maksimum duyarlılık limitleri (RHS) ile gölge fiyatlar Tablo 3.10' da görülmektedir. Buna göre kırma ve çimento ünitesinde gölge fiyatlarını değiştirmeyen maksimum kapasite sınırlarında üretim yapıldığında,

Kırma Ünitesinde,

$4672 - 4289 = 383$  saat ilâve çalıştırılması ile  $383 \times 855 = 327.465$  \$ ek kâr elde edilecektir. Çimento Ünitesinde,  $3539 - 3480 = 59$  saat ilâve çalıştırılması ile  $59 \times 1887 = 111.333$  \$ ek kâr elde edilecektir.

### TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Çimento sektörü Türkiye'de hızla yaygınlaşan bir sektördür. Bu alanda yurt içinde önemli bir talep olmasına karşın firmalar arasında ucuz ve kaliteli çimento ürünleri üretme mücadelesi de kaçınılmazdır. Öncelikle çimento üretimi hammaddesini oluşturan kalker, kil, alçı taşı ve trasın yoğun bulunduğu alanlarda üretiminin daha kârlı olacağı muhakkaktır. Çalışmamızın yapıldığı işletmede bu yönüyle zengin bir alanda üretim yapılmaktadır.

İşletmede inceleme yapılan 1994 yılından beri; katkılı çimento, portland çimento, traslı çimento, portland katkılı çimento ve travers üretilmektedir. Ayrıca üretilen klinkerin bir kısmının da diğer şubelere satıldığı görülmektedir.

İşletmenin son 4,5 yıllık verileri baz alınarak optimum kapasite kullanımı için pazar sınırlaması modeli geliştirilmiştir. Bu çözümde, 404750 ton/yıl katkılı çimento, 10000 ton/yıl travers ve 6943 ton klinker (satış) üretimi ile 10.273.000 \$ kâr elde edilmiştir. Bu model işletme için temel bir model oluşturmaktadır. Bu modelin duyarlılık analizindeki sonuçlar, işletmenin ana üretim ünitelerindeki duruşları ve yeni Pazar sınırlamaları göz önüne alınarak alternatif modeller ve hedef modeller geliştirilebilir.

### KAYNAKLAR

- CHASE, R. B., AQUILANO, N. J., (1992) **Production and Operations Management**, Irwin, Boston.
- ESİN, A., (1988) **Yöneylem Araştırmasında Yararlanılan Karar Yöntemleri**, 3.Baskı, G.Ü. Yayınları No:126, Ankara.
- GASS, S. I., (1982) **Linear Programming**, McGraw-Hill, New York,
- GÜLERMAN, A., (1976) **Mühendislik Ekonomisi ve İşletme Yönetimi**, E.Ü.Müh.Bil.Fak.Tekstil Müh. Böl.Yayınları No:4, İzmir.

- MEREDITH, J. R., (1987) *The Management of Operations*, John Wiley and Sons. Inc. New York.
- MÜFTÜOĞLU, T., (1978) **İşletme İktisadi Açısından Sanayi İşletmelerinde Üretim Kapasitesi**, Ankara Üniversitesi Yayın No:422.
- ÖZTÜRK, A., (2001) **Yöneylem Araştırması**, 7. Basım, Ekin Kitabevi, Bursa.
- PAUL R. T., (1988) **Linear Programming and Game Theory**, John Wiley&Sons, New York.
- RICHARD B. D., (1991) **Introduction to Linear Programming**, Marcel Dekkar Inc., New York.
- SAUL I. G., (1982) **Linear Programming**, McGraw-Hill, New York.
- SERPER, Ö., GÜRSAKAL, N., (1982) **Doğrusal Programlama**, B.İ.T.İ.A. İşletme Fak. Yayını No:15, Bursa.
- TATAR T., (1993) **Yatırımların Seçimi ve Değerlendirme Teknikleri**, Gazi Üniversitesi Yayını, Ankara.
- ÜRETEN S. , (1997) **Üretim/İşlemler Yönetimi**, Ankara.