

**PİRİNÇSAN A.Ş.'DE  
DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİYLE  
HAMMADDE MALİYETİNİN BULUNMASI**

**Tamer EREN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

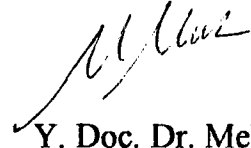
(93568)

**TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMENTASYON MERKEZİ**

**Haziran 2000**

**ANKARA**

Tamer EREN tarafından hazırlanan PİRİNÇSAN A.Ş.'DE DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİYLE HAMMADDE MALİYETİNİN BULUNMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Y. Doç. Dr. Mehmet ATAK

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan

: Prof. Dr. Feri Kuntay 

Üye

: Doç. Dr. Hadi Gökçen 

Üye

: Yard. Doç. Dr. Mehmet Atak 

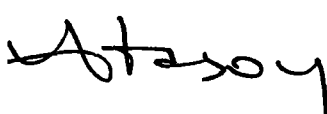
Üye

: \_\_\_\_\_

Üye

: \_\_\_\_\_

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

B. Atasoy 

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                    | sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET.....                                                                          | i     |
| ABSTRACT.....                                                                      | ii    |
| TEŞEKKÜR.....                                                                      | iii   |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                                          | iv    |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                                                            | vi    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                                       | vii   |
| <br>                                                                               |       |
| 1. GİRİŞ.....                                                                      | 1     |
| <br>                                                                               |       |
| 2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA.....                                                       | 7     |
| 2.1. Doğrusal Programlama Problemlerinin Tanımı ve Özellikleri.....                | 7     |
| 2.2. Doğrusal Programlamanın Genel Uygulama Alanları.....                          | 9     |
| 2.3. Doğrusal Programlamanın Yapısal Özellikleri.....                              | 11    |
| 2.4. Doğrusal Programlama İle İlgili Temel Varsayımlar.....                        | 11    |
| 2.4.1. Nispilik varsayımı.....                                                     | 12    |
| 2.4.2. Toplanabilirlik varsayımı.....                                              | 12    |
| 2.4.3. Bölünebilirlik varsayımı.....                                               | 13    |
| 2.4.4. Kesinlik varsayımı.....                                                     | 13    |
| 2.5. Eş Zamanlı Lineer Denklemler.....                                             | 13    |
| 2.6. Doğrusal Programlama Problemlerinin Özellikleri.....                          | 16    |
| 2.7. Doğrusal Programlama Modelinin Kurulması.....                                 | 19    |
| 2.8. Doğrusal Programlama Çözüm Yöntemleri.....                                    | 19    |
| 2.8.1. Simpleks yöntemi.....                                                       | 20    |
| 2.8.2. Doğrusal programlama problemlerinin çözümünde geçerli<br>olan tanımlar..... | 24    |

|           |                                                                         |     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.8.3.    | Simpleks yönteminin doğrusal programlama problemlerine uygulanması..... | 27  |
| 2.8.3.1.  | Sınırsız çözümler.....                                                  | 32  |
| 2.8.3.2.  | Dönüşüm formülleri.....                                                 | 34  |
| 2.8.4.    | Simpleks tablosu.....                                                   | 39  |
| 2.8.4.1.  | Simpleks algoritması.....                                               | 39  |
| 2.8.4.2.  | Tablo formatında simpleks metodu.....                                   | 41  |
| 2.8.5.    | Başlangıç temel uygun çözümün bulunması.....                            | 45  |
| 2.8.6.    | Yapay başlangıç çözümlü yöntemler.....                                  | 48  |
| 2.8.6.1.  | Büyük M metodu.....                                                     | 48  |
| 2.8.6.2.  | İki safhalı metot.....                                                  | 49  |
| 2.8.7.    | Dejenere problemin çözümü.....                                          | 53  |
| 2.8.7.1.  | Çıkış değişkenlerin seçilmesinde Lexicographic kuralı.....              | 54  |
| 2.8.7.2.  | Değişkenleri seçme, girme ve çıkartmak için Bland kuralı.....           | 55  |
| 2.9.      | Simpleks Algoritmasını Kullanmada Karşılaşılan Zorluklar.....           | 55  |
| 2.10.     | Duyarlılık Analizleri.....                                              | 57  |
| 2.10.1.   | Duyarlılık analizlerinin tablo gösterimi.....                           | 60  |
| 2.10.1.1. | Sürekli olmayan değişkenler.....                                        | 61  |
| 3.        | UYGULAMA.....                                                           | 68  |
| 3.1.      | Fabrikanın Tanıtımı.....                                                | 68  |
| 3.1.1.    | Makina Kimya Endüstrisi Kurumu.....                                     | 68  |
| 3.1.2.    | Pirinçsan A.Ş. ....                                                     | 69  |
| 3.2.      | Pirinçsan A.Ş. Fabrikası İmalat Sistemi.....                            | 73  |
| 3.3.      | Modelin Kurulması .....                                                 | 83  |
| 3.3.1.    | GAMS modeli.....                                                        | 84  |
| 3.4.      | Modelin Çözümü.....                                                     | 94  |
| 3.5.      | Problemde Duyarlılık Analizi Örnekleri.....                             | 110 |

|    |                        |     |
|----|------------------------|-----|
| 4. | SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 139 |
|    | KAYNAKLAR.....         | 141 |
|    | ÖZGEÇMİŞ.....          | 143 |



**PİRİNÇSAN A.Ş.'DE  
DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİYLE  
HAMMADDE MALİYETİNİN BULUNMASI  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Tamer EREN**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
Haziran 2000**

**ÖZET**

Bu tez çalışmasında, malzeme maliyetini minimum yapacak şekilde ürünü üretmek için hangi hammaddeden ne kadar kullanmak gerektiğini bulan maliyet-etkin bir üretim programı geliştirilmiştir. Genel olarak doğrusal programlamanın metodolojisi anlatıldıktan sonra, PİRİNÇSAN A.Ş.'de hammadde maliyetini optimize eden bir doğrusal programlama modeli kurulmuştur. Kurulan model, General Algebraic Modeling Systems (GAMS) paket programı kullanılarak çözülmüştür. Ayrıca duyarlılık analizleri yapılarak, farklı üretim alternatiflerinin maliyetleri hesaplanmıştır.

Bilim kodu : 605.02.03

Anahtar Kelimeler : Doğrusal programlama, Modelleme, GAMS

Sayfa Adedi : 143

Tez Yöneticisi : Y. Doç. Dr. Mehmet ATAĞ

**DETERMINING MATERIAL COST BY USING  
LINEAR PROGRAMMING METHOD  
IN PİRİNÇSAN A.Ş.  
(M.Sc. Thesis)**

**Tamer EREN**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
June 2000**

**ABSTRACT**

In this thesis, a cost-effective production program was developed to determine the raw material quantity in the alloy in order to minimize the material cost. Generally after explained the methodology of linear programming, a linear programming model was constructed to optimize material cost in Pirinçsan A.Ş. That constructed model, was solved by using the package program which named General Algebraic Modeling Systems (GAMS). Besides, the cost of different production alternatives was calculated by using sensitivity analysis.

Science code : 605.02.03  
Key Words : Linear programming, Modeling, GAMS  
Page Number : 143  
Adviser : Assist. Prof. Mehmet ATAĞ

## **TEŞEKKÜR**

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd.Doç.Dr. Mehmet ATAĞ'a yine bu çalışmamı yapmada bana yardımcı olan Pirinçsan A.Ş. yetkililerine teşekkürü bir borç bilirim.



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge .....                                                    | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Simpleks tablosu.....                               | 42    |
| Çizelge 2.2. Pivot işleminden önce Simpleks tablosu.....         | 44    |
| Çizelge 2.3. Pivot işleminden sonra Simpleks tablosu.....        | 45    |
| Çizelge 2.4. Duyarlılık analizi için genelleştirilmiş tablo..... | 60    |
| Çizelge 3.1. Malzemelerin alışım oranları.....                   | 74    |
| Çizelge 3.2. Hammaddelerdeki alışım oranları.....                | 78    |
| Çizelge 3.3. Hammadde miktarları ve fiyatları.....               | 79    |
| Çizelge 3.4. Malzeme sipariş miktarı.....                        | 80    |
| Çizelge 3.5. BAKIRSTOK miktarları.....                           | 87    |
| Çizelge 3.6. CINKOSTOK miktarları.....                           | 88    |
| Çizelge 3.7. KURSUNSTOK miktarları.....                          | 89    |
| Çizelge 3.8. ALUMINYUMSTOK miktarları.....                       | 90    |

| <b>Çizelge .....</b>                                                                              | <b>Sayfa</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 3.9. KALAYSTOK miktarları.....                                                            | 91           |
| Çizelge 3.10. ANTIMONSTOK miktarları.....                                                         | 92           |
| Çizelge 3.11. Bulunan sonuçlara göre üretilecek malzemelerin içindeki<br>hammadde miktarları..... | 95           |
| Çizelge 3.12. Fabrikanın kendi yöntemleriyle bulduğu sonuçlar .....                               | 103          |
| Çizelge 3.13. BT için Z değerleri.....                                                            | 111          |
| Çizelge 3.14 GY için Z değerleri.....                                                             | 113          |
| Çizelge 3.15. 7002 nin talep miktarı değişmesinden sonraki çözümde<br>bulunan değerler.....       | 115          |
| Çizelge 3.16. 7001 in hurda değer kullanılmadığında bulunan değerler. ....                        | 123          |
| Çizelge 3.17. Yeni ürün eklendiğinde bulunan değerler.....                                        | 131          |

**ŞEKİLLERİN LİSTESİ**

| <b>Şekil .....</b>                               | <b>Sayfa</b> |
|--------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 3.1. Ürün ağacı.....                       | 70           |
| Şekil 3.2. Gömlek yüksükleri.....                | 72           |
| Şekil 3.3. BT için Z değerlerinin gösterimi..... | 112          |
| Şekil 3.4 GY için Z değerlerinin gösterimi.....  | 113          |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

TL

### Açıklamalar

Türk Lirası

### Kısaltmalar

AL

BB

BH

BT

EC

EK

GAMS

GP

GY

HH

HK

KA

KB

### Açıklamalar

Alüminyum

Blister bakır

Bakır hurda

Bakır tel

Elektrot çinko

Elektrot kurşun

General Algebraic Modeling System

Granüle pirinç

Gömlek yük şeridi

Hurda kapçık

Hurda kovan

Külçe antimon

Katot bakır

|            |                                |
|------------|--------------------------------|
| <b>KK</b>  | <b>Külçe kalay</b>             |
| <b>LP</b>  | <b>Linear Programming</b>      |
| <b>MKE</b> | <b>Makina Kimya Endüstrisi</b> |
| <b>PH</b>  | <b>Pirinç hurdası</b>          |
| <b>RA</b>  | <b>Radyotör</b>                |
| <b>TH</b>  | <b>Tombak hurda</b>            |



## 1. GİRİŞ

Bilgi ve teknolojinin baş döndürücü bir hızla geliştiği 2000'li yıllarda işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri bu hıza ayak uydurabilmelerine bağlıdır. Bu nedenle işletmeler, çok hızlı bir değişim ve gelişme süreci içinde doğru kararları gecikmeden almak zorundadırlar.

Artan rekabet koşullarında işletmeler mevcut kaynaklarını(zaman, sermaye, işgücü, hammadde) optimum bir şekilde kullanmalıdırlar. Optimizasyon, belli kısıtlar altında ya karın maksimum yapılması ya da maliyetin minimum yapılmasıdır. Üretim işletmelerinde amaçlardan biri, üretim maliyetlerinin minimum seviyede olmasıdır.

Eldeki kaynakların etkin kullanımını sağlamak için aşağıdaki sorulara cevap aranır:

- Hangi mal veya hizmetler ne kadar üretilmelidir?
- Üretim, hangi üretim faktörlerinin yardımıyla hangi yöntemlerle nasıl yapılmalıdır?
- Mal ve hizmetler kimler için üretilmelidir?

Etkin bir maliyet kontrolü için üretim plan ve programlarının düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Üretim maliyetin sağlıklı bir şekilde hesaplanması için bütün faktörler dikkate alınmalıdır. Gereksiz harcamalar ve azaltılması gereken maliyetler incelenmelidir [1].

İşletmeler, faaliyetlerini devam ettirebilmek için bazı malları kullanmak, bazı hizmetlerden yararlanmak zorundadır. Örneğin üretim faaliyetlerini devam ettirebilmek için hammadde kullanmak, çalıştırdığı personele ücret ödeyebilmek, elektrik-su kullanmak durumundadır. Buna göre gider, işletmenin faaliyetini ve varlığını sürdürebilmesi ve bir gelir elde edebilmek için belli bir dönemde kullandığı ve tükettiği mal ve hizmetlerin parasal tutarıdır.

Maliyet ise, üretim yapan işletmelerde üretim ile ilgili olarak kullanılan ve tüketilen mal ve hizmetlerin parasal karşılığıdır. Başka bir ifade ile maliyet; mal ve hizmet üretiminde işletme tarafından yapılan çeşitli giderlerin (hammadde, işçilik, genel üretim giderleri), uğranılan kayıpların (amortisman, fire) ve para ile ölçülebilen fedakarlıkların (sosyal sigorta işveren payı, sosyal yardımlar) toplamıdır[2].

Bir işletmede mal ve hizmet üretiminde maliyete katılacak giderler, çeşitli açılardan sınıflandırılabilir. Üretim maliyeti ile olan ilişkisi açısından adlarına göre giderler şu gruplarda toplanabilir:

1. Hammadde ve malzeme giderleri
2. İşçi ve memur ücret ve giderleri
3. İşletme giderleri
4. Amortisman ve tükenme payları
5. Çeşitli giderler (reklam ve sigorta gibi)

Endüstri işletmelerinde hammadde maliyeti, üretim maliyetinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

Endüstri sektörünün bir alt çalışma sahası ve bu çalışmaya da esas olan metal sektöründe kullanılan malzemeler, hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilir. Doğal olarak, bunun en iyi şekilde (optimum tarzda) yapılmasında karşılaşılan en büyük sorun; “hangi mamul için, hangi hammaddeleri, ne miktarda kullanmak gerektiği” sorunudur. Bu soruna rasyonel yaklaşılmaması durumunda, hammadde kullanımını belli bir program dahilinde yapmamaktadır. Bu nedenle hammadde maliyeti tam olarak düşürülememekte, bu da maliyeti doğrudan etkilemektedir. Metal endüstrisinde hammadde maliyeti malzeme maliyetinin yaklaşık olarak yarısını oluşturmaktadır. Bu maliyet kaleminin düşürülmesi için maliyet-etkin rasyonel karar verme yaklaşımlarının kullanılması kaçınılmazdır.

İşletmeler, artık günümüzde insanın tecrübelerinden, bilgisayarların da hızlarından faydalanarak problemlerini daha kısa sürede ve daha sağlıklı biçimde çözmektedirler. Bunun için karar vericiye yardımcı olan karar destek sistemleri geliştirilmiştir.

Karar destek sistemleri; daha iyi karar alabilmek için bilgisayarın kapasitesi ile bireysel olarak zihinsel kaynakların birleşiminden oluşur [3].

Karar destek sistemlerinin faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Karar destek sistemlerinin kompleks problemleri çözme özelliği vardır
- Şartlar değiştiğinde ve beklenmedik durumlarda daha kısa sürede sonuca ulaşılabilir
- Farklı konfigürasyonlarda birden fazla stratejilerde çalışma imkanı vardır

- Her çalışmada yeni şeyler öğrenilir
- Bilgi toplamak kolaydır
- Yönetim kontrol ve performansı artırır
- Etkin maliyet kontrolü sağlar
- İş rutinlikten kurtulur
- Doğru karar vermeye yardımcı olur
- Yönetimsel verimliliği artırır
- Bireysel veya grupsal kaynaşmayı sağlar

Bir çok üretim işletmesinde sipariş alınan malzemeleri üretmek için kullanılacak hammaddelerin miktarları genellikle kişisel tecrübelerle dayanarak ve sezgisel olarak yapılmaktadır.

Bu çalışmada, bu sorunu gidermek için; *maliyeti minimum verecek şekilde malzemeyi üretmek için hangi hammaddeden ne kadar kullanmak gerektiğini bulan maliyet-etkin bir üretim programı geliştirilmiştir.*

Bu program ile siparişler alındıktan sonra gerekli olan hammadde miktarları hesaplanarak uygun olan hammaddelerin en az maliyetle temin edilmesi sağlanabilir.

Burada ele alınan problem; yapısal olarak bir doğrusal programlama problemi ve özel olarakta bunun içinde bir harmanlama (karışım) problemidir. Malzemeler, karışım oranları ve maliyetleri farklı olan hammaddelerden üretilmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde; doğrusal programlama hakkında genel bir bilgi verilmektedir. Problemi çözmek için “doğrusal optimizasyon” yöntem olarak kullanıldı. Çünkü, bugün endüstriyel ve ekonomik analizlerde yaygınca kullanılan doğrusal programlama, tüm sayısal teknikler arasında en geniş uygulama alanı olanıdır.

Doğrusal programlama, işletmenin ulaşım, üretim, finansman, dağıtım ve reklamcılık gibi pek çok faaliyetlerinde karşılaştığı problemlerin çözümü için kullanılabilir. Ayrıca işletmede; karşılaşılabilecek darboğazların giderilmesinde, seçenekli üretim tekniklerinin kullanılmasının getirisini belirlemede, kaynakların etkin kullanımı ve bunların gölge fiyatlarının belirlenmesi ile en uygun çözümlere ulaştıracak politikaları saptamada, doğrusal programlama modelleri kullanılır.

Doğrusal programlama, karar değişkeni ve problem şartları olarak kısıtlayıcılara bağlı olan bir amaç fonksiyonunu, en iyi (maksimum veya minimum) kılmaya çalışır. Buna göre doğrusal programlama değişkenlere ve kısıtlayıcılara bağlı olarak amaca en iyi ulaşma tekniğidir. Temel olarak doğrusal programlama, verilen optimallik ölçütüne bağlı olarak kaynakların optimal şekilde dağıtımını içeren deterministik matematiksel bir tekniktir de denilebilir.

Çalışmanın üçüncü bölümü; uygulama kısmını içermektedir. Burada, ele alınan üretim sistemi hakkında genel bir bilgi verilmektedir. Fabrikanın

modelinin kurulmasında gerek duyulan temel unsurlar ve kısıtlar tanımlanmaktadır. Bunlara dayalı olarak modelin genel yapısı belirlenmektedir. Kurulan DP modelinin çözümünde *Genel Cebirsel Modelleme Sistemi* (GAMS) kullanılmaktadır. GAMS, programcılarının geniş ve kompleks matematiksel programlama modellerini daha kolay kurabilmesi ve çözebilmesi, ve ekonomistler gibi meslek dallarındakilerin bu modelleri daha verimli kullanabilmesi için dizayn edilmiştir. GAMS modellemeciler tarafından kolayca kullanılabilir. Cebirsel ifadelerden ibaret olması sayesinde GAMS, modellemecilerin üretkenliğini oldukça artırır. Matematiksel programlama uygulamalarının yürütme ve karar verme aşamalarını ifade edebilmeyi kolaylaştırır [4]. Ayrıca GAMS ile tüm notasyonlar için model uzun uzun yazmaya gerek kalmadan daha kolay ifade edilebilmektedir. Model geliştirildikten sonra, söz konusu olabilecek değişiklikleri programın tümünü etkilemeden yapabilme kolaylığını vermektedir. Sağladığı avantajlar nedeni ile GAMS çözümde kullanılmış ve modelin çözümünden bulunan sonuçlar bir tablo şeklinde ifade edilmiştir.

Son bölümde ise; çalışmanın sonuçları değerlendirilmiş, gelecek çalışmalar için söz konusu olabilecek öneriler belirtilmiştir.

## 2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

### 2.1. Doğrusal Programlama Problemlerinin Tanımı ve Özellikleri

Genel olarak doğrusal programlama problemi; sınırlayıcı koşullar adı verilen lineer denklemler veya eşitsizlikler grubu ile birlikte amaç denklemi adı verilen değişkenlerin doğrusal bir fonksiyonu optimize (maksimize veya minimize) etmektir.

II. dünya savaşının ikinci yarısından sonra askeri olmayan alanlarda yönetim bilimi uygulamalarının kullanımı artmasıyla iki gelişme oldu. Birincisi karar vermede sayısal yaklaşımlar üzerindeki araştırmalar ile bir çok metodolojinin gelişmesine sebep oldu. Bunlardan en önemlisi belki de 1947'de doğrusal programlama problemlerin çözümlenmesi için Dantzig'in bulduğu Simpleks Yöntemidir. Bunu bir çok gelişme takip etti ve yöneylem araştırması üzerine ilk kitap 1957'de Churchman, Ackoff ve Arnoff tarafından yayınlandı[5].

1947 ve 1949 yılları arasındaki kısa zamanda doğrusal programlamanın temellerinin büyük bir kısmı ortaya kondu. 1947'nin başlarında Koopmans klasik ekonomik teorilerin analizinde doğrusal programlamanın mükemmel bir yapı sağladığını gösterdi.

Buna rağmen doğrusal programlama birden ortaya çıkmadı. 1947' den önceki yıllarda matematikçiler doğrusal programlamada matematik teorisinin özü olan lineer eşitsizlik sistemleri konusunda çalıştılar.

Bu çeşit sistemlerin araştırılması 1826'da Fourier' in çalışmalarına dayanır. Bundan sonra çok az sayıda matematikçi bununla ilgili konularda çalıştı. Özellikle W. Karush' un 1930'da ki master tezinde sonlu boyutlar için

eşitsizlik sınırları bulunan fonksiyonlarda optimallik şartları konusunda çalıştı. Ayrıca çeşitli özel durumlar için doğrusal programlamanın temel Duality Teoremi değişik araştırmacılar tarafından ispat edildi.

Bunun yanında 1939'un hemen başında Kantorovich üretim planlama için doğrusal programlama modellerinin pratik uygulamaların önemini ortaya koydu. Bunların çözümü için de basit bir algoritma önerdi. Ne yazık ki Kantorovich'in çalışmaları Rusya'da ihmal edildi. Ancak Dantzig ve arkadaşlarının doğrusal programlamayı iyi bir şekilde ortaya koymasından sonra Kantorovich'in çalışmaları fark edildi.

Doğrusal programlama 1950 ler den 1960'lara kadar gelişmeye devam etti. Doğrusal programlama teorisi genişletildi ve başarılı uygulamalar yapıldı. 1975'de Kantorovich ve Koopmans kaynakların optimal olarak dağıtım teorisine olan katkılarından dolayı İsveç Kraliyet Bilim Akademisi tarafından Nobel iktisadi bilimler ödülünü almalarıyla konu kamuoyunun ilgisini de çekmeye başladı. Simpleks Algoritmaya alternatif bir algoritmadır.

1979'da doğrusal programlamada diğer bir önemli gelişme de kamuoyunun dikkatini çekti: L. G. Khachian; N. Z. Shor, D. B. Yudin ve A. S. Nemirovski tarafından bulunan simpleks metodundan çok farklı olan "elipsoid metodu" denilen metodun teorik olarak simpleks metodu yerine kullanılabileceğini ispatlamıştır.

Optimum sonuca ulaşmak için milyonlarca defa iterasyon gerektirebilen Simpleks metodundan farklı olarak elipsoid metodunda polinom zaman sınırında doğrusal programlama problemi ile optimum sonuç bulunur. Bütün dünyadaki gazeteler yeni algoritmanın sanki çok karmaşık ve çok büyük kaynak dağıtım problemlerini zamansız çözebilecekmiş gibi raporlar

yayınladılar. Maalesef elipsoid metodun teorik üstünlüğü pratik uygulamalarda hayata geçirilememiştir.

1984 yılında önemli bir gelişme de N. Karmarkar tarafından geliştirilen doğrusal programlama için İç Nokta Algoritmaları olmuştur. Yeni algoritma teorik olarak Simpleks metodu yerine kullanılmakla kalmamış aynı zamanda çok büyük ölçekli uygulamalı problemleri çözmede büyük bir performans göstermiştir. Karmarkar' ın algoritması da Simpleks metodundan çok farklıdır. Bu metotta muhtemel bir alanın içinden optimum sonuca ulaşılır. Bu iç nokta yaklaşımı son yıllardaki araştırmaların odak noktası olmuştur. Çok farklı teorik gelişmeler ve gerçek uygulamalar rapor edilmiştir. Bu konuda pek çok gelişmeler de beklenmektedir[6].

## **2.2. Doğrusal Programlamanın Genel Uygulama Alanları**

Klasik ve çok amaçlı doğrusal programlamanın uygulama alanı o kadar geniştir ki bunun tam bir listesini yapmak mümkün değildir. Fakat doğrusal programlamanın önemini göstermesi açısından burada bazı uygulamaları şunlardır[7].

- **Beslenmede Uygun Diyet Hazırlanması:** Dengeli beslenme için gerekli besin maddelerini içeren en ekonomik diyetin hazırlanması.
- **Personel ve Yük Taşıma:** Yolu en az tutarak işi tamamlama ve personeli en verimli şekilde kullanma çalışmaları.
- **Personel, Malzeme ve İş Ataması:** İşlerin en kısa ve verimli şekilde yapılabilmesi için personel, malzeme ve işlerin ayarlanmasında.

- **Benzin karışımı:** Oktan ve diğer oranları dikkate alarak uygun benzinin ayarlanması.
- **Personel planlaması:** uygun yerlere kişilerinde özelliklerini katarak uygun yerlere atanması.
- **Üretim planlaması:** Üretim yapan bir işletme için ürünün istenilen zaman ve şartlara uygun planlanmasında.
- **Yerleşim yeriyle ilgili (altyapı vb.) planlar:** Özellikle belediyelerde altyapının en az maliyetle uygun güzergahın belirlenmesinde.
- **Portföy seçimi:** Yatırım alternatiflerinden en fazla karı sağlayacak yatırımı seçmektir.
- **Bölgesel sağlık merkezi yerleşimi ve personel ayarlanması:** Bölgelerdeki nüfus ve diğer faktörlere dikkate alarak sağlık merkezlerinin nereye yerleşeceğini ve bunların içindeki personel sayısının ayarlanması.
- **Sivil savunma sistemleri yerleşimi:** Bir doğal afet durumunda sivil savunmanın en iyi işleyebilmesi için uygun yerleşimin yapılması.
- **Havayolları mürettebat tarifesi:** Havayolları çalışanların ergonomik biçimde uygun çalışma zamanlarının belirlenmesinde.
- **Uçak bakım planlama:** Bir uçakta arızalanma sürelerini dikkate alarak bakım planı yapılmasında.

- Stok planlama ve kontrolü: Bir firmada stok maliyetini en az tutabilme faaliyetleri.
- Trafik sinyalizasyon planlaması: Bir bölgede ulaşımın aksamaması için bir taşıtın en az duraklayarak bir bölgeden bir bölgeye gitmesinde trafik ışıklarının ayarlanması.

### 2.3. Doğrusal Programlamanın Yapısal Özellikleri

Yapısal olarak doğrusal programlama problemlerinin 3 özelliği vardır.

1. Üretim sistemlerinin performans ölçüsü olan amaç denklemi ve sınırlayıcı koşullar olarak probleme empoze edilen kısıtlar karar değişkeninin birinci dereceden lineer fonksiyonlarıdır.
2. Her bir sınırlayıcı koşul, kısıtın niteliğine bağlı olarak  $\leq$  (küçük veya eşit),  $\geq$  (büyük veya eşit) ya da  $=$  biçimindedir.
3. Modeldeki karar değişkenlerinin fiziksel faaliyet seviyelerini göstermeleri durumunda doğrusal programlama problemlerindeki bütün değişkenler negatif olamazlar[8].

### 2.4. Doğrusal Programlama İle İlgili Temel Varsayımlar

Bu kısımda söz konusu edilen doğrusal programlama problemi (modeli) geleneksel tek hedef (amaç) fonksiyonu ve  $m$  kısıttan oluşan bir sistemdir.

Bir optimizasyon problemini doğrusal programlama olarak yazmak için doğrusal programlama formülasyonunda kullanılması mutlak gerekli olan bazı varsayımlar vardır. Bu varsayımlar şunlardır [8]:

1. Nispilik Varsayımı
2. Toplanabilirlik Varsayımı
3. Bölünebilirlik Varsayımı
4. Kesinlik Varsayımı

#### **2.4.1. Nispilik varsayımı**

Bu varsayım işletmenin girdileri ile çıktıları arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğunu gösterir. Üretim düzeyi artarken aynı oranda üretim girdileri de artar. Ayrıca amaç fonksiyonu açık bir şekilde matematik olarak ifade edilmelidir. Amaç fonksiyonunun doğrusal olabilmesi için karar değişkenleri  $x_j$  lerin birinci dereceden ve  $c_j$  katsayıları da sabit olmalıdır.

#### **2.4.2. Toplanabilirlik varsayımı**

Bu varsayım değişik üretim faaliyetlerine kaynak olan üretim girdilerinin toplamının her bir işlem için ayrı ayrı kullanılan girdilerin toplamına eşit olduğunu gösterir. Örneğin bir iş iki saatte, diğeri üç saatte yapılıyorsa, iki işi birden yapmak için beş saate gerek vardır.

### 2.4.3. Bölünebilirlik varsayımı

Bu varsayıma göre karar değişkenleri kesirli parçalara bölünebilir ve tamsayı olmayan karar değişkenleri olabilir.

### 2.4.4. Kesinlik varsayımı

$c_j$ ,  $a_{ij}$  ve  $b_i$  katsayıların hepsi kesin olarak bulunabilir. Maliyet, ücretler, kaynak erişilebilirliği, talep ve diğer kullanımlara ait herhangi olası veya stokastik elementlerin bu katsayılarla yakınsandığı varsayılır.

## 2.5. Eş Zamanlı Lineer Denklemler

$Ax = B$  sistemini ve artırılan matris ele alındığında, matrisin  $m$  satırı  $n+1$  kolonu olsun. Eğer  $(A,b)$ 'nin rankı,  $A$  nın rankından büyük ise  $b$ ;  $a_1, a_2, \dots, a_n$  nin bir lineer kombinasyonu olamaz. Dolayısıyla  $Ax = b$  sisteminin çözümü olmaz ( $Ax = B, x \geq 0$  sisteminin de çözümü olmaz).

$rank(A) = rank(A,b) = k$  denildiğinde,  $(A,b)$  nin satırları yeniden sıralanırsa ;

$$(A,b) = \begin{bmatrix} A_1 & b_1 \\ A_2 & b_2 \end{bmatrix}$$

Bu durumda  $A_1 = k_1 \times n$ ,  $b_1$  bir  $k$  vektörü,

$A_2 = (m-k) \times n$  matrisi  $b_2$  de  $(m-k)$  vektörü olur. Ve  $rank(A_1) = rank(A_1, b_1) = k$  olur.

Eğer bir  $x$  vektörü  $A_1 x = b_1$  durumunu sağlarsa  $A_2 x = b_2$  durumunu da otomatik olarak sağlar. Bu nedenle gerekenden fazla ve bağımlı olan  $A_2 x = b_2$  atılabilir. Bağımsız olan  $A_1 x = b_1$  kalır.  $\text{rank}(A_1) = k$  olduğundan  $A_1$  in  $k$  tane lineer bağımsız kolonu atılır.  $A_1$  in kolonlarının yerleri yeniden düzenlendiğinde  $A_1 = (B, N)$  denilirse; bu durumda  $B$ ,  $k \times k$  bir tekil olmayan matris ve  $N$  de  $k \times (n - k)$  olur. Böyle bir  $B$  matrisi  $A_1$  in rankı  $k$  olduğu için vardır. burada  $B$  temel matris(  $B$  nin kolonları  $E^k$  temeli oluşturduğu için  $N$  de temel olmayan matris diye adlandırılır.  $x$ ,  $x_B$  ve  $x_N$  ayrıldığında; ( $x_B$ ;  $x_1, x_2, \dots, x_k$  den,  $x_N$  de  $x_{k+1}, \dots, x_n$  dan oluşur.)  $A_1 x = b_1$  in manası  $(B, N) \begin{bmatrix} x_B \\ x_N \end{bmatrix} = b_1$  olur. Bu da  $B x_B + N x_N = b_1$  eder.  $B$  nin bir tersi olduğu için  $x_B$ ,  $B^{-1}$  ile çarpılırsa  $x_N$  cinsinden çözülebilir.

$$x_B = B^{-1} b_1 - B^{-1} N x_N$$

$k = n$  durumunda,  $n$  anlamsız olur ve  $A_1 x = b_1$  sisteminin  $x_B = B^{-1} b_1 = A_1^{-1} b_1$  olan bir tek çözümü vardır. Diğer taraftan  $n > k$ ,  $x_N$  vektörüne rasgele değerler verildiğinde,  $x_B = B^{-1} b_1 - B^{-1} N x_N$  denklemi kullanılarak  $A_1 x = b_1$  sistemine  $\begin{bmatrix} x_B \\ x_N \end{bmatrix}$  çözümü bulunur. Burada  $x_B$  için tek bir çözüm bulunur. Bu durumda  $A_1 x = b_1$  sisteminin sonsuz sayıda elemanlı çözüm kümesi olur (dolayısıyla  $Ax = b$  sistemi).  $A_1$ ;  $B$  ve  $N$ 'e ayırtmak ve  $x_B = B^{-1} b_1 - B^{-1} N x_N$  ifade edilmesi şöyle olur.

$k$  denklemlilikli  $N$  bilinmeyenli bir sisteme,  $(n - k)$  tane değişkene  $x_N$ 'e karşılık gelen rasgele değerler verilir. Sonra  $k$  denklem ve  $k$  bilinmeyen sistem

çözöldüğünde; bu  $k$  denklem ve  $k$  bilinmeyenin tek bir çözüm kümesi vardır.

Bu nedenle  $B$  nin bir ters matrisi olması gerekir.  $x_N = 0$  ve  $x_B = B^{-1}b_1$  kullanılarak yapılan çözüm  $A_1x = b_1$  in temel çözümüdür.

Ortaya çıkabilecek özel durumlar özetlenirse;

1.  $rank(A, b) > rank(A)$   $Ax = b$  çözümü yoktur.
2.  $rank(A, b) = rank(A) = k = n$   $Ax = b$  sisteminin tek çözümü vardır.
3.  $rank(A, b) = rank(A) = k < n$   $Ax = b$  sonsuz sayıda çözümü vardır.

$Ax = b$  temel satır işlemleri yaparak Gauss-Jordan metoduyla  $A'x = b'$  şekline dönüştürölerek yukarıdaki üç durumdan hangisine uyduğı anlaşılır.

$$\begin{bmatrix} I_k & Q \\ 0 & 0 \end{bmatrix} x = \begin{bmatrix} b'_1 \\ b'_2 \end{bmatrix}$$

$$rank(A) = k \leq \min\{m, n\};$$

Eğer  $k < m$  ve  $b'_2 \neq 0$  ise 1. durum,

Eğer  $k = n \leq m$  ve  $m > n$  iken  $b'_2 = 0$  ise 2. durum,

Eğer  $k < n$  ve  $k < m$  iken  $b'_2 = 0$  ise 3. durum olur[8].

## 2.6. Doğrusal Programlama Problemlerinin Özellikleri

Doğrusal programlama problemi üç bileşen yani değişkenler, amaç ve kısıtlayıcı denklemler tarafından teşkil edilir. Değişkenler sürekli kontrol edilebilir.  $x_1$  birinci değişkeni,  $x_2$  ikinci değişkeni,  $x_3$  üçüncü değişkeni,  $x_n$   $n$ . değişkeni ifade ederse problemin sürekli ve negatif olmama yönünü aşağıdaki şekilde gösterilebilir[11].

$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

$$x_3 \geq 0$$

.....

$$x_n \geq 0$$

Doğrusal programlama modelinden beklenen sonucun alınabilmesi için amacın açık olarak bilinmesi ve kantitatif ifade edilmeleri gereklidir. Genellikle amaç, kârların en büyüklenmesi veya maliyetlerin en küçüklenmesi yönündedir[12]. Doğrusal amaç fonksiyonunda karar değişkenleri  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  ve kâr veya maliyet sabit katsayıları da  $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$  ile gösterilirse amaç fonksiyonu;

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n$$

şeklinde yazılır. Amaç  $z$ 'yi maksimum veya minimum yapacak  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  değişkenlerinin değerini bulmaktır[9].

Doğrusal programlama modelinin amaca ulaşımını sağlayacak seçenekli üretim yollarının olması gerektiği kabul edildiği gibi amaç fonksiyonunun belirli bir değerde en yüksek veya en az olabilmesi içinde  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  değişken değerlerinin bir değeri olmalıdır. Yoksa amaç fonksiyonunu artı sonsuzda maksimum veya minimum değer alır ki bunun firma için bir anlamı yoktur.

İşletmenin elindeki kaynakların miktarını  $b_1, b_2, b_3, \dots, b_m$  ve ürünlerin seçenekli üretim yolları yani üretim tekniği de  $a_{ij}$  semboli ile gösterelim.  $a_{ij}$ , bir birim  $j$  ürünü üretmek için kaynak  $b_i$ 'den gerekli olan miktarı gösterir. Üretim kapasiteleri ve üretim faktörleri sınırlı olduğundan modelin kısıtlayıcı denklem takımı aşağıdaki şekilde ifade edilir[10].

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

⋮

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ij}x_j + \dots + a_{in}x_n \leq b_i$$

⋮

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mj}x_j + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

Doğrusal programlama modelinin matematiksel ifadeleri aşağıdaki şekilde olacaktır[11].

Amaç Fonksiyonu:

$$Z \min (\max) = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_jx_j + \dots + c_nx_n$$

Kısıtlar

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1n}x_n \{ \leq, =, \geq \} b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j + \dots + a_{2n}x_n \{ \leq, =, \geq \} b_2$$

$\vdots$

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ij}x_j + \dots + a_{in}x_n \{ \leq, =, \geq \} b_i$$

$\vdots$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mj}x_j + \dots + a_{mn}x_n \{ \leq, =, \geq \} b_m$$

ve

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

Burada;  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  kontrol edilebilen karar değişkenler, yani faaliyet seviyeleri olmaktadır.

Özetle; herhangi bir doğrusal programlama modeli, belirlenen amaç fonksiyonunu maksimum veya minimum kontrol edilebilen değişkenleri bulmak için kurulur.

Bazı durumlarda kontrol edilebilen karar değişkenlerinin optimal değerini etkilemeden amaç fonksiyonu basitleştirilebilir. Eğer amaç fonksiyonuna sabitler eklenir veya çıkarılırsa, problemi çözerken sabitler ele alınmayabilir.

## **2.7. Doğrusal Programlama Modelinin Kurulması**

Bir problemi matematiksel programlama olarak ifade edebilmek için aşağıdaki üç adımın izlenmesi gerekir.

Adım 1: Yönünün belirlenmesi ve bunun matematik fonksiyon olarak ifade edilmesi. Aynı zamanda girdi değişkenlerinin belirlenmesi.

Adım 2: İstenen tüm kısıtlamaları belirleme ve onların matematiksel olarak ifade edilmesi.

Adım 3: Problemde yer alan değişkenlerin negatif olmama durumunun gösterilmesi.

## **2.8. Doğrusal Programlama Çözüm Yöntemleri**

Doğrusal programlama çözüm yöntemleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

**Geometrik Yöntem:** Doğrusal programlamada küçük boyutlu problemlerin (iki değişkenli) çözümünde kullanılabilir. Basit olmasına rağmen doğrusal programlama problemlerinin anlaşılması için iyi bir temel sağlar.

**Simpleks Yöntemi:** Doğrusal programlama problemlerin çözümünde kullanılan Non-polinomial bir algoritmadır. En çok kullanılan yöntem olduğu söylenebilir.

**Khachian'nın Elipsoid Yöntemi:** 1979'lara kadar Simpleks .Yönteminin dezavantajı sayılan Non-polinomiallık problemine çözüm arandı. Bu tarihte L. G. Khachian kendi ismiyle anılan bir polinomial algoritma öne sürdü. Ancak bu algoritma pratikte başarılı olamamıştır.

**Karmarkar'ın İç nokta Yöntemi:** Simpleks Yöntemi ortaya atıldıktan sonra hassas uygulamaları yapılmış ve yöntem üzerinde ciddi iyileştirmeler gerçekleştirildi. 1984'e kadar yöneme alternatif olabilecek güçlü bir başka yöntem geliştirilemedi. Bu tarihte Karmarkar yeni bir polinomial algoritma öne sürdü. Bu algoritma doğrusal programlamaya doğrusal olmayan programlama yaklaşımı olarak tanımlanabilir.

Bu çalışmada kullanılan yöntem Simpleks yöntemidir. Bundan sonraki konularda da daha çok Simpleks Yöntem üzerinde durulacaktır [8].

### **2.8.1. Simpleks yöntemi**

1947 yılının yazında doğrusal programlama problemlerinin çözmek için Dantzig tarafından Simpleks Yöntemi adı altında bir algoritma geliştirildi. Bu yöntemin ilk önemli uygulamaları 1947'nin sonlarına doğru yapıldı. J. Laderman 9 eşitlik kısıtlı 27 değişkenli bir diyet planlama problemlemini

çözmüştür. Bu problemin bir hesap makinası ile çözülmesi için 120 gün gerekti ve sayfalarca kağıt harcanıldı. Günümüzde modern bilgisayarlar kullanılarak ve Simpleks yöntemi daha hassas kullanılarak 5000 kısıtlı ve 10000 değişkenli problemler ile çok kolay bir şekilde çözülmektedir. Simpleks metodunun bir çok varyantı çıkmasına rağmen ve yeni hesaplama algoritmaları öne sürülmesine rağmen doğrusal programlama problemlerin çözümünde Simpleks Yöntemi hala tercih edilmektedir. Bu yöntem aynı zamanda mümkün çözüm bölgesini tanımlayan polihedral kümelerin yüzleri hakkında daha derin bir görüş sağlar.

Simpleks metodu, iteratif bir yöntem olup amaç fonksiyonunu maksimum veya minimum kılacak optimum çözüme, başlangıç mümkün çözümü adım adım iyileştirerek yaklaştıran bir tekrarlama işlemidir. Çözümün sonlanması olayı temel çözüm sayısı yaklaşık olarak  $m$  kısıt  $n$  değişkenli bir doğrusal programlama için mümkün çözüm sayısı  $\binom{n}{m} = \frac{n!}{m!(n-m)!}$  dir[12].

Simpleks Yöntemi amaç fonksiyonu da dahil olmak üzere tüm kısıtlar eşitlik biçiminde ifade edildiği standart formda tüm değişkenlerinde ( $\geq 0$ ) olarak tanımlanmasına dayanır.

Doğrusal programlama problemleri genel olarak;

$$\text{Max (min)} \quad z = \sum_{j=1}^r c_j x_j$$

$$\sum_{j=1}^r a_{ij} x_j \quad \{\leq, =, \geq\} b_i \quad i = 1 \dots m$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1 \dots n$$

biçiminde yazılabilir[13]. Problemlerin çözümüne başlandığında, kısıtlayıcılardaki eşitsizlikler, eşitlikler halinde dönüştürülür.

Bu amaçla şöyle bir yol izlenir:

Kısıtlayıcılardan herhangi biri;

$$\sum_{j=1}^r a_{ij} x_j \leq b_i \quad (2.1)$$

şeklinde olsun. Eşitsizliğin sol tarafına  $x_{r+1} \geq 0$  değişkeni eklenecek olursa,

$$\sum_{j=1}^r a_{ij} x_j + x_{r+1} = b_i$$

elde edilir.  $x_{r+1}$  Değişkeni gevşek (slack) değişken adını alır. Bu değişken eşitsizliğin sol tarafı, ilgili kaynakların toplam kullanımı göstermesi durumunda, kullanılmayan ya da üretim faaliyeti sonrası elde kalacak olan fazla kaynak miktarlarını temsil eder.

Benzer olarak kısıtlayıcı,

$$\sum_{j=1}^r a_{ij} x_j \geq b_i \quad (2.2)$$

şeklinde olsun. Eşitsizliğin sol tarafından,  $x_{r+1} \geq 0$  değişkeni çıkartılırsa,

$$\sum_{j=1}^r a_{ij} x_j - x_{r+1} = b_i$$

elde edilir. Buradaki  $x_{r+1} \geq 0$  değişkeni fazla değişken (surplus) adını alır. Eşit işaretli kısıtlayıcılarda herhangi bir değişiklik olmaz. Değişkenlerin sayısı, gevşek ve fazla değişkenlere bağlı olarak  $r$  ile  $r+m$  arasında değişir. Kısıtlayıcılara gevşek ve fazla değişkenler ilave edilerek eşitlikler elde edildiğinde amaç fonksiyonun değişmesi istenir. Bunu sağlamak için amaç fonksiyonunda gevşek ve fazla değişkenlere ilişkin  $c_j$  değerlerinin sıfır olduğu kabul edilir.

Böylece doğrusal programlama modelinin standart biçimi;

$$\begin{aligned} \text{Max (ya da min)} \quad z &= \sum_{j=1}^r c_j x_j \\ \sum_{j=1}^r a_{ij} x_j &= b_i \quad i=1 \dots m \\ x_j &\geq 0 \quad j=1 \dots n \end{aligned} \tag{2.3}$$

şeklinde olur. Buradaki  $n$ ,  $r + \text{ilave değişkenleri}$  ifade etmektedir. Yukarıdaki ifadeye doğrusal programlamanın standart şekli denir. Matris notasyonu kullanılırsa doğrusal programlama probleminin standart şekli;

$$\begin{aligned} Ax &= b \\ x &\geq 0 \end{aligned} \tag{2.4}$$

$$\text{Max (min)} \quad z = c x$$

biçiminde yazılır.  $B$  vektörüne ihtiyaç vektörü,  $z$  fonksiyonuna ise amaç fonksiyonu denir.

### 2.8.2. Doğrusal programlama problemlerinin çözümünde geçerli olan tanımlar

Standart şekle sokulmuş bir doğrusal programlama probleminin kısıtlayıcıları,

$$AX = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = b$$

Şeklinde yazılabilir. Burada  $a_j$ , ( $j=1... n$ ),  $A$  matrisinin sütunlarıdır. Aktivite vektörleri adını alır.  $i$ . Kısıtlayıcıya eklenen gevşek ve fazla değişkene karşı gelen sütunlar sırasıyla  $e_i$  ve  $-e_i$  birim vektörleridir (yani  $i$ . Elemanı 1 diğerleri 0).

$A$  matrisinin doğrusal bağımsız olan  $m$  tane sütununu seçerek bir  $B$  matrisi oluşturulur.  $B$ ' nin sütunları  $E^m$  için bir temeldir.<sup>1</sup>  $B$  temel matrisi adını alır.  $A$ ' nın  $B$ ' yi oluşturan sütunlarına,  $A$ ' nın temel sütunları ve bu sütunlara ilişkin değişkenlere temel değişkenler adı verilir.  $B$ ' nin sütunları da  $b_i$  ( $i = 1...m$ ) ile gösterilir.

Temelin özelliklerinden  $A$  matrisinin herhangi bir  $a_j$  sütunu,  $B$ ' nin sütunlarının doğrusal kombinasyonu olarak aşağıdaki gibi yazılır[10].

$$a_j = y_{1j}b_1 + y_{2j}b_2 + \dots + y_{mj}b_m = \sum_{j=1}^m y_{ij}b_i \quad (2.5)$$

Elemanları (2.5) deki  $y_{ij}$  ( $i=1...m$ ) sayıları olan bir  $Y_j$  vektörü düşünülürse.

<sup>1</sup>  $a = \{ a_1, a_2, \dots, a_m \}$  vektörlerinin tümü  $m$  boyutlu öklid uzayı adını alır ve bu uzay  $E^m$  ile gösterilir

Yani;

$$Y_j = \begin{bmatrix} y_{1j} \\ y_{2j} \\ \vdots \\ y_{mj} \end{bmatrix}$$

olsun. Bu vektör yardımıyla (2.5) deki eşitlik;

$$a_j = BY_j$$

şeklinde yazılabilir.  $B$ ,  $E^m$  için bir temel olduğuna göre tekil değildir. Dolayısıyla tersi mevcuttur. O halde,

$$Y_j = B^{-1}a_j$$

şeklinde olabilir.

$A$  matrisi  $B$  (temel) ve  $D$  (temel dışı) matrisi olarak tanımlandırılırsa,  $Ax = b$  sistemi rankı  $\text{rank}(A, b) = k$  ve  $k < n$  olması durumunda bir doğrusal programlama probleminde,  $B$  temelini oluşturan  $a_j$  sütunlarına ilişkin  $X_j$  değerleri pozitif ise bu çözüme temel mümkün çözüm denir. Burada  $D_{(m \times n-m)}$  boyutlu temel dışı matristir.  $B$  matrisini,  $A$ 'nın ilk  $m$  sütununu seçerek oluşturulduğu kabul edilirse buna göre  $A$  matrisini aşağıdaki gibi kısımlara ayrılabilir.

$$Ax = [B : D] \Rightarrow x = [B : D] \begin{bmatrix} x_B \\ x_D \end{bmatrix} = b$$

Temel çözüm tanımından  $x_D = 0$  olacaktır o halde,

$$B x_B = b$$

$$x_B = B^{-1}b$$

olur.  $x_{Bi}$  deki  $i$  indisi  $x_{Bi}$ 'nin,  $B$ 'nin  $b_i$  sütununa ilişkin değişken olduğunu ifade eder.

Her  $x_B$  temel çözümüne karşılık olan  $m$  elemanlı bir satır vektörü vardır. Elemanları temel değişkenlerin fiyatları olan bu vektör çoğunlukla,  $c_B = [c_{B1}, c_{B2}, \dots, c_{Bm}]$  şeklinde gösterilir[14].  $i$  indisi  $c_{Bi}$ 'nin,  $x_{Bi}$ 'nin fiyatı olduğunu gösterir.  $A$  matrisi ve  $x$  vektörüne uygun bir biçimde  $c$  vektörü de,  $c = [c_B : c_D]$  şeklinde kısımlara ayrılırsa, amaç fonksiyonu;

$$z = cx = [c_B : c_D] \begin{bmatrix} x_B \\ x_D \end{bmatrix} = c_B x_B + c_D x_D = c_B x_B$$

şeklinde bulunur.

Son olarak yeni bir  $z_j$  değişkeni tanımlanırsa.

$$z_j = y_{1j}c_{B1} + y_{2j}c_{B2} + \dots + y_{mj}c_{Bm} = \sum_{i=1}^m y_{ij}c_{Bi} = c_B y_j$$

$A$  matrisinin her  $a_j$  sütununa ilişkin bir  $z_j$  değeri vardır.  $A$ 'nın  $B$ 'deki sütunları değiştirilirse  $z_j$  değerleri de değişecektir [8].

### 2.8.3. Simpleks yönteminin doğrusal programlama problemlerine uygulanması

Doğrusal programlama problemlerinde çözüm, lineer eşitlik sisteminde herhangi bir temel uygun çözüm bulunması ile başlar[16].

Doğrusal programlama probleminin bir temel uygun çözümü  $x_B$  olsun.  $B$  temelinden sadece bir sütunu farklı olan bir değişik temele geçmek için temel dışındaki bir  $a_j$  vektörünü, temel vektörlerden biriyle değiştirmek gerekir. Bu;

$$a_j = \sum_{i=1}^m y_{ij} b_i$$

ifadesiyle  $y_{rj} \neq 0$  ise,  $a_j$  ve  $b_r$  sütunlarının değiştirerek sağlanır. (2.5) deki ifadeyi  $b_r$ 'ye göre çözülürse;

$$a_j = y_{11}b_1 + y_{12}b_2 + \dots + y_{rj}b_r + \dots + y_{mj}b_m$$

$$b_r = \frac{a_j - y_{11}b_1 - y_{12}b_2 - \dots - y_{mj}b_m}{y_{rj}}$$

bu ifadeyi genelleştirilirse;

$$b_r = \frac{1}{y_{rj}} a_j - \sum_{i=1, i \neq r}^m \frac{y_{ij}}{y_{rj}} \quad (i \neq r) \quad (2.6)$$

elde edilir. Doğrusal programlamanın bir temel uygun çözümü

$$\sum_{i=1}^m x_{Bi} b_i = b \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir. (2.6) ifadesini (2.7) de yerine konulursa;

$$\begin{aligned}
 x_{B1}b_1 + x_{B2}b_2 + \dots + x_{Br}b_r + \dots + x_{Bm}b_m &= b \\
 x_{B1}b_1 + x_{B2}b_2 + \dots + x_{Br} \left[ \frac{1}{y_{rj}} a_j - \sum_{i=1}^m \frac{y_{ij}}{y_{rj}} \right] (i \neq r) + \dots + x_{Bm}b_m &= b \\
 x_{B1}b_1 + x_{B2}b_2 + \dots + \frac{x_{Br}}{y_{rj}} a_j - x_{Br} \sum_{i=1}^m \frac{y_{ij}}{y_{rj}} (i \neq r) + \dots + x_{Bm}b_m &= b
 \end{aligned}$$

Bu denklemleri genelleştirilecek olursa;

$$\sum_{i=1}^m \left( x_{Bi} - x_{Br} \frac{y_{ij}}{y_{rj}} \right) b_i + \frac{x_{Br}}{y_{rj}} a_j = b \quad (i \neq r) \quad (2.8)$$

bulunur.  $x_{Bi}$  değişkeninin yeni temel çözümdeki değerlerini  $\bar{x}_{Bi}$  ile gösterilirse;

$$\bar{x}_{Bi} = x_{Bi} - x_{Br} \frac{y_{ij}}{y_{rj}} \quad (i \neq r) \quad (2.8a)$$

$$\bar{x}_{Br} = \frac{x_{Br}}{y_{rj}} \quad (2.8b)$$

bulunur. Yeni temel çözüm aynı zamanda uygun olmalıdır.

$$\bar{x}_{Bi} = x_{Bi} - x_{Br} \frac{y_{ij}}{y_{rj}} \geq 0 \quad (i \neq r) \quad (2.9a)$$

$$\bar{x}_{Br} = \frac{x_{Br}}{y_{rj}} \geq 0 \quad (2.9b)$$

olmalıdır. Bu temelden  $y_{rj} \neq 0$  olan herhangi bir  $b_i$  sütununun çıkartılmayacağını gösterir. (2.9b)'den görülüyor ki,  $y_{Br} \neq 0$  ise, eşitsizlik ancak  $y_{rj} > 0$  iken sağlanır.  $y_{rj} > 0$  ise (2.9a) eşitsizliğini  $y_{rj} > 0$  ile bölerek[14];

$$\bar{x}_{Bi} = \frac{x_{Bi}}{y_{ij}} - \frac{x_{Br}}{y_{rj}}$$

yazılabilir. O halde,  $B$ 'nin  $r$ . sütunu

$$\frac{x_{Br}}{y_{rj}} = \min_i \left\{ \frac{x_{Bi}}{y_{ij}} \mid y_{ij} > 0 \right\} \quad (2.10)$$

kraterine göre seçilirse, yeni temel çözüm uygun olur.  $B$ 'nin  $r$ . sütunu  $a_j$  ile değiştirilerek elde edilen temel matris  $\bar{B}$  ile gösterilirse, yeni matrisin sütunları,

$$\bar{b}_i = b_i \quad i \neq r$$

$$\bar{b}_r = a_j$$

(2.10) daki minimum değer tek değilse bir tanesi keyfi olarak seçilir ve yine

bir uygun temel çözüm bulunur. Eşit değerli bu sütunlar için,  $\frac{x_{Bi}}{y_{ij}} = \frac{x_{Br}}{y_{rj}}$

olacağından  $\bar{x}_{Bi} = 0$  bulunur.

O halde yeni temel uygun çözüm bozulmuş olur. (2.10) daki minimum değer sıfır olabilir. Bu ancak  $x_{Br} = 0$  iken yani bozulmuş bir temel uygun çözümle başlanmışsa mümkündür. Bu durumda,  $\bar{x}_{Bi} = x_{Bi}$  ( $i \neq r$ ) ve  $x_{Br} = 0$  bulunur. Temeldeki  $r$ . Değişken daima sıfırdır., diğer değişkenler değişmezler. Bozulmuş bir temel uygun çözümle ise başlandığını kabul edelim. Şayet her  $x_{Br} = 0$  için  $y_{rj} < 0$  ise, bu değişkenlerin hiçbirisi (2.10) daki işleme girmez. Dolayısıyla yeni çözüm bozulmaz[15].

(2.9b)'yi sağlayabilmek için  $y_{rj} > 0$  alındı. Şayet  $x_{Br} = 0$  için  $y_{rj} > 0$  olmasına gerek yoktur. (2.10) daki işlemi yapmadan  $b_r$  ve  $a_j$  sütunları değiştirilir.  $x_{Br} = 0$  olduğundan değişkenlerin değerleri ayrı kalır.

Amaç fonksiyonuna daha iyi bir değer vermek için takip edilecek yol ise;

İlk temel uygun çözüm için amaç fonksiyonu değeri,

$$z = c_B x_B = \sum c_{Bi} x_{Bi} \quad (2.11)$$

dir. Amaç fonksiyonunun yeni değeri ise;

$$\bar{z} = \bar{c}_B \bar{x}_B = \sum \bar{c}_{Bi} \bar{x}_{Bi} \quad (2.12)$$

olur. Burada ise;

$$\bar{c}_{Bi} = c_{Bi} \quad i \neq r \quad (2.13a)$$

$$\bar{c}_{Br} = c_j \quad (2.13b)$$

dir. (2.8)'deki  $\bar{x}_{ij}$  değerlerini ve (2.13) deki  $\bar{c}_{Bi}$  değerlerini (2.12) de yerine konulursa;

$$\bar{z} = \sum_{i=1}^m c_{Bi} \left( x_{Bi} - x_{Br} \frac{y_{ij}}{y_{rj}} \right) + \frac{x_{Br}}{y_{rj}} c_j$$

elde edilir.

Toplama  $i = r$  ilave edilirse;

$$c_{Br} \left( x_{Br} - x_{Br} \frac{y_{rj}}{y_{rj}} \right) = 0$$

olacağından  $\bar{z}$  değişmez. O halde,

$$\bar{z} = \sum_{i=1}^m c_{Bi} \left( x_{Bi} - x_{Br} \frac{y_{ij}}{y_{rj}} \right) + \frac{x_{Br}}{y_{rj}} c_j \quad (2.14)$$

elde edilir. (2.14) yeniden gözden geçirilirse,

$$\bar{z} = \sum_{i=1}^m c_{Bi} x_{Bi} - x_{Br} \frac{y_{rj}}{y_{rj}} \left( \sum_{i=1}^m c_{Bi} y_{ij} \right) + \frac{x_{Br}}{y_{rj}} c_j$$

$$\bar{z} = z - \frac{x_{Br}}{y_{rj}} z_j + \frac{x_{Br}}{y_{rj}} c_j$$

$$\bar{z} = z + \frac{x_{Br}}{y_{ij}}(c_j - z_j) \quad (2.15)$$

bulunur. Amaç fonksiyonunu maksimum yapalım. Şayet bozulma yoksa

$\frac{x_{Br}}{y_{ij}} > 0$  olacağından,  $a_j$  vektörü,  $c_j - z_j > 0$  (yada  $z_j - c_j < 0$  olacak

biçimde seçilirse,  $\bar{z} > z$  olur. Böylece amaç fonksiyonunun değeri büyür.

Bozulma durumu mevcutsa,  $\bar{z} > z$  olacaktır. Uygulamada hesaplamaları

mümkün olduğu kadar azaltabilmek için  $z_j - c_j < 0$  değerleri içinden en

küçük değerde olanı seçilir[16]. Yani temele girecek vektör,

$$z_k - c_k = \min_j \{z_j - c_j \geq 0 / z_j - c_j < 0\} \quad (2.16)$$

kriterine göre seçilir. (2.16) ifadesindeki  $k$  indisi temele  $a_k$  vektörünün

gireceğini ifade eder. Bu işleme  $z_j - c_j < 0$  değerli herhangi bir  $a_j$  vektörü

kalmayıncaya kadar yani bütün vektörler için  $z_j - c_j \geq 0$  oluncaya kadar

devam edilir.

Şayet bir ya da daha fazla  $z_j - c_j < 0$  ise henüz optimale ulaşılmamıştır.

Temeldeki bir vektörü, temel dışındaki bir vektörle değiştirilmesi gerekir.

### 2.8.3.1. Sınırsız çözümler

Bir temel uygun çözümden, amaç fonksiyonuna daha iyi bir değer veren bir

başka temel uygun çözüme geçerken, temelden;

$$\frac{x_{Br}}{y_{ij}} = \min_i \left\{ \frac{x_{Bi}}{y_{ij}} \mid y_{ij} > 0 \right\}$$

kriterine göre bir vektörün çıkarıldığını ve yerine  $z_j - c_j < 0$  ve en az bir  $y_{ij} > 0$  olacak biçimde bir  $a_j$  vektörünün maksimum problemlere girdi. Bundan sonra  $z_j - c_j < 0$  ve bütün  $y_{ij} \leq 0$  olan bir vektörü temele girsin.

Bir temel uygun çözüm  $x_B$  olsun. Burada;

$$\sum_{i=1}^m x_{Bi} b_i = b \quad (2.17)$$

şeklinde yazılıyordu. (2.17) ifadesine  $\phi a_k$  vektörü bir eklenip bir çıkartılırsa eşitlik bozulmaz.

$$\sum_{i=1}^m x_{Bi} b_i + \phi a_k - \phi a_k = b \quad (2.18)$$

olur. Burada  $\phi$  herhangi bir skaler,  $a_k$  ise temele giren vektördür.  $a_k$  temele giren vektör cinsinden;

$$a_k = \sum_{i=1}^m y_{ik} b_i \quad (2.19)$$

biçiminde ifade ediliyordu. (2.19) ifadesi (2.18)'de yerine konacak olursa;

$$\sum_{i=1}^m x_{Bi} b_i - \phi \sum_{i=1}^m y_{ik} b_i + \phi a_k = b$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{Bi} - \phi y_{ik}) b_i + \phi a_k = b \quad (2.20)$$

elde edilir. Burada  $y_{ik} \leq 0$ ,  $i=1..m$  ve  $\phi > 0$  ise temel olmayan bir uygun çözüm elde edilir. Çözüm temel değildir. Çünkü görüldüğü gibi  $m+1$  tane pozitif değişken mevcuttur. Bu sebeple amaç fonksiyonu;

$$\bar{z} = \sum_{i=1}^m c_{Bi} (x_{Bi} - \phi y_{ik}) + \phi c_k$$

düzenlenirse;

$$\bar{z} = z + \phi(c_k - z_k) \quad (2.21)$$

elde edilir.  $z_j - c_j < 0$  ve  $\phi > 0$  ise,  $\bar{z}$  istenildiği kadar büyütülebilir. Bu gibi durumlarda problemin sınırsız bir çözümü vardır denir.

Benzer olarak bir minimum probleminde eğer bazı  $a_j$  vektörlerine ilişkin,

$$c_j - z_j > 0 \text{ ve } y_{ij} \leq 0 \quad i=1..m$$

ise,  $m+1$  tane değişkeni sıfırdan farklı olabilen ve amaç fonksiyonunun değerini istendiği kadar küçültülebilen uygun çözümler mevcuttur. Bu durumda da problemin sınırsız çözümü vardır denilir[15].

### 2.8.3.2. Dönüşüm formülleri

Bir doğrusal programlama probleminde  $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$  temeli verilsin temel dışındaki herhangi bir  $a_j$  vektörünün temeldeki vektörlerin doğrusal kombinasyonu olarak,

$$a_j = \sum_{i=1}^m y_{ij} b_i \quad j=1..n \quad (2.22)$$

şeklinde yazılmıştı. Burada da bir temel değişikliği olduğu zaman  $y_{ij}$  'lerin yeni değerini bulmak gerekir. Temelden bir vektörün çıktığını, bunun yerine  $a_k$  vektörünün girdiğini kabul edilirse (2.22) ifadesi;

$$a_k = y_{rk} b_r + \sum_{i=1}^m y_{ik} b_i \quad i \neq r$$

şeklinde yazılır.  $b_r$  temelden çıktığına göre  $y_{rk} \neq 0$  olur. O halde;

$$b_r = \frac{1}{y_{rk}} a_k - \sum_{i=1}^m \frac{y_{ik}}{y_{rk}} b_i \quad i \neq r$$

yazılır.

$$a_j = y_{rj} b_r + \sum_{i=1}^m y_{ij} b_i \quad i \neq r$$

ifadesinde (2.22) yerine konacak olursa;

$$a_j = \sum_{i=1}^m \left( y_{ij} - \frac{y_{rj}}{y_{rk}} y_{ik} \right) b_i + \frac{y_{rj}}{y_{rk}} a_k \quad (2.23)$$

elde edilir. Bu ifade herhangi bir  $a_j$  vektörünün yeni temelin vektörleri cinsinden ifadesidir. Temelden  $b_r$  vektörünü çıkarıp yerine  $a_k$  vektörünün girmesiyle oluşan yeni temele  $\bar{B}$  denilirse, herhangi bir  $a_j$  vektörüne yeni  $\bar{b}_i$  vektörleri cinsinden;

$$a_j = \sum_{i=1}^m \bar{y}_{ij} \bar{b}_i \quad j = 1 \dots n \quad (2.24)$$

biçiminde yazılır. (2.23) ve (2.24) ifadelerinin karşılaştırılmasıyla;

$$\bar{y}_{ij} = y_{ij} - y_{rj} \frac{y_{ik}}{y_{rk}} \quad i \neq r \quad (2.25a)$$

$$\bar{y}_{rj} = \frac{y_{rj}}{y_{rk}} \quad (2.25b)$$

elde edilir. Her adımda  $z_j - c_j$  değerlerinin de dönüştürülmeleri gerekir[11].

$z_j - c_j$  değerlerinin bulunması ise tanımdan;

$$z_j - c_j = \sum_{i=1}^m \bar{c}_{Bi} \bar{y}_{ij} - c_j \quad j = 1 \dots n \quad (2.26)$$

yazılabilir. Burada  $\bar{c}_{Bi} = c_{bi}$   $i \neq r$  ve  $\bar{c}_{Br} = c_k$  'dır. (2.25) ve (2.26) ifadesinde yerine konulursa;

$$z_j - c_j = \sum_{i=1}^m c_{Bi} \left( y_{ij} - \frac{y_{rj}}{y_{rk}} y_{ik} \right) + \frac{y_{rj}}{y_{rk}} c_k - c_j \quad (2.28)$$

elde edilir.

(2.26) ifadesindeki toplama  $i = r$  terimi de eklenebilir. Çünkü;

$$c_{Br} \left( y_{rj} - y_{rj} \frac{y_{rk}}{y_{rk}} \right) = 0$$

olur. O halde;

$$\bar{z}_j - c_j = \sum_{i=1}^m c_{Bi} \left( y_{ij} - y_{rj} \frac{y_{ik}}{y_{rk}} \right) + \frac{y_{rj}}{y_{rk}} c_k - c_j \quad j=1..n$$

$$\bar{z}_j - c_j = \sum_{i=1}^m c_{Bi} y_{ij} - \frac{y_{rj}}{y_{rk}} \left[ \sum_{i=1}^m c_{Bi} y_{ik} \right] + \frac{y_{rj}}{y_{rk}} c_k - c_j \quad j=1..n$$

$$\bar{z}_j - c_j = \sum_{i=1}^m c_{Bi} y_{ij} - \frac{y_{rj}}{y_{rk}} \left[ \sum_{i=1}^m c_{Bi} y_{ik} - c_k \right] - c_j \quad j=1..n$$

$$\bar{z}_j - c_j = z_j - c_j - \frac{y_{rj}}{y_{rk}} (z_k - c_k) \quad j=1..n \quad (2.28)$$

elde edilir.

Bir adımdan diğer adıma geçerken  $x_{Bi}$  ve  $z$  değerleri ise;

$$\bar{x}_{Bi} = x_{Bi} - x_{Br} \frac{y_{rj}}{y_{rk}} \quad (i \neq r) \quad (2.29a)$$

$$\bar{x}_{Br} = \frac{x_{Br}}{y_{rk}} \quad (2.29b)$$

$$\bar{z} = z + \frac{x_{Br}}{y_{rk}}(c_k - z_k) \quad (2.30)$$

(2.25), (2.28), (2.29a), (2.29b) ve (2.30) formülleri simpleks metotta bir adımdan diğer adıma geçerken gerekli olan dönüşüm formülleridir.

Bu dönüşüm formüllerinin tamamını tek bir formülle ifade etmek için aşağıdaki tanımlar yapılabilir[16].

$$x_{Bi} = y_{i0} \quad i = 1..m \quad (2.31a)$$

$$z = y_{m+1,0} \quad (2.31b)$$

$$z_j - c_j = y_{m+1,j} \quad j = 1..n \quad (2.31c)$$

Buna göre;

$$\bar{y}_{ij} = y_{ij} - y_{ik} \frac{y_{rj}}{y_{rk}} \quad i \neq r \quad j = 0..n \quad i = 1..m+1 \quad (2.32a)$$

$$\bar{y}_{rj} = \frac{y_{rj}}{y_{rk}} \quad j = 0..n \quad (2.32b)$$

yardımıyla bir adımdan diğerine geçerken gerekli olan tüm dönüşümler yapılır.

(2.31) formüllerini vektörel olarak ifadesi ise şöyledir:

$$y_j = \begin{bmatrix} y_j \\ y_{m+1,j} \end{bmatrix} \quad j=1..n \quad (2.33)$$

$$\phi = \begin{bmatrix} -\frac{y_{1k}}{y_{rk}} - \frac{y_{2k}}{y_{rk}} - \dots - \frac{y_{r-1,k}}{y_{rk}} - \frac{1}{y_{rk}} - 1 - \dots - \frac{y_{m+1,k}}{y_{rk}} \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

vektörleri tanımlanır. Bu durumda dönüşüm formülü;

$$\bar{y}_{rj} = y_j - y_{rj}\phi \quad (2.35)$$

olacaktır. (2.35) ile her adımda gerekli olan tüm dönüşümler yapılabilir.

#### 2.8.4. Simpleks tablosu

Simpleks tablosunda yapılması gereken işlemler bir algoritma ile ifade edilirse aşağıdaki gibi olur.

##### 2.8.4.1. Simpleks algoritması (minimizasyon probleminde)

İlk adım

B tabanında uygulanabilir başlangıç çözümü seç.

Ana adım

Adım 1:  $Bx_B = b$  sistemini çöz ( $x_B = B^{-1}b = \bar{b}$  tek çözümü olacak şekilde ).

$x_B = \bar{b}$  ,  $x_N = 0$  ve  $z = c_B x_B$  olduğu durumda.

Adım 2:  $wB = c_B$  sistemini çöz ( $w = c_B B^{-1}$  tek çözümü olacak şekilde). ( $w$  vektörü simpleks çarpanlar olarak gösterilir. Çünkü bileşenleri  $A$  satırlarının çarpanlarıdır. Bu satır çarpanları  $A$ , 'yı uygun hale getirmek için eklenmiştir.)  
 $z_j - c_j = wa_j - c_j$  'yi bütün temel olmayan değişkenler için hesapla.

$$z_k - c_k = \max_{j \in R} z_j - c_j$$

Burada  $R$  temel olmayan değişkenlerin indislerinin kümesidir. Eğer  $z_k - c_k \leq 0$  yeni temel mümkün çözümü optimal çözüm olarak al. Eğer  $z_k - c_k > 0$  ise Adım 3 e git ( bu strateji Dantzig kuralıdır).

Adım 3:  $By_k = a_k$  sistemini çöz ( tek çözüm  $y_k = B^{-1}a_k$  olacak şekilde). Eğer  $y_k \leq 0$  ise şu sonuç çıkar. Optimal çözüm;

$$\left\{ \begin{bmatrix} \bar{b} \\ 0 \end{bmatrix} + x_k \begin{bmatrix} -y_k \\ e_k \end{bmatrix} : x_k \geq 0 \right\}$$

ışınında sınırsızdır. Burada  $n - m$  sıfırlarla dolu bir vektördür ki sadece  $k$ . pozisyonda 1 var.

Adım 4:  $x_k$  'yı tabana girsin. Blok değişken  $x_B$  'nin dizin  $r$ 'dedir.  $x_B$  şu minimum oran testi kullanılarak bulunur.

$$\frac{\bar{b}_r}{y_{rk}} = \min_{1 \leq i \leq m} \left\{ \frac{\bar{b}_i}{y_{ik}} : y_{ik} > 0 \right\}$$

$B$  tabanında  $a_k$ 'yi  $a_B$  yerine koy ve  $B$  tabanını yeniden düzenle. Sonra dizin kümesi  $R$ 'yi yeniden yaz. Adım 1 i tekrarla [8].

#### 2.8.4.2. Tablo formatında Simpleks metodu

Her adımda aşağıdaki doğrusal denklem sistemi çözülmelidir:

$$Bx_B = b$$

$$wB = c_B \text{ ve}$$

$$By_k = a_k$$

Bu tür sistemlerin daha önceden gösterilen simpleks metod çerçevesinde değişik prosedürlerle çözülmesi farklı algoritmaları ortaya çıkaracaktır. Burada tablo formatında simpleks metodu tanımlanacaktır.

$B$  temelinde  $x$  temel mümkün çözümü ile başlangıç yapıldığında doğrusal programlama problemi aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$Z_{min}$$

$$z - c_B x_B - c_N x_N = 0 \quad (2.36)$$

$$Bx_B + Nx_N = b \quad (2.37)$$

$$x_B, x_N \geq 0$$

(2.37) eşitliğinden;

$$x_B + B^{-1}Nx_N = B^{-1}b \quad (2.38)$$

(2.38)'i  $c_B$  ile çarpıp, (2.36) eşitliğine eklenirse;

$$z + 0x_B + (c_B B^{-1}N - c_N)x_N = c_B B^{-1}b \quad (2.39)$$

$x_N = 0$ , (2.38) ve (2.39) eşitliklerinden  $x_B = B^{-1}b$  ve  $z = c_B B^{-1}b$  elde edilir.

Aynı şekilde, (2.38) ve (2.39) eşitliklerinden mevcut mümkün çözümü,  $B$  ile birlikte tablo formatında çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Burada  $Z$ 'yi minimize edecek bir temel değişken olarak ele alınır. Amaç satırı 0 satırı geri kalanlar ise 1 ile  $m$  arasındaki satırlar olarak adlandırılır. Sağ taraf sütunu (*RHS*) temel değişkenlerin değerini (amaç fonksiyonu dahil) gösterecektir. Temel değişkenler en soldaki sütunda gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Simpleks tablosu

|       | $z$ | $x_B$ | $x_N$               | $RHS$         |                            |
|-------|-----|-------|---------------------|---------------|----------------------------|
| $z$   | 1   | 0     | $c_B B^{-1}N - c_N$ | $c_B B^{-1}b$ | 0. Satır                   |
| $x_B$ | 0   | 1     | $B^{-1}N$           | $B^{-1}b$     | 1 ile $m$ arasındaki satır |

$z$  ve  $x_B$ 'nin  $x_N$  cinsinden çözüldüğü tabloya kanotik formda denilebilir. Bu tablo sadece amaç fonksiyonu değeri  $c_B B^{-1}b$  ve temel değişken değerlerini  $B^{-1}b$  vermekle kalmaz. Aynı zamanda simpleks metodun ilerletilmesi için

gerekli bilgiyi de sunar. Maliyet satırı temel olmayan değişkenler için  $z_j - c_j$  değerlerini içeren  $c_B B^{-1} N - c_N$  değerlerini verir. Buna bağlı olarak sıfır satırı optimal çözüme ulaşmış ise (eğer her bir  $z_j - c_j \leq 0$  ise) sonucu gösterir. Aksi halde hangi temel olmayan değişken arttırılabileceğini gösterecektir. Eğer  $x_k$  arttırılacaksa, 1. sütun ile m. sütun arasındaki  $y_k = B^{-1} a_k$  değerleri,  $x_k$ 'nın arttırılabileceği değeri belirlemede yardımcı olur. Eğer  $y_k \leq 0$  ise  $x_k$  sonsuz arttırılabilir ve optimal amaç sınırsızdır. Diğer yandan  $y_k \not\leq 0$  ise, yani  $y_k$  en az bir pozitif değere sahipse,  $x_k$ 'daki artış mevcut temel değişkenlerden birinin sıfıra indirgenmesi ile sınırlı olacaktır.

Temelden çıkacak değişken minimum oran testi ile belirlenir ( tablo üzerinde yapılır. Çünkü  $B^{-1}b = \bar{b}$  ve  $y_k$  değerleri tabloda mevcuttur). Daha sonra işlemler aşağıdaki sırayla yapılır.

1. Temel değişkenleri ve değerleri güncelleştirilir.
2. Yeni temel dışı değişkenler için  $z_j - c_j$  değerlerini güncelleştirilir.
3.  $y_j$  sütunları güncelleştirilir.

Pivot işlemi:

Yukarıdaki işlemler basit bir pivot işlemi ile aynı anda gerçekleştirilebilir. Eğer  $x_k$  temele girerse  $x_{B_r}$  temelden çıkar ve  $y_{rk}$  üzerindeki pivot işlemi aşağıdaki şekilde yapılır.

1.  $r$ . satırı  $y_{rk}$ 'ya böl.
2.  $i = 1, 2, \dots, m$  için  $i \neq r$  yeni  $r$ . satırın  $-y_{rk}$  katını  $i$ . satıra ekleyerek  $i$ . satırı güncelleştir.

3. Yeni satırın  $c_k - z_k$  katını sıfır satırına ekleyerek, sıfır satırını güncelleştir. çizelge 2.2 ve çizelge 2.3 pivot işleminin öncesini ve sonrasını göstermektedir.

Çizelge 2.2 Pivot işleminden önce Simpleks tablosu

|           | $z$      | $x_{B_1}$ | $x_{B_r}$ | $x_{B_m}$ | $x_j$    | $x_k$    | RHS           |
|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|---------------|
| $z$       | 1        | 0         | ...       | 0         | ...      | 0        | $c_B \bar{b}$ |
| $x_{B_1}$ | 0        | 1         | ...       | 0         | ...      | 0        | $\bar{b}_1$   |
| $\vdots$  | $\vdots$ | $\vdots$  | $\vdots$  | $\vdots$  | $\vdots$ | $\vdots$ | $\vdots$      |
| $x_{B_r}$ | 0        | 0         | ...       | 1         | ...      | 1        | $\bar{b}_r$   |
| $\vdots$  | $\vdots$ | $\vdots$  | $\vdots$  | $\vdots$  | $\vdots$ | $\vdots$ | $\vdots$      |
| $x_{B_m}$ | 0        | 0         | ...       | 0         | ...      | 1        | $\bar{b}_m$   |

Pivot işleminin yapılması tekrar incelenirse;

$x_k$  temele girdi ve temelden  $x_{B_r}$  çıktı. Bu tablonun solunda  $x_{B_r}$  yerine  $x_k$  konularak gösterilir.

Aşağıdaki adımları gerçekleştirmek için şu anda yeni olan  $x_{B_r}$ ,  $x_k$  dır.

Tablonun sağ tarafı mevcut temel değişken değerlerini verir. Temel dışı değişkenler sıfırdır.

Yeni temel değişkenlerin ve temel dışı değişkenlerin orjinal sütunların sırasıyla  $\hat{B}$  ve  $\hat{N}$  olduğu varsayılırsa, bir dizi elemanter satır işlemi ile orjinal

Çizelge 2.3. Pivot işleminden sonra

|           | Z        | $x_{B_1}$ | $x_{B_r}$ | $x_{B_m}$                  | $x_k$    | RHS                                     |          |                                                      |          |                                               |
|-----------|----------|-----------|-----------|----------------------------|----------|-----------------------------------------|----------|------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------|
| Z         | 1        | 0         | ...       | $\frac{c_k - z_k}{y_{rk}}$ | ...      | 0                                       | ...      | $c_B \bar{b} - (z_k - c_k) \frac{\bar{b}_r}{y_{rk}}$ |          |                                               |
| $x_{B_1}$ | 0        | 1         | ...       | $-\frac{y_{1k}}{y_{rk}}$   | ...      | $y_{1j} - \frac{y_{rj}}{y_{rk}} y_{1k}$ | ...      | 0                                                    | ...      | $\bar{b}_1 - \frac{y_{1k}}{y_{rk}} \bar{b}_r$ |
|           | $\vdots$ | $\vdots$  | $\vdots$  | $\vdots$                   | $\vdots$ | $\vdots$                                | $\vdots$ | $\vdots$                                             | $\vdots$ | $\vdots$                                      |
| $x_k$     | 0        | 0         | ...       | $\frac{1}{y_{rk}}$         | ...      | $\frac{y_{rj}}{y_{rk}}$                 | ...      | 1                                                    | ...      | $\frac{\bar{b}_r}{y_{rk}}$                    |
|           | $\vdots$ | $\vdots$  | $\vdots$  | $\vdots$                   | $\vdots$ | $\vdots$                                | $\vdots$ | $\vdots$                                             | $\vdots$ | $\vdots$                                      |
| $x_{B_m}$ | 0        | 0         | ...       | $-\frac{y_{mk}}{y_{rk}}$   | ...      | $y_{mj} - \frac{y_{rj}}{y_{rk}} y_{mk}$ | ...      | 0                                                    | ...      | $\bar{b}_m - \frac{y_{mk}}{y_{rk}} \bar{b}_r$ |

tablo,  $\hat{B}$ 'nin yerini  $I$ 'nın aldığı bir tabloya indirgenir (pivot işlemi karakterize eder). Bu  $\hat{B}^{-1}$  ile çarpıma denktir. Yani yeni tabloda pivot işlemi sonucu  $\hat{B}^{-1}\hat{N}$ 'e eşittir (temel dışı değişkenlere bağlı, yeni temel dışı değişkenler için  $z_j - c_j$  değerleri güncellenmiş, yeni temel değişken ve amaç fonksiyonu değerleri güncellenmiş olarak)[8].

#### 2.8.5. Başlangıç temel uygun çözümün bulunması

Bir doğrusal programlama problemini simpleks yöntemle çözerken yapılması gereken ilk adım probleme bir temel uygun çözüm bulmaktır. Başlangıç temel uygun çözümün bulunması.

Verilen problemlerde kısıtlayıcılar;

$$\sum_{j=1}^p a_{ij} x_j \leq b_i \quad i = 1 \dots m \quad (2.40)$$

$$b_i \geq 0$$

olsun. Standart hale getirmek için bir gevşek değişken ilave edilmesi gerekmektedir. Gevşek değişkenlere ait sütunlar  $e_i$  olduğu için,  $a$  matrisi;

$$A = [D:G] = [D:I]$$

şeklinde kısımlara ayrılabilir. Burada  $D$ ,  $x_j$  değişkenlerine ait katsayıların alt matrisi,  $I$  ise gevşek değişkenlere ait katsayıların alt matrisidir. Çözüm vektörü ise;

$$x = \begin{bmatrix} x_D \\ \dots \\ x_G \end{bmatrix}$$

şeklinde kısımlara ayrılabilir. Burada  $x_G$  gevşek değişkenlere karşı gelen vektördür. Başlangıç temel uygun çözüm ise;

$$Ax = (DI) \begin{bmatrix} x_D \\ \dots \\ x_G \end{bmatrix} = b$$

$$Dx_D + Ix_G = b$$

eğer  $x_D = 0$  alınırsa  $x_G = b$  bulunur.  $b \geq 0$  olduğundan dolayı  $x_G \geq 0$  bir başlangıç temel uygun çözüm olur. Bu temel uygun çözümü veren temel matris  $B = I$  olduğundan;

$$y_j = B^{-1}a_j = I a_j = a_j \quad j = 1 \dots n \quad (2.41)$$

elde edilir.  $x_G$  gevşek değişkenlerden oluştuğu için  $c_B = 0$  olur dolayısıyla;

$$z_j - c_j = c_B Y_j - c_j = -c_j \quad j = 1 \dots n \quad (2.42)$$

$$z = c_B x_B = 0$$

bulunur. Böylece birinci simpleks tablosu için gerekli olan bütün değerler hesap yapmaksızın elde edilir.

Verilen problemde kısıtlayıcıların yönleri farklı ve  $b \geq 0$  olsun. Gevşek değişkenlere ait birim vektörler ve sistemde başlangıçta var olan bazı birim vektörler bir araya gelerek bir birim matris oluşturur.

Bu durumda yukarıdaki işlemler tekrar uygulanır. Ancak birim matrisin bütün sütunları gevşek değişkenlere  $c_B = 0$  yazılamaz.  $z_j - c_j$  değerleri;

$$z_j - c_j = c_B y_j - c_j = c_B a_j - c_j$$

şeklinde bulunur.

Verilen problem standart hale getirildiği zaman simpleks metod yardımıyla bu başlangıç noktasından hareketle esas problemin optimal temel çözümü elde edilir[14].

### 2.8.6. Yapay başlangıç çözümlü yöntemler

Yapay değişkenleri temelden çıkarıp, esas problemin optimal temel uygun çözümünü bulmak için iki yöntem kullanılabilir.

#### 2.8.6.1. Büyük M yöntemi

Bu metod da yapay değişkenlerin fiyatı (ya da ceza katsayısı), bu değişkenlerin temelde pozitif düzeyde kalmasını önleyecek şekilde belirlenir. Yapay değişkenlerin fiyatını  $c_{ai}$  ile gösterilirse;

Maksimum problemde,  $c_{ai} = -M \quad M > 0$

Minimum problemde,  $c_{ai} = M \quad M > 0$

alınır. Burada M çok büyük pozitif bir değerdir. Elle hesap yapıldığı takdirde M yerine belirli bir değer koymaya gerek yoktur. Özetlenecek olursa;

$$\text{Max } z = cx$$

Kısıtlar;

$$Ax = b$$

$$x \geq 0$$

Doğrusal programlama probleminin çözümüne,

$$\text{Max } Z = c x - M I x_a$$

$$Ax + Ix_a = b \quad (2.43)$$

$$x \geq 0, x_a \geq 0$$

genişletilmiş sistemiyle başlanır. Başlangıç temel uygun çözüm  $x_a = b, x = 0$  elde edilir. (2.39)'a optimal temel uygun çözüme ulaşmaya kadar simpleks metod uygulanır. M yeterince büyük bir sayı olduğundan temelden çıkan bir yapay vektör tekrar temele giremez.

#### 2.8.6.2. İki safhalı metot

Bu metot da, problemler iki safhada çözülür. I. aşamada yapay değişkenler temelden çıkarılmaya ya da değerleri sıfır yapılmaya çalışılır. II. Aşamada ise, Z amaç fonksiyonunun optimal neticesi aranır. İki safha metodu bir maksimum problem için;

Birinci aşamada; sisteme m tane yapay değişkenin eklendiği kabul edilsin. Bu değişkenlere ait vektörler  $a_{n+1} = e_i \ (i = 1..m)$  olur. Bu aşamada yapay değişkenlere  $(-1)$  esas değişkenlere  $(0)$  fiyatı verilir. Şöyle ki;

$$c_j = 0 \quad j = 1..n$$

$$c_j = -1 \quad i = 1..m$$

olur. Buna göre amaç fonksiyonu  $z_y$  ile gösterilirse;

$$z_y = c x - I x_y = - \sum_{i=1}^m x_{ai}$$

olur.  $x_y = x_{a1}, x_{a2}, \dots, x_{am} \geq 0$  olduğuna göre  $z_y$ ' nin maksimum değeri, sıfır ya da sıfırdan küçük bir sayı olacaktır.  $Max z_y = 0$  ise yapay değişkenlerin tümü temelden çıkmıştır ya da temeldeki yapay değişkenler sıfır değerini almış demektir.  $Max z_y < 0$  ise, temelde pozitif değerli yapay değişken olduğu anlaşılır. I. aşama temel dışı tüm vektörler için  $z_j - c_j \geq 0$  olunca biter.

Birinci aşama sonunda üç durumla karşılaşılabilir.

1.  $Max z_y < 0$  ise, temelde pozitif olan bazı yapay vektörler mevcut demektir. Bu sebeple orijinal problemin mümkün çözümü yoktur.
2.  $Max z_y = 0$  ise, temelde yapay değişken yoktur. Orijinal probleme bir temel mümkün çözüm bulunmuştur. II. Aşamaya geçilebilir. II. Aşamada esas değişkenlere kendi fiyatları verilerek simpleks metodun bilinen hesapları yapılır. I. aşamanın son tablosu II. Aşamanın başlangıç tablosu olur.
3.  $Max z_y = 0$  ve temelde sıfır düzeyli bazı yapay vektörler mevcuttur. Bu durumda orijinal problem için temel olmayan bir uygun çözüm elde edilmiştir. Çünkü temeldeki yapay vektörler sıfır düzeylidir. II. Aşamaya geçilir ve esas değişkenlere kendi fiyatları ve yapay değişkenlere sıfır fiyatı verilir. I. aşamanın son tablosu II. Aşamanın başlangıç tablosu olur. Simpleks metodu uygulanır. Fakat herhangi bir adımda yapay

değişkenlerin pozitif değer alması mümkündür. Bunu önlemek için bazı durumlara dikkat edilmesinde yarar vardır.

$i \in I_y$  temeldeki sıfır düzeyli vektörleri gösterebilir.  $a_k$  vektörünün temele girerse;

Şu hususlar meydana gelebilir:

1. Her  $i \in I_y$  için  $y_{ik} > 0$  olursa; temelden çıkacak olan vektörü bulmak için kullanılan kriter yardımıyla yapay değişkenlerden biri temelden çıkar, diğeri temelde kalır.

Temele giren  $a_k$  vektörü yine sıfır düzeylidir. Çünkü;

$$\bar{x}_{Br} = \frac{x_{Br}}{y_{rk}} = \frac{0}{y_{rk}} = 0$$

yazılabilir. Temelde kalan yapay değişkenlerin değeri yine aynı kalır. Çünkü;

$$\bar{x}_{Bi} = x_{Bi} - (0) \frac{y_{ik}}{y_{rk}} = x_{Bi}$$

olur. Görüleceği gibi bu durumda herhangi bir zorluk mevcut değildir.

2. Tüm  $i \in I_y$  için  $y_{ik} = 0$  ise, hiçbir vektör temelden çıkmaz. Ancak yapay değişkenlerin değeri yine sıfır olarak kalır. Çünkü,

$$\bar{x}_{Bi} = x_{Bi} - x_{Br} \frac{y_{ik}}{y_{rk}} = 0 - \frac{x_{Br}(0)}{y_{rk}} = 0 \quad i \in I_y$$

elde edilir. Bu durum içinde bir zorluk mevcut değildir.

3. Tüm  $i \in I_y$  için  $y_{ik} < 0$  olduğunu varsalırsa;  $y_{ik} < 0$  olan vektörler temelden çıkmaz ve  $y_{ik} < 0$  a ilişkin yapay vektör bir sonraki adımda pozitif olur ( $x_{Br} > 0$ ). Bu,

$$\bar{x}_{Bi} = x_{Bi} - x_{Br} \frac{y_{ik}}{y_{rk}} = -\frac{y_{ik}}{y_{rk}} > 0 \quad i \in y$$

ifadesinde görülür.

Buna engel olabilmek için, temelden çıkacak olan vektörü bulmak gerekir bunu bulmak da normal kriterle olmaz.  $y_{ik} < 0 \quad i \in I_y$  olan yapay vektör temelden çıkarılır. Eğer  $b_r$  vektörü temelden çıkarılacak olursa;

$$\bar{x}_{Br} = \frac{x_{Br}}{y_{rk}} = 0$$

diğer değişkenler ise;

$$\bar{x}_{Bi} = x_{Bi} - x_{Br} \frac{y_{ik}}{y_{rk}} = x_{Bi} - (0) \frac{y_{ik}}{y_{rk}} = x_{Bi}$$

elde edilir. Bu vesileyle tüm değerler aynı kalır ve yapay değişkenlerin pozitif değer alması engel olunur.

4.  $i \in I_y$  için tüm  $y_{ij}$  değerleri sıfırsa; bütün  $y_{ij}$  değerleri sıfır olan bir satır elde edilir. Bu yapay değişken hiçbir zaman temelden çıkamaz. Yapay vektörün silinip çıkarılmasıyla temelin boyutu bir küçülmüş olur. Bu durum kısıtlayıcılarda bir fazlalık olduğunu ve kısıtlayıcının sistemden çıkartıldığını gösterir.

#### 2.8.7. Dejenere problemin çözümü

Bozulma durumunun olmadığı doğrusal programlama problemlerinde, her adımda amaç fonksiyonu en iyi çözüme yaklaşmıştı. Bu tip problemlerde temel uygun çözümlerin sayısı sonludur ve sonlu sayıda sonra en iyi çözüme varılır.

Doğrusal programlama problemlerinde temelden çıkacak vektör tek olarak belirmezse bozulma durumu ortaya çıkar. Temelden çıkacak olan vektör;

$$\frac{x_{Br}}{y_{rk}} = \min_i \left\{ \frac{x_{Bi}}{y_{ik}} \mid y_{ik} > 0 \right\}$$

yardımıyla seçiliyordu. Şayet  $\frac{x_{Bi}}{y_{ik}}$  'nın minimum değeri tek bir  $i$  için

belirmezse, temelden çıkacak vektörü rasgele belirleniyordu. Bu durumda;

$$\bar{x}_{Bi} = x_{Bi} - x_{Br} \frac{y_{ik}}{y_{rk}} \quad i \neq r$$

görüreceği üzere, aynı minimum değere sahip olan  $\frac{x_{Bi}}{y_{ik}}$  'lara karşı gelen  $\bar{x}_{Bi}$

değerleri sıfır olur. Amaç fonksiyonunun yeni değeri;

$$\bar{z} = z + \frac{x_{Br}}{y_{rk}}(c_k - z_k)$$

eşitsizliği ile bulunuyordu. Eğer  $x_{Br} = 0$  ve  $y_{rk} > 0$  ise  $\bar{z} = z$  olur.  $\bar{z} \Rightarrow z$  olmadığı için sonlu sayıda temelin olacağı söylenemez. Aynı temel dizisini tekrarlayan bir döngü içine girebilir ve optimale ulaşamaz. Uygulamada bozulma durumuyla sık sık karşılaşıldığı halde döngü pek oluşmaz. Yine de, döngünün hiçbir şekilde ortaya çıkmayacağı bazı metodlar geliştirilmiştir. Bu metodlardan en bilinenleri şunlardır:

1. Çıkış Değişkenlerin Seçilmesinde Lexicographic Kuralı
2. Değişkenleri Seçme, Girme ve Çıkartmak İçin Bland Kuralı

#### 2.8.7.1. Çıkış değişkenlerin seçilmesinde Lexicographic kuralı

B tabanında temel mümkün bir çözüm verilsin. Temel olmayan değişken  $x_k$  tabana girmek için seçilsin ( $0 < z_k - c_k = \text{Max } z_j - c_j$  olsun).  $x_B$  değişkeninin  $r$  indeksi tabanı terkederken aşağıdaki gibi olur.

$$I_0 = \left\{ r : \frac{\bar{b}_r}{y_{rk}} = \text{Min}_{1 \leq i \leq m} \left\{ \frac{\bar{b}_r}{y_{rk}} : y_{ik} > 0 \right\} \right\}$$

$I_0$  tek ise  $I_0 = \{r\}$  sonra  $x_{B_r}$  tabandan çıkar. Aksi halde  $I_1$  aşağıdaki gibi olur.

$$I_1 = \left\{ r : \frac{y_{rl}}{y_{rk}} = \text{Min}_{i \in I_0} \left\{ \frac{y_{il}}{y_{ik}} \right\} \right\}$$

eğer  $I_1$  tek ise  $I_1 = \{r\}$  oluşur ve  $x_{B_1}$  tabandan çıkar. Aksi halde  $I_2$  oluşur. Genellikle  $I_j, I_{j-1}$  den aşağıdaki gibi olur.

$$I_j = \left\{ r : \frac{y_{rj}}{y_{rk}} = \min_{i \in I_{j-1}} \left\{ \frac{y_{ij}}{y_{ik}} \right\} \right\}$$

Eğer  $j \leq m$  için  $I_j$  tek olur. Eğer  $I_j = \{r\}$  ise  $x_{B_j}$  tabanı terkeder.

#### 2.8.7.2. Değişkenleri seçme, girme ve çıkartmak için Bland kuralı

Dönüşüme dayanan başka bir kural Robert Bland tarafından bulundu. Bu çok basit bir kuraldır. Fakat giren ve çıkan değişkenleri seçmede sınırlama getirir. Bu kuralda değişkenler önce dizi halinde sıralanır. Sonra temel olmayan değişkenlerden ( $z_j - c_j > 0$  olanlar arasından) dizini en küçük olan seçilir ve tabana girilir. Benzer şekilde tabandan çıkacak aday değişkenler arasında (olağan minimum oran teste uygun olan) en küçük dizin olanı alınır ve çıkan eleman seçilir[8].

#### 2.9. Simpleks Algoritmasını Kullanmada Karşılaşılan Zorluklar

Dantzig Simpleks Algoritmasını ilk ortaya attığı zaman araştırmacılar bu algoritmanın fazla işe yaramıyacağı görüşünde idiler. Bu algoritma bir çokyüzlünün kenarları üzerinde yapılan hareketten ibarettir. Problemler çokyüzlünün içine girmeye veya daha yüksek boyutlu yüzeylere çıkmaya ihtiyaç bırakmıyordu. Fakat genellikle bazı önemli noktalardaki bazı dejenere pivot serilerinde işe yaramıyordu. Bu metod pratikte olağanüstü şekilde başarılı olunca araştırmacılar çok şaşırdılar. Pratikte karşılaşılan bir çok problemde katsayı matrisi  $A$  nın  $m \times n$  olduğu durumda bu metod deneysel

olarak yaklaşık  $\frac{3m}{2}$  iterasyon ve çok az deneyde  $3m$  den fazla iterasyon gözlemlendi. Algoritmanın karşılaşılma olasılığı olan  $\binom{n}{m}$  e kadar olan bileşik oluşumlar bu algoritmayı uygulatmayabilir. Bu nedenle  $n \geq 2m$  olduğu durumlarda en az  $2^m$  olan;

$$\binom{n}{m} = \frac{n!}{m!(n-m)!} = \left(\frac{n}{m}\right) \left(\frac{n-1}{m-1}\right) \left(\frac{n-2}{m-2}\right) \cdots \left[\frac{n-(m-1)}{m-(m-1)}\right] > \left(\frac{n}{m}\right)^m$$

bazı problemlerde çalışmanın üstel bir sıra olma potansiyeli mümkündür ve olabilir.

Üstel ifadeleri elimine etmekte bazı endişeler 1971 de Klee ve George Minty'nin bir grup problemler üretmesiyle doğrulandı. Bu problemler Simpleks algoritmanın bütün düşey düzlemden geçen  $2^n - 1$  iterasyonu olan  $2m$  tane negatif olmayan değişkenlerdeki bazı  $m = n$  sınırlaması olarak tanımlanır. Bu tip problemlerde mümkün çözüm bölgenin  $2^n$  düşey düzlem olan  $n$  boyutsal, çok boyutluya ( $E^n$ 'de) uygun şekilde dönüştürülmesi sonucuna varılır. Matematiksel olarak  $E^n$ 'de problem şöyle ifade edilebilir.  $\in$ ,

$\left(0, \frac{1}{2}\right)$  aralığında bir rasyonel sayı olsun.

Maksimum  $x_n$

Kısıtlar

$$0 \leq x_i \leq 1$$

$$\epsilon x_{j-1} \leq x_j \leq 1 - \epsilon x_{j-1} \quad j = 2, \dots, n \text{ için}$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

ifadesini sağlar.

Bu problemde uygun şekilde dönüşüm yaptıktan sonra görünür ki, Dantzig kuralı kullanılırsa orjinden başlayan ve en büyük azalan maliyete sahip olan temel olmayan değişkene girerek Simpleks algoritma çokgenin  $2^n - 1$  kenarını dolaşır ve bütün  $2^n$  düşey düzlemi ziyaret eder[8].

## 2.10. Duyarlılık Analizleri

Basit anlamda duyarlılık analizi; girdi parametrelerindeki değişmelerin, modelin çıktısındaki değişmeleri etkileme biçimini inceler.

Doğrusal programlama dinamik bilgi sağlamalıdır. Bir statik optimal çözüm, değişik modellerden oluşan durumlar daha hızlı bir şekilde eskir. Duyarlılık analizi optimal çözüm içinde orjinal modelde yapılan değişikliklere göre yapacağımız değişikliklerle ilgilidir.

Duyarlılık analizi, orjinal modelde bir takım değişiklikler yaparak, optimal sonuçta oluşacak değişiklikleri değerlendirir. Bu analiz, bir doğrusal programlama çözüm yöntemi olmayıp, belirlenen optimal çözümün problemde verilen katsayıların hangi değişme alanı içerisinde geçerli olduğunu belirlemeyi amaçlayan bir optimallik sonrası çalışmasıdır.

Matematiksel programlamanın ilgi alanından olan doğrusal programlama, duyarlılık analizi yapılması için oldukça zengin bir alana sahiptir. Böylece,

doğrusal programlama simplex metodun standart çıktılarının test edilmesi sayesinde duyarlılık analizi ile büyük ilgisi olan sonuçlara ulaşmak mümkündür. Doğrusal programlamadaki duyarlılık analizi, bir çok yönetim bilimi uygulamalarından daha etkili ve daha uygundur.

Bir çok uygulamalı problemlerde, doğrusal programlama problemlerinin katsayı değerleri bazen tam olarak bilinebilir. Yöneticiler ise çoğu kez doğrusal programlama problemlerinin bileşenlerinde meydana gelecek değişmelerin optimal çözüme olan etkilerini de bilmek isterler. Çünkü yöneticiler sadece problemin optimal çözümü ile ilgilenmemelidir. Ulaşılan optimal çözüm, problemin katsayıları sabit kaldığı sürece geçerlidir. Halbuki yönetici; problemin katsayılarının, kısıtlayıcı kaynak miktarlarının değişmesi ve yeni bir faaliyetin eklenmesi halinde daha önce elde ettiği optimal çözümün optimallikten çıkarak değişeceğini bilir. Ayrıca söz konusu değişmelerin optimal çözümü ve amaç fonksiyonunun değerini ne ölçüde değiştireceğini bilmek isterler.

Bir doğrusal programlama probleminin matris şeklinde yazılımı;

$$\text{Min } cx$$

Kısıtlar

$$Ax = b$$

$$x \geq 0$$

Bir doğrusal programlama probleminde aşağıdaki durumlar söz konusu olabilir:

1. Maliyet satır vektöründe (c) değişme.
2. Kısıtlayıcı denklemin sağ tarafındaki sütun vektöründe (b) değişme.
3. Kısıtlayıcı matrisinde (A) değişme.
4. Probleme yeni bir ürün eklenmesi.
5. Probleme yeni bir kısıtın eklenmesi.

Bu değişiklikler genel olarak aşağıdaki üç halden birisi ile sonuçlanır:

1. Optimal çözüm hiç değişmez. Yani temel değişkenler ve onların değerleri aynı kalır.
2. Temel değişkenler aynı kalır fakat değerleri değişebilir.
3. Temel çözüm tamamen değişebilir.

Duyarlılık analizi tanımlamada genel yöntem şu şekilde anlatılabilir.

Adım 1: Orijinal doğrusal modeli çöz ve bunun optimal simpleks tablosunu bul. İkinci adıma geç.

Adım 2: Orijinal modeldeki belirtilen değişiklikler için, primal-dual hesaplamaları kullanarak gerçek optimal tablonun yeni elemanlarını tekrar hazırla. Üçüncü adıma geç.

Adım 3: Eğer yani tablo optimal değilse, dördüncü adıma geç. Eğer çözümsüz ise beşinci adıma geç. Bunların da dışında, yeni tabloya yeni optimal çözüme geç ve dur.

Adım 4: Yeni optimal çözümü bulmak için, normal simpleks metodu yeni tabloya uygula ve dur.

Adım 5: Mümkün çözüm olduğunu göster ve dur.

### 2.10.1. Duyarlılık analizinin tablo gösterimi

Genelleştirilmiş bir tablo Çizelge 2.4’de verilmiştir. Bu tablodaki her elemanın hem bir anlamı hem de bir kullanımı vardır. Duyarlılık analizi bu elemanların kullanılmasını sağlar.

Çizelge 2.4. Duyarlılık analizi için genelleştirilmiş tablo

$$c_N \rightarrow c_{N,1} \dots c_{N,s} \dots c_{N,S}$$

| $c_B$     | V         | $x_{N,1} \dots x_{N,s} \dots x_{N,S}$                         | $x_B$     |
|-----------|-----------|---------------------------------------------------------------|-----------|
| $c_{B,1}$ | $x_{B,1}$ | $y_{1,1} \dots y_{1,s} \dots y_{1,S}$                         | $x_{B,1}$ |
| $\vdots$  | $\vdots$  | $\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots$    | $\vdots$  |
| $c_{B,i}$ | $x_{B,i}$ | $\vdots \quad \quad \quad y_{i,s} \quad \quad \quad \vdots$   | $x_{B,i}$ |
| $\vdots$  | $\vdots$  | $\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots$    | $\vdots$  |
| $c_{B,m}$ | $x_{B,m}$ | $y_{m,1} \dots y_{m,s} \dots y_{m,S}$                         | $x_{B,m}$ |
|           |           | $(z_1 - c_{N,1}) \dots (z_s - c_{N,s}) \dots (z_S - c_{N,S})$ | Z         |

Her elemanı ayrı ayrı anlatmadan önce temel ve temel olmayan değişkenleri gösteren  $B$  ve  $N$  indisleri vardır.  $c_{N,3}$ 'ün anlamı 3. temel olmayan değişkenle ilgili maliyet,  $x_{B,2}$  (değer  $V$  kolonu altındaysa) 2. Temel değişken ( ya da  $x_B$ 'nin altındaysa).

### 2.10.1.1. Sürekli olmayan değişkenler

$c_j$ 'nin değişimi

İlk sürekli olmayan bir objektif fonksiyon katsayısının değerindeki değişikliklerdir. Bu değişiklikleri ele alırken  $c_j$ 'nin temel ve temel olmayan değişiklik olup olmadığına bakılır. Örneğin ilk değişiklik  $c_j$ 'nin temel olmayan değişikliği ile alakalı olsun. Değişmenin temel etkisi sadece  $z_{N,s} - c_{N,s}$  de olur.  $c_j$ 'nin yeni değeri  $\hat{c}_{N,s}$  olduğunu ve  $\hat{z}_s - \hat{c}_{N,s}$  sonuç olduğunu varsayılırsa,  $z_s - c_{N,s}$ 'nin yeni değeri;

$$\hat{z}_s - \hat{c}_{N,s} = c_B y_s - \hat{c}_{N,s} \quad (2.44a)$$

veya

$$\hat{z}_s - \hat{c}_{N,s} = \sum_{i=1}^m y_{i,s} c_{B,i} - \hat{c}_{N,s} \quad (2.44b)$$

$z_s - c_{N,s}$  sadece değişmekle kalmayıp negatif değerde olabilir. Bu da optimal olmadığını ve fazladan bir pivota daha ihtiyaç olduğunu gösterir. Temel değişkenlerle ilgili  $c_j$ 'de bir değişiklik düşünülürse; böyle bir değişiklik bütün  $z_s - c_{N,s}$  elemanların her birisini ve  $z$  değerini etkiler.  $\hat{c}_{B,i}$ ,  $c_j$ 'nin yeni değeri

olduğu,  $\hat{z}_s - \hat{c}_{N,s}$  'de gölge fiyatın yeni değeri olduğunu ve  $\hat{z}$ 'yı da yeni objektif fonksiyon olduğu düşünülürse;

$$\hat{z}_s - \hat{c}_{N,s} = \hat{c}_B y_s - \hat{c}_{N,s} \quad (2.45a)$$

veya

$$\hat{z}_s - \hat{c}_{N,s} = \sum_{i=1}^m y_{i,s} \hat{c}_{B,i} - \hat{c}_{N,s} \quad (2.45b)$$

ve

$$\hat{z} = \hat{c}_B x_B \quad (2.46a)$$

veya

$$\hat{z} = \sum_{i=1}^m x_{B,i} \hat{c}_{B,i} \quad (2.46b)$$

$z_s - c_{N,s}$  bu yolla elde edilir. Yeni  $z$  değeri kolayca gösterilir. objektif fonksiyondaki değer değişir.

$b_i$  'nin değişmesi

Tablonun sağındaki  $x_{B,i}$  değerleridir (temel değişkendeki şu andaki iterasyon değerleri). İlk tablodaki bu değerler aynı zamanda  $b_i$  değerleridir (tabloda ilk orijinal sağ taraftaki değerlerdir).  $b_i$  de bir değişiklik yapılırsa hem  $x_B$  vektörüne hem de  $z$  değerine etkisi olur.

$x_B$ ,  $B^{-1}b$  şeklinde verildiğinde ve herhangi bir iterasyonda  $y$ , uygun şekilde yerleştirildiğinde  $B^{-1}$  bulunduğundan;

$$\hat{x}_B = B^{-1}\hat{b} \quad (2.47)$$

Burada;

$\hat{x}_B$ : İlgili tablodaki sağ kolon vektörü.

$B^{-1}$ : İlk taban matrisinin tersi.

$\hat{b}$ : Sağ taraftaki yeni kısıtların sabitler kümesi.

Aynı zamanda;

$$\hat{z} = c_B \hat{x}_B \quad (2.48)$$

(2.47)'de ki  $B^{-1}$  taban matrisinin tersi negatif elemanlar bulundurabilir. Bu da her zaman  $\hat{x}_B$ 'nin negatif elemanlar bulunmasına yol açabilir. Bu önemli bir problem değildir. Olası çözüm bulmak için dual simplex kullanılabilir.

$a_{i,j}$ 'nin değişmesi

Teknolojik katsayılarda ki sürekli olmayan değişiklikler, eğer  $a_{i,j}$ 'de ki değişiklik temel olmayan değişkenlerle ilgili değilse daha basittir. Fakat  $a_{i,j}$ 'de ki temel değişiklikle ilgili bir değişiklik olursa bu daha geniş

kapsamlıdır. Böyle bir durumda problemi baştan yeniden çözme yoluna gidilir.

$a_{i,j}$  'de ki temel olmayan değişikliğine bakılır (ilk tablodaki herhangi bir  $a_{i,s}$ ). Böyle bir  $a_{i,s}$  'de ki herhangi bir değişiklik direk olarak ilgili  $y_s$  vektörünü (dolaylı olarak da  $z_s - c_{N,s}$  yi) etkileyecek.

Bu nedenle herhangi bir iterasyonda  $y_s$  kolon vektörü  $B^{-1}a_s$  şeklinde verildiğinde;

$$\hat{y}_s = B^{-1}\hat{a}_s \quad (2.48)$$

elde edilir.

Burada;

$B^{-1}$ : Baştaki temel matrisin tersi.

$\hat{a}_s$ : Herhangi bir temel olmayan değişken altındaki yeni teknolojik katsayılar vektörü.

$\hat{y}_s$ : Herhangi bir temel olmayan değişken altındaki  $y_{i,s}$  katsayılarının (bu katsayılar en son elde edilen simplex tablosunda) yeni vektörler kümesi.

$z_s - c_{N,s}$  ' de ki değişiklik;

$$\hat{z}_s - \hat{c}_{N,s} = c_B \hat{y}_s - c_{N,s} \quad (2.49a)$$

veya

$$\hat{z}_s - \hat{c}_{N,s} = \sum_{i=1}^m \hat{y}_{i,s} c_{B,i} - c_{N,s} \quad (2.49b)$$

$\hat{z}_s - \hat{c}_{N,s}$  değeri negatife giderse problem optimal olmaktan uzaklaşır ve simplex algoritması kullanılmalıdır.

Yeni kısıt eklenmesi

Model geliştirilirken en çok yapılan hatalardan biri de bir ya duyarlılık analizi daha fazla kısıtı unutmaktır. Matematik model çözümünde yeni bir kısıt ortaya çıkabilir.

Bu yeni çıkan kısıtların etkisiyle problem daha gerçekçi olur. Bu yeni kısıtların etkisi olup olmadığını bulmak kolaydır (etkiyi bilmeye gerek yok). Kısaca şu andaki etki hesaplanıyor ( $x^*$ ). Eğer kısıtlar sağlanırsa değişme yoktur. Ve işleme devam etmeye gerek yoktur. Fakat kısıtlarda  $x^*$ 'de bir değişme olursa çözüme etkisi vardır ve analizin ikinci kısmına geçilir.

Yeni kısıtın şu andaki etkisi bulunduktan sonra bu yeni kısıtı bir önceki sonuç tablosuyla karşılaştırılır. Yeni kısıtın aylak değişkeni yeni tabana girecek ve tabloya yeni bir satır eklenir. Fakat yeni kısıtın katsayıları bu yeni satıra kolayca giremez. Bu nedenle önceki sonuç tablolarındaki bazı katsayılar bu yeni kısıtlardan elenir. Bu da basit matris satır operasyonları ile yapılır.

Yeni bir değişken eklenmesi

Bu iki temel faz halinde yapılır.

Faz 1: Öncelikle yeni değişkeni tabana girip girmediğine bakılır.

- a) Yeni değişken  $x_k$  şekilde adlandırılmakta  $k$ . dual kısıtlar elde edilir.
- b) Halihazırdaki dual program  $V^*$   $k$ . dual kısıtlardan yazılır.
- c) Eğer  $k$ . dual kısıtlama halihazırdaki dual program olasıysa, yeni primal değişken  $x_k$ 'nin önceki optimal programda bir etkisi yoktur. Analiz durdurulur. Fakat öteki taraftan  $k$ . dual kısıtlama sağlanmazsa yeni primal değişken tabana girmelidir. Faz 2'ye geçilir.

Faz 2: Yeni bir primal değişken eklenmesi demek ilk tabloya yeni bir kolonun eklenmesi gerekir. Bu yeni kolon için kolon vektör  $y_k$  ve  $z_k - c_k$ 'nin bulunması gerekir.

- a) Yeni bir kolon vektörü  $\hat{y}_k$ ;

$$\hat{y}_k = B^{-1}\hat{a}_k \quad (2.50)$$

Burada;

$B^{-1}$ : Dönüşüm matrisi.

$\hat{a}_k$ : Yeni değişken  $x_k$  nin teknolojik katsayısı vektörü.

- b) Yeni gölge fiyatlar  $\hat{z}_k - \hat{c}_k$ ;

$$\hat{z}_k - \hat{c}_k = c_B \hat{y}_k - \hat{c}_k \quad (2.51)$$

Burada;

$\hat{c}_k$ : Yeni değişken  $x_k$ 'nin objektif fonksiyon katsayısıdır[9].



### **3. UYGULAMA**

#### **3.1. Fabrikanın Tanıtımı**

##### **3.1.1. Makina Kimya Endüstrisi Kurumu**

Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu Silahlı Kuvvetlerimizin savunma araç ve gereçlerini ve sivil sektörün bir kısım ihtiyaçlarını karşılayan kendi sahasında Yurdumuzun en büyük sanayi kuruluşudur.

İstanbul' un Türkler tarafından fethinden sonra bu şehirde kurulmuş olan Askeri Fabrikalar, harp silahlarının devamlı gelişmesi ile bazı değişikliklere uğrayarak zamanla bünyesini ve ismini değiştirmiş; ilk zamanlarda, bugün hala Tophane olarak anılan yerde Fatih Sultan Mehmet tarafından kurulan ve II. Beyazıt zamanında daha da geliştirilen Top Asithanesi ismi ile anılan Top Dökümhanesi bir süre sonra Tophane Amirliği ismini almış, Tanzimat devrinde Tophane-1 Amire Nazırlığı, Meşrutiyet devrinde İmalat-1 Harbiye Müdüriyeti Umumiyesi, Cumhuriyet devrinde ise 1950 yılına kadar Askeri Fabrikalar Umum Müdürlüğü olarak faaliyetlerini sürdürmüştür.

Bu tesislerin daha sonradan modern ihtiyaçları karşılayabilecek, aynı zamanda sivil sanayiye hizmet verebilecek bir duruma getirilmesi için 1950 yılında 5591 sayılı Kanun ile sermayesinin tamamı devlet tarafından verilmek suretiyle "Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu" adı ile yeniden teşkilatlanan fabrikalar, bu tarihten sonra da imalatını başarı ile yürütmüş ve bu arada kapasite artırımı ve modernizasyon programlarına uygun olarak gelişmesini de sürdürmüştür.

MKEK bugün sermayesinin tamamı Devlete ait olup, Sanayi ve Ticaret Bakanlığına bağlı olarak hizmetlerini yürütmektedir[23].

### 3.1.2. PİRİNÇSAN A.Ş.

Üretime 1929 yılında başlayan PİRİNÇSAN, askeri mühimmatın üretiminde kullanılan bakır ve pirinç alaşımı çubuklar, borular, profiller, şeritler, kovan ve gömlek yüksükleri üretmektedir. Firmanın yıllık üretim kapasitesinin % 40'lık bölümü askeri üretime ayrılmaktadır.

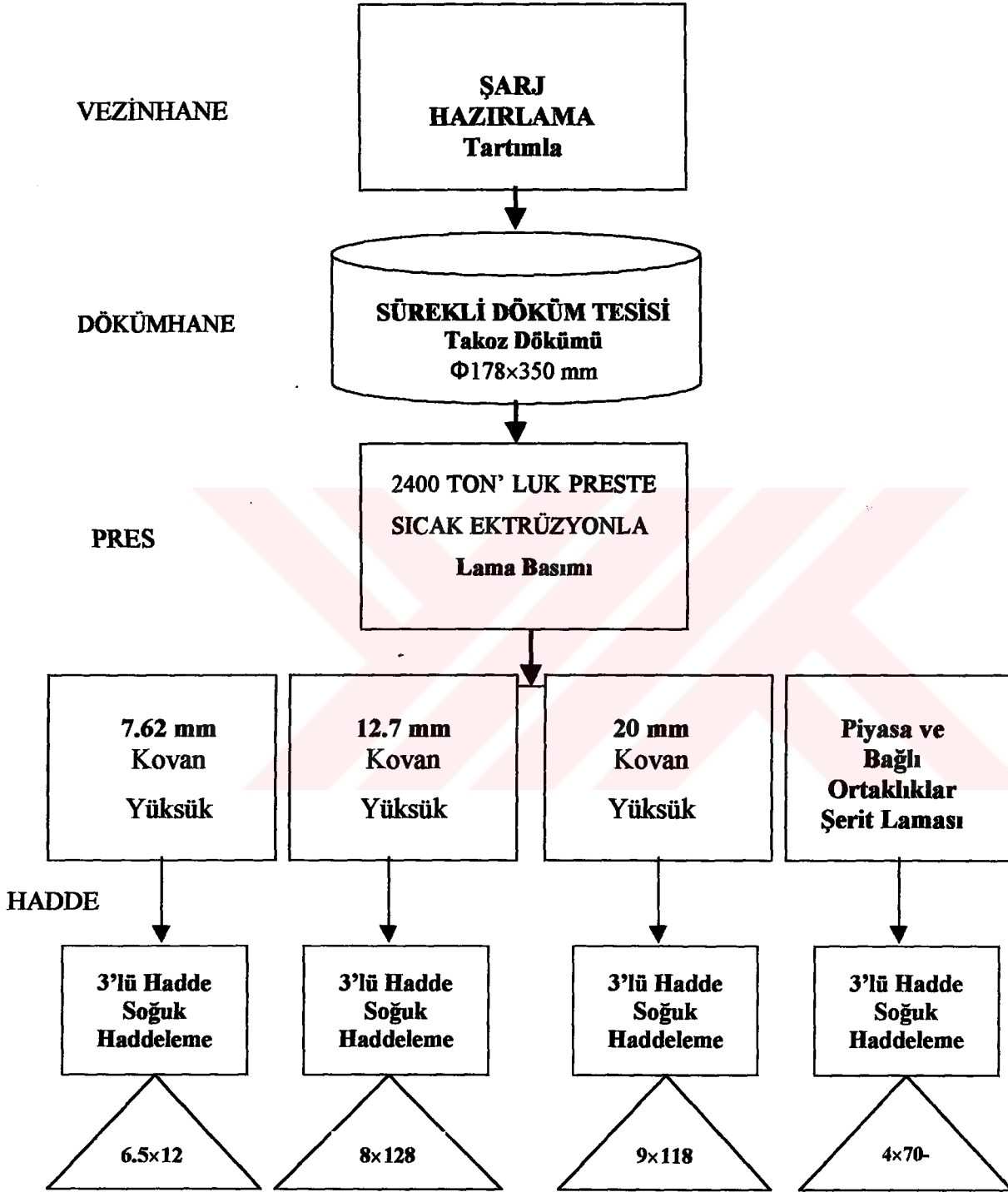
PİRİNÇSAN' da toplam 441 personel çalışmaktadır.

Ürünler: Bakır ve pirinç çubuklar, borular, şeritler, lamalar ve kütükler.

- Savunma Uygulamaları
- Kovan ve gömlek yüksükleri
- Muhtelif pirinç şeritler
- Tombak borular
- Kovan pulları
- Sevk çemberleri
- Ateşleme fünyesi çubukları
- Kapsül şeritleri
- Çeşitli mühimmatta kullanılan çubuk, boru, şerit ve profiller

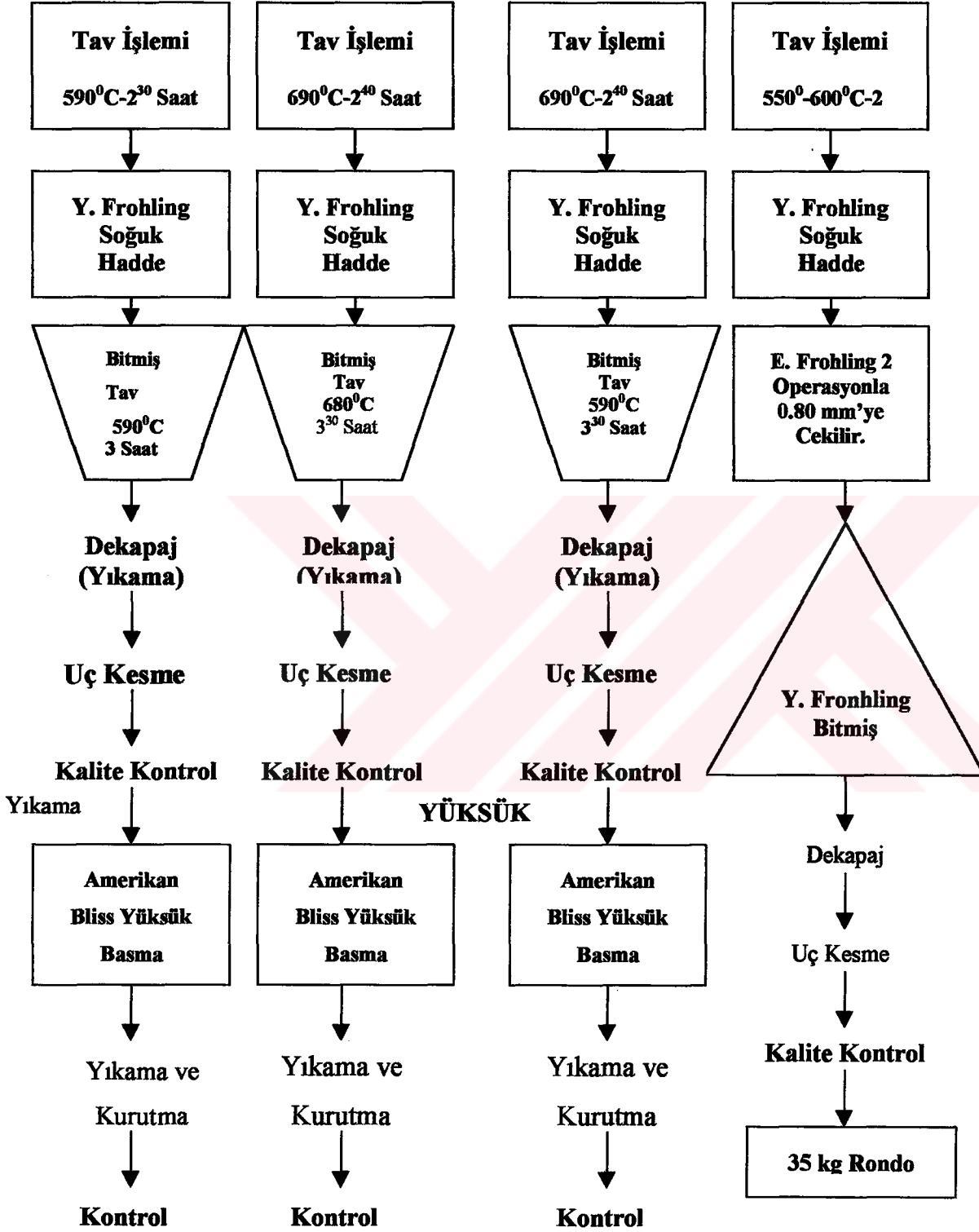
Ürün ağacı şekil 3.1'de gömlek yüksükleri oluşumu da şekil 3.2'de gösterilmiştir.

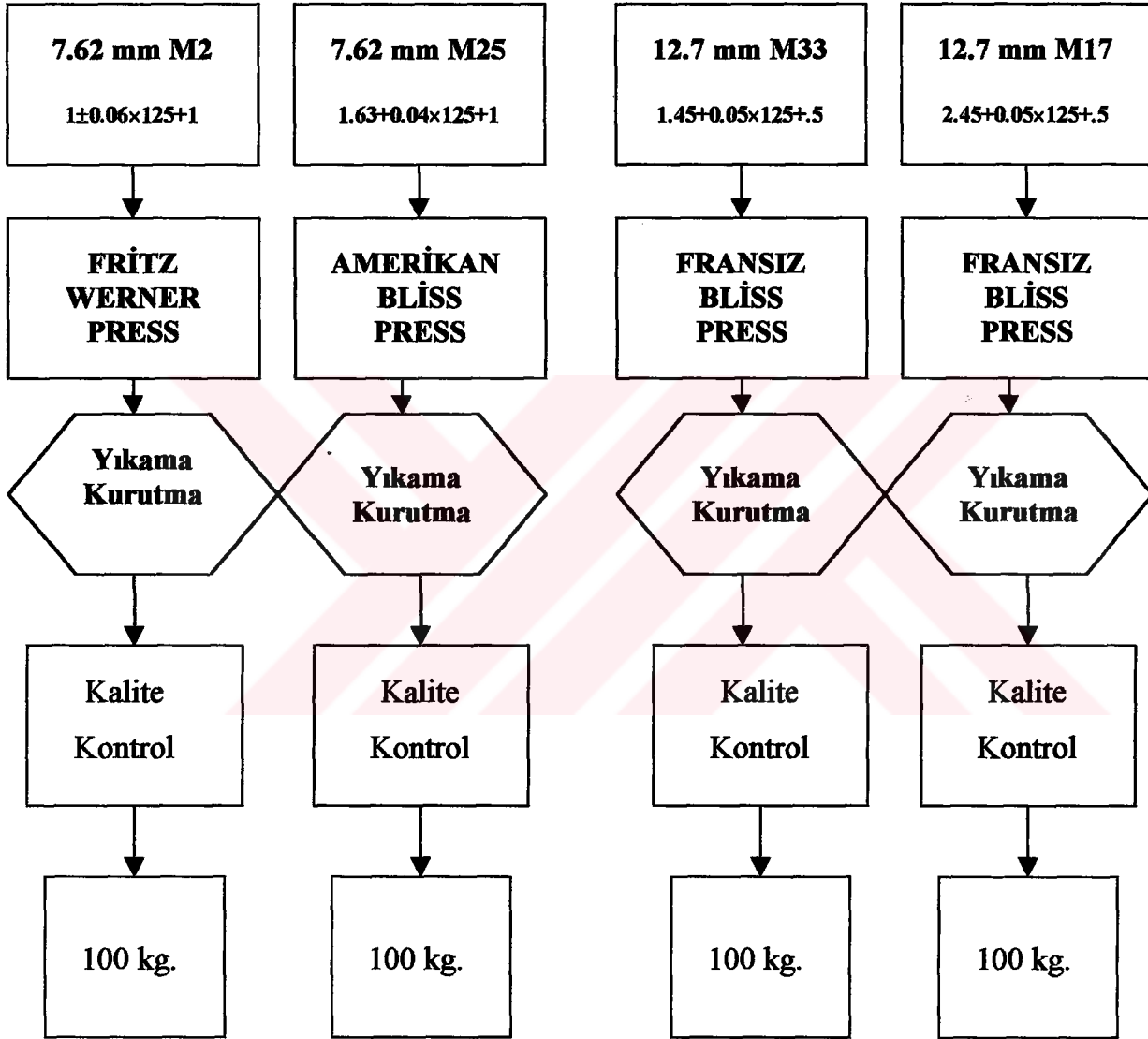
PİRİNÇSAN, AQAP-120 Kalite Güvence Belgesine sahiptir[24].



Cu Zn 30 (MS70) Fişeklik ve şeritlik hattı

Şekil 3.1. Ürün ağacı





MS 90 (Cu Zn 10) şeritler

Şekil 3.2 Gömlek yüksükleri

### 3.2. Pirinçsan A.Ş. Fabrikası İmalat Sistemi

Fabrika hammadde olarak; Bakır tel (TELEKOM), katot bakır, elektrot çinko, elektrot kurşun, külçe kalay, külçe antimon, pirinç hurdası, hurda kovan, hurda kapçık, granüle pirinç, gömlek yük şeridi, radyotör, blister bakır, alüminyum, bakır hurda, tombak hurda kullanmaktadır.

Pirinç, bakır ve çinkonun bir alaşımıdır. Pirinç malzemeler isimlerini içlerinde bulundurdıkları bakır oranına göre alır. Örneğin içerisinde % 58 bakır, % 40 çinko ve % 2 kurşun bulunduran bir alaşım MS 58 ismini ve içinde % 70 bakır, % 30 çinko bulunduran bir alaşım MS 70 ismini alır. Burada MS Almanca “massing” kelimesinden, 70 ise bakır oranından gelir.

Malzemenin içlerinde bulunan bakır çinko ve kurşun oranlarına dikkat edilmesi gerekir. Yapılacak malzeme genellikle silah sanayii gibi hassas bir yerde kullanılacağı için çok önemlidir.

Makina Kimya Endüstrisi Kurumuna bağlı olan Pirinçsan Fabrikasının ürettiği malzemeler ve içinde bulunan alaşımların oranları çizelge 3.1’de verilmiştir.

Bir çok üretim işletmesinde sipariş alınan malzemeleri üretmek için kullanılacak hammaddelerin miktarları genellikle kişisel tecrübelerle dayanarak ve sezgisel olarak yapılmaktadır. Bu da maliyetin minimum yapamaz.

Bu çalışmada, bu sorunu gidermek için; *maliyeti minimum verecek şekilde malzemeyi üretmek için hangi hammaddeden ne kadar kullanmak gerektiğini bulan maliyet-etkin bir üretim programı geliştirilmiştir.*

Çizelge 3.1. Malzemelerin alaşım oranları

| M. NO | MALZEME ADI             | Cu   | Zn   | Pb   | Al   | Sn   | Sb   |
|-------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 7001  | MS 58 OTOMAT ÇUBUK      | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7971  | MS 58 TAKOZ             | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7389  | MS 63 ŞERİT             | 0,63 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7481  | MS 70 KOVAN YÜKSÜK      | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7480  | MS 70 KOVAN YÜKSÜK      | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1030  | MS 60 TAKOZ             | 0,60 | 0,38 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1031  | MS 63 TAKOZ             | 0,63 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1032  | MS 65 TAKOZ             | 0,65 | 0,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1033  | MS 66 TAKOZ             | 0,66 | 0,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1034  | OS 70 ŞERİT TAKOZU      | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1035  | MS 70 FİŞEK KOVAN Y. T. | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1204  | OPR 76 TAKOZ            | 0,76 | 0,23 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| 1038  | MS 90 TAKOZ             | 0,90 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1039  | MS 95 TAKOZ             | 0,95 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1043  | ECU TAKOZ               | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7002  | MS 58 OTOMAT ÇUBUK      | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7003  | MS 58 OTOMAT ÇUBUK      | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7004  | MS 58 OTOMAT ÇUBUK      | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7005  | MS 58 OTOMAT ÇUBUK      | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7006  | MS 58 OTOMAT ÇUBUK      | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7165  | MS 58 PRES ÇUBUK        | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7166  | MS 58 PRES ÇUBUK        | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7167  | MS 58 PRES ÇUBUK        | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7170  | MS 58 PROFİL            | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7054  | MS 58 4-6 KÖŞE ÇUBUK    | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

|      |                      |      |      |      |      |      |      |
|------|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| 7055 | MS 58 4-6 KÖŞE ÇUBUK | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7056 | MS 58 4-6 KÖŞE ÇUBUK | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7057 | MS 58 4-6 KÖŞE ÇUBUK | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7058 | MS 58 4-6 KÖŞE ÇUBUK | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7009 | MS 60 OTOMAT ÇUBUK   | 0,60 | 0,38 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7010 | MS 60 OTOMAT ÇUBUK   | 0,60 | 0,38 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7011 | MS 60 OTOMAT ÇUBUK   | 0,60 | 0,38 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7012 | MS 60 OTOMAT ÇUBUK   | 0,60 | 0,38 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7024 | MS 70 ÇUBUK          | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7039 | ECU ÇUBUK            | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7202 | ECU LAMA             | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7203 | ECU LAMA             | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7227 | MS 63 BORU           | 0,63 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7228 | MS 63 BORU           | 0,63 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7229 | MS 63 BORU           | 0,63 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7230 | MS 63 BORU           | 0,63 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7231 | MS 63 BORU           | 0,63 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7234 | MS 65 BORU           | 0,65 | 0,34 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7292 | MS 90 BORU           | 0,90 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7258 | ECU BORU             | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7259 | ECU BORU             | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7275 | MS 76 OPR BORU       | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7288 | PB BORU              | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7309 | MS 90 SEVK ÇEMBERİ   | 0,90 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1054 | MS 63 ŞERİT LAMASI   | 0,63 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1055 | MS 63 ŞERİT LAMASI   | 0,63 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1056 | MS 70 ŞERİT LAMASI   | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1057 | MS 70 FİŞEK LAMA     | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

|      |                       |      |      |      |      |      |      |
|------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| 1059 | MS 70 KOVANLIK LAMASI | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1060 | MS 90 ŞERİT LAMA      | 0,90 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1061 | MS 95 ŞERİT LAMA      | 0,95 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1063 | ECU ŞERİT LAMASI      | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7372 | ELEK. PB LAMA         | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7388 | MS 63 ŞERİT           | 0,63 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7390 | MS 63 ŞERİT           | 0,63 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7400 | MS 70 ŞERİT           | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7401 | MS 70 ŞERİT           | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7402 | MS 70 ŞERİT           | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7413 | MS 95 ŞERİT           | 0,95 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7424 | ECU ŞERİT             | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7425 | ECU ŞERİT             | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7426 | ECU ŞERİT             | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1076 | MS 70 PUL LEVHASI     | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1085 | MS 70 YÜKSÜK ŞERİT    | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1091 | MS 70 YÜKSÜK ŞERİT    | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1086 | MS 70 YÜKSÜK ŞERİT    | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1093 | MS 90 GÖM. YÜK. ŞERİT | 0,90 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1094 | MS 90 GÖM. YÜK. ŞERİT | 0,90 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7373 | MS 70 KOVAN YÜKSÜK    | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7374 | MS 70 KOVAN YÜKSÜK    | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7487 | MS 90 GÖMLEK YÜKSÜK   | 0,90 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7488 | MS 90 GÖMLEK YÜKSÜK   | 0,90 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7508 | MS 70 KOVAN PULU      | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1237 | PB BLOK VE TAKOZ      | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7740 | DBR 10 ÇUBUK          | 0,89 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,11 | 0,00 |
| 7741 | DBR 10 ÇUBUK          | 0,89 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,11 | 0,00 |

|      |                      |             |             |             |      |             |             |
|------|----------------------|-------------|-------------|-------------|------|-------------|-------------|
| 7742 | DBR 10 ÇUBUK         | <b>0,89</b> | 0,00        | 0,00        | 0,00 | <b>0,11</b> | 0,00        |
| 7743 | DBR 14 ÇUBUK         | <b>0,85</b> | 0,00        | 0,00        | 0,00 | <b>0,15</b> | 0,00        |
| 7744 | DBR 14 ÇUBUK         | <b>0,85</b> | 0,00        | 0,00        | 0,00 | <b>0,15</b> | 0,00        |
| 7745 | DBR 14 ÇUBUK         | <b>0,85</b> | 0,00        | 0,00        | 0,00 | <b>0,15</b> | 0,00        |
| 7844 | DBR 10 BAS. MAÇ. GLE | <b>0,89</b> | 0,00        | 0,00        | 0,00 | <b>0,11</b> | 0,00        |
| 7924 | WM 80 METAL DÖKÜM    | <b>0,06</b> | 0,00        | <b>0,01</b> | 0,00 | <b>0,81</b> | <b>0,12</b> |
| 7961 | DİSK KAYNAK HALİTA   | 0,00        | 0,00        | <b>0,80</b> | 0,00 | <b>0,05</b> | <b>0,15</b> |
| 1090 | MS 70 GÖMLEK Y. Ş.   | <b>0,70</b> | <b>0,30</b> | 0,00        | 0,00 | 0,00        | 0,00        |
| 1209 | MS 70 KOVAN Y. Ş.    | <b>0,70</b> | <b>0,30</b> | 0,00        | 0,00 | 0,00        | 0,00        |
| 7475 | MS 70 KOVAN YÜKSÜK   | <b>0,70</b> | <b>0,30</b> | 0,00        | 0,00 | 0,00        | 0,00        |
| 7491 | MS 70 GÖMLEK Y. Ş.   | <b>0,70</b> | <b>0,30</b> | 0,00        | 0,00 | 0,00        | 0,00        |
| 1029 | MS 58 TAKOZ          | <b>0,58</b> | <b>0,40</b> | <b>0,02</b> | 0,00 | 0,00        | 0,00        |
| 7308 | SEVK ÇEMBERİ         | <b>0,90</b> | <b>0,10</b> | 0,00        | 0,00 | 0,00        | 0,00        |
| 7310 | SEVK ÇEMBERİ         | <b>0,90</b> | <b>0,10</b> | 0,00        | 0,00 | 0,00        | 0,00        |
| 7507 | MS 70 KOVAN PULU     | <b>0,70</b> | <b>0,30</b> | 0,00        | 0,00 | 0,00        | 0,00        |
| 7483 | MS 70 KOVAN YÜKSÜK   | <b>0,70</b> | <b>0,30</b> | 0,00        | 0,00 | 0,00        | 0,00        |
| 7498 | MS 70 GÖMLEK YÜKSÜK  | <b>0,70</b> | <b>0,30</b> | 0,00        | 0,00 | 0,00        | 0,00        |
| 1036 | MS 70 KOVAN TAKOZ    | <b>0,70</b> | <b>0,30</b> | 0,00        | 0,00 | 0,00        | 0,00        |

Bu malzemeleri üretmek için kullanılacak olan hammaddeler alışım oranları çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Hammaddelerdeki alaşım oranları.

| MALZEME ADI         | Cu   | Zn   | Pb   | Sn   | Sb   | Al   | Fe   |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| BAKIR TEL (TELEKOM) | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| KATOT BAKIR         | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ELEK. ÇİNKO         | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ELEK KURŞUN         | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| KÜLÇE KALAY         | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| KÜLÇE ANTİMON       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| PİRİNÇ HURDASI      | 0,60 | 0,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| HURDA KOVAN         | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| HURDA KAPÇIK        | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| GRANÜLE PİRİNÇ      | 0,58 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| GÖMLEK YÜK ŞERİDİ   | 0,70 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| RADYOTÖR            | 0,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 |
| BLİSTER BAKIR       | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ALUMİNYUM           | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 |
| BAKIR HURDA         | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOMBAK HURDA        | 0,90 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Bu hammaddeleri fabrika açmış olduğu ihaleler neticesinde piyasadan toplamaktadır. Ayrıca bazı firmalar fabrikayla iletişime geçip elinde bulunan hammaddeyi fabrikaya satabilmektedir. Bazı hammaddeler yurtdışından gelmektedir.

Fabrikanın piyasadan toplamış olduğu hammadde miktarı ve fiyatları çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Hammadde miktarları ve fiyatları.

| <b>MALZEME ADI</b>  | <b>MİKTARI (kg)</b> | <b>FİYATI (1000 TL)</b> |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| BAKIR TEL (TELEKOM) | 2156411             | 370                     |
| KATOT BAKIR         | 1406412             | 570                     |
| ELEK. ÇİNKO         | 3414040             | 420                     |
| ELEK KURŞUN         | 149018              | 222                     |
| KÜLÇE KALAY         | 4500                | 1950                    |
| KÜLÇE ANTİMON       | 1500                | 540                     |
| PİRİNÇ HURDASI      | 546980              | 120                     |
| HURDA KOVAN         | 52214               | 120                     |
| HURDA KAPÇIK        | 1654615             | 120                     |
| GRANÜLE PİRİNÇ      | 546980              | 40                      |
| GÖMLEK YÜK ŞERİDİ   | 480000              | 750                     |
| RADYOTÖR            | 450000              | 190                     |
| BLİSTER BAKIR       | 120000              | 350                     |
| ALUMİNYUM           | 250                 | 650                     |
| BAKIR HURDA         | 123000              | 200                     |
| TOMBAK HURDA        | 147250              | 145                     |

Fabrikanın üreteceği malzemeleri daha önceden sipariş yoluyla temin etmektedir. 1999 yılında üreteceği malzeme sipariş miktarları ise kilogram olarak çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Malzeme sipariş miktarı

| M. NO | MALZEME ADI             | SİPARİŞ MİKTARI |
|-------|-------------------------|-----------------|
| 7001  | MS 58 OTOMAT ÇUBUK      | 15000           |
| 7971  | MS 58 TAKOZ             | 880000          |
| 7389  | MS 63 ŞERİT             | 5000            |
| 7481  | MS 70 KOVAN YÜKSÜK      | 350000          |
| 7480  | MS 70 KOVAN YÜKSÜK      | 800000          |
| 1030  | MS 60 TAKOZ             | 5000            |
| 1031  | MS 63 TAKOZ             | 5000            |
| 1032  | MS 65 TAKOZ             | 5000            |
| 1033  | MS 66 TAKOZ             | 5000            |
| 1034  | OS 70 ŞERİT TAKOZU      | 5000            |
| 1035  | MS 70 FİŞEK KOVAN Y. T. | 5000            |
| 1204  | OPR 76 TAKOZ            | 5000            |
| 1038  | MS 90 TAKOZ             | 5000            |
| 1039  | MS 95 TAKOZ             | 5000            |
| 1043  | ECU TAKOZ               | 5000            |
| 7002  | MS 58 OTOMAT ÇUBUK      | 15000           |
| 7003  | MS 58 OTOMAT ÇUBUK      | 50000           |
| 7004  | MS 58 OTOMAT ÇUBUK      | 50000           |
| 7005  | MS 58 OTOMAT ÇUBUK      | 100000          |
| 7006  | MS 58 OTOMAT ÇUBUK      | 100000          |
| 7165  | MS 58 PRES ÇUBUK        | 1047000         |
| 7166  | MS 58 PRES ÇUBUK        | 2600000         |
| 7167  | MS 58 PRES ÇUBUK        | 2000000         |
| 7170  | MS 58 PROFİL            | 40000           |
| 7054  | MS 58 4-6 KÖŞE ÇUBUK    | 5000            |

|      |                      |       |
|------|----------------------|-------|
| 7055 | MS 58 4-6 KÖŞE ÇUBUK | 5000  |
| 7056 | MS 58 4-6 KÖŞE ÇUBUK | 5000  |
| 7057 | MS 58 4-6 KÖŞE ÇUBUK | 5000  |
| 7058 | MS 58 4-6 KÖŞE ÇUBUK | 5000  |
| 7009 | MS 60 OTOMAT ÇUBUK   | 5000  |
| 7010 | MS 60 OTOMAT ÇUBUK   | 5000  |
| 7011 | MS 60 OTOMAT ÇUBUK   | 10000 |
| 7012 | MS 60 OTOMAT ÇUBUK   | 5000  |
| 7024 | MS 70 ÇUBUK          | 3000  |
| 7039 | ECU ÇUBUK            | 1000  |
| 7202 | ECU LAMA             | 5000  |
| 7203 | ECU LAMA             | 5000  |
| 7227 | MS 63 BORU           | 5000  |
| 7228 | MS 63 BORU           | 5000  |
| 7229 | MS 63 BORU           | 1000  |
| 7230 | MS 63 BORU           | 1000  |
| 7231 | MS 63 BORU           | 1000  |
| 7234 | MS 65 BORU           | 1000  |
| 7292 | MS 90 BORU           | 40000 |
| 7258 | ECU BORU             | 5000  |
| 7259 | ECU BORU             | 5000  |
| 7275 | MS 76 OPR BORU       | 5000  |
| 7288 | PB BORU              | 3000  |
| 7309 | MS 90 SEVK ÇEMBERİ   | 5000  |
| 1054 | MS 63 ŞERİT LAMASI   | 5000  |
| 1055 | MS 63 ŞERİT LAMASI   | 5000  |
| 1056 | MS 70 ŞERİT LAMASI   | 5000  |
| 1057 | MS 70 FİŞEK LAMA     | 5000  |

|      |                       |        |
|------|-----------------------|--------|
| 1059 | MS 70 KOVANLIK LAMASI | 5000   |
| 1060 | MS 90 ŞERİT LAMA      | 5000   |
| 1061 | MS 95 ŞERİT LAMA      | 5000   |
| 1063 | ECU ŞERİT LAMASI      | 5000   |
| 7372 | ELEK. PB LAMA         | 2000   |
| 7388 | MS 63 ŞERİT           | 5000   |
| 7390 | MS 63 ŞERİT           | 10000  |
| 7400 | MS 70 ŞERİT           | 7000   |
| 7401 | MS 70 ŞERİT           | 40000  |
| 7402 | MS 70 ŞERİT           | 30000  |
| 7413 | MS 95 ŞERİT           | 8000   |
| 7424 | ECU ŞERİT             | 5000   |
| 7425 | ECU ŞERİT             | 5000   |
| 7426 | ECU ŞERİT             | 5000   |
| 1076 | MS 70 PUL LEVHASI     | 5000   |
| 1085 | MS 70 YÜKSÜK ŞERİT    | 5000   |
| 1091 | MS 70 YÜKSÜK ŞERİT    | 5000   |
| 1086 | MS 70 YÜKSÜK ŞERİT    | 5000   |
| 1093 | MS 90 GÖM. YÜK. ŞERİT | 5000   |
| 1094 | MS 90 GÖM. YÜK. ŞERİT | 5000   |
| 7373 | MS 70 KOVAN YÜKSÜK    | 350000 |
| 7374 | MS 70 KOVAN YÜKSÜK    | 20000  |
| 7487 | MS 90 GÖMLEK YÜKSÜK   | 5000   |
| 7488 | MS 90 GÖMLEK YÜKSÜK   | 5000   |
| 7508 | MS 70 KOVAN PULU      | 5000   |
| 1237 | PB BLOK VE TAKOZ      | 2000   |
| 7740 | DBR 10 ÇUBUK          | 1000   |
| 7741 | DBR 10 ÇUBUK          | 2000   |

|      |                      |       |
|------|----------------------|-------|
| 7742 | DBR 10 ÇUBUK         | 4000  |
| 7743 | DBR 14 ÇUBUK         | 1000  |
| 7744 | DBR 14 ÇUBUK         | 2000  |
| 7745 | DBR 14 ÇUBUK         | 5000  |
| 7844 | DBR 10 BAS. MAÇ. GLE | 3000  |
| 7924 | WM 80 METAL DÖKÜM    | 2000  |
| 7961 | DİSK KAYNAK HALİTA   | 7000  |
| 1090 | MS 70 GÖMLEK Y. Ş.   | 5000  |
| 1209 | MS 70 KOVAN Y. Ş.    | 5000  |
| 7475 | MS 70 KOVAN YÜKSÜK   | 5000  |
| 7491 | MS 70 GÖMLEK Y. Ş.   | 5000  |
| 1029 | MS 58 TAKOZ          | 5000  |
| 7308 | SEVK ÇEMBERİ         | 5000  |
| 7310 | SEVK ÇEMBERİ         | 70000 |
| 7507 | MS 70 KOVAN PULU     | 1000  |
| 7483 | MS 70 KOVAN YÜKSÜK   | 5000  |
| 7498 | MS 70 GÖMLEK YÜKSÜK  | 5000  |
| 1036 | MS 70 KOVAN TAKOZ    | 5000  |

Ayrıca yapılacak olan 7481 MS 70 Kovan Yüksük, 7480 MS 70 Kovan Yüksük, 7373 MS 70 Kovan Yüksük, 7374 MS 70 Kovan Yüksük, 7507 MS 70 Kovan Pulu mamulleri hassas yerlerde kullanılacağından daha kaliteli üretilmesi için içlerinde hurda malzeme hiç kullanılmadan saf malzemeye yapılması istenmektedir.

### 3.3. Modelin Kurulması

Problemin GAMS modelinde kurulacaktır. GAMS (Genel Cebirsel Modelleme Sistemi), programcılarının geniş ve kompleks matematiksel programlama

modellerini daha kolay yapılabilmesi ve çözülebilmesi ve ekonomistler gibi meslek dallarındakilerin bu modelleri daha verimli kullanabilmesi için dizayn edilmiştir. Modellemeciler ve bilgisayarlılar tarafından kolayca yapılabilir. Cebirsel ifadelerden ibaret olması sayesinde GAMS modellemecilerin üretkenliğini oldukça artırır ve matematiksel programlama uygulamalarının yürütme ve karar verme aşamaları ifade edebilmeyi kolaylaştırır.

### 3.3.1. GAMS modeli

Problem doğrusal programlama ile çözülecektir. Problem doğrusal programlamanın bütün şartlarını sağlamaktadır. Çünkü bilindiği gibi doğrusal programlama; kaynakların optimal dağıtımını, kaynakların seçenekli dağıtımını, optimal üretim bileşimini, minimum maliyet veren girdi bileşimini, en uygun kârın ve en az maliyetin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Bugün endüstriyel ve ekonomik analizlerde yaygınca kullanılan doğrusal programlama, tüm nicel teknikler arasında en geniş etki alanı olandır. Doğrusal programlama firmanın ulaşım, üretim, finansman, dağıtım ve reklamcılık gibi pek çok faaliyetlerde kullanılabilir. Ayrıca, Firmada; karşılaşılabacak darboğazların giderilmesinde, seçenekli üretim tekniklerinin kullanılmasının getirisini belirlemede, kıt kaynakların etkin kullanımı ve bunların gölge fiyatlarının belirlenmesi ile en uygun çözümlere ulaştırarak politikaları saptamada doğrusal programlama modelleri kullanılır.

Doğrusal programlama değişken ve kısıtlayıcılara bağlı olarak amaç fonksiyonunu en uygun (maksimum veya minimum) kılmaya çalışır. Buna göre doğrusal programlama değişkenlere ve kısıtlayıcılara bağlı olarak amaca en iyi ulaşma tekniğidir. Temel olarak, doğrusal programlama verilen

optimallik ölçütüne bağlı olarak kıt kaynakların optimal şekilde dağıtımını içeren deterministik matematiksel bir tekniktir de denilebilir [8].

Bu problemi doğrusal programlama yöntemiyle çözmek içinde GAMS modeli kullanılacaktır.

GAMS programının kullanılmasının nedeni, kısıtlar için bir sınır olmadığından büyük problemler için modelleme yapılabilmektedir. Ayrıca model üzerinde kısıtlarda veya amaç fonksiyonunda bir değişme olursa değiştirme imkanı kolaydır. Yani programın tamamını etkilemez. Her kısıtın GAMS ile modellenmesinde genel bir yazılış biçimi bulunmaktadır[25]. Tüm notasyonlar için modelin uzun olarak yazılmasına gerek kalmaz.

Problemin GAMS' de modellenmesi:

SETS kısmından  $i$  ve  $j$  değerleri tanımlanır.

Sets kısmındaki  $i$  ve  $j$  değerler ifade edilir. I kısmı malzemeyi j kısımda hammaddeyi ifade eder. Bu ifadeyi daha açık bir biçimde 7001 için yazılırsa; 7001BT, 7001KB, 7001EC, 7001EK, 7001KK, 7001KA, 7001PH, 7001HK, 7001HH, 7001GP, 7001GY, 7001RA, 7001BB, 7001AL, 7001BH, 7001TH şeklinde olur. Buna göre problemde  $i$  değeri 99 ve  $j$  değeri de 16 olduğuna göre bulunması gereken değer sayısı  $99 \times 16 = 1584$  tanedir.

SCALAR kısmında; problemde kilogram başına değerleri 1000 TL ile çarpılır.

PARAMETERS kısmında talep ve stok kısımları da aşağıdaki şekilde tanımlanır. BAKIRTALEP miktarı malzemenin içinde bulunan bakır miktarını, CINKOTALEP çinko miktarını, KURSUNTALEP kursun

miktarını, ALUMINYUMTALEP alüminyum miktarını, KALAYTALEP kalay miktarını, ANTIMONTALEP de antimon miktarını göstermektedir. Bunlarda sırasıyla model de BAKIRTALEP(I), CINKOTALEP(I), KURSUNTALEP(I), ALUMINYUMTALEP(I), KALAYTALEP(I) ve ANTIMONTALEP(I) şeklinde yazılır.

BAKIRSTOK elimizde olan bakır miktarını, CINKOSTOK çinko miktarını, KURSUNSTOK kursun miktarını, ALUMINYUMSTOK alüminyum miktarını, KALAYSTOK kalay miktarını, ANTIMONSTOK de antimon miktarını verir. Modelde de BAKIRTALEP(J), CINKOTALEP(J), KURSUNTALEP(J), ALUMINYUMTALEP(J), KALAYTALEP(J) ve ANTIMONTALEP(J) şeklinde ifade edilir.

Çizelge 3.1. Malzemelerin içindeki alaşım oranları ile çizelge 3.4.'de ki üretilcek malzeme sipariş miktarı çizelgelerinden faydalanarak hesaplanır.

Her hammadde için örnekle ifadesi şöyledir:

BAKIRTALEP miktarı 7001 için; 7001 de bulunan bakır miktarı ile sipariş miktarını çarparak bulunur. Buna göre 7001 de kullanılacak bakır miktarı  $15000 \times 0,58 = 8700 \text{ kg}$  dır.

CINKOTALEP miktarı 1030 için  $5000 \times 0,38 = 1900 \text{ kg}$  dır.

KURSUNTALEP miktarı 7165 için  $1047000 \times 0,02 = 20940 \text{ kg}$  dır.

ALUMINYUMTALEP miktarı 1204 için  $5000 \times 0,01 = 50 \text{ kg}$  dır.

KALAYTALEP miktarı 7740 için  $1000 \times 0,11 = 110 \text{ kg}$  dır.

ANTIMONTALEP miktarı 7924 için  $2000 \times 0,12 = 240 \text{ kg}$  dır.

Çizelge 3.5. BAKIRSTOK miktarları

| MALZEME<br>ADI | MİKTARI (kg) | BAKIR ORANI | BAKIRSTOK |
|----------------|--------------|-------------|-----------|
| BT             | 2156411      | 1,00        | 2156411   |
| KB             | 1406412      | 1,00        | 1406412   |
| EC             | 3414040      | 0,00        | 0         |
| EK             | 149018       | 0,00        | 0         |
| KK             | 4500         | 0,00        | 0         |
| KA             | 1500         | 0,00        | 0         |
| PH             | 546980       | 0,60        | 328188    |
| HK             | 52214        | 0,70        | 36550     |
| HH             | 1654615      | 0,70        | 1158231   |
| GP             | 546980       | 0,58        | 317248    |
| GY             | 480000       | 0,70        | 336000    |
| RA             | 450000       | 0,90        | 405000    |
| BB             | 120000       | 1,00        | 120000    |
| AL             | 250          | 0,00        | 0         |
| BH             | 123000       | 1,00        | 123000    |
| TH             | 147250       | 0,90        | 132525    |

BAKIRSTOK miktarı ise çizelge 3.5’de gösterilmiştir. BAKIRSTOK miktarını ise; miktar ile bakır oranı çarpımından elde edilir. Örneğin PH’de ki bakır miktarı  $546980 \times 0,60 = 328188 \text{ kg}$  olarak bulunur.

CINKOSTOK miktarı ise çizelge 3.6’da gösterilmiştir. CINKOSTOK miktarını ise; miktar ile çinko oranı çarpımından elde edilir. Örneğin HK’da ki çinko miktarı  $52214 \times 0,30 = 15664 \text{ kg}$  olarak bulunur.

Çizelge 3.6. CINKOSTOK miktarları

| MALZEME<br>ADI | MİKTARI (kg) | ÇİNKO ORANI | CINKOSTOK |
|----------------|--------------|-------------|-----------|
| BT             | 2156411      | 0,00        | 0         |
| KB             | 1406412      | 0,00        | 0         |
| EC             | 3414040      | 1,00        | 3414040   |
| EK             | 149018       | 0,00        | 0         |
| KK             | 4500         | 0,00        | 0         |
| KA             | 1500         | 0,00        | 0         |
| PH             | 546980       | 0,40        | 218792    |
| HK             | 52214        | 0,30        | 15664     |
| HH             | 1654615      | 0,30        | 496385    |
| GP             | 546980       | 0,40        | 218792    |
| GY             | 480000       | 0,30        | 144000    |
| RA             | 450000       | 0,00        | 0         |
| BB             | 120000       | 0,00        | 0         |
| AL             | 250          | 0,00        | 0         |
| BH             | 123000       | 0,00        | 0         |
| TH             | 147250       | 0,10        | 14725     |

KURSUNSTOK miktarı ise çizelge 3.7’de gösterilmiştir. KURSUNSTOK miktarını ise; miktar ile kurşun oranı çarpımından elde edilir. Örneğin EK’da ki kurşun miktarı  $14901 \times 1,00 = 14901 \text{ kg}$  olarak bulunur.

Çizelge 3.7. KURSUNSTOK miktarları

| MALZEME<br>ADI | MİKTARI (kg) | KURŞUN ORANI | KURSUNSTOK |
|----------------|--------------|--------------|------------|
| BT             | 2156411      | 0,00         | 0          |
| KB             | 1406412      | 0,00         | 0          |
| EC             | 3414040      | 0,00         | 0          |
| EK             | 149018       | 1,00         | 149018     |
| KK             | 4500         | 0,00         | 0          |
| KA             | 1500         | 0,00         | 0          |
| PH             | 546980       | 0,00         | 0          |
| HK             | 52214        | 0,00         | 0          |
| HH             | 1654615      | 0,00         | 0          |
| GP             | 546980       | 0,02         | 10940      |
| GY             | 480000       | 0,00         | 0          |
| RA             | 450000       | 0,00         | 0          |
| BB             | 120000       | 0,00         | 0          |
| AL             | 250          | 0,00         | 0          |
| BH             | 123000       | 0,00         | 0          |
| TH             | 147250       | 0,00         | 0          |

ALUMINYUMSTOK miktarı ise çizelge 3.8’de gösterilmiştir. ALUMINYUMSTOK miktarını ise; miktar ile alüminyum oranı çarpımından elde edilir. Örneğin AL’de ki alüminyum miktarı  $250 \times 1,00 = 250 \text{ kg}$  olarak bulunur.

Çizelge 3.8. ALUMINYUMSTOK miktarları

| MALZEME<br>ADI | MİKTARI (kg) | ALÜMİNYUM ORANI | ALUMINYUMSTOK |
|----------------|--------------|-----------------|---------------|
| BT             | 2156411      | 0,00            | 0             |
| KB             | 1406412      | 0,00            | 0             |
| EC             | 3414040      | 0,00            | 0             |
| EK             | 149018       | 0,00            | 0             |
| KK             | 4500         | 0,00            | 0             |
| KA             | 1500         | 0,00            | 0             |
| PH             | 546980       | 0,00            | 0             |
| HK             | 52214        | 0,00            | 0             |
| HH             | 1654615      | 0,00            | 0             |
| GP             | 546980       | 0,00            | 0             |
| GY             | 480000       | 0,00            | 0             |
| RA             | 450000       | 0,00            | 0             |
| BB             | 120000       | 0,00            | 0             |
| AL             | 250          | 1,00            | 250           |
| BH             | 123000       | 0,00            | 0             |
| TH             | 147250       | 0,00            | 0             |

KALAYSTOK miktarı ise çizelge 3.9'da gösterilmiştir. KALAYSTOK miktarını ise; miktar ile kalay oranı çarpımından elde edilir. Örneğin KK'da ki kalay miktarı  $4500 \times 1,00 = 4500 \text{ kg}$  olarak bulunur.

Çizelge 3.9. KALAYSTOK miktarları

| MALZEME<br>ADI | MİKTARI (kg) | KALAY ORANI | KALAYSTOK |
|----------------|--------------|-------------|-----------|
| BT             | 2156411      | 0,00        | 0         |
| KB             | 1406412      | 0,00        | 0         |
| EC             | 3414040      | 0,00        | 0         |
| EK             | 149018       | 0,00        | 0         |
| KK             | 4500         | 1,00        | 4500      |
| KA             | 1500         | 0,00        | 0         |
| PH             | 546980       | 0,00        | 0         |
| HK             | 52214        | 0,00        | 0         |
| HH             | 1654615      | 0,00        | 0         |
| GP             | 546980       | 0,00        | 0         |
| GY             | 480000       | 0,00        | 0         |
| RA             | 450000       | 0,00        | 0         |
| BB             | 120000       | 0,00        | 0         |
| AL             | 250          | 0,00        | 0         |
| BH             | 123000       | 0,00        | 0         |
| TH             | 147250       | 0,00        | 0         |

ANTIMONSTOK miktarı ise çizelge 3.10'da gösterilmiştir. ANTIMONSTOK miktarını ise; miktar ile antimon oranı çarpımından elde edilir. Örneğin GY'de antimon olmadığı için antimon miktarı  $480000 \times 0,00 = 0 \text{ kg}$  olarak bulunur.

Çizelge 3.10. ANTIMONSTOK miktarları

| MALZEME<br>ADI | MİKTARI (kg) | ANTİMON ORANI | ANTIMONSTOK |
|----------------|--------------|---------------|-------------|
| BT             | 2156411      | 0,00          | 0           |
| KB             | 1406412      | 0,00          | 0           |
| EC             | 3414040      | 0,00          | 0           |
| EK             | 149018       | 0,00          | 0           |
| KK             | 4500         | 0,00          | 0           |
| KA             | 1500         | 1,00          | 1500        |
| PH             | 546980       | 0,00          | 0           |
| HK             | 52214        | 0,00          | 0           |
| HH             | 1654615      | 0,00          | 0           |
| GP             | 546980       | 0,00          | 0           |
| GY             | 480000       | 0,00          | 0           |
| RA             | 450000       | 0,00          | 0           |
| BB             | 120000       | 0,00          | 0           |
| AL             | 250          | 0,00          | 0           |
| BH             | 123000       | 0,00          | 0           |
| TH             | 147250       | 0,00          | 0           |

TABLE kısmında ise MALİYET(I,J) ile kullanılacak hammaddelerin maliyetleri ifade edilir. i de malzemeler j de hammadde maliyetleri gösterilir.

BAKIR(I,J), CINKO(I,J), KURSUN(I,J), ALUMINYUM(I,J), KALAY(I,J) ve ANTIMON(I,J) kısımlarında ise hammaddelerden alınabilecek olan malzeme oranları verilmiştir. Kısıtlar kısmında söylenildiği gibi 7481, 7480, 7373, 7374 ve 7507 malzemeleri sadece saf maddelerden yapılacağı için hurdalar dikkate alınmamıştır. Burada i de malzemeler j de hammaddelerdeki aalaşım oranları bulunur.

Son kısımda ise yapılmak istenen maliyet etkin çalışmalar formülle gösterilir. Toplam maliyet ifadesi;

$$\text{Total.. TotalCost} = E = \sum((I,J), \text{Malzeme}(I,J) * \text{MALİYET}(I,J) * \text{MalzemeCost});$$

şeklinde ifade edilir.

Malzemelerde kullanılacak bakır miktarları ise;

$$\text{BAKIRTALEPCons}(I).. \sum(J, \text{Malzeme}(I,J) * \text{BAKIR}(I,J)) \\ = L = \text{BAKIRTALEP}(I);$$

ifadesinden bulunur.

Aynı şekilde CINKOTALEP, KURSUNTALEP, ALUMINYUMTALEP, KALAYTALEP, ANTIMONTALEP ile BAKIRSTOK, CINKOSTOK, KURSUNSTOK, ALUMINYUMSTOK, KALAYSTOK, ANTIMONSTOK ifadeleri formülüze edilerek model tamamlanır.

GAMS’de modelleme aşamaları özetlenirse;

- SETS kısmından  $i$  ve  $j$  değerleri tanımlanır.
- SCALAR kısmı yazılır.
- PARAMETERS kısmında talep ve stok miktarları tanımlanır.
- TABLE kısmında ise MALİYET(I,J) ile kullanılacak hammaddelerin maliyetleri ve üretilecek malzemenin özellikleri (alaşım oranları) ifade edilir.
- Formüller ifade edilir

### 3.4. Modelin Çözümü

Modelin çözümüyle bulunan sonuçlar ise, üretilecek malzemelerin içindeki hammadde miktarları Çizelge 3.11’de verilmiştir.

**Çizelge 3.11. Bulunan sonuçlara göre üretilecek malzemelerin içindeki hammadde miktarları**

| <b>M. NO</b> | <b>BT</b> | <b>KB</b> | <b>EC</b> | <b>EK</b> | <b>KK</b> | <b>KA</b> | <b>PH</b> | <b>HK</b> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 7001         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7971         | 0         | 0         | 114690    | 15148     | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7389         | 0         | 0         | 500       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7481         | 0         | 125000    | 105000    | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7480         | 0         | 560000    | 240000    | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1030         | 0         | 0         | 614       | 100       | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1031         | 0         | 0         | 500       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1032         | 0         | 0         | 357       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1033         | 0         | 0         | 286       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1034         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1035         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1204         | 1117      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1038         | 3333      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1039         | 4167      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1043         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         |
| 7002         | 0         | 0         | 2271      | 300       | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7003         | 0         | 0         | 7571      | 1000      | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7004         | 0         | 0         | 7571      | 1000      | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7005         | 0         | 0         | 15143     | 2000      | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7006         | 0         | 0         | 15143     | 2000      | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7165         | 0         | 0         | 177970    | 20940     | 0         | 0         | 0         | 43785     |
| 7166         | 663590    | 721410    | 1040000   | 52000     | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7167         | 1032470   | 0         | 785830    | 40000     | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7170         | 0         | 0         | 6057      | 800       | 0         | 0         | 0         | 0         |

|      |       |   |      |      |   |   |   |   |
|------|-------|---|------|------|---|---|---|---|
| 7054 | 0     | 0 | 757  | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7055 | 0     | 0 | 757  | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7056 | 0     | 0 | 757  | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7057 | 0     | 0 | 757  | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7058 | 2900  | 0 | 2000 | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7009 | 3000  | 0 | 1900 | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7010 | 3000  | 0 | 1900 | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7011 | 6000  | 0 | 3800 | 200  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7012 | 3000  | 0 | 1900 | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7024 | 2100  | 0 | 900  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7039 | 0     | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7202 | 0     | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7203 | 5000  | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7227 | 3150  | 0 | 1850 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7228 | 3150  | 0 | 1850 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7229 | 630   | 0 | 370  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7230 | 630   | 0 | 370  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7231 | 630   | 0 | 370  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7234 | 650   | 0 | 340  | 10   | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7292 | 36000 | 0 | 4000 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7258 | 5000  | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7259 | 5000  | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7275 | 3800  | 0 | 1200 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7288 | 0     | 0 | 0    | 3000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7309 | 4500  | 0 | 500  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1054 | 3150  | 0 | 1850 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1055 | 3150  | 0 | 1850 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1056 | 3500  | 0 | 1500 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |

|      |        |   |        |      |     |   |   |       |
|------|--------|---|--------|------|-----|---|---|-------|
| 1057 | 3500   | 0 | 1500   | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 1059 | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 1060 | 3333   | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 1667  |
| 1061 | 0      | 0 | 250    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 1063 | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 7372 | 0      | 0 | 0      | 2000 | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 7388 | 0      | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 4500  |
| 7390 | 0      | 0 | 1000   | 0    | 0   | 0 | 0 | 9000  |
| 7400 | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 7000  |
| 7401 | 6967   | 0 | 2986   | 0    | 0   | 0 | 0 | 30047 |
| 7402 | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 7413 | 0      | 0 | 400    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 7424 | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 7425 | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 7426 | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 1076 | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 1085 | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 1091 | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 1086 | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 1093 | 0      | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 1094 | 0      | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 7373 | 245000 | 0 | 105000 | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 7374 | 14000  | 0 | 6000   | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 7487 | 4500   | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 7488 | 4500   | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 7508 | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 1237 | 0      | 0 | 0      | 2000 | 0   | 0 | 0 | 0     |
| 7740 | 890    | 0 | 0      | 0    | 110 | 0 | 0 | 0     |

| 7741  | 1780   | 0      | 0    | 0    | 220    | 0    | 0  | 0  |
|-------|--------|--------|------|------|--------|------|----|----|
| 7742  | 3560   | 0      | 0    | 0    | 440    | 0    | 0  | 0  |
| 7743  | 850    | 0      | 0    | 0    | 150    | 0    | 0  | 0  |
| 7744  | 1700   | 0      | 0    | 0    | 300    | 0    | 0  | 0  |
| 7745  | 4250   | 0      | 0    | 0    | 750    | 0    | 0  | 0  |
| 7844  | 2670   | 0      | 0    | 0    | 330    | 0    | 0  | 0  |
| 7924  | 120    | 0      | 20   | 0    | 1620   | 240  | 0  | 0  |
| 7961  | 0      | 0      | 0    | 5600 | 350    | 1050 | 0  | 0  |
| 1090  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 1209  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7475  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7491  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 1029  | 0      | 0      | 757  | 100  | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7308  | 4500   | 0      | 500  | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7310  | 50971  | 0      | 1844 | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7507  | 700    | 0      | 300  | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7483  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7498  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 1036  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| M. NO | HH     | GP     | GY   | RA   | BB     | AL   | BH | TH |
| 7001  | 0      | 15000  | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7971  | 627560 | 122602 | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7389  | 4500   | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7481  | 0      | 0      | 0    | 0    | 120000 | 0    | 0  | 0  |
| 7480  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 1030  | 4286   | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 1031  | 4500   | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 1032  | 4643   | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |

|      |        |   |   |       |   |    |        |        |
|------|--------|---|---|-------|---|----|--------|--------|
| 1033 | 4714   | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 1034 | 5000   | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 1035 | 5000   | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 1204 | 3833   | 0 | 0 | 0     | 0 | 50 | 0      | 0      |
| 1038 | 1667   | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 1039 | 833    | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 1043 | 7142   | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7002 | 12429  | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7003 | 41429  | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7004 | 41429  | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7005 | 82857  | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7006 | 82857  | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7165 | 759000 | 0 | 0 | 50349 | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7166 | 0      | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 123000 | 0      |
| 7167 | 0      | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 141700 |
| 7170 | 33143  | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7054 | 4143   | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7055 | 4143   | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7056 | 4143   | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7057 | 4143   | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7058 | 0      | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7009 | 0      | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7010 | 0      | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7011 | 0      | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7012 | 0      | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7024 | 0      | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7039 | 1429   | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |
| 7202 | 7143   | 0 | 0 | 0     | 0 | 0  | 0      | 0      |

|      |       |   |   |      |   |   |   |      |
|------|-------|---|---|------|---|---|---|------|
| 7203 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7227 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7228 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7229 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7230 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7231 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7234 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7292 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7258 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7259 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7275 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7288 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7309 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 1054 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 1055 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 1056 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 1057 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 1059 | 5000  | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 1060 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 1061 | 0     | 0 | 0 | 5278 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 1063 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 5556 |
| 7372 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7388 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7390 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7400 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7401 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7402 | 30000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| 7413 | 0     | 0 | 0 | 8444 | 0 | 0 | 0 | 0    |

|      |      |   |   |      |   |   |   |   |
|------|------|---|---|------|---|---|---|---|
| 7424 | 7143 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7425 | 7143 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7426 | 7143 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1076 | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1085 | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1091 | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1086 | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1093 | 0    | 0 | 0 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1094 | 0    | 0 | 0 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7373 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7374 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7487 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7488 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7508 | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1237 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7740 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7741 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7742 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7743 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7744 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7745 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7844 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7924 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7961 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1090 | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1209 | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7475 | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7491 | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |

|      |       |   |   |   |   |   |   |   |
|------|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| 1029 | 4143  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7308 | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7310 | 17185 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7507 | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7483 | 5000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7498 | 5000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1036 | 5000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fabrikanın kendi yöntemleriyle bulduğu sonuçlar ise çizelge 3.12’de verilmiştir.

Fabrika bu modeli kullandığın da % 23,44 oranında daha ucuza mal edebilecektir.

Çizelge 3.12. Fabrikanın kendi yöntemleriyle bulduğu sonuçlar

| M. NO | BT     | KB     | EC     | EK    | KK | KA | PH     | HK   |
|-------|--------|--------|--------|-------|----|----|--------|------|
| X7001 | 0      | 0      | 1200   | 150   | 0  | 0  | 4050   | 2400 |
| X7971 | 26400  | 0      | 158400 | 8800  | 0  | 0  | 0      | 0    |
| X7389 | 0      | 0      | 400    | 0     | 0  | 0  | 750    | 0    |
| X7481 | 175000 | 59500  | 24500  | 0     | 0  | 0  | 0      | 0    |
| X7480 | 400000 | 136000 | 56000  | 0     | 0  | 0  | 0      | 0    |
| X1030 | 0      | 0      | 900    | 50    | 0  | 0  | 0      | 0    |
| X1031 | 0      | 0      | 550    | 0     | 0  | 0  | 0      | 0    |
| X1032 | 0      | 0      | 500    | 50    | 0  | 0  | 0      | 0    |
| X1033 | 0      | 0      | 1050   | 0     | 0  | 0  | 0      | 0    |
| X1034 | 0      | 850    | 500    | 0     | 0  | 0  | 0      | 0    |
| X1035 | 0      | 850    | 350    | 0     | 0  | 0  | 0      | 0    |
| X1204 | 0      | 350    | 0      | 0     | 0  | 0  | 4600   | 0    |
| X1038 | 0      | 1900   | 200    | 0     | 0  | 0  | 1850   | 0    |
| X1039 | 0      | 2450   | 150    | 0     | 0  | 0  | 2400   | 0    |
| X1043 | 0      | 2050   | 0      | 50    | 0  | 0  | 0      | 0    |
| X7002 | 4050   | 0      | 1200   | 150   | 0  | 0  | 2400   | 0    |
| X7003 | 13500  | 0      | 4000   | 500   | 0  | 0  | 8000   | 0    |
| X7004 | 13500  | 0      | 4000   | 500   | 0  | 0  | 8000   | 0    |
| X7005 | 27000  | 0      | 8000   | 1000  | 0  | 0  | 16000  | 0    |
| X7006 | 27000  | 0      | 8000   | 1000  | 0  | 0  | 16000  | 0    |
| X7165 | 0      | 0      | 83760  | 10470 | 0  | 0  | 282690 | 0    |
| X7166 | 702000 | 0      | 208000 | 26000 | 0  | 0  | 0      | 0    |
| X7167 | 540000 | 880000 | 160000 | 20000 | 0  | 0  | 0      | 0    |
| X7170 | 10800  | 17600  | 3200   | 400   | 0  | 0  | 6400   | 0    |
| X7054 | 1350   | 0      | 400    | 50    | 0  | 0  | 800    | 0    |

|              |      |       |      |      |   |   |      |   |
|--------------|------|-------|------|------|---|---|------|---|
| <b>X7055</b> | 1350 | 0     | 400  | 50   | 0 | 0 | 800  | 0 |
| <b>X7056</b> | 1350 | 0     | 400  | 50   | 0 | 0 | 800  | 0 |
| <b>X7057</b> | 1350 | 0     | 400  | 50   | 0 | 0 | 800  | 0 |
| <b>X7058</b> | 1350 | 0     | 400  | 50   | 0 | 0 | 800  | 0 |
| <b>X7009</b> | 0    | 0     | 350  | 50   | 0 | 0 | 0    | 0 |
| <b>X7010</b> | 0    | 0     | 350  | 50   | 0 | 0 | 0    | 0 |
| <b>X7011</b> | 0    | 0     | 700  | 100  | 0 | 0 | 0    | 0 |
| <b>X7012</b> | 0    | 0     | 350  | 50   | 0 | 0 | 0    | 0 |
| <b>X7024</b> | 0    | 510   | 210  | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| <b>X7039</b> | 0    | 410   | 0    | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| <b>X7202</b> | 0    | 2050  | 0    | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| <b>X7203</b> | 0    | 2050  | 0    | 0    | 0 | 0 | 750  | 0 |
| <b>X7227</b> | 0    | 0     | 400  | 0    | 0 | 0 | 750  | 0 |
| <b>X7228</b> | 0    | 0     | 400  | 0    | 0 | 0 | 750  | 0 |
| <b>X7229</b> | 0    | 0     | 80   | 0    | 0 | 0 | 150  | 0 |
| <b>X7230</b> | 0    | 0     | 80   | 0    | 0 | 0 | 150  | 0 |
| <b>X7231</b> | 0    | 0     | 80   | 10   | 0 | 0 | 150  | 0 |
| <b>X7234</b> | 0    | 0     | 60   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| <b>X7292</b> | 0    | 15200 | 1600 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| <b>X7258</b> | 0    | 2050  | 0    | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| <b>X7259</b> | 0    | 2050  | 0    | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| <b>X7275</b> | 0    | 350   | 0    | 0    | 0 | 0 | 3550 | 0 |
| <b>X7288</b> | 0    | 0     | 0    | 3000 | 0 | 0 | 0    | 0 |
| <b>X7309</b> | 0    | 1900  | 200  | 0    | 0 | 0 | 2900 | 0 |
| <b>X1054</b> | 0    | 0     | 400  | 0    | 0 | 0 | 750  | 0 |
| <b>X1055</b> | 0    | 0     | 400  | 0    | 0 | 0 | 300  | 0 |
| <b>X1056</b> | 0    | 850   | 350  | 0    | 0 | 0 | 2900 | 0 |
| <b>X1057</b> | 0    | 850   | 350  | 0    | 0 | 0 | 3800 | 0 |

|              |      |       |       |      |     |   |        |   |
|--------------|------|-------|-------|------|-----|---|--------|---|
| <b>X1059</b> | 0    | 850   | 350   | 0    | 0   | 0 | 3800   | 0 |
| <b>X1060</b> | 0    | 1900  | 200   | 0    | 0   | 0 | 2900   | 0 |
| <b>X1061</b> | 0    | 2450  | 150   | 0    | 0   | 0 | 2400   | 0 |
| <b>X1063</b> | 0    | 2050  | 0     | 0    | 0   | 0 | 2950   | 0 |
| <b>X7372</b> | 0    | 0     | 0     | 2000 | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X7388</b> | 3000 | 0     | 400   | 0    | 0   | 0 | 750    | 0 |
| <b>X7390</b> | 6000 | 0     | 800   | 0    | 0   | 0 | 1500   | 0 |
| <b>X7400</b> | 3990 | 1190  | 490   | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X7401</b> | 0    | 6800  | 2800  | 0    | 0   | 0 | 22800  | 0 |
| <b>X7402</b> | 0    | 5100  | 2100  | 0    | 0   | 0 | 17100  | 0 |
| <b>X7413</b> | 3840 | 3920  | 240   | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X7424</b> | 2950 | 2050  | 0     | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X7425</b> | 2950 | 2050  | 0     | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X7426</b> | 2950 | 2050  | 0     | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X1076</b> | 3800 | 850   | 350   | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X1085</b> | 3800 | 850   | 350   | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X1091</b> | 3800 | 850   | 350   | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X1086</b> | 3800 | 850   | 350   | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X1093</b> | 2900 | 1900  | 200   | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X1094</b> | 2900 | 1900  | 200   | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X7373</b> | 0    | 59500 | 24500 | 0    | 0   | 0 | 266000 | 0 |
| <b>X7374</b> | 0    | 3400  | 1400  | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X7487</b> | 2900 | 1900  | 200   | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X7488</b> | 2900 | 1900  | 200   | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X7508</b> | 3800 | 850   | 350   | 0    | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X1237</b> | 0    | 0     | 0     | 2000 | 0   | 0 | 0      | 0 |
| <b>X7740</b> | 140  | 770   | 0     | 0    | 90  | 0 | 0      | 0 |
| <b>X7741</b> | 280  | 1540  | 0     | 0    | 180 | 0 | 0      | 0 |

|              |           |           |           |           |           |           |           |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>X7742</b> | 560       | 3080      | 0         | 0         | 360       | 0         | 0         | 0         |
| <b>X7743</b> | 140       | 740       | 0         | 0         | 120       | 0         | 0         | 0         |
| <b>X7744</b> | 280       | 1480      | 0         | 0         | 240       | 0         | 0         | 0         |
| <b>X7745</b> | 700       | 3700      | 0         | 0         | 600       | 0         | 0         | 0         |
| <b>X7844</b> | 420       | 2310      | 0         | 0         | 270       | 0         | 0         | 0         |
| <b>X7924</b> | 20        | 120       | 0         | 0         | 1620      | 240       | 0         | 0         |
| <b>X7961</b> | 0         | 0         | 0         | 5600      | 350       | 1050      | 0         | 0         |
| <b>X1090</b> | 0         | 850       | 350       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>X1209</b> | 0         | 850       | 350       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>X7475</b> | 0         | 850       | 350       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>X7491</b> | 0         | 850       | 350       | 0         | 0         | 0         | 0         | 600       |
| <b>X1029</b> | 0         | 0         | 950       | 50        | 0         | 0         | 200       | 0         |
| <b>X7308</b> | 0         | 1900      | 200       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>X7310</b> | 0         | 26600     | 2800      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>X7507</b> | 0         | 170       | 70        | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>X7483</b> | 0         | 850       | 350       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>X7498</b> | 0         | 850       | 350       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>X1099</b> | 0         | 850       | 350       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>M. NO</b> | <b>HH</b> | <b>GP</b> | <b>GY</b> | <b>RA</b> | <b>BB</b> | <b>AL</b> | <b>BH</b> | <b>TH</b> |
| <b>X7001</b> | 6600      | 600       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>X7971</b> | 44000     | 35200     | 0         | 396000    | 211200    | 0         | 0         | 0         |
| <b>X7389</b> | 850       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 3000      |
| <b>X7481</b> | 91000     | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>X7480</b> | 208000    | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>X1030</b> | 650       | 0         | 0         | 0         | 750       | 0         | 0         | 2650      |
| <b>X1031</b> | 550       | 0         | 0         | 0         | 900       | 0         | 0         | 3000      |
| <b>X1032</b> | 100       | 0         | 0         | 0         | 850       | 0         | 0         | 3500      |
| <b>X1033</b> | 0         | 0         | 0         | 0         | 1200      | 0         | 0         | 2750      |

|              |         |        |        |      |     |    |       |        |
|--------------|---------|--------|--------|------|-----|----|-------|--------|
| <b>X1034</b> | 0       | 0      | 0      | 0    | 350 | 0  | 0     | 3300   |
| <b>X1035</b> | 400     | 0      | 0      | 0    | 0   | 0  | 0     | 3400   |
| <b>X1204</b> | 0       | 0      | 0      | 0    | 0   | 50 | 0     | 0      |
| <b>X1038</b> | 1050    | 0      | 0      | 0    | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X1039</b> | 0       | 0      | 0      | 0    | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X1043</b> | 0       | 0      | 0      | 0    | 0   | 0  | 2900  | 0      |
| <b>X7002</b> | 0       | 600    | 0      | 0    | 0   | 0  | 6600  | 0      |
| <b>X7003</b> | 0       | 2000   | 0      | 0    | 0   | 0  | 22000 | 0      |
| <b>X7004</b> | 0       | 2000   | 0      | 0    | 0   | 0  | 22000 | 0      |
| <b>X7005</b> | 0       | 4000   | 0      | 0    | 0   | 0  | 44000 | 0      |
| <b>X7006</b> | 0       | 4000   | 0      | 0    | 0   | 0  | 44000 | 0      |
| <b>X7165</b> | 460680  | 41880  | 167520 | 0    | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X7166</b> | 1144000 | 104000 | 0      | 0    | 0   | 0  | 0     | 416000 |
| <b>X7167</b> | 0       | 80000  | 0      | 0    | 0   | 0  | 0     | 320000 |
| <b>X7170</b> | 0       | 1600   | 0      | 0    | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X7054</b> | 0       | 200    | 0      | 2200 | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X7055</b> | 0       | 200    | 0      | 2200 | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X7056</b> | 0       | 200    | 0      | 2200 | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X7057</b> | 0       | 200    | 0      | 2200 | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X7058</b> | 0       | 200    | 0      | 2200 | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X7009</b> | 2250    | 0      | 0      | 2350 | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X7010</b> | 2250    | 0      | 0      | 2350 | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X7011</b> | 4500    | 0      | 0      | 4700 | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X7012</b> | 2250    | 0      | 0      | 2350 | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X7024</b> | 0       | 0      | 0      | 2280 | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X7039</b> | 0       | 0      | 0      | 590  | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X7202</b> | 0       | 0      | 0      | 2950 | 0   | 0  | 0     | 0      |
| <b>X7203</b> | 0       | 0      | 0      | 2200 | 0   | 0  | 0     | 0      |

|              |      |      |      |      |   |    |       |   |
|--------------|------|------|------|------|---|----|-------|---|
| <b>X7227</b> | 850  | 0    | 0    | 3000 | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X7228</b> | 850  | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 3000  | 0 |
| <b>X7229</b> | 170  | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 600   | 0 |
| <b>X7230</b> | 170  | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 600   | 0 |
| <b>X7231</b> | 170  | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 590   | 0 |
| <b>X7234</b> | 220  | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 720   | 0 |
| <b>X7292</b> | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 23200 | 0 |
| <b>X7258</b> | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 2950  | 0 |
| <b>X7259</b> | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 2950  | 0 |
| <b>X7275</b> | 1050 | 0    | 0    | 0    | 0 | 50 | 0     | 0 |
| <b>X7288</b> | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X7309</b> | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X1054</b> | 850  | 3000 | 0    | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X1055</b> | 1550 | 2750 | 0    | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X1056</b> | 900  | 0    | 2900 | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X1057</b> | 0    | 0    | 3800 | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X1059</b> | 0    | 0    | 3800 | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X1060</b> | 0    | 0    | 2900 | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X1061</b> | 0    | 0    | 2400 | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X1063</b> | 0    | 0    | 2950 | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X7372</b> | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X7388</b> | 850  | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X7390</b> | 1700 | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X7400</b> | 1330 | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X7401</b> | 7600 | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X7402</b> | 5700 | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X7413</b> | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |
| <b>X7424</b> | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 |

|              |      |     |        |   |   |   |   |   |
|--------------|------|-----|--------|---|---|---|---|---|
| <b>X7425</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7426</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X1076</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X1085</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X1091</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X1086</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X1093</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X1094</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7373</b> | 0    | 0   | 266000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7374</b> | 0    | 0   | 15200  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7487</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7488</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7508</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X1237</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7740</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7741</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7742</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7743</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7744</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7745</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7844</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7924</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7961</b> | 0    | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X1090</b> | 3800 | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X1209</b> | 3800 | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7475</b> | 3800 | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7491</b> | 3000 | 200 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X1029</b> | 3800 | 0   | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

|              |      |   |      |       |   |   |   |   |
|--------------|------|---|------|-------|---|---|---|---|
| <b>X7308</b> | 2900 | 0 | 0    | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7310</b> | 0    | 0 | 0    | 28000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7507</b> | 0    | 0 | 760  | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7483</b> | 0    | 0 | 3800 | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X7498</b> | 0    | 0 | 3800 | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>X1099</b> | 0    | 0 | 3800 | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 |

### 3.5. Problemde Duyarluluk Analizi Örnekleri

#### 1. $c_j$ 'nin değışimi

Hammaddelerin maliyet fiyatlarında bir değışiklik olursa Z değerin değışimi aşığıda verilmiştir.

Bütün hammaddelerin fiyatı % 10 azalırsa Z değerin yeni değelerini bulmak için GAMS modelinin sonuna aşığıdaki değeler eklenir.

$$A(I, "BT") = 333;$$

$$A(I, "KB") = 513;$$

$$A(I, "EC") = 378;$$

$$A(I, "EK") = 200;$$

$$A(I, "KK") = 1755;$$

$$A(I, "KA") = 486;$$

$$A(I, "PH") = 108;$$

$$A(I, "HK") = 108;$$

$$A(I, "HH") = 108;$$

$$A(I, "GP") = 36;$$

$$A(I, "GY") = 675;$$

$$A(I, "RA") = 171;$$

$$A(I, "BB") = 315;$$

$$A(I, "AL") = 585;$$

$$A(I, "BH") = 180;$$

$$A(I, "TH") = 130;$$

SOLVE KARISIM USING LP MINIMIZING TotalCost; DISPLAY Ship.L;

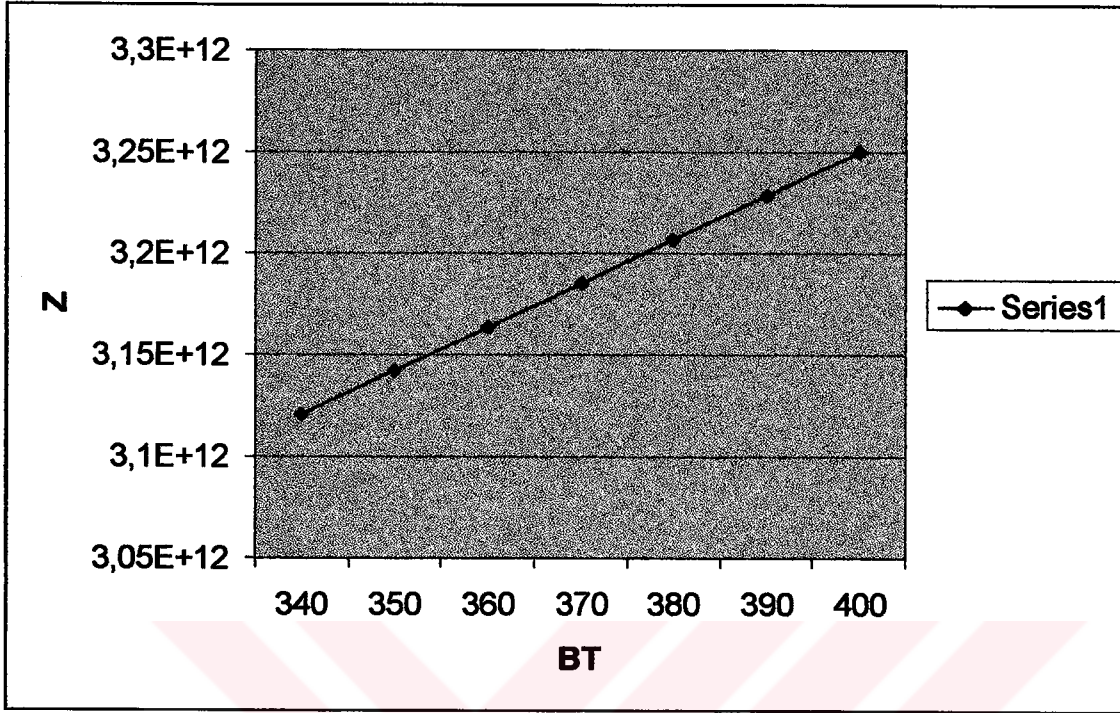
Problem çözüldüğünde ise hammadde maliyet fiyatı % 10 azaldığında Z değeri de aynı miktarda azaldığı yani 2 866 445 752 429 olduğu ve mamuller için kullanılan hammadde miktarlarında herhangi bir değişiklik olmadığı görülmektedir.

Bakır tel (BT) hammaddesinde fiyattaki değişme halinde Z'ye etkisini tablo halinde ifadesi çizelge 3.13'de verilmiştir.

Çizelge 3.13. BT için Z değerleri

| BT  | Z             |
|-----|---------------|
| 340 | 3120201196476 |
| 350 | 3141765306476 |
| 360 | 3163329416476 |
| 370 | 3184893526476 |
| 380 | 3206457636476 |
| 390 | 3228021746476 |
| 400 | 3249585856476 |

Grafik şeklinde ifadesi de şekil 3.3 de verilmiştir.



Şekil 3.3. BT için Z değerlerinin gösterimi

Granüle yük şeridinde (GY) hammaddesinde fiyattaki değişme halinde Z'ye etkisini tablo halinde ifadesi çizelge 3.14'de verilmiştir.

Grafik şeklinde ifadesi de şekil 3.4'de verilmiştir.

BAKIRTALEP miktarı  $30000 \times 0,58 = 17400 \text{ kg}$  dır.

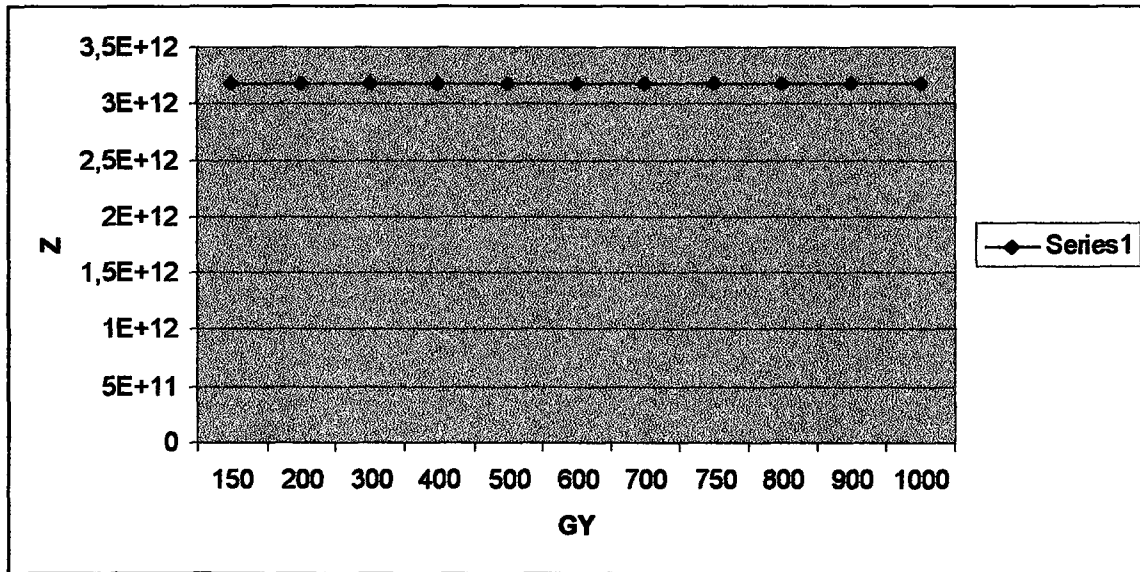
ÇİNKOTALEP miktarı  $30000 \times 0,40 = 12000 \text{ kg}$  dır.

KURŞUNTALEP miktarı  $30000 \times 0,02 = 600 \text{ kg}$  dır.

şeklinde olur.

Çizelge 3.14 GY için Z değerleri

| GY   | Z             |
|------|---------------|
| 150  | 3184893526476 |
| 200  | 3184893526476 |
| 300  | 3184893526476 |
| 400  | 3184893526476 |
| 500  | 3184893526476 |
| 600  | 3184893526476 |
| 700  | 3184893526476 |
| 750  | 3184893526476 |
| 800  | 3184893526476 |
| 900  | 3184893526476 |
| 1000 | 3184893526476 |



Şekil 3.4 GY için Z değerlerinin gösterimi

## 2. $b_i$ 'nin değişmesi

Simpleks tablosunun sağındaki  $x_{B,i}$  değerlerinin değişmesi durumunda Z değerinin bulunması aşağıdaki şekilde olur.

7002 mamulünün talep miktarını 15000 den 30000 e çıkarılırsa; o zaman 7002 için talep miktarları;

GAMS modelinin sonuna aşağıdaki değerler eklenir.

TALEP1("7002") = 17400;

TALEP2("7002") = 12000;

TALEP3("7002") = 600;

SOLVE KARISIM USING LP MINIMIZING TotalCost; DISPLAY Ship.L;

Model çözüldüğünde ise bulunan sonuçlar çizelge 3.15'de ifade edilmiştir.

**Çizelge 3.15. 7002 nin talep miktarı değişmesinden sonraki çözümde bulunan değerler**

| <b>M. NO</b> | <b>BT</b> | <b>KB</b> | <b>EC</b> | <b>EK</b> | <b>KK</b> | <b>KA</b> | <b>PH</b> | <b>HK</b> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>7001</b>  | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>7971</b>  | 0         | 0         | 92310     | 12192     | 0         | 0         | 0         | 1762      |
| <b>7389</b>  | 0         | 0         | 500       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>7481</b>  | 0         | 125000    | 105000    | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>7480</b>  | 0         | 560000    | 240000    | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>1030</b>  | 0         | 0         | 614       | 100       | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>1031</b>  | 0         | 0         | 500       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>1032</b>  | 0         | 0         | 357       | 0         | 0         | 0         | 0         | 4643      |
| <b>1033</b>  | 0         | 0         | 286       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>1034</b>  | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>1035</b>  | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>1204</b>  | 3800      | 0         | 1150      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>1038</b>  | 3333      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>1039</b>  | 4167      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>1043</b>  | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         |
| <b>7002</b>  | 0         | 0         | 4543      | 600       | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>7003</b>  | 0         | 0         | 7571      | 1000      | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>7004</b>  | 0         | 0         | 7571      | 1000      | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>7005</b>  | 0         | 0         | 15143     | 2000      | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>7006</b>  | 0         | 0         | 15143     | 2000      | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>7165</b>  | 0         | 0         | 177970    | 20940     | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>7166</b>  | 381588    | 721410    | 1040000   | 52000     | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>7167</b>  | 1032475   | 0         | 785830    | 40000     | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>7170</b>  | 23200     | 0         | 16000     | 800       | 0         | 0         | 0         | 0         |

|             |       |   |      |      |   |   |   |      |
|-------------|-------|---|------|------|---|---|---|------|
| <b>7054</b> | 2900  | 0 | 2000 | 100  | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7055</b> | 0     | 0 | 757  | 100  | 0 | 0 | 0 | 4143 |
| <b>7056</b> | 0     | 0 | 757  | 100  | 0 | 0 | 0 | 4143 |
| <b>7057</b> | 2900  | 0 | 2000 | 100  | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7058</b> | 2900  | 0 | 2000 | 100  | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7009</b> | 0     | 0 | 614  | 100  | 0 | 0 | 0 | 4286 |
| <b>7010</b> | 0     | 0 | 614  | 100  | 0 | 0 | 0 | 4286 |
| <b>7011</b> | 0     | 0 | 1229 | 200  | 0 | 0 | 0 | 8571 |
| <b>7012</b> | 0     | 0 | 614  | 100  | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7024</b> | 0     | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 3000 |
| <b>7039</b> | 0     | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 1429 |
| <b>7202</b> | 0     | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 7143 |
| <b>7203</b> | 0     | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 7143 |
| <b>7227</b> | 0     | 0 | 500  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7228</b> | 0     | 0 | 500  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7229</b> | 0     | 0 | 100  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7230</b> | 0     | 0 | 100  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7231</b> | 0     | 0 | 100  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7234</b> | 0     | 0 | 61   | 10   | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7292</b> | 36000 | 0 | 4000 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7258</b> | 0     | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7259</b> | 0     | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7275</b> | 3800  | 0 | 1200 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7288</b> | 0     | 0 | 0    | 3000 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7309</b> | 4500  | 0 | 500  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1054</b> | 0     | 0 | 500  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1055</b> | 0     | 0 | 500  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1056</b> | 0     | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0    |

|             |        |   |        |      |     |   |   |      |
|-------------|--------|---|--------|------|-----|---|---|------|
| <b>1057</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>1059</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>1060</b> | 3333   | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 1667 |
| <b>1061</b> | 4750   | 0 | 250    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>1063</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7372</b> | 0      | 0 | 0      | 2000 | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7388</b> | 0      | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7390</b> | 0      | 0 | 1000   | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7400</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7401</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7402</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7413</b> | 7600   | 0 | 400    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7424</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7425</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7426</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>1076</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>1085</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>1091</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>1086</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>1093</b> | 4500   | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>1094</b> | 4500   | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7373</b> | 245000 | 0 | 105000 | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7374</b> | 292145 | 0 | 6000   | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7487</b> | 4500   | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7488</b> | 4500   | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7508</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>1237</b> | 0      | 0 | 0      | 2000 | 0   | 0 | 0 | 0    |
| <b>7740</b> | 890    | 0 | 0      | 0    | 110 | 0 | 0 | 0    |

| 7741  | 1780   | 0      | 0    | 0    | 220    | 0    | 0  | 0  |
|-------|--------|--------|------|------|--------|------|----|----|
| 7742  | 3560   | 0      | 0    | 0    | 440    | 0    | 0  | 0  |
| 7743  | 850    | 0      | 0    | 0    | 150    | 0    | 0  | 0  |
| 7744  | 1700   | 0      | 0    | 0    | 300    | 0    | 0  | 0  |
| 7745  | 4250   | 0      | 0    | 0    | 750    | 0    | 0  | 0  |
| 7844  | 2670   | 0      | 0    | 0    | 330    | 0    | 0  | 0  |
| 7924  | 120    | 0      | 0    | 20   | 1620   | 240  | 0  | 0  |
| 7961  | 0      | 0      | 0    | 5600 | 350    | 1050 | 0  | 0  |
| 1090  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 1209  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7475  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7491  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 1029  | 0      | 0      | 757  | 4756 | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7308  | 4500   | 0      | 500  | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7310  | 63000  | 0      | 7000 | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7507  | 700    | 0      | 300  | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7483  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7498  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 1036  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| M. NO | HH     | GP     | GY   | RA   | BB     | AL   | BH | TH |
| 7001  | 0      | 15000  | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7971  | 503330 | 270406 | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7389  | 4500   | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 7481  | 0      | 0      | 0    | 0    | 120000 | 0    | 0  | 0  |
| 7480  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 1030  | 4286   | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 1031  | 4500   | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |
| 1032  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0  |

|             |        |        |   |        |   |    |       |        |
|-------------|--------|--------|---|--------|---|----|-------|--------|
| <b>1033</b> | 4714   | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>1034</b> | 5000   | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>1035</b> | 5000   | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>1204</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 50 | 0     | 0      |
| <b>1038</b> | 1667   | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>1039</b> | 833    | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>1043</b> | 7142   | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7002</b> | 24857  | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7003</b> | 41429  | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7004</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 29000 | 0      |
| <b>7005</b> | 0      | 100000 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7006</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 58000 | 0      |
| <b>7165</b> | 816086 | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 36000 | 0      |
| <b>7166</b> | 0      | 0      | 0 | 450000 | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7167</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 141694 |
| <b>7170</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7054</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7055</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7056</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7057</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7058</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7009</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7010</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7011</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7012</b> | 4286   | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7024</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7039</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |
| <b>7202</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0  | 0     | 0      |

|             |       |   |   |   |   |   |   |      |
|-------------|-------|---|---|---|---|---|---|------|
| <b>7203</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7227</b> | 4500  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7228</b> | 4500  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7229</b> | 900   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7230</b> | 900   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7231</b> | 900   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7234</b> | 929   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7292</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7258</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5556 |
| <b>7259</b> | 7143  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7275</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7288</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7309</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1054</b> | 4500  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1055</b> | 4500  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1056</b> | 5000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1057</b> | 5000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1059</b> | 5000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1060</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1061</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1063</b> | 7143  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7372</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7388</b> | 4500  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7390</b> | 9000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7400</b> | 7000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7401</b> | 40000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7402</b> | 30000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7413</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |

|             |             |   |   |   |   |   |   |   |
|-------------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|
| <b>7424</b> | <b>7143</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7425</b> | <b>7143</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7426</b> | <b>7143</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1076</b> | <b>5000</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1085</b> | <b>5000</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1091</b> | <b>5000</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1086</b> | <b>5000</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1093</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1094</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7373</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7374</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7487</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7488</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7508</b> | <b>5000</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1237</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7740</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7741</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7742</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7743</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7744</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7745</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7844</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7924</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7961</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1090</b> | <b>5000</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1209</b> | <b>5000</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7475</b> | <b>5000</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7491</b> | <b>5000</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

|             |             |   |   |   |   |   |   |   |
|-------------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|
| <b>1029</b> | <b>4143</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7308</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7310</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7507</b> | 0           | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7483</b> | <b>5000</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7498</b> | <b>5000</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1036</b> | <b>5000</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

### 3. $a_{i,j}$ 'nin değışmesi

Teknolojik katsayılarda değışiklik olduğunda Z değeriine etkisi ise aşağıda ifade edilmiştir.

7001 mamulüne hurda malzemeler eklenmediğinde Z değeriindeki değışim için ise GAMS modelinin sonuna aşağıdaki değerler eklenir.

BAKIR("7001","PH") = 0;  
BAKIR("7001","HK") = 0;  
BAKIR("7001","HH") = 0;  
BAKIR("7001","GP") = 0;  
BAKIR("7001","GY") = 0;  
BAKIR("7001","RA") = 0;  
BAKIR("7001","BH") = 0;  
BAKIR("7001","TH") = 0;  
CINKO("7001","PH") = 0;  
CINKO("7001","HK") = 0;  
CINKO("7001","HH") = 0;  
CINKO("7001","GP") = 0;

CINKO("7001","GY") = 0;

CINKO("7001","TH") = 0;

KURSUN("7001","GP") = 0;

SOLVE KARISIM USING LP MINIMIZING TotalCost; DISPLAY Ship.L;

Model çözüldüğünde ise bulunan sonuçlar çizelge 3.16'da ifade edilmiştir.

Çizelge 3.16. 7001'in hurda değer kullanılmadığında bulunan değerler

| M. NO | BT   | KB     | EC     | EK    | KK | KA | PH | HK   |
|-------|------|--------|--------|-------|----|----|----|------|
| 7001  | 0    | 0      | 6000   | 300   | 0  | 0  | 0  | 0    |
| 7971  | 0    | 0      | 112421 | 14848 | 0  | 0  | 0  | 3976 |
| 7389  | 0    | 0      | 500    | 0     | 0  | 0  | 0  | 0    |
| 7481  | 0    | 212960 | 105000 | 0     | 0  | 0  | 0  | 0    |
| 7480  | 0    | 560000 | 240000 | 0     | 0  | 0  | 0  | 0    |
| 1030  | 0    | 0      | 614    | 100   | 0  | 0  | 0  | 0    |
| 1031  | 0    | 0      | 500    | 0     | 0  | 0  | 0  | 0    |
| 1032  | 0    | 0      | 357    | 0     | 0  | 0  | 0  | 0    |
| 1033  | 0    | 0      | 286    | 0     | 0  | 0  | 0  | 0    |
| 1034  | 0    | 0      | 0      | 0     | 0  | 0  | 0  | 0    |
| 1035  | 0    | 0      | 0      | 0     | 0  | 0  | 0  | 0    |
| 1204  | 1117 | 0      | 0      | 0     | 0  | 0  | 0  | 0    |
| 1038  | 3333 | 0      | 0      | 0     | 0  | 0  | 0  | 0    |
| 1039  | 4167 | 0      | 0      | 0     | 0  | 0  | 0  | 0    |
| 1043  | 0    | 0      | 0      | 0     | 0  | 0  | 0  | 1    |
| 7002  | 0    | 0      | 2271   | 300   | 0  | 0  | 0  | 0    |
| 7003  | 0    | 0      | 7571   | 1000  | 0  | 0  | 0  | 0    |

|             |         |        |        |       |   |   |   |      |
|-------------|---------|--------|--------|-------|---|---|---|------|
| <b>7004</b> | 0       | 0      | 7571   | 1000  | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7005</b> | 0       | 0      | 15143  | 2000  | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7006</b> | 0       | 0      | 15143  | 2000  | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7165</b> | 0       | 0      | 418800 | 20940 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7166</b> | 703649  | 633452 | 966758 | 52000 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7167</b> | 1032475 | 0      | 785350 | 40000 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7170</b> | 0       |        | 6057   | 800   | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7054</b> | 0       | 0      | 757    | 100   | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7055</b> | 0       | 0      | 757    | 100   | 0 | 0 | 0 | 4143 |
| <b>7056</b> | 0       | 0      | 757    | 100   | 0 | 0 | 0 | 4143 |
| <b>7057</b> | 0       | 0      | 757    | 100   | 0 | 0 | 0 | 4143 |
| <b>7058</b> | 0       | 0      | 757    | 100   | 0 | 0 | 0 | 4143 |
| <b>7009</b> | 0       | 0      | 614    | 100   | 0 | 0 | 0 | 4286 |
| <b>7010</b> | 0       | 0      | 614    | 100   | 0 | 0 | 0 | 4286 |
| <b>7011</b> | 0       | 0      | 1229   | 200   | 0 | 0 | 0 | 8571 |
| <b>7012</b> | 0       | 0      | 614    | 100   | 0 | 0 | 0 | 4286 |
| <b>7024</b> | 0       | 0      | 0      | 0     | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7039</b> | 0       | 0      | 0      | 0     | 0 | 0 | 0 | 1428 |
| <b>7202</b> | 0       | 0      | 0      | 0     | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7203</b> | 0       | 0      | 0      | 0     | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7227</b> | 0       | 0      | 500    | 0     | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7228</b> | 0       | 0      | 500    | 0     | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7229</b> | 0       | 0      | 100    | 0     | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7230</b> | 0       | 0      | 100    | 0     | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7231</b> | 0       | 0      | 100    | 0     | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7234</b> | 0       | 0      | 61     | 10    | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7292</b> | 26667   | 0      | 0      | 0     | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7258</b> | 0       | 0      | 0      | 0     | 0 | 0 | 0 | 0    |

|             |      |   |      |      |   |   |   |             |
|-------------|------|---|------|------|---|---|---|-------------|
| <b>7259</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | <b>7143</b> |
| <b>7275</b> | 3800 | 0 | 1200 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>7288</b> | 0    | 0 | 0    | 3000 | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>7309</b> | 3333 | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | <b>1667</b> |
| <b>1054</b> | 0    | 0 | 500  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>1055</b> | 0    | 0 | 500  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>1056</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>1057</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>1059</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>1060</b> | 4500 | 0 | 500  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>1061</b> | 4750 | 0 | 250  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>1063</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>7372</b> | 0    | 0 | 0    | 2000 | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>7388</b> | 0    | 0 | 500  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>7390</b> | 0    | 0 | 1000 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>7400</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>7401</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>7402</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>7413</b> | 7600 | 0 | 400  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>7424</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>7425</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>7426</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>1076</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>1085</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>1091</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>1086</b> | 0    | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>1093</b> | 4500 | 0 | 500  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |
| <b>1094</b> | 4500 | 0 | 500  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0           |

|              |           |           |           |           |           |           |           |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 7373         | 245000    | 0         | 105000    | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7374         | 14000     | 0         | 6000      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7487         | 4500      | 0         | 500       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7488         | 4500      | 0         | 500       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7508         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1237         | 0         | 0         | 0         | 2000      | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7740         | 890       | 0         | 0         | 0         | 110       | 0         | 0         | 0         |
| 7741         | 1780      | 0         | 0         | 0         | 220       | 0         | 0         | 0         |
| 7742         | 3560      | 0         | 0         | 0         | 440       | 0         | 0         | 0         |
| 7743         | 850       | 0         | 0         | 0         | 150       | 0         | 0         | 0         |
| 7744         | 1700      | 0         | 0         | 0         | 300       | 0         | 0         | 0         |
| 7745         | 4250      | 0         | 0         | 0         | 750       | 0         | 0         | 0         |
| 7844         | 2670      | 0         | 0         | 0         | 330       | 0         | 0         | 0         |
| 7924         | 120       | 0         | 0         | 20        | 1620      | 240       | 0         | 0         |
| 7961         | 0         | 0         | 0         | 5600      | 350       | 1050      | 0         | 0         |
| 1090         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1209         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7475         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7491         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1029         | 0         | 0         | 757       | 100       | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7308         | 4500      | 0         | 500       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7310         | 63000     | 0         | 7000      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7507         | 700       | 0         | 300       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7483         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7498         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1036         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>M. NO</b> | <b>HH</b> | <b>GP</b> | <b>GY</b> | <b>RA</b> | <b>BB</b> | <b>AL</b> | <b>BH</b> | <b>TH</b> |
| 7001         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 8700      | 0         |

|             |        |        |   |        |       |    |        |        |
|-------------|--------|--------|---|--------|-------|----|--------|--------|
| <b>7971</b> | 611155 | 137600 | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>7389</b> | 4500   | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>7481</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 32040 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7480</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>1030</b> | 4286   | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>1031</b> | 4500   | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>1032</b> | 4643   | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>1033</b> | 4714   | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>1034</b> | 5000   | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>1035</b> | 5000   | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>1204</b> | 3833   | 0      | 0 | 0      | 0     | 50 | 0      | 0      |
| <b>1038</b> | 1667   | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>1039</b> | 833    | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>1043</b> | 7142   | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>7002</b> | 12429  | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>7003</b> | 41429  | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>7004</b> | 41429  | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>7005</b> | 82857  | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>7006</b> | 82857  | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>7165</b> | 356222 | 0      | 0 | 450000 | 87960 | 0  | 114300 | 0      |
| <b>7166</b> | 244141 | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>7167</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 141694 |
| <b>7170</b> | 33143  | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>7054</b> | 4143   | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>7055</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>7056</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>7057</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |
| <b>7058</b> | 0      | 0      | 0 | 0      | 0     | 0  | 0      | 0      |

|             |       |   |   |   |   |   |   |      |
|-------------|-------|---|---|---|---|---|---|------|
| <b>7009</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7010</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7011</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7012</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7024</b> | 3000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7039</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7202</b> | 7143  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7203</b> | 7143  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7227</b> | 4500  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7228</b> | 4500  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7229</b> | 900   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7230</b> | 900   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7231</b> | 900   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7234</b> | 929   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7292</b> | 13333 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7258</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5556 |
| <b>7259</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7275</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7288</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>7309</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1054</b> | 4500  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1055</b> | 4500  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1056</b> | 5000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1057</b> | 5000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1059</b> | 5000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1060</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1061</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |
| <b>1063</b> | 7143  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    |

|             |       |   |   |   |   |   |   |   |
|-------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| <b>7372</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7388</b> | 4500  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7390</b> | 9000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7400</b> | 7000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7401</b> | 40000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7402</b> | 30000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7413</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7424</b> | 7143  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7425</b> | 7143  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7426</b> | 7143  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1076</b> | 5000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1085</b> | 5000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1091</b> | 5000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1086</b> | 5000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1093</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1094</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7373</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7374</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7487</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7488</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7508</b> | 5000  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1237</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7740</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7741</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7742</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7743</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7744</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7745</b> | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

|      |      |   |   |   |   |   |   |   |
|------|------|---|---|---|---|---|---|---|
| 7844 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7924 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7961 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1090 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1209 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7475 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7491 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1029 | 4143 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7308 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7310 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7507 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7483 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7498 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1036 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

#### 4. Yeni ürün eklenmesi

Firma, 7999 kodlu yeni bir mamul daha üretmeye başladığında Z değerinin değerini bulunması aşağıdaki şekilde olur.

7999 mamulünün sipariş miktarı 15000 kg ve mamulün içindeki bakır, çinko ve kurşun hammadde oranları ise sırasıyla % 58, % 40 ve % 2 dir.

Model çözüldüğünde ise bulunan sonuçlar çizelge 3.17’de ifade edilmiştir.

Çizelge 3.17. Yeni ürün eklendiğinde bulunan değerler

| M. NO | BT      | KB     | EC      | EK    | KK | KA | PH | HK |
|-------|---------|--------|---------|-------|----|----|----|----|
| 7001  | 0       | 0      | 0       | 0     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7971  | 0       | 0      | 112421  | 14848 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7389  | 0       | 0      | 500     | 0     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7481  | 0       | 125000 | 105000  | 0     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7480  | 0       | 560000 | 240000  | 0     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1030  | 0       | 0      | 614     | 100   | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1031  | 0       | 0      | 500     | 0     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1032  | 0       | 0      | 357     | 0     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1033  | 0       | 0      | 286     | 0     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1034  | 0       | 0      | 0       | 0     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1035  | 0       | 0      | 0       | 0     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1204  | 0       | 0      | 0       | 0     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1038  | 0       | 0      | 0       | 0     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1039  | 4167    | 0      | 0       | 0     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1043  | 0       | 0      | 0       | 0     | 0  | 0  | 0  | 1  |
| 7002  | 0       | 0      | 2271    | 300   | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7003  | 0       | 0      | 7571    | 1000  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7004  | 0       | 0      | 7571    | 1000  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7005  | 0       | 0      | 15143   | 2000  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7006  | 0       | 0      | 15143   | 2000  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7165  | 0       | 0      | 311933  | 20940 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7166  | 666738  | 721412 | 1040000 | 52000 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7167  | 1028150 | 0      | 785350  | 40000 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7170  | 23200   |        | 16000   | 800   | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 7054  | 2900    | 0      | 2000    | 100   | 0  | 0  | 0  | 0  |

|             |       |   |      |      |   |   |   |   |
|-------------|-------|---|------|------|---|---|---|---|
| <b>7055</b> | 2900  | 0 | 2000 | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7056</b> | 2900  | 0 | 2000 | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7057</b> | 2900  | 0 | 2000 | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7058</b> | 2900  | 0 | 2000 | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7009</b> | 3000  | 0 | 1900 | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7010</b> | 3000  | 0 | 1900 | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7011</b> | 6000  | 0 | 3800 | 200  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7012</b> | 3000  | 0 | 1900 | 100  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7024</b> | 2100  | 0 | 900  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7039</b> | 0     | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7202</b> | 0     | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7203</b> | 5000  | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7227</b> | 3150  | 0 | 1850 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7228</b> | 3150  | 0 | 1850 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7229</b> | 630   | 0 | 370  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7230</b> | 630   | 0 | 370  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7231</b> | 630   | 0 | 370  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7234</b> | 650   | 0 | 340  | 10   | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7292</b> | 36000 | 0 | 4000 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7258</b> | 5000  | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7259</b> | 5000  | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7275</b> | 3800  | 0 | 1200 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7288</b> | 0     | 0 | 0    | 3000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7309</b> | 4500  | 0 | 500  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1054</b> | 3150  | 0 | 1850 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1055</b> | 3150  | 0 | 1850 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1056</b> | 0     | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1057</b> | 0     | 0 | 0    | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |

|             |        |   |        |      |     |   |   |       |
|-------------|--------|---|--------|------|-----|---|---|-------|
| <b>1059</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>1060</b> | 0      | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>1061</b> | 4750   | 0 | 250    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>1063</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>7372</b> | 0      | 0 | 0      | 2000 | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>7388</b> | 0      | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>7390</b> | 0      | 0 | 1000   | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>7400</b> | 4900   | 0 | 2100   | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>7401</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>7402</b> | 0      | 0 | 1350   | 0    | 0   | 0 | 0 | 25500 |
| <b>7413</b> | 7600   | 0 | 400    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>7424</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 7143  |
| <b>7425</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 7143  |
| <b>7426</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>1076</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>1085</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>1091</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>1086</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>1093</b> | 0      | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>1094</b> | 0      | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>7373</b> | 245000 | 0 | 105000 | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>7374</b> | 14000  | 0 | 6000   | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>7487</b> | 0      | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>7488</b> | 0      | 0 | 500    | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>7508</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>1237</b> | 0      | 0 | 0      | 2000 | 0   | 0 | 0 | 0     |
| <b>7740</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 110 | 0 | 0 | 0     |
| <b>7741</b> | 0      | 0 | 0      | 0    | 220 | 0 | 0 | 0     |

| 7742  | 0      | 0      | 0    | 0    | 440    | 0    | 0  | 0     |
|-------|--------|--------|------|------|--------|------|----|-------|
| 7743  | 0      | 0      | 0    | 0    | 150    | 0    | 0  | 0     |
| 7744  | 0      | 0      | 0    | 0    | 300    | 0    | 0  | 0     |
| 7745  | 0      | 0      | 0    | 0    | 750    | 0    | 0  | 0     |
| 7844  | 0      | 0      | 0    | 0    | 330    | 0    | 0  | 0     |
| 7924  | 0      | 0      | 0    | 20   | 1620   | 240  | 0  | 0     |
| 7961  | 0      | 0      | 0    | 5600 | 350    | 1050 | 0  | 0     |
| 1090  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 1209  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 7475  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 7491  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 1029  | 0      | 0      | 757  | 100  | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 7308  | 4500   | 0      | 500  | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 7310  | 46667  | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 7507  | 700    | 0      | 300  | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 7483  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 7498  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 1036  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 7999  | 0      | 0      | 2271 | 300  | 0      | 0    | 0  | 12429 |
| M. NO | HH     | GP     | GY   | RA   | BB     | AL   | BH | TH    |
| 7001  | 0      | 15000  | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 7971  | 615131 | 137600 | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 7389  | 4500   | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 7481  | 0      | 0      | 0    | 0    | 120000 | 0    | 0  | 0     |
| 7480  | 0      | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 1030  | 4286   | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 1031  | 4500   | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |
| 1032  | 4643   | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0  | 0     |

|             |        |   |   |        |   |    |        |        |
|-------------|--------|---|---|--------|---|----|--------|--------|
| <b>1033</b> | 4714   | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>1034</b> | 5000   | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>1035</b> | 5000   | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>1204</b> | 3833   | 0 | 0 | 1241   | 0 | 50 | 0      | 0      |
| <b>1038</b> | 1667   | 0 | 0 | 3704   | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>1039</b> | 833    | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>1043</b> | 7142   | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7002</b> | 12429  | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7003</b> | 41429  | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7004</b> | 41429  | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7005</b> | 82857  | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7006</b> | 82857  | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7165</b> | 356222 | 0 | 0 | 397671 | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7166</b> | 0      | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 119850 | 0      |
| <b>7167</b> | 0      | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 146500 |
| <b>7170</b> | 0      | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7054</b> | 0      | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7055</b> | 0      | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7056</b> | 0      | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7057</b> | 0      | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7058</b> | 0      | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7009</b> | 0      | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7010</b> | 0      | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7011</b> | 0      | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7012</b> | 0      | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7024</b> | 0      | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7039</b> | 1429   | 0 | 0 | 0      | 0 | 0  | 0      | 0      |
| <b>7202</b> | 0      | 0 | 0 | 4806   | 0 | 0  | 0      | 750    |

|      |       |   |   |      |   |   |      |   |
|------|-------|---|---|------|---|---|------|---|
| 7203 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7227 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7228 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7229 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7230 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7231 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7234 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7292 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7258 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7259 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7275 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7288 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7309 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 1054 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 1055 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 1056 | 5000  | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 1057 | 5000  | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 1059 | 5000  | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 1060 | 0     | 0 | 0 | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 1061 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 1063 | 7143  | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7372 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7388 | 4500  | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7390 | 9000  | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7400 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7401 | 40000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |
| 7402 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 3150 | 0 |
| 7413 | 0     | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 |

|             |      |   |   |      |   |   |   |   |
|-------------|------|---|---|------|---|---|---|---|
| <b>7424</b> | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7425</b> | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7426</b> | 7143 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1076</b> | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1085</b> | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1091</b> | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1086</b> | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1093</b> | 0    | 0 | 0 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1094</b> | 0    | 0 | 0 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7373</b> | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7374</b> | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7487</b> | 0    | 0 | 0 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7488</b> | 0    | 0 | 0 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7508</b> | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1237</b> | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7740</b> | 0    | 0 | 0 | 989  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7741</b> | 0    | 0 | 0 | 1978 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7742</b> | 0    | 0 | 0 | 3956 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7743</b> | 0    | 0 | 0 | 944  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7744</b> | 0    | 0 | 0 | 1889 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7745</b> | 0    | 0 | 0 | 4722 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7844</b> | 0    | 0 | 0 | 2967 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7924</b> | 0    | 0 | 0 | 133  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7961</b> | 0    | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1090</b> | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>1209</b> | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7475</b> | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <b>7491</b> | 5000 | 0 | 0 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 |

|             |              |          |          |          |          |          |          |          |
|-------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>1029</b> | <b>4143</b>  | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |
| <b>7308</b> | <b>0</b>     | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |
| <b>7310</b> | <b>23333</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |
| <b>7507</b> | <b>0</b>     | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |
| <b>7483</b> | <b>5000</b>  | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |
| <b>7498</b> | <b>5000</b>  | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |
| <b>1036</b> | <b>5000</b>  | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |
| <b>7999</b> | <b>0</b>     | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |



#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, maliyeti minimum verecek şekilde malzemeyi üretmek için hangi hammaddeden ne kadar kullanmak gerektiğini bulan maliyet-etkin bir üretim program geliştirildi.

Bu çalışmayla minimum maliyet verecek şekilde malzemeyi üretirken, hangi hammaddeden ne kadar kullanılması gerektiği bulunmuş oldu. Yapılan kıyas neticesinde fabrika bu modeli kullandığı taktirde maliyetlerinde % 23,44 oranında azalma olacaktır.

Problemi çözmek için doğrusal programlama kullanıldı. Günümüzde işletme, ekonomi ve muhasebe dallarının en yakından ilgilendiren konulardan birisi olan doğrusal programlama, aynı zamanda yöneylem araştırmasında da en yaygın kullanılan araçlardan biridir.

Bu problemi doğrusal programlama yöntemiyle çözmek içinde GAMS modeli kullanıldı.

GAMS programının kullanılmasının nedeni de; tüm notasyonlar için modelin uzun olarak yazılmasına gerek kalmadan daha kolay ifade edilebilmesidir. Değişiklikler programın tümünü etkilemeden yapılabilme kolaylığı da vardır.

Sonuçlardan görüldüğü gibi malzemeleri üretilirken, pirinç hurda ile gömlek yük şeriti kullanılmadığı görülüyor. Bunun için firma bu hammaddeleri ya satın almamalı ya da daha ucuza mal etmenin yollarını aramalıdır.

Üretim yapan işletmelerde genellikle bir program dahilinde olmayan hammadde kullanımı bu çalışmayla en uygun ve kolay bir şekilde yapılmış oldu.

Yapılan duyarlılık analizleri ile problemde olabilecek değişikliklerle sonuca etkisi çizelgelerle ifade edildi.

Hammadde maliyetlerinin aynı oranda azalması durumunda toplam maliyette aynı oranda azalmaktadır.

7002 de talepte olan değişiklikle, 7001 de hurda malzeme kullanılmadığında sonucu ne şekilde etkilediği ve diğer mamullerdeki hammaddeler de ne şekilde değiştiği çizelgelerde gösterilmiştir.

Ayrıca probleme yeni bir ürün eklendiğinde hammadde dağılımı gösterilmiştir.

İleri de bu veriler kullanılarak bir mamulün maliyet fiyatını tüm etkenler göz önüne alınarak bulan bir program geliştirilebilir. Aynı zamanda bu mamullerin siparişi teslim etme zamanları dikkate alınarak önümüzdeki yıllar için bir üretim programı yapılabilir.

### **KAYNAKLAR**

1. David H., 1976, Cost Accounting for Management Applications, **Merril Inc.**, New York.
2. Neuner J. S., 1973 Basic Cost Accounting and Practice, **Irwin Inc.**, New York.
3. Turban E., 1990 Decision Support and Expert Sysytems: Management Support Systems, Second Edition, **Macmillan Publishing Company**, New York.
4. Brooke A.,Kendrick D., and Meeraus A., 1988, GAMS A User Guide, **The Scientific Press**, San Francisko.
5. Anderson D R., Sweeney D.J., and Williams T.A., 1997, Introduction to Management Science: Quantitative Approaches to Decision Making, 8th Edition,**West Publishing Company**, San Francisco.
6. Fang S.C., Puthenpura S., 1993, Linear Optimization and Extentions: Theory and Algorithms, **Merril Inc**, New Jersey.
7. Nemhauser G.L., Rinnooy Kan A.H.G., and Todd M.J., 1989, Handbooks In Operations Research and Management Science Volume 1: Optimization, North – Holland.
8. Bazaraa M.S., Jarvis J. J., 1990, Linear Programming and Network Flows, Second Edition, **Prentice- Hall, Inc.**, New York.

9. Ignizio, J. P., 1982, Linear Programming in Single - and Multiple - Objective Systems, **Prentice- Hall, Inc.**, Englewood Cliffs, NJ.
10. Taha, H., 1997, Operations Research: An Introduction **McMillan P., B. Co.**, 6th edition, New York.
11. G.B. Dantzig, 1963, Linear Programming and Extentions, **Princeton, N.J.**, Princeton University Press, s. 32.
12. Murty, K.G., 1983, Linear Programming, **John Wiley**, New York.
13. Gass S.I., 1986, Linear Programming Methods and Applications, Fifth edition, **McMillan P., B. Co.**, New York.
14. Luenberger, D. G., 1973, Introduction to Linear and Nonlinear Programming, **Addison Wesley Publishing Company, In.**, Reading, Ma.
15. HADLEY, G., 1963, Linear Programming, **Addison-Wesley Pyblishing Compony Inc.**, London.
16. PHILLIPS, D. T., RAVINDRAN, A., and SOLBERG, J.J., 1986, Operations Research, **John Wiley**, s.53-54.
17. Utaş M., 1997, MKE Katalog, **MKE Vakfı Matbaası**, Ankara.
18. Utaş M., PİRİNÇSAN A. Ş., 1997, PİRİNÇSAN Katalog, **MKE Vakfı Matbaası**, Ankara.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Balıkesir’de doğan Tamer EREN, ilk orta ve lise öğretimini Balıkesir’de tamamladı. 1996 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesinin Endüstri Mühendisliği Bölümünde mezun oldu. Aynı yıl Kırıkkale Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen lisansüstü çalışmalarına Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde devam etmektedir.