

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK AŞAMALI ÜRETİLEN BİRDEN ÇOK ÜRÜNÜN BİRDEN  
ÇOK MAKİNEYE ATANMASININ MATEMATİKSEL  
MODELLEMESİ**

**Tezi Hazırlayan  
Sevgi TEKİN**

**Tezi Yöneten  
Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN**

**İşletme Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Mart 2008  
KAYSERİ**

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK AŞAMALI ÜRETİLEN BİRDEN ÇOK ÜRÜNÜN BİRDEN  
ÇOK MAKİNEYE ATANMASININ MATEMATİKSEL  
MODELLEMESİ**

**Tezi Hazırlayan  
Sevgi TEKİN**

**Tezi Yöneten  
Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN**

**İşletme Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Mart 2008  
KAYSERİ**

Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN danışmanlığında Sevgi TEKİN tarafından hazırlanan “Çok Aşamalı Üretilen Birden Çok Ürünün Birden Çok Makineye Atanmasının Matematiksel Modellemesi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

24.....03./2008

**JÜRİ:**

Danışman : Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN

.....

Üye : Prof. Dr. Cemal ÖZGÜVEN

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali DEĞİRMENDERELİ

.....

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 28.03.2008 tarih ve .....08..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...28.../03./2008.

Prof.Dr. Kerim TÜRKMEN  
Enstitü Müdürü



## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında değerli vaktini bana ayıran, her zaman yanımda destek olan danışmanım Prof. Dr. Filiz Çalışkan'a, yönlendirici yardımları için hocam Prof. Dr. Cemal Özgüven'e, çıkmaza girdiğim her anda bilgisini ve yardımlarını esirgemeyen Yasemin Yavuz'a, başım sıkıştığında kapısını çaldığım her an güler yüzüyle karşılayıp yardımını esirgemeyen bana çok destek olan hocam Yrd. Dç. Dr. Lale Özbakır'a, çalışmamın en zor aşamasında karşılaştığım ve bana tüm bilgisini ve yardımını aktaran Sayın Selim Sevinç'e, tezimin her aşamasını yakından takip edip benimle sıkıntılarımı derinden paylaşan ve her an yardımına koşan arkadaşlarım Ülkü Orçan'a, Yücel Öztürkoğlu ve Eda Çınaroğlu'na, bütün hayatımın her döneminde olduğu gibi çalışmamın her aşamasında da maddi ve manevi desteklerini benden esirgemedi rahat bir çalışma ortamı sağlamak için elinden geleni yapan, sevgisini ve desteğini her zaman hissettiğim aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**Sevgi TEKİN**

## **ÇOK AŞAMALI ÜRETİLEN BİRDEN ÇOK ÜRÜNÜN BİRDEN ÇOK MAKİNEYE ATANMASININ MATEMATİKSEL MODELLEMESİ**

**Sevgi TEKİN**

### **ÖZET**

Bu çalışmada atölye tipi üretim yapan bir işletmenin iş ve işlem sıralama problemine çözüm getirmek üzere bir tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen tamsayılı doğrusal programlama modeli ile hem işler kendi aralarında hem de tüm işlerin işlemleri makinelerde sıralanmıştır.

İş ve makine sayısı arttıkça bu alanda geliştirilen matematiksel modellerin çözümünün çok zor olduğu bilinmektedir. Bu nedenle çizelgeleme problemlerini çözmek üzere yapılan çalışmalarda genel olarak işlem süresinin sabit olması, her işin her makineye bir defa uğraması, her makineden birer adet olması, bir makinenin bir anda tek bir işi yapması gibi varsayımlar kabul edilmiştir. Önerilen modelde işlem süresinin sabit olması ve bir makinenin bir anda tek bir işi yapması varsayımlarının kaldırılması üzerinde çalışılmıştır. İki farklı hız ayarına sahip olan makinede işlerin kontrol edilebilir işlem sürelerine sahipken toplam işlem süresinin kısaltılabileceği ve buna bağlı olarak ne kadar maliyete katlanılacağı hesaplanmıştır. Bir makinenin benzer işleme sahip iki ürünü aynı anda işleyebileceği, bir diğerinin aynı anda bir ürünün üç parçası üzerinde işlem yapabileceği varsayımları altında minimum tamamlanma zamanı ve minimum maliyet hesaplanması sağlanmıştır.

Önerilen model modüler mobilya üreten bir işletmenin verileri ile çalıştırılarak çözüm sonuçları değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çizelgeleme, atölye tipi üretim, kontrol edilebilir işlem zamanı, ikincil ölçütlü çizelgeleme, tamsayılı doğrusal programlama.

**THE MATHEMATICAL MODELLING OF THE ASSIGNMENT TO MORE  
THAN ONE MACHINE OF MULTI STAGE PRODUCING PRODUCTS**

**Sevgi TEKİN**

**ABSTRACT**

In this study, an integer linear programming model was developed in order to resolve work and process ordering problem of a business which conducts job shop production. Both any work is ordered along all present works and processes of whole works are arranged in the machines thanks to developed integer linear programming model.

It is known that analysis of mathematical models developed in this field is very difficult as number of works and machines increase. For this reason, studies conducted for solving tabulation (scheduling) problem accepted several assumptions that each work calls machine for once, there is only one machine for each type of machines, each machine conducts one work at each time. For suggested model, the study was conducted to remove assumptions that process time is fixed and each machine conducts one work in each time. While works has controllable process time in the machine with two speed settings, it is estimated that total operation time can be shortened and thus how much cost will be undertaken. Considering assumptions that one machine processes two products having similar processes simultaneously and that another machine processes three parts of same product simultaneously, minimum completion time and minimum cost calculations were obtained.

Suggested model was operated by data of a business manufacturing modular furniture and solution results were assessed.

**Keywords :** Scheduling, job shop production, controllable processing time, secondary criteria scheduling, integer linear programming.

## İÇİNDEKİLER

|                       |      |
|-----------------------|------|
| KABUL VE ONAY.....    | I    |
| TEŞEKKÜR.....         | II   |
| ÖZET.....             | III  |
| ABSTRACT.....         | IV   |
| İÇİNDEKİLER.....      | V    |
| TABLolar LİSTESİ..... | VIII |
| ŞEKİLLER LİSTESİ..... | IX   |
| GİRİŞ.....            | 1    |

## BÖLÜM I

### ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Üretim Çizelgeleme.....                                           | 3  |
| 1.2. Üretim Çizelgelemenin Amacı.....                                  | 6  |
| 1.3. Çizelgeleme Problemlerinde Öncelik Kuralları.....                 | 8  |
| 1.4. Çizelgeleme Problemlerinin Tanımlanması.....                      | 9  |
| 1.5. Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması.....                 | 10 |
| 1.5.1. Tezgah Sayısı.....                                              | 11 |
| 1.5.2. Başarım Ölçütü.....                                             | 11 |
| 1.5.3. Üretim Tipi.....                                                | 13 |
| 1.5.4. İşlerin Geliş Şekli.....                                        | 13 |
| 1.5.4.1. Statik Çizelgeleme Tipleri.....                               | 14 |
| 1.5.4.1.1. Bir Makine ve N İş Problemi (1/N).....                      | 14 |
| 1.5.4.1.2. İki Makine ve N İş Problemi (2/N).....                      | 14 |
| 1.5.4.1.3. M Makine ve N İş Problemi (M/N).....                        | 15 |
| 1.5.4.2. Dinamik Çizelgeleme Tipleri.....                              | 15 |
| 1.6. Atölye Tipi Üretimin Çizelgelenmesi.....                          | 16 |
| 1.6.1. Atölye Tipi Üretim Çizelgeleme Problemlerinin Özellikleri.....  | 17 |
| 1.6.2. Atölye Tipi Üretim Çizelgeleme Problemlerinin Varsayımları..... | 19 |
| 1.7. Kontrol Edilebilir İşlem Zamanı.....                              | 20 |

## BÖLÜM II

### LİTERATÜR TARAMASI

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 2.1. Literatür Taraması..... | 23 |
|------------------------------|----|

## BÖLÜM III

### MATEMATİKSEL MODELİN KURULMASI

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. Problemin Tanımlanması.....                                        | 28 |
| 3.2. Varsayımlar Koyulması.....                                         | 29 |
| 3.3. Modelin Kurulması.....                                             | 29 |
| 3.3.1. Birinci Aşama İçin Modelin Kurulması.....                        | 30 |
| 3.3.1.1. Değişkenlerin Tanımlanması.....                                | 30 |
| 3.3.1.2. Sınırların ve Amaç Fonksiyonunun Oluşturulması.....            | 31 |
| 3.3.2. İkinci Aşama İçin Modelin Kurulması.....                         | 33 |
| 3.4. Önerilen Modelin Küçük Bir Örnek Problem Üzerinde Uygulanması..... | 33 |
| 3.5. Örnek Problemin Çözüm Sonuçlarının Yorumlanması.....               | 38 |
| 3.6. Ana Modelden Türetilen İlave Modeller.....                         | 45 |
| 3.6.1. Ek Model 1.....                                                  | 46 |
| 3.6.2. Ek Model 2.....                                                  | 51 |
| 3.6.3. Ek Model 3.....                                                  | 52 |
| 3.6.4. Ek Model 4.....                                                  | 53 |
| 3.6.5. Ek Model 5.....                                                  | 60 |

## BÖLÜM IV

### UYGULAMA

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 4.1. Uygulama Yapılan İşletmenin Tanıtılması.....              | 65 |
| 4.2. Modelin Formülasyonu.....                                 | 66 |
| 4.3. Modelin Çalıştırılması.....                               | 66 |
| 4.4. Çözüm Sonuçlarının Yorumlanması.....                      | 67 |
| SONUÇ.....                                                     | 68 |
| KAYNAKÇA.....                                                  | 70 |
| EKLER.....                                                     | 75 |
| EK-1: Örnek Problemin Birinci ve İkinci Aşamasının Çözümü..... | 75 |

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| EK-2: Küçük Örnek Kümesinin Sınırları ve Çözümü.....           | 76  |
| EK-3: Ek Model 4'e Eklenen Sınırlar ve Çözümü.....             | 78  |
| EK-4: Ek Model 5'e Eklenen Sınırlar ve Çözümü.....             | 82  |
| EK-5: Parçaların Operasyon Sıraları ve Süreleri.....           | 84  |
| EK-6: İkinci Makinede İşlem Gören Parçalar ve Maliyetleri..... | 87  |
| EK-7: Ana Modelin İkinci Aşamasının Sınırları.....             | 87  |
| EK-8: Ana Modelin Birinci ve İkinci Aşamasının Çözümü.....     | 96  |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                  | 115 |

## TABLOLAR LİSTESİ

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1.1. Çizelgelemede Kullanılan Gösterimler.....                                                                     | 7  |
| Tablo 3.1. Örnek Seçilen 8 Parçanın Operasyon Sıraları ve Süreleri.....                                                  | 34 |
| Tablo 3.2. Birinci Aşamada 1. Makinedeki Parça Sıralaması.....                                                           | 39 |
| Tablo 3.3. İkinci Aşamada 1. Makinedeki Parça Sıralaması.....                                                            | 40 |
| Tablo 3.4. Birinci Aşamada 2. Makinedeki Parça Sıralaması.....                                                           | 40 |
| Tablo 3.5. İkinci Aşamada 2. Makinedeki Parça Sıralaması.....                                                            | 41 |
| Tablo 3.6. Birinci Aşamada 3. Makinedeki Parça Sıralaması.....                                                           | 42 |
| Tablo 3.7. İkinci Aşamada 3. Makinedeki Parça Sıralaması.....                                                            | 42 |
| Tablo 3.8. Birinci Aşamada 4. Makinedeki Parça Sıralaması.....                                                           | 43 |
| Tablo 3.9. İkinci Aşamada 4. Makinedeki Parça Sıralaması.....                                                            | 43 |
| Tablo 3.10. Birinci Aşamada 5. Makinedeki Parça Sıralaması.....                                                          | 44 |
| Tablo 3.11. İkinci Aşamada 5. Makinedeki Parça Sıralaması.....                                                           | 45 |
| Tablo 3.12. Küçük Örnek Kümesindeki Parçaların Operasyon Sıraları ve Süreleri.....                                       | 46 |
| Tablo 3.13. Ek Model 1’de 1. Makinedeki Parça Sıralaması.....                                                            | 48 |
| Tablo 3.14. Ek Model 1’de 2. Makinedeki Parça Sıralaması.....                                                            | 49 |
| Tablo 3.15. Ek Model 1’de 3. Makinedeki Parça Sıralaması.....                                                            | 50 |
| Tablo 3.16. K ve $K_{ijm}$ Değişkenleri Eklenmeden Önceki Parça Sıralaması ile Eklendikten Sonraki Parça Sıralaması..... | 51 |
| Tablo 3.17. Ek Model 1 ve Ek Model 2 Arasındaki Parça Sıralaması Farkı.....                                              | 52 |
| Tablo 3.18. Ek Model 1 ve Ek Model 3 Arasındaki Parça Sıralaması Farkı.....                                              | 53 |
| Tablo 3.19. Ek Model 4’de 1. Tip 1. Makineye Atanan Parçalar.....                                                        | 56 |
| Tablo 3.20. Ek Model 4’de 1. Tip 2. Makineye Atanan Parçalar.....                                                        | 57 |
| Tablo 3.21. Ek Model 4’de 2. Tip 1. Makineye Atanan Parçalar.....                                                        | 57 |
| Tablo 3.22. Ek Model 4’de 2. Tip 2. Makineye Atanan Parçalar.....                                                        | 58 |
| Tablo 3.23. Ek Model 4’de 3. Tip 1. Makineye Atanan Parçalar.....                                                        | 59 |
| Tablo 3.24. Ek Model 4’de 3. Tip 2. Makineye Atanan Parçalar.....                                                        | 59 |
| Tablo 3.25. Ek Model 1 ve Ek Model 4 Arasındaki Parça Sıralaması ve Tamamlanma Zamanları Farkı.....                      | 60 |
| Tablo 3.26. Ek Model 5’de 3. Makinedeki Parça Sıralaması.....                                                            | 63 |
| Tablo 3.27. Ek Model 1 ve Ek Model 5 Arasındaki Parça Sıralaması ve Tamamlanma Zamanları Farkı.....                      | 64 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Uygun Çözümlerin Oluşturduğu Ödünleşim Eğrisi.....                          | 21 |
| Grafik 3.1.Birinci Aşamada 1. Makinedeki Parça Sıralaması.....                         | 39 |
| Grafik 3.2.İkinci Aşamada 1. Makinedeki Parça Sıralaması.....                          | 40 |
| Grafik 3.3.Birinci Aşamada 2. Makinedeki Parça Sıralaması.....                         | 41 |
| Grafik 3.4.İkinci Aşamada 2. Makinedeki Parça Sıralaması.....                          | 41 |
| Grafik 3.5.Birinci Aşamada 3. Makinedeki Parça Sıralaması.....                         | 42 |
| Grafik 3.6.İkinci Aşamada 3. Makinedeki Parça Sıralaması.....                          | 42 |
| Grafik 3.7.Birinci Aşamada 4. Makinedeki Parça Sıralaması.....                         | 43 |
| Grafik 3.8.İkinci Aşamada 4. Makinedeki Parça Sıralaması.....                          | 44 |
| Grafik 3.9.Birinci Aşamada 5. Makinedeki Parça Sıralaması.....                         | 44 |
| Grafik 3.10.İkinci Aşamada 5. Makinedeki Parça Sıralaması.....                         | 45 |
| Grafik 3.11.Ek Model 1’de 1. Makinedeki Parça Sıralaması.....                          | 49 |
| Grafik 3.12.Ek Model 1’de 2. Makinedeki Parça Sıralaması.....                          | 49 |
| Grafik 3.13.Ek Model 1’de 3. Makinedeki Parça Sıralaması.....                          | 50 |
| Grafik 3.14.Ek Model 4’de 1. Tip 1. Makineye Atanan Parçalar.....                      | 56 |
| Grafik 3.15.Ek Model 4’de 1. Tip 2. Makineye Atanan Parçalar.....                      | 57 |
| Grafik 3.16.Ek Model 4’de 2. Tip 1. Makineye Atanan Parçalar.....                      | 57 |
| Grafik 3.17.Ek Model 4’de 2. Tip 2. Makineye Atanan Parçalar.....                      | 58 |
| Grafik 3.18.Ek Model 4’de 3. Tip 1. Makineye Atanan Parçalar.....                      | 59 |
| Grafik 3.20.Ek Model 4’de 3. Tip 2. Makineye Atanan Parçalar.....                      | 59 |
| Grafik 3.21.Ek Model 5’e Göre C ve E Parçalarının 3. Makinede Aynı Anda Başlaması..... | 63 |

## GİRİŞ

Mal ve hizmet üreten işletmelerde bir karar verme süreci olan çizelgeleme, imalat sisteminin etkinlik ve verimliliğini etkileyen önemli bir işlemdir. Makine ve iş sayısının fazla olduğu çizelgeleme problemlerinde çözüme ulaşmanın zaman alıcı, bazen de çok zor olduğu bilinir.

Birçok çizelgeleme modeli, işlerin sabit işlem sürelerine sahip olduğunu varsayar. Gerçek hayattaki uygulamalarda bir işin işlem zamanı; tesisler, insan gücü, fonlar gibi kaynakların miktarına bağlıdır ve bu yüzden işlere ek kaynaklar atandığı zaman ilave maliyete katlanılarak işlem süreleri kısaltılabilir yani, kontrol edilebilir. Kontrol edilebilir işlem süresine sahip iş; belirli maliyetlere katlanılmak koşulu ile işlemlerinin sürelerinin kısaltılması mümkün olan iş demektir. Bu tür işlerin, çizelgelenmesi problemine de kontrol edilebilir işlem süreli çizelgeleme problemi denir.

Bu çalışmada, atölye tipi üretim ortamında çeşitli varsayımlar ve kısıtlar altında, farklı özelliklere sahip birden çok makinede, çok aşamalı üretim süreciyle üretilen ve kontrol edilebilir işlem sürelerine sahip olduğu varsayılan işlerin, minimum tamamlanma zamanını dikkate alarak, minimum maliyetle üretilmesi amacı ile bir matematiksel model önerilmiştir. Modelin etkinliğinin artması için ana modelden ek modeller türetilmiş ve kolay anlaşılabilir olması için küçük bir örnek üzerinde aşamalar halinde çözülerek sonuçları tartışılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde çizelgeleme konusunda, atölye tipi üretimin çizelgelenmesi ve kontrol edilebilir işlem zamanlı üretim hakkında genel bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, literatürde çok sayıda bulunan çizelgeleme konusundaki kaynakların içerisinde kontrol edilebilir işlem zamanlı üretimle ilgili olanları seçilerek incelenmiş ve özetleri sunulmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, problem tanımlanmış, önerilen matematiksel modeli ve bu modelden türetilen ilave beş farklı modeli geliştirme aşamaları küçük bir örnek üzerinde bütün detaylarıyla açıklanmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, uygulama yapılan işletme tanıtılmış ve üçüncü bölümde geliştirilen tamsayılı doğrusal programlama modeli işletmenin gerçek verileri ile çalıştırılarak çözüm sonuçları değerlendirilmiştir.

Sonuç bölümünde ise, elde edilen çözümlerin tamamının değerlendirilmesi yapılmış öneriler sunulmuştur.

## **BÖLÜM I**

### **ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ**

#### **1.1. Üretim Çizelgeleme**

Çizelgeleme, imalat ve hizmet endüstrilerinde operasyon kontrolünün çok önemli bir aracıdır. Pazar payını büyütmede ve dolayısıyla üretim-hizmet miktarını arttırmada müşteri tatmininin önemi arttıkça, operasyonlar üzerindeki etkin çizelgeleme yöntemlerini uygulama ihtiyacı da günden güne çoğalmaktadır. Çizelgeleme aslında çok geniş bir kavramdır ve temeli planlamaya dayanır. İşlerin planlı hale gelebilmesi için, belirli bir sıra dâhilinde yapılması gerekir. Çizelgeleme bu sıranın niteliği ve niceliği ile ilgilenir.

Bir işin yapılabilmesi için kullanılacak kaynaklara ihtiyaç vardır. Çizelgeleme ile yapılacak işler kaynaklara atanırlar. Kaynakların kısıtlı olduğu sistemlerde amaçlanan hedefe ulaşabilmek için “hangi iş, hangi kaynağı, ne zaman kullanacak” soruları büyük önem kazanır. Yani işlerin kaynakları kullanma sıraları, istenilen amaca varabilmek için önemli bir etkidir. Çizelgeleme bu temele dayanır ve aslında imalat ve hizmet sektörünün her noktasında ortaya çıkar. Dolayısıyla, yapılacak işlerin ve kısıtlı kaynakların bulunduğu tüm sistemlerde çizelgeleme vardır (Nahmias 2001, 414).

Çizelgeleme, çoğu imalat ve hizmet endüstrisinde önemli rol oynayan, satınalma ve üretim, taşıma ve dağıtım, bilgi işleme ve iletişim alanlarında kullanılan bir karar verme sürecidir. Çizelgeleme fonksiyonu, üretim planının karşılanabilmesi, siparişlerin söz verilen teslimat tarihlerine yetiştirilmesi için matematiksel teknikleri yada sezgisel metotları kullanarak, kısıtlı şirket kaynaklarının (kaynak kısıtları, malzeme teminindeki aksamalar, düzenli bakımlar, arızalar vs) en uygun faaliyetlere tahsisini belli kriterlere göre (geç kalan iş sayısını minimumda tutmak, hazırlık sayısını minimumda tutmak

gibi) gerçekleştirmektedir. Zaman düzleminde yapılması gereken görevler için bir veya daha fazla amacı iyileştirecek şekilde kaynakların tahsis edilmesi ile ilgilenen çizelgeleme problemi, firmanın amaç ve hedeflerine en iyi şekilde ulaşması için güçlü bir araç olmaktadır (Geyik ve Cedimoğlu 2001, 54).

İş parçaları, öğrenci grupları, bilgisayar yazılımları, havaalanlarında kalkış-inişler vb. şeyler faaliyetler olarak yorumlanabilir. Kaynaklar da, tezgahlar, hücreler, taşıma araçları, insanlar, havaalanında pistler, bilgisayar sisteminde hafıza vb şekilde adlandırılan basit, temel kısımlara sahiptir (Morton ve Pentico 1993, 6; Leung 2004, 1-1).

Üretim çizelgeleme sürecinde sistem kaynakları sınırlı yada sınırsız olarak değerlendirilebilir. Sistem kaynaklarının sınırlı olarak değerlendirilmesi “sonlu/sınırlı kapasite çizelgeleme” olarak adlandırılır. Bir başka deyişle sonlu kapasite çizelgeleme, kaynakların gerçek kapasiteleri üzerine kurulmuş iş sıralamasını içeren bir üretim planıdır.

Üretim sistemlerinin çok karmaşık ve alternatifli olması sebebiyle sonlu kapasite çizelgeleme ile optimum çözüme ulaşmak mümkün olmayabilir. Sonlu kapasite çizelgeleme uygulamasında; arıza, sipariş değişiklikleri gibi sıkça gerçekleşen durumlarla karşılaşıldığında ilk çizelge uygunluğunu kaybedeceği için çizelge tekrar düzenlenmektedir.

Çizelgeleme, sisteme gelen ve sistemden ayrılan varlıkların zamanlanması ile ilgilenir. Faaliyetlerin nerede ve ne zaman gerçekleştirileceğine karar vermek anlamına gelir. Çoğu organizasyonda, sistem içine yayılmış ve her yerde kendini gösteren bir süreçtir (Pinedo 1995, 3).

Bir işletmede bir çok çizelgeleme çeşitleri ile karşılaşılabilir. Bunlardan en önemlileri şunlardır (Nahmias 2001, 413):

- Atölye çizelgeleme: Atölye çizelgelemesi genellikle pratikte bir üretim atölyesinde, girdilerin çıktılara dönüştürülmesinde kullanılan işlemler kümesidir.

Bir ürünün üretilmesinde kullanılan parça listeleri ve iş planları dahilinde, operasyonlar makinelere belirli bir sıra ile atanırlar.

- **Personel çizelgeleme:** İmalat ve hizmet sektörlerinde, personel çizelgeleme önemli bir problemdir. Vardiya çizelgelemesi, üretim işletmelerindeki bir çizelgeleme problemi iken, personel çizelgelemesi bunun yanında daha büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.
- **Tesis çizelgeleme:** Bu problem, genellikle tesis üzerinde bir darboğaz kısıtı veya kaynağı olduğunda büyük önem kazanır. Hastanelerdeki oda tedariği, buna bir örnektir. Aynı problem, üniversite ve liselerde de ortaya çıkmıştır. Kurumların hizmet verdiği kişi sayısı arttıkça planlama ve çizelgeleme ihtiyacı artar.
- **Araç çizelgeleme:** İmalat firmaları mal ve hizmetlerinin dağıtımını belirli bir maliyet ve zaman etkinliği çerçevesinde yapmak durumundadırlar. Kargo ve nakliye şirketleri gibi birçok şirket, mal ve insan taşımacılığına dayanan hizmet anlayışına sahiptir. Araç rotalama problemi, mal ve hizmet ulaştırmayı hedefleyen birçok sektörde ortaya çıkar. Posta ve banka dağıtım hizmetleri, farklı yerleşim birimlerindeki tüketicilere farklı ihtiyaçların taşınması gibi ekonomik ve hızlı servis gerektiren problemler, araç rotalama problemine örnek olarak verilebilir.
- **Tedarikçi çizelgeleme:** Tam zamanında üretimi ilke edinmiş şirketler için, tedarikçilerden dağıtım, çok önemli bir lojistik konudur. Tam zamanında üretim sisteminin verimli bir şekilde çalışabilmesi için, satınalma işleminin tüm ürün dağıtım sistemiyle beraber koordineli olarak yönetilmesi gerekir.
- **Proje çizelgeleme:** Bir proje, birbirini etkileyen birçok görevden oluşur. Bunun yanında, bazı görevler eş zamanlı olarak yapılabilir. Ancak birçok göreve, bir başka iş tamamlanmadan başlanamaz. Karmaşık projeler, belirli bir zaman içerisinde ve belirli bir bütçe ile tamamlanması gereken binlerce küçük görevden oluşabilir. Bu tür karmaşık projelerin çizelgelenmesinde gelişmiş yöntemler kullanılır ve proje çizelgeleme, planlama fonksiyonunun önemli araçlarından biridir.
- **Dinamik ve statik çizelgeleme:** Çizelgeleme probleminin dinamik veya statik olması, ihtiyaçların sürekliliği ile ilgilidir. Örneğin bir üretim çizelgeleme probleminde bir makineye zaman içerisinde yeni siparişlerin ulaşması ve bu siparişlerin çizelgeye dahil edilmesi dinamik bir çizelgeleme problemidir. Statik

izelgelemede ise çizelgeye dahil edilen işler ve kaynaklar belirlidir. Yeni işler veya kaynaklar çizelgeye dahil edilmez.

izelgeleme, özümü zor olan optimizasyon problemlerinden biridir. Son otuz yılda bu problemlerin çözümü için çok sayıda araştırma yapılmış olup, öncelik kurallı ve dal-sınır tekniğine dayanan çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu tip problemler, NP-zor türü problemler kapsamında olduğundan bilgisayarların hızlarının artması ile daha etkin çizelgeleme yöntemleri geliştirilmeye çalışılmaktadır (Baskak ve Erol 2004, 2).

## 1.2. Üretim izelgelemenin Amacı

izelgelemenin amacı, hedefleri başarmak için kaynakların/kapasitenin etkin bir biçimde kullanımını sağlamaktır. izelgelemenin önemli zorluklarından biri de birçok birbirini ile çakışan amaç fonksiyonlarının en iyilenmesidir. Bir işletmenin farklı bölümlerinin amaçları aynı olmayabilir. En çok kullanılan ortak amaçlardan bazıları şunlardır (Nahmias 2001, 417; Zeydan 2006, 109):

- Teslim tarihinin karşılanması,
- Sistemdeki ortalama akış süresinin minimizasyonu,
- Makine ve işgücünün kullanım sürelerinin maksimizasyonu,
- İş durum bilgisinin sağlanması,
- Hazırlık sürelerinin minimizasyonu,
- Üretim ve işgücü maliyetinin minimizasyonu,
- Süreç içi stokları en küçükleme

Tabii ki, bu amaçların hepsini birden aynı problem üzerinde, aynı anda optimize etmek çoğ u zaman mümkün değildir. Teslim tarihi minimizasyonu ve ortalama sistem akış süresi minimizasyonu üstün bir müşteri hizmeti sağlamaya yöneliktir. Diğer amaçlar daha çok, üretim işletmesinin verimliliğinin ve etkinliliğinin artırılmasına yöneliktir. Günümüzde, maliyet ve kalitenin dengelenmesi, bir işletmenin karşılaşabileceğ i en önemli konuların başında gelmektedir.

Çizelgelemede gerekli hesaplamaların nasıl yapıldığını daha kolay anlayabilmek için aşağıdaki Tablo 1.1.'de çizelgeleme parametrelerinin tanımı yapılmıştır (Eren, Güner, 2002, 43).

Tablo 1.1. Çizelgelemede Kullanılan Gösterimler

|             |                             |                                                                                                                                                |
|-------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Veriler     | n                           | iş sayısı                                                                                                                                      |
|             | $p_i$                       | i. işin işlem zamanı                                                                                                                           |
|             | $d_i$                       | i. işin teslim tarihi                                                                                                                          |
|             | $s_i$                       | i işinin istenilen başlama zamanı                                                                                                              |
|             | $r_i$                       | i işinin işlem için hazır olma zamanı                                                                                                          |
|             | $F_i$                       | i işinin akış zamanı                                                                                                                           |
| Kısıtlar    | pmtn                        | işler kesintiye uğrayabilir ve sonra kaldığı yerden tekrar başlar                                                                              |
|             | nmit                        | makine boş tutulmasına izin veriliyor                                                                                                          |
| Değişkenler | $C_i$                       | i. işin tamamlanma zamanı                                                                                                                      |
|             | $E_i$                       | i. işin erken bitmesi $E_i = \max(0, d_i - C_i)$                                                                                               |
|             | $L_i$                       | i. işin gecikmesi $L_i = C_i - d_i$                                                                                                            |
|             | $T_i$                       | i. işin geç bitmesi $T_i = \max(0, C_i - d_i)$                                                                                                 |
|             | $U_i$                       | i işinin gecikme durumu $U_i = \{ 1 \ C_i > d_i, \ 0 \ dd \}$                                                                                  |
|             | $n_T$                       | toplam geciken iş sayısı $n_T = \sum_{i=1}^n U_i$                                                                                              |
| Ölçütler    | $f_{max}$                   | maliyet fonksiyonu                                                                                                                             |
|             | $C_{max}$                   | maksimum tamamlanma zamanı $C_{max} = \max_{i=1, \dots, n} (C_i)$                                                                              |
|             | $L_{max}$                   | maksimum gecikme $L_{max} = \max_{i=1, \dots, n} (L_i)$                                                                                        |
|             | $L_{min}$                   | minimum gecikme $L_{min} = \min_{i=1, \dots, n} (L_i)$                                                                                         |
|             | $T_{max}$                   | maksimum geç bitirme $T_{max} = \max_{i=1, \dots, n} (T_i)$                                                                                    |
|             | $E_{max}$                   | maksimum erken bitirme $E_{max} = \max_{i=1, \dots, n} (E_i)$                                                                                  |
|             | $\bar{F}$<br>( $w\bar{F}$ ) | ortalama akış zamanı<br>(ortalama ağırlıklı akış zamanı) $\bar{F} = \sum_{i=1}^n F_i / n, \left( w\bar{F} = \sum_{i=1}^n wF_i / n \right)$     |
|             | $\bar{T}$<br>( $w\bar{T}$ ) | ortalama geç bitirme<br>(ortalama ağırlıklı geç bitirme) $\bar{T} = \sum_{i=1}^n T_i / n, \left( w\bar{T} = \sum_{i=1}^n wT_i / n \right)$     |
|             | $\bar{E}$<br>( $w\bar{E}$ ) | ortalama erken bitirme<br>(ortalama ağırlıklı erken bitirme) $\bar{E} = \sum_{i=1}^n E_i / n, \left( w\bar{E} = \sum_{i=1}^n wE_i / n \right)$ |
|             | $\bar{U}$<br>( $w\bar{U}$ ) | ortalama geciken iş<br>(ortalama ağırlıklı geciken iş) $\bar{U} = \sum_{i=1}^n U_i / n, \left( w\bar{U} = \sum_{i=1}^n wU_i / n \right)$       |

### 1.3. Çizelgeleme Problemlerinde Öncelik Kuralları

Çizelgeleme problemlerinde en çok kullanılan işlem öncelik kuralları aşağıda belirtilmektedir (Pinedo ve Chao 1999, 30):

- a) İlk Gelen İşi Önce Yap (FCFS): Bu kural literatürde ilk gelen ilk çıkar olarakta bilinir. Bu kuralın temel mantığına göre, iş merkezine gelen işler geliş sıralarına göre üretim ortamına alınır ve işlenir.
- b) Son Gelen İşi Önce Yap (LCLS): Bu kural iş merkezinde gelen işlerin üretim ortamına alınmaları için geliş sıralarının tersine doğru bir sıralama yapmayı önerir. İş merkezine en son sırada gelen iş, ilk sırada, sondan bir önce gelen iş ikinci sırada üretim ortamına alınır ve sıralama bu şekilde devam eder.
- c) En Kısa İşlem Süreli İşi Önce Yap(SPT): Bu kural, iş merkezine gelen işlerin, işlem sürelerinin kısalığı ile doğru orantılı bir ilişki kurarak sıralama yapmayı önerir. İş merkezine gelen işler arasından en kısa işlem süresine sahip olan işlerin önceliklendirildiği bu kural ile üretim sisteminin çıktısı en çoklanır ve geciken işlerin oranı azalır.
- d) En Uzun İşlem Süreli İşi Önce Yap (LPT): Bu kurala göre, iş merkezine gelen işler, işlem sürelerinin uzunlukları ile doğru ilişkili olarak sıralanırlar. İş merkezine gelen işler arasından en fazla işlem süresine sahip olan iş, ilk olarak işlem görür.
- e) Ağırlıklı En Kısa İşlem Süreli İşi Önce Yap (WSPT): Çizelgeleme problemlerinde her bir iş aynı önem derecesine sahip olmayabilir. Bu öncelik kuralında, işlerin önceliklerinin bulunmasında, işlem süreleri, ilgili işlerin önem dereceleri ile birlikte dikkate alınır.
- f) Sonraki İşlemlerin Sayısı En Fazla Olan İşi Önce Yap (largest number of successors-LNS): Bu kural, üretim ortamında bulunan işlerin geriye kalan işlem sayılarının fazlalığı ile doğru ilişkili olarak sıralanmalarını önerir. Kurala göre, geriye kalan işlemlerinin sayısı en fazla olan iş ilk olarak yapılır.
- g) Teslim Tarihi En Önce Olan İşi Önce Yap (EDD): İşlem görmek için sırada olan işlerin gecikmelerini en küçükleme amacıyla olan bu kurala göre sisteme gelen işler arasından en erken teslim tarihine sahip olan iş ilk olarak yapılır. Teslim tarihi en önce olan işi önce yap öncelik kuralının kullanımı ile işlerin söz verilen tarihlerde teslim edilme ihtimalleri artar.

h) Rastgele Sıralama (SIRO): İş merkezine gelen ve işlem görmeyi bekleyen işler arasından bir tanesi tesadüfi bir şekilde seçilir. Her hangi bir amaç en iyilenmeye çalışılmaz.

ı) Bolluk Zamanı En Az Olan İş Önce Yap (least slack first-LSF): Bu kurala göre sıralama, işlerin sistemdeki bolluk zamanlarının azlığı ile doğru orantılı bir şekilde yapılır. İşlerin bolluk zamanlarının dinamik olarak takip edilmesi ile geciken işlerin yüzde oranları azalır.

i) En Kısa Hazırlık Zamanı Olan İş Önce Yap (SST): Bu kural, üretime girmeyi bekleyen işlerin, hazırlık zamanlarının kısalığı ile doğru orantılı bir şekilde sıralanmalarını önerir. En kısa hazırlık zamanına sahip olan işlere öncelik verilmesiyle ortalama gecikme zamanı azaltılabilir.

j) En Az Kritik Orana Sahip Olan İş Önce Yap (CR): Bu kuraldaki kritik oran, i işinin teslim tarihine kadar kalan zamanın, ilgili işin bitmesi için gerekli üretim zamanına oranlanması ile bulunur. Kurala göre, üretime girmeyi bekleyen işler, sahip oldukları kritik oranların azlığı ile doğru orantılı bir şekilde sıralanır.

k) Kritik Yol Üzerindeki İşleri Önce Yap (CP): Bu kurala göre işler öncelik kısıtlarına göre sıralanır ve kritik yol üzerindeki işler öncelikli olarak işlenir. Kritik yol, herhangi bir gecikmenin tüm projeyi geciktireceği işlerden oluşan yoldur. Bundan dolayı, kritik yol üzerinde bulunan işlere öncelik verilmesi ile proje boyutunda gecikmeler en küçüklenmeye çalışılır.

#### 1.4. Çizelgeleme Problemlerinin Tanımlanması

Bir çizelgeleme problemi, makine ortamı, işlem karakteristikleri ve optimize edilen ölçütler ile tanımlanır.

Lawler ve arkadaşlarının (1982) sınıflandırma şemasına göre, bir çizelgeleme problemi  $\alpha|\beta|\gamma$  şeklinde tanımlanabilir.  $\alpha$ , makine ortamının karakteristiğini gösterir.  $\beta$ , işlem karakteristiklerini ve sınırlamaları gösterir. Minimize edilecek amaç  $\gamma$  ile ifade edilir. (İnan, 1999, 6).

$\alpha$  ile belirtilen olası makine ortamları aşağıda ifade edilmiştir.

$\alpha=1$  : tek makine ortamı

$\alpha=P_m$  : m paralel benzer makine

$\alpha=Q_m$  : m aynı paralel makine

$\alpha=F_m$  : m aşamalı akış tipi

$\alpha=J_m$  : m aşamalı atölye tipi

$\beta$  ile belirtilen olası işlem sınırlamaları aşağıda ifade edilmiştir.

$\beta=r_i$  : işler serbest kalma (release) zamanlarından önce başlayamazlar.

$\beta=S_{jk}$  : işler arasında hazırlık zamanına bağlı sıralama mevcuttur.

$\beta=prmp$  : öncelik hakkına izin verilir.

$\beta=prec$  : bazı işler, diğerleri tamamlanmadan önce başlayamazlar.

$\beta=brkdown$  : bazı makineler bozulmalardan dolayı bazı periyotlarda hazır değildirler.

$\beta=recr$  : bazı işler bir makineyi bir defadan fazla ziyaret ederler.

$\gamma$  ile belirtilen amaç fonksiyonlarının bazı örnekleri aşağıdaki gibidir.

$\gamma=C_{max}$  : çevrim zamanı minimizasyonu

$\gamma=L_{max}$  : Maksimum gecikme minimizasyonu

Bu çalışmada ki çizelgeleme probleminin tanımlanması J5/kontr/C:T şeklinde yapılabilir. Yani beş makineli atölye tipi üretim ortamında kontrol edilebilir işlem zamanı kısıtı altında minimum toplam tamamlanma zamanına bağlı olarak toplam maliyetin minimize edilmesidir.

### 1.5. Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Çizelgeleme, belli bir başarımlı ölçütünü en iyileyecek iş akışını (makinelere gelen işlerin işlenme sırası) belirlerken, dört faktöre bağlı olarak farklı sınıflara ayrılabilir (Acar 2001, 93). Bunlar tezgah sayısı, başarımlı ölçütü, üretim tipi ve işlerin geliş şeklidir.

### 1.5.1. Tezgah Sayısı

İş merkezinde yer alan tezgah sayısına göre çizelgeleme problemleri, tek tezgahlı veya çok tezgahlı olmak üzere iki farklı şekilde değerlendirilir. İş merkezine gelen işler tek bir işleme ihtiyaç duyuyor ise burada tek tezgahlı çizelgeleme probleminden bahsedilmekte ve işlerin hangi sırada yapılacağının belirlenmesine çalışılmaktadır. Ayrıca çok tezgahlı bir iş merkezinde darboğaz oluşturan tek tezgah üzerinden de çizelgeleme gerçekleştirilebilir. Tezgah sayısının artması ile doğru orantılı olarak çizelgeleme problemlerinin çözümü de zorlaşır.

### 1.5.2. Başarım Ölçütü

Çizelgenin performansını ölçmek için, aynı çizelgeleme probleminde çizelgelemenin bazı şartları değiştirilerek veya farklı öncelik kuralları kullanarak birkaç kez yapılması gerekmektedir. Çizelge performansını değerlendirmek için kullanılan başarım ölçütü, çizelgeleme problemlerinde önemli rol oynamaktadır. Bu başarım ölçütlerinden en önemlileri ve en çok kullanılanları aşağıda verilmektedir (Acar 2001, 94; Baskak ve Erol 2004, 3):

- Ürünlerin, üretim ve bekleme zamanlarını içeren akış zamanı,
- Geciken işlerin, toplam işlere oranı,
- Kuyrukta bekleyen işlere göre belirlenen hammadde, yarımamül ve mamul stok seviyeleri,
- İşlerin tezgahlarda bekleme süreleri,
- İşlerin maksimum gecikme süreleri,
- İşlerin maksimum tamamlanma zamanları,
- Geciken iş sayısı,
- Ortalama iş hacmi,
- Siparişlerin gecikme süreleri,
- Tezgah hazırlama zamanı kayıpları,
- Tezgah ve işgücü kullanım oranları,
- Bu ölçütlerin ortalama ve standart sapmaları gibi istatistiksel ölçümleri.

Üretim çizelgeleme, belli bir veya birden çok başarı ölçütünü iyileştirmek üzere yapılır ancak, çoğu zaman ölçütlerin kendi içlerinde çelişmesi sebebi ile tüm ölçütlerin aynı anda iyileştirilmesi mümkün olmayabilir. Zaten bütün başarı ölçütleri her zaman aynı önemde değildir. Dikkate alınan başarı ölçütlerinin göreceli önem değerleri, belli sistem durumlarına göre değişir (Geyik ve Cedimoğlu 2001, 54).

Tek bir ölçüt ile ilişkili olarak elde edilen ve en iyi sonucu veren bir çözüm, birden fazla başarı ölçütünün dikkate alınması ile daha önce elde edilmiş olan aynı en iyi çözümü vermeyebilir. Bunun sebebi ise çizelgeleme sürecinde birden fazla başarı ölçütü ile çalışıldığında başarı ölçütleri arasında ödünleşimler meydana gelmektedir. Yani bir başarı ölçütünün değerini en iyilerken, diğer başarı ölçütünün değeri azalabilmektedir (Eren ve Güner 2002, 38).

Çizelgeleme literatüründe, tek başarı ölçütlü çalışmalar ile kıyaslandığında çok daha az olan çok başarı ölçütlü çizelgeleme çalışmaları son dönemlerde gittikçe artmıştır. Bu tür problemlerin çözümü tek başarı ölçütlü problemler kadar kolay olmamaktadır. Çünkü birbirleri ile çelişen amaçlar aynı anda en iyilendiğinden tek bir çizelgeyi oluşturmak oldukça zordur.

Çok başarı ölçütlü çizelgeleme problemleri içerisinde iki ölçütün bulunduğu problemler; ikincil ölçütlü ve iki ölçütlü problemler olmak üzere iki kısımda incelenmektedir (Eren ve Güner 2002, 38; Güner ve Altıparmak 2003, 27):

a) İkincil ölçütlü çizelgeleme problemleri: İkincil ölçütlü çizelgeleme problemlerinde, başarı ölçütleri birincil ve ikincil ölçüt olarak ayrılmakta ve öncelikle birincil başarı ölçütü, ikincil ölçüt yok sayılarak en iyilenmekte, sonrasında ise ikincil başarı ölçütü, birincil ölçütün performansını azaltmamak şartıyla eniyilenmektedir. Graham vd (1979), C1, birincil ölçütü, C2 ise ikincil ölçütü göstermek üzere ikincil ölçütlü problemlerin,  $n/1/C2:C1$  şeklinde gösterilebileceğini belirtmiştir (Eren ve Güner 2002, 42).

b) İki ölçütlü çizelgeleme problemleri: İki ölçütlü çizelgeleme problemlerinde iki farklı ölçüt aynı anda en iyilenmektedir. Graham vd (1979), iki ölçütlü çizelgeleme problemlerinin  $n/1/C2,C1$  şeklinde gösterilebileceğini belirtmiştir. Evans (1984), iki farklı ölçütün aynı anda eniyilenmesi sonucunda etkin çözümler için bir set elde

edildiğini ve etkin çözümün ise, hiçbir ölçütün etkinliğinin azalmaksızın arttırılamadığı bir çözüm olduğunu belirtmiştir (Eren ve Güner 2002, 42).

### 1.5.3. Üretim Tipi

Farklı üretim sistemleri için farklı çizelgeleme problemleri oluşturulur. Çizelgeleme problemi, küçük, karmaşık, tek müşteriye çalışan atölyelerden, yüksek hızlı üretim yapan transfer hatlarına, kesikli parça imalatından, sürekli proses akışlarının olduğu pek çok farklı durumda ortaya çıkabilir. Bu nedenle çizelgeleme problemlerini uygulandığı ortama göre sınıflandırmak mümkün olur. Aşağıda bunlardan bazıları örnek olarak verilmiştir (Morton ve Pentico 1993, 15-19):

- Atölye tipi üretim
- Açık atölye tipi üretim
- Parti tipi üretim
- Akış tipi üretim
- İmalat hücresi
- Montaj atölyesi
- Montaj hattı
- Esnek iletim hattı

### 1.5.4. İşlerin Geliş Şekli

İşlerin geliş şekline göre çizelgeleme problemleri statik ve dinamik çizelgeleme olarak iki farklı şekilde değerlendirilmektedir. Statik çizelgeleme problemlerinde, belirli bir dönem için iş listesinin tamamı bilinmektedir ve işler boş olan bir iş merkezine hemen işlenmek üzere düzenli olarak gelir. Statik çizelgeleme problemlerinde, genellikle iş listesinde değişiklik meydana gelmez.

Eğer iş listesi sürekli olarak ve rastgele bir şekilde değişiyorsa ve işler düzensiz aralıklar ile iş merkezine gelmekte ise, bu durumda problem dinamik çizelgeleme olarak nitelendirilir. Dinamik çizelgeleme problemlerinde herhangi bir zamanda gelebilecek olan işin özellikleri sıralamanın sürekli değişmesini gerektirir.

#### 1.5.4.1. Statik Çizelgeleme Tipleri

Statik çizelgeleme problemlerinde, belli bir dönemdeki iş listesi bilinir ve işler iş merkezine düzenli bir şekilde gelir. Statik çizelgeleme problemlerinde, iş merkezleri seri olarak bağlanmakta ve bütün işler aynı sırayı takip etmektedir. Bu çizelgeleme tipi iş merkezindeki tezgah sayısı üçü geçtiği takdirde zorlaşır (Acar 2001, 93). Statik çizelgeleme problemleri, iş ve tezgah sayılarına göre farklı olarak değerlendirilir. Bunlar bir makine ve n iş, iki makine ve n iş ile m makine ve n iş problemleridir.

##### 1.5.4.1.1. Bir Makine Ve N İş Problemi(1/N)

N adet işin tek bir tezgahta en uygun sırada işlenmesi, çizelgeleme problemleri kapsamında en basit olan problemidir. Fakat çizelgeleme problemlerinin mantığının anlaşılması ve farklı teknik ve performans ölçütleriyle çözüm araması yapılabilmesi açısından bu çizelgeleme tipinin anlaşılması oldukça önemli olmaktadır. Bir makine ve n iş çizelgeleme problemlerinde, sadece bir makine olduğu için işler hangi sırayla yapılırsa yapılsın bütün işlerin tamamlanması için gerekli olan toplam üretim süresi değişmeyecektir. Ancak, kullanılacak olan bir takım öncelik kuralları ile işlere ait ortalama akış ve bekleme süreleri değiştirilebilir (Acar 2001, 95). Çizelgeleme problemleri içerisindeki en basit çizelgeleme problemi olan bir makine ve N iş çizelgelemede dahi  $N!$  adet farklı çözüm oluşturmak mümkün olmaktadır.

##### 1.5.4.1.2. İki Makine Ve N İş Problemi(2/N)

İki makine ve N iş probleminde, N adet iş, iki makineli olan bir üretim ortamında, öncelik sırasını takip ederek işlenmektedir. İki makine ve N iş çizelgeleme problemlerinde amaç, bütün işlerin tamamlanması için gerekli olan zamanı en aza indirmektir (Acar 2001, 97).

İki makine ve N iş çizelgeleme problemlerinde Johnson yöntemi kullanılarak en iyi çözüme ulaşılabilmektedir. Johnson yöntemi ile elde edilen çözüm süreci sonunda aşağıda verilen ölçütler belirlenir:

- a) Bütün işlerin tamamlanma zamanları,
- b) Makinelerin boş kalma zamanları,
- c) İşlerin ortalama bekleme zamanları.

#### **1.5.4.1.3. M Makine Ve N İş Problemi(M/N)**

Üçten fazla makinenin bulunduğu ve seri iş akışının olduğu statik çizelgeleme problemlerinde, işlerin en kısa zamanda tamamlanmasını sağlayacak çözümün bulunmasına yönelik yüzde yüz güvenilir çözümler bulunmamaktadır. M makine ve N iş çizelgeleme problemlerinde  $(N!)^x M$  adet mümkün çözümün olması ve bu mümkün çözümlerden sadece birinin istenilen başarımlı ölçütünü en iyilemesi özellikle hesaplama açısından büyük zorluklar getirmektedir (Acar 2001, 103).

M makine ve n iş çizelgeleme problemlerinin çözümünde bazı bilinen yöntemler kullanılmaktadır. Örneğin dal-sınır (branch and bound) yöntemi, özellikle basit problemlerin çözümünde iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca M makine ve N iş çizelgeleme problemlerinin çözümünde için tam sayılı programlama modelleri de kullanılır. Ancak bu tam sayılı programlama modelleri genellikle NP-hard olduğu için çözüm sonucuna ulaşılması çok zor olmaktadır (Acar 2001, 103).

#### **1.5.4.2. Dinamik Çizelgeleme Tipleri**

Bir takım matematiksel kuralların kullanımı ile statik çizelgeleme problemlerini çözmek mümkündür. Ancak, iş listelerinin sürekli ve rastgele değiştiği dinamik çizelgeleme problemlerinin, aynı yaklaşımlarla çözülmesi mümkün değildir.

Dinamik çizelgeleme problemlerinde de statik çizelgeleme problemlerinde olduğu gibi çözüme ulaşmak için öncelik kurallarının kullanılmasına dayanan teknikler kullanılır. Fakat, dinamik çizelgeleme problemlerinde kullanılan öncelik kurallarının statik çizelgeleme problemlerinde kullanılan öncelik kurallarından farkı, işlerin süreç esnasında değişmeyen özelliklerini (işlem süresi veya teslim tarihi gibi) değil, işlerin süreç esnasında değişen özelliklerini (kalan işlem zamanı, kalan işlem adedi veya bolluk

zamanı gibi) esas almasıdır. Dinamik çizelgeleme problemlerinde en çok kullanılan öncelik kuralları aşağıda verilmiştir (Acar 2001, 107);

- Sonraki işlemlerin süresi en fazla olan işi önce yap,
- Sonraki işlemlerin sayısı en fazla olan işi önce yap,
- Bolluk zamanı en az olan işi önce yap,
- Kalan bolluk zamanı/kalan işlemler değeri en az olan işi önce yap,
- Bir sonraki işlemde en kısa kuyruğa sahip olan işi önce yap,
- Bir sonraki makinenin iş yükü en az olan işi önce yap.

Çizelgeleme problemlerinde üretim sisteminin her durumu için en uygun kuralın belirlenmesi mümkün olmayabilir. Çizelgeleme problemlerinde en uygun kuralın seçilmesi, üretim ortamındaki makinelerin hepsinin çalışmasına, durmasına yada makinelerin kapasitelerine göre değişebilir. Üretim sürecindeki bu değişkenlik sebebi ile etkin bir şekilde çizelgeleme yapabilmek ve üretim sistemini dengeleyebilmek için dinamik çizelgeleme uygulanır. Dinamik çizelgelemeyi uygularken, çizelgeleme çalışması yapılacak üretim ortamının özelliklerine uygun olarak kural seçilmesine ve kural seçiminin, mümkün olduğunca kısa zamanda gerçekleştirilmesine dikkat edilmesi gerekmektedir.

### 1.6. Atölye Tipi Üretimin Çizelgelenmesi

Atölye tipi üretim çizelgeleme modeli, gerçek hayatta çok sık karşılaşılan, sanayi ve hizmet sektöründe geniş bir alanda kullanılan modeldir. Atölye tipi üretim çizelgeleme probleminde;  $m$  tane  $\{M_1, M_2, \dots, M_m\}$  makinede işlenmek üzere  $n$  tane  $\{J_1, J_2, \dots, J_n\}$  iş mevcuttur. İşler, makinelerdeki belli sıra halinde işlenir ve bu sıra, teknolojik kısıt, işin gidişi veya rota olarak adlandırılır. Genel atölye tipi üretim için teknolojik kısıtların oluşumuna dair hiçbir sınırlama yoktur. Her bir iş, kendi işlem sırasına sahiptir. Ayrıca diğer işlerin işlem sırasından bağımsızdır. Çizelgelemeci açısından, burada önemli olan hangi işin hangi makineye hangi sırada gireceğini belirleyebilmektir.  $m$  makine sayısı arttıkça problem karmaşık hale gelir. Birçok genel iş atölyesi probleminde,  $(n!)^m$  adet çizelgeleme yapmak mümkündür. Bu sayı, makine ve/veya iş sayısının yüksek olduğu problemlerde çok aşırı değerlere ulaşır (Nahmias 2001, 432). Bu çizelgelerden de bir kısmı uygun olmayan çizelgeleri, başka bir ifadeyle

öncelik kısıtlarını sağlamayanları kapsamaktadır. Uygun çizelge iki tür kısıtı sağlamalıdır. Birincisi, öncelik kısıtlarının, yani her işe ait işlemlerin belirlenen sıralama dahilinde gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır. İkinci kısıt ise, kaynak kısıtı olup, bir tezgahda aynı anda birden fazla işlemin gerçekleştirilemeyeceğini ifade etmektedir. Bu tür problemleri optimal olarak çözüme kavuşturmak çok zordur.

Atölye tipi üretim çizelgeleme probleminin temel matematiksel ifadesi şöyledir (Pinedo, 1995, 128):

Min  $C_{\max}$

$$t_{il} - t_{ik} \geq p_{ik} \quad (1)$$

$$t_{iz} - t_{jy} \geq p_{jy} \quad \forall \quad t_{jy} - t_{iz} \geq p_{iz} \quad (2)$$

$$t_{ik} \geq 0 \quad (3)$$

Burada  $t_{ik}$  başlama zamanı,  $p_{ik}$  işlem süresi olmak üzere, birinci kısıt teknolojik sırayı sağlar. Diğer bir ifadeyle, birinci kısıt her bir işin ardışık iki işleminin başlama zamanları arasındaki farkın en az öndeki işlemin işlem süresi kadar olmasını garanti eder. Bu bir işin bir anda sadece bir tezgâh tarafından işlenebileceği varsayımını yerine getirir. İkinci kısıt bir tezgâhın aynı anda sadece bir işlemi yapabilmesini sağlar. Üçüncü kısıt negatif olmama şartını yerine getirir; böylece bütün işlerin tamamlanacağını garanti eder. Amaç fonksiyonu ise çizelgenin uzunluğu ya da çevrim zamanı da denilen  $C_{\max}$  zamanını minimize etmektedir. Üzerinde çalışılan problemin kısıtlamalarına bağlı olarak bu sınırlara ve değişkenlere eklemeler yapılır.

Atölye tipi üretim sistemlerinde ürün çeşitliliği çok fazladır. Malzemeler süreçler arasından kesintisiz geçememekte, bekleme ve taşıma süreleri ortaya çıkmakta bundan dolayı üretim içi stok miktarı fazla olmaktadır. Üretim içi stok miktarının yüksek olması ise stokların kontrolünü oldukça zorlaştırmaktadır.

### 1.6.1. Atölye Tipi Üretim Çizelgeleme Problemlerinin Özellikleri

Çizelgelemede optimal veya optimale yaklaşan kuralları belirlemek için önemli olan konular şunlardır (Nahmias 2001, 416):

1. İşlerin makineye ulaşması: Genellikle iş sıralama probleminin anlık bir fotoğrafı çekilerek, statik olarak kabul edilip, problemin o anki değerleri üzerinden çözülmeye çalışılması yaygındır. Bunun yanında, işlenecek işlerin sayısı sürekli değişebilir. Bu nedenle çizelgeleme problemlerinin çözüm algoritmalarının çoğunun statik olmasına rağmen, pratikteki çizelgeleme problemlerinin büyük kısmı dinamiktir.
2. Atölyedeki makinelerin sayısı ve niteliği: Belirli bir iş atölyesi, bir çizelgeleme algoritmasından elde edilecek çözümü zorlaştıran ve daha da karmaşık hale getirecek bazı özelliklere sahip olabilir. Örnek olarak, genellikle tüm makineler aynı özellikte kabul edilirler. Fakat pratikte bu durum her zaman böyle olmayabilir. Belirli bir makinenin üretim oranı, makinenin durumu veya operatörün deneyimi gibi, farklı faktörlere dayanır. İşlerin niteliğine ve atölyenin yerleşim planına bağlı olarak, amaç fonksiyonunu eniyilemeyi engelleyecek bazı kısıtlar ortaya çıkabilir.
3. Atölyedeki çalışan sayısı: Atölyedeki çalışan sayısı ve aynı zamanda makinelerin çeşitliliği ve sayısı atölyenin kapasitesini ortaya çıkarır. Kapasite planlama, üretim planlamanın önemli bir yönüdür. Bir çok kontrol sistemi, kapasite kısıtlarını problem içine dahil etmez. Kapasite dinamik bir kısıttır. Kritik bir makinenin arızalanması veya kritik bir çalışanın kaybedilmesi, atölye kapasitesinde darboğaza neden olabilir. Bu durum kapasiteyi azaltıcı bir faktördür.
4. Belirli iş akışı: Çizelgeleme algoritmaları çözümlerinde, genellikle işlerin belirli bir sırada işlenmesi gerekliliği ortaya çıkar. Fakat tüm işlerin makinede işlenmek üzere hazır bulunmaları her zaman mümkün değildir. İşler, üretim sisteminin gerektirdiği akış şemasına göre oluşur ve işlenmeye hazır hale gelirler. Bunun sebebi üretim sistemi ile çizelgelemenin birbirinden bağımsız oluşudur. Dolayısıyla, algoritma için uygun olmayan iş akışları ortaya çıkabilir.
5. Alternatif kuralların değerlendirilmesi: Amaç fonksiyonunun seçimi, kullanılacak kuralın seçimindeki en önemli etkidir. Bazen birden fazla amaç fonksiyonunun optimalliği gerekebilir. Bu durumda, tek bir kural veya algoritma belirlemek imkansız hale gelir. Örnek olarak, işlenecek tüm işlerin minimum zamanda işlenmesinin yanında, işlerden herhangi birinin de teslim tarihinden sonra tamamlanması engellenmek istenebilir.

### 1.6.2. Atölye Tipi Üretim Çizelgeleme Problemlerinin Varsayımları

Atölye tipi çizelgeleme problemi için genellikle aşağıdaki varsayımlar geçerlidir (Morton, Pentico 1993, 387; Biroğul 2005,11):

- a. Her bir iş bütündür: İş farklı operasyonlardan oluşmasına rağmen, aynı işin iki operasyonu hiçbir şekilde aynı anda işlenemez.
- b. İş bölme yoktur: Her bir operasyon, başladığı zaman, diğer operasyon o makinede başlatılmadan önce tamamlanmalıdır.
- c. Her bir iş, her bir makinede bir tane olmak üzere, m tane farklı operasyona sahiptir: İşin aynı makinede iki defa işlem görmesi olasılığı hesaba katılmaz.
- d. İş iptali yoktur: Her bir iş tamamlanıncaya kadar işlenmelidir.
- e. İşlem zamanları çizelgeden bağımsızdır: Burada iki durum varsayılır;
  - Her bir hazırlık zamanı iş sırasından bağımsızdır. Yani işe ait makineyi ayarlamak için gereken zaman en son işlem gören işten bağımsızdır.
  - Makineler arasında işleri taşımak için gereken zaman ihmal edilebilmektedir.
    - f. Ara stoğa izin verilir: İşler bir sonraki makinenin boşalması için bekleyebilir.
    - g. Makinenin her bir tipinden sadece bir tane vardır: İşleri işlenmesi sırasında aynı işi yapan birden fazla makinenin olmadığı varsayılır. Bu varsayıma göre, beklemekten kaçınmak için belli makinelerin çoğaltılması durumunu ortadan kaldırır.
    - h. Makineler boş kalabilir.
    - i. Hiçbir makine, aynı anda birden fazla operasyonu işleyemez.
    - j. Makineler hiçbir zaman bozulmaz ve çizelgeleme periyodu boyunca kullanıma hazırdır.
    - k. Teknolojik kısıtlar önceden bilinir ve sabittir.
    - l. Rassallık mevcut değildir. Özellikle;
      - İşlerin sayısı bilinir ve sabittir.
      - Makinelerin sayısı bilinir ve sabittir.
      - İşlem zamanları bilinir ve sabittir.
      - Hazırlık zamanları bilinir ve sabittir.

- Belli bir problemi tanımlamak için gereken her türlü kalitatif değerler bilinir ve sabittir.

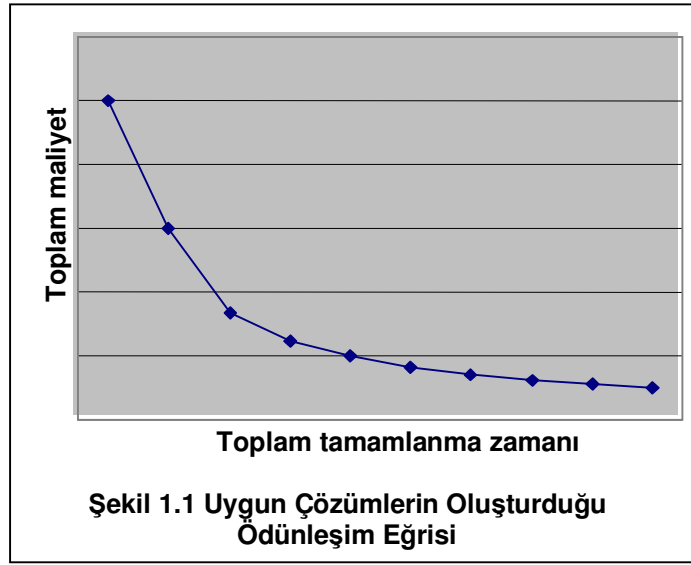
Son yıllarda yapılan çalışmalarda bu varsayımların dışına çıkan durumlarda olmuştur. Kontrol edilebilir işlem zamanı bunlardan biridir. Atölye tipi üretim çizelgeleme varsayımlarında işlem zamanlarının sabit olduğu ve bilindiği varsayılır. Ancak kontrol edilebilir işlem zamanında işlem zamanları kesin olarak bilinmemektedir.

### 1.7. Kontrol Edilebilir İşlem Zamanı

Sıralama ve çizelgelemede geçmiş araştırmaların çoğu, işin işlem zamanının idari kontrol altında olmadığını varsaymıştır. İşlem zamanı, ya önceden bilinen ve sabit olan problem parametresi olarak ya da dış güçler tarafından belirlenen rasgele değişkenler olarak ele alınmıştır (Alidaee, Kochenberger, 1996, 391). Bununla birlikte, işlem zamanını kontrol edebildiğimiz birçok endüstri uygulaması mevcuttur. Çizelgeleme problemleri işlem zamanı verilerine duyarlı olduğu için, çizelgeleme amaçlarını iyileştirmek için uygun işlem zamanlarına ihtiyacımız vardır. Olağan bir çizelgeleme amacını dikkate aldığımız zaman, her bir işin işlem zamanı mümkün olduğu kadar küçük seçilir ve çizelgeleme problemi çözülür. Bununla birlikte, daha kısa işlem zamanına ulaşmak için daha fazla kaynak kullanmak zorundayız (Gürel, Aktürk, 2007, 325).

Gerçek hayat uygulamalarında bazı işlerin işlem zamanları, işlere paylaştırılan tesisler, insan gücü, fonlar vb. kaynakların miktarına bağlıdır ve ek kaynaklar işe atandığı zaman, o işin işlem zamanı azaltılabilir. Belirli giderlerle işlerin işlem zamanlarının azaltılabildiği çizelgeleme problemine kontrol edilebilir işlem zamanlı çizelgeleme problemleri adı verilir (Jansen, Mastrolilli, 2005, 297). Böyle sistemlerde, iş çizelgeleme ve kaynak paylaşımı kararları, en verimli sistem performansına ulaşmak için dikkatlice koordine edilmelidir. Kontrol edilebilir zamanlı çizelgeleme probleminin genel bir tanımı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:  $i=1, \dots, m$  ve  $j=1, \dots, n$  için  $i$  makinesinde  $j$  işinin operasyonu  $O_{ij}$  iken,  $n$  bağımsız iş,  $J=\{1, 2, \dots, n\}$ ,  $m$  makinesinde,  $M \in \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ , işlenir. Makineler atölye tipi, akış tipi, paralel veya tek makine olabilecek özel bir teknolojik kurulumda düzenlenir.  $J$  işinin serbest kalma zamanı,  $r_j$ ,

işin işlenmek için hazır olduğu ve sisteme geldiği zamandır.  $I$  makinesinde  $j$  işinin işlem zamanı,  $p_{ij}$ ,  $O_{ij}$  operasyonunu işlemek için paylaştırılan kaynakların miktarının,  $u_{ij}$ , bir fonksiyonudur. Yani kaynak miktarı arttıkça işlem zamanı azalacak ve ek maliyet getirecek yada kaynak miktarı azaldıkça işlem zamanı artacak ve maliyet azalacaktır. Bu durumda elverişli çözümlerin oluşturduğu bir ödünleşim (trade off) eğrisi söz konusu olur. Aşağıdaki Şekil 1.1’de uygun çözümlerin oluşturduğu bir ödünleşim eğrisi gösterilmektedir (Shabtay, Steiner, 2007, 1644).



Kontrol edilebilir işlem zamanlı atölye tipi çizelgeleme probleminde uygun çözüm, operasyonların başlama zamanlarını gösteren bir  $\sigma$  çizelgesi ve operasyonların işlem zamanları ve maliyetlerini gösteren bir  $\delta$  vektörü ile belirtilir.  $\delta$ 'ya göre işlem zamanlı  $\sigma$  çizelgesinin çevrim zamanı  $T(\sigma, \delta)$  ile gösterelim ve  $\delta$ 'nın toplam maliyeti  $C(\delta)$  olsun. Bu şartlar altında kontrol edilebilir işlem zamanlı çizelgeleme ile ilgili literatüre bakıldığı zaman üç optimizasyon problemi ele alınmıştır (Jansen, Mastrolilli, 2005, 299);

P1. Belirli bir  $K > 0$  değeri için,  $C(\delta) \leq K$  'ya bağlı olarak  $T(\sigma, \delta)$ 'yi minimize etmek: İkincil ölçütlü çizelgeleme problemlerindendir. Birincil ölçüt toplam maliyettir ( $C$ ) ve ilk aşamada toplam maliyet minimize edilir. İkinci aşamada toplam maliyetin bu minimum değeri aşmaması şartı ile toplam tamamlanma zamanı ( $T$ ) minimize edilir.

P2. Belirli bir  $\tau > 0$  değeri için,  $T(\sigma, \delta) \leq \tau$  'yi garanti ederken  $C(\delta)$ 'yi minimize etmek: İkincil ölçütlü çizelgeleme problemlerindendir. Birincil ölçüt toplam tamamlanma zamanıdır (T) ve ilk aşamada toplam tamamlanma zamanı minimize edilir. İkinci aşamada toplam tamamlanma zamanının bu minimum değeri aşmaması şartı ile toplam maliyet (C) minimize edilir.

P3. Belirli bir  $\alpha > 0$  değeri için,  $T(\sigma, \delta) + \alpha C(\delta)$  değerini minimize etmek: İki ölçütlü çizelgeleme problemlerindendir. Toplam tamamlanma zamanı ve toplam maliyete önem derecelerine göre katsayı verilir ve problem tek aşamada çözülür.

Bu çalışmada, ana modelde P2 problemi çözülmeye çalışılmıştır.

## **BÖLÜM II**

### **LİTERATÜR TARAMASI**

#### **2.1. Literatür Taraması**

Atölye tipi üretimde çizelgeleme problemleri çok işlendiği için ve çalışmanın içerdiği konuların ağırlıkları nedeni ile sadece kontrol edilebilir işlem zamanları ile ilgili literatür taraması yapılmıştır.

Atölye tipi çizelgelemede kontrol edilebilir işlem zamanları kavramı, çizelgeleme araştırmacıları arasında daha çok dikkat çekmiştir. Vickson (1980a,1980b) işlem zamanlarının kontrol edilebilir olduğu tek makine çizelgeleme modelini ileri süren ilk kişiydi. Amaçlar, işlere dağılan kaynakların toplam maliyetini minimize etmek (toplam hızlandırma maliyeti) ve bir çizelgeleme ölçüsünü minimize etmektir. Çizelgeleme ölçüleri; toplam akış zamanı, maksimum gecikme ve toplam ağırlıklı tamamlanma zamanıdır. Problemin polinom olarak (çok terimli) da çözülebileceğini göstermiştir.

Van Wassenhove ve Baker (1982), kaynak dağıtım maliyeti ve sıralama kriteri arasında ayırım yapan bir yaklaşım ortaya koydu. Bu yaklaşım, problemin iki ölçütlü bir formulasyonuna yol açtı. Yaklaşımları, maksimum gecikme ve dağıtılan kaynağın toplam miktarı arasında bir ödünleşim eğrisi inşa etmiştir.

Adiri ve Yehudai (1987), bir iş işlenirken makine hizmet hızının değişmeden sabit kaldığı ve sadece o işin tamamlanması şartıyla değişebildiği durumlar olduğunu fark etti. Bu şartlarda, işin işlem zamanının sıradaki işin pozisyonuna bağlı olduğu bir çizelgeleme modeli olarak problemi formüle etmek mümkündür.

Nowicki ve Zdrzalka (1988), kontrol edilebilir işlem zamanlı iki makineli akış tipi çizelgelemeyi ele almışlardır. Onlar yapılan bir işin maliyetinin o işin işlem zamanının doğrusal bir fonksiyonu olduğunu ve minimize edilen çizelge maliyetinin toplam işlem maliyeti ile maksimum tamamlanma zamanı maliyetinin toplamı olduğunu varsaymışlardır.

Daniels ve Sarin (1989), kriter geç kalmış işlerin sayısı iken kaynak dağıtımı ve sıralamayı birleştiren tek makine çizelgelemeyi incelemişlerdir.

Nowicki ve Zdrzalka (1990) 'nın araştırması 1990'a kadarki kontrol edilebilir işlem zamanlı çizelgeleme problemlerinin sonuçlarını listeler.

Zdrzalka (1991), her bir işin serbest kalma zamanı, teslim zamanı ve kontrol edilebilir işlem zamanına sahip olduğu tek makineli çizelgeleme problemi üzerinde çalışmıştır. Bütün çizelge maliyetini minimize etmek için bir tahmin algoritması vermiştir.

Panwalkar ve Rajagopalan (1992), amaç erken bitme, geç bitme ve işlem zamanı sıkıştırmalarına dayanan cezaların toplamı iken ortak teslim tarihi atama ve tek makineli çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlardır. Problemi bir atama problemine dönüştürmüşlerdir.

Alidaee ve Ahmadian (1993), Panwalkar ve Rajagopalan (1992)'in sonuçlarını paralel makineli çizelgeleme durumuna uyarlamışlardır.

Trick (1994), çizelgeleme probleminin esnek makinelerde uygulanabilirliğe sahip olduğunu gösterdi. Modelinde, amaçlar (1) işlere dağıtılan kaynağın toplam maliyeti ve (2) işlere dağıtılan kaynağın toplam maliyeti artı çevrim zamanını minimize etmek için işlerin optimum işlem zamanlarını belirleme ve makinelere işleri atamayı içeriyordu.

Cheng vd.(1996), teslim zamanı için cezanın; erken bitme, geç bitme ve işlem zamanı sıkıştırmaları için cezalar içeren amaç fonksiyonuna eklendiği teslim zamanı atama ve tek makine çizelgelemeyi dikkate almışlardır.

Alidaee ve Kochenberger (1996), her bir iş için kontrol edilebilir zamanlı tek ve paralel makineli çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlardır. J işinin işlem zamanının çizelgede işin pozisyonuna bağlı olduğunu ve o işi işlemek için paylaştırılan birim kaynak miktarının bir fonksiyonu olduğunu göstermişlerdir.

Karabati ve Kouvelis (1997), periyodik bir çizelgeleme yaklaşımı altında işleyen çok ürünli, deterministik akış hattı için eş çizelgeleme ve optimal işlem zamanı karar problemini eş zamanlı ele almışlardır. İlk önce işlem zamanı kararı alt problemi için bir çözüm metodu bulmuşlar, daha sonra her iki problemi aynı anda çözmek için tekrarlı bir prosedür geliştirmişlerdir.

Adamopoulos, Pappis ve Karacapilidis (1999), amaç fonksiyonu, maksimum akış zamanını ve işlem maliyetini minimize etmek olan, bulanık ve kontrol edilebilir işlem zamanlı işlerin tek makinede çizelgelenmesi problemi üzerinde çalışmışlardır.

Biskup ve Cheng (1999), erken bitme, geç bitme ve işlem zamanı sıkıştırması için cezalar içeren amaç fonksiyonuna tamamlanma zamanı için cezanın eklendiği tek makine çizelgeleme ve teslim tarihi atamayı dikkate almışlardır.

Biskup ve Jahnke (2001), bir işler kümesine ortak teslim zamanı atama ve onları tek makinede çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlardır. Teslim zamanı atama maliyetinin yanı sıra, ikinci amaç geç kalan işlerin sayısını minimize etmek iken birinci amaç erken bitme ve geç bitme cezalarının toplamını minimize etmektir.

Hoogeveen ve Woeginger (2002), tek bir amaçta ağırlıklı akış zamanı maliyeti ve kaynak dağıtım maliyetini birleştirmiştir.

Mastrolilli (2003), her iş için verilen serbest kalma zamanıyla benzer paralel makinelerde işlem maliyeti sınırlamasına bağlı olarak maksimum akış zamanını minimize eden problem üzerinde çalışmışlardır

Ng vd. (2003), değişken bir ortak teslim tarihli tek makine problemini dikkate almıştır. Çizelgeleme, teslim tarihi atama ve kaynak tüketim maliyetlerinin doğrusal birleşimini minimize etmek için bir algoritma sunmuşlardır.

Shabtay ve Kaspi (2004), minimum toplam ağırlıklı tamamlanma zamanlı tek makine çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Çok terimli zaman algoritmaları kullanarak çözülebilen bazı özel durumları analiz etmiş ve sunmuşlardır. Genel durumlar içinde sezgisel algoritmalar sunmuşlardır.

Ng vd. (2004), ortaklaşa sıkıştırılabilir hazırlık ve işlem zamanlı tek makine çizelgeleme üzerinde çalışmışlardır. Kaynak tüketiminin optimal miktarını ve optimal parti sırasını bulmak için çok terimli zaman algoritmaları sunmuşlardır, öyle ki ya toplam ağırlıklı kaynak tüketiminde bir üst sınıra bağlı olarak iş tamamlanma zamanı minimize edilmiş, yada toplam iş tamamlanma zamanında bir üst sınıra bağlı olarak toplam ağırlıklı kaynak tüketimi minimize edilmiştir.

Jansen ve Mastrolilli (2004), paralel makineli sistemde kontrol edilebilir işlem zamanı üzerinde çalışmış ve işlem maliyeti sınırlamasına bağlı olarak çevrim zamanını minimize eden ve çevrim zamanı sınırlamasına bağlı olarak işlem maliyetini minimize eden, işlem maliyeti ve çevrim zamanı toplamını minimize eden problem için çok terimli zaman tahmin şemaları sunmuşlardır.

Jansen ve Mastrolilli (2005), işlerin kontrol edilebilir işlem zamanlarına sahip olduğu varsayımı altında atölye tipi çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Kontrol edilebilir işlem zamanlarının iki modeli üzerinde durulmuştur: Sürekli işlem zamanı ve kesikli işlem zamanı. Her iki model için, iş başına düşen operasyonların ve makinelerin sayısı sabit iken polinom zamanlı tahmin semaları sunmuşlardır.

Cheng, Kovalyov, Shakhlevich (2006), işlem zamanı kadar serbest kalma zamanının da kontrol edilebilir parametre olduğu tek makine çizelgeleme problemi ile ilgilenmiş ve bu parametrelerin belirli bir aralık içinde değişebilir olduğunu varsaymıştır. Bütün serbest kalma zamanları aynı sınır değere sahip ve işlem zamanı aralığı isteğe bağlı iken, ilk değerlerinden sıkıştırılan işlem zamanı ile serbest kalma zamanının

maliyetinin sıkıştırma miktarının doğrusal bir fonksiyonu olduğu varsayılmıştır. Toplam sıkıştırma maliyeti ile çevrim zamanı minimize edilmiştir.

Gürel ve Aktürk (2007), toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı ve imalat maliyetini minimize eden amaçlarla iki amaçlı problem üzerinde çalışmışlardır. İşlem zamanı kararlarının çizelgeleme performansı kadar imalat maliyetini etkilediğini ortaya koymuşlardır.

## **BÖLÜM III**

### **MATEMATİKSEL MODELİN KURULMASI**

#### **3.1. Problemin Tanımlanması**

Problemin konusu, ele alınan işletme tarafından üretimi istenen, sipariş miktarları belirli olan, her birinin üretimi için çok aşamalı farklı rotalarda işlem gereken birden fazla parçanın, birden fazla makinede üretilmesi durumunda, belirli varsayımlar ve kısıtlar altında iş sıralamalarının yapılarak minimum tamamlanma zamanına bağlı olarak minimum maliyetin belirlenmesidir.

Modelin kurulması esnasında dikkate alınan parçalara ait işlemlerin ve sistemdeki makinelerin özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Parçalar üzerinde gerçekleştirilecek işlemlerin teknolojik sıraları ve süreleri bellidir.
- Parçaların işlemleri için 5 farklı makine ihtiyacı bulunmaktadır. Bunlar; 1. makine kesme makinesi, 2. makine kenar bantlama makinesi, 3. makine küçük delik makinesi, 4. makine büyük delik makinesi, 5. makine çok işlemli CNC makinesidir.
- Birinci makine olan kesme makinesi bir anda aynı üç parçayı kesebilmektedir. Bu yüzden o makinede o anda üretilen bir parça için üretim miktarına bağlı olarak toplam operasyon süresi; sipariş miktarının üçe bölümünden elde edilen sayının en yakın tam sayıya yükseltilerek birim operasyon süresiyle çarpılması sonucu hesaplanmıştır.
- İkinci makine olan kenar bantlama makinesi iki ayrı hız ayarına sahiptir. Bunlar normal ve hızlandırılmış hız ayarıdır. Şayet makine hızlandırılmış ayarda çalıştırılırsa parçalar daha kısa sürede işlenmektedir. Fakat daha fazla kaynak harcanmasından dolayı belirli bir maliyete sebep olmaktadır.

- Beşinci makine olan çok işlemli CNC makinesi ise benzer işlem gerektiren parçaları aynı anda işleyebilmektedir.
- Her bir parça farklı sıralarda en çok dört, en az üç işlem görmektedir.

### 3.2. Varsayımların Koyulması

1. Makine hazırlık süreleri ve taşıma süreleri ihmal edilmektedir.
2. Sipariş miktarı üretim süresince sabittir ve değiştirilemez.
3. Bütün n adet parça sıfıncı zamanda işlenmeye hazır durumda beklemektedir.
4. Her parça j operasyona ve her operasyonda farklı makinelere ihtiyaç duymaktadır.
5. Makinelerin önceden rezervasyon yapılmasına izin verilmez. Her parçanın ilk operasyonu önce başlar, ikinci operasyonun başlayabilmesi için birincinin tamamlanması gerekir.
6. Çizelgeleme periyodu boyunca makineler sabittir ve mevcut yerinde kapasiteleri aynıdır.
7. Bir işlem aynı anda birden fazla makinede yapılamaz.
8. Bir parçaya ait operasyon bölünmez o makinede tamamlanması gerekir.
9. Her tip makineden sadece bir tane mevcuttur.
10. Tüm makineler sıfıncı zamanda hazırdır.

### 3.3. Modelin Kurulması

Kurulan modelin amacı, sipariş miktarları belirli olan, her birinin üretimi için çok aşamalı işlem gerektiren birden fazla parçanın, birden fazla makinede üretilmesi durumunda, iş ve işlem sıralamalarının yapılması ve minimum tamamlanma zamanına bağlı olarak minimum maliyeti bulmaktır.

Model iki aşamalı olarak çözülmektedir. Birinci aşamada son parçanın minimum tamamlanma zamanının bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu nedenle, ilk olarak amaç fonksiyonunda son parçanın tamamlanma zamanının minimize edilmesi gerekmektedir.

Birinci aşamanın sonunda elde edilen son parçanın tamamlanma zamanı ikinci aşamaya sınır olarak eklenecektir. Yani, son parçanın minimum tamamlanma zamanı bir  $T^*$  değeri olarak bulunduysa ikinci aşamada son parçanın tamamlanma zamanının bu  $T^*$  değerinden büyük olamayacağına dair bir sınır eklenmiştir. İkinci aşamanın amaç fonksiyonunda ise toplam maliyetin minimize edilmesi istenmiştir.

### 3.3.1. Birinci Aşama İçin Modelin Kurulması

Önerilen tamsayılı doğrusal programlama modelinin amaç fonksiyonunda öncelikle son parçanın tamamlanma zamanının minimize edilmesi gerekmektedir.

#### 3.3.1.1. Değişkenlerin Tanımlanması

- **İndisler ve Kümeler**

$i, k$  : Parça indisleri

$i, k \in P, P = (1, 2, \dots, 114)$  ; Parçalar kümesi

$j, l$  : Operasyon indisleri

$j, l \in O, O = (1, 2, 3, 4)$  ; Operasyonlar kümesi

$O_i$  :  $i$  parçasına ait operasyonlar kümesi

$O_i \subseteq O$

$m$  : Makine indisleri

$m \in M, M = (1, 2, 3, 4, 5)$  ; Makineler kümesi

$M_j$  :  $j$  operasyonunun yapılabildiği makineler kümesi

$M_j \subseteq M$

- **Parametreler**

$P_{ijm}$  :  $i$  parçasının  $j$  operasyonunun  $m$  makinesinde işlem süresi

$C_{ijm}$  :  $i$  parçasının  $j$  operasyonunun  $m$  makinesinde üretim maliyeti

- **Değişkenler**

$T$  : En son parçanın tamamlanma zamanı

$C$  : Toplam maliyet

$T_{ijm}$  :  $i$  parçasının  $j$  operasyonunun  $m$  makinesinde tamamlanma zamanı

$B_{ijm}$  : i parçasının j operasyonunun m makinesinde başlama zamanı

: 1 m makinesinde önce k parçasının l operasyonu sonra i parçasının j operasyonu yapılmazsa

$L_{ijklm}$

: 0 m makinesinde önce k parçasının l operasyonu sonra i parçasının j operasyonu yapılsa

: 1 i parçasının j operasyonu 2 nolu makinede normal hız ayarında üretilirse

$G_{ij2}$

: 0 i parçasının j operasyonu 2 nolu makinede hızlandırılmış ayarda üretilirse

### 3.3.1.2. Sınırların ve Amaç Fonksiyonunun Oluşturulması

- **1. SINIRLAR:** i parçasının j operasyonunun 2 nolu makinede normal hız ayarında mı yoksa hızlandırılmış hız ayarında mı işleneceğini seçerek işlem süresini belirlemektedir.

$$P_{ij2} = (\text{normal süre}) * G_{ij2} + (\text{hızlandırılmış süre}) * (1 - G_{ij2}) \quad \forall (i \in P, j \in O_i)$$

- **2. SINIRLAR:** i parçasının j operasyonunun 2 nolu makinede seçilen hız ayarına denk gelen maliyetinin seçilmesini sağlayan sınırdır.

$$C_{ij2} = (\text{normal maliyet}) * G_{ij2} + (\text{hızlandırılmış maliyet}) * (1 - G_{ij2}) \quad \forall (i \in P, j \in O_i)$$

- **3. SINIRLAR:** İkinci makinedeki toplam maliyeti belirleyen sınırdır.

$$C = \sum_{i \in P} \sum_{j \in O_i} C_{ij2}$$

- **4. SINIRLAR:** Parçaların başlama zamanlarına ( $B_{ijm}$ ), işlem sürelerinin ( $P_{ijm}$ ) eklenmesiyle parçaların tamamlanma zamanlarını ( $T_{ijm}$ ) vermektedir.

$$T_{ijm} = B_{ijm} + P_{ijm} \quad \forall (i \in P, j \in O_i, m \in M_j)$$

- **5. ve 6. SINIRLAR:** 5. sınırlar, parçaların önceden belirlenmiş teknolojik sıraya göre başlama zamanlarının ( $B_{ijm}$ ) en alt değerlerini belirlemekte, son parçanın tamamlanma zamanını tespit etmektedir.

Birbirini takip eden işlemler için ise aşağıdaki sınırlar yazılmıştır. Aynı parçaya ait önceki operasyon bitmeden sonraki operasyon başlatılamaz.

$$B_{ijm} \geq T_{i(j-1)m} \quad \forall (i \in P, j \in (2, \dots, |O_i|), m \in M_j)$$

$|O_i|$  : i. parçaya ait son operasyonu temsil etmektedir.

Son parçanın son operasyonunun tamamlanma zamanını belirlemek için ise en büyük tamamlanma zamanını seçen aşağıdaki sınırlar yazılmıştır;

$$T \geq T_{i|O_i|m} \quad \forall i \in P$$

- **7. SINIRLAR:** Bir makinenin aynı anda sadece bir parçayı işlemesini garanti eden sınırdır.

$$B_{ijm} \geq T_{klm} - M * L_{ijklm}$$

$$B_{klm} \geq T_{ijm} - M * (1 - L_{ijklm}) \quad \forall (i, k \in P; j, l \in O_i, m \in M_j)$$

$$M = \text{büyük bir katsayı} \quad i \neq k$$

- **AMAÇ FONKSİYONU:** Birinci aşamadaki amaç fonksiyonunda operasyonların tümünün tamamlanma zamanı minimize edilmeye çalışılır.

$$\text{MIN} = T$$

Son olarakta modele tam sayılı değişkenler tanıtılarak modelin birinci aşaması tamamlanmış olur.

### 3.3.2. İkinci Aşama İçin Modelin Kurulması

İkinci aşamada, tüm sınırlar birinci aşamadakinin aynısıdır. Bu sınırlara ilave olarak son parçanın tamamlanma zamanının ilk aşamada bulunan minimum değeri aşmaması şartını yerine getiren sınır eklenmiştir. Bu aşamada amaç fonksiyonunda toplam maliyet minimize edilmiştir.

- **EKLENEN 8. SINIR:** Birinci aşamanın sonucuna göre elde edilen son parçanın minimum tamamlanma zamanı bir  $T^*$  değeri bulunduysa ikinci aşamada son parçanın tamamlanma zamanının bu  $T^*$  değerini aşmaması gerektiğine dair sınır eklenmiştir.

$$T \leq T^*$$

- **AMAÇ FONKSİYONU:** İkinci aşamadaki amaç fonksiyonunda parçaların toplam maliyeti, son parçanın tamamlanma zamanının  $T^*$  değerini aşmaması koşulu altında minimize edilmeye çalışılır.

$$\text{MIN} = C$$

Son olarak da modele tam sayılı değişkenler tanıtılarak model tamamlanmış olur.

### 3.4. Önerilen Modelin Küçük Bir Örnek Problem Üzerinde Uygulanması

Örnek problemde, çizelgelemesi yapılmak için 8 adet parça seçilmiştir. Bunlar; 2, 3, 10, 41, 44, 76, 109 ve 111 parçalarıdır. Bu parçalar için kurulan küçük model toplam 194 sınır ve 66 sıfır-bir değişkeninden oluşmaktadır. Örnek seçilen parçaların işlem sıraları ve süreleri aşağıdaki Tablo 3.1’de verilmiştir.

Birinci aşamadaki amaç fonksiyonu, son parçanın tamamlanma zamanını minimize etmektir.

MIN=T;

Tablo 3.1. Örnek Seçilen 8 Parçanın Operasyon Sıraları ve Süreleri

| PARÇA KODU | 1.OPERASYON |              | 2.OPERASYON |              | 3.OPERASYON |              | 4.OPERASYON |              |
|------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|            | Makine Kodu | İşlem süresi | Makine Kodu | İşlem süresi | Makine Kodu | İşlem süresi | Makine Kodu | İşlem süresi |
| 2          | 5. makine   | 1200         | 4. makine   | 500          | 1. makine   | 1496         |             |              |
| 3          | 1. makine   | 1258         | 2. makine   | 700/500      | 5. makine   | 1200         | 3. makine   | 700          |
| 10         | 5. makine   | 3600         | 1. makine   | 700          | 4. makine   | 1500         |             |              |
| 41         | 1. makine   | 1100         | 4. makine   | 1500         | 2. makine   | 2400/1800    |             |              |
| 44         | 5. makine   | 1800         | 3. makine   | 1050         | 1. makine   | 1000         |             |              |
| 76         | 1. makine   | 2613         | 4. makine   | 1000         | 2. makine   | 2600/1800    | 5. makine   | 2400         |
| 109        | 5. makine   | 1200         | 3. makine   | 700          | 1. makine   | 340          |             |              |
| 111        | 5. makine   | 1200         | 3. makine   | 700          | 1. makine   | 1632         |             |              |

- **1. SINIRLAR:** i parçasının j operasyonunun 2 nolu makinede normal hız ayarında mı yoksa hızlandırılmış hız ayarında mı işleneceğini seçerek işlem süresini belirlemektedir. Sınır setinin 3, 41 ve 76 parçaları için açık yazılmış hali aşağıdaki gibidir.

$$P_{322}-700 \cdot G_{322}+500 \cdot G_{322}=500;$$

$$P_{4132}-2400 \cdot G_{4132}+1800 \cdot G_{4132}=1800;$$

$$P_{7632}-2600 \cdot G_{7632}+1800 \cdot G_{7632}=1800;$$

- **2. SINIRLAR:** i parçasının j operasyonunun 2 nolu makinede seçilen hız ayarına denk gelen maliyetinin seçilmesini sağlayan sınırdır.

$$C_{322}-84 \cdot G_{322}+90 \cdot G_{322}=90;$$

$$C_{4132}-288 \cdot G_{4132}+324 \cdot G_{4132}=324;$$

$$C_{7632}-312 \cdot G_{7632}+324 \cdot G_{7632}=324;$$

- **3. SINIRLAR:** İkinci makinedeki toplam maliyeti belirleyen sınırdır.

$$C-C_{322}-C_{4132}-C_{7632}=0;$$

- **4. SINIRLAR:** Parçaların başlama zamanlarına ( $B_{ijm}$ ), işlem sürelerinin ( $P_{ijm}$ ) eklenmesiyle parçaların tamamlanma zamanlarını ( $T_{ijm}$ ) vermektedir.

$$T_{215}-B_{215}=1200;$$

$$T_{224}-B_{224}=500;$$

$$T_{231}-B_{231}=1496;$$

$$T_{311}-B_{311}=1258;$$

$$T_{322}-B_{322}-P_{322}=0;$$

$$T_{335}-B_{335}=1200;$$

$$T_{343}-B_{343}=700;$$

$$T_{1015}-B_{1015}=3600;$$

$$T_{1021}-B_{1021}=700;$$

$$T_{1034}-B_{1034}=1500;$$

$$T_{4111}-B_{4111}=1100;$$

$$T_{4124}-B_{4124}=1500;$$

$$T_{4132}-B_{4132}-P_{4132}=0;$$

$$T_{4415}-B_{4415}=1800;$$

$$T_{4423}-B_{4423}=1050;$$

$$T_{4431}-B_{4431}=1000;$$

$$T_{7611}-B_{7611}=2613;$$

$$T_{7624}-B_{7624}=1000;$$

$$T_{7632}-B_{7632}-P_{7632}=0;$$

$$T_{7645}-B_{7645}=2400;$$

$$T_{10915}-B_{10915}=1200;$$

$$T_{10923}-B_{10923}=700;$$

$$T_{10931}-B_{10931}=340;$$

$$T_{11115}-B_{11115}=1200;$$

$$T_{11123}-B_{11123}=700;$$

$$T_{11131}-B_{11131}=1632;$$

- **5. ve 6. SINIRLAR:** 5. sınırlar, parçaların önceden belirlenmiş teknolojik sıraya göre başlama zamanlarının ( $B_{ijm}$ ) en alt değerlerini belirlemekte, operasyonların tümünün tamamlanma zamanını tespit etmektedir.

$$B_{224}-T_{215} \geq 0;$$

$$B_{231}-T_{224} \geq 0;$$

$$T-T_{231} \geq 0;$$

$$B_{322}-T_{311} \geq 0;$$

$$B_{335}-T_{322} \geq 0;$$

$$B_{343}-T_{335} \geq 0;$$

$$T-T_{343} \geq 0;$$

$$B_{1021}-T_{1015} \geq 0;$$

$$B_{1034}-T_{1021} \geq 0;$$

$$T-T_{1034} \geq 0;$$

$$B_{4124}-T_{4111} \geq 0;$$

$$B_{4132}-T_{4124} \geq 0;$$

$$T-T_{4132} \geq 0;$$

$$B_{4423}-T_{4415} \geq 0;$$

$$B_{4431}-T_{4423} \geq 0;$$

$$T-T_{4431} \geq 0;$$

$$B_{7624}-T_{7611} \geq 0;$$

$$B_{7632}-T_{7624} \geq 0;$$

$$B_{7645}-T_{7632} \geq 0;$$

$$T-T_{7645} \geq 0;$$

$$B_{10923}-T_{10915} \geq 0;$$

$$B_{10931}-T_{10923} \geq 0;$$

$$T-T_{10931} \geq 0;$$

$$B_{11123}-T_{11115} \geq 0;$$

$$B_{11131}-T_{11123} \geq 0;$$

$$T-T_{11131} \geq 0;$$

- **7. SINIRLAR:** Bir makinenin aynı anda sadece bir parçayı işlemesini garanti eden sınırdır. Bu sınırın bütün makineler için yazımı çok uzun olduğu için

burada sadece beşinci makine için geçerli sınırlar yazılmıştır. Beşinci makinede 109 ve 111 parçaları aynı anda işlenebileceği için, bu iki parça için beşinci makineye ait sınırlar kaldırılmıştır.

$$\begin{aligned}
&B_{215}-T_{335}+900000*L_{21335}\geq 0; \\
&B_{335}-T_{215}-900000*L_{21335}\leq -900000; \\
&B_{215}-T_{1015}+900000*L_{211015}\geq 0; \\
&B_{1015}-T_{215}-900000*L_{211015}\leq -900000; \\
&B_{215}-T_{4415}+900000*L_{214415}\geq 0; \\
&B_{4415}-T_{215}-900000*L_{214415}\leq -900000; \\
&B_{215}-T_{7645}+900000*L_{217645}\geq 0; \\
&B_{7645}-T_{215}-900000*L_{217645}\leq -900000; \\
&B_{215}-T_{10915}+900000*L_{2110915}\geq 0; \\
&B_{10915}-T_{215}-900000*L_{2110915}\leq -900000; \\
&B_{215}-T_{11115}+900000*L_{2111115}\geq 0; \\
&B_{11115}-T_{215}-900000*L_{2111115}\leq -900000; \\
&B_{335}-T_{1015}+900000*L_{331015}\geq 0; \\
&B_{1015}-T_{335}-900000*L_{331015}\leq -900000; \\
&B_{335}-T_{4415}+900000*L_{334415}\geq 0; \\
&B_{4415}-T_{335}-900000*L_{334415}\leq -900000; \\
&B_{335}-T_{7645}+900000*L_{337645}\geq 0; \\
&B_{7645}-T_{335}-900000*L_{337645}\leq -900000; \\
&B_{335}-T_{10915}+900000*L_{3310915}\geq 0; \\
&B_{10915}-T_{335}-900000*L_{3310915}\leq -900000; \\
&B_{335}-T_{11115}+900000*L_{3311115}\geq 0; \\
&B_{11115}-T_{335}-900000*L_{3311115}\leq -900000; \\
&B_{1015}-T_{4415}+900000*L_{1014415}\geq 0; \\
&B_{4415}-T_{1015}-900000*L_{1014415}\leq -900000; \\
&B_{1015}-T_{7645}+900000*L_{1017645}\geq 0; \\
&B_{7645}-T_{1015}-900000*L_{1017645}\leq -900000; \\
&B_{1015}-T_{10915}+900000*L_{10110915}\geq 0; \\
&B_{10915}-T_{1015}-900000*L_{10110915}\leq -900000; \\
&B_{1015}-T_{11115}+900000*L_{10111115}\geq 0;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&B_{11115}-T_{1015}-900000*L_{10111115}\geq-900000; \\
&B_{4415}-T_{7645}+900000*L_{4417645}\geq 0; \\
&B_{7645}-T_{4415}-900000*L_{4417645}\geq-900000; \\
&B_{4415}-T_{10915}+900000*L_{44110915}\geq 0; \\
&B_{10915}-T_{4415}-900000*L_{44110915}\geq-900000; \\
&B_{4415}-T_{11115}+900000*L_{44111115}\geq 0; \\
&B_{11115}-T_{4415}-900000*L_{44111115}\geq-900000; \\
&B_{7645}-T_{10915}+900000*L_{76410915}\geq 0; \\
&B_{10915}-T_{7645}-900000*L_{76410915}\geq-900000; \\
&B_{7645}-T_{11115}+900000*L_{76411115}\geq 0; \\
&B_{11115}-T_{7645}-900000*L_{76411115}\geq-900000;
\end{aligned}$$

Son olarakta modele tam sayılı  $L_{ijklm}$  ve  $G_{ij2}$  değişkenleri tanıtılarak modelin birinci aşaması tamamlanmış olur.

Birinci aşamanın çözümü sonucunda minimum T değeri 11400 olarak bulunmuştur. İkinci aşamaya geçildiğinde örnek modelin amaç fonksiyonu

$$\text{MIN}=C;$$

olarak değiştirilir.  $T \leq 11400$  değeri de modele sınır olarak eklenir. Böylece minimum tamamlanma zamanına bağlı olarak minimum maliyete ulaşılmaya çalışılır.

### 3.5. Örnek Problemin Çözüm Sonuçlarının Yorumlanması

Örnek problem için yazılan modelin her iki aşamasının da çözümü EK-1’de verilmiştir. Modelin birinci aşamasının çözümü için LINGO 8.0 programı 385633 iterasyonu 57 sn’de yapmış ve optimum çözüm olan 11400 değerine ulaşmıştır. Modelin, son parçanın tamamlanma zamanını minimize ettiği görülmüştür.

Birinci aşama sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu değeri, modelin ikinci aşamasına  $T \leq 11400$  şeklinde sınır olarak eklenmiştir. Modelin ikinci aşamasının çözümü için LINGO 8.0 programı 4163 iterasyonu 1 sn’de yapmış ve optimum çözüm olan 684

değerini ulaşmıştır. Minimum tamamlanma zamanına bağlı olarak minimum toplam maliyete ulaştığı görülmüştür.

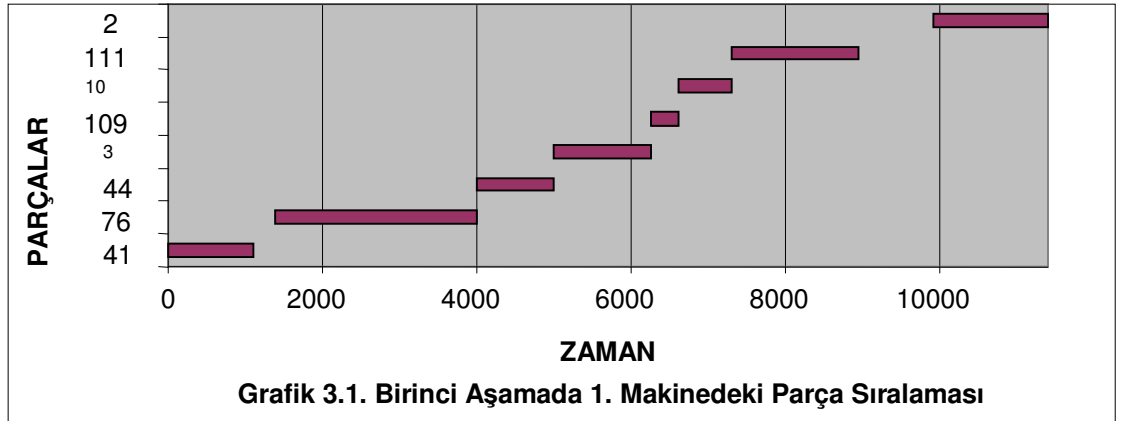
İki numaralı makinede işlem gören 3, 41 ve 76 parçaları birinci aşamada kısa işlem süresini seçerek makinenin hızlı ayarında üretilmiş, fakat ikinci aşamada maliyeti minimize etmek adına uzun işlem süresini seçerek makinenin normal hız ayarında üretilmiştir.

109 ve 111 parçaları beş numaralı makinede aynı anda işlenebileceği için modelin çözümünün birinci ve ikinci aşamasında her iki parçada aynı anda başlamış ve aynı anda tamamlanmıştır.

Çözüm sonuçlarını gösteren tablolar ve Gannt diyagramları aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.2. Birinci Aşamada 1. Makinedeki Parça Sıralaması

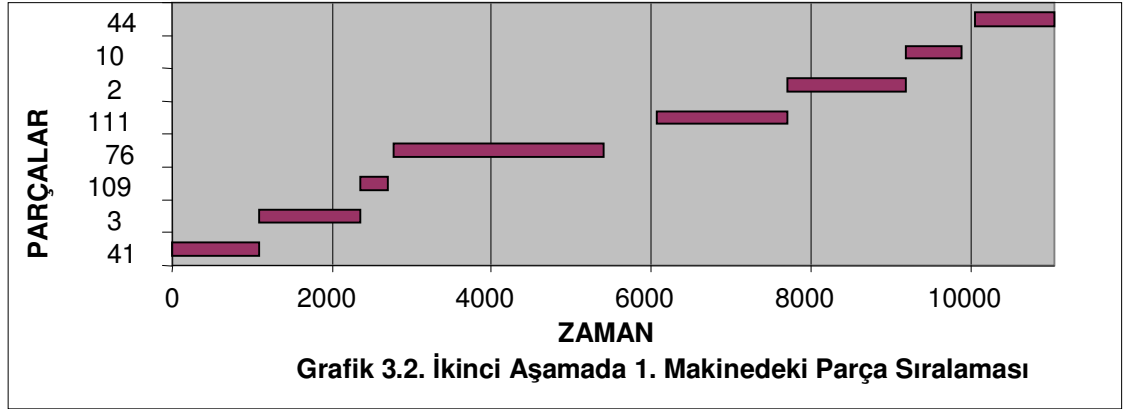
| Parça Kodu | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|------------|----------------|----------|-------------------|
| 41         | 0              | 1100     | 1100              |
| 76         | 1389           | 2613     | 4002              |
| 44         | 4002           | 1000     | 5002              |
| 3          | 5002           | 1258     | 6260              |
| 109        | 6260           | 340      | 6600              |
| 10         | 6600           | 700      | 7300              |
| 111        | 7300           | 1632     | 8932              |
| 2          | 9904           | 1496     | 11400             |



Birinci makinedeki parça sıralaması 41, 76, 44, 3, 109, 10, 111 ve 2 şeklinde olmuştur. Son parçanın tamamlanma zamanı 11400 çıkmıştır.

Tablo 3.3. İkinci Aşamada 1. Makinedeki Parça Sıralaması

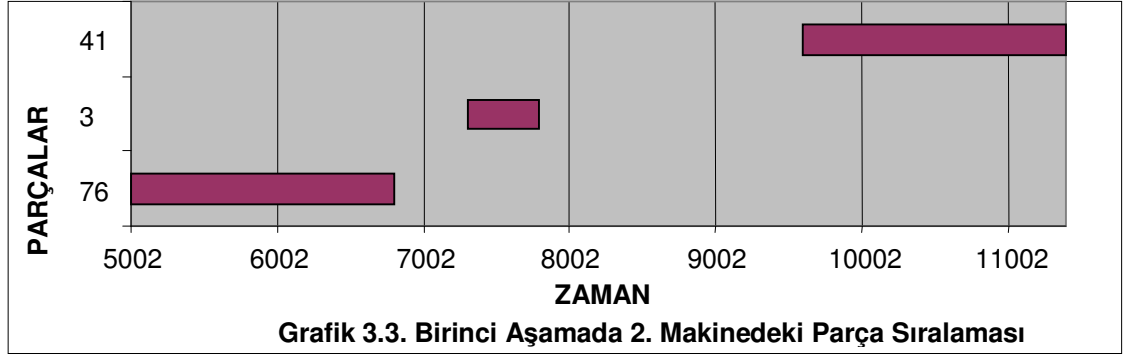
| Parça Kodu | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|------------|----------------|----------|-------------------|
| 41         | 0              | 1100     | 1100              |
| 3          | 1100           | 1258     | 2358              |
| 109        | 2358           | 340      | 2698              |
| 76         | 2787           | 2613     | 5400              |
| 111        | 6068           | 1632     | 7700              |
| 2          | 7700           | 1496     | 9196              |
| 10         | 9196           | 700      | 9896              |
| 44         | 10050          | 1000     | 11050             |



İkinci aşamada 1. makinedeki parça sıralaması birinci aşamadakinden farklı olmuştur. Ayrıca son parçanın tamamlanma zamanı da değişmiş ve 11050 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.4. Birinci Aşamada 2. Makinedeki Parça Sıralaması

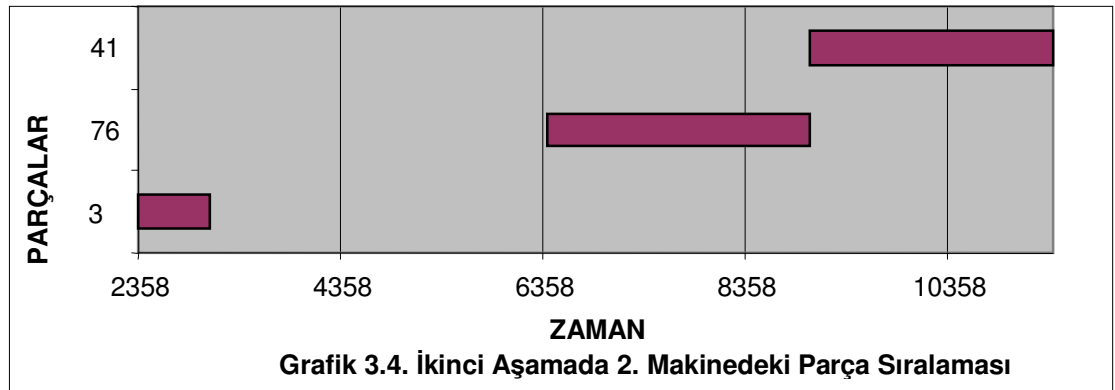
| Parça Kodu | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|------------|----------------|----------|-------------------|
| 76         | 5002           | 1800     | 6802              |
| 3          | 7300           | 500      | 7800              |
| 41         | 9600           | 1800     | 11400             |



Birinci aşamada 2. makinedeki parça sıralaması 76, 3 ve 41 sırasıyla olmuştur. Üç parçada hız ayarı olan ikinci makinede hızlı ayarı seçerek kısa işlem sürelerinde yapılmıştır. Buna bağlı olarak toplam maliyet 738 bulunmuştur. Son parçanın tamamlanma zamanı 11400 çıkmıştır

Tablo 3.5. İkinci Aşamada 2. Makinedeki Parça Sıralaması

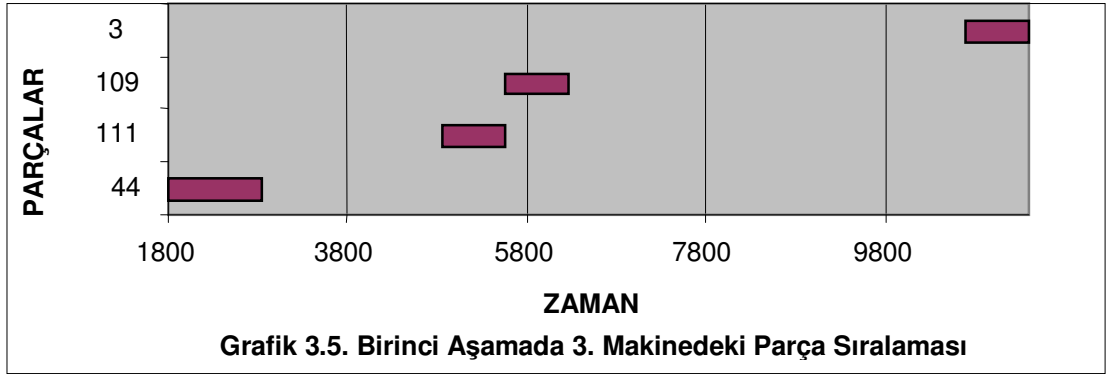
| Parça Kodu | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|------------|----------------|----------|-------------------|
| 3          | 2358           | 700      | 3058              |
| 76         | 6400           | 2600     | 9000              |
| 41         | 9000           | 2400     | 11400             |



İkinci aşamada ikinci makinedeki parça sıralaması değişmiş ve 3, 76, 41 sırasıyla olmuştur. Seçilen hız ayarı da değişmiş tüm parçalar makinenin normal hız ayarını seçerek uzun işlem süresinde yapılmıştır. Dolayısıyla toplam maliyette azalmış 684 olmuştur. Bu aşamada da son parçanın tamamlanma zamanı değişmemiş 11400 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.6. Birinci Aşamada 3. Makinedeki Parça Sıralaması

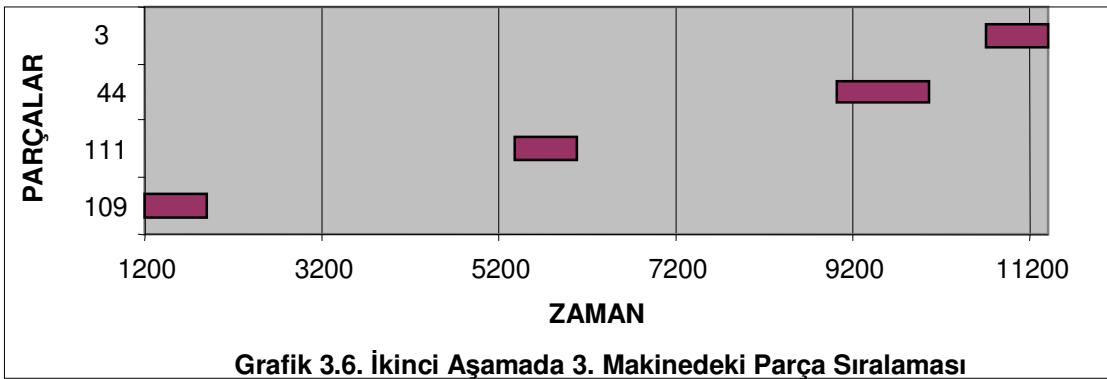
| Parça Kodu | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|------------|----------------|----------|-------------------|
| 44         | 1800           | 1050     | 2850              |
| 111        | 4860           | 700      | 5560              |
| 109        | 5560           | 700      | 6260              |
| 3          | 10700          | 700      | 11400             |



Birinci aşamada üçüncü makinedeki parça sıralaması 44, 111, 109 ve 3 sırasıyla olmuştur.

Tablo 3.7. İkinci Aşamada 3. Makinedeki Parça Sıralaması

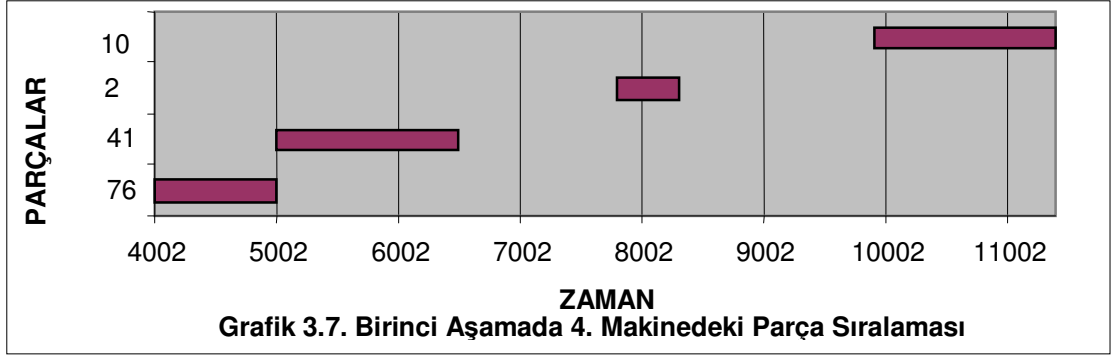
| Parça Kodu | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|------------|----------------|----------|-------------------|
| 109        | 1200           | 700      | 1900              |
| 111        | 5368           | 700      | 6068              |
| 44         | 9000           | 1050     | 10050             |
| 3          | 10700          | 700      | 11400             |



İkinci aşamada üçüncü makinedeki parça sıralaması diğer makinelerde olduğu gibi değişmiş ve 109, 111, 44 ve 3 sırasıyla olmuştur. Son parçanın tamamlanma zamanında bir değişiklik olmamıştır.

Tablo 3.8. Birinci Aşamada 4. Makinedeki Parça Sıralaması

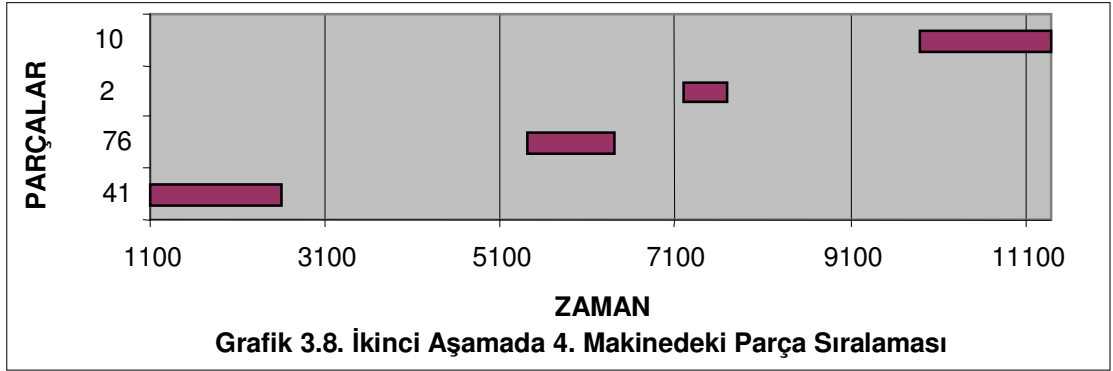
| Parça Kodu | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|------------|----------------|----------|-------------------|
| 76         | 4002           | 1000     | 5002              |
| 41         | 5002           | 1500     | 6502              |
| 2          | 7800           | 500      | 8300              |
| 10         | 9900           | 1500     | 11400             |



Birinci aşamada dördüncü makinede işlenmesi gereken dört parçanın sıralaması ise 76, 41, 2 ve 10 şeklinde olmuştur.

Tablo 3.9. İkinci Aşamada 4. Makinedeki Parça Sıralaması

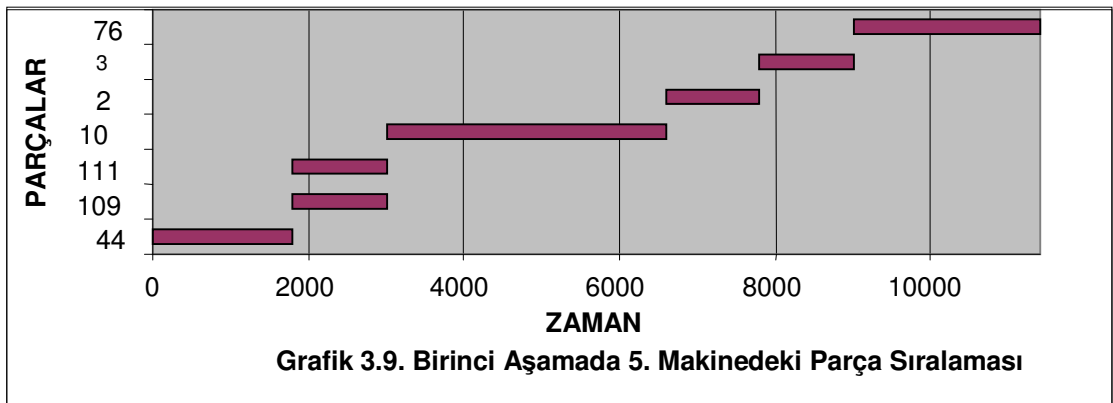
| Parça Kodu | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|------------|----------------|----------|-------------------|
| 41         | 1100           | 1500     | 2600              |
| 76         | 5400           | 1000     | 6400              |
| 2          | 7200           | 500      | 7700              |
| 10         | 9896           | 1500     | 11396             |



İkinci aşamada dördüncü makinedeki parça sıralamasında sadece son parça sıralamada aynı yerde kalmıştır. 41, 76, 2 ve 10 sırasıyla işlenmişlerdir. Son parçanın tamamlanma zamanı ikinci aşamada değişmiş ve 11400'den 11396'ya gerilemiştir.

Tablo 3.10. Birinci Aşamada 5. Makinedeki Parça Sıralaması

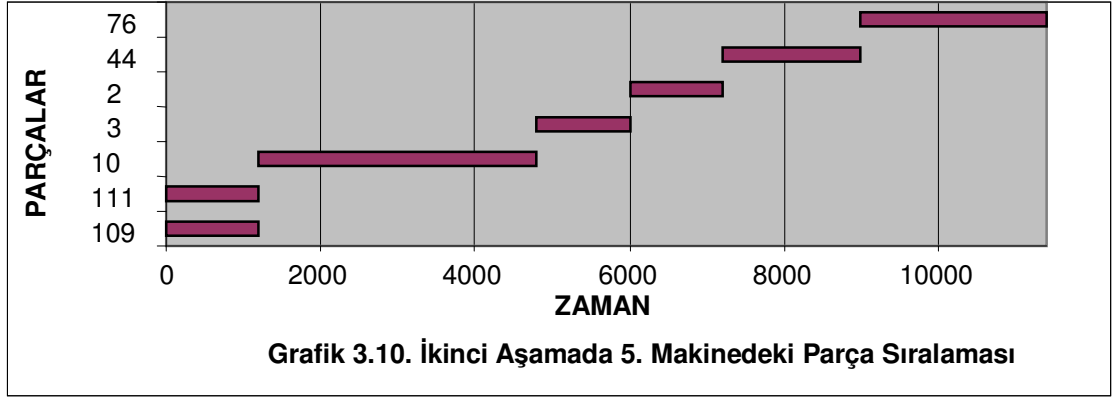
| Parça Kodu | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|------------|----------------|----------|-------------------|
| 44         | 0              | 1800     | 1800              |
| 109        | 1800           | 1200     | 3000              |
| 111        | 1800           | 1200     | 3000              |
| 10         | 3000           | 3600     | 6600              |
| 2          | 6600           | 1200     | 7800              |
| 3          | 7800           | 1200     | 9000              |
| 76         | 9000           | 2400     | 11400             |



Birinci aşamada beşinci makinenin benzer iki parçayı aynı anda işleyebilme özelliğinden dolayı 109 ve 111 parçaları aynı anda işlenmeye başlamıştır. Beşinci makine hiç boş kalmamış ve 44, 109, 111, 10, 2, 3 ve 76 parçalarını sırasıyla beklemeksizin işlemiştir.

Tablo 3.11. İkinci Aşamada 5. Makinedeki Parça Sıralaması

| Parça Kodu | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|------------|----------------|----------|-------------------|
| 109        | 0              | 1200     | 1200              |
| 111        | 0              | 1200     | 1200              |
| 10         | 1200           | 3600     | 4800              |
| 3          | 4800           | 1200     | 6000              |
| 2          | 6000           | 1200     | 7200              |
| 44         | 7200           | 1800     | 9000              |
| 76         | 9000           | 2400     | 11400             |



İkinci aşamada beşinci makine 109 ve 111 parçalarını yine aynı anda işlemeye başlamıştır. Beklemeksizin 109, 111, 10, 3, 2, 44 ve 76 sırasıyla parçaları işlemiştir.

### 3.6. Ana Modelden Türetilen İlave Modeller

Bu çalışmada geliştirilen ve 114 parça-5 makineli sistemde uygulaması yapılan ana modele, çeşitli kısıtlamalar ve buna bağlı olarak çeşitli sınırlar eklenebilir. Eklenen bu sınırlar çizelgelemede genellikle kabul edilen bir takım daraltıcı varsayımların dışına çıkmayı sağlamaktadır (Örneğin, genelde makinelerin her tipinden birer adet olduğu varsayımının dışına çıkılmış ve makinelerden ikişer adet olduğu düşünülerek model türetilmiştir). Bu bölümde ki modeller, kurulan ana modelin geliştirilmiş biçimleridir. Her bir adımda ana modele yeni sınırlar eklenecektir.

Beş ilave model türetilmiştir. İlk modelde, birden çok parçanın tamamlanma zamanının son parçanın tamamlanma zamanına eşitlenmesi engellenmiş ve parçalar arasındaki sıralama tam olarak anlaşılmıştır. İkinci modelde, ana modelin son parça olarak

belirlediği parçanın birinci önceliği taşıdığı için, diğer parçalardan önce bitmesi sağlanmıştır. Üçüncü modelde, ana modelde ki son parçanın başka iki parçadan önce bitmesi sağlanmıştır. Dördüncü modelde, her makineden iki adet olduğu varsayılarak parça sıralaması yapılmıştır. Beşinci modelde ise aynı makinede seçilen üç parçadan ikisinin aynı anda üçüncüsünün ise bunlardan önce veya sonra başlaması sağlanmıştır. Bütün bu modellerle, ana model gerçek hayatın koşullarına adım adım yaklaştırılmıştır.

Bu bölümde, ana modelin tüm özelliklerini taşıyan 5 parça-3 makineli küçük bir örnek kümesi ele alınmıştır. Bu küçük örnek öncelikle ana model ile çözülmüştür ve EK-2’de verilmiştir. Daha sonra istenen özelliklere uygun sınırlar eklenerek elde edilen modeller çözülecek ve meydana gelen farklar gösterilecektir.

Küçük örnek kümesindeki parçaların işlem sıraları ve süreleri aşağıdaki Tablo 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.12. Küçük Örnek Kümesindeki Parçaların Operasyon Sıraları ve Süreleri

| S/N | PARÇA KODU | 1.OPERASYON |                  | 2.OPERASYON |                  | 3.OPERASYON |                  |
|-----|------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|
|     |            | Makine Kodu | İşlem süresi(sn) | Makine Kodu | İşlem süresi(sn) | Makine Kodu | İşlem süresi(sn) |
| 1   | A          | 1. makine   | 1258             | 2. makine   | 500/700*         | 3. makine   | 700              |
| 2   | B          | 1. makine   | 544              | 3. makine   | 700              | 2. makine   | 800/1000         |
| 3   | C          | 2. makine   | 2100/2700        | 1. makine   | 1900             | 3. makine   | 2100             |
| 4   | D          | 3. makine   | 700              | 2. makine   | 800/1000         | 1. makine   | 442              |
| 5   | E          | 1. makine   | 402              | 2. makine   | 1400/2000        | 3. makine   | 1400             |

\* kısa süre/uzun süre

### 3.6.1. EK MODEL 1:

Ana modele, gövdesini aynen muhafaza ederek, parça sıralamasını daha kolay görebilmek için bir değişken ve sınır eklemesi yapılmış ve Ek model 1 elde edilmiştir.

Ana model, tüm parçaların tamamlanma zamanını son parçanın tamamlanma zamanına eşitlemektedir. Bu yüzden birden çok parça aynı anda son parçanın tamamlanma zamanında tamamlanıyormuş gibi görünmekte ve parçalar arasındaki sıralama tam

olarak anlaşılamamaktadır. Bu sorunu çözmek için, ana modeldeki tüm sınırların aynı kalması koşulu ile sadece aşağıdaki değişkenler ve sınırlar eklenecektir. Küçük örnek kümesi için çözüm yapılırken, çözümü daha basite indirgemek için ana modeldeki iki aşamalı çözüm, amaç fonksiyonundaki (T) ve (C) değişkenlerine önem derecesine göre katsayı eklenerek tek aşamaya indirilmiştir. Ayrıca, tüm parçaların tamamlanma zamanlarının son parçanın tamamlanma zamanına doğru çekilmesini önlemek ve parçalar arasındaki sıralamayı daha rahat görebilmek için amaç fonksiyonuna yine mutlak değeri çok küçük bir negatif katsayı ile beraber bir değişken eklenmiştir.

- **Eklenen Değişkenler**

$K_{ijm}$  = i parçasının j operasyonunun m makinesindeki tamamlanma zamanının son parçanın tamamlanma zamanından farkı

K = Tüm  $K_{ijm}$  değerlerinin toplamı

- **Eklenen Sınırlar**

Tüm parçaların tamamlanma zamanlarının, son parçanın tamamlanma zamanından farkını ve tüm bu farkların toplamını bulmayı sağlar.

$$(1) T_{A33} + K_{A33} = T;$$

A parçasının 3. makinedeki 3.operasyonunun yani son operasyonunun tamamlanma zamanı ( $T_{A33}$ ); sistemdeki son parçanın tamamlanma zamanından (T),  $K_{A33}$  kadar küçüktür. Aynı sınırın diğer parçaların son operasyonları için yazılmış biçimleri de aşağıda verilmiştir.

$$T_{B32} + K_{B32} = T;$$

$$T_{C33} + K_{C33} = T;$$

$$T_{D31} + K_{D31} = T;$$

$$T_{E33} + K_{E33} = T;$$

$$(2) K = K_{A33} + K_{B32} + K_{C33} + K_{D31} + K_{E33};$$

Eklenen ikinci sınır, tüm parçaların son operasyonlarının tamamlanma zamanları ile sistemdeki son parçanın tamamlanma zamanı (T) arasındaki farkların toplamını K değişkeni ile bulmayı sağlar.

- **Değişen Amaç Fonksiyonu**

$$\text{MIN}=1000*T+C-0.00001*K;$$

Küçük örnek kümesinin tek aşamaya indirilmiş çözüm aşamasında, birinci önceliğe sahip amaç son parçanın tamamlanma zamanının minimize edilmesi olduğu için (T) değişkeninin başına 1000 katsayısı eklenmiştir. İkinci önceliğe sahip amaç, toplam maliyeti minimize etmek olduğu için (C) değişkeninin başına daha küçük olan 1 katsayısı eklenmiştir. İş sıralamalarını daha kolay görebilmek için amaç fonksiyonuna eklenen (K) değişkeninin başına ise -0.00001 katsayısı eklenmiştir.

Son olarak da modele tam sayılı ve sıfır bir değişkenler tanıtılarak modelin yazılması tamamlanmış olur.

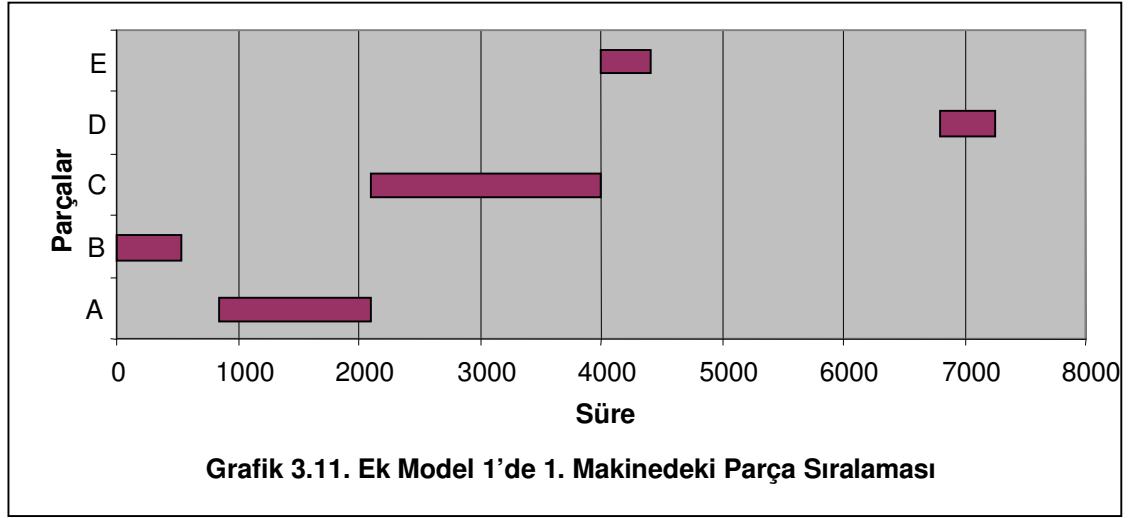
- **Ek Model 1 Çözümü**

Tek aşamalı çözüm sonucunda T değeri 7500 sn, C değeri ise 954 olarak bulunmuştur. Sonuçta, minimum toplam tamamlanma zamanına bağlı olarak minimum toplam maliyete ulaşıldığı görülmüştür.

Çözüm sonuçlarını gösteren tablolar ve Gannt diyagramları aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.13. Ek Model 1’de 1. Makinedeki Parça Sıralaması

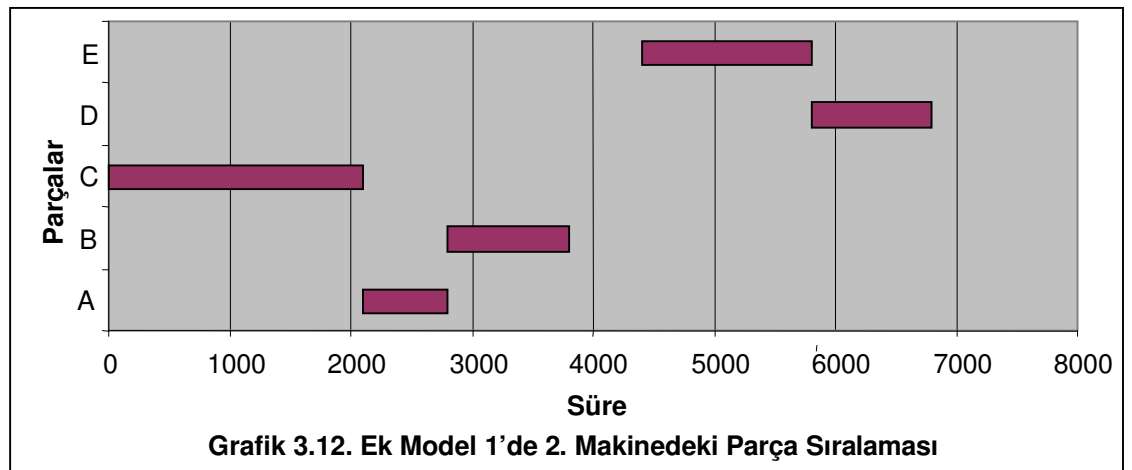
| Parça | Operasyon    | Başlama Zamanı | Süre (sn) | Tamamlanma Zamanı |
|-------|--------------|----------------|-----------|-------------------|
| A     | 1. operasyon | 842            | 1258      | 2100              |
| B     | 1. operasyon | 0              | 544       | 544               |
| C     | 2. operasyon | 2100           | 1900      | 4000              |
| D     | 3. operasyon | 6802           | 442       | 7244              |
| E     | 1. operasyon | 4000           | 402       | 4402              |



Birinci makinedeki parça sıralaması B, A, C, E ve D şeklinde oluşmuştur. Bu makinede işlenen en son parça olan D parçası 7244. saniyede tamamlanmıştır.

Tablo 3.14. Ek Model 1'de 2. Makinedeki Parça Sıralaması

| Parça | Operasyon    | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|-------|--------------|----------------|----------|-------------------|
| A     | 2. operasyon | 2100           | 700      | 2800              |
| B     | 3. operasyon | 2800           | 1000     | 3800              |
| C     | 1. operasyon | 0              | 2100     | 2100              |
| D     | 2. operasyon | 5802           | 1000     | 6802              |
| E     | 2. operasyon | 4402           | 1400     | 5802              |

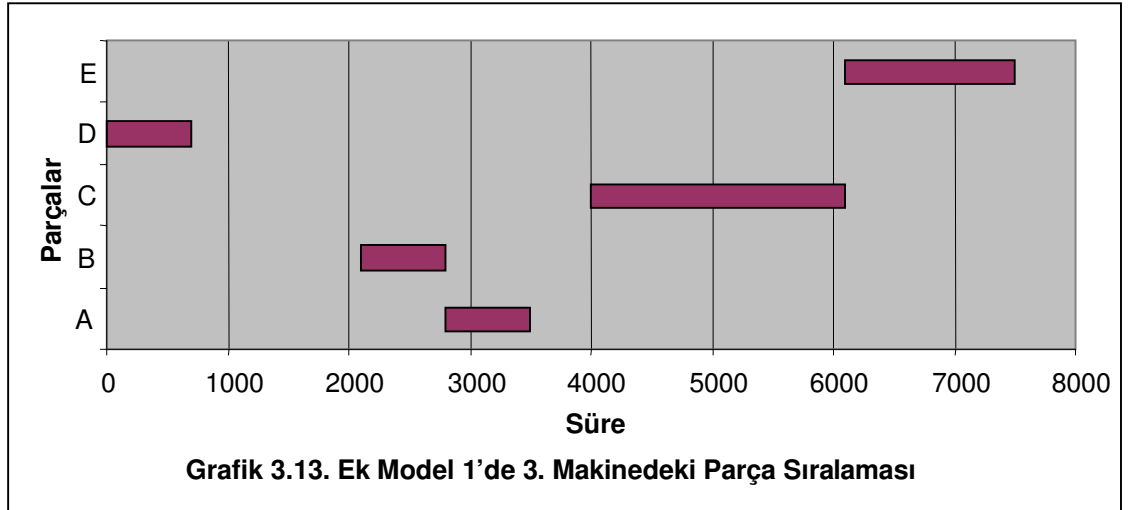


İkinci makinedeki parça sıralaması C, A, B, E ve D şeklinde oluşmuştur. Bu makinede işlenen en son parça olan D parçası 6802. saniyede tamamlanmıştır. İkinci makinenin

hız ayarından dolayı, her bir parça maliyetine göre iki hız ayarından birini seçmek durumunda idi. A, B ve D parçaları normal hız ayarında üretilirken C ve E parçaları hızlı ayarda üretilmiştir. K ve  $K_{ijm}$  değişkenleri eklenmeden önce bu makinedeki sıralama C, A, D, E ve B şeklinde olmuş ve B parçasının tamamlanma zamanı çözüm programı tarafından en büyük tamamlanma zamanı olan 7500. sn'de bitirilmiştir.

Tablo 3.15. Ek Model 1’de 3. Makinedeki Parça Sıralaması

| Parça | Operasyon    | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|-------|--------------|----------------|----------|-------------------|
| A     | 3. operasyon | 2800           | 700      | 3500              |
| B     | 2. operasyon | 2100           | 700      | 2800              |
| C     | 3. operasyon | 4000           | 2100     | 6100              |
| D     | 1. operasyon | 0              | 700      | 700               |
| E     | 3. operasyon | 6100           | 1400     | 7500              |



Üçüncü makinedeki parça sıralaması D, B, A, C ve E şeklinde oluşmuştur. Bu makinede işlenen en son parça olan E parçası 7500. saniyede tamamlanmıştır. K ve  $K_{ijm}$  değişkenleri eklenmeden önce bu makinedeki sıralama B, D, A, C ve E şeklinde olmuş ve E parçasının tamamlanma zamanı, son parçanın tamamlanma zamanı olan 7500. saniyede bitirilmiştir. Bu iki değişken eklenmeden önceki modelde, yani ana modelde 2. makinede B parçası, 3. makinede ise E parçası 7500. saniyede tamamlanmıştır. Dolayısıyla parça sıralaması net olarak görülememiştir. Oysa şimdi, hiçbir parçanın tamamlanma zamanı birbirine eşit olmadığı için ya da en büyük tamamlanma zamanına sahip birden çok parça olmadığı için sıralama net olarak görülebilmektedir.

Tablo 3.16. K ve  $K_{ijm}$  Değişkenleri Eklenmeden Önceki Parça Sıralaması ile  
Eklenmekten Sonraki Parça Sıralaması

|                 | <b>K ve <math>K_{ijm}</math> Değişkenleri Eklenmeden Önce</b> |                          | <b>K ve <math>K_{ijm}</math> Değişkenleri Eklenmekten Sonra</b> |                          |
|-----------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|
|                 | <b>Tamamlanan Parça</b>                                       | <b>Tamamlanma Zamanı</b> | <b>Tamamlanan Parça</b>                                         | <b>Tamamlanma Zamanı</b> |
| <b>1. Parça</b> | A                                                             | 4000                     | A                                                               | 3500                     |
| <b>2. Parça</b> | D                                                             | 4844                     | B                                                               | 3800                     |
| <b>3. Parça</b> | C                                                             | 6100                     | C                                                               | 6100                     |
| <b>4. Parça</b> | E                                                             | <b>7500</b>              | D                                                               | 7244                     |
| <b>5. Parça</b> | B                                                             | <b>7500</b>              | E                                                               | <b>7500</b>              |

### 3.6.2. EK MODEL 2:

Bu ek modelde, bir önceki adımda son parça olan E parçasının tüm diğer parçalardan önce bitmesi istenmiştir. Amaç fonksiyonu ve tüm sınırlar Ek Model 1'in aynısıdır. İlave değişkene gerek yoktur. Sadece aşağıdaki sınırlar eklenmiştir.

- **Eklenen Sınırlar**

(1)  $T_{E33} \leq T_{A33}$ ;

(2)  $T_{E33} \leq T_{B32}$ ;

(3)  $T_{E33} \leq T_{C33}$ ;

(4)  $T_{E33} \leq T_{D31}$ ;

Dört sınırda da, E parçasının 3. makinedeki 3. operasyonunun yani son operasyonunun tamamlanma zamanının, diğer tüm parçaların son operasyonlarının tamamlanma zamanından küçük olması sağlanmaktadır. Dolayısıyla, E parçasının tüm parçalardan önce tamamlanması sağlanmıştır.

- **Ek Model 2 Çözümü**

Aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi modele eklenen sınırlar istenileni gerçekleştirmiş ve E parçası daha önce en son tamamlanan parça iken eklenen sınırlar sayesinde tüm parçalardan önce tamamlanmıştır. Ayrıca, daha önce 7500 sn olarak bulunan minimum

tamamlanma zamanı eklenen sınırlarla 7700 sn'ye yükselmiştir. Çünkü daha önce ana model zaten olabilecek en küçük tamamlanma zamanına bağlı parça sıralamasını bulmuştur. Fakat eklenen sınırlarla modele bu ideal durumu bozacak bir şart dikte edilmiştir. O yüzden bu aşamadaki en son parçanın tamamlanma zamanı 7700 sn olarak bulunmuştur.

Tablo 3.17. Ek Model 1 ve Ek Model 2 Arasındaki Parça Sıralaması Farkı

|                 | <b>EK MODEL 1 ÇÖZÜMÜ</b> |                          | <b>EK MODEL 2 ÇÖZÜM SONUCU</b> |                          |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|
|                 | <b>Tamamlanan Parça</b>  | <b>Tamamlanma Zamanı</b> | <b>Tamamlanan Parça</b>        | <b>Tamamlanma Zamanı</b> |
| <b>1. Parça</b> | A                        | 3500                     | E                              | 4900                     |
| <b>2. Parça</b> | B                        | 3800                     | D                              | 4942                     |
| <b>3. Parça</b> | C                        | 6100                     | B                              | 5500                     |
| <b>4. Parça</b> | D                        | 7244                     | C                              | 7000                     |
| <b>5. Parça</b> | E                        | 7500                     | A                              | 7700                     |

### 3.6.3. EK MODEL 3:

Bu ek modelde, E parçasının C ve D parçalarından önce bitmesi istenmiştir. Amaç fonksiyonu ve tüm sınırlar Ek Model 1'in aynısıdır. İlave değişkene gerek yoktur. Sadece aşağıdaki sınırlar eklenmiştir.

- **Eklenen Sınırlar**

$$(1) T_{E33} \leq T_{C33};$$

$$(2) T_{E33} \leq T_{D31};$$

Birinci sınır, E parçasının 3. makinedeki 3. operasyonunun yani son operasyonunun tamamlanma zamanının, C parçasının 3. makinedeki 3. operasyonunun yani son operasyonunun tamamlanma zamanından küçük olmasını sağlar. İkinci sınır, E parçasının 3. makinedeki 3. operasyonunun yani son operasyonunun tamamlanma zamanının, D parçasının 1. makinedeki 3. operasyonunun yani son operasyonunun tamamlanma zamanından küçük olmasını sağlar. Dolayısıyla bu iki sınır, E parçasının C ve D parçalarından önce tamamlanmasını sağlar.

Tablo 3.18. Ek Model 1 ve Ek Model 3 Arasındaki Parça Sıralaması Farkı

|          | EK MODEL 1 ÇÖZÜMÜ |                   | EK MODEL 3 ÇÖZÜM SONUCU |                   |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
|          | Tamamlanan Parça  | Tamamlanma Zamanı | Tamamlanan Parça        | Tamamlanma Zamanı |
| 1. Parça | A                 | 3500              | A                       | 3300              |
| 2. Parça | B                 | 3800              | B                       | 5000              |
| 3. Parça | C                 | 6100              | E                       | 5400              |
| 4. Parça | D                 | 7244              | D                       | 6442              |
| 5. Parça | E                 | 7500              | C                       | 7500              |

- **Ek Model 3 Çözümü**

Ek model 3’de E parçasının C ve D parçalarından önce tamamlanması amaçlanmıştır. Tablo 3.18.’de görüldüğü üzere E parçası eklenen sınırlar sayesinde D ve C parçasından önce tamamlanmıştır. Parça sıralaması değişerek A, B, E, D ve C şeklinde olmuştur.

#### 3.6.4. EK MODEL 4:

Bu ek modelde, tüm makinelerden ikişer adet olduğu varsayılmıştır. Her bir parçanın her bir operasyonu için aynı tipteki iki makineden bir tanesi seçilecektir. İşlem süreleri aynıdır. Amaç fonksiyonu ve tüm sınırlar Ek Model 1’in aynısıdır. İlave değişkenler ve sınırlar aşağıda verilmiştir.

- **Eklenen Değişkenler**

|            |   |                                                        |
|------------|---|--------------------------------------------------------|
| $X_{ijm1}$ | 1 | Aksi takdirde                                          |
|            | 0 | i parçasının j operasyonu m tipi 1. makinede yapılırsa |
| $Y_{ijm2}$ | 1 | Aksi takdirde                                          |
|            | 0 | i parçasının j operasyonu m tipi 2. makinede yapılırsa |

1 m tipi ilk makinede önce i' parçasının j' operasyonu sonra i parçasının j operasyonu yapılmazsa

$L_{iji'j'm1}$

0 m tipi ilk makinede önce i' parçasının j' operasyonu sonra i parçasının j operasyon yapılırsa

1 m tipi ikinci makinede önce i' parçasının j' operasyonu sonra i parçasının j operasyonu yapılmazsa

$L_{iji'j'm2}$

0 m tipi ikinci makinede önce i' parçasının j' operasyonu sonra i parçasının j operasyonu yapılırsa

$V_{ijm1}$  = Sıfıra eşit yada sıfırdan büyük pozitif tamsayı

$Z_{ijm2}$  = Sıfıra eşit yada sıfırdan büyük pozitif tamsayı

$B_{ijm}$  = i parçasının j operasyonunun aynı iki m makinesinden herhangi birinde başlama zamanı

$B_{ijm1}$  = i parçasının j operasyonunun m tipi 1. makinede başlama zamanı

$B_{ijm2}$  = i parçasının j operasyonunun m tipi 2. makinede başlama zamanı

#### • Eklenen Sınırlar

Bu sınırlar önce A parçasının birinci operasyonu için yazılmıştır;

$$(1) B_{A111} \geq 90000 * X_{A111};$$

$$(2) B_{A112} \geq 90000 * Y_{A112};$$

$$(3) X_{A111} + Y_{A112} = 1;$$

$$(4) V_{A111} \leq 90000 * X_{A111};$$

$$(5) Z_{A112} \leq 90000 * Y_{A112};$$

$$(6) B_{A11} = B_{A111} - V_{A111};$$

$$(7) B_{A11} = B_{A112} - Z_{A112};$$

Birinci ve ikinci sınırlar, üçüncü sınırdan dolayı sıfır-bir değişkenlerden bir tanesinin bir olma şartı sayesinde A parçasının 1. operasyonunun 1. tip makinelerden bir tanesinde başlama zamanının 90000'den büyük olmasını, diğerinde sıfırdan büyük olmasını

sağlar. Dördüncü ve beşinci sınırlarda  $V_{A111}$  veya  $Z_{A112}$  değişkenlerinden bir tanesi sıfır, diğeri ise 90000'den küçük herhangi bir pozitif sayı olacaktır. Altıncı ve yedinci sınırlarda ise  $B_{A11}$ ;  $B_{A111}$  ve  $B_{A112}$ 'den hangisinin değeri küçük ise ona eşit değer alacaktır. Çünkü amaç fonksiyonunda tamamlanma zamanının minimize edilmesi amaçlanmıştır. Tamamlanma zamanı da başlama zamanına doğrudan bağlı olduğu için küçük olan başlama zamanı dolayısıyla iki makineden küçük başlama zamanına sahip makine seçilecektir. Sayısal olarak örneklersek;

$X_{A111}=1$  olduğunu varsayalım ve yerine koyalım. Üçüncü sınırdan dolayı  $Y_{A112}=0$  olacaktır.

$$B_{A111} \geq 90000$$

$$B_{A112} \geq 0$$

$$V_{A111} \leq 90000$$

$Z_{A112} \leq 0$  ( $Z_{ijm2}$  değişkeni sıfır veya sıfırdan büyük pozitif tamsayı olarak tanımlandığı için bu sınırdan dolayı  $Z_{A112}=0$  olur)

$$B_{A11} = B_{A111} - V_{A111}$$

$$B_{A11} = B_{A112}$$

$B_{A112}$ , sıfırdan büyük;  $B_{A111}$ , 90000'den büyük olduğu için ve diğer sınırlar sayesinde de küçük olan 1. tip 2. makine ve 1. tip 2. makinede ki başlama zamanı olan  $B_{A112}$  değeri seçilecektir.

Aynı sınırlar diğer parçalar ve operasyonları için de yazılmıştır. Ek model 4 için eklenen tüm sınırlar ve çözümü EK-3'de verilmiştir.

A ve B parçalarının birinci operasyonları için aşağıdaki sınırlar yazılmıştır;

$$(8) B_{A111} - T_{B11} + 900000 * L_{A1B111} \geq 0;$$

$$(9) B_{B111} - T_{A11} - 900000 * L_{A1B111} \geq -900000;$$

$$(10) B_{A112} - T_{B11} + 900000 * L_{A1B112} \geq 0;$$

$$(11) B_{B112} - T_{A11} - 900000 * L_{A1B112} \geq -900000;$$

Ana modelde ki, bir makinenin aynı anda sadece bir parçayı yapabileceğini garanti eden yedinci sınırlar kaldırılarak, yerine yukarıdaki (8), (9), (10) ve (11). sınırlar

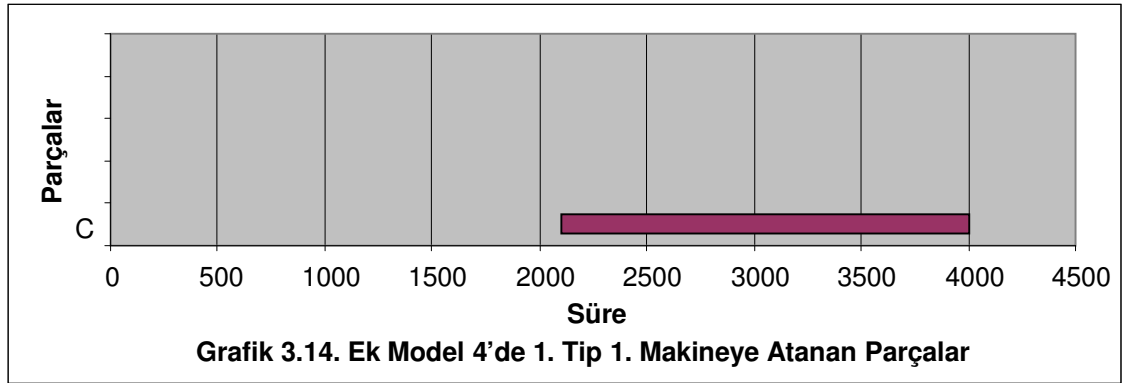
eklenmektedir. Her bir parçanın aynı tip iki makineden hangisinde yapılacağı bilinmediği için, tüm parçalar tüm makinelerde yapılacakmış gibi bu sınırlar yazılmaktadır. Sekizinci ve dokuzuncu sınırlar, 1. tip 1.makinede, A parçasının 1. operasyonu ile B parçasının 1. operasyonunun aynı anda işlenmemesini garanti ederken, onuncu ve onbirinci sınırlar 1. tip 2. makinede, A parçasının 1. operasyonu ile B parçasının 1. operasyonunun aynı anda işlenmemesini garanti eder. Şayet A parçasının 1. operasyonu için ve B parçasının 1. operasyonu için 1. tip 1. makine seçilirse, aynı anda işlenmemeleri için sekizinci ve dokuzuncu sınır kullanılacaktır. Benzer şekilde, A parçasının 1. operasyonu için ve B parçasının 1. operasyonu için 1. tip 2. makine seçilirse, aynı anda işlenmemeleri için onuncu ve onbirinci sınır kullanılacaktır.

- **Ek Model 4 Çözümü**

Tüm parçaların tüm operasyonlarının hangi makine tiplerini seçtiği aşağıda tablo ve Gannt diyagramları ile gösterilmiştir.

Tablo 3.19. Ek Model 4’de 1. Tip 1. Makineye Atanan Parçalar

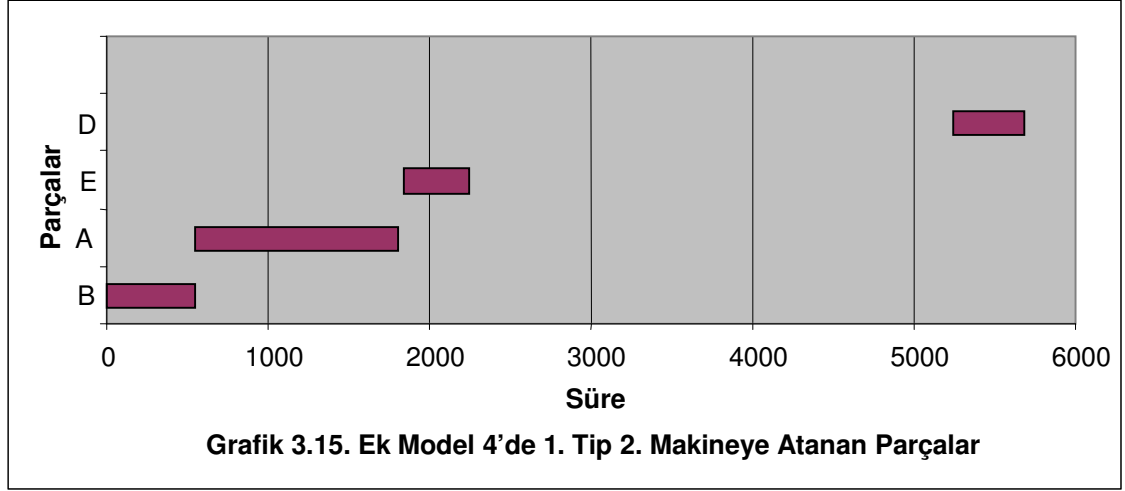
| Parça | Operasyon    | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|-------|--------------|----------------|----------|-------------------|
| C     | 2. operasyon | 2100           | 1900     | 4000              |



C parçasının ikinci operasyonu, 1. tip 1. makineye atanmıştır.

Tablo 3.20. Ek Model 4’de 1. Tip 2. Makineye Atanan Parçalar

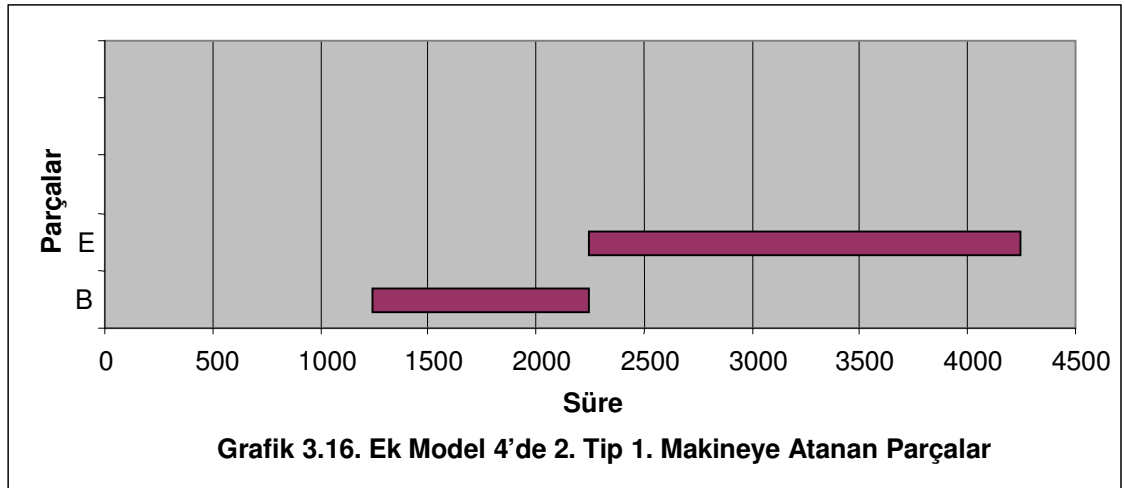
| Parça | Operasyon    | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|-------|--------------|----------------|----------|-------------------|
| B     | 1. operasyon | 0              | 544      | 544               |
| A     | 1. operasyon | 544            | 1258     | 1802              |
| E     | 1. operasyon | 1842           | 402      | 2244              |
| D     | 3. operasyon | 5244           | 442      | 5686              |



A, B, D ve E parçaları 1. tip 2. makineye atanmıştır. Parça sıralaması ise, B, A, E ve D şeklinde olmuştur

Tablo 3.21. Ek Model 4’de 2. Tip 1. Makineye Atanan Parçalar

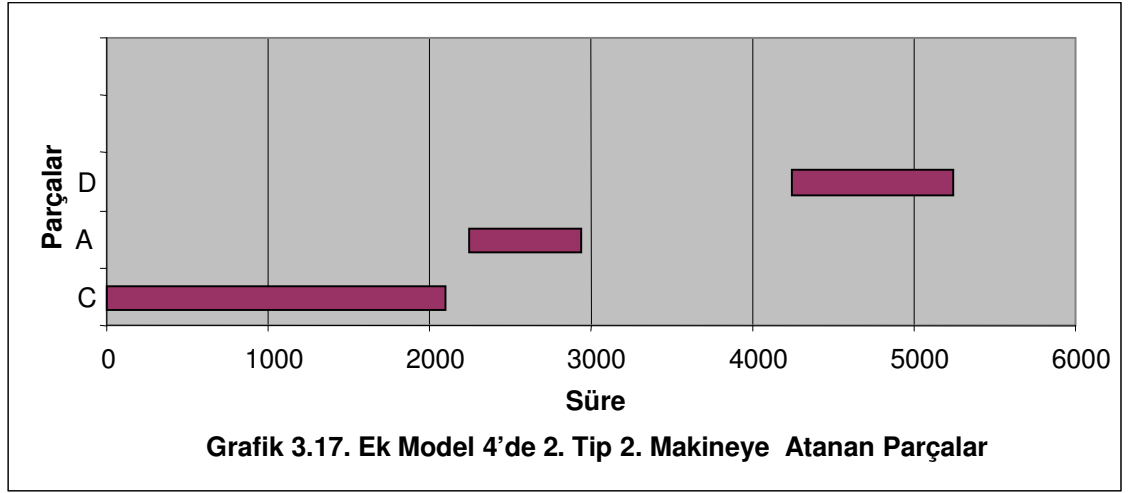
| Parça | Operasyon    | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|-------|--------------|----------------|----------|-------------------|
| B     | 3. operasyon | 1244           | 1000     | 2244              |
| E     | 2. operasyon | 2244           | 2000     | 4244              |



B ve E parçaları yine aynı sırayla 2. tip 1. makineye atanmıştır. Aynı makineden iki adet olmasının modele verdiği rahatlıktan dolayı hız ayarı olan 2. tip makinede B ve E parçaları makinenin normal hız ayarında işlenerek uzun işlem süresinde tamamlanmıştır.

Tablo 3.22. Ek Model 4’de 2. Tip 2. Makineye Atanan Parçalar

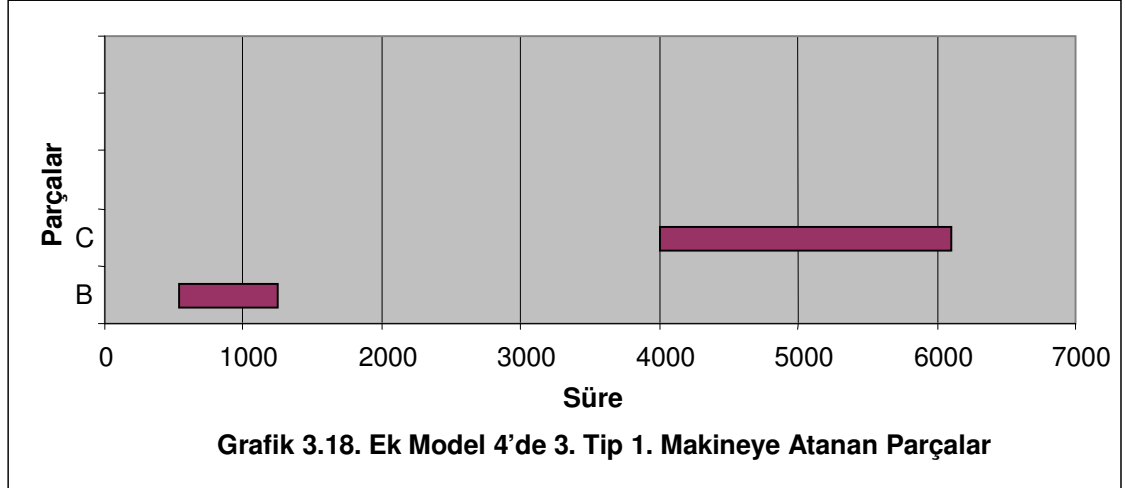
| Parça | Operasyon    | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|-------|--------------|----------------|----------|-------------------|
| C     | 1. operasyon | 0              | 2100     | 2100              |
| A     | 2. operasyon | 2244           | 700      | 2944              |
| D     | 2. operasyon | 4244           | 1000     | 5244              |



A, C ve D parçaları 2. tip 2. makineye atanmıştır. Parça sıralaması C, A ve D şeklinde olmuştur. Yine burada da aynı makineden iki adet olmasından dolayı hız ayarı olan 2. tip makinede A ve D parçaları makinenin normal hız ayarında işlenerek uzun işlem süresinde tamamlanmıştır. Sadece C parçası hızlı hız ayarını seçerek kısa işlem süresinde işlenmiştir. Çözümün tamamına bakıldığında C parçası hiç bekleme yapmadan makineler arasında geçiş yapmış ve toplam tamamlanma zamanı olan 6100 değeri de C parçasından kaynaklanmıştır. Yani C parçası 2. tip makinede normal hız ayarında işlenseydi işlem süresi 2700 saniye olacaktı. Dolayısıyla en son parçanın tamamlanma zamanı da 600 birim artarak 6700 saniye olacaktı. Bu durumda amaç fonksiyonu olan minimum toplam tamamlanma zamanına ulaşılmamış olacaktı.

Tablo 3.23. Ek Model 4’de 3. Tip 1. Makineye Atanan Parçalar

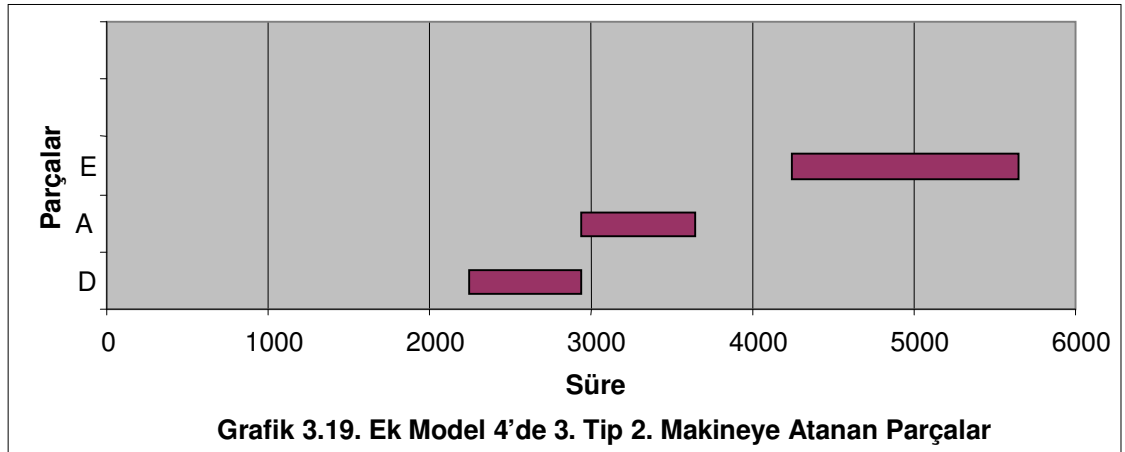
| Parça | Operasyon    | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|-------|--------------|----------------|----------|-------------------|
| B     | 2. operasyon | 544            | 700      | 1244              |
| C     | 3. operasyon | 4000           | 2100     | 6100              |



Sadece B ve C parçaları 3. tip 1. makineye atanmıştır. Sıralamada B ve C şeklinde olmuştur. Ayrıca toplam tamamlanma zamanı olan 6100 zaman birimi de bu makinede son parça olan C parçası tarafından belirlenmiştir.

Tablo 3.24. Ek Model 4’de 3. Tip 2. Makineye Atanan Parçalar

| Parça | Operasyon    | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|-------|--------------|----------------|----------|-------------------|
| D     | 1. operasyon | 2244           | 700      | 2944              |
| A     | 3. operasyon | 2944           | 700      | 3644              |
| E     | 3. operasyon | 4244           | 1400     | 5644              |



Son olarak, D, A ve E parçaları 3. tip 2. makineye atanmıştır.

Tablo 3.25. Ek Model 1 ve Ek Model 4 Arasındaki Parça Sıralaması ve Tamamlanma Zamanları Farkı

|                 | <b>EK MODEL 1 ÇÖZÜMÜ</b> |                          | <b>EK MODEL 4 ÇÖZÜM SONUCU</b> |                          |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|
|                 | <b>Tamamlanan Parça</b>  | <b>Tamamlanma Zamanı</b> | <b>Tamamlanan Parça</b>        | <b>Tamamlanma Zamanı</b> |
| <b>1. Parça</b> | A                        | 3500                     | B                              | 2244                     |
| <b>2. Parça</b> | B                        | 3800                     | A                              | 3644                     |
| <b>3. Parça</b> | C                        | 6100                     | E                              | 5644                     |
| <b>4. Parça</b> | D                        | 7244                     | D                              | 5686                     |
| <b>5. Parça</b> | E                        | <b>7500</b>              | C                              | <b>6100</b>              |

Farklı parçaların farklı operasyonları, aynı tip makinelerde aynı anda yapılabiliyor (Aynı tipten sadece bir tane makine bulunsaydı bu mümkün olmayacaktı). Bu avantaj sayesinde T değeri 7500'den 6100'e düşmüştür. İşlerin bitiş zamanları da tabloda görülmekte ve Ek model 1'in sonuçlarıyla kıyaslanmaktadır.

### 3.6.5. EK MODEL 5:

Bu ek modelde her makine tipinden iki değil bir adet bulunmaktadır. A, C ve E parçalarının üçüncü operasyonları 3. makinede ikisi aynı zamanda, biri daha önce veya sonra olmak kaydıyla yapılabilir. Bunu sağlayıcı sınırlar ve değişkenler Ek Model 1'e ilave edilmiştir. Modele eklenen sınırlar ile aşağıdaki altı adet seçenekten sadece birinin gerçekleşmesi istenmiştir:

1. A ve C parçalarının üçüncü operasyonları aynı anda başlayacak, E parçasının üçüncü operasyonu A ve C parçalarının üçüncü operasyonu tamamlandıktan sonra başlayacak
2. E parçasının üçüncü operasyonu önce yapılacak, A ve C parçalarının üçüncü operasyonları E parçasının üçüncü operasyonu tamamlandıktan sonra aynı anda başlayacak
3. A ve E parçalarının üçüncü operasyonları aynı anda başlayacak, C parçasının üçüncü operasyonu A ve E parçalarının üçüncü operasyonu tamamlandıktan sonra başlayacak

4. C parçasının üçüncü operasyonu önce yapılacak, A ve E parçalarının üçüncü operasyonları C parçasının üçüncü operasyonu tamamlandıktan sonra aynı anda başlayacak
5. C ve E parçalarının üçüncü operasyonları aynı anda başlayacak, A parçasının üçüncü operasyonu C ve E parçalarının üçüncü operasyonu tamamlandıktan sonra başlayacak
6. A parçasının üçüncü operasyonu önce yapılacak, C ve E parçalarının üçüncü operasyonları A parçasının üçüncü operasyonu tamamlandıktan sonra aynı anda başlayacak

- **Eklenen Değişkenler**

|               |   |                                                                                                                                                                                |
|---------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $M_{a3b3c33}$ | 1 | Aksi takdirde                                                                                                                                                                  |
|               | 0 | 3. makinede a ve b parçalarının üçüncü operasyonları aynı anda başlarsa, c parçasının üçüncü operasyonu a ve b parçalarının üçüncü operasyonları tamamlandıktan sonra başlarsa |
| $N_{a3b3c33}$ | 1 | Aksi takdirde                                                                                                                                                                  |
|               | 0 | 3. makinede a parçasının üçüncü operasyonu önce yapıp, b ve c parçalarının üçüncü operasyonları a parçasının üçüncü operasyonu tamamlandıktan sonra aynı anda başlarsa         |

- **Eklenen sınırlar**

- (1)  $T_{A33} \leq B_{E33} + 90000 * M_{ACE3}$ ;
- (2)  $T_{C33} \leq B_{E33} + 90000 * M_{ACE3}$ ;
- (3)  $T_{C33} - T_{A33} \leq 1400 * (1 - M_{ACE3}) + 90000 * M_{ACE3}$ ;
- (4)  $B_{A33} - B_{C33} \leq 90000 * M_{ACE3}$ ;

İlk ve ikinci sınır  $M_{ACE3}$  değişkeni sıfır olduğu takdirde E parçasının 3. makinedeki 3. operasyonunun başlama zamanının, A ve C parçalarının 3. makinedeki 3.

operasyonlarının tamamlanma zamanından büyük olmasını sağlar. Üçüncü sınır ve dördüncü sınır birbirini tamamlayan iki sınırdır. Biri olmadan bir diğerinin anlamı yoktur ve  $M_{ACE3}$  sıfır olduğu takdirde A ve C parçalarının aynı anda başlamasını garanti eder. 1400 sayısı A ve C parçalarının işlem süreleri arasındaki farktır ( $2100-700=1400$ ). Sadece üçüncü sınırı yazmış olsaydık.  $M_{ACE3}$  sıfır olduğunda;  $T_{C33}-T_{A33} \leq 1400$  olacaktı.  $T_{A33}=720$  ve  $T_{C33}=2100$  olduğunda da bu sınır geçerli olacaktı. Ancak bu durumda A parçasının başlama zamanı  $B_{A33}=20$  ve C parçasının başlama zamanı  $B_{C33}=0$  olacağından, A ve C parçaları aynı anda başlamış olmayacaktı. Oysa dördüncü sınırı eklediğimizde  $M_{ACE3}$  sıfır iken;  $B_{A33}-B_{C33} \leq 0$  sınırını sağlamak için A ve C parçalarının başlama zamanları eşit olacaktır.

Diğer beş seçenek içinde dördüncü sınır grupları yazılmıştır. Ek model 5 için eklenen tüm sınırlar ve çözümü EK-4’de verilmiştir.

$$(5) M_{ACE3} + N_{EAC3} + M_{AEC3} + N_{CAE3} + M_{CEA3} + N_{ACE3} = 5;$$

k adet sınırdan m tanesinin geçerli olmasının istendiği durumlar da uygulanan kural gereği, altı seçenekten bir tanesinin geçerli olması istendiğinden ( $6-1=5$ ) beşinci sınırın sağ tarafına 5 yazarak sıfır-bir değişkenlerden sadece bir tanesinin sıfır olması ve yukarıdaki altı sınır grubundan bir tanesinin geçerli olması sağlanmış olur.

- **Kaldırılan Sınırlar**

$$B_{A33}-T_{C33}+900000*L_{A3C33} \geq 0;$$

$$B_{C33}-T_{A33}-900000*L_{A3B33} \geq -900000;$$

$$B_{A33}-T_{E33}+900000*L_{A3E33} \geq 0;$$

$$B_{E33}-T_{A33}-900000*L_{A3E33} \geq -900000;$$

$$B_{C33}-T_{E33}+900000*L_{C3E33} \geq 0;$$

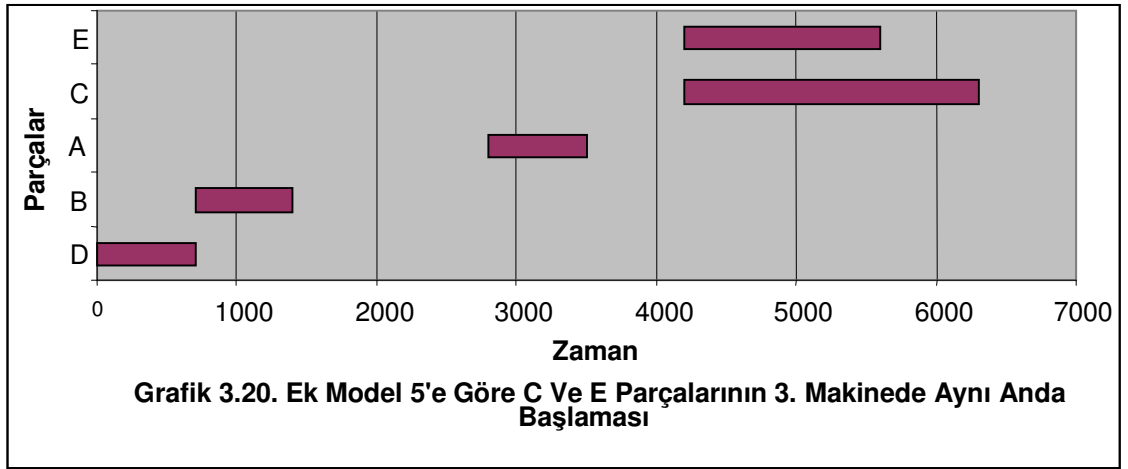
$$B_{E33}-T_{C33}-900000*L_{C3E33} \geq -900000;$$

Üçüncü makinede ki A, C ve E parçaları için, bir makinenin aynı anda sadece bir parçayı işlemlerini garanti eden yukarıdaki altı sınır kaldırılacaktır.

- Ek Model 5 Çözümü

Tablo 3.26. Ek Model 5’de 3. Makinedeki Parça Sıralaması

| Parça | Operasyon    | Başlama Zamanı | Süre(sn) | Tamamlanma Zamanı |
|-------|--------------|----------------|----------|-------------------|
| D     | 1. operasyon | 0              | 700      | 700               |
| B     | 2. operasyon | 700            | 700      | 1400              |
| A     | 3. operasyon | 2800           | 700      | 3500              |
| E     | 3. operasyon | 4200           | 1400     | 5600              |
| C     | 3. operasyon | 4200           | 2100     | 6300              |



Ek model 5’de altı adet seçenekten sadece birinin gerçekleşmesi istenmişti. Bunun için modelde ki altı adet sıfır-bir değişken olan  $M_{ACE3}$ ,  $N_{EAC3}$ ,  $M_{AEC3}$ ,  $N_{CAE3}$ ,  $M_{CEA3}$ ,  $N_{ACE3}$ ’den sadece birinin sıfır olma şartı getirilmişti. Çözüm sonucunda  $N_{ACE3}$  değişkeni sıfır olmuş, dolayısıyla altıncı seçenek gerçekleşmiştir. Üçüncü makinede A parçası 2800 anında başlamış, 3500 anında da bitmiştir. A parçası tamamlandıktan sonra C ve E parçası aynı anda (4200 anında) başlamıştır. Diğer sıfır-bir değişkenlerde bir olduğu için diğer beş şart geçersiz hale gelmiştir.

Ek model 5’e ;

Sadece  $M_{ACE3}=0$  sınırı eklenip çözüldüğü zaman birinci şart gerçekleşmiştir.

Sadece  $N_{EAC3}=0$  sınırı eklenip çözüldüğü zaman ikinci şart gerçekleşmiştir.

Sadece  $M_{AEC3}=0$  sınırı eklenip çözüldüğü zaman üçüncü şart gerçekleşmiştir.

Sadece  $N_{CAE3}=0$  sınırı eklenip çözüldüğü zaman dördüncü şart gerçekleşmiştir.

Sadece  $M_{CEA3}=0$  sınırı eklenip çözüldüğü zaman beşinci şart gerçekleşmiştir.

Bu denemenin sonucunda istenilen amaca tesadüfen ulaşılmadığı ve Ek model 5 için eklediğimiz sınırların doğru olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 3.27. Ek Model 1 ve Ek Model 5 Arasındaki Parça Sıralaması ve Tamamlanma Zamanları Farkı

|                 | <b>EK MODEL 1 ÇÖZÜMÜ</b> |                          | <b>EK MODEL 5 ÇÖZÜM SONUCU</b> |                          |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|
|                 | <b>Tamamlanan Parça</b>  | <b>Tamamlanma Zamanı</b> | <b>Tamamlanan Parça</b>        | <b>Tamamlanma Zamanı</b> |
| <b>1. Parça</b> | A                        | 3500                     | A                              | 3500                     |
| <b>2. Parça</b> | B                        | 3800                     | E                              | 5600                     |
| <b>3. Parça</b> | C                        | 6100                     | D                              | 5642                     |
| <b>4. Parça</b> | D                        | 7244                     | B                              | 6200                     |
| <b>5. Parça</b> | E                        | 7500                     | C                              | 6300                     |

Aynı tipten sadece bir tane makine bulunduğu halde A, C ve E parçalarının üçüncü makinedeki üçüncü operasyonlarından herhangi ikisi aynı anda yapılabilir. Bu avantaj sayesinde T değeri 7500'den 6300'e düşmüştür. Parçaların bitiş zamanları da tabloda görülmekte ve Ek model 1'in sonuçlarıyla kıyaslanmaktadır.

## **BÖLÜM IV**

### **UYGULAMA**

#### **4.1. Uygulama Yapılan İşletmenin Tanıtılması**

Önerilen modelin uygulandığı işletme Kayseri I. Organize Sanayi Bölgesinde kurulu bir özel sektör kuruluşudur ve modüler mobilya üretimi yapmaktadır. İşletme bünyesinde 41 işçi, 11 idari olmak üzere toplam 52 personel çalışmaktadır. Ayrıca işletme 5000 m<sup>2</sup> kapalı alanda iki yıldır üretimini sürdürmektedir. Çalışma saatleri 08:00-18:00 olmak üzere tek vardiya uygulanır. İşletmede atölye tipi üretim söz konusudur.

Ürünler takım olarak üretilmektedir. Yani bir gardırop, bir şifoniyer, bir karyola ve iki komodin bir takımı oluşturmaktadır. Fakat bu parçalar istenirse tek tek de satışa sunulmaktadır. A, B ve C olmak üzere 3 adet ürün mevcuttur. A ürününden 50 takım, B ürününden 150 takım ve C ürününden 100 takım üretilmektedir. Ürünler parçalardan oluşmaktadır ve bu parçalar montaj edilmeden sevk edilmektedir. Dolayısıyla üretim aşamasında montaj işlemi bulunmamaktadır. A ürünü 37 parçadan, B ürünü 37 parçadan ve C ürünü 40 parçadan oluşmaktadır. Ana modelde kullanılan 114 parça bu üç ürünün tüm parçalarının toplamıdır. Ürünlerin hammaddesi sadece suntaadır. Üretimin her aşamasında sunta üzerine işlemler uygulanır. İmalatın gereklerine uyumlu olarak işletme bünyesinde 5 adet tezgah bulunmaktadır. Bunlar; kesme makinesi, kenar bantlama makinesi, küçük delik makinesi, büyük delik makinesi ve çok işlemli CNC makinesidir.

Bu çalışmada, bahsedilen işletmede rasgele el yordamı ile yapılan üretim çizelgelemesinin, matematiksel model kullanılarak gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.

#### 4.2. Modelin Formülasyonu

Geliştirilen bu model NP-hard yapıya sahip olmasından dolayı, problemin değişken sayısı ne kadar artarsa optimal sonucu bulmakta o kadar zorlaşmaktadır. Modeldeki değişken sayısı ve çözüm süresinin problem boyutuyla birlikte üssel artışı, pratikte uygulanabilirliğini çok küçük problemlerle sınırlamaktadır. Çok aşamalı üretilen birden çok ürünü çizelgeleme problemi ise ürün sayısına göre büyük ölçeklidir.

Kurulan modelin amacı, sipariş miktarları belirli olan, her birinin üretimi için çok aşamalı işlem gerektiren birden fazla ürünün, birden fazla makinede üretilmesi durumunda, iş ve işlem sıralamalarının yapılması ve minimum tamamlanma zamanına bağlı olarak minimum maliyeti bulmaktır.

Çizelgelemeye konu olan parçaların, işlem sıraları ve süreleri EK-5’de, 2 numaralı makinede işlem gören parçaların işlem maliyetleri EK-6’de verilmiştir.

#### 4.3. Modelin Çalıştırılması

Model iki aşamalı olarak çözülmektedir. Birinci aşamada ürünlerin toplam minimum tamamlanma zamanının bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu nedenle, ilk olarak amaç fonksiyonunda toplam tamamlanma zamanının minimize edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kurulan modelin birinci aşaması, toplam 30478 sınır ve 14818 adet sıfır-bir değişkenden oluşan bir tamsayılı doğrusal programlama modelidir.

Birinci aşamanın sonunda elde edilen toplam tamamlanma zamanı ikinci aşamaya sınır olarak eklenmiştir. Eklenen sınırla modelin, minimum toplam tamamlanma zamanını aşmamak kaydıyla minimum toplam maliyeti bulması amaçlanmıştır. Bu amaçla kurulan modelin ikinci aşaması, toplam 30479 sınır ve 14818 adet sıfır-bir değişkenden oluşan bir tamsayılı doğrusal programlama modelidir.

Yazılan modelin sınırları ve modelin çözümleri EK-7’de verilmiştir.

#### 4.4. Çözüm Sonuçlarının Yorumlanması

Birinci aşamanın çözümü sonucunda, parçalar arasında iş ve işlem sıralaması yapılarak son parçanın minimum tamamlanma zamanı 153400 sn olarak bulunmuştur. Bu değer ikinci aşamaya,  $T \leq 153400$  şeklinde sınır olarak eklenecektir.

Son parçanın minimum tamamlanma zamanına bağlı olarak toplam minimum maliyet birinci aşamada 24228 birim iken ikinci aşamanın çözümü sonucunda 23583 birim olarak bulunmuştur.

Bu sonuçlara göre, birinci aşamada minimum tamamlanma zamanı amaçlandığında, parçalar hız ayarına sahip makinenin hızlı ayarı seçilerek üretilmiştir. Ancak ikinci aşamada toplam minimum tamamlanma zamanı kısıt, toplam minimum maliyet amaç iken parçaların bazılarının işlem sürelerinde değişiklikler olmuştur.

Birinci aşamada kısa işlem süresi ile işlenirken ikinci aşamada uzun işlem süresi ile işlenen parçalar; 36, 95, 41, 100, 85, 6, 45, 107, 68, 30, 76, 40, 52, 86, 102, 66, 114, 84, 101, 67, 64, 51 ve 26 parçalarıdır. Belirli bir süreyi aşmama kısıtı modele eklendiğinden, model tarafından bu parçalar için uzun işlem sürelerinin seçilmesi toplam tamamlanma zamanını etkilememiştir. İşlerin veya makinelerin boş bekleme sürelerinden yararlanılmış, bekleme süreleri azaltılmış ve uzun işlem süreleri seçilebilmiştir.

Birinci aşama sonunda 24228 birim olan maliyet, ikinci aşamada parçaların bazıları için uzun işlem süresi seçilmesiyle 23583 birime gerilemiştir. Dolayısıyla, aynı sürede aynı parçaları daha az maliyetle tamamlayabileceğimiz ortaya çıkmıştır.

Benzer işlem gerektiren iki farklı parçayı aynı anda işleyebilen beşinci makine için modelde 18-19, 67-68 ve 109-111 parça çiftlerini birlikte işleyebilme serbestisi verilmiştir. Çözümün birinci ve ikinci aşamaları sonucunda model 109-111 parçalarını aynı anda işlemeyi seçmiştir. Diğer iki parça çifti ise ayrı ayrı işlenmiştir.

## SONUÇ

İşletmelerin en önde gelen amaçlarından biri kar etmektir. Bunu gerçekleştirirken işletme yöneticileri farklı yollar izlerler. Bu yolların izlenmesi esnasında temel hedef kaliteden taviz vermeden maliyetlerin düşürülmesi olmalıdır. İşletme yöneticileri mevcut şartlar aynı iken, daha az maliyetle daha fazla karın nasıl elde edileceğine çözüm bulmak için bilimsel yöntemleri kullanmak durumunda kalırlar. Bu amaçla en sık kullanılan yöntemlerden birisi belirli teknikler yardımı ile işlerin ve işlemlerin çizelgelenmesidir. Çizelgeleme problemlerinde genel kabul görmüş bir takım varsayımlar mevcuttur, bunlardan birisi de işlem sürelerinin sabit olduğudur. Bu çalışmada atölye tipi üretim yapan bir işletmenin sipariş miktarları belirli olan ürünleri için iş ve işlem sıralama problemine çözüm getirmek üzere bir tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Bu modelde işlem sürelerinin sabit olduğu varsayımı kaldırılarak kontrol edilebilir olduğu kabul edilmiştir.

Önerilen model iki aşamalı olarak çözülmüştür. Birinci aşamada amaç fonksiyonunda en son işin tamamlanma zamanı minimize edilerek, elde edilen minimum toplam tamamlanma zamanı ikinci aşamada kullanılmak üzere modele sınır olarak eklenmiştir. İkinci aşamada ise önerilen model, ilave edilen yeni sınır ile birlikte, bu kez amaç fonksiyonunda toplam maliyeti minimize etmek üzere çalıştırılmıştır.

Ayrıca çalışmanın ana modelinden türetilen ilave beş adet model geliştirilerek çizelgelemede değişmez kabul edilen varsayımların dışına çıkılmıştır. İlk modelde, birden çok işin tamamlanma zamanının en son işin tamamlanma zamanına eşitlenmesi engellenmiş ve işler arasındaki iş sıralaması tam olarak anlaşılmıştır. İkinci modelde, ideal iş sıralamasını bozacak sıralamalar dikte edilmiş ve ana modelin son iş olarak belirlediği işin birinci önceliği taşıdığı için, diğer işlerden önce bitmesi sağlanmıştır. Üçüncü modelde, ana modelde ki son işin başka iki işten önce bitmesi sağlanmıştır.

Dördüncü modelde, her makineden iki adet olduğu varsayılarak iş sıralaması yapılmıştır. Beşinci modelde ise aynı makinede seçilen üç işten ikisinin aynı anda, üçüncüsünün ise bunlardan önce veya sonra başlaması sağlanmıştır.

Yapılan çalışmanın uygulamaya konu işletme açısından önemi, değişebilir hıza sahip makinede doğru hız ayarının seçilmesinin sağlanmış olması ve gereksiz maliyete katlanmak zorunda kalınmamasıdır.

Bu çalışmadaki ana model ve ilave modeller, şimdiye kadar genel kabul gören varsayımların dışına çıkılabileceğini, çizelgeleme problemlerine çözüm getirmek üzere geliştirilen matematiksel modellerde ne tür sıkıntılar ile karşılaşılabilir bilineceğini ve bunları önlemek için neler yapılması gerektiğini kısmen ortaya koymuştur. Bu sonuçların gelecekte bu konuda yapılacak çalışmalara yeni fikirler vereceğini ümit ediyoruz.

## KAYNAKÇA

Acar, N.; Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları, Milli Prodüktivite Yayınları, Yayın No:280, Genişletilmiş ve düzeltilmiş Sekizinci Basım, Ankara, 2001

Adamopoulos, G. I.; C. P. Pappis; N. I. Karacapılıdis; “Job Sequencing With Uncertain And Controllable Processing Times”, International Transactions In Operational Research, Vol. 6, 1999, pp. 483-493.

Adırı, I.; Z. Yehuda; “Scheduling On Machines With Variable Service Rates”, Computers & Operations Research, Vol. 14, No. 4, 1987, pp. 289-297.

Alidaee, B.; A. Ahmadian; “Two Parallel Machine Sequencing Problems Involving Controllable Job Processing Times”, European Journal Of Operational Research, Vol. 70, No. 3, 1993, pp. 335-341.

Alidaee, B.; G.A. Kochenberger; “A Framework For Machine Scheduling Problems With Controllable Processing Times” , Production and Operations Management, Vol. 5, No. 4. Winter 1996, pp. 391-405.

Baskak, V. Ve Erol, V.; “Sipariş Tipi Atölyelerde İş Sıralama problemi İçin Bir Genetik Algoritma Uygulaması”, Yöneylem Araştırması/ Endüstri Mühendisliği- XXIV Ulusal Kongresi, Gaziantep-Adana, 2004

Biskup, D.; H. Jahnke; “Common Due Date Assignment For Scheduling On A Single Machine With Jointly Reducible Processing Times”, International Journal Of Production Economics, Vol. 69, 2001, pp. 317-322.

Biskup, D.; T.C.E. Cheng; “Single Machine Scheduling With Controllable Processing Times And Earliness, Tardiness And Completion Time Penalties”, Engineering Optimization, Vol. 31, 1999, pp. 329-336.

Biroğul, Serdar; Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005

Cheng, T. C. E.; M.Y. Kovalyov; N.V. Shakhlevich; “Scheduling With Controllable Release Dates And Processing Times: Makespan Minimization”, European Journal Of Operational Research, Vol. 175, 2006, pp. 751-768.

Cheng, T.C.E.; C. Oğuz; X.D. Qi; “Due-Date Assignment And Single Machine Scheduling With Compressible Processing Times” International Journal Of Production Economics, Vol. 43, 1996, pp. 29-35.

Daniels, R.L.; R.K. Sarin; “Single Machine Scheduling With Controllable Processing Times And Number Of Jobs Tardy”, Operations Research, Vol. 37, 1989, pp.981-984.

Eren, T.; E. Güner; “Tek ve Paralel Makineli Problemlerde Çok Ölçütlü Çizelgeleme Problemleri İçin Bir Literatür Taraması”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 17, No 4, 2002, pp. 37-69.

Geyik, Faruk; İ.H. Cedimoğlu; “Atölye Tipi Çizelgeleme İçin Uzman Sistem Tekniği İle Basit Öncelik Kurallarının Karşılaştırılması”, Politeknik Dergisi, Vol 4, No 1, 2001, pp. 53-61.

Güner, E., ve Altıparmak, F.; “İki Ölçütlü tek makineli Çizelgeleme Problemi İçin Sezgisel Bir Yaklaşım”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Vol 18, No 3, 2003, pp. 27-42.

Gürel, S.; M S. Aktürk; “Considering Manufacturing Cost And Scheduling Performance On A Cnc Turning Machine”, European Journal Of Operational Research, Vol 177, 2007, pp. 325-343.

Hoogeveen, H.; G.J. Woeginger; “Some Comments On Sequencing With Controllable Processing Times”, *Computing*, Vol. 68, 2002, pp. 181-192.

İnan, Mustafa; Atölye Tipi İmalat Sistemleri İçin Kayan Darboğaz Makine Sezgisel Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü, 1999.

Jansen, K.; M. Mastrolilli; “Approximation Schemes For Job Shop Scheduling Problems With Controllable Processing Times”, *European Journal Of Operational Research*, Vol 167, 2005, pp. 297-319.

Jansen, K.; M. Mastrolilli; “Approximation Schemes For Parallel Machine Scheduling Problems With Controllable Processing Times” *Computers And Operations Research*, Vol. 31, 2004, pp. 1565-1581.

Karabatı, S.; P. Kouvelis; “Flow-Line Scheduling Problem With Controllable Processing Times”, *IIE Transactions*, Vol. 29, 1997, pp. 1-14.

Leung, J. Y-T.; *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis*, A CRC Press Company, 2004

Mastrolilli, M.; “Notes On Max Flow Time Minimization With Controllable Processing Times”, *Computing*, Vol.71, 2003, pp. 375-386.

Morton, T.E.; D.W. Pentico; *Heuristic Scheduling Systems*, Wiley Series, NY., 1993  
Nahmias, S.; *Production and Operations Analysis*, McGraw-Hill Irwin, 2001

Ng, C.T.D.; T.C.E. Cheng; M.Y. Kovalyov; “Single Machine Batch Scheduling With Jointly Compressible Setup And Processing Times”, *European Journal Of Operational Research*, Vol. 153, 2004, pp. 211-219.

Ng, C.T.D.; T.C.E. Cheng; M.Y. Kovalyov; S.S. Lam; “Single Machine Scheduling With A Variable Common Due Date And Resource-Dependent Processing Times”, *Computers And Operations Research*, Vol. 30, 2003, pp. 1173-1185.

Nowicki, E.; S. Zdrzalka; "A Survey Of Results For Sequencing Problems With Controllable Processing Times", *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 26, 1990, pp. 271-287.

Nowicki, E.; S. Zdrzalka; "A Two Machine Flow Shop Scheduling Problem With Controllable Job Processing Times", *European Journal Of Operational Research*, Vol. 34, 1988, pp.208-220.

Panwalkar, S.S.; R. Rajagopalan; "Single Machine Sequencing With Controllable Processing Times", *European Journal Of Operational Research*, Vol. 59, 1992, pp. 298-302.

Pinedo, M., X. Chao; *Operation Scheduling With Applications in Manufacturing and Services*, McGraw-Hill Irwin, 1999.

Pinedo, Michael; *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*, Prentice-Hall, New-Jersey, 1995.

Shabtay, D.; G. Steiner; "A Survey Of Scheduling With Controllable Processing Times", *Discrete Applied Mathematics*, Volume 155, Issue 13, 2007, pp. 1643-1666.

Shabtay, D.; M. Kasp; "Minimizing The Total Weighted Flow Time In A Single Machine With Controllable Processing Times", *Computers And Operations Research*, Vol. 31, 2004, pp. 2279-2289.

Trick, M.A.; "Scheduling Multiple Variable-Speed Machines", *Operations Research*, Vol. 42, No. 2, 1994, pp. 234-248.

Van Wassenhove, L.N.; K. Baker; "A Bicriterion Approach To Time/Cost Trade-Offs In Sequencing", *European Journal Of Operational Research*, Vol. 11, 1982, pp. 48-54.

Vickson, R.G.; “Choosing The Job Sequence and Processing Times To Minimize Total Processing Plus Flow Cost On A Single Machine”, Operations Research, Vol. 28, No. 5, 1980b, pp. 1155-1167.

Vickson, R.G.; “Two Single-Machine Sequencing Problem Involving Controllable Job Processing Times”, AIIE Transactions, Vol. 12, No. 3, 1980a, pp. 258-262

Zdrzalka, S.; “Scheduling Jobs On A Single Machine With Release Dates, Delivery Times And Controllable Processing Times: Worst-Case Analysis”, Operations Research Letters, Vol. 10, 1991, pp. 519-524.

Zeydan, Mithat; “Maliyet Tabanlı Çizelgeleme ve Bir Mobilya Fabrikasında Uygulaması”, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Vol 1, 2006, pp. 107-116.

## EKLER

### EK-1: ÖRNEK PROBLEMİN BİRİNCİ VE İKİNCİ AŞAMASININ ÇÖZÜMÜ

#### • BİRİNCİ AŞAMASININ ÇÖZÜMÜ

Global optimal solution found at iteration: 385633  
Objective value: 11400.00

| Variable | Value    | Variable | Value    |
|----------|----------|----------|----------|
| T        | 11400.00 | T4111    | 1100.000 |
| P322     | 500.0000 | B4111    | 0.000000 |
| G322     | 0.000000 | T4124    | 6502.000 |
| C322     | 90.00000 | B4124    | 5002.000 |
| P4132    | 1800.000 | T4132    | 11400.00 |
| G4132    | 0.000000 | B4132    | 9600.000 |
| C4132    | 324.0000 | T4415    | 1800.000 |
| P7632    | 1800.000 | B4415    | 0.000000 |
| G7632    | 0.000000 | T4423    | 2850.000 |
| C7632    | 324.0000 | B4423    | 1800.000 |
| C        | 738.0000 | T4431    | 5002.000 |
| T215     | 7800.000 | B4431    | 4002.000 |
| B215     | 6600.000 | T7611    | 4002.000 |
| T224     | 8300.000 | B7611    | 1389.000 |
| B224     | 7800.000 | T7624    | 5002.000 |
| T231     | 11400.00 | B7624    | 4002.000 |
| B231     | 9904.000 | T7632    | 6802.000 |
| T311     | 6260.000 | B7632    | 5002.000 |
| B311     | 5002.000 | T7645    | 11400.00 |
| T322     | 7800.000 | B7645    | 9000.000 |
| B322     | 7300.000 | T10915   | 3000.000 |
| T335     | 9000.000 | B10915   | 1800.000 |
| B335     | 7800.000 | T10923   | 6260.000 |
| T343     | 11400.00 | B10923   | 5560.000 |
| B343     | 10700.00 | T10931   | 6600.000 |
| T1015    | 6600.000 | B10931   | 6260.000 |
| B1015    | 3000.000 | T11115   | 3000.000 |
| T1021    | 7300.000 | B11115   | 1800.000 |
| B1021    | 6600.000 | T11123   | 5560.000 |
| T1034    | 11400.00 | B11123   | 4860.000 |
| B1034    | 9900.000 | T11131   | 8932.000 |
|          |          | B11131   | 7300.000 |

#### • İKİNCİ AŞAMASININ ÇÖZÜMÜ

Global optimal solution found at iteration: 4163  
Objective value: 684.0000

| Variable | Value    | Variable | Value    |
|----------|----------|----------|----------|
| C        | 684.0000 | G7632    | 1.000000 |
| T        | 11400.00 | C7632    | 312.0000 |
| P322     | 700.0000 | T215     | 7200.000 |
| G322     | 1.000000 | B215     | 6000.000 |
| C322     | 84.00000 | T224     | 7700.000 |
| P4132    | 2400.000 | B224     | 7200.000 |
| G4132    | 1.000000 | T231     | 9196.000 |
| C4132    | 288.0000 | B231     | 7700.000 |
| P7632    | 2600.000 | T311     | 2358.000 |

|       |          |        |          |
|-------|----------|--------|----------|
| B311  | 1100.000 | T4431  | 11050.00 |
| T322  | 3058.000 | B4431  | 10050.00 |
| B322  | 2358.000 | T7611  | 5400.000 |
| T335  | 6000.000 | B7611  | 2787.000 |
| B335  | 4800.000 | T7624  | 6400.000 |
| T343  | 11400.00 | B7624  | 5400.000 |
| B343  | 10700.00 | T7632  | 9000.000 |
| T1015 | 4800.000 | B7632  | 6400.000 |
| B1015 | 1200.000 | T7645  | 11400.00 |
| T1021 | 9896.000 | B7645  | 9000.000 |
| B1021 | 9196.000 | T10915 | 1200.000 |
| T1034 | 11396.00 | B10915 | 0.000000 |
| B1034 | 9896.000 | T10923 | 1900.000 |
| T4111 | 1100.000 | B10923 | 1200.000 |
| B4111 | 0.000000 | T10931 | 2698.000 |
| T4124 | 2600.000 | B10931 | 2358.000 |
| B4124 | 1100.000 | T11115 | 1200.000 |
| T4132 | 11400.00 | B11115 | 0.000000 |
| B4132 | 9000.000 | T11123 | 6068.000 |
| T4415 | 9000.000 | B11123 | 5368.000 |
| B4415 | 7200.000 | T11131 | 7700.000 |
| T4423 | 10050.00 | B11131 | 6068.000 |
| B4423 | 9000.000 |        |          |

## EK-2: KÜÇÜK ÖRNEK KÜMESİNİN SINIRLARI VE ÇÖZÜMÜ

### • SINIRLARI

$MIN=1000*T+C-0.00001*K$ ;  
 $PA22-700*GA22+500*GA22=500$ ;  
 $CA22-84*GA22+90*GA22=90$ ;  
 $PB32-1000*GB32+800*GB32=800$ ;  
 $CB32-120*GB32+144*GB32=144$ ;  
 $PC12-2700*GC12+2100*GC12=2100$ ;  
 $CC12-324*GC12+378*GC12=378$ ;  
 $PD22-1000*GD22+800*GD22=800$ ;  
 $CD22-120*GD22+144*GD22=144$ ;  
 $PE22-2000*GE22+1400*GE22=1400$ ;  
 $CE22-240*GE22+252*GE22=252$ ;  
 $C-CA22-CB32-CC12-CD22-CE22=0$ ;  
 $TA11-BA11=1258$ ;  
 $TA22-BA22-PA22=0$ ;  
 $TA33-BA33=700$ ;  
 $TB11-BB11=544$ ;  
 $TB23-BB23=700$ ;  
 $TB32-BB32-PB32=0$ ;  
 $TC12-BC12-PC12=0$ ;  
 $TC21-BC21=1900$ ;  
 $TC33-BC33=2100$ ;  
 $TD13-BD13=700$ ;  
 $TD22-BD22-PD22=0$ ;  
 $TD31-BD31=442$ ;  
 $TE11-BE11=402$ ;  
 $TE22-BE22-PE22=0$ ;  
 $TE33-BE33=1400$ ;  
 $TA33+KA33-T=0$ ;  
 $TB32+KB32-T=0$ ;  
 $TC33+KC33-T=0$ ;  
 $TD31+KD31-T=0$ ;  
 $TE33+KE33-T=0$ ;  
 $K-KA33-KB32-KC33-KD31-KE33=0$ ;

$BA11 \geq 0$ ;  
 $BA22-TA11 \geq 0$ ;  
 $BA33-TA22 \geq 0$ ;  
 $T-TA33 \geq 0$ ;  
 $BB11 \geq 0$ ;  
 $BB23-TB11 \geq 0$ ;  
 $BB32-TB23 \geq 0$ ;  
 $T-TB32 \geq 0$ ;  
 $BC12 \geq 0$ ;  
 $BC21-TC12 \geq 0$ ;  
 $BC33-TC21 \geq 0$ ;  
 $T-TC33 \geq 0$ ;  
 $BD13 \geq 0$ ;  
 $BD22-TD13 \geq 0$ ;  
 $BD31-TD22 \geq 0$ ;  
 $T-TD31 \geq 0$ ;  
 $BE11 \geq 0$ ;  
 $BE22-TE11 \geq 0$ ;  
 $BE33-TE22 \geq 0$ ;  
 $T-TE33 \geq 0$ ;  
 $BA11-TB11+900000*LA1B11 \geq 0$ ;  
 $BB11-TA11-900000*LA1B11 \geq -900000$ ;  
 $BA11-TC21+900000*LA1C21 \geq 0$ ;  
 $BC21-TA11-900000*LA1C21 \geq -900000$ ;  
 $BA11-TD31+900000*LA1D31 \geq 0$ ;  
 $BD31-TA11-900000*LA1D31 \geq -900000$ ;  
 $BA11-TE11+900000*LA1E11 \geq 0$ ;  
 $BE11-TA11-900000*LA1E11 \geq -900000$ ;  
 $BB11-TC21+900000*LB1C21 \geq 0$ ;  
 $BC21-TB11-900000*LB1C21 \geq -900000$ ;  
 $BB11-TD31+900000*LB1D31 \geq 0$ ;  
 $BD31-TB11-900000*LB1D31 \geq -900000$ ;  
 $BB11-TE11+900000*LB1E11 \geq 0$ ;

BE11-TB11-900000\*LB1E11>=-900000;  
 BC21-TD31+900000\*LC2D31>=0;  
 BD31-TC21-900000\*LC2D31>=-900000;  
 BC21-TE11+900000\*LC2E11>=0;  
 BE11-TC21-900000\*LC2E11>=-900000;  
 BD31-TE11+900000\*LD3E11>=0;  
 BE11-TD31-900000\*LD3E11>=-900000;  
 BA22-TB32+900000\*LA2B32>=0;  
 BB32-TA22-900000\*LA2B32>=-900000;  
 BA22-TC12+900000\*LA2C12>=0;  
 BC12-TA22-900000\*LA2C12>=-900000;  
 BA22-TD22+900000\*LA2D22>=0;  
 BD22-TA22-900000\*LA2D22>=-900000;  
 BA22-TE22+900000\*LA2E22>=0;  
 BE22-TA22-900000\*LA2E22>=-900000;  
 BB32-TC12+900000\*LB3C12>=0;  
 BC12-TB32-900000\*LB3C12>=-900000;  
 BB32-TD22+900000\*LB3D22>=0;  
 BD22-TB32-900000\*LB3D22>=-900000;  
 BB32-TE22+900000\*LB3E22>=0;  
 BE22-TB32-900000\*LB3E22>=-900000;  
 BC12-TD22+900000\*LC1D22>=0;  
 BD22-TC12-900000\*LC1D22>=-900000;  
 BC12-TE22+900000\*LC1E22>=0;  
 BE22-TC12-900000\*LC1E22>=-900000;  
 BD22-TE22+900000\*LD2E22>=0;  
 BE22-TD22-900000\*LD2E22>=-900000;  
 BA33-TB23+900000\*LA3B23>=0;  
 BB23-TA33-900000\*LA3B23>=-900000;  
 BA33-TC33+900000\*LA3C33>=0;  
 BC33-TA33-900000\*LA3C33>=-900000;  
 BA33-TD13+900000\*LA3D13>=0;  
 BD13-TA33-900000\*LA3D13>=-900000;  
 BA33-TE33+900000\*LA3E33>=0;  
 BE33-TA33-900000\*LA3E33>=-900000;  
 BB23-TC33+900000\*LB2C33>=0;  
 BC33-TB23-900000\*LB2C33>=-900000;  
 BB23-TD13+900000\*LB2D13>=0;  
 BD13-TB23-900000\*LB2D13>=-900000;  
 BB23-TE33+900000\*LB2E33>=0;  
 BE33-TB23-900000\*LB2E33>=-900000;  
 BC33-TD13+900000\*LC3D13>=0;

BD13-TC33-900000\*LC3D13>=-900000;  
 BC33-TE33+900000\*LC3E33>=0;  
 BE33-TC33-900000\*LC3E33>=-900000;  
 BD13-TE33+900000\*LD1E33>=0;  
 BE33-TD13-900000\*LD1E33>=-900000;  
 @BIN(GA22);  
 @BIN(GB32);  
 @BIN(GC12);  
 @BIN(GD22);  
 @BIN(GE22);  
 @BIN(LA1B11);  
 @BIN(LA1C21);  
 @BIN(LA1D31);  
 @BIN(LA1E11);  
 @BIN(LB1C21);  
 @BIN(LB1D31);  
 @BIN(LB1E11);  
 @BIN(LC2D31);  
 @BIN(LC2E11);  
 @BIN(LD3E11);  
 @BIN(LA2B32);  
 @BIN(LA2C12);  
 @BIN(LA2D22);  
 @BIN(LA2E22);  
 @BIN(LB3C12);  
 @BIN(LB3D22);  
 @BIN(LB3E22);  
 @BIN(LC1D22);  
 @BIN(LC1E22);  
 @BIN(LD2E22);  
 @BIN(LA3B23);  
 @BIN(LA3C33);  
 @BIN(LA3D13);  
 @BIN(LA3E33);  
 @BIN(LB2C33);  
 @BIN(LB2D13);  
 @BIN(LB2E33);  
 @BIN(LC3D13);  
 @BIN(LC3E33);  
 @BIN(LD1E33);  
 END

### • ÇÖZÜMÜ

| Variable | Value    |
|----------|----------|
| T        | 7500.000 |
| C        | 954.0000 |
| K        | 9356.000 |
| PA22     | 700.0000 |
| GA22     | 1.000000 |
| CA22     | 84.00000 |
| PB32     | 1000.000 |
| GB32     | 1.000000 |
| CB32     | 120.0000 |
| PC12     | 2100.000 |
| GC12     | 0.000000 |
| CC12     | 378.0000 |
| PD22     | 1000.000 |
| GD22     | 1.000000 |

| Variable | Value    |
|----------|----------|
| CD22     | 120.0000 |
| PE22     | 1400.000 |
| GE22     | 0.000000 |
| CE22     | 252.0000 |
| TA11     | 2100.000 |
| BA11     | 842.0000 |
| TA22     | 2800.000 |
| BA22     | 2100.000 |
| TA33     | 3500.000 |
| BA33     | 2800.000 |
| TB11     | 544.0000 |
| BB11     | 0.000000 |
| TB23     | 2800.000 |
| BB23     | 2100.000 |

|      |          |      |          |
|------|----------|------|----------|
| TB32 | 3800.000 | BD31 | 6802.000 |
| BB32 | 2800.000 | TE11 | 4402.000 |
| TC12 | 2100.000 | BE11 | 4000.000 |
| BC12 | 0.000000 | TE22 | 5802.000 |
| TC21 | 4000.000 | BE22 | 4402.000 |
| BC21 | 2100.000 | TE33 | 7500.000 |
| TC33 | 6100.000 | BE33 | 6100.000 |
| BC33 | 4000.000 | KA33 | 4000.000 |
| TD13 | 700.0000 | KB32 | 3700.000 |
| BD13 | 0.000000 | KC33 | 1400.000 |
| TD22 | 6802.000 | KD31 | 256.0000 |
| BD22 | 5802.000 | KE33 | 0.000000 |
| TD31 | 7244.000 |      |          |

### EK-3: EK MODEL 4'E EKLENEN SINIRLAR VE ÇÖZÜMÜ

#### • EKLENEN TÜM SINIRLAR

|                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| BA111-90000*XA111>=0; | BC122-90000*YC122>=0; |
| BA112-90000*YA112>=0; | XC121+YC122=1;        |
| XA111+YA112=1;        | BC121-BC12-VC121=0;   |
| BA111-BA11-VA111=0;   | BC122-BC12-ZC122=0;   |
| BA112-BA11-ZA112=0;   | VC121-90000*XC121<=0; |
| VA111-90000*XA111<=0; | ZC122-90000*YC122<=0; |
| ZA112-90000*YA112<=0; | BC211-90000*XC211>=0; |
| BA221-90000*XA221>=0; | BC212-90000*YC212>=0; |
| BA222-90000*YA222>=0; | XC211+YC212=1;        |
| XA221+YA222=1;        | BC211-BC21-VC211=0;   |
| BA221-BA22-VA221=0;   | BC212-BC21-ZC212=0;   |
| BA222-BA22-ZA222=0;   | VC211-90000*XC211<=0; |
| VA221-90000*XA221<=0; | ZC212-90000*YC212<=0; |
| ZA222-90000*YA222<=0; | BC331-90000*XC331>=0; |
| BA331-90000*XA331>=0; | BC332-90000*YC332>=0; |
| BA332-90000*YA332>=0; | XC331+YC332=1;        |
| XA331+YA332=1;        | BC331-BC33-VC331=0;   |
| BA331-BA33-VA331=0;   | BC332-BC33-ZC332=0;   |
| BA332-BA33-ZA332=0;   | VC331-90000*XC331<=0; |
| VA331-90000*XA331<=0; | ZC332-90000*YC332<=0; |
| ZA332-90000*YA332<=0; | BD131-90000*XD131>=0; |
| BB111-90000*XB111>=0; | BD132-90000*YD132>=0; |
| BB112-90000*YB112>=0; | XD131+YD132=1;        |
| XB111+YB112=1;        | BD131-BD13-VD131=0;   |
| BB111-BB11-VB111=0;   | BD132-BD13-ZD132=0;   |
| BB112-BB11-ZB112=0;   | VD131-90000*XD131<=0; |
| VB111-90000*XB111<=0; | ZD132-90000*YD132<=0; |
| ZB112-90000*YB112<=0; | BD221-90000*XD221>=0; |
| BB231-90000*XB231>=0; | BD222-90000*YD222>=0; |
| BB232-90000*YB232>=0; | XD221+YD222=1;        |
| XB231+YB232=1;        | BD221-BD22-VD221=0;   |
| BB231-BB23-VB231=0;   | BD222-BD22-ZD222=0;   |
| BB232-BB23-ZB232=0;   | VD221-90000*XD221<=0; |
| VB231-90000*XB231<=0; | ZD222-90000*YD222<=0; |
| ZB232-90000*YB232<=0; | BD311-90000*XD311>=0; |
| BB321-90000*XB321>=0; | BD312-90000*YD312>=0; |
| BB322-90000*YB322>=0; | XD311+YD312=1;        |
| XB321+YB322=1;        | BD311-BD31-VD311=0;   |
| BB321-BB32-VB321=0;   | BD312-BD31-ZD312=0;   |
| BB322-BB32-ZB322=0;   | VD311-90000*XD311<=0; |
| VB321-90000*XB321<=0; | ZD312-90000*YD312<=0; |
| ZB322-90000*YB322<=0; | BE111-90000*XE111>=0; |
| BC121-90000*XC121>=0; | BE112-90000*YE112>=0; |

XE111+YE112=1;  
 BE111-BE11-VE111=0;  
 BE112-BE11-ZE112=0;  
 VE111-90000\*XE111<=0;  
 ZE112-90000\*YE112<=0;  
 BE221-90000\*XE221>=0;  
 BE222-90000\*YE222>=0;  
 XE221+YE222=1;  
 BE221-BE22-VE221=0;  
 BE222-BE22-ZE222=0;  
 VE221-90000\*XE221<=0;  
 ZE222-90000\*YE222<=0;  
 BE331-90000\*XE331>=0;  
 BE332-90000\*YE332>=0;  
 XE331+YE332=1;  
 BE331-BE33-VE331=0;  
 BE332-BE33-ZE332=0;  
 VE331-90000\*XE331<=0;  
 ZE332-90000\*YE332<=0;  
 BA11A-TB11+900000\*LA1B11A>=0;  
 BB11A-TA11-900000\*LA1B11A>=-900000;  
 BA11A-TC21+900000\*LA1C21A>=0;  
 BC21A-TA11-900000\*LA1C21A>=-900000;  
 BA11A-TD31+900000\*LA1D31A>=0;  
 BD31A-TA11-900000\*LA1D31A>=-900000;  
 BA11A-TE11+900000\*LA1E11A>=0;  
 BE11A-TA11-900000\*LA1E11A>=-900000;  
 BB11A-TC21+900000\*LB1C21A>=0;  
 BC21A-TB11-900000\*LB1C21A>=-900000;  
 BB11A-TD31+900000\*LB1D31A>=0;  
 BD31A-TB11-900000\*LB1D31A>=-900000;  
 BB11A-TE11+900000\*LB1E11A>=0;  
 BE11A-TB11-900000\*LB1E11A>=-900000;  
 BC21A-TD31+900000\*LC2D31A>=0;  
 BD31A-TC21-900000\*LC2D31A>=-900000;  
 BC21A-TE11+900000\*LC2E11A>=0;  
 BE11A-TC21-900000\*LC2E11A>=-900000;  
 BD31A-TE11+900000\*LD3E11A>=0;  
 BE11A-TD31-900000\*LD3E11A>=-900000;  
 BA22A-TB32+900000\*LA2B32A>=0;  
 BB32A-TA22-900000\*LA2B32A>=-900000;  
 BA22A-TC12+900000\*LA2C12A>=0;  
 BC12A-TA22-900000\*LA2C12A>=-900000;  
 BA22A-TD22+900000\*LA2D22A>=0;  
 BD22A-TA22-900000\*LA2D22A>=-900000;  
 BA22A-TE22+900000\*LA2E22A>=0;  
 BE22A-TA22-900000\*LA2E22A>=-900000;  
 BB32A-TC12+900000\*LB3C12A>=0;  
 BC12A-TB32-900000\*LB3C12A>=-900000;  
 BB32A-TD22+900000\*LB3D22A>=0;  
 BD22A-TB32-900000\*LB3D22A>=-900000;  
 BB32A-TE22+900000\*LB3E22A>=0;  
 BE22A-TB32-900000\*LB3E22A>=-900000;  
 BC12A-TD22+900000\*LC1D22A>=0;  
 BD22A-TC12-900000\*LC1D22A>=-900000;  
 BC12A-TE22+900000\*LC1E22A>=0;  
 BE22A-TC12-900000\*LC1E22A>=-900000;  
 BD22A-TE22+900000\*LD2E22A>=0;  
 BE22A-TD22-900000\*LD2E22A>=-900000;

BA33A-TB23+900000\*LA3B23A>=0;  
 BB23A-TA33-900000\*LA3B23A>=-900000;  
 BA33A-TC33+900000\*LA3C33A>=0;  
 BC33A-TA33-900000\*LA3C33A>=-900000;  
 BA33A-TD13+900000\*LA3D13A>=0;  
 BD13A-TA33-900000\*LA3D13A>=-900000;  
 BA33A-TE33+900000\*LA3E33A>=0;  
 BE33A-TA33-900000\*LA3E33A>=-900000;  
 BB23A-TC33+900000\*LB2C33A>=0;  
 BC33A-TB23-900000\*LB2C33A>=-900000;  
 BB23A-TD13+900000\*LB2D13A>=0;  
 BD13A-TB23-900000\*LB2D13A>=-900000;  
 BB23A-TE33+900000\*LB2E33A>=0;  
 BE33A-TB23-900000\*LB2E33A>=-900000;  
 BC33A-TD13+900000\*LC3D13A>=0;  
 BD13A-TC33-900000\*LC3D13A>=-900000;  
 BC33A-TE33+900000\*LC3E33A>=0;  
 BE33A-TC33-900000\*LC3E33A>=-900000;  
 BD13A-TE33+900000\*LD1E33A>=0;  
 BE33A-TD13-900000\*LD1E33A>=-900000;  
 BA11B-TB11+900000\*LA1B11B>=0;  
 BB11B-TA11-900000\*LA1B11B>=-900000;  
 BA11B-TC21+900000\*LA1C21B>=0;  
 BC21B-TA11-900000\*LA1C21B>=-900000;  
 BA11B-TD31+900000\*LA1D31B>=0;  
 BD31B-TA11-900000\*LA1D31B>=-900000;  
 BA11B-TE11+900000\*LA1E11B>=0;  
 BE11B-TA11-900000\*LA1E11B>=-900000;  
 BB11B-TC21+900000\*LB1C21B>=0;  
 BC21B-TB11-900000\*LB1C21B>=-900000;  
 BB11B-TD31+900000\*LB1D31B>=0;  
 BD31B-TB11-900000\*LB1D31B>=-900000;  
 BB11B-TE11+900000\*LB1E11B>=0;  
 BE11B-TB11-900000\*LB1E11B>=-900000;  
 BC21B-TD31+900000\*LC2D31B>=0;  
 BD31B-TC21-900000\*LC2D31B>=-900000;  
 BC21B-TE11+900000\*LC2E11B>=0;  
 BE11B-TC21-900000\*LC2E11B>=-900000;  
 BD31B-TE11+900000\*LD3E11B>=0;  
 BE11B-TD31-900000\*LD3E11B>=-900000;  
 BA22B-TB32+900000\*LA2B32B>=0;  
 BB32B-TA22-900000\*LA2B32B>=-900000;  
 BA22B-TC12+900000\*LA2C12B>=0;  
 BC12B-TA22-900000\*LA2C12B>=-900000;  
 BA22B-TD22+900000\*LA2D22B>=0;  
 BD22B-TA22-900000\*LA2D22B>=-900000;  
 BA22B-TE22+900000\*LA2E22B>=0;  
 BE22B-TA22-900000\*LA2E22B>=-900000;  
 BB32B-TC12+900000\*LB3C12B>=0;  
 BC12B-TB32-900000\*LB3C12B>=-900000;  
 BB32B-TD22+900000\*LB3D22B>=0;  
 BD22B-TB32-900000\*LB3D22B>=-900000;  
 BB32B-TE22+900000\*LB3E22B>=0;  
 BE22B-TB32-900000\*LB3E22B>=-900000;  
 BC12B-TD22+900000\*LC1D22B>=0;  
 BD22B-TC12-900000\*LC1D22B>=-900000;  
 BC12B-TE22+900000\*LC1E22B>=0;  
 BE22B-TC12-900000\*LC1E22B>=-900000;  
 BD22B-TE22+900000\*LD2E22B>=0;

|                                     |                |
|-------------------------------------|----------------|
| BE22B-TD22-900000*LD2E22B>=-900000; | @GIN(VD131);   |
| BA33B-TB23+900000*LA3B23B>=0;       | @GIN(ZD132);   |
| BB23B-TA33-900000*LA3B23B>=-900000; | @BIN(XD221);   |
| BA33B-TC33+900000*LA3C33B>=0;       | @BIN(YD222);   |
| BC33B-TA33-900000*LA3C33B>=-900000; | @GIN(VD221);   |
| BA33B-TD13+900000*LA3D13B>=0;       | @GIN(ZD222);   |
| BD13B-TA33-900000*LA3D13B>=-900000; | @BIN(XD311);   |
| BA33B-TE33+900000*LA3E33B>=0;       | @BIN(YD312);   |
| BE33B-TA33-900000*LA3E33B>=-900000; | @GIN(VD311);   |
| BB23B-TC33+900000*LB2C33B>=0;       | @GIN(ZD312);   |
| BC33B-TB23-900000*LB2C33B>=-900000; | @BIN(XE111);   |
| BB23B-TD13+900000*LB2D13B>=0;       | @BIN(YE112);   |
| BD13B-TB23-900000*LB2D13B>=-900000; | @GIN(VE111);   |
| BB23B-TE33+900000*LB2E33B>=0;       | @GIN(ZE112);   |
| BE33B-TB23-900000*LB2E33B>=-900000; | @BIN(XE221);   |
| BC33B-TD13+900000*LC3D13B>=0;       | @BIN(YE222);   |
| BD13B-TC33-900000*LC3D13B>=-900000; | @GIN(VE221);   |
| BC33B-TE33+900000*LC3E33B>=0;       | @GIN(ZE222);   |
| BE33B-TC33-900000*LC3E33B>=-900000; | @BIN(XE331);   |
| BD13B-TE33+900000*LD1E33B>=0;       | @BIN(YE332);   |
| BE33B-TD13-900000*LD1E33B>=-900000; | @GIN(VE331);   |
| @BIN(XA111);                        | @GIN(ZE332);   |
| @BIN(YA112);                        | @BIN(LA1B11A); |
| @GIN(VA111);                        | @BIN(LA1C21A); |
| @GIN(ZA112);                        | @BIN(LA1D31A); |
| @BIN(XA221);                        | @BIN(LA1E11A); |
| @BIN(YA222);                        | @BIN(LB1C21A); |
| @GIN(VA221);                        | @BIN(LB1D31A); |
| @GIN(ZA222);                        | @BIN(LB1E11A); |
| @BIN(XA331);                        | @BIN(LC2D31A); |
| @BIN(YA332);                        | @BIN(LC2E11A); |
| @GIN(VA331);                        | @BIN(LD3E11A); |
| @GIN(ZA332);                        | @BIN(LA2B32A); |
| @BIN(XB111);                        | @BIN(LA2C12A); |
| @BIN(YB112);                        | @BIN(LA2D22A); |
| @GIN(VB111);                        | @BIN(LA2E22A); |
| @GIN(ZB112);                        | @BIN(LB3C12A); |
| @BIN(XB231);                        | @BIN(LB3D22A); |
| @BIN(YB232);                        | @BIN(LB3E22A); |
| @GIN(VB231);                        | @BIN(LC1D22A); |
| @GIN(ZB232);                        | @BIN(LC1E22A); |
| @BIN(XB321);                        | @BIN(LD2E22A); |
| @BIN(YB322);                        | @BIN(LA3B23A); |
| @GIN(VB321);                        | @BIN(LA3C33A); |
| @GIN(ZB322);                        | @BIN(LA3D13A); |
| @BIN(XC121);                        | @BIN(LA3E33A); |
| @BIN(YC122);                        | @BIN(LB2C33A); |
| @GIN(VC121);                        | @BIN(LB2D13A); |
| @GIN(ZC122);                        | @BIN(LB2E33A); |
| @BIN(XC211);                        | @BIN(LC3D13A); |
| @BIN(YC212);                        | @BIN(LC3E33A); |
| @GIN(VC211);                        | @BIN(LD1E33A); |
| @GIN(ZC212);                        | @BIN(LA1B11B); |
| @BIN(XC331);                        | @BIN(LA1C21B); |
| @BIN(YC332);                        | @BIN(LA1D31B); |
| @GIN(VC331);                        | @BIN(LA1E11B); |
| @GIN(ZC332);                        | @BIN(LB1C21B); |
| @BIN(XD131);                        | @BIN(LB1D31B); |
| @BIN(YD132);                        | @BIN(LB1E11B); |

@BIN(LC2D31B);  
 @BIN(LC2E11B);  
 @BIN(LD3E11B);  
 @BIN(LA2B32B);  
 @BIN(LA2C12B);  
 @BIN(LA2D22B);  
 @BIN(LA2E22B);  
 @BIN(LB3C12B);  
 @BIN(LB3D22B);  
 @BIN(LB3E22B);  
 @BIN(LC1D22B);  
 @BIN(LC1E22B);

@BIN(LD2E22B);  
 @BIN(LA3B23B);  
 @BIN(LA3C33B);  
 @BIN(LA3D13B);  
 @BIN(LA3E33B);  
 @BIN(LB2C33B);  
 @BIN(LB2D13B);  
 @BIN(LB2E33B);  
 @BIN(LC3D13B);  
 @BIN(LC3E33B);  
 @BIN(LD1E33B);  
 END

• ÇÖZÜMÜ

| Variable | Value    |
|----------|----------|
| T        | 6100.000 |
| C        | 942.0000 |
| K        | 7182.000 |
| PA22     | 700.0000 |
| GA22     | 1.000000 |
| CA22     | 84.00000 |
| PB32     | 1000.000 |
| GB32     | 1.000000 |
| CB32     | 120.0000 |
| PC12     | 2100.000 |
| GC12     | 0.000000 |
| CC12     | 378.0000 |
| PD22     | 1000.000 |
| GD22     | 1.000000 |
| CD22     | 120.0000 |
| PE22     | 2000.000 |
| GE22     | 1.000000 |
| CE22     | 240.0000 |
| TA11     | 1802.000 |
| BA11     | 544.0000 |
| TA22     | 2944.000 |
| BA22     | 2244.000 |
| TA33     | 3644.000 |
| BA33     | 2944.000 |
| TB11     | 544.0000 |
| BB11     | 0.000000 |
| TB23     | 1244.000 |
| BB23     | 544.0000 |
| TB32     | 2244.000 |
| BB32     | 1244.000 |
| TC12     | 2100.000 |
| BC12     | 0.000000 |
| TC21     | 4000.000 |
| BC21     | 2100.000 |
| TC33     | 6100.000 |
| BC33     | 4000.000 |
| TD13     | 2944.000 |
| BD13     | 2244.000 |
| TD22     | 5244.000 |
| BD22     | 4244.000 |
| TD31     | 5686.000 |
| BD31     | 5244.000 |
| TE11     | 2244.000 |
| BE11     | 1842.000 |

| Variable | Value    |
|----------|----------|
| TE22     | 4244.000 |
| BE22     | 2244.000 |
| TE33     | 5644.000 |
| BE33     | 4244.000 |
| KA33     | 2456.000 |
| KB32     | 3856.000 |
| KC33     | 0.000000 |
| KD31     | 414.0000 |
| KE33     | 456.0000 |
| BA111    | 90000.00 |
| XA111    | 1.000000 |
| BA112    | 544.0000 |
| YA112    | 0.000000 |
| VA111    | 89456.00 |
| ZA112    | 0.000000 |
| BA221    | 90000.00 |
| XA221    | 1.000000 |
| BA222    | 2244.000 |
| YA222    | 0.000000 |
| VA221    | 87756.00 |
| ZA222    | 0.000000 |
| BA331    | 90000.00 |
| XA331    | 1.000000 |
| BA332    | 2944.000 |
| YA332    | 0.000000 |
| VA331    | 87056.00 |
| ZA332    | 0.000000 |
| BB111    | 90000.00 |
| XB111    | 1.000000 |
| BB112    | 0.000000 |
| YB112    | 0.000000 |
| VB111    | 90000.00 |
| ZB112    | 0.000000 |
| BB231    | 544.0000 |
| XB231    | 0.000000 |
| BB232    | 90544.00 |
| YB232    | 1.000000 |
| VB231    | 0.000000 |
| ZB232    | 90000.00 |
| BB321    | 1244.000 |
| XB321    | 0.000000 |
| BB322    | 91244.00 |
| YB322    | 1.000000 |
| VB321    | 0.000000 |

|       |          |       |          |
|-------|----------|-------|----------|
| ZB322 | 90000.00 | YD222 | 0.000000 |
| BC121 | 90000.00 | VD221 | 85756.00 |
| XC121 | 1.000000 | ZD222 | 0.000000 |
| BC122 | 0.000000 | BD311 | 95244.00 |
| YC122 | 0.000000 | XD311 | 1.000000 |
| VC121 | 90000.00 | BD312 | 5244.000 |
| ZC122 | 0.000000 | YD312 | 0.000000 |
| BC211 | 2100.000 | VD311 | 90000.00 |
| XC211 | 0.000000 | ZD312 | 0.000000 |
| BC212 | 92100.00 | BE111 | 90000.00 |
| YC212 | 1.000000 | XE111 | 1.000000 |
| VC211 | 0.000000 | BE112 | 1842.000 |
| ZC212 | 90000.00 | YE112 | 0.000000 |
| BC331 | 4000.000 | VE111 | 88158.00 |
| XC331 | 0.000000 | ZE112 | 0.000000 |
| BC332 | 90000.00 | BE221 | 2244.000 |
| YC332 | 1.000000 | XE221 | 0.000000 |
| VC331 | 0.000000 | BE222 | 90000.00 |
| ZC332 | 86000.00 | YE222 | 1.000000 |
| BD131 | 92244.00 | VE221 | 0.000000 |
| BD131 | 1.000000 | ZE222 | 87756.00 |
| BD132 | 2244.000 | BE331 | 90000.00 |
| YD132 | 0.000000 | XE331 | 1.000000 |
| VD131 | 90000.00 | BE332 | 4244.000 |
| ZD132 | 0.000000 | YE332 | 0.000000 |
| BD221 | 90000.00 | VE331 | 85756.00 |
| XD221 | 1.000000 | ZE332 | 0.000000 |
| BD222 | 4244.000 |       |          |

#### EK-4: EK MODEL 5'E EKLENEN SINIRLAR VE ÇÖZÜMÜ

##### • EKLENEN TÜM SINIRLAR

TA33-BE33-90000\*MACE3<=0;  
 TC33-BE33-90000\*MACE3<=0;  
 TC33-TA33+1400\*MACE3-90000\*MACE3<=1400;  
 BA33-BA33-90000\*MACE3<=0;  
 TE33-BA33-90000\*NEAC3<=0;  
 TE33-BC33-90000\*NEAC3<=0;  
 TC33-TA33+1400\*NEAC3-90000\*NEAC3<=1400;  
 BA33-BC33-90000\*NEAC3<=0;  
 TA33-BC33-90000\*MAEC3<=0;  
 TE33-BC33-90000\*MAEC3<=0;  
 TE33-TA33+700\*MAEC3-90000\*MAEC3<=700;  
 BA33-BE33-90000\*MAEC3<=0;  
 TC33-BA33-90000\*NCAE3<=0;  
 TC33-BE33-90000\*NCAE3<=0;  
 TE33-TA33+700\*NCAE3-90000\*NCAE3<=700;  
 BA33-BE33-90000\*NCAE3<=0;  
 TC33-BA33-90000\*MCEA3<=0;  
 TE33-BA33-90000\*MCEA3<=0;  
 TC33-TE33+700\*MCEA3-90000\*MCEA3<=700;  
 BE33-BC33-90000\*MCEA3<=0;  
 TA33-BC33-90000\*NACE3<=0;  
 TA33-BE33-90000\*NACE3<=0;  
 TC33-TE33+700\*NACE3-90000\*NACE3<=700;  
 BE33-BC33-90000\*NACE3<=0;  
 MACE3+ NEAC3+ MAEC3+ NCAE3+ MCEA3+ NACE3=5;  
 @BIN(MACE3);  
 @BIN(NEAC3);  
 @BIN(MAEC3);

@BIN(NCAE3);  
 @BIN(MCEA3);  
 @BIN(NACE3);

• ÇÖZÜMÜ

| Variable | Value    |
|----------|----------|
| T        | 6300.000 |
| K        | 4258.000 |
| C        | 954.0000 |
| PA22     | 700.0000 |
| GA22     | 1.000000 |
| CA22     | 84.00000 |
| PB32     | 1000.000 |
| GB32     | 1.000000 |
| CB32     | 120.0000 |
| PC12     | 2100.000 |
| GC12     | 0.000000 |
| CC12     | 378.0000 |
| PD22     | 1000.000 |
| GD22     | 1.000000 |
| CD22     | 120.0000 |
| PE22     | 1400.000 |
| GE22     | 0.000000 |
| CE22     | 252.0000 |
| TA11     | 1802.000 |
| BA11     | 544.0000 |
| TA22     | 2800.000 |
| BA22     | 2100.000 |
| TA33     | 3500.000 |
| BA33     | 2800.000 |
| TB11     | 544.0000 |
| BB11     | 0.000000 |
| TB23     | 1400.000 |
| BB23     | 700.0000 |
| TB32     | 6200.000 |

| Variable | Value    |
|----------|----------|
| BB32     | 5200.000 |
| TC12     | 2100.000 |
| BC12     | 0.000000 |
| TC21     | 4104.000 |
| BC21     | 2204.000 |
| TC33     | 6300.000 |
| BC33     | 4200.000 |
| TD13     | 700.0000 |
| BD13     | 0.000000 |
| TD22     | 5200.000 |
| BD22     | 4200.000 |
| TD31     | 5642.000 |
| BD31     | 5200.000 |
| TE11     | 2204.000 |
| BE11     | 1802.000 |
| TE22     | 4200.000 |
| BE22     | 2800.000 |
| TE33     | 5600.000 |
| BE33     | 4200.000 |
| KA33     | 2800.000 |
| KB32     | 100.0000 |
| KC33     | 0.000000 |
| KD31     | 658.0000 |
| KE33     | 700.0000 |
| MACE3    | 1.000000 |
| NEAC3    | 1.000000 |
| MAEC3    | 1.000000 |
| NCAE3    | 1.000000 |
| MCEA3    | 1.000000 |
| NACE3    | 0.000000 |

**EK-5: PARÇALARIN OPERASYON SIRALARI VE SÜRELERİ**

| PARÇA<br>KODU | BİR<br>TAKIM<br>İÇİN<br>GEREKLİ<br>MİKTAR | 1. Operasyon   |                 | 2. Operasyon   |                 | 3. Operasyon   |                 | 4. Operasyon   |                 |
|---------------|-------------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
|               |                                           | Makine<br>Kodu | İşlem<br>süresi | Makine<br>Kodu | İşlem<br>süresi | Makine<br>Kodu | İşlem<br>süresi | Makine<br>Kodu | İşlem<br>süresi |
| 1             | 2                                         | 1. makine      | 46              | 2. makine      | 14/10*          | 3. makine      | 7               |                |                 |
| 2             | 2                                         | 5. makine      | 12              | 4. makine      | 5               | 1. makine      | 44              |                |                 |
| 3             | 2                                         | 1. makine      | 37              | 2. makine      | 7/5             | 5. makine      | 12              | 3. makine      | 7               |
| 4             | 2                                         | 4. makine      | 5               | 1. makine      | 10              | 2. makine      | 8/6             |                |                 |
| 5             | 2                                         | 4. makine      | 5               | 2. makine      | 9/8             | 1. makine      | 6               |                |                 |
| 6             | 2                                         | 1. makine      | 16              | 3. makine      | 7               | 2. makine      | 10/8            |                |                 |
| 7             | 1                                         | 2. makine      | 8/6             | 1. makine      | 17              | 4. makine      | 5               | 5. makine      | 12              |
| 8             | 2                                         | 3. makine      | 7               | 2. makine      | 7/6             | 1. makine      | 13              |                |                 |
| 9             | 1                                         | 3. makine      | 7               | 1. makine      | 15              | 2. makine      | 10/9            |                |                 |
| 10            | 6                                         | 5. makine      | 12              | 1. makine      | 7               | 4. makine      | 5               |                |                 |
| 11            | 3                                         | 2. makine      | 10/7            | 3. makine      | 7               | 1. makine      | 8               |                |                 |
| 12            | 3                                         | 1. makine      | 9               | 2. makine      | 10/7            | 5. makine      | 12              |                |                 |
| 13            | 1                                         | 2. makine      | 17/12           | 1. makine      | 10              | 4. makine      | 5               |                |                 |
| 14            | 2                                         | 4. makine      | 5               | 2. makine      | 8/6             | 1. makine      | 10              |                |                 |
| 15            | 2                                         | 3. makine      | 7               | 5. makine      | 12              | 1. makine      | 12              |                |                 |
| 16            | 4                                         | 3. makine      | 7               | 2. makine      | 10/7            | 1. makine      | 10              |                |                 |
| 17            | 2                                         | 1. makine      | 11              | 4. makine      | 5               | 2. makine      | 8/6             |                |                 |
| 18            | 2                                         | 3. makine      | 7               | 5. makine      | 12              | 1. makine      | 7               | 2. makine      | 8/6             |
| 19            | 2                                         | 5. makine      | 12              | 3. makine      | 7               | 1. makine      | 8               |                |                 |
| 20            | 8                                         | 5. makine      | 12              | 4. makine      | 5               | 1. makine      | 6               |                |                 |
| 21            | 4                                         | 3. makine      | 7               | 2. makine      | 7/5             | 1. makine      | 7               |                |                 |
| 22            | 1                                         | 3. makine      | 7               | 5. makine      | 12              | 1. makine      | 20              |                |                 |
| 23            | 1                                         | 2. makine      | 11/8            | 1. makine      | 18              | 3. makine      | 7               |                |                 |
| 24            | 1                                         | 1. makine      | 8               | 2. makine      | 12/9            | 4. makine      | 5               |                |                 |
| 25            | 2                                         | 2. makine      | 8/5             | 3. makine      | 7               | 1. makine      | 14              |                |                 |
| 26            | 2                                         | 1. makine      | 13              | 5. makine      | 12              | 4. makine      | 5               | 2. makine      | 8/6             |
| 27            | 1                                         | 2. makine      | 12/9            | 3. makine      | 7               | 5. makine      | 12              | 1. makine      | 7               |
| 28            | 3                                         | 5. makine      | 12              | 3. makine      | 7               | 1. makine      | 7               |                |                 |
| 29            | 8                                         | 5. makine      | 12              | 4. makine      | 5               | 1. makine      | 6               | 2. makine      | 7/5             |
| 30            | 4                                         | 3. makine      | 7               | 1. makine      | 6               | 2. makine      | 7/5             |                |                 |
| 31            | 1                                         | 5. makine      | 12              | 2. makine      | 8/6             | 1. makine      | 26              |                |                 |
| 32            | 2                                         | 2. makine      | 11/8            | 5. makine      | 12              | 1. makine      | 8               | 3. makine      | 7               |
| 33            | 1                                         | 4. makine      | 5               | 5. makine      | 12              | 1. makine      | 10              |                |                 |
| 34            | 1                                         | 2. makine      | 8/6             | 3. makine      | 7               | 1. makine      | 25              |                |                 |
| 35            | 2                                         | 2. makine      | 7/5             | 3. makine      | 7               | 1. makine      | 18              |                |                 |
| 36            | 1                                         | 5. makine      | 12              | 1. makine      | 23              | 2. makine      | 11/8            |                |                 |
| 37            | 3                                         | 5. makine      | 12              | 3. makine      | 7               | 1. makine      | 15              |                |                 |
| 38            | 2                                         | 1. makine      | 51              | 2. makine      | 14/10           | 3. makine      | 7               |                |                 |
| 39            | 2                                         | 5. makine      | 12              | 4. makine      | 5               | 1. makine      | 43              | 2. makine      | 17/12           |
| 40            | 2                                         | 3. makine      | 7               | 5. makine      | 12              | 2. makine      | 7/5             | 1. makine      | 41              |
| 41            | 2                                         | 1. makine      | 11              | 4. makine      | 5               | 2. makine      | 8/6             |                |                 |
| 42            | 2                                         | 2. makine      | 8/7             | 1. makine      | 6               | 4. makine      | 5               |                |                 |
| 43            | 2                                         | 2. makine      | 9/7             | 1. makine      | 19              | 3. makine      | 7               |                |                 |
| 44            | 1                                         | 5. makine      | 12              | 3. makine      | 7               | 1. makine      | 20              |                |                 |
| 45            | 1                                         | 3. makine      | 7               | 1. makine      | 22              | 2. makine      | 12/9            |                |                 |
| 46            | 2                                         | 1. makine      | 8               | 4. makine      | 5               | 2. makine      | 8/6             |                |                 |
| 47            | 1                                         | 1. makine      | 12              | 2. makine      | 8/6             | 3. makine      | 7               |                |                 |
| 48            | 4                                         | 2. makine      | 14/10           | 3. makine      | 7               | 1. makine      | 32              |                |                 |

| PARÇA KODU | BİR TAKIM İÇİN GEREKLİ MİKTAR | 1.Operasyon |              | 2.Operasyon |              | 3.Operasyon |              | 4.Operasyon |              |
|------------|-------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|            |                               | Makine Kodu | İşlem süresi | Makine Kodu | İşlem süresi | Makine Kodu | İşlem süresi | Makine Kodu | İşlem süresi |
| 49         | 2                             | 4. makine   | 5            | 5. makine   | 12           | 1. makine   | 12           |             |              |
| 50         | 2                             | 1. makine   | 11           | 2. makine   | 8/6          | 3. makine   | 7            |             |              |
| 51         | 4                             | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 9            | 2. makine   | 7/5          |             |              |
| 52         | 4                             | 4. makine   | 5            | 1. makine   | 6            | 2. makine   | 7/6          |             |              |
| 53         | 2                             | 5. makine   | 12           | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 8            |             |              |
| 54         | 8                             | 4. makine   | 5            | 5. makine   | 12           | 2. makine   | 7/5          | 1. makine   | 6            |
| 55         | 4                             | 1. makine   | 7            | 2. makine   | 7/5          | 3. makine   | 7            |             |              |
| 56         | 1                             | 5. makine   | 12           | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 15           | 2. makine   | 13/9         |
| 57         | 1                             | 1. makine   | 14           | 2. makine   | 11/8         | 3. makine   | 7            |             |              |
| 58         | 2                             | 3. makine   | 7            | 5. makine   | 12           | 1. makine   | 14           |             |              |
| 59         | 2                             | 2. makine   | 10/7         | 4. makine   | 5            | 1. makine   | 7            |             |              |
| 60         | 1                             | 2. makine   | 8/6          | 1. makine   | 6            | 4. makine   | 5            |             |              |
| 61         | 1                             | 5. makine   | 12           | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 9            |             |              |
| 62         | 3                             | 5. makine   | 12           | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 9            | 2. makine   | 7/5          |
| 63         | 8                             | 1. makine   | 6            | 2. makine   | 7/5          | 5. makine   | 12           | 4. makine   | 5            |
| 64         | 4                             | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 8            | 2. makine   | 7/5          |             |              |
| 65         | 1                             | 1. makine   | 25           | 2. makine   | 8/6          | 5. makine   | 12           |             |              |
| 66         | 2                             | 1. makine   | 14           | 5. makine   | 12           | 2. makine   | 7/5          | 3. makine   | 7            |
| 67         | 2                             | 5. makine   | 12           | 1. makine   | 8            | 2. makine   | 8/6          | 3. makine   | 7            |
| 68         | 1                             | 5. makine   | 12           | 1. makine   | 7            | 2. makine   | 8/6          |             |              |
| 69         | 1                             | 2. makine   | 7/5          | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 11           |             |              |
| 70         | 1                             | 1. makine   | 23           | 2. makine   | 8/6          | 4. makine   | 5            |             |              |
| 71         | 2                             | 2. makine   | 10/7         | 1. makine   | 18           | 3. makine   | 7            |             |              |
| 72         | 1                             | 3. makine   | 7            | 5. makine   | 12           | 1. makine   | 21           |             |              |
| 73         | 3                             | 5. makine   | 12           | 4. makine   | 5            | 1. makine   | 15           |             |              |
| 74         | 1                             | 4. makine   | 5            | 2. makine   | 10/7         | 1. makine   | 10           |             |              |
| 75         | 2                             | 5. makine   | 12           | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 44           |             |              |
| 76         | 2                             | 1. makine   | 39           | 4. makine   | 5            | 2. makine   | 13/9         | 5. makine   | 12           |
| 77         | 2                             | 5. makine   | 12           | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 38           |             |              |
| 78         | 1                             | 1. makine   | 10           | 4. makine   | 5            | 2. makine   | 10/7         |             |              |
| 79         | 4                             | 4. makine   | 5            | 2. makine   | 6/5          | 1. makine   | 6            |             |              |
| 80         | 2                             | 2. makine   | 8/6          | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 18           |             |              |
| 81         | 1                             | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 16           | 5. makine   | 12           |             |              |
| 82         | 1                             | 3. makine   | 7            | 2. makine   | 10/8         | 1. makine   | 13           |             |              |
| 83         | 1                             | 2. makine   | 10/8         | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 16           |             |              |
| 84         | 4                             | 4. makine   | 10           | 1. makine   | 7            | 2. makine   | 7/5          |             |              |
| 85         | 2                             | 4. makine   | 5            | 1. makine   | 7            | 2. makine   | 8/6          |             |              |
| 86         | 2                             | 5. makine   | 12           | 1. makine   | 6            | 2. makine   | 10/7         | 3. makine   | 7            |
| 87         | 1                             | 2. makine   | 8/6          | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 7            |             |              |
| 88         | 1                             | 3. makine   | 7            | 2. makine   | 8/6          | 1. makine   | 7            |             |              |
| 89         | 2                             | 2. makine   | 16/11        | 1. makine   | 11           | 4. makine   | 10           |             |              |
| 90         | 2                             | 2. makine   | 7/5          | 4. makine   | 10           | 1. makine   | 10           |             |              |
| 91         | 4                             | 1. makine   | 24           | 2. makine   | 11/8         | 4. makine   | 10           |             |              |
| 92         | 2                             | 2. makine   | 13/9         | 1. makine   | 29           | 3. makine   | 7            |             |              |
| 93         | 4                             | 1. makine   | 12           | 3. makine   | 7            | 5. makine   | 12           | 2. makine   | 7/5          |

| PARÇA KODU | BİR TAKIM İÇİN GEREKLİ MİKTAR | 1.Operasyon |              | 2.Operasyon |              | 3.Operasyon |              | 4.Operasyon |              |
|------------|-------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|            |                               | Makine Kodu | İşlem süresi | Makine Kodu | İşlem süresi | Makine Kodu | İşlem süresi | Makine Kodu | İşlem süresi |
| 94         | 4                             | 3. makine   | 7            | 2. makine   | 7/6          | 1. makine   | 7            |             |              |
| 95         | 2                             | 4. makine   | 5            | 1. makine   | 6            | 2. makine   | 7/6          |             |              |
| 96         | 2                             | 1. makine   | 8            | 4. makine   | 5            | 2. makine   | 8/6          |             |              |
| 97         | 4                             | 2. makine   | 7/5          | 4. makine   | 5            | 1. makine   | 6            |             |              |
| 98         | 4                             | 5. makine   | 12           | 4. makine   | 5            | 1. makine   | 6            |             |              |
| 99         | 2                             | 2. makine   | 8/6          | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 7            |             |              |
| 100        | 2                             | 1. makine   | 7            | 5. makine   | 12           | 2. makine   | 8/6          |             |              |
| 101        | 2                             | 1. makine   | 15           | 3. makine   | 7            | 2. makine   | 10/7         | 5. makine   | 12           |
| 102        | 2                             | 1. makine   | 13           | 3. makine   | 7            | 2. makine   | 13/9         |             |              |
| 103        | 1                             | 2. makine   | 11/8         | 4. makine   | 5            | 1. makine   | 6            |             |              |
| 104        | 2                             | 1. makine   | 7            | 4. makine   | 5            | 2. makine   | 11/8         |             |              |
| 105        | 6                             | 4. makine   | 5            | 1. makine   | 6            | 5. makine   | 12           |             |              |
| 106        | 3                             | 3. makine   | 7            | 2. makine   | 7/5          | 1. makine   | 8            |             |              |
| 107        | 3                             | 1. makine   | 10           | 5. makine   | 12           | 2. makine   | 8/6          |             |              |
| 108        | 1                             | 2. makine   | 8/6          | 1. makine   | 25           | 3. makine   | 7            |             |              |
| 109        | 1                             | 5. makine   | 12           | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 10           |             |              |
| 110        | 2                             | 4. makine   | 5            | 2. makine   | 10/7         | 1. makine   | 8            | 5. makine   | 12           |
| 111        | 1                             | 5. makine   | 12           | 3. makine   | 7            | 1. makine   | 48           |             |              |
| 112        | 2                             | 3. makine   | 7            | 2. makine   | 8/6          | 1. makine   | 18           |             |              |
| 113        | 1                             | 2. makine   | 7/5          | 1. makine   | 21           | 3. makine   | 7            |             |              |
| 114        | 3                             | 1. makine   | 15           | 5. makine   | 12           | 2. makine   | 7/5          | 4. makine   | 5            |

**EK-6: İKİNCİ MAKİNEDE İŞLEM GÖREN PARÇALAR VE MALİYETLERİ**

| Parça Kodu | Hızlı Ayardaki Maliyet | Normal Hız Ayarındaki Maliyet | Parça Kodu | Hızlı Ayardaki Maliyet | Normal Hız Ayarındaki Maliyet | Parça Kodu | Hızlı Ayardaki Maliyet | Normal Hız Ayarındaki Maliyet |
|------------|------------------------|-------------------------------|------------|------------------------|-------------------------------|------------|------------------------|-------------------------------|
| 1          | 168                    | 180                           | 42         | 288                    | 378                           | 80         | 192                    | 216                           |
| 3          | 84                     | 90                            | 43         | 324                    | 378                           | 82         | 120                    | 144                           |
| 4          | 96                     | 108                           | 45         | 216                    | 243                           | 83         | 120                    | 144                           |
| 5          | 108                    | 144                           | 46         | 288                    | 324                           | 84         | 336                    | 360                           |
| 6          | 120                    | 144                           | 47         | 144                    | 162                           | 85         | 192                    | 216                           |
| 7          | 48                     | 54                            | 48         | 1008                   | 1080                          | 86         | 240                    | 252                           |
| 8          | 84                     | 108                           | 49         | 504                    | 540                           | 87         | 96                     | 108                           |
| 9          | 60                     | 81                            | 50         | 288                    | 324                           | 88         | 96                     | 108                           |
| 11         | 180                    | 189                           | 51         | 504                    | 540                           | 89         | 384                    | 396                           |
| 12         | 180                    | 189                           | 52         | 504                    | 648                           | 90         | 168                    | 180                           |
| 13         | 102                    | 108                           | 54         | 1008                   | 1080                          | 91         | 528                    | 576                           |
| 14         | 96                     | 108                           | 55         | 504                    | 540                           | 92         | 312                    | 324                           |
| 16         | 240                    | 252                           | 56         | 234                    | 243                           | 93         | 336                    | 360                           |
| 17         | 96                     | 108                           | 57         | 198                    | 216                           | 94         | 336                    | 432                           |
| 18         | 96                     | 108                           | 59         | 360                    | 378                           | 95         | 168                    | 216                           |
| 21         | 168                    | 180                           | 60         | 144                    | 162                           | 96         | 192                    | 216                           |
| 23         | 66                     | 72                            | 62         | 378                    | 405                           | 97         | 336                    | 360                           |
| 24         | 72                     | 81                            | 63         | 1008                   | 1080                          | 99         | 192                    | 216                           |
| 25         | 96                     | 108                           | 64         | 504                    | 540                           | 100        | 192                    | 216                           |
| 26         | 96                     | 108                           | 65         | 144                    | 162                           | 101        | 240                    | 252                           |
| 27         | 72                     | 81                            | 66         | 252                    | 270                           | 102        | 312                    | 324                           |
| 29         | 336                    | 360                           | 67         | 288                    | 324                           | 103        | 132                    | 144                           |
| 30         | 168                    | 180                           | 68         | 144                    | 162                           | 104        | 264                    | 288                           |
| 31         | 48                     | 54                            | 69         | 126                    | 135                           | 106        | 252                    | 270                           |
| 32         | 132                    | 144                           | 70         | 144                    | 162                           | 107        | 288                    | 324                           |
| 34         | 48                     | 54                            | 71         | 360                    | 378                           | 108        | 96                     | 108                           |
| 35         | 84                     | 90                            | 74         | 180                    | 189                           | 110        | 240                    | 252                           |
| 36         | 66                     | 72                            | 76         | 312                    | 324                           | 112        | 192                    | 216                           |
| 39         | 612                    | 648                           | 78         | 120                    | 126                           | 113        | 84                     | 90                            |
| 40         | 252                    | 270                           | 79         | 288                    | 360                           | 114        | 252                    | 270                           |
| 41         | 288                    | 324                           |            |                        |                               |            |                        |                               |

**EK-7: ANA MODELİN İKİNCİ AŞAMASININ SINIRLARI**

MIN=C;

T&lt;=153400;

P122-1400\*G122+1000\*G122=1000;

C122-168\*G122+180\*G122=180;

P322-700\*G322+500\*G322=500;

C322-84\*G322+90\*G322=90;

P432-800\*G432+600\*G432=600;

C432-96\*G432+108\*G432=108;

P522-900\*G522+800\*G522=800;

C522-108\*G522+144\*G522=144;

P632-1000\*G632+800\*G632=800;

C632-120\*G632+144\*G632=144;

P712-400\*G712+300\*G712=300;

C712-48\*G712+54\*G712=54;

P822-700\*G822+600\*G822=600;

C822-84\*G822+108\*G822=108;

P932-500\*G932+450\*G932=450;

C932-60\*G932+81\*G932=81;

P1112-1500\*G1112+1050\*G1112=1050;

C1112-180\*G1112+189\*G1112=189;

P1222-1500\*G1222+1050\*G1222=1050;

C1222-180\*G1222+189\*G1222=189;

P1312-850\*G1312+600\*G1312=600;

C1312-270\*G1312+279\*G1312=279;

P1422-800\*G1422+600\*G1422=600;

C1422-96\*G1422+108\*G1422=108;

P1622-2000\*G1622+1400\*G1622=1400;

C1622-240\*G1622+252\*G1622=252;

P1732-800\*G1732+600\*G1732=600;

C1732-96\*G1732+108\*G1732=108;

P1842-800\*G1842+600\*G1842=600;

C1842-96\*G1842+108\*G1842=108;

P2122-1400\*G2122+1000\*G2122=1000;  
 C2122-168\*G2122+180\*G2122=180;  
 P2312-550\*G2312+400\*G2312=400;  
 C2312-66\*G2312+72\*G2312=72;  
 P2422-600\*G2422+450\*G2422=450;  
 C2422-72\*G2422+81\*G2422=81;  
 P2512-800\*G2512+600\*G2512=600;  
 C2512-96\*G2512+108\*G2512=108;  
 P2642-800\*G2642+600\*G2642=600;  
 C2642-96\*G2642+108\*G2642=108;  
 P2712-600\*G2712+450\*G2712=450;  
 C2712-72\*G2712+81\*G2712=81;  
 P2942-2800\*G2942+2000\*G2942=2000;  
 C2942-336\*G2942+360\*G2942=360;  
 P3032-1400\*G3032+1000\*G3032=1000;  
 C3032-168\*G3032+180\*G3032=180;  
 P3122-400\*G3122+300\*G3122=300;  
 C3122-48\*G3122+54\*G3122=54;  
 P3212-1100\*G3212+800\*G3212=800;  
 C3212-132\*G3212+144\*G3212=144;  
 P3412-400\*G3412+300\*G3412=300;  
 C3412-48\*G3412+54\*G3412=54;  
 P3512-700\*G3512+500\*G3512=500;  
 C3512-84\*G3512+90\*G3512=90;  
 P3632-550\*G3632+400\*G3632=400;  
 C3632-66\*G3632+72\*G3632=72;  
 P3822-4200\*G3822+3000\*G3822=3000;  
 C3822-504\*G3822+540\*G3822=540;  
 P3942-5100\*G3942+3600\*G3942=3600;  
 C3942-612\*G3942+648\*G3942=648;  
 P4032-2100\*G4032+1500\*G4032=1500;  
 C4032-252\*G4032+270\*G4032=270;  
 P4132-2400\*G4132+1800\*G4132=1800;  
 C4132-288\*G4132+324\*G4132=324;  
 P4212-2400\*G4212+2100\*G4212=2100;  
 C4212-288\*G4212+378\*G4212=378;  
 P4312-2700\*G4312+2100\*G4312=2100;  
 C4312-324\*G4312+378\*G4312=378;  
 P4532-1800\*G4532+1350\*G4532=1350;  
 C4532-216\*G4532+243\*G4532=243;  
 P4632-2400\*G4632+1800\*G4632=1800;  
 C4632-288\*G4632+324\*G4632=324;  
 P4722-1200\*G4722+900\*G4722=900;  
 C4722-144\*G4722+162\*G4722=162;  
 P4812-8400\*G4812+6000\*G4812=6000;  
 C4812-1008\*G4812+1080\*G4812=1080;  
 P5022-2400\*G5022+1800\*G5022=1800;  
 C5022-288\*G5022+324\*G5022=324;  
 P5132-4200\*G5132+3000\*G5132=3000;  
 C5132-504\*G5132+540\*G5132=540;  
 P5232-4200\*G5232+3600\*G5232=3600;  
 C5232-504\*G5232+648\*G5232=648;  
 P5432-8400\*G5432+6000\*G5432=6000;  
 C5432-1008\*G5432+1080\*G5432=1080;  
 P5522-4200\*G5522+3000\*G5522=3000;  
 C5522-504\*G5522+540\*G5522=540;  
 P5642-1950\*G5642+1350\*G5642=1350;  
 C5642-234\*G5642+243\*G5642=243;  
 P5722-1650\*G5722+1200\*G5722=1200;

C5722-198\*G5722+216\*G5722=216;  
 P5912-3000\*G5912+2100\*G5912=2100;  
 C5912-360\*G5912+378\*G5912=378;  
 P6012-1200\*G6012+900\*G6012=900;  
 C6012-144\*G6012+162\*G6012=162;  
 P6242-3150\*G6242+2250\*G6242=2250;  
 C6242-378\*G6242+405\*G6242=405;  
 P6322-8400\*G6322+6000\*G6322=6000;  
 C6322-1008\*G6322+1080\*G6322=1080;  
 P6432-4200\*G6432+3000\*G6432=3000;  
 C6432-504\*G6432+540\*G6432=540;  
 P6522-1200\*G6522+900\*G6522=900;  
 C6522-144\*G6522+162\*G6522=162;  
 P6632-2100\*G6632+1500\*G6632=1500;  
 C6632-252\*G6632+270\*G6632=270;  
 P6732-2400\*G6732+1800\*G6732=1800;  
 C6732-288\*G6732+324\*G6732=324;  
 P6832-1200\*G6832+900\*G6832=900;  
 C6832-144\*G6832+162\*G6832=162;  
 P6912-1050\*G6912+750\*G6912=750;  
 C6912-126\*G6912+135\*G6912=135;  
 P7022-1200\*G7022+900\*G7022=900;  
 C7022-144\*G7022+162\*G7022=162;  
 P7112-3000\*G7112+2100\*G7112=2100;  
 C7112-360\*G7112+378\*G7112=378;  
 P7422-1500\*G7422+1050\*G7422=1050;  
 C7422-180\*G7422+189\*G7422=189;  
 P7632-2600\*G7632+1800\*G7632=1800;  
 C7632-312\*G7632+324\*G7632=324;  
 P7832-1000\*G7832+700\*G7832=700;  
 C7832-120\*G7832+126\*G7832=126;  
 P7922-2400\*G7922+2000\*G7922=2000;  
 C7922-288\*G7922+360\*G7922=360;  
 P8012-1600\*G8012+1200\*G8012=1200;  
 C8012-192\*G8012+216\*G8012=216;  
 P8222-1000\*G8222+800\*G8222=800;  
 C8222-120\*G8222+144\*G8222=144;  
 P8312-1000\*G8312+800\*G8312=800;  
 C8312-120\*G8312+144\*G8312=144;  
 P8432-2800\*G8432+2000\*G8432=2000;  
 C8432-336\*G8432+360\*G8432=360;  
 P8532-1600\*G8532+1200\*G8532=1200;  
 C8532-192\*G8532+216\*G8532=216;  
 P8632-2000\*G8632+1400\*G8632=1400;  
 C8632-240\*G8632+252\*G8632=252;  
 P8712-800\*G8712+600\*G8712=600;  
 C8712-96\*G8712+108\*G8712=108;  
 P8822-800\*G8822+600\*G8822=600;  
 C8822-96\*G8822+108\*G8822=108;  
 P8912-3200\*G8912+2200\*G8912=2200;  
 C8912-384\*G8912+396\*G8912=396;  
 P9012-1400\*G9012+1000\*G9012=1000;  
 C9012-168\*G9012+180\*G9012=180;  
 P9122-4400\*G9122+3200\*G9122=3200;  
 C9122-528\*G9122+576\*G9122=576;  
 P9212-2600\*G9212+1800\*G9212=1800;  
 C9212-312\*G9212+324\*G9212=324;  
 P9342-2800\*G9342+2000\*G9342=2000;  
 C9342-336\*G9342+360\*G9342=360;

P9422-2800\*G9422+2400\*G9422=2400;  
 C9422-336\*G9422+432\*G9422=432;  
 P9532-1400\*G9532+1200\*G9532=1200;  
 C9532-168\*G9532+216\*G9532=216;  
 P9632-1600\*G9632+1200\*G9632=1200;  
 C9632-192\*G9632+216\*G9632=216;  
 P9712-2800\*G9712+2000\*G9712=2000;  
 C9712-336\*G9712+360\*G9712=360;  
 P9912-1600\*G9912+1200\*G9912=1200;  
 C9912-192\*G9912+216\*G9912=216;  
 P10032-1600\*G10032+1200\*G10032=1200;  
 C10032-192\*G10032+216\*G10032=216;  
 P10132-2000\*G10132+1400\*G10132=1400;  
 C10132-240\*G10132+252\*G10132=252;  
 P10232-2600\*G10232+1800\*G10232=1800;  
 C10232-312\*G10232+324\*G10232=324;  
 P10312-1100\*G10312+800\*G10312=800;  
 C10312-132\*G10312+144\*G10312=144;  
 P10432-2200\*G10432+1600\*G10432=1600;  
 C10432-264\*G10432+288\*G10432=288;  
 P10622-2100\*G10622+1500\*G10622=1500;  
 C10622-252\*G10622+270\*G10622=270;  
 P10732-2400\*G10732+1800\*G10732=1800;  
 C10732-288\*G10732+324\*G10732=324;  
 P10812-800\*G10812+600\*G10812=600;  
 C10812-96\*G10812+108\*G10812=108;  
 P11022-2000\*G11022+1400\*G11022=1400;  
 C11022-240\*G11022+252\*G11022=252;  
 P11222-1600\*G11222+1200\*G11222=1200;  
 C11222-192\*G11222+216\*G11222=216;  
 P11312-700\*G11312+500\*G11312=500;  
 C11312-84\*G11312+90\*G11312=90;  
 P11432-2100\*G11432+1500\*G11432=1500;  
 C11432-252\*G11432+270\*G11432=270;  
 C-C1112-C1222-C122-C1312-C1422-C1622-  
 C1732-C1842-C2122-C2312-C2422-C2512-  
 C2642-C2712-C2942-C3032-C3122-C3212-  
 C322-C3412-C3512-C3632-C432-C522-C632-  
 C712-C822-C932-C4722-C4812-C3822-C5022-  
 C5132-C5232-C5432-C5522-C5642-C5722-  
 C3942-C5912-C6012-C6242-C6322-C6432-  
 C6522-C6632-C6732-C6832-C4032-C6912-  
 C7022-C7112-C7422-C4132-C4212-C4312-  
 C4532-C4632-C8432-C8532-C8632-C8712-  
 C8822-C8912-C9012-C9122-C9212-C9342-  
 C9422-C9532-C7632-C9632-C9712-C9912-  
 C10032-C10132-C10232-C10312-C10432-  
 C10622-C10732-C10812-C11022-C11222-  
 C11312-C11432-C7832-C7922-C8012-C8222-  
 C8312=0;  
 T111-B111=1564;  
 T122-B122-P122=0;  
 T133-B133=700;  
 T215-B215=1200;  
 T224-B224=500;  
 T231-B231=1496;  
 T311-B311=1258;  
 T322-B322-P322=0;  
 T335-B335=1200;  
 T343-B343=700;  
 T414-B414=500;  
 T421-B421=340;  
 T432-B432-P432=0;  
 T514-B514=500;  
 T522-B522-P522=0;  
 T531-B531=204;  
 T611-B611=544;  
 T623-B623=700;  
 T632-B632-P632=0;  
 T712-B712-P712=0;  
 T721-B721=289;  
 T734-B734=250;  
 T745-B745=600;  
 T813-B813=700;  
 T822-B822-P822=0;  
 T831-B831=442;  
 T913-B913=350;  
 T921-B921=255;  
 T932-B932-P932=0;  
 T1015-B1015=3600;  
 T1021-B1021=700;  
 T1034-B1034=1500;  
 T1112-B1112-P1112=0;  
 T1123-B1123=1050;  
 T1131-B1131=800;  
 T1211-B1211=450;  
 T1222-B1222-P1222=0;  
 T1235-B1235=1800;  
 T1312-B1312-P1312=0;  
 T1321-B1321=170;  
 T1334-B1334=250;  
 T1414-B1414=500;  
 T1422-B1422-P1422=0;  
 T1431-B1431=340;  
 T1513-B1513=700;  
 T1525-B1525=1200;  
 T1531-B1531=408;  
 T1613-B1613=1400;  
 T1622-B1622-P1622=0;  
 T1631-B1631=670;  
 T1711-B1711=374;  
 T1724-B1724=500;  
 T1732-B1732-P1732=0;  
 T1813-B1813=700;  
 T1825-B1825=1200;  
 T1831-B1831=238;  
 T1842-B1842-P1842=0;  
 T1915-B1915=1200;  
 T1923-B1923=700;  
 T1931-B1931=272;  
 T2015-B2015=4800;  
 T2024-B2024=2000;  
 T2031-B2031=804;  
 T2113-B2113=1400;  
 T2122-B2122-P2122=0;  
 T2131-B2131=469;  
 T2213-B2213=350;  
 T2225-B2225=600;

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| T2231-B2231=340;     | T4032-B4032-P4032=0; |
| T2312-B2312-P2312=0; | T4041-B4041=4100;    |
| T2321-B2321=306;     | T4111-B4111=1100;    |
| T2333-B2333=350;     | T4124-B4124=1500;    |
| T2411-B2411=136;     | T4132-B4132-P4132=0; |
| T2422-B2422-P2422=0; | T4212-B4212-P4212=0; |
| T2434-B2434=250;     | T4221-B4221=600;     |
| T2512-B2512-P2512=0; | T4234-B4234=1500;    |
| T2523-B2523=700;     | T4312-B4312-P4312=0; |
| T2531-B2531=476;     | T4321-B4321=1900;    |
| T2611-B2611=442;     | T4333-B4333=2100;    |
| T2625-B2625=1200;    | T4415-B4415=1800;    |
| T2634-B2634=500;     | T4423-B4423=1050;    |
| T2642-B2642-P2642=0; | T4431-B4431=1000;    |
| T2712-B2712-P2712=0; | T4513-B4513=1050;    |
| T2723-B2723=350;     | T4521-B4521=1100;    |
| T2735-B2735=600;     | T4532-B4532-P4532=0; |
| T2741-B2741=119;     | T4611-B4611=800;     |
| T2815-B2815=1800;    | T4624-B4624=1500;    |
| T2823-B2823=1050;    | T4632-B4632-P4632=0; |
| T2831-B2831=350;     | T4711-B4711=600;     |
| T2915-B2915=4800;    | T4722-B4722-P4722=0; |
| T2924-B2924=2000;    | T4733-B4733=1050;    |
| T2931-B2931=804;     | T4812-B4812-P4812=0; |
| T2942-B2942-P2942=0; | T4823-B4823=4200;    |
| T3013-B3013=1400;    | T4831-B4831=6400;    |
| T3021-B3021=402;     | T4914-B4914=1500;    |
| T3032-B3032-P3032=0; | T4925-B4925=3600;    |
| T3115-B3115=600;     | T4931-B4931=3600;    |
| T3122-B3122-P3122=0; | T5011-B5011=1100;    |
| T3131-B3131=442;     | T5022-B5022-P5022=0; |
| T3212-B3212-P3212=0; | T5033-B5033=2100;    |
| T3225-B3225=1200;    | T5113-B5113=4200;    |
| T3231-B3231=272;     | T5121-B5121=1800;    |
| T3243-B3243=700;     | T5132-B5132-P5132=0; |
| T3314-B3314=250;     | T5214-B5214=3000;    |
| T3325-B3325=600;     | T5221-B5221=1200;    |
| T3331-B3331=170;     | T5232-B5232-P5232=0; |
| T3412-B3412-P3412=0; | T5315-B5315=3600;    |
| T3423-B3423=350;     | T5323-B5323=2100;    |
| T3431-B3431=425;     | T5331-B5331=800;     |
| T3512-B3512-P3512=0; | T5414-B5414=6000;    |
| T3523-B3523=700;     | T5425-B5425=14400;   |
| T3531-B3531=612;     | T5432-B5432-P5432=0; |
| T3615-B3615=600;     | T5441-B5441=2400;    |
| T3621-B3621=391;     | T5511-B5511=1400;    |
| T3632-B3632-P3632=0; | T5522-B5522-P5522=0; |
| T3715-B3715=1800;    | T5533-B5533=4200;    |
| T3723-B3723=1050;    | T5615-B5615=1800;    |
| T3731-B3731=750;     | T5623-B5623=1050;    |
| T3811-B3811=5100;    | T5631-B5631=750;     |
| T3822-B3822-P3822=0; | T5642-B5642-P5642=0; |
| T3833-B3833=2100;    | T5711-B5711=700;     |
| T3915-B3915=3600;    | T5722-B5722-P5722=0; |
| T3924-B3924=1500;    | T5733-B5733=1050;    |
| T3931-B3931=4300;    | T5813-B5813=2100;    |
| T3942-B3942-P3942=0; | T5825-B5825=3600;    |
| T4013-B4013=2100;    | T5831-B5831=1400;    |
| T4025-B4025=3600;    | T5912-B5912-P5912=0; |

T5924-B5924=1500;  
 T5931-B5931=700;  
 T6012-B6012-P6012=0;  
 T6021-B6021=300;  
 T6034-B6034=750;  
 T6115-B6115=1800;  
 T6123-B6123=1050;  
 T6131-B6131=450;  
 T6215-B6215=5400;  
 T6223-B6223=3150;  
 T6231-B6231=1350;  
 T6242-B6242-P6242=0;  
 T6311-B6311=2400;  
 T6322-B6322-P6322=0;  
 T6335-B6335=14400;  
 T6344-B6344=6000;  
 T6413-B6413=4200;  
 T6421-B6421=1600;  
 T6432-B6432-P6432=0;  
 T6511-B6511=1250;  
 T6522-B6522-P6522=0;  
 T6535-B6535=1800;  
 T6611-B6611=1400;  
 T6625-B6625=3600;  
 T6632-B6632-P6632=0;  
 T6643-B6643=2100;  
 T6715-B6715=3600;  
 T6721-B6721=800;  
 T6732-B6732-P6732=0;  
 T6743-B6743=2100;  
 T6815-B6815=1800;  
 T6821-B6821=350;  
 T6832-B6832-P6832=0;  
 T6912-B6912-P6912=0;  
 T6923-B6923=1050;  
 T6931-B6931=550;  
 T7011-B7011=1150;  
 T7022-B7022-P7022=0;  
 T7034-B7034=750;  
 T7112-B7112-P7112=0;  
 T7121-B7121=1800;  
 T7133-B7133=2100;  
 T7213-B7213=1050;  
 T7225-B7225=1800;  
 T7231-B7231=1050;  
 T7315-B7315=5400;  
 T7324-B7324=2250;  
 T7331-B7331=2250;  
 T7414-B7414=750;  
 T7422-B7422-P7422=0;  
 T7431-B7431=500;  
 T7515-B7515=2400;  
 T7523-B7523=1400;  
 T7531-B7531=2948;  
 T7611-B7611=2613;  
 T7624-B7624=1000;  
 T7632-B7632-P7632=0;  
 T7645-B7645=2400;  
 T7715-B7715=2400;

T7723-B7723=1400;  
 T7731-B7731=2546;  
 T7811-B7811=340;  
 T7824-B7824=500;  
 T7832-B7832-P7832=0;  
 T7914-B7914=2000;  
 T7922-B7922-P7922=0;  
 T7931-B7931=804;  
 T8012-B8012-P8012=0;  
 T8023-B8023=1400;  
 T8031-B8031=1206;  
 T8113-B8113=700;  
 T8121-B8121=544;  
 T8135-B8135=1200;  
 T8213-B8213=700;  
 T8222-B8222-P8222=0;  
 T8231-B8231=442;  
 T8312-B8312-P8312=0;  
 T8323-B8323=700;  
 T8331-B8331=544;  
 T8414-B8414=4000;  
 T8421-B8421=938;  
 T8432-B8432-P8432=0;  
 T8514-B8514=1000;  
 T8521-B8521=469;  
 T8532-B8532-P8532=0;  
 T8615-B8615=2400;  
 T8621-B8621=402;  
 T8632-B8632-P8632=0;  
 T8643-B8643=1400;  
 T8712-B8712-P8712=0;  
 T8723-B8723=700;  
 T8731-B8731=238;  
 T8813-B8813=700;  
 T8822-B8822-P8822=0;  
 T8831-B8831=238;  
 T8912-B8912-P8912=0;  
 T8921-B8921=737;  
 T8934-B8934=2000;  
 T9012-B9012-P9012=0;  
 T9024-B9024=2000;  
 T9031-B9031=670;  
 T9111-B9111=3216;  
 T9122-B9122-P9122=0;  
 T9134-B9134=4000;  
 T9212-B9212-P9212=0;  
 T9221-B9221=1943;  
 T9233-B9233=1400;  
 T9311-B9311=1608;  
 T9323-B9323=2800;  
 T9335-B9335=4800;  
 T9342-B9342-P9342=0;  
 T9413-B9413=2800;  
 T9422-B9422-P9422=0;  
 T9431-B9431=938;  
 T9514-B9514=1000;  
 T9521-B9521=402;  
 T9532-B9532-P9532=0;  
 T9611-B9611=536;

T9624-B9624=1000;  
 T9632-B9632-P9632=0;  
 T9712-B9712-P9712=0;  
 T9724-B9724=2000;  
 T9731-B9731=804;  
 T9815-B9815=4800;  
 T9824-B9824=2000;  
 T9831-B9831=804;  
 T9912-B9912-P9912=0;  
 T9923-B9923=1400;  
 T9931-B9931=469;  
 T10011-B10011=469;  
 T10025-B10025=2400;  
 T10032-B10032-P10032=0;  
 T10111-B10111=1005;  
 T10123-B10123=1400;  
 T10132-B10132-P10132=0;  
 T10145-B10145=2400;  
 T10211-B10211=871;  
 T10223-B10223=1400;  
 T10232-B10232-P10232=0;  
 T10312-B10312-P10312=0;  
 T10324-B10324=500;  
 T10331-B10331=204;  
 T10411-B10411=469;  
 T10424-B10424=1000;  
 T10432-B10432-P10432=0;  
 T10514-B10514=3000;  
 T10521-B10521=1200;  
 T10535-B10535=7200;  
 T10613-B10613=2100;  
 T10622-B10622-P10622=0;  
 T10631-B10631=800;  
 T10711-B10711=1000;  
 T10725-B10725=3600;  
 T10732-B10732-P10732=0;  
 T10812-B10812-P10812=0;  
 T10821-B10821=850;  
 T10833-B10833=700;  
 T10915-B10915=1200;  
 T10923-B10923=700;  
 T10931-B10931=340;  
 T11014-B11014=1000;  
 T11022-B11022-P11022=0;  
 T11031-B11031=536;  
 T11045-B11045=2400;  
 T11115-B11115=1200;  
 T11123-B11123=700;  
 T11131-B11131=1632;  
 T11213-B11213=1400;  
 T11222-B11222-P11222=0;  
 T11231-B11231=1206;  
 T11312-B11312-P11312=0;  
 T11321-B11321=714;  
 T11333-B11333=700;  
 T11411-B11411=1500;  
 T11425-B11425=3600;  
 T11432-B11432-P11432=0;  
 T11444-B11444=1500;

B122-T111>=0;  
 B133-T122>=0;  
 T-T133>=0;  
 B224-T215>=0;  
 B231-T224>=0;  
 T-T231>=0;  
 B322-T311>=0;  
 B335-T322>=0;  
 B343-T335>=0;  
 T-T343>=0;  
 B421-T414>=0;  
 B432-T421>=0;  
 T-T432>=0;  
 B522-T514>=0;  
 B531-T522>=0;  
 T-T531>=0;  
 B623-T611>=0;  
 B632-T623>=0;  
 T-T632>=0;  
 B721-T712>=0;  
 B734-T721>=0;  
 B745-T734>=0;  
 T-T745>=0;  
 B822-T813>=0;  
 B831-T822>=0;  
 T-T831>=0;  
 B921-T913>=0;  
 B932-T921>=0;  
 T-T932>=0;  
 B1021-T1015>=0;  
 B1034-T1021>=0;  
 T-T1034>=0;  
 B1123-T1112>=0;  
 B1131-T1123>=0;  
 T-T1131>=0;  
 B1222-T1211>=0;  
 B1235-T1222>=0;  
 T-T1235>=0;  
 B1321-T1312>=0;  
 B1334-T1321>=0;  
 T-T1334>=0;  
 B1422-T1414>=0;  
 B1431-T1422>=0;  
 T-T1431>=0;  
 B1525-T1513>=0;  
 B1531-T1525>=0;  
 T-T1531>=0;  
 B1622-T1613>=0;  
 B1631-T1622>=0;  
 T-T1631>=0;  
 B1724-T1711>=0;  
 B1732-T1724>=0;  
 T-T1732>=0;  
 B1825-T1813>=0;  
 B1831-T1825>=0;  
 B1842-T1831>=0;  
 T-T1842>=0;  
 B1923-T1915>=0;  
 B1931-T1923>=0;

T-T1931>=0;  
 B2024-T2015>=0;  
 B2031-T2024>=0;  
 T-T2031>=0;  
 B2122-T2113>=0;  
 B2131-T2122>=0;  
 T-T2131>=0;  
 B2225-T2213>=0;  
 B2231-T2225>=0;  
 T-T2231>=0;  
 B2321-T2312>=0;  
 B2333-T2321>=0;  
 T-T2333>=0;  
 B2422-T2411>=0;  
 B2434-T2422>=0;  
 T-T2434>=0;  
 B2523-T2512>=0;  
 B2531-T2523>=0;  
 T-T2531>=0;  
 B2625-T2611>=0;  
 B2634-T2625>=0;  
 B2642-T2634>=0;  
 T-T2642>=0;  
 B2723-T2712>=0;  
 B2735-T2723>=0;  
 B2741-T2735>=0;  
 T-T2741>=0;  
 B2823-T2815>=0;  
 B2831-T2823>=0;  
 T-T2831>=0;  
 B2924-T2915>=0;  
 B2931-T2924>=0;  
 B2942-T2931>=0;  
 T-T2942>=0;  
 B3021-T3013>=0;  
 B3032-T3021>=0;  
 T-T3032>=0;  
 B3122-T3115>=0;  
 B3131-T3122>=0;  
 T-T3131>=0;  
 B3225-T3212>=0;  
 B3231-T3225>=0;  
 B3243-T3231>=0;  
 T-T3243>=0;  
 B3325-T3314>=0;  
 B3331-T3325>=0;  
 T-T3331>=0;  
 B3423-T3412>=0;  
 B3431-T3423>=0;  
 T-T3431>=0;  
 B3523-T3512>=0;  
 B3531-T3523>=0;  
 T-T3531>=0;  
 B3621-T3615>=0;  
 B3632-T3621>=0;  
 T-T3632>=0;  
 B3723-T3715>=0;  
 B3731-T3723>=0;  
 T-T3731>=0;

B3822-T3811>=0;  
 B3833-T3822>=0;  
 T-T3833>=0;  
 B3924-T3915>=0;  
 B3931-T3924>=0;  
 B3942-T3931>=0;  
 T-T3942>=0;  
 B4025-T4013>=0;  
 B4032-T4025>=0;  
 B4041-T4032>=0;  
 T-T4041>=0;  
 B4124-T4111>=0;  
 B4132-T4124>=0;  
 T-T4132>=0;  
 B4221-T4212>=0;  
 B4234-T4221>=0;  
 T-T4234>=0;  
 B4321-T4312>=0;  
 B4333-T4321>=0;  
 T-T4333>=0;  
 B4423-T4415>=0;  
 B4431-T4423>=0;  
 T-T4431>=0;  
 B4521-T4513>=0;  
 B4532-T4521>=0;  
 T-T4532>=0;  
 B4624-T4611>=0;  
 B4632-T4624>=0;  
 T-T4632>=0;  
 B4722-T4711>=0;  
 B4733-T4722>=0;  
 T-T4733>=0;  
 B4823-T4812>=0;  
 B4831-T4823>=0;  
 T-T4831>=0;  
 B4925-T4914>=0;  
 B4931-T4925>=0;  
 T-T4931>=0;  
 B5022-T5011>=0;  
 B5033-T5022>=0;  
 T-T5033>=0;  
 B5121-T5113>=0;  
 B5132-T5121>=0;  
 T-T5132>=0;  
 B5221-T5214>=0;  
 B5232-T5221>=0;  
 T-T5232>=0;  
 B5323-T5315>=0;  
 B5331-T5323>=0;  
 T-T5331>=0;  
 B5425-T5414>=0;  
 B5432-T5425>=0;  
 B5441-T5432>=0;  
 T-T5441>=0;  
 B5522-T5511>=0;  
 B5533-T5522>=0;  
 T-T5533>=0;  
 B5623-T5615>=0;  
 B5631-T5623>=0;

B5642-T5631>=0;  
 T-T5642>=0;  
 B5722-T5711>=0;  
 B5733-T5722>=0;  
 T-T5733>=0;  
 B5825-T5813>=0;  
 B5831-T5825>=0;  
 T-T5831>=0;  
 B5924-T5912>=0;  
 B5931-T5924>=0;  
 T-T5931>=0;  
 B6021-T6012>=0;  
 B6034-T6021>=0;  
 T-T6034>=0;  
 B6123-T6115>=0;  
 B6131-T6123>=0;  
 T-T6131>=0;  
 B6223-T6215>=0;  
 B6231-T6223>=0;  
 B6242-T6231>=0;  
 T-T6242>=0;  
 B6322-T6311>=0;  
 B6335-T6322>=0;  
 B6344-T6335>=0;  
 T-T6344>=0;  
 B6421-T6413>=0;  
 B6432-T6421>=0;  
 T-T6432>=0;  
 B6522-T6511>=0;  
 B6535-T6522>=0;  
 T-T6535>=0;  
 B6625-T6611>=0;  
 B6632-T6625>=0;  
 B6643-T6632>=0;  
 T-T6643>=0;  
 B6721-T6715>=0;  
 B6732-T6721>=0;  
 B6743-T6732>=0;  
 T-T6743>=0;  
 B6821-T6815>=0;  
 B6832-T6821>=0;  
 T-T6832>=0;  
 B6923-T6912>=0;  
 B6931-T6923>=0;  
 T-T6931>=0;  
 B7022-T7011>=0;  
 B7034-T7022>=0;  
 T-T7034>=0;  
 B7121-T7112>=0;  
 B7133-T7121>=0;  
 T-T7133>=0;  
 B7225-T7213>=0;  
 B7231-T7225>=0;  
 T-T7231>=0;  
 B7324-T7315>=0;  
 B7331-T7324>=0;  
 T-T7331>=0;  
 B7422-T7414>=0;  
 B7431-T7422>=0;

T-T7431>=0;  
 B7523-T7515>=0;  
 B7531-T7523>=0;  
 T-T7531>=0;  
 B7624-T7611>=0;  
 B7632-T7624>=0;  
 B7645-T7632>=0;  
 T-T7645>=0;  
 B7723-T7715>=0;  
 B7731-T7723>=0;  
 T-T7731>=0;  
 B7824-T7811>=0;  
 B7832-T7824>=0;  
 T-T7832>=0;  
 B7922-T7914>=0;  
 B7931-T7922>=0;  
 T-T7931>=0;  
 B8023-T8012>=0;  
 B8031-T8023>=0;  
 T-T8031>=0;  
 B8121-T8113>=0;  
 B8135-T8121>=0;  
 T-T8135>=0;  
 B8222-T8213>=0;  
 B8231-T8222>=0;  
 T-T8231>=0;  
 B8323-T8312>=0;  
 B8331-T8323>=0;  
 T-T8331>=0;  
 B8421-T8414>=0;  
 B8432-T8421>=0;  
 T-T8432>=0;  
 B8521-T8514>=0;  
 B8532-T8521>=0;  
 T-T8532>=0;  
 B8621-T8615>=0;  
 B8632-T8621>=0;  
 B8643-T8632>=0;  
 T-T8643>=0;  
 B8723-T8712>=0;  
 B8731-T8723>=0;  
 T-T8731>=0;  
 B8822-T8813>=0;  
 B8831-T8822>=0;  
 T-T8831>=0;  
 B8921-T8912>=0;  
 B8934-T8921>=0;  
 T-T8934>=0;  
 B9024-T9012>=0;  
 B9031-T9024>=0;  
 T-T9031>=0;  
 B9122-T9111>=0;  
 B9134-T9122>=0;  
 T-T9134>=0;  
 B9221-T9212>=0;  
 B9233-T9221>=0;  
 T-T9233>=0;  
 B9323-T9311>=0;  
 B9335-T9323>=0;

B9342-T9335>=0;  
 T-T9342>=0;  
 B9422-T9413>=0;  
 B9431-T9422>=0;  
 T-T9431>=0;  
 B9521-T9514>=0;  
 B9532-T9521>=0;  
 T-T9532>=0;  
 B9624-T9611>=0;  
 B9632-T9624>=0;  
 T-T9632>=0;  
 B9724-T9712>=0;  
 B9731-T9724>=0;  
 T-T9731>=0;  
 B9824-T9815>=0;  
 B9831-T9824>=0;  
 T-T9831>=0;  
 B9923-T9912>=0;  
 B9931-T9923>=0;  
 T-T9931>=0;  
 B10025-T10011>=0;  
 B10032-T10025>=0;  
 T-T10032>=0;  
 B10123-T10111>=0;  
 B10132-T10123>=0;  
 B10145-T10132>=0;  
 T-T10145>=0;  
 B10223-T10211>=0;  
 B10232-T10223>=0;  
 T-T10232>=0;  
 B10324-T10312>=0;  
 B10331-T10324>=0;  
 T-T10331>=0;  
 B10424-T10411>=0;  
 B10432-T10424>=0;  
 T-T10432>=0;  
 B10521-T10514>=0;  
 B10535-T10521>=0;  
 T-T10535>=0;  
 B10622-T10613>=0;  
 B10631-T10622>=0;  
 T-T10631>=0;  
 B10725-T10711>=0;  
 B10732-T10725>=0;  
 T-T10732>=0;  
 B10821-T10812>=0;  
 B10833-T10821>=0;  
 T-T10833>=0;  
 B10923-T10915>=0;  
 B10931-T10923>=0;  
 T-T10931>=0;  
 B11022-T11014>=0;  
 B11031-T11022>=0;  
 B11045-T11031>=0;  
 T-T11045>=0;  
 B11123-T11115>=0;  
 B11131-T11123>=0;  
 T-T11131>=0;  
 B11222-T11213>=0;

B11231-T11222>=0;  
 T-T11231>=0;  
 B11321-T11312>=0;  
 B11333-T11321>=0;  
 T-T11333>=0;  
 B11425-T11411>=0;  
 B11432-T11425>=0;  
 B11444-T11432>=0;  
 T-T11444>=0;  
 B215-T335+900000\*L21335>=0;  
 B335-T215-900000\*L21335>=-900000;  
 B215-T745+900000\*L21745>=0;  
 B745-T215-900000\*L21745>=-900000;  
 B215-T1015+900000\*L211015>=0;  
 B1015-T215-900000\*L211015>=-900000;  
 B215-T1235+900000\*L211235>=0;  
 B1235-T215-900000\*L211235>=-900000;  
 B215-T1525+900000\*L211525>=0;  
 B1525-T215-900000\*L211525>=-900000;  
 B215-T1825+900000\*L211825>=0;  
 B1825-T215-900000\*L211825>=-900000;  
 B215-T1915+900000\*L211915>=0;  
 B1915-T215-900000\*L211915>=-900000;  
 B215-T2015+900000\*L212015>=0;  
 B2015-T215-900000\*L212015>=-900000;  
 B215-T2225+900000\*L212225>=0;  
 B2225-T215-900000\*L212225>=-900000;  
 B215-T2625+900000\*L212625>=0;  
 B2625-T215-900000\*L212625>=-900000;  
 B215-T2735+900000\*L212735>=0;  
 B2735-T215-900000\*L212735>=-900000;  
 B215-T2815+900000\*L212815>=0;  
 B2815-T215-900000\*L212815>=-900000;  
 B215-T2915+900000\*L212915>=0;  
 B2915-T215-900000\*L212915>=-900000;  
 B215-T3115+900000\*L213115>=0;  
 B3115-T215-900000\*L213115>=-900000;  
 B215-T3225+900000\*L213225>=0;  
 B3225-T215-900000\*L213225>=-900000;  
 B215-T3325+900000\*L213325>=0;  
 B3325-T215-900000\*L213325>=-900000;  
 B215-T3615+900000\*L213615>=0;  
 B3615-T215-900000\*L213615>=-900000;  
 B215-T3715+900000\*L213715>=0;  
 B3715-T215-900000\*L213715>=-900000;  
 B215-T3915+900000\*L213915>=0;  
 B3915-T215-900000\*L213915>=-900000;  
 B215-T4025+900000\*L214025>=0;  
 B4025-T215-900000\*L214025>=-900000;  
 B215-T4415+900000\*L214415>=0;  
 B4415-T215-900000\*L214415>=-900000;  
 B215-T4925+900000\*L214925>=0;  
 B4925-T215-900000\*L214925>=-900000;  
 B215-T5315+900000\*L215315>=0;  
 B5315-T215-900000\*L215315>=-900000;  
 B215-T5425+900000\*L215425>=0;  
 B5425-T215-900000\*L215425>=-900000;  
 B215-T5615+900000\*L215615>=0;  
 B5615-T215-900000\*L215615>=-900000;

|                                          |                 |
|------------------------------------------|-----------------|
| B215-T5825+900000*L215825>=0;            | @BIN(L2110025); |
| B5825-T215-900000*L215825>=-900000;      | @BIN(L2110145); |
| B215-T6115+900000*L216115>=0;            | @BIN(L211015);  |
| B6115-T215-900000*L216115>=-900000;      | @BIN(L2110535); |
| B215-T6215+900000*L216215>=0;            | @BIN(L2110725); |
| B6215-T215-900000*L216215>=-900000;      | @BIN(L2110915); |
| B215-T6335+900000*L216335>=0;            | @BIN(L2111045); |
| B6335-T215-900000*L216335>=-900000;      | @BIN(L2111115); |
| B215-T6535+900000*L216535>=0;            | @BIN(L2111425); |
| B6535-T215-900000*L216535>=-900000;      | @BIN(L211235);  |
| B215-T6625+900000*L216625>=0;            | @BIN(L211525);  |
| B6625-T215-900000*L216625>=-900000;      | @BIN(L211825);  |
| B215-T6715+900000*L216715>=0;            | @BIN(L211915);  |
| B6715-T215-900000*L216715>=-900000;      | @BIN(L212015);  |
| B215-T6815+900000*L216815>=0;            | @BIN(L212225);  |
| B6815-T215-900000*L216815>=-900000;      | @BIN(L212625);  |
| B215-T7225+900000*L217225>=0;            | @BIN(L212735);  |
| B7225-T215-900000*L217225>=-900000;      | @BIN(L212815);  |
| B215-T7315+900000*L217315>=0;            | @BIN(L212915);  |
| B7315-T215-900000*L217315>=-900000;      | @BIN(L213115);  |
| B215-T7515+900000*L217515>=0;            | @BIN(L213225);  |
| B7515-T215-900000*L217515>=-900000;      | @BIN(L213325);  |
| B215-T7645+900000*L217645>=0;            | @BIN(L21335);   |
| B7645-T215-900000*L217645>=-900000;      | @BIN(L213615);  |
| B215-T7715+900000*L217715>=0;            | @BIN(L213715);  |
| B7715-T215-900000*L217715>=-900000;      | @BIN(L213915);  |
| B215-T8135+900000*L218135>=0;            | @BIN(L214025);  |
| B8135-T215-900000*L218135>=-900000;      | @BIN(L214415);  |
| B215-T8615+900000*L218615>=0;            | @BIN(L214925);  |
| B8615-T215-900000*L218615>=-900000;      | @BIN(L215315);  |
| B215-T9335+900000*L219335>=0;            | @BIN(L215425);  |
| B9335-T215-900000*L219335>=-900000;      | @BIN(L215615);  |
| B215-T9815+900000*L219815>=0;            | @BIN(L215825);  |
| B9815-T215-900000*L219815>=-900000;      | @BIN(L216115);  |
| B215-T10025+900000*L2110025>=0;          | @BIN(L216215);  |
| B10025-T215-900000*L2110025>=-900000;    | @BIN(L216335);  |
| B215-T10145+900000*L2110145>=0;          | @BIN(L216535);  |
| B10145-T215-900000*L2110145>=-900000;    | @BIN(L216625);  |
| B215-T10535+900000*L2110535>=0;          | @BIN(L216715);  |
| B10535-T215-900000*L2110535>=-900000;    | @BIN(L216815);  |
| B215-T10725+900000*L2110725>=0;          | @BIN(L217225);  |
| B10725-T215-900000*L2110725>=-900000;    | @BIN(L217315);  |
| B215-T10915+900000*L2110915>=0;          | @BIN(L21745);   |
| B10915-T215-900000*L2110915>=-900000;    | @BIN(L217515);  |
| B215-T11045+900000*L2111045>=0;          | @BIN(L217645);  |
| B11045-T215-900000*L2111045>=-900000;    | @BIN(L217715);  |
| B215-T11115+900000*L2111115>=0;          | @BIN(L218135);  |
| B11115-T215-900000*L2111115>=-900000;    | @BIN(L218615);  |
| B215-T11425+900000*L2111425>=0;          | @BIN(L219335);  |
| B11425-T215-900000*L2111425>=-900000 **; | @BIN(L219815);  |

\*\*Yedinci sınırlar sadece beşinci makinede 2 numaralı parçanın diğer parçalarla aynı anda yapılamayacağına dair yazılmıştır.

**EK-8: ANA MODELİN BİRİNCİ VE İKİNCİ AŞAMASININ ÇÖZÜMÜ**• **BİRİNCİ AŞAMANIN ÇÖZÜMÜ**

Global optimal solution found at iteration: 55145263

Objective value: 153400.0

| Variable | Value    |       |          |
|----------|----------|-------|----------|
| T        | 153400.0 | P2422 | 450.0000 |
| P122     | 1000.000 | G2422 | 0.000000 |
| G122     | 0.000000 | C2422 | 81.00000 |
| C122     | 180.0000 | P2512 | 600.0000 |
| P322     | 500.0000 | G2512 | 0.000000 |
| G322     | 0.000000 | C2512 | 108.0000 |
| C322     | 90.00000 | P2642 | 600.0000 |
| P432     | 600.0000 | G2642 | 0.000000 |
| G432     | 0.000000 | C2642 | 108.0000 |
| C432     | 108.0000 | P2712 | 450.0000 |
| P522     | 800.0000 | G2712 | 0.000000 |
| G522     | 0.000000 | C2712 | 81.00000 |
| C522     | 144.0000 | P2942 | 2000.000 |
| P632     | 800.0000 | G2942 | 0.000000 |
| G632     | 0.000000 | C2942 | 360.0000 |
| C632     | 144.0000 | P3032 | 1000.000 |
| P712     | 300.0000 | G3032 | 0.000000 |
| G712     | 0.000000 | C3032 | 180.0000 |
| C712     | 54.00000 | P3122 | 300.0000 |
| P822     | 600.0000 | G3122 | 0.000000 |
| G822     | 0.000000 | C3122 | 54.00000 |
| C822     | 108.0000 | P3212 | 800.0000 |
| P932     | 450.0000 | G3212 | 0.000000 |
| G932     | 0.000000 | C3212 | 144.0000 |
| C932     | 81.00000 | P3412 | 300.0000 |
| P1112    | 1050.000 | G3412 | 0.000000 |
| G1112    | 0.000000 | C3412 | 54.00000 |
| C1112    | 189.0000 | P3512 | 500.0000 |
| P1222    | 1050.000 | G3512 | 0.000000 |
| G1222    | 0.000000 | C3512 | 90.00000 |
| C1222    | 189.0000 | P3632 | 400.0000 |
| P1312    | 600.0000 | G3632 | 0.000000 |
| G1312    | 0.000000 | C3632 | 72.00000 |
| C1312    | 108.0000 | P3822 | 3000.000 |
| P1422    | 600.0000 | G3822 | 0.000000 |
| G1422    | 0.000000 | C3822 | 540.0000 |
| C1422    | 108.0000 | P3942 | 3600.000 |
| P1622    | 1400.000 | G3942 | 0.000000 |
| G1622    | 0.000000 | C3942 | 648.0000 |
| C1622    | 252.0000 | P4032 | 1500.000 |
| P1732    | 600.0000 | G4032 | 0.000000 |
| G1732    | 0.000000 | C4032 | 270.0000 |
| C1732    | 108.0000 | P4132 | 1800.000 |
| P1842    | 600.0000 | G4132 | 0.000000 |
| G1842    | 0.000000 | C4132 | 324.0000 |
| C1842    | 108.0000 | P4212 | 2100.000 |
| P2122    | 1000.000 | G4212 | 0.000000 |
| G2122    | 0.000000 | C4212 | 378.0000 |
| C2122    | 180.0000 | P4312 | 2100.000 |
| P2312    | 400.0000 | G4312 | 0.000000 |
| G2312    | 0.000000 | C4312 | 378.0000 |
| C2312    | 72.00000 | P4532 | 1350.000 |
|          |          | G4532 | 0.000000 |

|       |          |       |          |
|-------|----------|-------|----------|
| C4532 | 243.0000 | G6912 | 0.000000 |
| P4632 | 1800.000 | C6912 | 135.0000 |
| G4632 | 0.000000 | P7022 | 900.0000 |
| C4632 | 324.0000 | G7022 | 0.000000 |
| P4722 | 900.0000 | C7022 | 162.0000 |
| G4722 | 0.000000 | P7112 | 2100.000 |
| C4722 | 162.0000 | G7112 | 0.000000 |
| P4812 | 6000.000 | C7112 | 378.0000 |
| G4812 | 0.000000 | P7422 | 1050.000 |
| C4812 | 1080.000 | G7422 | 0.000000 |
| P5022 | 1800.000 | C7422 | 189.0000 |
| G5022 | 0.000000 | P7632 | 1800.000 |
| C5022 | 324.0000 | G7632 | 0.000000 |
| P5132 | 3000.000 | C7632 | 324.0000 |
| G5132 | 0.000000 | P7832 | 700.0000 |
| C5132 | 540.0000 | G7832 | 0.000000 |
| P5232 | 3600.000 | C7832 | 126.0000 |
| G5232 | 0.000000 | P7922 | 2000.000 |
| C5232 | 648.0000 | G7922 | 0.000000 |
| P5432 | 6000.000 | C7922 | 360.0000 |
| G5432 | 0.000000 | P8012 | 1200.000 |
| C5432 | 1080.000 | G8012 | 0.000000 |
| P5522 | 3000.000 | C8012 | 216.0000 |
| G5522 | 0.000000 | P8222 | 800.0000 |
| C5522 | 540.0000 | G8222 | 0.000000 |
| P5642 | 1350.000 | C8222 | 144.0000 |
| G5642 | 0.000000 | P8312 | 800.0000 |
| C5642 | 243.0000 | G8312 | 0.000000 |
| P5722 | 1200.000 | C8312 | 144.0000 |
| G5722 | 0.000000 | P8432 | 2000.000 |
| C5722 | 216.0000 | G8432 | 0.000000 |
| P5912 | 2100.000 | C8432 | 360.0000 |
| G5912 | 0.000000 | P8532 | 1200.000 |
| C5912 | 378.0000 | G8532 | 0.000000 |
| P6012 | 900.0000 | C8532 | 216.0000 |
| G6012 | 0.000000 | P8632 | 1400.000 |
| C6012 | 162.0000 | G8632 | 0.000000 |
| P6242 | 2250.000 | C8632 | 252.0000 |
| G6242 | 0.000000 | P8712 | 600.0000 |
| C6242 | 405.0000 | G8712 | 0.000000 |
| P6322 | 6000.000 | C8712 | 108.0000 |
| G6322 | 0.000000 | P8822 | 600.0000 |
| C6322 | 1080.000 | G8822 | 0.000000 |
| P6432 | 3000.000 | C8822 | 108.0000 |
| G6432 | 0.000000 | P8912 | 2200.000 |
| C6432 | 540.0000 | G8912 | 0.000000 |
| P6522 | 900.0000 | C8912 | 396.0000 |
| G6522 | 0.000000 | P9012 | 1000.000 |
| C6522 | 162.0000 | G9012 | 0.000000 |
| P6632 | 1500.000 | C9012 | 180.0000 |
| G6632 | 0.000000 | P9122 | 3200.000 |
| C6632 | 270.0000 | G9122 | 0.000000 |
| P6732 | 1800.000 | C9122 | 576.0000 |
| G6732 | 0.000000 | P9212 | 1800.000 |
| C6732 | 324.0000 | G9212 | 0.000000 |
| P6832 | 900.0000 | C9212 | 324.0000 |
| G6832 | 0.000000 | P9342 | 2000.000 |
| C6832 | 162.0000 | G9342 | 0.000000 |
| P6912 | 750.0000 | C9342 | 360.0000 |

|        |          |       |           |
|--------|----------|-------|-----------|
| P9422  | 2400.000 | B215  | 1200.000  |
| G9422  | 0.000000 | T224  | 26500.00  |
| C9422  | 432.0000 | B224  | 26000.00  |
| P9532  | 1200.000 | T231  | 67131.00  |
| G9532  | 0.000000 | B231  | 65635.00  |
| C9532  | 216.0000 | T311  | 14594.00  |
| P9632  | 1200.000 | B311  | 13336.00  |
| G9632  | 0.000000 | T322  | 57100.00  |
| C9632  | 216.0000 | B322  | 56600.00  |
| P9712  | 2000.000 | T335  | 122400.0  |
| G9712  | 0.000000 | B335  | 121200.0  |
| C9712  | 360.0000 | T343  | 123100.0  |
| P9912  | 1200.000 | B343  | 122400.0  |
| G9912  | 0.000000 | T414  | 750.0000  |
| C9912  | 216.0000 | B414  | 250.0000  |
| P10032 | 1200.000 | T421  | 36279.00  |
| G10032 | 0.000000 | B421  | 35939.00  |
| C10032 | 216.0000 | T432  | 77250.00  |
| P10132 | 1400.000 | B432  | 76650.00  |
| G10132 | 0.000000 | T514  | 1250.0000 |
| C10132 | 252.0000 | B514  | 750.0000  |
| P10232 | 1800.000 | T522  | 35300.00  |
| G10232 | 0.000000 | B522  | 34500.00  |
| C10232 | 324.0000 | T531  | 64581.00  |
| P10312 | 800.0000 | B531  | 64377.00  |
| G10312 | 0.000000 | T611  | 3760.000  |
| C10312 | 144.0000 | B611  | 3216.000  |
| P10432 | 1600.000 | T623  | 38150.00  |
| G10432 | 0.000000 | B623  | 37450.00  |
| C10432 | 288.0000 | T632  | 86850.00  |
| P10622 | 1500.000 | B632  | 86050.00  |
| G10622 | 0.000000 | T712  | 300.0000  |
| C10622 | 270.0000 | B712  | 0.000000  |
| P10732 | 1800.000 | T721  | 35939.00  |
| G10732 | 0.000000 | B721  | 35650.00  |
| C10732 | 324.0000 | T734  | 64000.00  |
| P10812 | 600.0000 | B734  | 63750.00  |
| G10812 | 0.000000 | T745  | 142200.0  |
| C10812 | 108.0000 | B745  | 141600.0  |
| P11022 | 1400.000 | T813  | 4900.000  |
| G11022 | 0.000000 | B813  | 4200.000  |
| C11022 | 252.0000 | T822  | 40000.00  |
| P11222 | 1200.000 | B822  | 39400.00  |
| G11222 | 0.000000 | T831  | 77167.00  |
| C11222 | 216.0000 | B831  | 76725.00  |
| P11312 | 500.0000 | T913  | 350.0000  |
| G11312 | 0.000000 | B913  | 0.000000  |
| C11312 | 90.00000 | T921  | 35650.00  |
| P11432 | 1500.000 | B921  | 35395.00  |
| G11432 | 0.000000 | T932  | 73750.00  |
| C11432 | 270.0000 | B932  | 73300.00  |
| C      | 24228.00 | T1015 | 30000.00  |
| T111   | 20458.00 | B1015 | 26400.00  |
| B111   | 18894.00 | T1021 | 46717.00  |
| T122   | 61100.00 | B1021 | 46017.00  |
| B122   | 60100.00 | T1034 | 69750.00  |
| T133   | 83400.00 | B1034 | 68250.00  |
| B133   | 82700.00 | T1112 | 9950.000  |
| T215   | 2400.000 | B1112 | 8900.000  |

|       |          |       |          |
|-------|----------|-------|----------|
| T1123 | 49350.00 | B2031 | 77617.00 |
| B1123 | 48300.00 | T2113 | 9800.000 |
| T1131 | 110202.0 | B2113 | 8400.000 |
| B1131 | 109402.0 | T2122 | 46500.00 |
| T1211 | 1742.000 | B2122 | 45500.00 |
| B1211 | 1292.000 | T2131 | 91822.00 |
| T1222 | 37550.00 | B2131 | 91353.00 |
| B1222 | 36500.00 | T2213 | 700.0000 |
| T1235 | 112200.0 | B2213 | 350.0000 |
| B1235 | 110400.0 | T2225 | 63600.00 |
| T1312 | 3250.000 | B2225 | 63000.00 |
| B1312 | 2650.000 | T2231 | 64377.00 |
| T1321 | 38092.00 | B2231 | 64037.00 |
| B1321 | 37922.00 | T2312 | 1000.000 |
| T1334 | 66750.00 | B2312 | 600.0000 |
| B1334 | 66500.00 | T2321 | 36976.00 |
| T1414 | 1750.000 | B2321 | 36670.00 |
| B1414 | 1250.000 | T2333 | 72900.00 |
| T1422 | 35900.00 | B2333 | 72550.00 |
| B1422 | 35300.00 | T2411 | 136.0000 |
| T1431 | 65635.00 | B2411 | 0.000000 |
| B1431 | 65295.00 | T2422 | 34500.00 |
| T1513 | 3500.000 | B2422 | 34050.00 |
| B1513 | 2800.000 | T2434 | 64250.00 |
| T1525 | 67200.00 | B2434 | 64000.00 |
| B1525 | 66000.00 | T2512 | 2650.000 |
| T1531 | 74287.00 | B2512 | 2050.000 |
| B1531 | 73879.00 | T2523 | 34300.00 |
| T1613 | 11200.00 | B2523 | 33600.00 |
| B1613 | 9800.000 | T2531 | 74763.00 |
| T1622 | 47900.00 | B2531 | 74287.00 |
| B1622 | 46500.00 | T2611 | 1292.000 |
| T1631 | 100414.0 | B2611 | 850.0000 |
| B1631 | 99744.00 | T2625 | 66000.00 |
| T1711 | 850.0000 | B2625 | 64800.00 |
| B1711 | 476.0000 | T2634 | 66500.00 |
| T1724 | 26000.00 | B2634 | 66000.00 |
| B1724 | 25500.00 | T2642 | 126100.0 |
| T1732 | 76650.00 | B2642 | 125500.0 |
| B1732 | 76050.00 | T2712 | 1450.000 |
| T1813 | 2100.000 | B2712 | 1000.000 |
| B1813 | 1400.000 | T2723 | 30800.00 |
| T1825 | 64800.00 | B2723 | 30450.00 |
| B1825 | 63600.00 | T2735 | 109200.0 |
| T1831 | 67607.00 | B2735 | 108600.0 |
| B1831 | 67369.00 | T2741 | 120546.0 |
| T1842 | 144200.0 | B2741 | 120427.0 |
| B1842 | 143600.0 | T2815 | 6600.000 |
| T1915 | 3600.000 | B2815 | 4800.000 |
| B1915 | 2400.000 | T2823 | 35350.00 |
| T1923 | 31500.00 | B2823 | 34300.00 |
| B1923 | 30800.00 | T2831 | 75613.00 |
| T1931 | 64853.00 | B2831 | 75263.00 |
| B1931 | 64581.00 | T2915 | 46800.00 |
| T2015 | 42000.00 | B2915 | 42000.00 |
| B2015 | 37200.00 | T2924 | 48800.00 |
| T2024 | 44000.00 | B2924 | 46800.00 |
| B2024 | 42000.00 | T2931 | 84111.00 |
| T2031 | 78421.00 | B2931 | 83307.00 |

|       |          |       |          |
|-------|----------|-------|----------|
| T2942 | 149800.0 | B3915 | 22800.00 |
| B2942 | 147800.0 | T3924 | 32000.00 |
| T3013 | 8400.000 | B3924 | 30500.00 |
| B3013 | 7000.000 | T3931 | 73879.00 |
| T3021 | 41977.00 | B3931 | 69579.00 |
| B3021 | 41575.00 | T3942 | 147800.0 |
| T3032 | 101200.0 | B3942 | 144200.0 |
| B3032 | 100200.0 | T4013 | 18900.00 |
| T3115 | 600.0000 | B4013 | 16800.00 |
| B3115 | 0.000000 | T4025 | 101400.0 |
| T3122 | 34050.00 | B4025 | 97800.00 |
| B3122 | 33750.00 | T4032 | 104500.0 |
| T3131 | 64037.00 | B4032 | 103000.0 |
| B3131 | 63595.00 | T4041 | 127046.0 |
| T3212 | 7250.000 | B4041 | 122946.0 |
| B3212 | 6450.000 | T4111 | 9836.000 |
| T3225 | 76200.00 | B4111 | 8736.000 |
| B3225 | 75000.00 | T4124 | 33500.00 |
| T3231 | 85433.00 | B4124 | 32000.00 |
| B3231 | 85161.00 | T4132 | 83650.00 |
| T3243 | 129400.0 | B4132 | 81850.00 |
| B3243 | 128700.0 | T4212 | 17250.00 |
| T3314 | 250.0000 | B4212 | 15150.00 |
| B3314 | 0.000000 | T4221 | 53460.00 |
| T3325 | 63000.00 | B4221 | 52860.00 |
| B3325 | 62400.00 | T4234 | 71250.00 |
| T3331 | 63170.00 | B4234 | 69750.00 |
| B3331 | 63000.00 | T4312 | 19350.00 |
| T3412 | 600.0000 | B4312 | 17250.00 |
| B3412 | 300.0000 | T4321 | 55360.00 |
| T3423 | 30450.00 | B4321 | 53460.00 |
| B3423 | 30100.00 | T4333 | 86900.00 |
| T3431 | 63595.00 | B4333 | 84800.00 |
| B3431 | 63170.00 | T4415 | 13800.00 |
| T3512 | 4850.000 | B4415 | 12000.00 |
| B3512 | 4350.000 | T4423 | 40950.00 |
| T3523 | 39900.00 | B4423 | 39900.00 |
| B3523 | 39200.00 | T4431 | 93626.00 |
| T3531 | 90653.00 | B4431 | 92626.00 |
| B3531 | 90041.00 | T4513 | 5950.000 |
| T3615 | 1200.000 | B4513 | 4900.000 |
| B3615 | 600.0000 | T4521 | 41225.00 |
| T3621 | 36670.00 | B4521 | 40125.00 |
| B3621 | 36279.00 | T4532 | 88200.00 |
| T3632 | 78850.00 | B4532 | 86850.00 |
| B3632 | 78450.00 | T4611 | 5860.000 |
| T3715 | 10200.00 | B4611 | 5060.000 |
| B3715 | 8400.000 | T4624 | 30500.00 |
| T3723 | 37450.00 | B4624 | 29000.00 |
| B3723 | 36400.00 | T4632 | 80650.00 |
| T3731 | 83307.00 | B4632 | 78850.00 |
| B3731 | 82557.00 | T4711 | 4360.000 |
| T3811 | 35395.00 | B4711 | 3760.000 |
| B3811 | 30295.00 | T4722 | 42300.00 |
| T3822 | 73300.00 | B4722 | 41400.00 |
| B3822 | 70300.00 | T4733 | 75350.00 |
| T3833 | 91100.00 | B4733 | 74300.00 |
| B3833 | 89000.00 | T4812 | 33750.00 |
| T3915 | 26400.00 | B4812 | 27750.00 |

|       |          |       |          |
|-------|----------|-------|----------|
| T4823 | 72550.00 | B5722 | 44300.00 |
| B4823 | 68350.00 | T5733 | 76400.00 |
| T4831 | 120427.0 | B5733 | 75350.00 |
| B4831 | 114027.0 | T5813 | 16800.00 |
| T4914 | 7000.000 | B5813 | 14700.00 |
| B4914 | 5500.000 | T5825 | 97800.00 |
| T4925 | 73200.00 | B5825 | 94200.00 |
| B4925 | 69600.00 | T5831 | 99200.00 |
| T4931 | 82021.00 | B5831 | 97800.00 |
| B4931 | 78421.00 | T5912 | 21450.00 |
| T5011 | 10936.00 | B5912 | 19350.00 |
| B5011 | 9836.000 | T5924 | 60750.00 |
| T5022 | 52400.00 | B5924 | 59250.00 |
| B5022 | 50600.00 | T5931 | 91353.00 |
| T5033 | 78500.00 | B5931 | 90653.00 |
| B5033 | 76400.00 | T6012 | 8150.000 |
| T5113 | 30100.00 | B6012 | 7250.000 |
| B5113 | 25900.00 | T6021 | 46017.00 |
| T5121 | 50917.00 | B6021 | 45717.00 |
| B5121 | 49117.00 | T6034 | 67500.00 |
| T5132 | 125500.0 | B6034 | 66750.00 |
| B5132 | 122500.0 | T6115 | 8400.000 |
| T5214 | 12000.00 | B6115 | 6600.000 |
| B5214 | 9000.000 | T6123 | 36400.00 |
| T5221 | 43177.00 | B6123 | 35350.00 |
| B5221 | 41977.00 | T6131 | 77617.00 |
| T5232 | 108100.0 | B6131 | 77167.00 |
| B5232 | 104500.0 | T6215 | 62400.00 |
| T5315 | 37200.00 | B6215 | 57000.00 |
| B5315 | 33600.00 | T6223 | 65550.00 |
| T5323 | 54250.00 | B6223 | 62400.00 |
| B5323 | 52150.00 | T6231 | 114027.0 |
| T5331 | 112677.0 | B6231 | 112677.0 |
| B5331 | 111877.0 | T6242 | 153400.0 |
| T5414 | 25000.00 | B6242 | 151150.0 |
| B5414 | 19000.00 | T6311 | 24466.00 |
| T5425 | 94200.00 | B6311 | 22066.00 |
| B5425 | 79800.00 | T6322 | 67100.00 |
| T5432 | 100200.0 | B6322 | 61100.00 |
| B5432 | 94200.00 | T6335 | 136800.0 |
| T5441 | 122946.0 | B6335 | 122400.0 |
| B5441 | 120546.0 | T6344 | 142800.0 |
| T5511 | 15994.00 | B6344 | 136800.0 |
| B5511 | 14594.00 | T6413 | 25900.00 |
| T5522 | 60100.00 | B6413 | 21700.00 |
| B5522 | 57100.00 | T6421 | 49117.00 |
| T5533 | 82700.00 | B6421 | 47517.00 |
| B5533 | 78500.00 | T6432 | 122500.0 |
| T5615 | 12000.00 | B6432 | 119500.0 |
| B5615 | 10200.00 | T6511 | 13336.00 |
| T5623 | 39200.00 | B6511 | 12086.00 |
| B5623 | 38150.00 | T6522 | 56600.00 |
| T5631 | 86987.00 | B6522 | 55700.00 |
| B5631 | 86237.00 | T6535 | 121200.0 |
| T5642 | 151150.0 | B6535 | 119400.0 |
| B5642 | 149800.0 | T6611 | 17394.00 |
| T5711 | 5060.000 | B6611 | 15994.00 |
| B5711 | 4360.000 | T6625 | 105000.0 |
| T5722 | 45500.00 | B6625 | 101400.0 |

|       |          |       |          |
|-------|----------|-------|----------|
| T6632 | 112800.0 | B7531 | 104966.0 |
| B6632 | 111300.0 | T7611 | 27079.00 |
| T6643 | 126600.0 | B7611 | 24466.00 |
| B6643 | 124500.0 | T7624 | 63750.00 |
| T6715 | 33600.00 | B7624 | 62750.00 |
| B6715 | 30000.00 | T7632 | 103000.0 |
| T6721 | 47517.00 | B7632 | 101200.0 |
| B6721 | 46717.00 | T7645 | 144600.0 |
| T6732 | 119500.0 | B7645 | 142200.0 |
| B6732 | 117700.0 | T7715 | 20400.00 |
| T6743 | 128700.0 | B7715 | 18000.00 |
| B6743 | 126600.0 | T7723 | 44450.00 |
| T6815 | 15600.00 | B7723 | 43050.00 |
| B6815 | 13800.00 | T7731 | 104966.0 |
| T6821 | 41575.00 | B7731 | 102420.0 |
| B6821 | 41225.00 | T7811 | 476.0000 |
| T6832 | 90900.00 | B7811 | 136.0000 |
| B6832 | 90000.00 | T7824 | 25500.00 |
| T6912 | 8900.000 | B7824 | 25000.00 |
| B6912 | 8150.000 | T7832 | 74450.00 |
| T6923 | 46900.00 | B7832 | 73750.00 |
| B6923 | 45850.00 | T7914 | 9000.000 |
| T6931 | 108464.0 | B7914 | 7000.000 |
| B6931 | 107914.0 | T7922 | 44300.00 |
| T7011 | 12086.00 | B7922 | 42300.00 |
| B7011 | 10936.00 | T7931 | 87791.00 |
| T7022 | 53300.00 | B7931 | 86987.00 |
| B7022 | 52400.00 | T8012 | 11150.00 |
| T7034 | 68250.00 | B8012 | 9950.000 |
| B7034 | 67500.00 | T8023 | 50750.00 |
| T7112 | 23550.00 | B8023 | 49350.00 |
| B7112 | 21450.00 | T8031 | 111408.0 |
| T7121 | 57160.00 | B8031 | 110202.0 |
| B7121 | 55360.00 | T8113 | 1400.000 |
| T7133 | 89000.00 | B8113 | 700.0000 |
| B7133 | 86900.00 | T8121 | 37520.00 |
| T7213 | 7000.000 | B8121 | 36976.00 |
| B7213 | 5950.000 | T8135 | 110400.0 |
| T7225 | 75000.00 | B8135 | 109200.0 |
| B7225 | 73200.00 | T8213 | 4200.000 |
| T7231 | 85161.00 | B8213 | 3500.000 |
| B7231 | 84111.00 | T8222 | 39400.00 |
| T7315 | 57000.00 | B8222 | 38600.00 |
| B7315 | 51600.00 | T8231 | 76055.00 |
| T7324 | 59250.00 | B8231 | 75613.00 |
| B7324 | 57000.00 | T8312 | 5650.000 |
| T7331 | 90041.00 | B8312 | 4850.000 |
| B7331 | 87791.00 | T8323 | 41650.00 |
| T7414 | 2500.000 | B8323 | 40950.00 |
| B7414 | 1750.000 | T8331 | 99744.00 |
| T7422 | 38600.00 | B8331 | 99200.00 |
| B7422 | 37550.00 | T8414 | 19000.00 |
| T7431 | 75263.00 | B8414 | 15000.00 |
| B7431 | 74763.00 | T8421 | 45717.00 |
| T7515 | 22800.00 | B8421 | 44779.00 |
| B7515 | 20400.00 | T8432 | 116300.0 |
| T7523 | 45850.00 | B8432 | 114300.0 |
| B7523 | 44450.00 | T8514 | 4500.000 |
| T7531 | 107914.0 | B8514 | 3500.000 |

|       |          |        |          |
|-------|----------|--------|----------|
| T8521 | 38561.00 | B9422  | 53300.00 |
| B8521 | 38092.00 | T9431  | 109402.0 |
| T8532 | 86050.00 | B9431  | 108464.0 |
| B8532 | 84850.00 | T9514  | 3500.000 |
| T8615 | 18000.00 | B9514  | 2500.000 |
| B8615 | 15600.00 | T9521  | 37922.00 |
| T8621 | 43579.00 | B9521  | 37520.00 |
| B8621 | 43177.00 | T9532  | 81850.00 |
| T8632 | 109500.0 | B9532  | 80650.00 |
| B8632 | 108100.0 | T9611  | 3216.000 |
| T8643 | 124500.0 | B9611  | 2680.000 |
| B8643 | 123100.0 | T9624  | 28500.00 |
| T8712 | 2050.000 | B9624  | 27500.00 |
| B8712 | 1450.000 | T9632  | 78450.00 |
| T8723 | 32200.00 | B9632  | 77250.00 |
| B8723 | 31500.00 | T9712  | 27750.00 |
| T8731 | 65295.00 | B9712  | 25750.00 |
| B8731 | 65057.00 | T9724  | 62750.00 |
| T8813 | 2800.000 | B9724  | 60750.00 |
| B8813 | 2100.000 | T9731  | 92626.00 |
| T8822 | 36500.00 | B9731  | 91822.00 |
| B8822 | 35900.00 | T9815  | 51600.00 |
| T8831 | 67369.00 | B9815  | 46800.00 |
| B8831 | 67131.00 | T9824  | 53600.00 |
| T8912 | 25750.00 | B9824  | 51600.00 |
| B8912 | 23550.00 | T9831  | 86237.00 |
| T8921 | 57897.00 | B9831  | 85433.00 |
| B8921 | 57160.00 | T9912  | 12350.00 |
| T8934 | 77250.00 | B9912  | 11150.00 |
| B8934 | 75250.00 | T9923  | 52150.00 |
| T9012 | 13350.00 | B9923  | 50750.00 |
| B9012 | 12350.00 | T9931  | 111877.0 |
| T9024 | 35500.00 | B9931  | 111408.0 |
| B9024 | 33500.00 | T10011 | 2211.000 |
| T9031 | 76725.00 | B10011 | 1742.000 |
| B9031 | 76055.00 | T10025 | 69600.00 |
| T9111 | 30295.00 | B10025 | 67200.00 |
| B9111 | 27079.00 | T10032 | 84850.00 |
| T9122 | 70300.00 | B10032 | 83650.00 |
| B9122 | 67100.00 | T10111 | 8736.000 |
| T9134 | 75250.00 | B10111 | 7731.000 |
| B9134 | 71250.00 | T10123 | 48300.00 |
| T9212 | 15150.00 | B10123 | 46900.00 |
| B9212 | 13350.00 | T10132 | 117700.0 |
| T9221 | 52860.00 | B10132 | 116300.0 |
| B9221 | 50917.00 | T10145 | 149400.0 |
| T9233 | 84800.00 | B10145 | 147000.0 |
| B9233 | 83400.00 | T10211 | 6731.000 |
| T9311 | 22066.00 | B10211 | 5860.000 |
| B9311 | 20458.00 | T10223 | 43050.00 |
| T9323 | 68350.00 | B10223 | 41650.00 |
| B9323 | 65550.00 | T10232 | 111300.0 |
| T9335 | 141600.0 | B10232 | 109500.0 |
| B9335 | 136800.0 | T10312 | 6450.000 |
| T9342 | 143600.0 | B10312 | 5650.000 |
| B9342 | 141600.0 | T10324 | 29000.00 |
| T9413 | 21700.00 | B10324 | 28500.00 |
| B9413 | 18900.00 | T10331 | 65057.00 |
| T9422 | 55700.00 | B10331 | 64853.00 |

|        |          |        |          |
|--------|----------|--------|----------|
| T10411 | 2680.000 | B10931 | 67607.00 |
| B10411 | 2211.000 | T11014 | 5500.000 |
| T10424 | 27500.00 | B11014 | 4500.000 |
| B10424 | 26500.00 | T11022 | 41400.00 |
| T10432 | 76050.00 | B11022 | 40000.00 |
| B10432 | 74450.00 | T11031 | 82557.00 |
| T10514 | 15000.00 | B11031 | 82021.00 |
| B10514 | 12000.00 | T11045 | 147000.0 |
| T10521 | 44779.00 | B11045 | 144600.0 |
| B10521 | 43579.00 | T11115 | 4800.000 |
| T10535 | 119400.0 | B11115 | 3600.000 |
| B10535 | 112200.0 | T11123 | 33600.00 |
| T10613 | 14700.00 | B11123 | 32900.00 |
| B10613 | 12600.00 | T11131 | 69579.00 |
| T10622 | 50600.00 | B11131 | 67947.00 |
| B10622 | 49100.00 | T11213 | 12600.00 |
| T10631 | 102420.0 | B11213 | 11200.00 |
| B10631 | 101620.0 | T11222 | 49100.00 |
| T10711 | 7731.000 | B11222 | 47900.00 |
| B10711 | 6731.000 | T11231 | 101620.0 |
| T10725 | 79800.00 | B11231 | 100414.0 |
| B10725 | 76200.00 | T11312 | 4350.000 |
| T10732 | 90000.00 | B11312 | 3850.000 |
| B10732 | 88200.00 | T11321 | 40125.00 |
| T10812 | 3850.000 | B11321 | 39411.00 |
| B10812 | 3250.000 | T11333 | 74300.00 |
| T10821 | 39411.00 | B11333 | 73600.00 |
| B10821 | 38561.00 | T11411 | 18894.00 |
| T10833 | 73600.00 | B11411 | 17394.00 |
| B10833 | 72900.00 | T11425 | 108600.0 |
| T10915 | 4800.000 | B11425 | 105000.0 |
| B10915 | 3600.000 | T11432 | 114300.0 |
| T10923 | 32900.00 | B11432 | 112800.0 |
| B10923 | 32200.00 | T11444 | 144300.0 |
| T10931 | 67947.00 | B11444 | 142800.0 |

• **İKİNCİ AŞAMANIN ÇÖZÜMÜ**

Global optimal solution found at iteration:

51623721

Objective value:

23583.00

|          |          |       |          |
|----------|----------|-------|----------|
| Variable | Value    | G712  | 0.000000 |
| C        | 23583.00 | C712  | 54.00000 |
| T        | 153400.0 | P822  | 600.0000 |
| P122     | 1000.000 | G822  | 0.000000 |
| G122     | 0.000000 | C822  | 108.0000 |
| C122     | 180.0000 | P932  | 450.0000 |
| P322     | 500.0000 | G932  | 0.000000 |
| G322     | 0.000000 | C932  | 81.00000 |
| C322     | 90.00000 | P1112 | 1050.000 |
| P432     | 600.0000 | G1112 | 0.000000 |
| G432     | 0.000000 | C1112 | 189.0000 |
| C432     | 108.0000 | P1222 | 1050.000 |
| P522     | 800.0000 | G1222 | 0.000000 |
| G522     | 0.000000 | C1222 | 189.0000 |
| C522     | 144.0000 | P1312 | 600.0000 |
| P632     | 1000.000 | G1312 | 0.000000 |
| G632     | 1.000000 | C1312 | 108.0000 |
| C632     | 120.0000 | P1422 | 600.0000 |
| P712     | 300.0000 | G1422 | 0.000000 |

|       |          |       |          |
|-------|----------|-------|----------|
| C1422 | 108.0000 | G4132 | 1.000000 |
| P1622 | 1400.000 | C4132 | 288.0000 |
| G1622 | 0.000000 | P4212 | 2100.000 |
| C1622 | 252.0000 | G4212 | 0.000000 |
| P1732 | 600.0000 | C4212 | 378.0000 |
| G1732 | 0.000000 | P4312 | 2100.000 |
| C1732 | 108.0000 | G4312 | 0.000000 |
| P1842 | 600.0000 | C4312 | 378.0000 |
| G1842 | 0.000000 | P4532 | 1800.000 |
| C1842 | 108.0000 | G4532 | 1.000000 |
| P2122 | 1000.000 | C4532 | 216.0000 |
| G2122 | 0.000000 | P4632 | 1800.000 |
| C2122 | 180.0000 | G4632 | 0.000000 |
| P2312 | 400.0000 | C4632 | 324.0000 |
| G2312 | 0.000000 | P4722 | 900.0000 |
| C2312 | 72.00000 | G4722 | 0.000000 |
| P2422 | 450.0000 | C4722 | 162.0000 |
| G2422 | 0.000000 | P4812 | 6000.000 |
| C2422 | 81.00000 | G4812 | 0.000000 |
| P2512 | 600.0000 | C4812 | 1080.000 |
| G2512 | 0.000000 | P5022 | 1800.000 |
| C2512 | 108.0000 | G5022 | 0.000000 |
| P2642 | 800.0000 | C5022 | 324.0000 |
| G2642 | 1.000000 | P5132 | 4200.000 |
| C2642 | 96.00000 | G5132 | 1.000000 |
| P2712 | 450.0000 | C5132 | 504.0000 |
| G2712 | 0.000000 | P5232 | 4200.000 |
| C2712 | 81.00000 | G5232 | 1.000000 |
| P2942 | 2000.000 | C5232 | 504.0000 |
| G2942 | 0.000000 | P5432 | 6000.000 |
| C2942 | 360.0000 | G5432 | 0.000000 |
| P3032 | 1400.000 | C5432 | 1080.000 |
| G3032 | 1.000000 | P5522 | 3000.000 |
| C3032 | 168.0000 | G5522 | 0.000000 |
| P3122 | 300.0000 | C5522 | 540.0000 |
| G3122 | 0.000000 | P5642 | 1350.000 |
| C3122 | 54.00000 | G5642 | 0.000000 |
| P3212 | 800.0000 | C5642 | 243.0000 |
| G3212 | 0.000000 | P5722 | 1200.000 |
| C3212 | 144.0000 | G5722 | 0.000000 |
| P3412 | 300.0000 | C5722 | 216.0000 |
| G3412 | 0.000000 | P5912 | 2100.000 |
| C3412 | 54.00000 | G5912 | 0.000000 |
| P3512 | 500.0000 | C5912 | 378.0000 |
| G3512 | 0.000000 | P6012 | 900.0000 |
| C3512 | 90.00000 | G6012 | 0.000000 |
| P3632 | 550.0000 | C6012 | 162.0000 |
| G3632 | 1.000000 | P6242 | 2250.000 |
| C3632 | 66.00000 | G6242 | 0.000000 |
| P3822 | 3000.000 | C6242 | 405.0000 |
| G3822 | 0.000000 | P6322 | 6000.000 |
| C3822 | 540.0000 | G6322 | 0.000000 |
| P3942 | 3600.000 | C6322 | 1080.000 |
| G3942 | 0.000000 | P6432 | 4200.000 |
| C3942 | 648.0000 | G6432 | 1.000000 |
| P4032 | 2100.000 | C6432 | 504.0000 |
| G4032 | 1.000000 | P6522 | 900.0000 |
| C4032 | 252.0000 | G6522 | 0.000000 |
| P4132 | 2400.000 | C6522 | 162.0000 |

|       |          |        |          |
|-------|----------|--------|----------|
| P6632 | 2100.000 | C9012  | 180.0000 |
| G6632 | 1.000000 | P9122  | 3200.000 |
| C6632 | 252.0000 | G9122  | 0.000000 |
| P6732 | 2400.000 | C9122  | 576.0000 |
| G6732 | 1.000000 | P9212  | 1800.000 |
| C6732 | 288.0000 | G9212  | 0.000000 |
| P6832 | 1200.000 | C9212  | 324.0000 |
| G6832 | 1.000000 | P9342  | 2000.000 |
| C6832 | 144.0000 | G9342  | 0.000000 |
| P6912 | 750.0000 | C9342  | 360.0000 |
| G6912 | 0.000000 | P9422  | 2400.000 |
| C6912 | 135.0000 | G9422  | 0.000000 |
| P7022 | 900.0000 | C9422  | 432.0000 |
| G7022 | 0.000000 | P9532  | 1400.000 |
| C7022 | 162.0000 | G9532  | 1.000000 |
| P7112 | 2100.000 | C9532  | 168.0000 |
| G7112 | 0.000000 | P9632  | 1200.000 |
| C7112 | 378.0000 | G9632  | 0.000000 |
| P7422 | 1050.000 | C9632  | 216.0000 |
| G7422 | 0.000000 | P9712  | 2000.000 |
| C7422 | 189.0000 | G9712  | 0.000000 |
| P7632 | 2600.000 | C9712  | 360.0000 |
| G7632 | 1.000000 | P9912  | 1200.000 |
| C7632 | 312.0000 | G9912  | 0.000000 |
| P7832 | 700.0000 | C9912  | 216.0000 |
| G7832 | 0.000000 | P10032 | 1600.000 |
| C7832 | 126.0000 | G10032 | 1.000000 |
| P7922 | 2000.000 | C10032 | 192.0000 |
| G7922 | 0.000000 | P10132 | 2000.000 |
| C7922 | 360.0000 | G10132 | 1.000000 |
| P8012 | 1200.000 | C10132 | 240.0000 |
| G8012 | 0.000000 | P10232 | 2600.000 |
| C8012 | 216.0000 | G10232 | 1.000000 |
| P8222 | 800.0000 | C10232 | 312.0000 |
| G8222 | 0.000000 | P10312 | 800.0000 |
| C8222 | 144.0000 | G10312 | 0.000000 |
| P8312 | 800.0000 | C10312 | 144.0000 |
| G8312 | 0.000000 | P10432 | 1600.000 |
| C8312 | 144.0000 | G10432 | 0.000000 |
| P8432 | 2800.000 | C10432 | 288.0000 |
| G8432 | 1.000000 | P10622 | 1500.000 |
| C8432 | 336.0000 | G10622 | 0.000000 |
| P8532 | 1600.000 | C10622 | 270.0000 |
| G8532 | 1.000000 | P10732 | 2400.000 |
| C8532 | 192.0000 | G10732 | 1.000000 |
| P8632 | 2000.000 | C10732 | 288.0000 |
| G8632 | 1.000000 | P10812 | 600.0000 |
| C8632 | 240.0000 | G10812 | 0.000000 |
| P8712 | 600.0000 | C10812 | 108.0000 |
| G8712 | 0.000000 | P11022 | 1400.000 |
| C8712 | 108.0000 | G11022 | 0.000000 |
| P8822 | 600.0000 | C11022 | 252.0000 |
| G8822 | 0.000000 | P11222 | 1200.000 |
| C8822 | 108.0000 | G11222 | 0.000000 |
| P8912 | 2200.000 | C11222 | 216.0000 |
| G8912 | 0.000000 | P11312 | 500.0000 |
| C8912 | 396.0000 | G11312 | 0.000000 |
| P9012 | 1000.000 | C11312 | 90.00000 |
| G9012 | 0.000000 | P11432 | 2100.000 |

|        |          |       |          |
|--------|----------|-------|----------|
| G11432 | 1.000000 | B932  | 73300.00 |
| C11432 | 252.0000 | T1015 | 30000.00 |
| T111   | 20458.00 | B1015 | 26400.00 |
| B111   | 18894.00 | T1021 | 46717.00 |
| T122   | 61100.00 | B1021 | 46017.00 |
| B122   | 60100.00 | T1034 | 69750.00 |
| T133   | 114700.0 | B1034 | 68250.00 |
| B133   | 114000.0 | T1112 | 9950.000 |
| T215   | 2400.000 | B1112 | 8900.000 |
| B215   | 1200.000 | T1123 | 88800.00 |
| T224   | 26500.00 | B1123 | 87750.00 |
| B224   | 26000.00 | T1131 | 110202.0 |
| T231   | 67131.00 | B1131 | 109402.0 |
| B231   | 65635.00 | T1211 | 1742.000 |
| T311   | 14594.00 | B1211 | 1292.000 |
| B311   | 13336.00 | T1222 | 37550.00 |
| T322   | 57100.00 | B1222 | 36500.00 |
| B322   | 56600.00 | T1235 | 112200.0 |
| T335   | 122400.0 | B1235 | 110400.0 |
| B335   | 121200.0 | T1312 | 3250.000 |
| T343   | 123100.0 | B1312 | 2650.000 |
| B343   | 122400.0 | T1321 | 38092.00 |
| T414   | 750.0000 | B1321 | 37922.00 |
| B414   | 250.0000 | T1334 | 66750.00 |
| T421   | 36279.00 | B1334 | 66500.00 |
| B421   | 35939.00 | T1414 | 1750.000 |
| T432   | 77250.00 | B1414 | 1250.000 |
| B432   | 76650.00 | T1422 | 35900.00 |
| T514   | 1250.000 | B1422 | 35300.00 |
| B514   | 750.0000 | T1431 | 65635.00 |
| T522   | 35300.00 | B1431 | 65295.00 |
| B522   | 34500.00 | T1513 | 22517.00 |
| T531   | 64581.00 | B1513 | 21817.00 |
| B531   | 64377.00 | T1525 | 67200.00 |
| T611   | 3760.000 | B1525 | 66000.00 |
| B611   | 3216.000 | T1531 | 74287.00 |
| T623   | 77600.00 | B1531 | 73879.00 |
| B623   | 76900.00 | T1613 | 30217.00 |
| T632   | 88800.00 | B1613 | 28817.00 |
| B632   | 87800.00 | T1622 | 47900.00 |
| T712   | 300.0000 | B1622 | 46500.00 |
| B712   | 0.000000 | T1631 | 100414.0 |
| T721   | 35939.00 | B1631 | 99744.00 |
| B721   | 35650.00 | T1711 | 850.0000 |
| T734   | 64000.00 | B1711 | 476.0000 |
| B734   | 63750.00 | T1724 | 26000.00 |
| T745   | 142200.0 | B1724 | 25500.00 |
| B745   | 141600.0 | T1732 | 76650.00 |
| T813   | 23917.00 | B1732 | 76050.00 |
| B813   | 23217.00 | T1813 | 21117.00 |
| T822   | 40000.00 | B1813 | 20417.00 |
| B822   | 39400.00 | T1825 | 64800.00 |
| T831   | 77167.00 | B1825 | 63600.00 |
| B831   | 76725.00 | T1831 | 67607.00 |
| T913   | 19367.00 | B1831 | 67369.00 |
| B913   | 19017.00 | T1842 | 144200.0 |
| T921   | 35650.00 | B1842 | 143600.0 |
| B921   | 35395.00 | T1915 | 3600.000 |
| T932   | 73750.00 | B1915 | 2400.000 |

|       |          |       |          |
|-------|----------|-------|----------|
| T1923 | 64357.00 | B2823 | 73750.00 |
| B1923 | 63657.00 | T2831 | 75613.00 |
| T1931 | 64853.00 | B2831 | 75263.00 |
| B1931 | 64581.00 | T2915 | 46800.00 |
| T2015 | 42000.00 | B2915 | 42000.00 |
| B2015 | 37200.00 | T2924 | 48800.00 |
| T2024 | 44000.00 | B2924 | 46800.00 |
| B2024 | 42000.00 | T2931 | 84111.00 |
| T2031 | 78421.00 | B2931 | 83307.00 |
| B2031 | 77617.00 | T2942 | 149800.0 |
| T2113 | 28817.00 | B2942 | 147800.0 |
| B2113 | 27417.00 | T3013 | 27417.00 |
| T2122 | 46500.00 | B3013 | 26017.00 |
| B2122 | 45500.00 | T3021 | 41977.00 |
| T2131 | 91822.00 | B3021 | 41575.00 |
| B2131 | 91353.00 | T3032 | 101700.0 |
| T2213 | 19717.00 | B3032 | 100300.0 |
| B2213 | 19367.00 | T3115 | 600.0000 |
| T2225 | 63600.00 | B3115 | 0.000000 |
| B2225 | 63000.00 | T3122 | 34050.00 |
| T2231 | 64377.00 | B3122 | 33750.00 |
| B2231 | 64037.00 | T3131 | 64037.00 |
| T2312 | 1000.000 | B3131 | 63595.00 |
| B2312 | 600.0000 | T3212 | 7250.000 |
| T2321 | 36976.00 | B3212 | 6450.000 |
| B2321 | 36670.00 | T3225 | 76200.00 |
| T2333 | 104200.0 | B3225 | 75000.00 |
| B2333 | 103850.0 | T3231 | 85433.00 |
| T2411 | 136.0000 | B3231 | 85161.00 |
| B2411 | 0.000000 | T3243 | 129400.0 |
| T2422 | 34500.00 | B3243 | 128700.0 |
| B2422 | 34050.00 | T3314 | 250.0000 |
| T2434 | 64250.00 | B3314 | 0.000000 |
| B2434 | 64000.00 | T3325 | 63000.00 |
| T2512 | 2650.000 | B3325 | 62400.00 |
| B2512 | 2050.000 | T3331 | 63170.00 |
| T2523 | 73750.00 | B3331 | 63000.00 |
| B2523 | 73050.00 | T3412 | 600.0000 |
| T2531 | 74763.00 | B3412 | 300.0000 |
| B2531 | 74287.00 | T3423 | 63170.00 |
| T2611 | 1292.000 | B3423 | 62820.00 |
| B2611 | 850.0000 | T3431 | 63595.00 |
| T2625 | 66000.00 | B3431 | 63170.00 |
| B2625 | 64800.00 | T3512 | 4850.000 |
| T2634 | 66500.00 | B3512 | 4350.000 |
| B2634 | 66000.00 | T3523 | 79350.00 |
| T2642 | 141600.0 | B3523 | 78650.00 |
| B2642 | 140800.0 | T3531 | 90653.00 |
| T2712 | 1450.000 | B3531 | 90041.00 |
| B2712 | 1000.000 | T3615 | 1200.000 |
| T2723 | 63657.00 | B3615 | 600.0000 |
| B2723 | 63307.00 | T3621 | 36670.00 |
| T2735 | 109200.0 | B3621 | 36279.00 |
| B2735 | 108600.0 | T3632 | 79000.00 |
| T2741 | 120546.0 | B3632 | 78450.00 |
| B2741 | 120427.0 | T3715 | 10200.00 |
| T2815 | 6600.000 | B3715 | 8400.000 |
| B2815 | 4800.000 | T3723 | 76900.00 |
| T2823 | 74800.00 | B3723 | 75850.00 |

|       |          |       |          |
|-------|----------|-------|----------|
| T3731 | 83307.00 | B4632 | 78850.00 |
| B3731 | 82557.00 | T4711 | 4360.000 |
| T3811 | 35395.00 | B4711 | 3760.000 |
| B3811 | 30295.00 | T4722 | 42300.00 |
| T3822 | 73300.00 | B4722 | 41400.00 |
| B3822 | 70300.00 | T4733 | 106650.0 |
| T3833 | 122400.0 | B4733 | 105600.0 |
| B3833 | 120300.0 | T4812 | 33750.00 |
| T3915 | 26400.00 | B4812 | 27750.00 |
| B3915 | 22800.00 | T4823 | 103850.0 |
| T3924 | 32000.00 | B4823 | 99650.00 |
| B3924 | 30500.00 | T4831 | 120427.0 |
| T3931 | 73879.00 | B4831 | 114027.0 |
| B3931 | 69579.00 | T4914 | 7000.000 |
| T3942 | 147800.0 | B4914 | 5500.000 |
| B3942 | 144200.0 | T4925 | 73200.00 |
| T4013 | 37917.00 | B4925 | 69600.00 |
| B4013 | 35817.00 | T4931 | 82021.00 |
| T4025 | 101400.0 | B4931 | 78421.00 |
| B4025 | 97800.00 | T5011 | 10936.00 |
| T4032 | 106400.0 | B5011 | 9836.000 |
| B4032 | 104300.0 | T5022 | 52400.00 |
| T4041 | 127046.0 | B5022 | 50600.00 |
| B4041 | 122946.0 | T5033 | 109800.0 |
| T4111 | 9836.000 | B5033 | 107700.0 |
| B4111 | 8736.000 | T5113 | 49117.00 |
| T4124 | 33500.00 | B5113 | 44917.00 |
| B4124 | 32000.00 | T5121 | 50917.00 |
| T4132 | 84600.00 | B5121 | 49117.00 |
| B4132 | 82200.00 | T5132 | 140800.0 |
| T4212 | 17250.00 | B5132 | 136600.0 |
| B4212 | 15150.00 | T5214 | 12000.00 |
| T4221 | 53460.00 | B5214 | 9000.000 |
| B4221 | 52860.00 | T5221 | 43177.00 |
| T4234 | 71250.00 | B5221 | 41977.00 |
| B4234 | 69750.00 | T5232 | 110600.0 |
| T4312 | 19350.00 | B5232 | 106400.0 |
| B4312 | 17250.00 | T5315 | 37200.00 |
| T4321 | 55360.00 | B5315 | 33600.00 |
| B4321 | 53460.00 | T5323 | 93700.00 |
| T4333 | 118200.0 | B5323 | 91600.00 |
| B4333 | 116100.0 | T5331 | 112677.0 |
| T4415 | 13800.00 | B5331 | 111877.0 |
| B4415 | 12000.00 | T5414 | 25000.00 |
| T4423 | 80400.00 | B5414 | 19000.00 |
| B4423 | 79350.00 | T5425 | 94200.00 |
| T4431 | 93626.00 | B5425 | 79800.00 |
| B4431 | 92626.00 | T5432 | 100200.0 |
| T4513 | 24967.00 | B5432 | 94200.00 |
| B4513 | 23917.00 | T5441 | 122946.0 |
| T4521 | 41225.00 | B5441 | 120546.0 |
| B4521 | 40125.00 | T5511 | 15994.00 |
| T4532 | 90600.00 | B5511 | 14594.00 |
| B4532 | 88800.00 | T5522 | 60100.00 |
| T4611 | 5860.000 | B5522 | 57100.00 |
| B4611 | 5060.000 | T5533 | 114000.0 |
| T4624 | 30500.00 | B5533 | 109800.0 |
| B4624 | 29000.00 | T5615 | 12000.00 |
| T4632 | 80650.00 | B5615 | 10200.00 |

|       |          |       |          |
|-------|----------|-------|----------|
| T5623 | 78650.00 | B6511 | 12086.00 |
| B5623 | 77600.00 | T6522 | 56600.00 |
| T5631 | 86987.00 | B6522 | 55700.00 |
| B5631 | 86237.00 | T6535 | 121200.0 |
| T5642 | 151150.0 | B6535 | 119400.0 |
| B5642 | 149800.0 | T6611 | 17394.00 |
| T5711 | 5060.000 | B6611 | 15994.00 |
| B5711 | 4360.000 | T6625 | 105000.0 |
| T5722 | 45500.00 | B6625 | 101400.0 |
| B5722 | 44300.00 | T6632 | 117300.0 |
| T5733 | 107700.0 | B6632 | 115200.0 |
| B5733 | 106650.0 | T6643 | 126600.0 |
| T5813 | 35817.00 | B6643 | 124500.0 |
| B5813 | 33717.00 | T6715 | 33600.00 |
| T5825 | 97800.00 | B6715 | 30000.00 |
| B5825 | 94200.00 | T6721 | 47517.00 |
| T5831 | 99200.00 | B6721 | 46717.00 |
| B5831 | 97800.00 | T6732 | 126600.0 |
| T5912 | 21450.00 | B6732 | 124200.0 |
| B5912 | 19350.00 | T6743 | 128700.0 |
| T5924 | 60750.00 | B6743 | 126600.0 |
| B5924 | 59250.00 | T6815 | 15600.00 |
| T5931 | 91353.00 | B6815 | 13800.00 |
| B5931 | 90653.00 | T6821 | 41575.00 |
| T6012 | 8150.000 | B6821 | 41225.00 |
| B6012 | 7250.000 | T6832 | 94200.00 |
| T6021 | 46017.00 | B6832 | 93000.00 |
| B6021 | 45717.00 | T6912 | 8900.000 |
| T6034 | 67500.00 | B6912 | 8150.000 |
| B6034 | 66750.00 | T6923 | 86350.00 |
| T6115 | 8400.000 | B6923 | 85300.00 |
| B6115 | 6600.000 | T6931 | 108464.0 |
| T6123 | 75850.00 | B6931 | 107914.0 |
| B6123 | 74800.00 | T7011 | 12086.00 |
| T6131 | 77617.00 | B7011 | 10936.00 |
| B6131 | 77167.00 | T7022 | 53300.00 |
| T6215 | 62400.00 | B7022 | 52400.00 |
| B6215 | 57000.00 | T7034 | 68250.00 |
| T6223 | 96850.00 | B7034 | 67500.00 |
| B6223 | 93700.00 | T7112 | 23550.00 |
| T6231 | 114027.0 | B7112 | 21450.00 |
| B6231 | 112677.0 | T7121 | 57160.00 |
| T6242 | 153400.0 | B7121 | 55360.00 |
| B6242 | 151150.0 | T7133 | 120300.0 |
| T6311 | 24466.00 | B7133 | 118200.0 |
| B6311 | 22066.00 | T7213 | 26017.00 |
| T6322 | 67100.00 | B7213 | 24967.00 |
| B6322 | 61100.00 | T7225 | 75000.00 |
| T6335 | 136800.0 | B7225 | 73200.00 |
| B6335 | 122400.0 | T7231 | 85161.00 |
| T6344 | 142800.0 | B7231 | 84111.00 |
| B6344 | 136800.0 | T7315 | 57000.00 |
| T6413 | 44917.00 | B7315 | 51600.00 |
| B6413 | 40717.00 | T7324 | 59250.00 |
| T6421 | 49117.00 | B7324 | 57000.00 |
| B6421 | 47517.00 | T7331 | 90041.00 |
| T6432 | 136600.0 | B7331 | 87791.00 |
| B6432 | 132400.0 | T7414 | 2500.000 |
| T6511 | 13336.00 | B7414 | 1750.000 |

|       |          |       |          |
|-------|----------|-------|----------|
| T7422 | 38600.00 | B8331 | 99200.00 |
| B7422 | 37550.00 | T8414 | 19000.00 |
| T7431 | 75263.00 | B8414 | 15000.00 |
| B7431 | 74763.00 | T8421 | 45717.00 |
| T7515 | 22800.00 | B8421 | 44779.00 |
| B7515 | 20400.00 | T8432 | 122200.0 |
| T7523 | 85300.00 | B8432 | 119400.0 |
| B7523 | 83900.00 | T8514 | 4500.000 |
| T7531 | 107914.0 | B8514 | 3500.000 |
| B7531 | 104966.0 | T8521 | 38561.00 |
| T7611 | 27079.00 | B8521 | 38092.00 |
| B7611 | 24466.00 | T8532 | 87800.00 |
| T7624 | 63750.00 | B8532 | 86200.00 |
| B7624 | 62750.00 | T8615 | 18000.00 |
| T7632 | 104300.0 | B8615 | 15600.00 |
| B7632 | 101700.0 | T8621 | 43579.00 |
| T7645 | 144600.0 | B8621 | 43177.00 |
| B7645 | 142200.0 | T8632 | 112600.0 |
| T7715 | 20400.00 | B8632 | 110600.0 |
| B7715 | 18000.00 | T8643 | 124500.0 |
| T7723 | 83900.00 | B8643 | 123100.0 |
| B7723 | 82500.00 | T8712 | 2050.000 |
| T7731 | 104966.0 | B8712 | 1450.000 |
| B7731 | 102420.0 | T8723 | 65057.00 |
| T7811 | 476.0000 | B8723 | 64357.00 |
| B7811 | 136.0000 | T8731 | 65295.00 |
| T7824 | 25500.00 | B8731 | 65057.00 |
| B7824 | 25000.00 | T8813 | 21817.00 |
| T7832 | 74450.00 | B8813 | 21117.00 |
| B7832 | 73750.00 | T8822 | 36500.00 |
| T7914 | 9000.000 | B8822 | 35900.00 |
| B7914 | 7000.000 | T8831 | 67369.00 |
| T7922 | 44300.00 | B8831 | 67131.00 |
| B7922 | 42300.00 | T8912 | 25750.00 |
| T7931 | 87791.00 | B8912 | 23550.00 |
| B7931 | 86987.00 | T8921 | 57897.00 |
| T8012 | 11150.00 | B8921 | 57160.00 |
| B8012 | 9950.000 | T8934 | 77250.00 |
| T8023 | 90200.00 | B8934 | 75250.00 |
| B8023 | 88800.00 | T9012 | 13350.00 |
| T8031 | 111408.0 | B9012 | 12350.00 |
| B8031 | 110202.0 | T9024 | 35500.00 |
| T8113 | 20417.00 | B9024 | 33500.00 |
| B8113 | 19717.00 | T9031 | 76725.00 |
| T8121 | 37520.00 | B9031 | 76055.00 |
| B8121 | 36976.00 | T9111 | 30295.00 |
| T8135 | 110400.0 | B9111 | 27079.00 |
| B8135 | 109200.0 | T9122 | 70300.00 |
| T8213 | 23217.00 | B9122 | 67100.00 |
| B8213 | 22517.00 | T9134 | 75250.00 |
| T8222 | 39400.00 | B9134 | 71250.00 |
| B8222 | 38600.00 | T9212 | 15150.00 |
| T8231 | 76055.00 | B9212 | 13350.00 |
| B8231 | 75613.00 | T9221 | 52860.00 |
| T8312 | 5650.000 | B9221 | 50917.00 |
| B8312 | 4850.000 | T9233 | 116100.0 |
| T8323 | 81100.00 | B9233 | 114700.0 |
| B8323 | 80400.00 | T9311 | 22066.00 |
| T8331 | 99744.00 | B9311 | 20458.00 |

|        |          |        |          |
|--------|----------|--------|----------|
| T9323  | 99650.00 | B10223 | 81100.00 |
| B9323  | 96850.00 | T10232 | 115200.0 |
| T9335  | 141600.0 | B10232 | 112600.0 |
| B9335  | 136800.0 | T10312 | 6450.000 |
| T9342  | 143600.0 | B10312 | 5650.000 |
| B9342  | 141600.0 | T10324 | 29000.00 |
| T9413  | 40717.00 | B10324 | 28500.00 |
| B9413  | 37917.00 | T10331 | 65057.00 |
| T9422  | 55700.00 | B10331 | 64853.00 |
| B9422  | 53300.00 | T10411 | 2680.000 |
| T9431  | 109402.0 | B10411 | 2211.000 |
| B9431  | 108464.0 | T10424 | 27500.00 |
| T9514  | 3500.000 | B10424 | 26500.00 |
| B9514  | 2500.000 | T10432 | 76050.00 |
| T9521  | 37922.00 | B10432 | 74450.00 |
| B9521  | 37520.00 | T10514 | 15000.00 |
| T9532  | 82200.00 | B10514 | 12000.00 |
| B9532  | 80800.00 | T10521 | 44779.00 |
| T9611  | 3216.000 | B10521 | 43579.00 |
| B9611  | 2680.000 | T10535 | 119400.0 |
| T9624  | 28500.00 | B10535 | 112200.0 |
| B9624  | 27500.00 | T10613 | 33717.00 |
| T9632  | 78450.00 | B10613 | 31617.00 |
| B9632  | 77250.00 | T10622 | 50600.00 |
| T9712  | 27750.00 | B10622 | 49100.00 |
| B9712  | 25750.00 | T10631 | 102420.0 |
| T9724  | 62750.00 | B10631 | 101620.0 |
| B9724  | 60750.00 | T10711 | 7731.000 |
| T9731  | 92626.00 | B10711 | 6731.000 |
| B9731  | 91822.00 | T10725 | 79800.00 |
| T9815  | 51600.00 | B10725 | 76200.00 |
| B9815  | 46800.00 | T10732 | 93000.00 |
| T9824  | 53600.00 | B10732 | 90600.00 |
| B9824  | 51600.00 | T10812 | 3850.000 |
| T9831  | 86237.00 | B10812 | 3250.000 |
| B9831  | 85433.00 | T10821 | 39411.00 |
| T9912  | 12350.00 | B10821 | 38561.00 |
| B9912  | 11150.00 | T10833 | 104900.0 |
| T9923  | 91600.00 | B10833 | 104200.0 |
| B9923  | 90200.00 | T10915 | 4800.000 |
| T9931  | 111877.0 | B10915 | 3600.000 |
| B9931  | 111408.0 | T10923 | 67247.00 |
| T10011 | 2211.000 | B10923 | 66547.00 |
| B10011 | 1742.000 | T10931 | 67947.00 |
| T10025 | 69600.00 | B10931 | 67607.00 |
| B10025 | 67200.00 | T11014 | 5500.000 |
| T10032 | 86200.00 | B11014 | 4500.000 |
| B10032 | 84600.00 | T11022 | 41400.00 |
| T10111 | 8736.000 | B11022 | 40000.00 |
| B10111 | 7731.000 | T11031 | 82557.00 |
| T10123 | 87750.00 | B11031 | 82021.00 |
| B10123 | 86350.00 | T11045 | 147000.0 |
| T10132 | 124200.0 | B11045 | 144600.0 |
| B10132 | 122200.0 | T11115 | 4800.000 |
| T10145 | 149400.0 | B11115 | 3600.000 |
| B10145 | 147000.0 | T11123 | 67947.00 |
| T10211 | 6731.000 | B11123 | 67247.00 |
| B10211 | 5860.000 | T11131 | 69579.00 |
| T10223 | 82500.00 | B11131 | 67947.00 |

|        |          |
|--------|----------|
| T11213 | 31617.00 |
| B11213 | 30217.00 |
| T11222 | 49100.00 |
| B11222 | 47900.00 |
| T11231 | 101620.0 |
| B11231 | 100414.0 |
| T11312 | 4350.000 |
| B11312 | 3850.000 |
| T11321 | 40125.00 |
| B11321 | 39411.00 |

|        |          |
|--------|----------|
| T11333 | 105600.0 |
| B11333 | 104900.0 |
| T11411 | 18894.00 |
| B11411 | 17394.00 |
| T11425 | 108600.0 |
| B11425 | 105000.0 |
| T11432 | 119400.0 |
| B11432 | 117300.0 |
| T11444 | 144300.0 |
| B11444 | 142800.0 |

## ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Kayseri’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kayseri’de tamamladıktan sonra, 1998 yılında Erciyes Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimine başladı. 2003 yılında lisans öğrenimini tamamladı. 2003’de Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı.

**Sevgi TEKİN**

### **İletişim Bilgileri**

**Adres :** Esenyurt Mh.

Sakarya Cd. No:34 38050

Melikgazi / KAYSERİ

**E-posta :** sevgigadam@hotmail.com