

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PARALEL TEZGAHLARDA ARIZA HALİNDE ÇOK  
AMAÇLI ÇİZELGELEME**

Endüstri Mühendisi M. Burak BORAY

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Tufan DEMİREL**

**İSTANBUL, 2007**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                          | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| SİMGE LİSTESİ .....                                                                      | v     |
| KISALTMA LİSTESİ .....                                                                   | vi    |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                                      | vii   |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                                                    | viii  |
| ÖNSÖZ .....                                                                              | ix    |
| ÖZET .....                                                                               | x     |
| ABSTRACT .....                                                                           | xi    |
| 1. GİRİŞ .....                                                                           | 1     |
| 2. ÜRETİM ÇİZELGELEME VE KONTROLÜ .....                                                  | 3     |
| 2.1. Dairesel Çizelgeleme .....                                                          | 6     |
| 2.2. Döner Çizelgeleme .....                                                             | 8     |
| 2.3. Ana Üretim Çizelgelemesi .....                                                      | 9     |
| 2.4. Çizelgeleme ve Proje Kontrol Teknikleri .....                                       | 11    |
| 2.5. Üretim Planlama , Çizelgeleme ve Kontrol Sistemlerinin Entegrasyonu .....           | 17    |
| 2.5.1. Üretim Planlama ve Kontrol .....                                                  | 17    |
| 2.5.2. Üretim ve Stok Sistemlerinin Entegrasyonu .....                                   | 18    |
| 3. ÇİZELGELEME ALGORİTMALARI .....                                                       | 20    |
| 3.1. Statik Sıralama .....                                                               | 20    |
| 3.1.1. Bir Makine ve N İş Problemi .....                                                 | 20    |
| 3.1.2. İki Makine ve N İş Problemi .....                                                 | 24    |
| 3.1.3. Üç Makine ve N İş Problemi .....                                                  | 25    |
| 3.1.4. M Makine İki İş Problemi .....                                                    | 27    |
| 3.1.5. M Makine N İşli Problem .....                                                     | 27    |
| 3.2. Dinamik Sıralama .....                                                              | 27    |
| 3.3. Sınırlı Kapasite ile Çizelgeleme .....                                              | 36    |
| 3.3.1. Simülasyon Yaklaşımı .....                                                        | 37    |
| 3.4. Diğer Üretim Planlama ve Çizelgeleme Yaklaşımları .....                             | 40    |
| 3.4.1. Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP I) ve Üretim Kaynakları Planlaması (MRP II) ..... | 40    |
| 3.4.2. Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) .....                                            | 41    |
| 3.4.3. Tam Zamanında Üretim Sistemleri (JIT) .....                                       | 42    |
| 3.4.4. Optimum Üretim Teknolojileri .....                                                | 43    |
| 3.4.5. Periyodik Parti Kontrolü .....                                                    | 45    |
| 3.4.6. Uygun Sistemin Seçimi .....                                                       | 48    |
| 3.5. Çizelgeleme Yazılımları ve Sınıflandırılması .....                                  | 49    |
| 3.6. Network Tabanlı Modeller .....                                                      | 50    |
| 3.7. Simülasyon Tabanlı Modeller .....                                                   | 51    |
| 3.8. Matematiksel Modelleme .....                                                        | 52    |

|        |                                                                                                       |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.     | ARIZA MODELİ İÇERMİYEN SEZGİSEL ALGORİTMALAR.....                                                     | 53  |
| 4.1.   | İş bölümlere ve sıralı setup zamanı içeren paralel tezgahlar için verimli bir sezgisel yaklaşım ..... | 53  |
| 4.1.1. | Giriş .....                                                                                           | 54  |
| 4.1.2. | Problemin Tanımı .....                                                                                | 54  |
| 4.1.3. | Sezgisel Model .....                                                                                  | 55  |
| 4.1.4. | Görsel örnek .....                                                                                    | 57  |
| 4.2.   | Tezgah maliyetini ve iş gecikmesini minimize etmek için iş çizelgeleme ve paralel tezgah seçimi ..... | 59  |
| 4.2.2. | Problemin parametreleri .....                                                                         | 60  |
| 4.2.3. | Karar değişkenleri .....                                                                              | 61  |
| 4.2.4. | Paralel tezgah seçimi ve çizelgeleme problemi (PMSSM) .....                                           | 61  |
| 4.2.5. | Görsel Örnek .....                                                                                    | 62  |
| 4.2.6. | Yerel arama sezgisel algoritması.....                                                                 | 63  |
| 5.     | ARIZA MODELİ İÇEREN SEZGİSEL ALGORİTMALAR.....                                                        | 68  |
| 5.1.   | Bakım –onarım aktivitesi içeren tek makine iş çizelgelemesi.....                                      | 68  |
| 5.1.1. | Problemin tanımı .....                                                                                | 68  |
| 5.1.2. | Sonuç .....                                                                                           | 70  |
| 5.2.   | N makine içeren beklenmeyen arızaların olduğu durum çizelgelemesi.....                                | 70  |
| 5.2.1. | Problemin tanımı .....                                                                                | 71  |
| 5.2.2. | Optimal çizelge.....                                                                                  | 72  |
| 6.     | PARALEL N TEZGAHTA ARIZA HALİNDE ÇOK AMAÇLI ÇİZELGELEME MODELİ (UYGULAMA).....                        | 76  |
| 6.1.   | Problemin Tanımı .....                                                                                | 76  |
| 6.2.   | Kullanılan notasyon.....                                                                              | 77  |
| 6.3.   | Çizelgeleme algoritması .....                                                                         | 77  |
| 6.3.1. | İşlerin tezgahlara atanması .....                                                                     | 77  |
| 6.3.2. | Setup sayısının optimize edilmesi .....                                                               | 80  |
| 6.3.3. | Arıza zamanlarının ve tamir sürelerinin hesaplanması .....                                            | 81  |
| 6.4.   | Örnek uygulama .....                                                                                  | 84  |
| 6.4.1. | Atama .....                                                                                           | 86  |
| 6.4.2. | Optimizasyon.....                                                                                     | 88  |
| 6.4.3. | Arıza zamanları ve tamir süreleri .....                                                               | 90  |
| 6.4.4. | İyileştirme sonucu .....                                                                              | 92  |
| 6.5.   | Performans Değerlendirmesi .....                                                                      | 93  |
| 7.     | SONUÇ.....                                                                                            | 96  |
|        | KAYNAKLAR.....                                                                                        | 98  |
|        | EKLER .....                                                                                           | 99  |
|        | Ek 1 420/1 Tezgahı (Atama tablosu).....                                                               | 99  |
|        | Ek 2 420/1 Tezgahı (Optimizasyon tablosu) .....                                                       | 101 |
|        | Ek 3 420/1 Tezgahı (Arıza tablosu).....                                                               | 103 |
|        | Ek 4 420/2 Tezgahı (Atama tablosu).....                                                               | 105 |
|        | Ek 5 420/2 Tezgahı (Optimizasyon tablosu) .....                                                       | 107 |
|        | Ek 6 420/2 Tezgahı (Arıza tablosu).....                                                               | 109 |
|        | Ek 7 420/3 Tezgahı (Atama tablosu).....                                                               | 111 |

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| Ek 8 420/3 Tezgahı (Optimizasyon tablosu) .....  | 113 |
| Ek 9 420/3 Tezgahı (Arıza tablosu).....          | 115 |
| Ek 10 300/1 Tezgahı (Atama tablosu).....         | 118 |
| Ek 11 300/1 Tezgahı (Optimizasyon tablosu) ..... | 120 |
| Ek 12 300/1 Tezgahı (Arıza tablosu).....         | 122 |
| Ek 13 500/1 Tezgahı (Atama tablosu).....         | 125 |
| Ek 14 500/1 Tezgahı (Optimizasyon tablosu) ..... | 126 |
| Ek 15 500/1 Tezgahı (Arıza tablosu).....         | 127 |
| Ek 16 500/2 Tezgahı (Atama tablosu).....         | 129 |
| Ek 17 500/2 Tezgahı (Optimizasyon tablosu) ..... | 130 |
| Ek 18 500/2 Tezgahı (Arıza tablosu).....         | 131 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                    | 133 |

## SİMGE LİSTESİ

|         |                                                                           |
|---------|---------------------------------------------------------------------------|
| $m_j$   | Tezgah sayısı                                                             |
| $bi,j$  | $ni,j$ işinin işlenmeye başlama zamanı                                    |
| $ci,j$  | $ni,j$ işinin tamamlanma zamanı                                           |
| $Di,j$  | $ni,j$ işinin sipariş miktarı                                             |
| $di,j$  | $ni,j$ işinin teslim zamanı                                               |
| $fb,kj$ | $fk,j$ arızasının başlama zamanı                                          |
| $fk,j$  | $m_j$ tezgahında oluşan $k$ arızası                                       |
| $fr,kj$ | $fk,j$ arızasının tamir süresi                                            |
| $fu,kj$ | $fk,j$ arızasının tamir edildikten sonra tekrar çalışmaya başladığı zaman |
| $ni,j$  | $m_j$ tezgahında işlenecek $i$ işi                                        |
| $pi,j$  | $ni,j$ işinin proses süresi                                               |
| $si,j$  | $ni,j$ işi için gerekli setup süresi                                      |
| $T_j$   | $m_j$ tezgahı için toplam akış zamanı                                     |
| $trij$  | $ni,j$ işinin teslim zamanını aştığı süre (gecikme süresi)                |

## KISALTMA LİSTESİ

|         |                                           |
|---------|-------------------------------------------|
| APS     | Advanced Planning and Scheduling          |
| CIM     | Computer Integrated Manufacturing         |
| CPM     | Critical Path Method                      |
| EDD     | Earliest Due Date                         |
| ERP     | Enterprise Resource Planning              |
| FIFO    | First In First Out                        |
| FMS     | Flexible Manufacturing System             |
| IJAP    | Initial Job Assignment Problem            |
| İPBİ    | Bitmesi İlk Planlanan İş Önce             |
| İPSİ    | İlk Planlanan İş Önce                     |
| JIT     | Just In Time                              |
| MBO     | Minimum bolluklu iş en önce               |
| MIN     | Müşteri siparişleri                       |
| MİP     | Malzeme İhtiyaç Planlaması                |
| MPC     | Manufacturing Planning and Control        |
| MPS     | Master Production Schedule                |
| MRP     | Material Resource Plannnig                |
| MST     | Minimum bolluk zamanı                     |
| NP-Hard | Nondeterministic Polynomial-time hard     |
| OPT     | Optimum Production Technology             |
| PAB     | Projected Available Balance               |
| PAC     | Production Activity Control               |
| PERT    | Program Evaluation Review Technique       |
| PMSSM   | Parallel Machine Selection and Scheduling |
| PPK     | Periyodik Parti Kontrolü                  |
| SKÇ     | Sonlu Kapasite Çizelgeleme                |
| SOT     | Shortest Operating Time                   |
| SPT     | Shortest Proccessing Time                 |
| SPT     | Ortalama gecikme                          |
| TSP     | Travelling Salesman Problem               |
| TVC     | Total Variable Cost                       |
| ÜPK     | Üretim Planlama ve Kontrol                |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                   | Sayfa |
|---------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1 Üretim Planlama Sistemi.....            | 5     |
| Şekil 3.1 Ortalama iş sayısı .....                | 23    |
| Şekil 3.2 Ortalama akış süresi minimizasyonu..... | 23    |
| Şekil 3.3 Atama tablosu 1 .....                   | 38    |
| Şekil 3.4 Atama tablosu 2.....                    | 38    |
| Şekil 3.5 Atama tablosu 3.....                    | 38    |
| Şekil 3.6 Atama tablosu 4.....                    | 39    |
| Şekil 3.7 Atama tablosu 5.....                    | 39    |
| Şekil 3.8 Atama tablosu 6.....                    | 39    |
| Şekil 3.9 Atama tablosu 7 .....                   | 39    |
| Şekil 4.1 Çözüm sunumu ve komşu oluşumu.....      | 65    |
| Şekil 5.1 Problemin şematik gösterimi .....       | 70    |
| Şekil 5.2 $\varepsilon$ seçimi .....              | 72    |
| Şekil 5.3 (a) durumuna ait bir örnek .....        | 73    |
| Şekil 5.4 (b) durumuna ait bir örnek .....        | 74    |
| Şekil 6.1 İşlem süreleri grafiği .....            | 94    |
| Şekil 6.2 İterasyon sayıları grafiği .....        | 94    |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                         | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1 Dairesel çizelge .....                                                      | 7     |
| Çizelge 2.2 Gantt Şeması.....                                                           | 12    |
| Çizelge 2.3 Çizelgeleme faaliyet planı .....                                            | 13    |
| Çizelge 2.4 Faaliyet planı hesap çizelgesi .....                                        | 14    |
| Çizelge 2.5 Kritik yol hesap çizelgesi .....                                            | 15    |
| Çizelge 2.6 Beklenen süre çizelgesi .....                                               | 16    |
| Çizelge 3.1 İki makine ve N iş problemi .....                                           | 25    |
| Çizelge 3.2 Johnson yöntemi (adım 1) .....                                              | 26    |
| Çizelge 3.3 Johnson yöntemi (adım 2) .....                                              | 26    |
| Çizelge 3.4 Simülasyon sonuçları – 1 .....                                              | 31    |
| Çizelge 3.5 Simülasyon sonuçları – 2 .....                                              | 31    |
| Çizelge 3.6 Temel Problemlerde Kullanılan Optimal Yöntemler – 1 .....                   | 34    |
| Çizelge 3.7 Temel Problemlerde Kullanılan Optimal Yöntemler – 2 .....                   | 35    |
| Çizelge 3.8 Temel Problemler İçin Bulgusal Yöntemler .....                              | 35    |
| Çizelge 3.9 Operasyon planı .....                                                       | 37    |
| Çizelge 4.1 Proses zamanları .....                                                      | 57    |
| Çizelge 4.2 Setup zamanı matrisi ( $S_{i,j}$ ) .....                                    | 57    |
| Çizelge 4.3 Başlangıç çözüm .....                                                       | 58    |
| Çizelge 4.4 Bir adım sonraki çözüm .....                                                | 58    |
| Çizelge 4.5 Hesaplanmış sonuçlar .....                                                  | 59    |
| Çizelge 4.6 Teslim zamanları $d_i$ (örnek 1-3) .....                                    | 62    |
| Çizelge 4.7 Proses zamanları $p_{ik}$ .....                                             | 62    |
| Çizelge 4.8 Makine elde tutma maliyeyi $\beta_k$ .....                                  | 63    |
| Çizelge 4.9 Ceza ağırlıkları $w_i$ (örnek 1-3) .....                                    | 63    |
| Çizelge 4.10 Optimal sonuçlar (örnek 1-3) .....                                         | 63    |
| Çizelge 6.1 Yığın iş listesi .....                                                      | 78    |
| Çizelge 6.2 Kesikli olasılık dağılımı .....                                             | 83    |
| Çizelge 6.3 Yatay üretim çizelgesi.....                                                 | 85    |
| Çizelge 6.4 Yığın iş listesi .....                                                      | 85    |
| Çizelge 6.5 Tezgah ve çevrim süresi matrisi.....                                        | 86    |
| Çizelge 6.6 420/1 tezgahı başlangıç çizelgesi.....                                      | 87    |
| Çizelge 6.7 420/1 tezgahı optimizasyon tablosu.....                                     | 89    |
| Çizelge 6.8 420/1 tezgahı arıza tablosu.....                                            | 90    |
| Çizelge 6.9 İyileştirme tablosu.....                                                    | 92    |
| Çizelge 6.10 Algoritma iterasyon sayıları ve işlem süreleri .....                       | 93    |
| Çizelge 6.11 İş sayısı ile iterasyon sayısı ve işlem süresi arasındaki korelasyon ..... | 93    |



## ÖNSÖZ

Günümüzde rekabetin giderek artmakta olduğu bir ortamda, bir işin proses süresinden çok hazırlık safhalarında kaybedilen süreler daha önemli bir hal almıştır. Verimli bir planlama ve çizelgeleme ile bu hazırlık sürelerinin minimize edilmesi mümkün olmaktadır. Gerçek hayattaki uygulamalarda sürece etki eden faktörler çok fazla olduğu için deterministik yöntemler sadece yaklaşık sonuçlar vermekte hatta çoğu zaman gerçekten uzak sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu nedenle özellikle son yıllarda sezgisel algoritmalar üzerinde yapılan çalışmalar artmıştır. Bu çalışmada, arıza durumlarında  $n$  paralel tezgah için çok amaçlı sezgisel bir çizelgeleme algoritması geliştirilmiştir.

Tez çalışmam boyunca değerli destek ve görüşlerini esirgemeyen başta danışmanım Yrd.Doç.Dr. Tufan DEMİREL olmak üzere, Yrd.Doç.Dr. Nihan ÇETİN DEMİREL'e, Arçelik A.Ş. Çamaşır Makinesi İşletmesi çalışma arkadaşlarıma, değerli arkadaşım Yasemin Pınar ALTUN ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## ÖZET

Planlama ve çizelgeleme kavramları açıklanarak, günümüzde kullanılan planlama ve çizelgeleme tekniklerine değinilmiştir. Temel deterministik çizelgeleme algoritmaları incelenmiştir. Sezgisel algoritmalar, arıza durumlarının modelde yer aldığı ve yer almadığı iki başlık altında irdelenmiştir. Ayrıca bu konuda yapılmış dört makale incelenmiştir.

$n$  adet paralel tezgahta arıza halinde çizelgeleme durumunu modelleyen bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Arıza modellemesi için istatistiksel verilerin bir dağılıma uydurulması ile arızalar arası süreler hesaplanmıştır. Tamir süreleri ise kesikli olasılık dağılımı kullanılarak belirlenmiştir.

Algoritma işlerin tezgahlara atanması, birbirinden bağımsız olarak her bir tezgahdaki işlerin setup sayıları minimize edilecek şekilde optimizasyonu ve arıza sürelerinin çizelgelere eklenmesi olarak üç bölümden oluşmaktadır. Algoritmanın kodları VBA (Visual Basic for Application) kullanılarak MS EXCEL ara yüzünde yazılmıştır.

Geliştirilen algoritma gerçek bir örnek üzerinde deneysel bir çalışma olarak uygulanmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen iyileştirmelerin optimizasyon öncesi durum ile karşılaştırılması yapılmıştır. Algoritmanın performansını belirlemek amacıyla sırasıyla 50, 100,150 ,200, 250, 300, 350 ve 400 iş için iterasyon sayıları ve süreleri belirlenmiş, grafiksel olarak gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çok amaçlı çizelgeleme,sezgisel algoritma, paralel tezgahlar, arıza, setup

## ABSTRACT

Planning and scheduling techniques have been discussed which are used nowadays by explaining planning and scheduling terms. Basic deterministic scheduling algorithms have been observed. Heuristic algorithms have been classified that include breakdown and not include breakdown. Also four articles have been researched in this subject.

A heuristic scheduling algorithm with  $n$  parallel machines under breakdown has been developed. Fitting of statistical data to distribution is used for calculating of intervals between breakdowns. Repair time is determined by using discrete probability distribution.

This algorithm consist of three phase like assigning of the jobs to the machines, for each machine independently, optimization of the jobs to minimize number of setup and adding of breakdown times to existing schedule. Codes of the algorithm have been written by using VBA (Visual Basic for Application) with MS EXCEL interface.

This developed algorithm has been applied to a real case as an experimental study. Improvements which have been observed from this study have been compared with previous case before optimization. In order to determine of the performance level of the algorithm, numbers of iterations and optimization times have been calculated for respectively 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 and 400 jobs. These data also visualized by graphically.

**Keywords:** Multi-purpose scheduling, heuristic algorithm, parallel machines, breakdown, setup

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda piyasalarda artan rekabet, teknolojinin gelişmesiyle azalan malzeme maliyetleri artık bir işin yapılma süresindeki fazladan bir saniyeyi bile son derece önemli bir etken haline getirmiştir. Bir işin daha kısa sürede yapılabilmesi için yapılan optimizasyon çalışmaları ve araştırmaların sayısı giderek artmaktadır. Burada karşımıza planlama ve çizelgeleme olarak iki temel kavram çıkmaktadır. Genellikle planlama ve çizelgeleme karıştırılır. Bu bölümde üretim sistemleri içerisinde planlama ve çizelgelemenin tanımları yapılarak , üretim planlama ve kontrol sistemleri ( manufacturing planning and control, MPC systems) içerisinde birbirleri ile olan ilişkilerine değinilmiştir. Bir işletmenin Ana Üretim Planı ( Master Production Schedule, MPS), mevcut stok seviyelerine ve talep tahminlerine dayalı olarak her bir nihai ürün için “ ne zaman” ve “ ne kadar” üretim yapılması gerektiğini belirler. MPS çıktısı, kullanılan planlama ufku (planning horizon) içerisinde yer alan zaman birimleri (genellikle hafta) üzerinden gereken üretim miktarlarını verir. Malzeme Gereksinim Planı (MRP), MPS tarafından beslenir. MRP sistemi ürün ağacı bilgilerini, stok bilgilerini ve standart üretim zamanı bilgilerini kullanarak, siparişlerin karşılanabilmesi için gerekli iş emirlerini ve satın alma emirlerini oluşturur. MRP çalıştırıldıktan sonra, planlama ufkundaki zaman birimleri üzerine dağılmış parça ve malzeme gereksinimleri oluşmuş olur. Çizelgeleme ise üretim planının karşılanabilmesi, siparişlerin söz verilen teslimat tarihlerine yetişebilmesi için, işlerin hangi kaynaklar tarafından hangi sırayla yapılması gerektiğinin belirlenmesidir. Bu kaynaklar, makineler, işçiler, malzemeler veya üretim sistemine kısıt oluşturan her şey olabilir. Çizelgeleme her kaynak için iş sırasını ve tahmini başlangıç ve bitiş tarihlerini belirler.

Bir başka deyişle; planlama yaptığınızda hangi üründen hangi tarihler içerisinde ne kadar üretmeniz gerektiğini elde edersiniz, yani ne yapacağınızı belirlemiş olursunuz. Bunu, mevcut sisteminizin iş yüküne, kaynaklarınızın kapasitesi ve stok durumunuza göre nasıl yapacağınız, hangi operasyonu hangi kaynağa atayacağınız, operasyonları hangi sırada gerçekleştireceğiniz ise çizelgelemeye girer.

MRP/ERP yazılımları da, yani "planlama" yazılımları da, çizelge tablosu (Gantt Şeması) oluştururlar. Bu yazılımların Gantt şeması oluştururken ıskaladığı nokta ise "kaynakların durumunu" göz önüne almamaktır. Bir başka deyişle, makinelerinizin ya da operatörlerinizin ne durumda olduğuna bakmadan, iş olması durumunda kaynağın uygun olduğu varsayımına dayanarak çizelgeleme yapar. Oysa kaynak kısıtının olmadığı, sonsuz kaynağa sahip hiçbir işletme yoktur. Çizelgeleme en basit anlamda bir sıralama problemi gibi gözükse de,

izelgeleme problemlerinin ardında sıralama probleminin çok otesinde sistem verimliliğini artırıcı amaç fonksiyonları vardır. Genel olarak, çizelgeleme yapılırken 3 temel amaç göz önünde bulundurulur. Bunlardan ilki, teslimat tarihleridir. Hedeflenen amaç izelge oluşturulduktan sonra sistemde hiç geç kalmış işin bulunmamasıdır. İkinci hedef ise, bir işin üretim sistemi içerisinde harcadığı süreyi en aza indirmektir. nc temel amaç ise, kaynak kullanımının en st düzeye çıkarılmasıdır. Bu üç temel amaç birbiriyle çelişebilir. rnek olarak, teslimat tarihlerini karşılayabilmek için kapasite artırımına gitmenin kaynak kullanım yüzdelelerini azaltacağı verilebilir. Bir sıralama probleminin otesinde üretim sisteminin ihtiyaı göz önüne alınarak belirlenen performans kriterlerine göre oluşturulan iyi bir çizelgeleme sistemi ile pek çok şirket, ara stok ve envanter seviyelerinde düşüşleri, verimlilikte ve teslimat performanslarında artışı başarmıştır. izelgeleme, retim planlama ve kontrol sisteminin, fabrikaya yansıyan ana yüzüdür. Bir sonlu kapasite izelgeme yazılımı ile fabrikada üretim o anki durumu hakkında bilgiye sahip old uğunuzdan ani siparişlere daha hızlı cevap verebilirsiniz. Potansiyel siparişler için test yüklemeleri yaparak, teslimatlar için daha gerçekçi tarihler belirleyebilirsiniz. Fazla mesai çalışmanın üretim kapasitesi üzerindeki etkisini gerçek uygulamaya geçmeden test edebilirsiniz. İyi bir çizelgeleme sistemi ile daha gerçekçi iş sıralamaları, parti büyüklüklerinde azalma ve daha kısa üretim zamanlarına ulaşmayı başarabilirsiniz.

Üretim planlama ve kontrol sisteminin (MPC), planlama kısmı ne kadar iyi çalışırsa çalışsın, üretim fabrikaya yansıyan bölümünde gerçekçi sıralamaları yakalayamıyor ve üretim sisteminin anlık durumu hakkında yeterli bilgi alamıyorsanız, verimliliği artırmaya giden yolda atmanız gereken adım iyi bir çizelgeleme sistemi edinmektir.

Üretim Planlama ve çizelgeleme arasındaki entegrasyondan sonra çizelgeleme teknikleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve sezgisel çizelgeleme tekniği kullanılarak yığın işlerin N tezgah için çizelgelemesi için geliştirilen algoritma detaylı olarak bir uygulama ile anlatılmıştır.

## 2. ÜRETİM ÇİZELGELEME VE KONTROLÜ

Üretim çizelgeleri üretim planlaması faaliyetleri içinde geleceğe yönelik kısa dönemli planlar olarak kabul edilir. Çizelgeleme sorunları üretim kaynaklarının birkaç ürün tarafından kullanılmasında ortaya çıkar. Endüstri işletmelerin de ise bu çok karşılaşılan bir durumdur.

Üretim kontrolü ise planlama yapılan zaman dilimi içinde çok önemlidir ve bu kontrol ile çizelge, planların geçerliliği araştırılır. Kontrol gerçekleşmediği zaman çizelgelemenin performansını belirlemek güçtür. Özellikle çizelgelemelerin uygulanışında sorunlarla karşılaşılabilir. Örneğin bazı müşteriler siparişlerini teslim süresinden önce talep edebilir, makineler arızalanmasından dolayı siparişler ertelenebilir. Bu gibi durumlarda çizelgeleme ve üretim kontrolünün amaçları aynı olmasına rağmen sonuçları değişik olabilir.

Etkin bir çizelgeleme ve kontrolün üstünlükleri çoktur. Kaynakların etkin kullanımı ile verimlilik yükselir. Müşteriler açısından etkin bir çizelgeleme ve kontrol müşteri siparişlerinin zamanında karşılanması demektir.

En basit çizelgeleme sistemi bile karmaşıktır. Uzun tedarik süreleri talebin doğru olarak tahminini güçleştirir ve yukarıda belirtilen durumlardan dolayı çizelgelerde belirsizlik yüksektir. Eğer tesisteki faaliyetler çizelgelemeye sıkı bir şekilde bağlı olarak yönlendirilirse, en ufak değişiklikler çizelgelemenin uygulanışını ve sırasını bozar. Yeni siparişler ise hem çizelgelemeyi hem de kontrolü zorlaştırır. Bu nedenlerden dolayı çizelgelemeye esneklik getirilmeli ve kontrol ile birlikte yürütülmelidir.

Operasyonların ayrıntılı günlük planlanmasına çizelgeleme denir. Aşağıdaki sorunlarla ilgilenir:

- ✓ Hangi İş Merkezi hangi işi yapacak ?
- ✓ Bir operasyon/iş ne zaman başlayacak ne zaman bitecek ?
- ✓ İş hangi ekipmanla, kim tarafından yapılacak ?
- ✓ Operasyonların/İşlerin sıralaması ne olacak ?

Üretim Çizelgeleme Üretim Planlamaya göre daha ayrıntılı ve kısa dönemlidir. Çizelgeleme, en yakın zamandaki üretim amaçlarına ulaşabilmek için o anki koşulları ( uygun makine, iş gücü, malzeme vs.) göz önüne alarak ayrıntılı bir yol ortaya koyar.

Bir işletmede ürünlerin üretilmesi veya işlemlerin yerine getirilmesi için zaman ve sıralama açısından yapılan plan yapılıdır. Bu plan üretim çizelgesidir.

Çizelgeleme problemlerinde üç ana amaç mevcuttur. Bu amaçlardan ilki teslim tarihi ile ilgilidir; müşterilerin siparişleri geciktirilmemeye çalışılır. İkinci amaç işlem sürelerinin minimize edilmesidir. Üçüncü amaç ise iş merkezlerinin kullanımı ile ilgilidir; makine, teçhizat ve personel açısından iş merkezini en etkin kullanımı amaçlanır.

Çizelgelemede başka önemli bir konu atölye yapısıdır. Akış Atölyesi tipinde sürekli ve hücrel üretim sistemi mevcuttur. Burada bütün işler aynı rota ve sabit bir sırlamaya göre gerçekleştirilir. Ancak İş atölyesinde siparişe göre üretim vardır ve her işin kendine göre bir rotası vardır. Hücrel üretim sistemleri akış sürelerinin işlem stoklarının, üretim hazırlık sürelerinin, malzeme taşıma maliyetlerinin azaltılması sağlamaktadır. Hücrenin şekli, yapısı (emek/sermaye yoğunluğu) çeşidi (makine, fabrikasyon, montaj, hibrid) çizelgelemeyi etkilemektedir.

Çizelgeler çok basit veya kompleks olabilir. Basit bir dolum ünitesinin çizelgelenmesi ne kadar kolaysa; bir otomobil montaj hattı için gerekli çizelge o ölçüde karmaşık ve zordur.

Çizelgelemenin başarılı olabilmesi için dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır:

*Kapasite:* Kapasitenin ne olduğu bilinmelidir. Uygulanması mümkün olmayan ya da oldukça pahalıya mal olabilecek çizelgelerin herhangi bir faydası yoktur. Ayrıca kapasite sabit bir kavram değildir ve üretilen ürün çeşitlerinin miktarına göre değişir. (elektrik motoru ile jeneratör üretimi kapasitesi eşit değildir.)

*Yeterlilik:* bir makine veya işçi diğerlerine göre daha kaliteli veya hızlı çalışabiliyor olabilir. Bu kavramın hangi kaynağın hangi işe atanacağına karar verirken kullanılması gerekir.

*İşin Gereksinimleri:* Hangi kalite ve maliyet standartları istendiği, işin ne zaman bitirilmesi gerektiği veya operasyonların sırası gibi gereksinimler bilinmelidir.

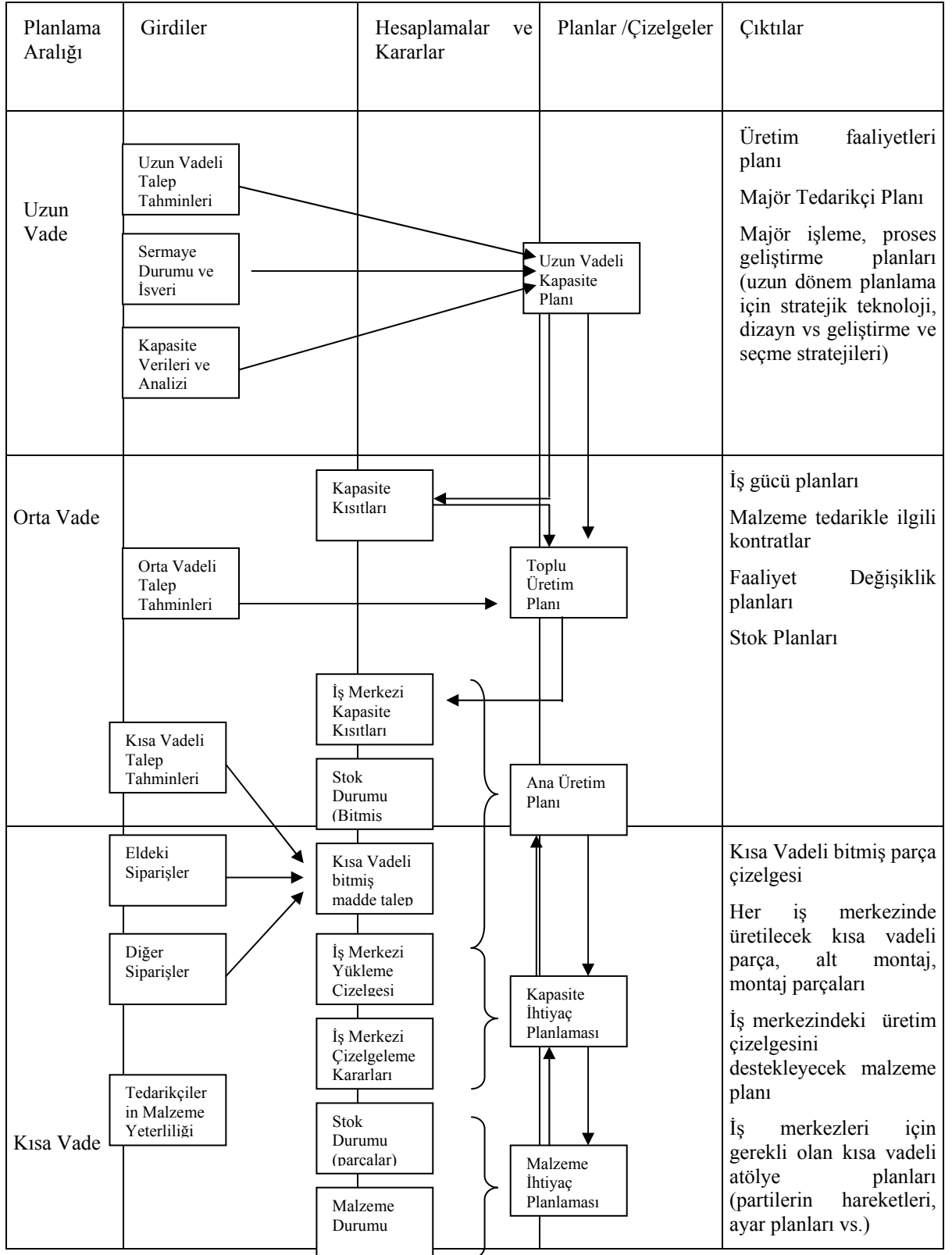
*Ölçüm Standartları:* Zaman, maliyet, kalite ve kapasite ile ilgili bilinen her şey için ve bunların tahsisi ile ilgili standartlar oluşturulmalıdır.

Özetle üretim çizelgeleme iş emirlerinde bulunan işlemlerin atölyelerin üretim olanaklarına en rasyonel şekilde yüklenmesidir. Çizelgelemenin temel amaçları şu şekilde ifade edilebilir:

1. Üretim olanaklarının en etkin şekilde kullanımı
2. Müşteri taleplerine olabildiğince çabuk cevap verilmesi
3. İşlerin, teslim tarihlerinde gecikmeye neden olunmadan tamamlanması

4. Yarı mamul envanterinin en küçüklenmesi

5. Fazla mesai çalışmalarının en küçüklenmesi



Şekil 2.1 Üretim Planlama Sistemi



## 2.1. Dairesel Çizelgeleme

Bir üretim çizelgesi her parçanın üretim sürecine giriş sürelerinin ve işlemlerinin başlangıç zamanlarının listesidir. Üretim sırası ise her parçanın üretimi için sırayı gösterir. Tekrarlı üretimlerde ise ürünler gruplandırılabilir. Optimal bir işlem sıralamasını elde etmek her zaman mümkün olmaz. Ancak optimal bir sıralama gerçekleştirilirse, üretim süreci için hazırlık sürelerinde azalma görülür ve bu maliyetleri de azaltır. Bazı ürünlerin üretimi değişik talepler ve stok maliyetleri nedeniyle daha fazla olabilir. Bu tür özel siparişlerin haricindeki ürünler gruplandırılarak çizelgeleme gerçekleştirilir. Ayrıca ana ürün grupları arası bütünleştirme sağlanarak üretim miktarları arasındaki denge daha kolay sağlanır.

Ana ürün grupları oluşturulduktan sonra, üretim aralıkları aşağıdaki formüller ile hesaplanabilir:<sup>1</sup>

$$TVC=(\text{Ana grup stok maliyeti } (T/2))+(\text{Ana grup hazırlık maliyeti})(T) \quad (2.1)$$

Burada T üretim uzunluğu ifade etmektedir. Yukarıdaki formül ile bulunan toplam değişken maliyetlerdeki ana grup hazırlık maliyeti ve ana grup stok maliyeti ise şu şekilde bulunabilir:

Ana grup hazırlık maliyeti=Ürün grubu içinde ağırlığı fazla olan ürün için hazırlık maliyeti+diğer ürünlerin hazırlık maliyetlerinin toplamı

$$\text{Ana grup stok maliyeti}=\sum_{i=0}^{i=j}(D_i C_i)(1-D_i/P_i) \quad (2.2)$$

$D_i$  i ürünü için talep oranı,  $C_i$  birim stok maliyeti ve  $P_i$  ise i'nin üretim oranıdır.

Toplam değişken maliyet denkleminde ise aşağıdaki optimal ana grup üretim uzunluğu formülü elde edilir:

$$T^*=\sqrt{[2(\text{ana grup hazırlık maliyeti})/(\text{ana grup stok maliyeti})]} \quad (2.3)$$

Bir işletme 3 ana grup ürün üretmektedir. Bu grupların çarpanı sırasıyla 2, 1, 1 dir. Grup çarpanı (mk) bir üretim dönemi içinde bu ürünlerin üretilme sayısıdır. Birinci grubun hazırlık maliyeti 1.850 TL., stok maliyeti 1.616 TL, ikinci grubun hazırlık maliyeti 1.850 TL., stok maliyeti 260 TL, ve üçüncü grubun ise hazırlık maliyeti 650 TL., stok maliyeti 160 TL.'dir. Bu durumda optimal dönem uzunluğu aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

---

<sup>1</sup> M.L.Maxell, H.Singh, "The Effect of Restricting Cycle Time in the Economic Lot Scheduling Problem", IEE Transactions, Vol:15, No.3, 1983, s.10.

Toplam hazırlık maliyeti:

$$= \sum_{i=1}^3 1.850(2) + 1.850(1) + 650(1) = 6.200TL. \quad (2.4)$$

Toplam Stok maliyeti

$$= \sum_{i=1}^3 1.616(2) + 260(1) + 160(1) = 3.652TL. \quad (2.5)$$

Optimal Dönem Uzunluğu

$$= \sqrt{[2(6.200)/3.652]} = 3.4hafta \quad (2.6)$$

Yukarıdaki örnekte yaklaşık 3 haftalık çizelgelemenin toplam değişken maliyeti ise;

$$TVC=3.652(3/2)+6.200 \times 3=24.078 \text{ TL olarak bulunur.} \quad (2.7)$$

Ana ürün grup sayısı fazla ise aşağıdaki yol izlenebilir.<sup>2</sup>

Her ana grup için  $T^*$  hesaplanır ve en küçük  $T^*$  değerine  $T_{\min}$  denilir.

Her ana grup için üretim sıklığı  $n=T^*/T_{\min}$  formülü ile hesaplanır.

Her  $n$  değeri 2'nin gücü kuralına göre yuvarlaklaştırılır.

Çizelge 2.1 Dairesel çizelge

|       |       |   |        |        |    |
|-------|-------|---|--------|--------|----|
| 0,707 | 1,414 | 1 | 5,657  | 11,314 | 8  |
| 1,414 | 2,828 | 2 | 11,314 | 22,627 | 16 |
| 2,828 | 5,657 | 4 | 22,627 | 45,255 | 32 |

En büyük  $n$  değeri bulunur ve buna  $N_{\max}$  denilir.

Her grup için  $m=N_{\max}/n$  hesaplanır.

Optimal dönem uzunluğu bu çarpanlara göre hesaplanır ve bu şekilde dönem uzunluğu  $N_{\max}/T_{\min}^*$  eşitliğine yakın çıkar.

---

<sup>2</sup> P.H.Zipkin, "Computing Optimal Lot Sizes in the Economic Lot Scheduling Problem", Operations Research, Vol, 35, No.1, January-February 1991, s.100.

Optimal dönem uzunluğu hesaplandıktan sonra çeşitli çizelgeleme alternatifleri geliştirilir ve optimal uzunluğa en yakın olanı seçilir. Ancak seçilen çizelgelerin haftalık olduğu düşünülürse, daha önce belirtilen belirsizlikler sonucu çizelgeleme süresi uzadıkça bu çizelgeyi uygulama zorlaşacaktır.

Haftalık çizelgelerde Pazartesi günü çizelgeye göre üretim gerçekleşirken, Salı günü çizelgeyi değiştirmeyi gerektiren bir durum meydana gelebilir. Bu durumda izlenecek en uygun yol ise optimal dönem uzunluğunu göz önünde bulundurarak çizelgelerde gerektiğinde değişiklikler yapmaktır. Aksi taktirde dairesel çizelgelemede stok miktarının artması, uzun üretim süreleri, uzun hazırlık süreleri gibi sorunlarla karşılaşılır.

## 2.2. Döner Çizelgeleme

Döner çizelgeleme, periyodik olarak yeni işlerin çizelgeye katıldığı ve aynı zamanda tamamlanan işleri kapsayan bir çizelgedir. İş atölyesi ortamında siparişler aralıktır ve üretim işlemleri kesikli olarak sürdürülür. Bu nedenle de çizelgeler zaman içinde değişikliğe uğrar. Bu tür çizelgeleme için her ürün siparişi bir iş kabul edilir ve her iş için işlem sıralarının, işlem sürelerinin, siparişlerin müşteriye teslim tarihlerinin bilinmesi gerekir.

Bu tür çizelgelemede; bir ürünün üretimiyle ilgili işin tesis içinde harekete geçirilmesi kararı son dakikada verilebilir. Birkaç iş birden sırada bekliyorsa, hareket kuralı hangi işin önce yapılacağına bağlı olarak belirlenir. Hareket kurallarının kontrolü aynı zamanda atölyenin performansını da belirler.

Böyle bir ortamda bilgi sistemleri de önemli rol oynar. Siparişe yönelik işlerin karakteristikleri ve çokluğu, atölyenin içindeki akışı etkiler. Siparişlerle ilgili bilgilerin doğru ve zamanında çizelgelemeyi yapan kişilere ulaştırılması ve rotalama kararları çizelgelemeyi, atölyenin performansının direkt olarak etkiler. Döner çizelgeleme veya iş çizelgelemesi için kullanılan hareket kuralları vardır ve bunlardan bazıları şunlardır:<sup>3</sup>

- ✓ PCFS-İlk giren ilk çıkar
- ✓ EDD-En erken sipariş teslim tarihi
- ✓ SOT-En kısa işlem süresi
- ✓ DS/RO-Bitirilmemiş işlemler için dinamik boş süre

---

<sup>3</sup> J.H.Blackstone, D.T.Phillips. G.L.Hogg. "A State of the Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations", International Journal of Production Research, Vol.20, No.1, 1992, s.22.

- ✓ Kritik oran-Siparişin teslim tarihine göre kalan süre/atölye için belirlenen kalan süre
- ✓ Covert-Beklenen gecikme maliyeti/işlem süresi

Hareket kurallarının ne zaman ve nasıl uygulanacağı atölye yönetimi ile ilgilidir. Önceden de belirtildiği gibi iletişim ve bilgi sistemleri işletme içinde etkin ise, çizelgeleme için yerinde ve doğru hareket kuralları belirlenecektir. Aksi taktirde yanlış verilen kararlar doğrultusunda atölyeler de aşırı yüklenme veya siparişleri zamanında karşılayamama gibi sorunlarla karşılaşılabilir.

Bir başka sorun ise işlem ve ara stoklar ile ilgilidir. Çizelgeleme hataları bu stokların artmasına da neden olur. Doğru olarak belirlenen sipariş teslim tarihleri ise bu stokların kontrolünü sağlayan bir faktördür.

### 2.3. Ana Üretim Çizelgelemesi

Esnek imalât sistemi (Flexible Manufacturing System/FMS) ve bilgisayarla bütünleştirilmiş imalât (Computer Integrated Manufacturing/CIM) gibi gelişmelerle üretim ortamında büyük değişimler yaşanmaktadır. İşletmeler artan ürün çeşitleri, tahmin edilemeyen talep kalıpları, kısa müşteri tedarik süreleri, kısalan ürün yaşam eğrileri ile karşı karşıyadır. Bu durum ise ortaya üretim çizelgelemesi ile ilgili sorunlar çıkarmaktadır.

Üretim bölümü de bu ortamda müşteriye yönelik hizmet etmekte ve Pazar çevresinin taleplerine karşılamaya çalışmaktadır. Bu nedenle üretim yönetim sistemi içinde ana üretim çizelgeleme sistemi de, stratejik ve taktik planlama düzeyleri arasında üretim planlama ve kontrol sistemini bütünleştirici bir niteliktedir. Aslında ana üretim çizelgesi daha sonraki bölümlerde açıklanacak olan malzeme gereksinim planlaması (Materials Requirement Planning/MRP) sisteminin de önemli modüllerinden biridir.

Ana üretim çizelgelemesi pazarlama ve satışlar, imalât, mühendislik fonksiyonlarının çerçevesinde bir imalât planı hazırlanmasına olanak sağlar. Şekil 7.1.'de olduğu gibi bu sistemin oluşmasında etkili olan ana girdi blokları sayısal veriler, müşteri sipariş girişi, uzun dönemli üretim planı ve tahminlerdir.

Bu sistemi kullanmak için aşağıdaki noktalara dikkat etmek gerekir.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> P.Higgins, J.Browne, "Master Production Scheduling A Concurrent Planning Approach", Production Planning and Control, Vol.3, No.1, 1992, s.6.

- ✓ Ana üretim çizelgesi ve müşteri siparişleri için süre belirlemede bütünleştirme yapılmalıdır.
- ✓ Kapasite sınırlayıcılarının haricinde tedarik süreleri veya pahalı parçalar için sınırlayıcılar doğru olarak tanımlanmalıdır.
- ✓ Kısa bir dönemi kapsayan simülasyonlar sistemin başarısını değerlendirmek açısından gereklidir.
- ✓ Tahminler, siparişler, çizelgelenen parçalar, müşterilere ait bilgiler arasında ilişkiler kurulmalıdır.
- ✓ Müşteri siparişleri ile atölye emirleri karşılaştırılmalıdır.
- ✓ Ürün ağaçlarının planlanmasında gerekli bilgilerin geçerliliği araştırılmalıdır.
- ✓ Süreler incelenmelidir.
- ✓ Sistemi destekleyici yazılım ve grafiksel yöntemler kullanılmalıdır.

Bu şekilde oluşturulan girdiler ile alt düzeydeki çıktıların etkinliği de arttırılmış olur. Gereksinim planlaması ile ürün ağaçları geliştirilir ve ana üretim çizelgesi ile kritik parçalar belirlenir. Fabrika koordinasyon ve üretim faaliyet kontrolü (Production Activity Control/PAC) ile de üretim için nelere gerek duyulmaktadır ve optimal çözümün ne olduğu araştırılır.

Finansal analizde de master üretim çizelgesinin maliyetleri ne şekilde etkilediğinin analizi gerçekleştirilir.

Ana üretim çizelgeleme tablosu planlama tarafından kullanılan, ana üretim çizelgeleme sisteminin oluşturulması ve uygulanmasında etkili olan bir ana sistemdir. Aşağıda belirtilen altı ana hat ise bu tabloda yer alan bilgilerin elde edilmesi ve hesaplanmasını özetlemektedir:

- ✓ Talep tahminleri hattı direkt olarak satış ve pazarlama tahmin bölümünün girdilerinden oluşur.
- ✓ Talep açıkları hattı da direkt olarak satış bölümünün girdisidir.
- ✓ Net talep, yukarıda belirtilen iki hatta göre hesaplanır ve zaman sınırlamaları ile ilgili bilgilere, kullanılan tahmin kuralına dayanır.
- ✓ MPS firma ve MPS planlanan hatları ana üretim çizelgesi üretilirken hesaplanır ve bunlar gereksinim planlamasının önemli girdisidir. MPS planlanan aşağıdaki formül ile hesaplanır

$$MPS[i]Planlanan=SS+Net talep [i]-PAB[i-1]-MPS[i]-firma \quad (2.8)$$

Burada MPS planlanan bir bakıma imalat siparişidir.  $i$  ise bu siparişin geçerli olduğu zaman dilimini temsil eder.  $PAB[i-1]$  ise bir önceki zaman dilimi için projekte edilmiş geçerli dendedir. Emniyet stoğu yerine emniyet süresi kullanılıyorsa SS formülde yer almaz.

PAB hattı ise ana üretim çizelgelemesi sisteminin performansını ölçer ve projeksiyonun geçerliliği içindir. PAB (projekte edilmiş geçerli denge) şu şekilde hesaplanabilir:

$$PAB[i]=SS=PAB[i-1]+MPS[i]planlanan+MPS[i]firma-Net talep[i]$$

$$ATP[1]-PAB[0]+MPS[1]planlanan-MIN(Müşteri siparişleri[1],Net talep[1])$$

$$ATP[i]=MPS[i]planlanan-MIN(Müşteri siparişleri[i], Net talep [i]) \quad (2.9)$$

#### 2.4. Çizelgeleme ve Proje Kontrol Teknikleri

Çizelgelemede sürecinde kullanılacak şemalar arasında Gantt şemaları önemli yer tutar. Gantt şemaları yirminci yüzyılın başlarında Henry Gantt tarafından geliştirilmiştir. Çubuk diyagramı olarak da adlandırılmakta ve basit olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılması planlanan ve yapılan işlerin zaman içindeki durumunu toplu bir biçimde veren Gantt şeması, süreklilik ve dinamik olma nitelikleri ile çizelgelemenin haricinde projelerin planlanması, yürütülmesi ve kontrolünde önemli kolaylıklar sağlar.

Gantt şeması, yatay eksenle zamanın, dikey eksenle ise faaliyetlerin gösterildiği iki boyutlu bir grafikdir. Bu bakımdan faaliyetlerin zaman içinde gelişimini izleme olanağı sağlar. Bir projenin alt faaliyetleri, belirli aralıklarda ve kapsayacağı süreye uygun uzunluklarda yatay çubuklar olarak çizilerek belirtilir. Tamamlanan faaliyetler ise çizgi ile taranarak gösterilir. Bu şekilde planlanan ile gerçekleşen karşılaştırılır ve saplamalar belirlenir. Çizelgelemede de Çizelge 2.2.'de olduğu gibi çizelgeleme sonucu ortaya çıkan işlerin sırası Gantt şemaları yardımı ile açıkça gözükür. Bu şekilde planlayıcılar değişik alternatifleri ve değişiklikleri pratik olarak hızlı bir şekilde izleyebilir.

Çizelgeleme de kullanılabilecek ve Gantt şeması gibi proje kontrol tekniklerinden biri de CPM (Kritik yol) ve PERT (Program değerlendirme ve gözden geçirme tekniği)'dir.

Çizelge 2.2 Gantt Şeması

| Makineler |    |    |    |    |
|-----------|----|----|----|----|
| Makine 1  | 11 | 12 | 13 |    |
| Makine 2  |    | 11 | 12 | 13 |

|          |    |    |
|----------|----|----|
| Makine 3 | 13 | 11 |
| Zaman    |    |    |

1950’li yıllarda bu iki yöntem birbirinden bağımsız ve ayrı yerlerde geliştirilmiştir. CPM DuPont’ta kimyasal tesislerin inşaatı ve oluşturulmasında geliştirilmiştir. PERT ise Amerika Birleşik Devletleri Deniz Kuvvetleri tarafından Polaris projesinde kullanılmıştır. CPM’de deterministik faaliyet sürelerine göre kritik olan faaliyetlerden oluşan yol belirlenir ve bu şekilde minimum maliyeti verecek proje süresi hesaplanır. PERT’te ise maliyete ilişkin bilgilerin analizine girilmeden, belirsiz sürelerin incelenmesine olanak sağlanır. PERT/maliyette ise toplam proje maliyeti parçalara ayrılarak ilgili faaliyetlere dağıtılır. Proje çizelgelemesinde kullanılan PERT/CPM ayrı teknikler olmasına ve ayrı zamanlarda geliştirilmelerine rağmen aynı amaca hizmet ederler. Bu nedenle bu iki teknik için izlenebilecek yol şu şekilde özetlenebilir<sup>5</sup>:

1. Proje öncelikle faaliyetlere göre ayrılır.
2. bu faaliyetlerin sırası öncelik sırasına göre belirlenir.
3. her faaliyet için süreler ve maliyetler belirlenir.
4. Projenin PERT/CPM şebeke diyagramı çizilir.
5. Şebeke ağı üzerindeki en uzun yol belirlenir. Bu yol kritik yoldur. Ayrıca projenin toplam tamamlanma süresi belirlenir.
6. PERT/maliyet analizi gerçekleştirilir.
7. Proje bu son şebeke ağına göre planlanır, yürütülür ve kontrol edilir.

Bir işletmede çizelgeleme için faaliyetler, bu faaliyetlerin öncelik sırası ve beklenen süreleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 2.3 Çizelgeleme faaliyet planı

| Faaliyetler | Öncelik Sırası | Beklenen Süre (ti-hafta) |
|-------------|----------------|--------------------------|
| A           | -              | 3                        |
| B           | A              | 5                        |

<sup>5</sup> A.Acar, Linear Programing for Managerial Decisions-A Non Algorithmic Approach with Computer Applications, Middle East Technical University, Ankara, 1989, s.322.

|   |       |   |
|---|-------|---|
| C | A     | 4 |
| D | B,C   | 6 |
| E | D     | 2 |
| F | D     | 8 |
| G | D     | 3 |
| H | E,F,G | 2 |

Bu problemin şebeke ağını çizmek gerekirse, burada oklar faaliyetleri, daireler olayları göstermektedir. Olay bir faaliyetin bitip, diğerinin başladığını ifâde eder.

Aşağıda şebeke ağı problemdeki faaliyetlere ve öncelik sırasına göre çizilmiştir. Genelde şebeke ağı diyagramlarının çiziminde; geri dönüş, birden fazla sona ulaşma, başlangıcı aynı olan olaylar arasında birden fazla faaliyetin çizimine izin verilmez. Problemde 4.olayı 3.olaya bağlayan bir kukla faaliyet vardır ve burada 3.olay C, kukla faaliyetinin bitişini göstermektedir. Kukla faaliyet ise 4.olayın bitişinden sonra başlamaktadır. Faaliyetler açısından ise şebeke diyagramı incelendiğinde: D faaliyetinin gerçekleşmesi için B ve C faaliyetlerinin bitmesi ve C faaliyeti için de A faaliyetinin tamamlanması gerekmektedir. Bu durum önceden belirtilen öncelik sırasına uymakta ve kukla faaliyetlerin işlem süresi sıfır olarak kabul edildiği için toplam tamamlanma süresinde bir değişiklik olmamaktadır. Kukla faaliyetler tüm olarak şebeke diyagramında ağ oluşturma amacıyla kullanılmaktadır.

Bu aşamada en erken bitiş süreleri hesaplanmıştır. Bunun için olayların en erken başlangıç süresi ile beklenen süreler toplanmıştır. Bir başka ifadeyle,  $EF=ES+ti$  formülü kullanılmıştır. Örneğin şebeke diyagramında D faaliyetinin en erken başlangıç zamanı 8'dir ve en erken bitiş zamanı ise 14'tür. Kavşak noktalarında ise, H faaliyeti için  $EF=(16,17,22)$  seti elde edilir ve bu  $EF=\max(16,17,22)$  setinden 22 seçilir.

Faaliyetlerin en geç başlangıç süresini bulabilmek için en geç bitiş zamanından beklenen süre çıkartılır. Bir başka ifadeyle,  $LS=LF-ti$  formülü kullanılır. D faaliyeti için  $LF=(14,19,20)$  seti bulunur ve  $LF=\min(14,19,20)$  den 14 seçilir. Bu LF olarak kabul edilerek  $ti=6$  olduğundan dolayı da  $LS=8$  olur.

Boş süreleri de hesaplamak için de  $LS-ES$  veya  $LF-EF$  kullanılır. Yukarıdaki örnekte boş süreler her faaliyet için parantezden önce gösterilmiştir. Kritik yol ise en geç bitiş ve en erken başlangıç sürelerinin birbirine eşit olduğu faaliyetlerden oluşan yoldur. Çünkü bu yol üzerinde herhangi bir gecikme durumunda kullanılabilecek boş süre yoktur. Bu problem içinde kritik yol A,B,D,F,H yoludur. Yol üzerinde toplam süre T, faaliyetlerin sürelerinin toplamına ( $T=\sum ti$ ) eşittir. Aynı problem için toplam süre 24 haftadır.



PERT yönteminde ise faaliyet süreleri için iyimser süre (a), olası süre (m), kötümser süre (b) söz konusudur. İyimser süre ideal durumdaki faaliyet süresidir. Olası süre normal şartlar altındaki faaliyet süresi ve kötümser süre ise bekleme, gecikmeler sonucu ortaya çıkabilecek süredir. Bu sürelerle göre beklenen süre de,

$$t_i = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (2.10)$$

formülü ile hesaplanır. Varyans ise,

$$\delta^2 = \left[ \frac{b - a}{6} \right]^2 \quad (2.11)$$

ile hesaplanabilir.

Bir işletmenin faaliyetleri, faaliyetlerin öncelik sırası, iyimser, olası ve kötümser süreler ve varyanslar şu şekildedir:

Çizelge 2.4 Faaliyet planı hesap çizelgesi

| Faaliyetler | İyimser<br>Süre (a) | Olası<br>Süre(m) | Kötümser<br>Süre(b) | Beklenen<br>Süre (ti) | Varyans<br>(δ <sup>2</sup> ) |
|-------------|---------------------|------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|
| 0-1         | 10                  | 22               | 28                  | 21                    | 9                            |
| 1-2         | 4                   | 4                | 5                   | 4                     | 0,29                         |
| 1-3         | 4                   | 6                | 14                  | 7                     | 2,90                         |
| 2-3         | 1                   | 2                | 3                   | 2                     | 0,11                         |
| 3-4         |                     |                  |                     |                       |                              |
| 4-5         | 1                   | 5                | 9                   | 5                     | 1,77                         |
| 3-5         | 7                   | 8                | 9                   | 8                     | 0,11                         |
| 5-6         | 2                   | 2                | 2                   | 2                     | 0                            |

1-3 faaliyeti için beklenen süre,

$$\frac{[4 + (6 * 4) + 14]}{6} = 7 \quad (2.12)$$

ve varyans ise

$$\left[ \frac{14-4}{6} \right]^2 = 2,90 \quad (2.13)$$

şeklinde bulunmaktadır. Sonuçta bu problem için şebeke ağı diyagramı aşağıdaki şekilde çizilir.

Burada Te olayın beklenen en erken başlangıç süresini ve T1 ise olay en geç bitiş süresini göstermektedir. Örneğin 2.olay için en erken başlama süresi 26 hafta ve en geç tamamlanma süresi ise yine 26 haftadır. Buradan boş süreler ve kritik yol şu şekilde hesaplanabilir.

Çizelge 2.5 Kritik yol hesap çizelgesi

| Olay | Te | T1 | Boş<br>Süre<br>(T1-Te) | Kritik<br>Yol |
|------|----|----|------------------------|---------------|
| 0    | 0  | 0  | 0                      | *             |
| 1    | 21 | 21 | 0                      | *             |
| 2    | 26 | 26 | 0                      | *             |
| 3    | 28 | 28 | 0                      | *             |
| 4    | 28 | 31 | 3                      |               |
| 5    | 36 | 36 | 0                      | *             |
| 6    | 38 | 38 | 0                      | *             |

Yukarıdaki kritik yol 0,1,2,3,4,5,6 yoludur. Ancak boş süresi 0 olup: 1-3, 1-2, 2-3 paralel faaliyetler söz konusudur. Bu durumda faaliyetlerin varyansları incelenebilir. 1-3, 1-2, 2-3 arasından varyansı yüksek olan 1-3 faaliyetinin kritik olacağı düşünülerek, kritik yol olarak 0-1, 1-3, 3-5, 5-6 yolu tercih edilebilir. Bu durumda kritik yolun toplam varyansı  $\sum \delta^2 = 9 + 2.90 + 0.12 + 0 = 12.02$  bulunur. Toplam süre ise 38 haftadır. Bir sipariş aldığımızı ve müşterinin bizden bu siparişi 36 haftada tamamlanmasını talep ettiğini düşünelim. Bu durumda öncelikle z değerini aşağıdaki formül ile hesaplayabiliriz:

$$z = \frac{Tt - Tb}{\delta} = \frac{36 - 38}{3.45} = -0,58 \quad (2.14)$$

Burada Tt talep edilen süre, Tb toplam beklenen süredir. Z, standart normal dağılım tablosuna baktığımızda ise -0.58 z değeri 0.28 olasılık değerini vermektedir. Bu durumda müşterinin talebini karşılama olasılığı %28'dir.

Aynı problem için PERT/maliyet de uygulanabilir. Aşağıdaki problemde beklenen süreler normal süre (NT), sıkışık süre (CT), normal süre için maliyet (NC) ve sıkışık süre için maliyet (CC) olarak alınmıştır. Bunlar ise aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 2.6 Beklenen süre çizelgesi

| Faaliyetler | Normal<br>Süre<br>(NT) | Sıkışık<br>Süre<br>(CT) | Normal<br>Mal.<br>(NC)<br>(000 TL) | Sıkışık<br>Mal.<br>(CC) | CC-NC | NT-CT | CC-NC<br>NT-CT |
|-------------|------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------|-------|----------------|
| 0-1         | 21                     | 20.0                    | 120                                | 180                     | 60    | 1.0   | 60             |
| 1-2         | 1                      | 0.2                     | 400                                | 780                     | 380   | 0.8   | 475            |
| 1-3         | 7                      | 5.0                     | 170                                | 220                     | 50    | 2.0   | 25             |
| 2-3         | 2                      | 0.8                     | 240                                | 360                     | 120   | 1.2   | 100            |
| 3-4         | -                      | -                       | -                                  | -                       | -     | -     | -              |
| 5-6         | 5                      | 2.0                     | 150                                | 480                     | 330   | 3.0   | 110            |
| 4-5         | 8                      | 7.0                     | 350                                | 600                     | 250   | 1.0   | 250            |
| 3-5         | 2                      | 0.6                     | 410                                | 740                     | 330   | 1.4   | 236            |

Yukarıdaki örnekte en son sütundaki maliyetler faaliyetlerin haftalık sıkışık maliyetini vermektedir. Bu maliyetler arasında en düşük maliyet 1-3 faaliyetinin maliyetidir. Toplam süre 38 hafta ve kritik yol alternatifleri ise 0-1, 1-3, 3-5, 3-6'dır. Müşterinin talebi de 36 hafta olduğuna göre; 0-1, 1-3, 3-5, 3-6 kritik yolu alternatifinde 1-3 faaliyeti için sıkıştırılmış süre seçilebilir. Çünkü maliyet açısından en düşük maliyete sahip olan faaliyet budur. İkinci kritik yol alternatifi içinde 1-2 yerine 2-3 faaliyetinin süresi sıkıştırılabilir. Bu tip süreler ve maliyetler karşılaştırılarak toplam proje maliyetinin de minimum olduğu en uygun faaliyetler saptanır. Bu tür kararlarda faaliyet sayısının çok olması durumunda sorunlarla karşılaşılır.

## 2.5. Üretim Planlama , Çizelgeleme ve Kontrol Sistemlerinin Entegrasyonu

### 2.5.1. Üretim Planlama ve Kontrol

Üretim, en yalın tanımıyla yaratılan değerdir. Üretim planlama ve kontrol ise bir üretim yönetimi etkinliği olarak üretilecek ürünü belirlemek, üretim için donanım gereğini saptamak ve ürünlerin istenen kalite ve maliyette, istenen sürede, doğru zamanlarda ve istenen miktarlarda oluşumunu sağlayacak çizelgeleme, programlama çalışmalarını kapsar. Diğer bir ifadeyle gelecekteki faaliyetlerin (veya miktarlarının) düzeylerini veya limitlerini belirleyen ve gerekli zamanlarda önlem alan fonksiyona üretim planlama ve kontrol denir. Görüldüğü üzere Üretim Planlama ve Kontrol, planlama ve kontrol olmak üzere iki ana faaliyetten oluşmaktadır. Üretim planlama ne zaman, ne miktarda, nerede ve hangi olanaklar ile üretimin yapılacağı ile ilgilenirken; üretim kontrol planlanan üretime uygunluğu denetler ve aksaklıkları gidermeye çalışır.

Üretim planlamanın aşamaları şu şekilde ifade edilebilir:

1. Üretim planının kapsayacağı zaman aralığı tespit edilir
2. Ekonomik stok düzeyleri hesaplanır
3. Talep tahminleri yapılır
4. Plan dönemi başındaki ve sonundaki stok düzeyleri belirlenir
5. Başlangıç ve bitiş stokları arasındaki fark bulunur
6. Planlama dönemi içinde üretilmesi gereken miktar bulunur
7. Üretilmesi gereken miktar dönem dilimlerine dağıtılır

Üretim planlama farklı organizasyonel düzeylerde ve değişik zaman aralıklarını içerecek şekilde oluşur. Firmanın üst yönetimi uzun vadeli kapasite planlarını oluşturur. Bu yüksek düzeyli planlar genellikle üretim hatları, fabrikalar, pazarlarla ilgili olup yıl ölçeğindedir. Bir aşağı düzeyde operasyondan sorumlu yöneticiler orta vadeli planlar oluşturur. Bu planlar ürünlerin ayrıntılı planları yerine toplu üretim miktarlarını içerir. Kısa vadeli planlar (çizelgeler) fabrika düzeyinde oluşturulur ve ayrıntılı olarak ürünlerin üretim miktarlarını ve üretilcekleri zamanları içerir. Haftalık ya da aylık olabilir.

### 2.5.2. Üretim ve Stok Sistemlerinin Entegrasyonu

Üretim ve stok sistemlerinin koordinasyonu için çeşitli sistemler vardır. Burada açıklanacak sistem ise hiyerarşik sistemlere dayanmaktadır. Hiyerarşik sistemlerde kararlar, bu kararların önem sırasına göre sıralanmaktadır ve bilgiler sıralamaya göre çeşitli düzeyler arasında koordinasyonu sağlamaktadır. Bu tür sistemlerde önemli olan kararlar arasındaki ilişkilerin

belirlenmesidir. “Üst düzeyde alınan kararlar diğer yönetim düzeylerindeki koordinasyonu ne şekilde sağlamaktadır?” ve “Aşağıdan gelen bilgiler üst düzey kararlarını ne şekilde etkilemektedir?” gibi sorulara cevaplar aranır.

Hax Meal hiyerarşik sisteminde kararların sıralanması ve süreçlerle ilgili kısıtların ne şekilde aşağı düzeylere aktarıldığı görülmektedir. Hax ve Meal bütünleştirme için hiyerarşik sistemi kullanmalarını iki nedene bağlamaktadırlar. Birinci neden tekniktir. Bütünleştirme için tek bir model kullanmak matematiksel açıdan çok büyük bir problemle karşılaşmak demektir. İkinci neden ise her düzey için değişik modellerin kullanılması üst düzey karar sistemlerinin organizasyonunun kolaylaştırıcaktır. Hax-Meal hiyerarşik sistemi her düzey için üst düzey kararlarına uygun alt amaçlar oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Aynı zamanda bu amaçlar esnektir ve bu durumda alt düzey yöneticileri kendi alanları ile ilgili uzmanlık bilgilerini kullanabilmektedir.

Bu sistemde kararların sıralanması tesis/üretim alt sistemi, mevsimsel planlama, ürün grubu çizelgelemesi ve parça çizelgelemesi şeklindedir. Birinci düzey kararlar yıllıktır. Ürün grupları, bu grupların sabit ve değişken üretim ve dağıtım maliyetlerine göre belirlenmektedir. İkinci düzey kararlar mevsimsel planlamadan oluşmaktadır. Aynı mevsimsel kalıplara sahip ürünler çeşitlendirilmekte ve buna göre planlama yapılmaktadır. Üçüncü düzey kararlarda ürün grupları çizelgelemesi gerçekleştirilmektedir. Son olarak da stoklar bu amaçlara göre belirlenmekte ve kontrol edilmektedir.

Hiyerarşik sistemler çok düzeyli olarak da oluşturulabilir. Herhangi bir hiyerarşik sistemin geliştirilmesi ile her düzey yönetim problemi için sınırlar, alt sistemlere ve alt sistemlerden bilgi akışları belirlenmekte, bütün olarak sistem içi ilişkiler incelenmektedir.

Çok düzeyli hiyerarşik sistemlerde üç ana aşama söz konusudur<sup>6</sup>

Ana üretim planlama: Burada hangi ürünlerin hangi tesislerde veya süreçlerle üretileceği, her tesis için kapasiteler, her üretim aşaması için yığın miktarları, üretim tedarik süreleri gibi konularla ilgili bilgiler bütünleştirilerek planlama yapılır.

---

<sup>6</sup> W.Maxell, J.Muckstadt, J.Thomas, J.VanderEcken, “A Modelling Framework for Planning and Control of Production in Discrete Parts Manufacturing and Assembly Systems”, Interfaces, Vol.13, No.6, December 1983, s.40.

Belirsizlik altında planlama: Ana üretim planı içinde zaman içinde değişimlerin yaşanacağı olağandır ve bu değişimler için planı belirsizliklere karşı korumak için burada emniyet stokları ve zaman belirlenir.

Gerçek zamanlı kaynak tahsisi: Yukarıdaki aşamalar çerçevesinde kaynaklar gerektiğinde ve anında tahsis edilir.

### 3. ÇİZELGELEME ALGORİTMALARI

İşlerin hesaplanan öncelik değerlerine göre sıraya konulması çalışmalarına iş sıralaması denir. Böylece bir tezgah boşaldığı zaman tezgaha yüklenecek iş, önceden yapılan iş sıralamasına göre seçilir. Atölye sıralama problemi dört faktöre bağlı olarak sınıflara ayrılabilir.

1- *İşlerin Geliş Şekli*: Eğer çizelgelenecek işler zamanla değişiklik göstermiyorsa, sistem *statik*, zamanla yeni işler ortaya çıkıyorsa sistem *dinamik* olarak isimlendirilir. Statik modeller dinamik modellere göre daha kolay kontrol edilebilir bir yapıdadır ve daha geniş bir çalışma alanına uygulanmıştır. Ayrıca statik modellerin analizi, daha genel durumların çözümünde faydalı olabilecek faydalı girdiler ve sezgisel yaklaşımların bulunmasında etkili olmuştur.

2- *Tezgah Sayısı*: Atölyede yer alan tezgah sayısına tek ve çok tezgahlı olarak ikiye ayrılır.

3- *İş Akışı*: Eğer gelen bütün işler belli bir sırayı takip ediyorsa sıralama problemi akış tipi; farklı sıraları takip ediyorsa karışık iş akışından söz edilir.

4- *Performans Ölçütü*: Atölye performansını değerlendirmek için kullanılan ölçüt çizelgeleme problemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu ölçütlerden bazıları akış zamanı, üretim içi stok seviyesi, işlerin tezgahta bekleme süresi, işlerin ortalama gecikme süresi, geciken iş yüzdesi, tezgah ve iş gücü kullanım oranlarıdır.

Temel çizelgeleme modellerini sınıflandırmadan önce kaynakların ve işlerin konfigürasyonunu nitelendirmek gereklidir. Örneğin bir model tek tür ya da çok sayıda tür kaynak içerebilir. Eğer model tek bir kaynak türü içeriyorsa işler genellikle tek aşamalıdır. Çok kaynaklı modeller ise çoğunlukla çok aşamalı veya paralel işler içerir.

#### 3.1. Statik Sıralama

Yukarıda da ifade edildiği gibi eğer atölyede yapılacak işlerin listesi değişmiyorsa sistem statiktir. Bu tarz sıralama problemlerinde zaman boyutu yoktur. Sürekli üretim sistemleri için uygundur. İş ve makine sayılarına göre bölümlere ayrılır.

##### 3.1.1. Bir Makine ve N İş Problemi

Sıralamanın en basit problemi tek makine/kaynak olduğu problemdir. Fakat çizelgeleme mantığının anlaşılması ve farklı teknik ve performans ölçütleriyle çözüm araması yapılabilmesi açısından bu problemin anlaşılması oldukça önemlidir. Çok basit görünen tek makine probleminde bile ( $n!$ ) tane farklı sıralama mümkündür.

Karmaşık bir sistemin davranışını anlamak onun parçalarını anlamaktan geçer. Örneğin çok operasyonlu bir sistemde her zaman darboğaz vardır ve bu darboğazın yapısı tek makine analizi ile anlaşılabilir.

Basit bir tek makine problemi aşağıdaki varsayımlar altında incelenebilir:

C1: Sıfır anında mevcut  $n$  tane bağımsız değişken vardır.

C2: Hazırlık zamanları iş sırasından bağımsızdır ve işlem zamanlarının içinde yer alabilir.

C3: İş indeksleri iyi bilinmelidir.

C4: Bir makine sürekli olarak kullanıma hazırdır ve işler beklerken boş değildir.

C5: Proses bir işin başlaması ile başlar ve be tamamlanana kadar herhangi bir kesintiye uğramaz.

Deterministik tek makine problemini tanımlayabilmek için üç değişken kullanılabilir.

İşleme Süresi ( $t_j$ ) :  $j$  işinin işleme süresi.

Hazırlık Süresi ( $r_j$ ) :  $j$  işinin hazırlık süresi.

Teslim Tarihi ( $d_j$ ) :  $j$  işinin teslim tarihi

Hazırlık süresi işlem zamanı içindedir. (C2) bu nedenle  $r_j = 0$  olarak kabul edilebilir.

Ayrıca çizelgeleme ile ilgili alınan kararların çıktısı niteliğinde olan bazı değişkenleri de sisteme eklenebilir. Bu özellikleri nedeniyle büyük harfle temsil edilmeleri uygundur.

Tamamlanma Zamanı ( $C_j$ ) :  $j$  işinin tamamlandığı zaman ve bu zaman planlamanın ne kadar iyi olup olmadığının kantitatif bir ölçüsüdür. Ayrıca:

Akış Zamanı ( $F_j$ ) :  $j$  işinin sistemde harcadığı zaman

$$F_j = C_j - r_j \quad (3.1)$$

Geç Kalma Zamanı ( $L_j$ ) :  $j$  işinin teslim tarihine göre gecikme zamanı

$$L_j = C_j - d_j \quad (3.2)$$

Bu iki değişkenden akış zamanı sistemin talebe karşı olan tepkisini ölçer ve işin sisteme geliş ve gidişi arasındaki aralığı verir. Geç Kalma Zamanı ise planın teslim tarihine uygunluğunu kontrol eder. Çoğunlukla pozitifdir. Negatif olması da mümkündür fakat işin zamanından önce bitirilmesinin herhangi bir faydası yoktur.

Gecikme ( $T_j$ ) :  $j$  işi eğer teslim tarihinde bitmezse işin geç kalma zamanı.



$$T_j = \max[0, L_j] \quad (3.3)$$

Yapılan planların başarı/başarısızlığını ölçebilmek performans ölçümü ile mümkündür. Daha önce de bazıları belirtilen ölçütler şu şekilde tanımlanabilir.

$$\text{Ortalama Akış Zamanı : } \bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F_j \quad (3.4)$$

$$\text{Ortalama Gecikme : } \bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j \quad (3.5)$$

$$\text{Maksimum Akış Süresi: } F_{\text{maks}} = \max \{F_j\} \quad 1 \leq j \leq n \quad (3.6)$$

$$\text{Maksimum Gecikme : } T_{\text{maks}} = \max \{T_j\} \quad 1 \leq j \leq n \quad (3.7)$$

$$\text{Geciken İş Sayısı : } N_T = \sum_{j=1}^n \delta(T_j) \quad (3.8)$$

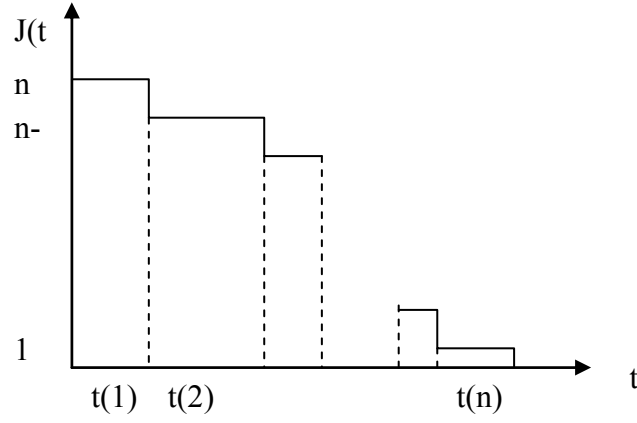
$$\delta(x) = 1 \quad x > 0 \quad (3.9)$$

$$\delta(x) = 0 \quad \text{diğer} \quad (3.10)$$

Bir işin sistemde harcadığı zamana Akış Süresi adı verilir ve üretimi hızlı çevirme (rapid turnaround) amacı sistemdeki ortalama akış süresini minimize etmekle sağlanabilir. Aynı zamanda düşük stok seviyesi de sistemdeki ortalama iş sayısını azaltmakla mümkün olur.  $J(t)$  sistemdeki  $t$  anındaki iş sayısını gösterebilir. Bu durumda  $[a,b]$  gibi bir zaman aralığındaki ortalama iş sayısı

$$\bar{J} = \frac{1}{b-a} \int_a^b J(t) dt \quad (3.11)$$

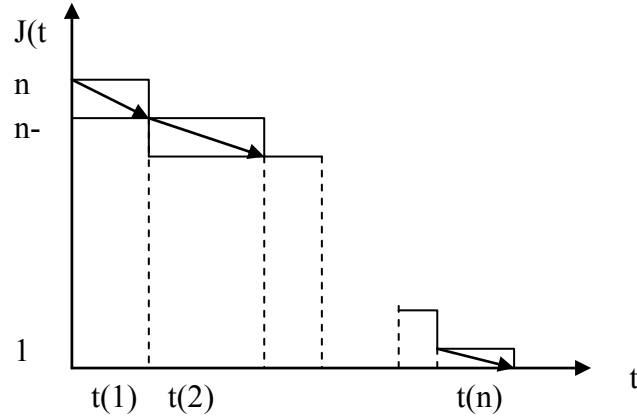
olur. Başka bir deyişle  $\bar{J}$   $J(t)$  fonksiyonun zaman ortalamasıdır. Tek makine probleminde  $J(t)$  'nin davranışının göstermek kolaydır. Sıfır anında  $n$  tane uygun iş vardır ve  $J(0) = n$  'dir. İlk iş tamamlanana kadar  $J(t)$  de herhangi bir değişim olmaz. İlk iş tamamlandıktan sonra  $J(t)$   $n-1$  e düşer ve bu şekilde  $J(t)$  sıfıra düşer.



Şekil 3.1 Ortalama iş sayısı

$F$  ve  $j$  'nin doğru orantılı olduğu düşünülürse  $\bar{F}$  'i minimize etmekle  $j$  yi minimize etmenin aynı şey olduğu görülür. Teorik çalışmalar çoğunlukla ortalama akış süresini minimize etmeyi amaçlamıştır.

Ortalama Akış süresinin minimizasyonu ise  $J(t)$  grafiğinin altında kalan alanın minimize edilmesi ile mümkündür. Bu şartı sağlayacak sıralama,  $J(t)$  grafiğinde  $(0, n)$  noktasından  $(F_{maks}, 0)$  noktasına bir  $n$  tane ve eğimi  $-1/t_j$  olan doğrular çizerek belirlenebilir. Eğimi en dik olan işi en sola alarak bu sağlanabilir.



Şekil 3.2 Ortalama akış süresi minimizasyonu

Bunun anlamı ise en kısa işlem süresi olan işi en önce yapmaktır.

Fakat genelde her işin önemi eşit olmayabilir. Bu durumda işleri önem derecelerine de bağlı olarak sırlamak gerekecektir. Bunu yapmak için her işin akış süresi  $F_i$  o işin önem derecesi  $W_i$  ile çarpılarak bu ağırlıklı akış süresi minimize etmeye çalışılır.  $W_i$  işin önemi ile doğru orantılı bir katsayıdır.

$$\bar{F}_w = \frac{\sum_{i=1}^N W_i F_i}{N} \quad (3.12)$$

$F_w$  = Ortalama Ağırlıklı Akış Zamanı

bu durumda işler

$$P_1/W_1 < P_2/W_2 < \dots < P_n/W_n \quad (3.13)$$

olacak şekilde sıralanır.

Buraya kadar ki kısımda işlerin teslim tarihleriyle ilgilenilmedi. Fakat gerçek hayatta işlerin sıralanmasında teslim tarihlerini de dikkate almak gerekli olmaktadır. Teslim tarihlerinin dikkate alınması sıralamayı karmaşıklaştıran bir etkidir.

Ortalama Gecikme SPT kuralı ile sağlanabilmektedir.

Maksimum İş Gecikme Zamanı ( $L_{maks}$ ) ve maksimum Gecikme ( $T_{maks}$ ) En Erken Teslim Tarihi kuralı (EDD) ile minimize edilebilir.

Minimum İş Gecikmesi ( $L_{min}$ ) Minimum Bolluk Zamanı (MST) ile maksimize edilebilir. Burada Bolluk bir iş için teslim tarihiyle tamamlanma zamanı arasındaki fark olarak ifade edilebilir.

Geciken İşlerin Sayısını minimize etmek için Hodgson algoritması kullanılabilir. Geciken işleri, kendilerinden önceki en uzun işi sona atma mantığına dayanan bir yöntemdir.

Ortalama Gecikmenin minimize etmek için Wilkerson-Irwing optimal Tekniği kullanılmaktadır. Her zaman optimum sonucu vermese de tatmin edici sonuçlar verebilmektedir.

Bunlardan başka dinamik programlama yaklaşımı ya da Hibrit Algoritmalar da kullanılmaktadır.

### 3.1.2. İki Makine ve N İş Problemi

İki makine ve çok işli problemlerin çözümünde Johnson yöntemi kullanılır. Bu yöntemde her tezgahdaki işlem süreleri küçükten büyüğe sıralanır. İşler tezgahlara atarken en küçük işlem süreli iş, eğer bu iş birinci makineye ait iş ise birinci sıraya; ikinci makineye ait iş ise son sıraya atanır. Bir örnek üzerinde açıklayacak olursak:

Çizelge 3.1 İki makine ve N iş problemi

| İşlem No | İşlem Süresi   |               | Sıralama       |               |
|----------|----------------|---------------|----------------|---------------|
|          | Birinci Makine | İkinci Makine | Birinci Makine | İkinci Makine |
| 1        | 4              | 1             | 2              | 1             |
| 2        | 2              | 5             | 4              | 5             |
| 3        | 8              | 6             | 1              | 2             |
| 4        | 3              | 7             | 3              | 3             |
| 5        | 9              | 3             | 5              | 4             |

Bu örnekte sıralama 2,4,3,5,1 şeklinde gerçekleşir.

Johnson yöntemine göre sırlamada birkaç ürün söz konusuysa, ürünler yani işler ayrı kümelere ayrılır ve bundan sonra Johnson yöntemine göre sırlama gerçekleşir.

### 3.1.3. Üç Makine ve N İş Problemi

Bazı özel durumlar dışında Üç Makine N İş Probleminde en iyi çözüm bulmak mümkün olmamaktadır. Belirli şartlar sağlanması halinde Revize Johnson yöntemi kullanılabilir. Bu şartlar sağlanamaması halinde en kısa zamanda iş akışının tamamlanmasını sağlayacak iş sırasını bulmak zor ve vakit alıcı olabilir.

Revize Johnson yönteminde iki şart söz konusudur:

1- Birinci makinedeki zamanların ( $t_{i1}$ ) en küçüğünün, ikinci makinedeki zamanların ( $t_{i2}$ ) büyüğünden büyük ya da eşit olmasıdır.

$$\text{Min}(t_{i1}) \geq \text{Maks}(t_{i2}) \quad (3.14)$$

2- Üçüncü makinedeki işlem zamanlarının ( $t_{i3}$ ) en küçüğünün, ikinci makinedeki işlem zamanlarının ( $t_{i2}$ ) en büyüğünden büyük ya da eşit olmasıdır.

$$\text{Maks}(t_{i3}) \geq \text{Maks}(t_{i2}) \quad (3.15)$$

Bu durumda ikinci makinenin bir ve üç tarafından kontrol edildiğini söyleyebiliriz. Bu şartlar sağlandıktan sonra revize Johnson yöntemine geçilebilir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için iki hayali makine tanımlanır. Birinci hayali makine için işlem süreleri ( $t_{i1}$ ) bir ve iki numaralı

makinelerdeki işlem sürelerinin toplamı olarak bulunur. Aynı şekilde ikinci hayali makine için işlem süreleri ikinci ve üçüncü makinelerdeki işlem sürelerinin toplamıdır. Son durumda iki makineye sahip olduğumuz düşünülürse Johnson yöntemini kullanarak çözüme ulaşabiliriz.

Aşağıdaki örnek üzerinden düşünülürse :

Çizelge 3.2 Johnson yöntemi (adım 1)

| Süreler |          |          |          |
|---------|----------|----------|----------|
| İş      | Makine 1 | Makine 2 | Makine 3 |
| 1       | 7        | 1        | 3        |
| 2       | 4        | 3        | 4        |
| 3       | 5        | 1        | 5        |
| 4       | 6        | 2        | 3        |

$$\text{Min}(t_{i1}) = 4 \geq \text{Maks}(t_{i2}) = 3 \quad (3.16)$$

$$\text{Min}(t_{i3}) = 3 = \text{Maks}(t_{i2}) \quad (3.17)$$

Revize Johnson yöntemine geçilirse:

Önce hayali iki makine oluşturulur.

Çizelge 3.3 Johnson yöntemi (adım 2)

| İş | Makine 1 ( $t_{i1} + t_{i2}$ ) | Makine 2 ( $t_{i2} + t_{i3}$ ) |
|----|--------------------------------|--------------------------------|
| 1  | 8                              | 4                              |
| 2  | 7                              | 7                              |
| 3  | 6                              | 6                              |
| 4  | 8                              | 5                              |

Burada sıralama 3,2,4,1 şeklindedir.

### 3.1.4. M Makine İki İş Problemi

Bu tarz problemlere Aker-Friedman tarafından geliştirilen bir yöntemle çözülebilir. Çözüm için (0,0) noktasından  $(\sum_{i=1}^m P_{i,1}, \sum_{i=1}^m P_{i,1})$  noktasına giden ve noktalı alanlardan geçmeyen bir çizgi çizilir. Bu çizgi yatay ve dikey ve 45 derece eğimli çizgilerden oluşur. Bu problem için en iyi çözüm, yatay ve dikey çizgileri en aza indirecek, dolayısıyla eğimli çizgiyi maksimize edecek söz konusu noktaları birleştirecek çizgiyi belirleyerek bulunur.

### 3.1.5. M Makine N İşli Problem

M makine N iş problemleri için işlerin en kısa zamanda bitmesini sağlayacak sıralamanın bulunmasında kesin çözüm yoktur. ayrıca bu tip problemlerde çok sayıda çözüm olması ( $N! * M$ ) hesaplamayı güçleştirir. Ancak burada da 3XN probleminde olduğu gibi iş zamanlarında toplamlar elde edilerek Johnson algoritmasının kullanımı sağlanır.

Burada m-1 adet grupta iki kümeli iş zamanları elde edilir ve her birine (2XN) Johnson yöntemi uygulanır. Ayrıca N işin makinelerden aynı sırada geçtikleri kabul edilir.

## 3.2. Dinamik Sıralama

Bir önceki bölümde işlenen statik sıralama problemlerinde işler atölyeye belli bir düzen içinde gelmektedir ve bu düzen önceden bilinmektedir. Bu statik yapı nedeniyle bu problemler ile işlerin sürekli ve rasgele olarak değiştiği problemler aynı yaklaşımlarla çözülemez.

Dinamik çizelgeleme problemleri bir şebeke ağı içinde kuyruklama ile ilgili problemlerdir. Burada problemin deterministik veya stokastik özellikler taşıması genel yapıyı değiştirmez. Atölye içindeki her makine ise şebeke ağı için servis veren kaynaklardır. Kuyruk sistemi içinde her atölyedeki her iş müşterilere bağlı olarak değişir. Tek bir makinenin işlem süresini minimize etmek gibi çizelgeleme problemlerinde problemin analizi ve çözümü kolaydır. Ancak karmaşık yapıdaki ve birkaç amacın olduğu problemlerde çözüm ve analiz güçtür. Örneğin en kısa kalan işlem süresi kuralına göre deterministik çizelgelemede problemlerin işlem süreleri, işlerin geliş süreleri gibi bilgilerin dağılımlarına gerek duyulur.

Dinamik çizelgeleme, öncelik kurallarının kullanılmasına dayanır. Dinamik çizelgelemede kullanılan öncelik kurallarının statik çizelgelemedeki kurallardan farkı işlerin değişmeyen özelliklerine (işlem süresi veya teslim tarihi gibi) göre değil; süreç içinde değişen özelliklerini (kalan işlem zamanı gibi) esas almasıdır.

Bu kurallar:

## 1. Operasyon Seçim Kuralları

### 1 Basit Kurallar

#### 1.1.1 Gecikme Kuralları

##### 1.1.1.1 En Erken Teslim Kuralı

$\pi_{j,k}$  = j işinin k makinesindeki önceliği =  $T_j$

$T_j$  = j işinin teslim tarihi

##### 1.1.1.2 En Az Kalan Boş Süre

$$\pi_{j,k} = T_j - [t + \sum_{i=k}^{n_j} P_{j,i}] \quad (3.18)$$

$t$  = Çizelgenin yapıldığı zaman

$n_j$  = j işinin son işlemi

$P_{j,i}$  = j işinin i makinesindeki işlem süresi

##### 1.1.1.3. En Az Kalan Boş Sürenin Kalan İşlem Sayısına Oranı

$$\pi_{j,k} = T_j - [t + \sum_{i=k}^{n_j} P_{j,i}] / (n_j - k + 1) \quad (3.19)$$

#### 1.1.2. Geliş Kuralları

##### 1.1.2.1. İlk Sisteme Gelen İlk İşlenir

$$\pi_{j,k} = A_j \text{ (j işinin sisteme geliş zamanı )} \quad (3.20)$$

##### 1.1.2.2. Makineye İlk Gelen İlk İşlenir

$$\pi_{j,k} = G_{j,k} \text{ (j işinin k makinesine geliş zamanı)} \quad (3.21)$$

#### 1.1.3. İş Önceliklerini Kullanan Kurallar

##### 1.1.3.1. En Kısa İşlem Süresi Önce

$$\pi_{j,k} = P_{j,k} \quad (3.22)$$

### 1.1.3.2. Toplam Kalan İşlem Süresi

$$\pi_{j,k} = \sum_{i=k}^{nj} P_{j,i} \quad (3.23)$$

### 1.1.3.3. Toplam İşlem Süresi

$$\pi_{j,k} = \sum_{i=1}^{nj} P_{j,i} \quad (3.24)$$

### 1.1.3.4. Parasal Değer Kuralı

$$\pi_{j,k} = D_j \text{ (j işinin değeri)} \quad (3.25)$$

### 1.1.3.5. En Düşük Hazırlık Zamanı Kuralı

$$\pi_{j,k} = H_{j,k} \text{ (j işinin k makinesindeki hazırlama süresi)} \quad (3.26)$$

### 1.1.3.6. En Az Kritik Oran Kuralı

$$\text{Kritik Oran} = (\text{İşin Kalan Zamanı}) / (\text{İşin Bitmesi için gerekli zaman}) \quad (3.27)$$

## 1.2. Birleşik Kurallar

En kısa işlem süresi + Toplam kalan İşlem süresi

$$\pi_{j,k} = \sum_{i=k}^{nj} P_{j,i} + P_{j,k} \quad (3.28)$$

## 1.3. Ağırlıklı Kurallar

$W_1$ ,  $W_2$  tespit edilen ağırlıklar olmak üzere:

$$\pi_{j,k} = W_1 * (P_{j,k}) + W_2 * \left( \sum_{i=k}^{nj} P_{j,i} \right) \quad (3.29)$$

## 1.4. Diğer Kurallar

### 1.4.1. Alternatif İşlem Kuralı

Gerekli makine çok yüklü ise başka bir makineye gönderilir.

### 1.4.2. Durum İnceleme Kuralı



Yapılması gereken iş daha sonra darboğaza neden olacaksa, önceliği ne olursa olsun bu iş bir süre bekletilir.

## 2. Kaynak Seçim Kuralları

Operasyon seçim kuralları kadar kaynak seçim kuralları da önemlidir. Kaynak seçimi ile ilgili belli başlı kurallar şunlardır:

Minimum Ayar Süresi: En az hazırlık zamanı olan kaynak seçilir.

En Erken Bitiş Zamanı: operasyonu en erken bitiren kaynağın seçilmesi esasına dayanır. En kısa iş en önce operasyon seçimi kuralıyla aynı stratejiye yani operasyonu olabildiğince erken bitirmeye yöneliktir.

En Erken Başlama Zamanı: Operasyonu en erken başlatabilecek kaynağın seçilmesine dayanır. Kaynağın boş kalma zamanını azaltmasına rağmen etkin akış zamanını artırabilir.

Kural temeline dayanan çizelgelemede, üretim hattının her durum için en uygun sezgisel kuralın belirlenmesi mümkün olmayabilir. Örneğin minimum boş süre kuralına göre çizelgelemede teslim sürelerinin sonraki gecikmeler minimize edilmekte, ancak işlemler arası stokların ve toplam işlem süresinin artması ile karşılanabilmektedir. Programcılar bir kaç amacı birlikte uygulamakta ve o anki şartlara göre seçim yapmak zorunda kalmaktadırlar. En uygun kural seçimi makinelerin hepsinin çalışmasına veya durmasına ya da makinelerin kapasitelerine göre de değişebilmektedir. Bu tür eksiklikleri giderebilmek ve sistemi dengeleyebilmek için dinamik çizelgelemeyi denemekte fayda vardır. Bu şekilde sistemin işleyişi etkinlik kazanmaktadır. Dinamik çizelgelemeyi uygularken aşağıda belirtilen konularda dikkatli olmak gerekmektedir.

Kural seçimi; üretim gereksinim ve kısıtlarına göre gerçek zamanlı üretim hattına uygun olarak yapılmalıdır.

Kural seçimi mümkün olduğunca kısa zamanda yapılmalıdır. Aksi takdirde gerçek işlemlerde gecikme olacaktır.

1965 yılında Hughes fabrikası üzerinde yapılan bir çalışmada 1000 makine 400-500 işçi ve 1800-2500 sipariş içeren bu sistemin altı kural ve on kritere göre yapılan bir simülasyonu sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 3.4 Simülasyon sonuçları – 1

| Kriter           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | Toplam Bağıl<br>Derece |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------|
| Bağıl<br>Ağırlık | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |                        |
| KURAL            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |
| Ekizö            | 1,00 | 0,83 | 1,00 | 0,2  | 1,00 | 1,00 | 0,76 | ,91  | 1    | 1    | 8,7                    |
| Mbo              | 0,87 | 1,00 | ,63  | 1,00 | 0,73 | 0,52 | 0,96 | 0,99 | 0,9  | 0,92 | 8,54                   |
| Fifo             | 0,86 | 0,54 | 0,54 | 0,2  | 0,73 | 0,38 | 0,84 | 0,98 | 0,9  | 0,93 | 6,93                   |
| İpsi             | 0,84 | 0,48 | 0,46 | 0,22 | 0,68 | 0,36 | 0,91 | 1,00 | 0,99 | 0,91 | 6,77                   |
| İbpi             | 0,94 | 0,62 | 0,64 | 0,24 | 0,84 | 0,51 | 1,00 | 0,91 | 0,87 | 0,8  | 7,52                   |
| Rassal           | 0,84 | 0,68 | 0,79 | 0,2  | 0,67 | 0,66 | 0,8  | 0,93 | 0,92 | 0,91 | 7,40                   |
|                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |

Çizelge 3.5 Simülasyon sonuçları – 2

| Kriter           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | Toplam Bağıl<br>Derece |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------|
| Bağıl<br>Ağırlık | 2    | 5    | 5    | 5    | 1    | 1    | 4    | 2    | 3    | 2    |                        |
| KURAL            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |
| Ekizö            | 2,00 | 4,15 | 5,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 3,04 | 1,82 | 3,00 | 2,00 | 24,01                  |
| Mbo              | 1,74 | 5,00 | 3,15 | 5,00 | 0,73 | 0,52 | 3,84 | 1,98 | 2,76 | 1,84 | 26,56                  |
| Fifo             | 1,72 | 2,7  | 2,7  | 1,0  | 0,73 | 0,38 | 3,36 | 1,96 | 2,79 | 1,86 | 19,20                  |
| İpsi             | 1,68 | 2,4  | 2,3  | 1,10 | 0,68 | 0,36 | 3,64 | 2,00 | 2,73 | 1,82 | 18,71                  |
| İbpi             | 1,88 | 3,10 | 3,20 | 1,2  | 0,84 | 0,51 | 4,00 | 1,98 | 2,61 | 1,74 | 21,06                  |
| Rassal           | 1,68 | 3,40 | 3,95 | 1,00 | 0,67 | 0,66 | 3,20 | 1,86 | 2,76 | 1,82 | 21,00                  |
|                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |

Kriterler:

1. Tamamlanan Sipariş Sayısı
2. Geç Biten işlerin yüzdesi
3. Tamamlanma dağılımının ortalaması
4. Tamamlanma dağılımının standart sapması

5. Atölyede bekleyen işlerin ortalaması
6. Siparişlerin ortalama bekleme zamanı
7. Kuyruktaki siparişlerin yıllık maliyeti
8. Envanter taşıma maliyetinin makine üzerindeki envanter maliyetine oranı
9. İş gücü kullanım yüzdesi
10. Kapasite kullanım yüzdesi

Kurallar:

Ekizö: En kısa iş en önce

Mbo: Minimum bolluklu iş en önce

Fifo: İlk gelen ilk çıkar

İpsi: İlk planlanan iş önce

İbpi: Bitmesi ilk planlanan iş önce

Rassal: Siparişler rasgele seçiliyor

(E.LeGrande, The Development of a Factory Simulating System Using Actual Operating Data, Management Technology, Tata McGraw-Hill Publishing Co, New Delhi)

Kriter ağırlıklarının aynı ve farklı alınarak yapıldığı bu çalışmada kuralların farklı kriterler için nasıl farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Ekizö kuralı fazla sayıda işi bitirme, iş gücü kullanımında iyi iken, Mbo gecikmeleri azaltmada daha iyi sonuçlar vermektedir. Altı çizilmesi gereken bir konuda rastsal olarak sırlamanın bazı kurallardan daha iyi sonuç vermesidir.

Çizelgeleme fonksiyonunun orta ya da daha aşağı organizasyon kademelerine delege edilmesi gereken, bol ayrıntılı bir fonksiyondur. Bu nedenle çizelgeleme işinden sorumlu kişiler çoğunlukla kendi fonksiyonları ile firmanın genel amaç ve hedeflerini ilişkilendirebilecek bir konumda bulunmazlar. Bu yüzden seçim kuralları oluşturmak gerekli olmaktadır.

Bu kurallar yalnızca organizasyonun ve çizelgeleme fonksiyonunun amaçlarını birleştirmenin ötesinde, organizasyondaki kişilerin değişimi gibi durumlarda yeni gelenlerin sistemin işleyişini anlamasını kolaylaştırmasını sağlaması bakımından da önemlidir.

Şu ana kadar bahsedilen teknik ve yöntemlerden başka literatürde pek çok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin ayrıntısına girilmeyecektir. Çizelgeleme ile ilgili problemler genel olarak ele alınacak ve referanslar verilecektir.

Çizelgeleme problemlerini genel olarak sınıflandırmak için 1967 de Conway'in yaptığı sınıflandırma kullanılabilir. Buna göre :

A/B/C/D/ sınıflandırması yapılır. Burada:

A: İşlerin sayısı (Her hangi bir tam sayı, n)

B: Makinelerin sayısı (Her hangi bir tam sayı, m)

C: Akış şekli ve diğer teknolojik ve yönetim kısıtları

Olası değerleri

İ: Tek makine

J: İş atölyesi

F: Akış atölyesi

O: Açık atölye

F, perm: Değiştirilebilir akış atölyesi

k-parallel: K paralel makineler

J, k-parallel: her aşamada k paralel makineler ile oluşturulmuş iş atölyesi

J:Farklı iş atölyeleri

Str: Seri işler

Prec: Öncelikli işler

Prmt: Bazı mamullerin önce üretilmesine izin verilmektedir.

Unit: Birim işlem süresi

Eq: Tüm işler için eşit işlem süresi

Depend: Bağımlı işler

Setup: Sıralamaya bağlı işler

D: Optimize edilecek kriter

Conway' in notasyonu imalatçılar ve programlama araştırmacıları tarafından bilinmekte ve kullanılmaktadır. Örneğin  $n/m/i/C_{\max}$   $n$  iş,  $m$  makine ve toplam iş süresinin maksimizasyonunu ifade eder.

Çizelgeleme problemlerini çözmede kullanılan yöntemler optimal yöntemler, sayısal optimal yöntemler, heuristik yöntemler olmak üzere üç grupta incelenebilir.

Optimal yöntemlerde, problem değişkenlerinin (işler,makineler) oluşturduğu polinom fonksiyonu için optimal çözüm araştırılması ve belli bir programlama kriterlerine göre optimal çizelgeye ulaşılması amaçlanır. Bu yöntemler spesifik ve kısıtlı problemler için geçerlidir.

Çizelge 3.6 Temel Problemlerde Kullanılan Optimal Yöntemler – 1

| Problem                                                         | Yöntem                      | Referans                                      |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|
| $n/1/\sum C_i$ ( $i$ işinin tamamlanma süresi)                  | SPT                         | Smith (1956)                                  |
| $n/1/\sum W_i$ ( $w$ işinin bekleme süresi)                     | WSPT                        | Smith (1956)                                  |
| $N/1//L$ maks veya $T$ maks ( $L$ ve $T$ işinin gecikme süresi) | EDD                         | Jackson (1955)                                |
| $N/1//NT$ (geciken işlerin sayısı)                              | Moore algoritması           | Moore(1968)                                   |
| $N/1//k$ -paralel/ $F(i)$ işinin akış süresi)                   | Hodgson etkinlik uygulaması | Baker (1974)                                  |
| $N/2/F/C_{\max}$                                                | Johnson algoritması         | Johnson (1954)                                |
| $N/3/F/C_{\max}$                                                | Alternatif uygulama         | Kusiak (1986)                                 |
| $N/3/F/C_{\max}$                                                | Johnson Algoritması         | Chow (1989)                                   |
| $N/2/0/C_{\max}$                                                |                             | Johnson(1954), Frech (1982) Gonzalez ve Sahri |

Sayısal optimal yöntemler genellikle matematiksel programlama formülasyonuna göre dal-sınır yöntemi ile eleme niteliğindedir. Dal-sınırdaki düğümlerin seçimi karar stratejilerine göre değişmektedir. Aşağıdaki tabloda bu yöntemler özetlenmiştir.

Çizelge 3.7 Temel Problemlerde Kullanılan Optimal Yöntemler – 2

| Problem                                  | Yöntem              | Referans                                    |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|
| $n/1/\sum C_i$                           | Dinamik Programlama | Held ve Karp (1962)                         |
| $n/1/\sum T_i$ (w işinin bekleme süresi) | Dal Sınır           | Schwimer (1972)                             |
| $N/2/F/C$                                | Dal-Sınır           | Ignall ve Schrage (1965)                    |
| $N/3/F/C_{maks}$                         | Dal-Sınır           | Ignall ve Schrage (1965) ve Lomnicki (1965) |
| $2/m/J/C_{maks}$                         | Grafiksel Yöntem    | Akers (1956)                                |
| $2/m/J/C_{maks}$                         | Dinamik Programlama | Szwarc (1960)                               |
| $N/3/F/C_{maks}$                         | IP formülasyonu     | Wagner (1959)                               |
| $N/m/F,perm/C_{maks}$                    | Dal-Sınır           | Iageweg (1978)                              |
| $N/m/F,perm/C_{maks}/F$                  | MIP formülasyonu    | Stafford (1978)                             |
| $N/m/F,perm/C_{maks}$                    | Eleme Yöntemi       | Smith ve Dudek (1967)                       |
| $N/m/J/C_{maks}$                         | MIP formülasyonu    | Greenberg (1968)                            |

Bulgusal yöntemler veya kural temeline dayalı çizelgeleme için geliştirilmiş algoritmalar ise aşağıdadır. Tablo incelenirse 1970' li yıllardan sonra bu tip yöntemlerin arttığı gözlenebilir. Bunun sebebi bu yıllardan sonra gerçek zamanlı çizelgeleme ve dinamik çizelgeleme kavramlarının ortaya çıkmasıdır.

Çizelge 3.8 Temel Problemler İçin Bulgusal Yöntemler

| Problem                         | Referans                  |
|---------------------------------|---------------------------|
| $N/1//T$                        | Wilkinson ve Irwin (1971) |
| $N/1/k\text{-paralel}/C_{maks}$ | Fry (1989)                |
| $N/m/F/C$                       | Krone ve Steiglitz (1974) |
| $N/m/F/C_{maks}$                | Widmer ve Hertz (1989)    |
| $N/m/J/C_{maks}$                | Adams (1989)              |

Yukarıdaki tablolarda belirtilen yöntemler incelendiğinde her hangi bir çizelgeleme problemini birden fazla yöntem kullanılabileceği görülmektedir. Ancak en uygun yöntemin seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterler şunlardır:

- ✓ Etkinlik veya Optimallik: Optimallik değeri biliniyorsa buna uygun çizelgeleme geliştirmek kolaydır. Ancak karmaşık problemlerde kaynaklarla ilgili kısıtlamalar sonucu optimal değere ulaşabilmek için ayrıntılı analiz gerekebilir.
- ✓ Randıman: Basit algoritmalarda matematiksel ifadeler kullanılarak karşılaştırma yapılabilir.

### 3.3. Sınırlı Kapasite ile Çizelgeleme

- ✓ Sınırlı kapasite ile planlamanın temel fonksiyonu MRP'nin sabit ve şişirilmiş termin zamanlarından kaçınmaktır. Bir çizelgeleme çalışmasında planlayıcı Gant şemasını kullanır. Yatay ekseninde zaman düşey ekseninde ise işler süreleriyle orantılı renkli bir çizgi olarak ifade edilir. Sonlu kapasite çizelgeleme işte bu işlemin bilgisayarlar yardımıyla otomatikleştirilmiş halidir. SKÇ simüle edilmiş işleri simüle edilmiş bir atölyeyi kullanarak optimize etmeye çalışır. Elde edilen işlem zamanları MRP sistemlerinininkinden bariz olarak daha küçük çıkar. SKÇ'nin bazı kullanım amaçları şunlardır:
- ✓ İşlere öncelik vermek ve sonradan ortaya çıkan durumlara göre bu işi tekrarlamak
- ✓ Müşterilere termin vermek
- ✓ Bir kapasite planlama aracı gibi yeni siparişler için kaynakların yeterli olup olmadığını belirlemek

SKÇ ile optimum çözüme ulaşmak mümkün olmayabilir. Çünkü üretim sistemleri oldukça karmaşıktır ve bu tarz bir karmaşıklıkta çok fazla alternatifin arasında optimum bir çözüme ulaşmak zaten mümkün değildir. SKÇ de genellikle iki alternatif çözüm vardır.

1. İşleri yüklemek için bir kural kullanılır. Teslim tarihi gibi. Teslim tarihi yakın olan işler öncelikli hale gelirler. Bu kurala göre oldukça kısa bir bilgisayar zamanı içinde bir çizelge oluşturulabilir. Daha önceki bölümde de ifade edildiği gibi bu tarz bir kural statik olup bunun yerine Minimum Bolluk kuralı gibi zamanla işlerin önceliğinin değişebildiği dinamik kurallar da kullanılabilir.
2. Ya da o zamanda en iyi çözüme ulaşabilmek için sabit bir süre çalıştırılabilir.

3. Bu şekilde optimal olmasa da oldukça iyi çizelgeler oluşturulabilir. SKÇ sayesinde çizelge kolaylıkla güncellenebilir. Arıza, sipariş değişiklikleri gibi sıkça gerçekleşen durumlarda ilk çizelge uygunluğunu kaybedebilir. Bu durumda program tekrar çalıştırılarak çizelge yenilenir.

Çizelgeleme için kuralların birbirleriyle çelişebildiği ve farklı amaçlar için farklı önceliklerin iyi sonuç verdiğine değinilmişti. Bir çizelgeden beklenen temelde üç şey vardır.

- ✓ Teslim zamanlarına uygunluk
- ✓ Ayar zamanlarının düşüklüğü
- ✓ Ara stokları azaltmak

SKÇ ile bu amaçlardan ikisi diğerine tercih edilerek bir çizelge gerçekleştirilebilir. Örneğin ayar sürelerini azaltma ve Teslim tarihleri ele alınırsa; öncelikle teslim tarihine göre bir çizelge oluşturulur. Daha sonra yer değiştirmesi halinde ayar sürelerinde en fazla azalmayı sağlayacak iki iş yer değiştirilir. Eğer gecikme söz konusu değilse daha iyi bir çizelgeye ulaşılmış demektir. Bu şekilde iteratif denemelerin sonucunda iki amacı da dikkate alan bir çizelge oluşturulmuş olur. SKÇ'nin gerçekleştirilmesi ancak bilgi teknolojilerini kullanarak mümkün olabilir. Bu konuda pek çok yazılım geliştirilmiştir. İlerleyen bölümlerde bu yazılımların bir kısmı tanıtılacaktır.

### 3.3.1. Simülasyon Yaklaşımı

Simülasyon esaslı bir sıralamanın en temel özelliği işleri değil operasyonları sırlamasıdır. Bu özellik sayesinde daha esnek bir yapısı vardır. Bir örnek üzerinde açıklanacak olursa:

Aşağıdaki tabloda özetlenmiş işlerin olduğunu düşünelim. A,B, C işleri ve bu işlerin A-10, A-20, B-10, B-20, C-10, C-20 sırasında gerçekleşmesi gereken operasyonları olsun.

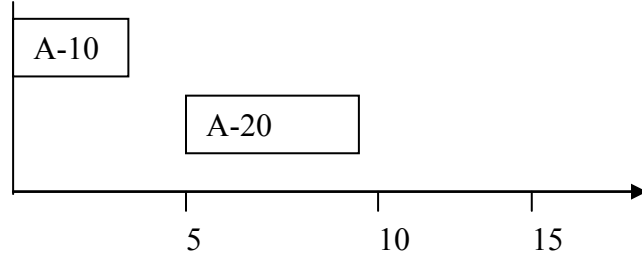
Çizelge 3.9 Operasyon planı

| İş | Sıra | Kaynak | İşlem Süresi |
|----|------|--------|--------------|
| A  | 10   | 1      | 3            |
| A  | 20   | 2      | 4            |
| B  | 10   | 2      | 5            |
| B  | 20   | 1      | 2            |
| C  | 10   | 1      | 3            |
| C  | 20   | 2      | 4            |



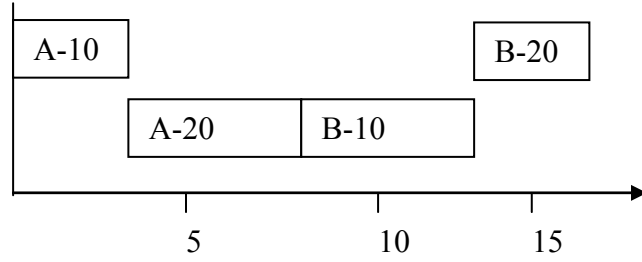
İş yerleştirme yaklaşımıyla bir çizelge yapılacak olursa:

Öncelikle A-10 işi sırasıyla birinci ve ikinci kaynağa atanır.

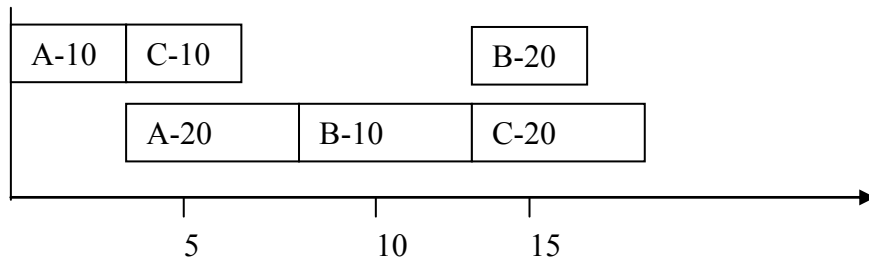


Şekil 3.3 Atama tablosu 1

Daha sonra B ve C bu şekilde yüklenir.



Şekil 3.4 Atama tablosu 2

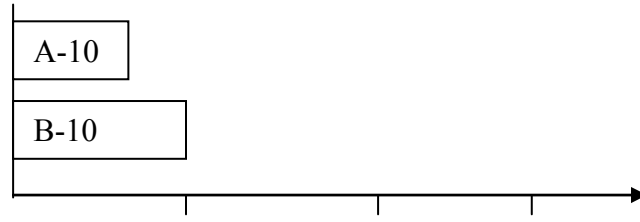


Şekil 3.5 Atama tablosu 3

Sonucu elde edilir. Burada ilk olarak hangi işin yerleştirileceği ili ilgili değişiklikler yapılarak çeşitli çizelgeler oluşturulabilir. Fakat yine de pek çok muhtemel alternatif gözden kaçırılmış olur.

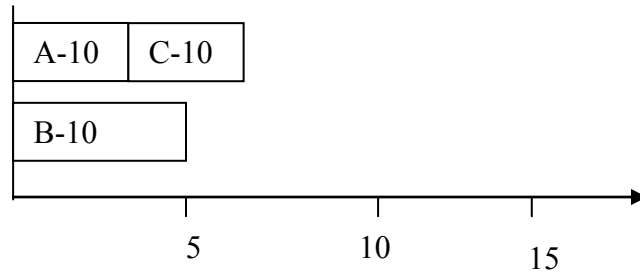
Simülasyon esaslı bir yaklaşımla aynı işlerin çizelgelenmesinde ise şöyle bir sonuca ulaşılır:

Önce A-10 ve B-10 operasyonları yüklenir.



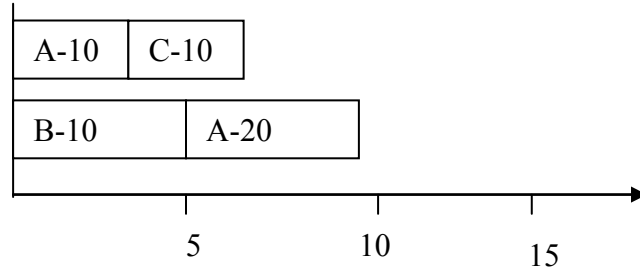
Şekil 3.6 Atama tablosu 4

A-10 operasyonu bitene kadar herhangi bir yükleme yapılamaz. A-10'un bitişi ile birlikte birinci kaynağa yüklenebilecek bir operasyon varsa yüklenir. Örneğin C-10 yüklenebilir.



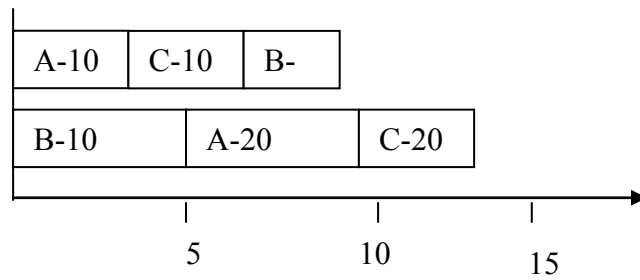
Şekil 3.7 Atama tablosu 5

B-10 bitişiyle de ikinci kaynağa A-20 yüklenir.



Şekil 3.8 Atama tablosu 6

Aynı şekilde B-20 ve ardından C-20 yüklenir.



Şekil 3.9 Atama tablosu 7

Simülasyon esaslı sıralamada ilk adım yüklenebilecek tüm operasyonları yüklemektir. Daha sonra simülasyon zamanı tamamlanan ilk operasyonun bitiş zamanına gelince yüklenebilecek diğer operasyonlar yüklenir. Bu yaklaşım ikine göre daha esnektir ve ilkinde gözden kaçmış bazı alternatifleri de incelemesi bakımından da üstündür. Burada operasyonlar rasgele seçilip atanmış olsa da daha önce belirtilen kurallar da bu atama işlerinde önceliği belirlemek için kullanılabilir.

### **3.4. Diğer Üretim Planlama ve Çizelgeleme Yaklaşımları**

Günümüzde işletmeler üretim planlama ve kontrol fonksiyonunu sistem yaklaşımı ile ele almak zorundadırlar. ÜPK faaliyetlerinin bir bütün olarak ele alınması sonucunda sistemlerin ana hatları ortaya çıkmaktadır. İşletmelerin özelliklerine göre bu sistemlerin detaylarında bazı farklılaşmalar göze çarpmakta, ancak ana yapı temelde fazla değişiklik göstermemektedir.

Genelde üç aşamadan bahsedilebilir. İlk aşama işletmeye genel olarak yön veren faaliyetleri kapsar. Bir yerde imalat planlama ve kontrolü ile ilgili firma amaçlarının belirlenmesini kapsar.

İkinci aşama ayrıntılı kapasite ve malzeme planlamasını gerçekleştirecek sistemler bütünüdür.

Üçüncü aşama ise iş merkezlerinde bulunan tüm iş emirleri için öncelikleri belirleyen bir çizelgeleme sistemidir. Çizelgeleme imla edilen tüm parçalar için yürütülmesi gereken bir öncelik çalışmasıdır.

Fakat detaylarda değişiklikler olmaktadır. Bu bölümde belli başlı bazı teknikler genel olarak tanıtılmaya çalışılacaktır.

#### **3.4.1. Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP I) ve Üretim Kaynakları Planlaması (MRP II)**

MRP I üretim planlama ve kontrol sisteminde ikinci aşamada yer alan bir sistemdir. Amaç doğru parçayı doğru zamanda ve doğru miktarda temin etmektir. Talebin değişken olduğunu varsayar, stok boşalmasını ortadan kaldırmaya çalışır. Sistemin işleyebilmesi için her ürüne ait gerçekçi talep tahminlerinin yapılması ve her ürün ve alt montajın ürün ağaçlarının hazırlanması gerekir. Kitle üretimi yapan ve montaj hatları bulunan işletmelerde iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

MRP II malzemeler dışındaki diğer üretim kaynaklarını da içerecek şekilde MRP I' in geliştirilmesi ile oluşmuştur. Yani kapasite planlama ve maliyet planlama modüllerinin eklenmesi gerekir.

MRP II sisteminde iki aşamada ihtiyaç çizelgeleri değerlendirilir. İlk aşamada ana üretim planı, darboğaz üretim alanları bazında kaba kapasite analizine tabi tutulur. Uyumsuzluk varsa planda düzetmeler yapılır. İkinci aşamada malzeme ihtiyaç çizelgeleri, kapasite ihtiyaç planlaması olarak tanımlanan modülde detaylı kapasite analizine tutulur. Uyumsuzluk halinde düzeltmeler yapılacaktır.

MRP I/II sistemlerinin uygulamasında söz konusu olan temel sorunlar alanları şöyledir.

#### 1- Veri Tabanı ve Veri Toplama

- ✓ Ürün ağacı bilgilerinin eksikliği/yanlışlığı
- ✓ Ana üretim planının yetersizliği
- ✓ Envanter verilerinin eksikliği/ yanlışlığı
- ✓ Maliyet muhasebesi verilerinin eksikliği/ yanlışlığı

#### 2- Yönetim Yaklaşımı

- ✓ Bu sistemlerin yeni bir yönetim yaklaşımı olarak algılanmaması
- ✓ Uygulama çalışmalarının, bir proje kapsamında ele alınmayışı
- ✓ Üst yönetimin bu proje katılım ve desteğinin tam sağlanamayışı

#### 3- Teknik Problemler

- ✓ Bilgisayar donanım ve yazılımın seçimi
- ✓ Seçilen sistemin işletme koşullarına adaptasyonu
- ✓ Güncelleme sistemleri
- ✓ Bellek kısıtları

#### **3.4.2. Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP)**

Kurumsal Kaynak Planlaması işletmenin stratejik amaç ve hedefleri doğrultusunda müşteri taleplerini en uygun şekilde karşılayabilmek için farklı coğrafi bölgelerde bulunan tedarik, üretim ve dağıtım kaynaklarının en etkin ve verimli bir şekilde planlanması, koordinasyonu ve kontrol edilmesi fonksiyonlarını bulunduran bir yazılım sistemidir. Söz konusu planlama, koordinasyon ve kontroldeki temel ilke ve sistematik Üretim Kaynakları Planlaması (MRP II) ile aynıdır. Aralarındaki temel fark MRP II 'nin tek bir fabrikaya, ERP 'nin ise daha ziyade birden çok fabrikaya ve tesisin entegrasyonuna yönelik olmasıdır. ERP birden fazla

fabrikada veya tesiste çalışan MRP II sistemlerini entegre ederek bu entegrasyondan gerekli bilgileri üretir ve daha üst ve merkezi faaliyetler düzeyinde koordinasyon sağlar.

MRP II sistemlerinde başarılı olmuş işletmelerde ERP de etkin sonuçlar verir. Çok tesisli üretim ortamlarında, tesis yöneticilerinin kendi birlerinde etkin kararlar verebilmesi için tüm topluluğu ilgilendiren temel bilgileri ERP Sistemleri sağlar. Bu amaçla tüm tesislerin bir şebeke halinde birbirine bağlayarak bilgi alışverişini etkin bir düzeye getirmesi gerekmektedir

### **3.4.3. Tam Zamanında Üretim Sistemleri (JIT)**

“Tam Zamanında Üretim” terimi Japon Toyota Firmasının düzgün üretim akışı sağlamak ve israfları elemek amacıyla geliştirdiği yaklaşıma verilen isimdir.

Bu yaklaşım malzeme planlama kontrol sisteminden çok daha kapsamlı bir içeriğe sahiptir. Bu yaklaşımda amaç, ürün ya da süreçte sürekli iyileştirmeler yapma çabasının yerleştirilmesidir. Özellikle de envanter düzeylerinin azaltılması Japonlar için sürekli bir amaç olarak benimsenmiştir. Japon yöneticiler envanterlerini kayalarla dolu bir göldeki suya benzetirler. Envanterler suyun kayaları sakladığı gibi işletmedeki maliyet yaratan unsurları (muda) gizlerler. Envanterler sistemli olarak azaltıldığında, esas problemler su yüzüne çıkmaya başlar ve bu problemlerin çözülmesi mümkün olur. Böyle bir yaklaşımın uygulanabilmesi için çok disiplinli bir yönetim gereklidir.

Tam zamanında üretim sistemini destekleyen bir alt sistem olan Kanban sistemi ise bir malzeme planlama ve kontrol sistemidir. Kanban Japonca bir kelimedir ve kart anlamına gelir. Üzerinde üretilecek parça ile ilgili bilgiler bulunur.

Kanbanı sistemin yaratıcısı olan Ohno Tam zamanında üretime ulaşmak için bir araç olarak tanımlamış ve bu kağıttan kartların üretimi bilgisayar programlarından çok daha düzgün akmasını sağladığının altını çizmiştir.

Kanban çekme esasına dayanır. Her operasyon ihtiyacı olan malzeme ve/veya parçaları bir önceki iş istasyonundan ister. Bu istek kanbanlarla iletilir. Kanban sisteminin uygulanabilmesi için uyulması gereken bazı kurallar vardır.

1. Bir proses ihtiyaç duyduğu parçaları bir önceki prosesten kanban yollayarak çeker.
2. Bir önceki süreç kanbanda belirtilen miktarda üretim yapar.
3. Parçalar kanban olmadan üretilmez ve taşınmaz

4. Ürünler her zaman bir kanban formu iliştilir.
5. Hatalı ürünler bir sonraki sürece gönderilmez.
6. Hassasiyet arttığında kanban sayısı azaltılır.

Kanban üretimin akış yönünün tersine hareket ederek her prosesin önceki prosten ihtiyaç duyduğu parçaları bildirip bunların temin edilmesini sağlayarak üretimi düzenler. Kanban sayısının sınırlı olması ve kanbansız üretim yapılamayacağı ilkesi ihtiyaçtan fazla veya önce üretim yapılması engellenir.

Çekme sitemini uygulayabilmek için işletmede çok köklü değişiklikler gereklidir. Hatta bu değişiklikler işletme ile de sınırlı değildir. Gerçek anlamda bir çekme sistemi kurabilmek için tedarikçi firmalarında çekme ilkelerine göre çalışmaları gerekir. Tam zamanında sevkiyat sorunları çözmek yerine büyüttüğü görülmüş; bunun yerine tedarikçi firmaların da tam zamanında üretim yapabilecek hale gelmesi gerekli olmaktadır.

#### **3.4.4. Optimum Üretim Teknolojileri**

OPT, bir işletmedeki tüm iş merkezleri için öncelik ve kapasite kısıtlarını göz önüne alarak optimuma yakın iş çizelgelerini hazırlar. Bu sistemde amaç, kritik (darboğaz) tezgahların kullanımını maksimize ederek üretim miktarını artırmak, buna karşılık süreç içi envanter düzeyleri ile tezgâh hazırlık zamanlarını en aza indirmektedir.

UPK yaklaşımı göz önüne alındığında OPT sisteminin daha çok bir atölye kontrol sistemi olduğu ve üçüncü aşama faaliyetlerinin gerçekleştirilmesine yönelik olarak geliştirildiği görülecektir.

Bu durumda OPT sisteminin uygulanabilmesi için öncelikle 1'inci ve 2'nci aşama faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi, üretim planı ve ana üretim çizelgesinin hazırlanmış ve malzeme ihtiyaçlarının belirlenmiş olması gereklidir. Bu amaçla MRP yaklaşımını kullanarak malzeme ihtiyaçlarını planlamak ve daha sonra OPT sistemini devreye sokmak mümkündür. OPT sistemi toplam üretim miktarının darboğaz tezgâhlar tarafından kısıtlandığı görüşü üzerine geliştirilmiştir. Bu görüşe göre darboğaz tezgahların verimli kullanımı ile çıktının artırılması mümkündür. Bu nedenle OPT sistemi atölyedeki tezgahları darboğaz tezgâhlar ve darboğaz olmayan tezgahlar olarak ikiye ayrılır ve bu iki grupta işlerin çizelgelenmesi için farklı yaklaşımlar kullanır.

OPT yaklaşımında parti büyüklüklerinin hesaplanması, bugüne kadar kullanılan klasik yöntemlerden farklıdır. Bugüne kadar üretimde istenilen artışın elde edilebilmesini de bu

klasik yöntemlerdeki varsayımlara bağlar. OPT sisteminde partiler transfer partisi (bir operasyondan diğerine taşınan miktar) ve süreç partisi (atölyeye çıkarılan toplam miktar) olarak tanımlanır. Ayrıca bu parti büyüklükleri değişkendir. Bir operasyondan diğerine farklı değerler alabilirler.

OPT sistemi bu farklı parti miktarlarını kendi hesaplar ve darboğaz tezgâhlar için zaman içinde ileriye doğru çizelgeleme yaklaşımını kullanarak üretim miktarını maksimize eder.

OPT sistemi genelde her işletme içinde bulunan üretim verilerini kullanır. Baka bir deyişle, sistemin kullanılabilmesi için özel veri tabanlarının oluşturulması gerekli değildir. Sistem ayrıca her işin ekonomik parti büyüklüklerini de belirler.

Ancak sistem, envanter düzeyleri, ürün yapıları, rotalama tezgah hazırlık zamanları ile operasyon zamanlarına ilişkin oldukça ayrıntılı verilere ihtiyaç duyar. Sistem özellikle darboğaz olan tesislerin üzerinde durur, bu tesisler için detaylı planlama çizelgeleri hazırlar, sıkışıklık olmayan tezgah ve süreçler için ise daha genel planlama yapar.

OPT etkinlik, işletme kapasitesi, süreç içi envanter düzeyleri, tezgah hazırlık zamanları, fason imalat ve güvenlik stokları gibi faktörlere ilişkin verileri de göz önüne alarak bu verileri 9 boyutlu bir grafik üzerinde işleyerek optimuma yakın bir kombinasyonun oluşturulmasına sağlar.

Personeli 300 civarında olan işletmelerde, OPT sistemi birkaç ay içinde uygulanabilir, ufak değişiklikler için sistemin yeniden düzenlenmesi gerekmez. (Bilindiği gibi, MRP sistemi her değişimin sisteme yüklenip gerekli düzeltmenin yapılmasını gerektirir.)

OPT oldukça hızlıdır, 30 saniyede 1000 adet iş talimatını hazırlayabilir. Sistemi hazırlayanlar, OPT' nin detaylı çizelge hazırlama konusunda MRP sisteminden 100 kat daha hızlı olduğunu ileri sürmektedirler.

Ancak kullanıcılar, sistemin büyük parti miktarlarında üretim yapan, ürün çeşitliliğinin az ve üretim sürecinin az sayıda operasyondan oluştuğu sistemler için uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Bugün dünyada 100 kadar firmada OPT sistemi kullanılmaktadır. Kullanıcı firmaların çoğunda ise ciddi kapasite sorunları olduğu ve üretim süreçlerinin 5-40 iş merkezinden oluştuğu belirtilmiştir.

M and M/Mars Şekerleme Firması ilk OPT kullanıcıları arasındadır. Firma OPT sayesinde, bazı iş merkezlerinin çıktı miktarında % 15'lik, tüm üretim miktarında ise % 5'lik bir artış olduğu bildirmişlerdir.

General Motors Firmasına ait bir işletmede ise OPT uygulaması, etkin üretim çizelgelerinin hazırlanmasını sağlamıştır. Yeni sistemin uygulanması üç ay içinde tamamlanmış, süreç içi envanter düzeyinde % 30'luk bir azalma kaydedilmiş ve 140 gün olan envanter düzeyi 80 güne indirilmiştir.

Indiana' da bulunan Austenal Laporte Firması ise, gaz türbini motor parçalarının üretimi için OPT yaklaşımını uygulamıştır. Söz konusu parçaların üretim süreci, her bir ürün için 120 operasyondan oluşan 15 aşamadan meydana, gelmektedir. Dökme parçalarının kullanıldığı birimlerde ise döküm hatalarını düzeltmek amacıyla 25 adet ek operasyon gerekmektedir. Bu üretim sürecinde karşılaşılan ana sorunları ise; değişken fire oranları, değişken tezgâh hazırlık zamanları ve değişken ürün bileşimidir. İşletme, OPT sistemini uygulayarak mevcut işletme kapasitesini değerlendirmiş ve e müşteri servisinde olumlu gelişmeler elde etmiştir.

OPT yaklaşımının uygulanması aşamasında yöneticilerin ve personelin tutumlarının değiştirmeleri beklenmez. MRP sisteminin uygulanmasında bir ön koşul olan örgütsel destek bu sistem için gerekli değildir. Ancak yine de sistem uygulayıcılarının yaratıcı olmaları ve işletme içinde parça malzeme hareketini yavaşlatan uygulamaları belirleyebilmeleri gereklidir.

OPT sisteminin tam bir değerlendirmesini yapabilmek için henüz çok erkendir. Sonuçların tam olarak alınabilmesi için daha bir kaç yıllık süreye ihtiyaç olduğu gözükmemektedir.

### **3.4.5. Periyodik Parti Kontrolü**

Periyodik Parti Kontrolü Grup Teknolojisinin üretim sistemlerine kazandırdığı avantajları (düşük WIP stok ve işlem süresi gibi) yakalamak için önerilen bir üretim planlama ve kontrol sistemidir.

Parti üretimi yapan firmalar hem verimli ve hem de esnek üretim yapabilmek için küçük parti hacmi uygulamak zorundadırlar. Bunu başarmanın bir yolu üretim sistemlerini GT prensiplerine göre yeniden düzenlemektir. GT parçalar arasındaki benzer imalat ve tasarım özelliklerine dayanır. Başarılı GT uygulamaları, hazırlık sürelerinde önemli azalmalar gibi pek çok yararlı sonuçlar doğursa da başarısız olan çok sayıda uygulama olduğu da bilinmektedir. Bu başarısızlıkların temel sebebi çok çevrimli MRP tarzı planlama ve kontrol sistemlerinin GT uygun olamayışdır.

Bu uyumsuzluk hücreye farklı çevrimlerde gönderilen parçaların farklı yüklemelerdir. (Kaku) bu yükleme farkları bir ürün grubundan diğerine farklılık gösterir. Burbidge (1988) benzer çevrime sahip ürünlerin beraber üretimiyle bu problemin aşılabileceğini ifade etmektedir.



Ayrıca Hyer ve Wemmerlöv (1982) yüklemeleri dengelemek için metotlar olsa da ürün ailelerine dayanan parti hacmi anlayışının MRP içerisinde otomatik olarak bulunmasının mümkün olmayacağını ifade etmiştir.

PPK planlama dönemini eşit parçalara bölmeye başlayan tek çevrimli bir planlama ve kontrol sistemidir. Üretim planlama dönemi N eşit evreye bölündükten sonra her evreye eşit zaman (P) verilir. P uzunluğundaki bir evrenin sonunda, o evrede yapılan işler bir sonraki evreye transfer edilirken ; bir önceki evreden gelen işler yapılmaya başlanır.

Her evrede hücreler bir sonraki evrenin ihtiyacını üretmektedir. Bu faaliyetleri tamamlamak için gerekli olan süre periyodu aşmamalıdır. Bu yolla PPK üretimin çeşitli evrelerindeki faaliyetleri senkronize hale getirmektedir. Senkronizasyon sonucunda düzgün bir akış ve şeffaf bir üretim planı oluşabilir.

PPK uygulayabilmek için

- ✓ Her evredeki operasyonları bitirebilmek için yeterli kapasite olmalıdır.
- ✓ Bir evrede her partiyi bitirmek mümkün olmalıdır.
- ✓ Kapasite verimli bir şekilde (örneğin hazırlık sürelerini düşürerek) kullanılmalıdır.

Toplam üretim planlama zamanı T ise bu durumda

$$T = N * P \quad (3.30)$$

olmaktadır. N ve P ile ilgili nasıl bir seçim yapılacağı konusunda literatürde çok fazla bilgi bulunmamaktadır.

Yukarıda ifade edilen PPK ile ilgili temel noktalarda Burbidge bir periyottaki tüm üretim faaliyetlerinin bilindiği ve periyot süresinin belirlendiğini varsaymaktadır. Bu nedenle Burbidge önce her evrenin içeriğini, sonra da Periyot uzunluğunu (P) belirler.

Zelenovic ve Tesic öncelikle P'yi ürün ağacı, üretim programı vs yardımıyla belirleyip operasyon gruplarını daha sonra belirlemektedir. Fakat genel olarak öncelikle evre sayısını (N), daha sonra periyot uzunluğunu (P) belirlemek söz konusudur.

N' nin değişimi stok miktarı ve maliyetler üzerinde önemli etkiler yapmaktadır. Burbigde'e göre N temelde kaçınılmaz proses evrelerine bağlıdır. (Riezibos 19997) . bunun sonucu olarak evre sayısının artması ile T artacaktır ki bu istenmeyen bir durumdur.

Periyot uzunluğu P ile ilgili olarak Burbidge bu seçimin kısa bir periyodun kazançlarıyla – esnekleşen üretim, düşen stoklar gibi – kayıplarını – artan hazırlık süreleri gibi- dengeleme sorunudur.

Kısa üretim periyodu ile daha belirli taleplere göre daha esnek üretim yapılabilecektir. Fakat bununla beraber uzun bir periyotla imalatın verimliliği artacak, daha az hazırlık süresi, maliyet avantajları olacaktır.

Bu durumda özet olarak azalan P, T' yi azaltacaktır. Aynı şey N içinde geçerlidir. Fakat N' yi P' ye tercih etmenin ya da tersinin ne gibi avantajları olacağı ise aşağıda irdelenmiştir.

Evre sayısı N'ye karar verirken imalatın içerdiği kaçınılmaz prosesleri incelemek her evredeki koordinasyonun karmaşıklığı ile ilgili bir bilgi vermemektedir. Fakat evre = proses evreleri türünden bir yaklaşım aynı evre içindeki hücrelerin pek çoğunun diğerlerine parça göndermesine neden olabilir. PPK bu tarz bir sıralı koordinasyona izin vermemektedir.

PPK en tipik özelliği çevrimsel yapısıdır. Her periyotta işler başlar ve yine bu periyotta biter. Eğer periyot uzunluğu düşer ve işlerin bir kısmı o periyotta bitirilemezse, bu işler önceki proste normalden daha fazla beklemek zorunda kalacak ya da sonraki prosesin işleri için daha sık durmak zorunda kalacaktır. Bu tarz başlangıç-bitiş faaliyetleri için gerekli zaman P' den bağımsızdır. Bu nedenle bu faaliyetler net kapasitedeki azalışla karşılanır. Buna başlangıç/bitiş etkisi adı verilmektedir.

Benzer bir etki hazırlık zamanı etkisi olarak bilinmektedir. P her ürün için gerekli yıllık üretim çevrimi sayısını belirler. Bir h ürünü için talebin ( $D_h$ ) periyotlara eşit yayılırsa

$$Q_h = D_h * P \text{ olur.} \quad (3.31)$$

P azalırsa ( $q_h$ ) parti hacmi de azalacaktır. Fakat proses tüm h ürünleri için hazırlanmak zorundadır. Toplam periyot başına düşen hazırlık zamanı sabit kalacaktır. Fakat aynı şekilde net kapasite ve bolluk azalacaktır.

Eğer  $N * P = T$  sabit düşünülürse bu durumda N ve P den birisinin artması diğerinin azalması sonucunu verecektir. Aşağıdaki tabloda N ve P 'nin büyük olduğu durumlarda üretim istemindeki pozitif etkileri özetlenmiştir.

Eğer hücrelerin yükleri zamanla çok değişiklik göstermiyorsa, hazırlık sürelerinin de parça/ürü ailelerinin kullanımıyla azaltılarak PPK ile oldukça iyi çizelgeler elde edilir. Proses hacminden küçük transfer hacmiyle de PPK , JIT üretim sistemleriyle kolayca birleştirilebilir.

### 3.4.6. Uygun Sistemin Seçimi

Bu bölüme kadar incelenen sistemlerin genel bir değerlendirmesi yapıldığında şöyle bir sonuç ortaya çıkacaktır: Üst düzey yöneticileri bu sistemlerin karmaşık yapıları, gerektirdikleri büyük mali yatırımlar ve büyük veri ihtiyacı gibi özellikleri bir ölçüye kadar göz ardı edebilirler. Ancak bu sistemlerin başarılı olmasının ana koşulu, personelin alıştığı çalışma yöntemlerinin ortaya çıkardığı kısıtların göz ardı edilmemesi gereklidir. Bu nedenle, yöneticiler personellerine yeni çalışma yöntemlerine alıştırmak zorundadırlar. Bu amaçla, bazı yöneticiler personellerine aşağıda belirtilen konularda gerekli eğitimleri vermeye başlamışlardır.

- ✓ İşletme düzeyinde, gerçekleşen olaylara, göre sistemin sürekli ve doğru olarak güncellenmesi ihtiyacı
- ✓ Hassas kayıt tutma alışkanlığı kazandırılması,
- ✓ İşletme düzeyinde, malzemelerin hareketi ile ilgili olarak fiziksel envanter ve stok kontrolü, parça malzeme ve alt montajların alımı ve dağıtımı konusunda katı disiplin kurallarının geliştirilmesi ihtiyacı.

Bazı firmalar, bu yeni sistemlerle birlikte işletme düzeyinde danışmanlık servisleri kurmuşlar ve personelin eğitimi için öncelikle konu hakkında deneyimli uzmanlardan yararlanmışlardır. Daha sonra her firma kendi bünyesinde ortaya çıkan sorunları kendi olanaklarıyla çözümleme yoluna gitmiştir; çünkü yöneticilerin çoğu, işletmelerin kendi problemlerinin çözümünde sadece danışmanlara güvenmenin başarısızlık ve hayal kırıklığı getirdiğine inanmaktadırlar.

Kısaca, bilgisayara dayalı planlama sistemlerinin uygulanmasında ortaya çıkan ortak sorun, personelin bu sistemlere uyum sağlaması olarak özetlenebilir. Bu konuda, karşılaşılan sorunlar ise şunlardır:

- ✓ Yöneticiler bu sistemlerle ilişkili olacak olan personeli nasıl güdüleyecektir ?
- ✓ Yöneticiler, personelin işletme düzeyinde gerçekleşen olaylara ilişkin verileri doğru ve zamanında sisteme yükleyip yüklemeyeceğini nasıl denetleyeceklerdir?
- ✓ Yöneticiler, yöntemler, örgüt yapısı, bilgi akışı, maliyet muhasebesi vb. fonksiyonlarda ortaya çıkan önemli değişimleri personele nasıl kabul ettireceklerdir?

Kanban yaklaşımında, endirekt olarak bu problemlerin çözümüne bünyesinde içermektedir. Belki de bu nedenle, Kanban kullanıcılarının çoğu, olumlu sonuçlar rapor etmektedir. Kanban, oldukça basit ve saydam bir sistemdir. Sistemi yaşatan, işletmenin kendi personelidir ve alınan sonuçlar, gelişmeleri personelin isteyerek kabul ettiğini göstermektedir.

MRP sisteminin uygulanmasında personelin yaratıcılığından yararlanılmaz. Dolayısıyla sistem, personelin güdülenmesi ve iş tahmini gibi öğeleri bünyesinde içermez. Belki de bu nedenle sistem kullanıcılarının % 90'ı alınan sonuçlardan memnun değildir.

OPT sistemi, yapısal olarak MRP sistemi kadar katı değildir. Yaklaşım, kullandığı veri sistemlerinde belirli bir ölçüye kadar hataları tolere eder ve personel daha az katı kurallara uymak zorundadır. OPT sisteminde, üst düzey yöneticileri, nihayet muhasebesi, çalışma yöntemleri vb. konularda gerekli düzenlemeleri yaparken personel sorunları da endirekt yoldan çözümlenmiş olur.

Periyodik parti kontrol ise itme ve çekme sistemleri arasında bir geçiş niteliğine olan ve hücresel imalat yapan işletmeler için öne çıkan bir tekniktir. Diğer sistemlerde olduğu gibi bazı varsayımları vardır ve bu varsayımların işletme için kabul edilebilir olması sistemin başarısı için önemlidir.

Özetle şunu söyleyebiliriz:

Şu ana kadar anlatılan her sistem kendi çerçevesi içinde doğrudur ve düşük maliyet, yüksek kalite, zamanında üretim amaçlarına ulaşılmasını sağlar. Yöneticiler kendi sistemlerine en uygun yöntemi seçmek durumundadır. Hatta hangi sistemin seçileceğine karar vermek de yeterli olmamaktadır. Aynı sistemin farklı işletmelerde aynı şekilde uygulanmasının mümkün olmadığı düşünülürse, yöneticiler çalışanlarla birlikte kendilerine özgü yönlerini de bu sisteme katmak durumundadır.

### 3.5. Çizelgeleme Yazılımları ve Sınıflandırılması

1950 'li yıllardan itibaren çizelgeleme konusu ile ilgili pek çok makale, kitap, yayın vs yayımlanmıştır. 1980'lerin sonlarında çizelgeleme problemine iyi çözümler verebilen paket programlar çıkmaya başladı. İlk çıkan yazılımlar Sonlu Kapasite Çizelgeleme özelliğine sahipti. İyi çözümler üretebilmelerine rağmen simülasyon tabanlı bu paketlerin çalışması uzun zaman gerektirmekteydi. Fakat bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişme bu sorunu da çözmüş oldu. Artık çözümler birkaç dakikalık bilgisayar zamanıyla elde edilebilmektedir.

Tüm paketlerde çizelgeleme için birkaç temel metot bulunmaktadır. Çizelgeleme metotlarıyla ilgili kabul edilmiş bir standart hala bulunmasa da dört temel metottan bahsedilebilir.

- ✓ İş Çizelgeleme (Algoritmik)
- ✓ Kaynak Tabanlı
- ✓ Simülasyon

### ✓ Optimizasyon

İş Çizelgeleme en basit yöntemdir. Bir kurala göre işler seçilir ve seçilen işin tüm operasyonları çizelgelenir. Paket bu şekilde tüm işleri çizelgeler. Çok çeşitli seçim kuralları kullanılabilir. Karmaşık ve birleşik kurallar da kullanılabilir de çoğunlukla statik kurallar kullanılmaktadır. Yukarıdaki örnekte de açıklandığı gibi yüksek çevrim zamanları olan ve bazı boşluklar içeren çizelgeler oluşturur.

Kaynak bazlı çizelgeleme daha ziyade kısıtların üzerine oturmaktadır. Burada amaç ilk önce sistemde darboğaz yaratan kaynakların çizelgelenmesidir. Geri kalan operasyonlar ileri ve geri yönlü çizelgeleme teknikleri kullanılarak çizelgelenir. Bu metot, eğer sistemin darboğazları doğru tespit edilmişse iyi sonuçlar verebilmektedir. Fakat çözüm süresi paketten pakete göre değişebilmektedir.

Simülasyon yaklaşımı şu anki zamandan başlayarak mümkün tüm yüklenebilecek tüm operasyonları yükler. Daha sonra sistemde değişme olduğu duruma atlar. Ve yüklenebilecek operasyonları yükler. Ayrıntısı yukarıdaki örnekte açıklandığı gibi daha az sayıda boşluk içerirler. Operasyonların seçimi kaynak bazlı ya da dinamik kurallarla yapılabilir.

Optimizasyon metodu bazı paketlerde bulunmaktadır. Metodun başarısı izin verilen çözüm süresine ve ilgili paketin modülünün kalitesine direkt bağlıdır. Burada altı çizilmesi gereken nokta bu tür paketlerin optimal çözümü araştırdığı fakat bunu garanti etmediğidir.

Planlama ile çizelgeleme arasında tanım olarak farklılıklar olsa da, birbirini tamamlayan konulardır. Planlama ile çizelgelemenin sıkı bir şekilde entegre edilmesi ihtiyacı yazılımların değişik yaklaşımları desteklemesi sonucunu ortaya çıkarmıştır.”İleri planlama ve çizelgeleme” (APS) yazılımlarını bu anlamda 3 genel kategoriye sokmak mümkündür.

### 3.6. Network Tabanlı Modeller

Network tabanlı APS yazılımları, müşteri siparişleri ve bu siparişlerin üretim sistemi içinde izledikleri rotalara ağırlığın verildiği bir yaklaşım sergilerler. Network tabanlı sistemler, sistem içersindeki tüm siparişlerin global anlamda izlenmesini sağlayarak, çakışmaların önlenmesini ve performans kriterlerinin global düzeyde iyileştirilmesi üzerinde yoğunlaşır. Çalışma mantığı yukarıdan aşağıya doğrudur. Yani çizelgeleme işlemi sipariştten operasyonlara doğru ilerler. Sipariş girilir girilmez, malzeme ve kapasite ihtiyaçları belirlenir ve seçilen kurala göre kaynaklara atanır ve bu işlemler her sipariş girişinde tekrarlanır.. Son yıllarda ortaya çıkan çizelgeleme yazılımlarının büyük çoğunluğu ağırlıklı olarak bu metodu kullanmaktadırlar.

Networks tabanlı APS yazılımlarının en büyük avantajı, üretim sistemindeki öncelik/önem sorunlarını global düzeyde çözebilmesi, ileride ortaya çıkabilecek darboğazları belirleyebilmesi ve siparişleri senkronize edebilmesidir.

Bu metodu kullanan APS yazılımlarının bazılarında “çoklu geçiş” (multiple pass) mantığı kullanılmıştır. Örneğin, sisteme bir sipariş veya iş girildiğinde önce malzeme ihtiyacı belirlenir daha sonra kaynak kısıtlarına göre kapasite ihtiyacı belirlenir, bu aşamada herhangi bir problem çıkarsa tekrar malzeme ihtiyaç aşamasına dönülür. Bu işlem malzeme ve kapasite planlaması dengelenene kadar devam eder.

Bazı network tabanlı APS sistemlerinde çoklu geçiş sistemi yerine tek bir geçiş kullanılır. Yani sipariş veya iş girildiğinde, malzeme ihtiyacı ve kapasite ihtiyacı aynı anda her bir operasyon için belirlenir.

İş merkezlerinin (work centers) çok büyük önem arz etmediği sistemlerde network tabanlı APS yazılımları büyük avantaj sağlar. Sipariş usulü çalışan (make-to-order) sistemlerde, müşterinin taleplerine hızlı karşılık verebilme konusunda tek geçiş mantığı, çoklu geçiş mantığına göre daha uygundur.

### **3.7. Simülasyon Tabanlı Modeller**

Bu kategorideki APS yazılımlarında üretim sisteminin tamamına global düzeyde bakmak yerine, spesifik lokal hedefleri gerçekleştirebilmek için belirli iş istasyonları üzerine yoğunlaşılır. Lokal hedeflerin global önceliklerden daha önemli olduğu sistemlere daha uygundur. Çalışma mantığı aşağıdan yukarıya doğrudur. Bir veya birden fazla iş istasyonu için lokal öncelikler belirlenir ve geriye kalan diğer işler sıralanır. Makinelerin boş kalmasının maliyetinin yüksek olduğu üretim sistemlerinde, belli istasyonların mümkün olduğunca tam kapasite sürekli çalışmasının istenildiği durumlarda simülasyon tabanlı APS sistemleri kullanmak avantajlıdır. Bu yaklaşımda, belirli iş istasyonları için en yüksek kapasite kullanımına ulaşılması hedeflenir. Bu yaklaşımın dezavantajları ise şunlardır; Lokal optimum durumu, sistemin global anlamda optimum olması anlamına gelmediği gibi global düzeyde daha kötü olmasına bile sebebiyet verebilir. Müşteri taleplerine hızlı cevap verebilmek, üretim sistemindeki değişikliklere kolay adapte olabilmek bu mantıkta biraz daha zordur.

### **3.8. Matematiksel Modelleme**

Matematiksel modeller “optimum sonuç” sunmayı hedeflerler. Sinir ağları, dal-sınır algoritması, doğrusal programlama, dinamik programlama, genetik algoritmalar, yapay zeka

ve kişisel (heuristic) iterasyonlar bu sistemlere örnek olarak verilebilir. Optimum çözümü sunmak gibi bir avantaj sunmalarına karşın, üretim sistemlerindeki değişkenlikler, bu tür modellerin bilgisayar üzerinde olsa bile çözümünün uzun zaman alması, yanlış model kurma riski gibi dezavantajları vardır. Yaygın olarak pek kullanılmayan bu yaklaşım, genellikle üretim sisteminin stabil olduğu, özellikle sürekli olay bazında üretim yapan sistemlerde (içecek üreticileri, pipeline sistemlerinin kullanıldığı işletmeler) başarıyla uygulanmıştır. Siparişe göre üretim yapan ve sistemin sık değiştiği işletmelere çok uygun bir yaklaşım değildir.

Son yıllarda geliştirilen bazı gelişkin APS sistemleri hem network hem de simülasyon yaklaşımını aynı anda destekleyebilmektedirler. Burada amaç hem global hem de lokal düzeyde bir veya birden fazla kriteri iyileştirebilmektir.

#### 4. ARIZA MODELİ İÇERMEYEN SEZGİSEL ALGORİTMALAR

Endüstride ki uygulamalar ve gerçek hayatta karşılaşılan çizelgeleme problemlerini mümkün olduğunca gerçek şartlardan uzaklaşmadan çözümleyebilmek, optimum değerleri elde edebilmek için son yıllarda sezgisel algoritmalar üzerinde yapılan çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. Sezgisel algoritmalar daha spesifik konular üzerinde çalışır, genelde bir kaç noktaya odaklanarak problemi çözmeye çalışır. Klasik optimizasyon teknikleri gibi genel geçer kurallar, rutin işlemler içermez. Her konuya, şartı bağlı olarak değişkenlik gösterirler. Hal böyle ki, sezgisel algoritmalar giderek gelişmekte, her yeni çalışma sonrasında gerçekleri simüle edebilmek adına önemli adımlar atılmaktadır.

Diğer taraftan sezgisel algoritmalar gerçeği ne kadar simüle etmeye çalışırsa bir o kadar kompleks bir yapıya sahip olmakta, optimum çözümün bulunması zorlaşmaktadır. Bu nedenle, sezgisel algoritmalarda genellikle bir kaç amaç fonksiyonu belirlenir ve bu fonksiyonu etkileyen değişkenlerden o sistem için önemli olanları probleme dahil edilir. Etkisi daha az olduğu düşünülen veya probleme dahil edildiğinde problemi içinden çıkılamaz bir hale getirdiği görülen değişkenler ihmal edilir veya belli bir değerde kabul edilirler.

Çizelgeleme konusunda ki optimize edilecek en önemli kriterler, en kısa işletim süresi, gecikme gibi değişkenler iken, sistemi ters yönde zorlayan etkiler ise arıza, bakım, setup sayısı olmaktadır.

Bu bölümde iki adet sezgisel çizelgeleme algoritması incelenmiştir. Bu çalışmalar, bu tezin konusu olan çok amaçlı paralel tezgahlarda çizelgeleme başlığında olup, arıza durumlarını ihmal etmektedir.

##### 4.1. İş bölümlere ve sıralı setup zamanı içeren paralel tezgahlar için verimli bir sezgisel yaklaşım

Bu makalede paralel tezgahlarda işletim süresini minimize etmeyi amaçlayan, sıralı setup zamanı ve iş bölümlere içeren, basitleştirilmiş bir gerçek hayat çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Bu problemi çözmek için sezgisel bir yaklaşım ön görülmüştür. Yöntem iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde problem sıralı setup zamanı içeren tek makine çizelgeleme problemine dönüştürülmüştür. Bu sadeleşmiş problem Little yöntemiyle kolayca çözümlenebilecek bir Gezici Satıcı Problemi (TSP : Traveling Salesman Problem) 'ne dönüştürülebilir. İkinci bölümde, birinci bölümün sonuçlarından faydalanarak orijinal problem için bir başlangıç çözüm elde edilmiştir. Bu başlangıç çözüm, setup zamanlarını ve iş bölümlerini hesaba katarak adım adım mantığıyla geliştirilmiştir. Burada bir alt sınır



geliştirilmiş ve rastsal olarak sağlanan çok miktarda örnek ile sezgisel yaklaşımın performansı değerlendirilmiştir. Bu sezgisel yaklaşımın verdiği sonuç alt limitten % 4.88 daha düşüktür.

#### 4.1.1. Giriş

Bu çalışmadaki problemde paralel tezgahlarda, bir tezgahta farklı parçalar arasında geçiş yapılırken bir setup süresi oluşan bir yapıdadır. Setup zamanları sıraya bağlıdır. Her bir iş bölümlere ayrılabilir ve bu bölümler paralel olarak farklı tezgahlarda işlenebilir. İş bölümlerine ile önallım arasındaki fark iş bölümlerine ile aynı işin farklı kısımları farklı makinelerde eş zamanlı olarak işlenirken, önallım işin bir bölümü aynı işin diğer bir bölümü bitmeden işlenememesidir. Problem gerçek yaşamdaki örneklerin basitleştirilmiş hali olarak düşünülmüştür. Problem tekstil endüstrisinde olduğu gibi ürün tamamen aynı tezgahta işlenmekte ve her bir çeşit üretimin hacmi oldukça büyük olmaktadır ki bu her partinin hatırı sayılır bir değeri olduğunu gösterir. Bu durumda, bireysel ürünler düşünmek aşırı derecede büyük bir problem ile sonuçlanacaktır. Diğer taraftan, bir parça tipinin tezgahdaki işlemi bittiğinde, tezgahın diğer tip için uygun donanımlar ile hazırlanması gerekmektedir. Bu da sıraya bağlı setup zamanını oluşturmaktadır. Bu çalışmadaki amaç işletim süresini minimize etmektir ki bu da sistemden çıkış oranını maksimize etmek ile aynıdır.

#### 4.1.2. Problemin Tanımı

Problemde,  $N$  adet birden  $N$ 'e kadar indekslenmiş olan iş  $M$  adet birden  $M$ 'e kadar indekslenmiş olan eş tezgaha çizelgelenecektir. Bir iş bölümlere ayrılabilir ve bir bölüm herhangi bir tezgah tarafından işlenebilir. Bununla birlikte, bir tezgah  $i$  işinden ( $i=1,2,...,N$ )  $j$  ( $j=1,2,...,N, j \neq i$ ) işine geçebilir. Setup zamanı  $S_{ij} \geq 0$  oluşmaktadır. Genelliği kaybetmeden,  $S_{ij} = 0$  ( $i = 1,2,...,N$ ) olarak belirlenir.  $I$  işini proses süresi ( $i=1,2,...,N$ )  $p_i > 0$  olarak verilmiştir.  $Q_{i,m}$ ,  $i$  işinin  $m$  tezgahında işlenen bölümüdür. Bu nedenle

Herhangi bir ( $i=1,2,...,N$ ) için  $\sum_{m=1}^M Q_{i,m} = p_i$  olacaktır.

Teorik olarak, bir işin birden fazla bölümü farklı tezgahlarda işlenebilir. Bununla birlikte bu olasılığın bizi daha iyi bir sonuca götürmediğini bir sonraki bölümde göreceğiz. Bu nedenle, bir tezgahta bir işin en fazla bir bölümü olacaktır.

Eğer  $C_i$   $i$  işinin tamamlanma süresini gösterirse,  $i$  işinin biten son bölümünün tamamlanma zamanındaki kriter

$$\text{Minimize } C_{\max} = \max_{1 \leq i \leq N} C_i \quad (4.1)$$

$D_m$  bir  $m$  tezgahının işi bitirme zamanı olsun. Buradaki kriterimi şu ifadeyi minimize etmek olacaktır

$$C_{\max} = \max_{1 \leq i \leq M} D_m \quad (4.2)$$

Burada  $D_m$   $m$  tezgahına atanan işlerin ve setup sürelerinin toplam uzunluğunu belirtmektedir. Birinci erim hangi işin işlendiği sırasına bağlı değilken ikinci terim için bu geçerli değildir.

Eğer bir işin bir bölümü çizelgenin en başında yer alırsa herhangi bir setup oluşmayacağı kabul edilmiştir. Bir çizelge tamamlandığında tüm makineler koruyucu bir bakımdan geçmektedir. Bu koruyucu bakım sırasında tezgahlar bir sonraki durum için setup yapmaktadır. Bu varsayımla, sıfırıncı iş için,  $S_{0,j} = 0$  ve  $S_{j,0} = 0$  'dır.

Bundan başka, setup zamanlarının üçgensel özellik gösterdiği varsayılmaktadır. Farklı herhangi  $i, j$  ve  $k$  işleri için  $S_{i,j} + S_{j,k} \geq S_{i,k}$ . Bu varsayım kısıtlayıcı değildir çünkü aksi takdirde  $i$  işinden  $k$  işine geçebilmek için ara bir  $j$  işi tanımlamak gerekecektir.

#### 4.1.3. Sezgisel Model

Her bağımsız paralel tezgahlarda çizelgeleme problemi gibi bu problem de iki karardan oluşmaktadır: (i) işlerin tezgahlara atanması; ve (ii) her tezgahın atanmış işler ile çizelgelenmesi. Bu problemdeki atama, iş kısımlarının tezgahlara atanmasından oluşmaktadır.

Başlangıç çözüm tez tezgah çizelgeleme problemini  $M$  eşit parçaya bölerek elde edilir. Tek tezgah problemini çözerek iyileştirilmiş bir çizelge daha elde edilir. Bu yeni çizelgede, tüm tezgahlar aynı anda işi bitirmez. İşletim zamanı en geç bitiren tezgahın süresi olarak alınır (bu tezgah kritik tezgah olarak adlandırılır). Bu nedenle, işletim zamanını azaltmak için kritik tezgah üzerindeki bazı bölümleri azaltmak ve aynı işin diğer bölümlerini diğer tezgahlarda arttırmak gerekmektedir. Bu durumda, tek tezgah çizelgeleme problemlerini çözmek gereksiz olacaktır, çünkü kritik tezgahtaki azalan iş kısmı yok olmadıkça işlem sıraları optimal kalacaktır. Kritik tezgahtaki bitiş zamanını azaltabilmek için başka bir tezgahta yeni bir iş kısmı yaratmak gerekecektir. Bu durumda, bu yeni atamayı içeren tek tezgah çizelgeleme probleminin çözülmesi gerekecektir.

Daha bir çok nokta daha göz önüne alınmalıdır: (i) kritik tezgahtaki hangi işler azaltılacak ? ve (ii) hangi tezgahtaki işler artmalıdır ?

İdeal olarak, tüm tezgahlar aynı anda işi bitirir. Bu nedenle en erken biten işin tezgahtaki süresini uzatmaya çalışıyoruz. Eğer bu tezgah ile kritik tezgah arasında ortak bir iş var ise, kritik tezgahtaki ortak işlerin birini azaltmak ve aynı işi diğer bir makinede yapmak yeterli

olacaktır. Artan ve azalan bu işler neredeyse aynı anda bitmelidirler. Eğer bu iki tezgah arasında ortak bir iş yok ise kritik tezgahdaki bir işi azaltmak başka bir tezgaha yeni bir iş tanımlamayı gerektirecektir. Bu da adı geçen tezgahta ekstra bir setup yaratmış olacaktır. Bu durumdan kaçınabilmek için, kritik tezgahla ortak işi olan ve işini en kısa sürede bitiren tezgahı işini uzatmaya çalışmak tercih edilmektedir. Ayrıca hiç bir tezgahın ortak iş içermediği durumlar da olabilir. Bu durumda ise, kritik tezgahı azaltmak için yeni bir iş tanımlamak gerekiyorsa tanımlanır. Bu nedenle en erken biten tezgahın bitiş zamanını arttırmaya çalışılır. Aktarılan iş mümkün olduğunca diğer tezgaha az setup oluşturmalıdır. Özetlemek gerekirse tüm algoritma aşağıdaki gibidir.

*Adım 1.* sadece tek bir tezgah varmış gibi bir  $C^{(1)}$  değeri hesaplanır. Bu problem satıcı problemine dönüştürülebilir ve Little (1963) algoritması ile çözülebilir.

*Adım 2.* Adım 1’de elde edilen çizelge  $M$  eşit parçaya bölünür.  $\left[ (m-1)C^{(1)}/M, mC^{(1)}/M \right]$  zaman aralığında atanan iş bölümleri  $m (m = 1, 2, \dots, M)$  tezgahına atanır. ,

*Adım 3.* İlgili satıcı problemini çözerek atanan işlerle her bir tezgah yeniden çizelgelenir. Burada  $D_m$  makine  $m (m = 1, 2, \dots, N)$  ‘nin bitiş zamanıdır.

*Adım 4.* kritik tezgah  $m^*$  belirlenir. En son bitiren tezgah:

$$m^* = \arg \max_{1 \leq m \leq M} D_m$$

*Adım 5.*  $E, m^*$  ile ortak işlere sahip olan tezgah setidir. Eğer  $E = \emptyset$ , Adım 8’ e gidilir.

*Adım 6.*  $m', E$  tezgahları arasında en erken biten tezgah ve  $J, m^*$  ve  $m'$  tezgahlarındaki ortak iş seti olsun. Eğer  $D_{m'} = D_{m^*}$ , Adım 8’e gidilir.  $i^* J$  içindeki, bir bölümü  $m^*$  ‘da işlenmiş en kısa iştir.

*Adım 7.*  $\Delta = \min \left\{ \frac{1}{2} (D_{m^*} - D_{m'}), Q_{i^*, m^*} \right\}$  göre  $Q_{i^*, m^*}$  arttırılır ve  $Q_{i^*, m'}$  azaltılır.  $m^*$  ‘ın  $m'$  ‘nın sırasıyla bitiş zamanları aynı  $\Delta$  miktarı kadar artar ve azalır. Eğer  $i^*$  işi tezgahdan tamamen yok olursa  $m^*$  tezgahı yeniden çizelgelenir. Bu çizelgeleme satıcı problemi gibidir. Adım 4’e gidilir.

*Adım 8.*  $\mu$  en erken bitiren tezgah olsun ve  $i^* m^*$  ‘da işlenmiş olan burada  $\mu$  tezgahında yeni bir iş olsun. Bu durumda bir setup oluşur ve  $D_\mu$  yeni setup zamanıyla tezgahın bitiş zamanı olsun. Eğer  $D_\mu \geq D_m$  ise durulur.

*Adım 9.*  $\delta = \min\left\{\frac{1}{2}(D_{m^*} - D_{\mu}), Q_{i^*, m^*}\right\}$  ile  $Q_{i^*, m^*}$  azaltılır ve  $Q_{i^*, \mu} \cdot m^*$  ve  $\mu$  tezgahlarının bitiş zamanları sırasıyla  $\delta$  kadar artmış ve azalmıştır. Eğer  $i$  işi tezgahı tamamen alındıysa  $m^*$  tezgahı yeniden çizelgelenir. Bu tek tezgah problemi satıcı problemine dönüştürülebilir. Adım 4'e gidilir.

Adım 6'da  $m^*$  'daki en kısa ortak işi azaltmayı seçmiştik, çünkü bu yolla, bu işin  $m^*$  'dan tamamen yok olması olasılığı en yüksek olacaktır.

Çizelge 4.1 Proses zamanları

| $j$   | 1   | 2  | 3   | 4   | 5   | 6   |
|-------|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| $p_j$ | 271 | 70 | 130 | 497 | 407 | 110 |

Çizelge 4.2 Setup zamanı matrisi ( $S_{i,j}$ )

| $i / j$ | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1       | $\infty$ | 1        | 2        | 3        | 1        | 1        |
| 2       | 3        | $\infty$ | 4        | 2        | 2        | 2        |
| 3       | 5        | 6        | $\infty$ | 3        | 4        | 3        |
| 4       | 3        | 4        | 5        | $\infty$ | 2        | 2        |
| 5       | 2        | 2        | 4        | 3        | $\infty$ | 2        |
| 6       | 3        | 3        | 3        | 4        | 3        | $\infty$ |

#### 4.1.4. Görsel örnek

Burada  $N= 6$  iş,  $M=3$  tezgah olan bir çizelgeleme problemini ele alıyoruz. İşlerin proses süreleri Çizelge 4.1 'te verilmiştir. Bu işler arasındaki setup süreleri ise Çizelge 4.2'te matris halinde verilmiştir. Metot bir satıcı problemini çözmek ile başlar. Sadece setup zamanlarını hesaba katarak Little algoritması kullanılır. Buradan elde edilen iş sırası 6-2-5-1-3-4, ve  $C^{(1)} = 1696$  'dır.

Çözümün alt sınırı ise  $LB = 496$  'dır ve  $(S_{*,1}, S_{*,2}, S_{*,3}, S_{*,4}, S_{*,5}, S_{*,6}) = (2,1,2,2,1,1)$  'dır.

Çizelge 4.3 Başlangıç çözüm

| $m$ | Sıra $S_m$ | Adet $Q_j$    | Tamamlanma Zamanı $C_j$ | Bitiş Zamanı $D_m$ |
|-----|------------|---------------|-------------------------|--------------------|
| 1   | 2-5-6      | 70-314.67-110 | 70-385.67-497.67        | 497.67             |

|   |       |               |                     |        |
|---|-------|---------------|---------------------|--------|
| 2 | 5-1-3 | 92.33-271-130 | 92.33-365.33-497.33 | 497.33 |
| 3 | 4     | 497           | 497                 | 497    |

Çizelge 4.4 Bir adım sonraki çözüm

| $m$ | Sıra $S_m$ | Adet $Q_j$   | Tamamlanma Zamanı $C_j$ | Bitiş Zamanı $D_m$ |
|-----|------------|--------------|-------------------------|--------------------|
| 1   | 2-5-6      | 70-314.5-110 | 70-385.5-497.5          | 497.5              |
| 2   | 5-1-3      | 92.5-271-130 | 92.5-365.33-497.5       | 497.5              |
| 3   | 4          | 497          | 497                     | 497                |

Çizelgeleme sonucu paralel tezgahlar için elde edilen başlangıç çözüm Çizelge 4.3'te verilmiştir. Her  $m$  tezgahı için,  $D_m$  bitiş süresini,  $Q_{j,m}$  iş kısmı süresini ve onun  $C_{j,m}$  tamamlanma zamanını göstermektedir. Birinci iterasyon için,  $D_1 = 497.67$  ve  $m^* = 1$  'dir.  $m^*$  ile ortak işe sahip olan tezgah seti  $E = \{2\}$  'dir. Sonra seçilen tezgah  $m' = 2$  'dir. Buradaki ortak işi seti  $J = \{5\}$  'tir. Tekrar adreslenen iş  $j^* = 5$  'tir ve  $\Delta = \min\left\{\frac{1}{2}(D_{m^*} - D_{m'}), Q_{i^*,m^*}\right\} = 0.17$  'dir. Birinci iterasyon sonunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5'te verilen çözümün final  $C^H$  değeri 497.5 'tir. Alt sınır ile olan fark % 0.3'tür.

Burada Tmp milisaniye olarak ortalama işlem zamanını ve Ort.Boş (%) ise yüzde olarak optimal boşluk miktarını göstermektedir. Optimal boşluk, alt limite göre toplam süredeki sapmadır.

Çizelge 4.5 Hesaplanmış sonuçlar

| $N$ | $M$ | Grup    | 1            | 2            | 3           | 4           | 5           |
|-----|-----|---------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|     |     | $[A,B]$ | $[0.01,0.1]$ | $[0.05,0.1]$ | $[0.1,0.2]$ | $[0.1,0.5]$ | $[0.2,0.5]$ |

|    |   |            |        |        |        |        |        |
|----|---|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 40 | 2 | Tmp        | 7042   | 19293  | 23057  | 13140  | 20149  |
|    |   | Ort.Boş(%) | 0.69   | 2.65   | 4.49   | 5.19   | 10.70  |
|    | 3 | Tmp        | 9251   | 17391  | 20013  | 13426  | 18387  |
|    |   | Ort.Boş(%) | 0.80   | 2.66   | 4.55   | 6.05   | 10.07  |
|    | 5 | Tmp        | 8098   | 13624  | 15053  | 10248  | 13079  |
|    |   | Ort.Boş(%) | 0.73   | 2.69   | 4.80   | 6.15   | 10.68  |
| 50 | 2 | Tmp        | 15086  | 51379  | 61456  | 34650  | 61703  |
|    |   | Ort.Boş(%) | 0.66   | 2.68   | 4.53   | 6.03   | 10.13  |
|    | 3 | Tmp        | 25439  | 52217  | 54140  | 35556  | 48936  |
|    |   | Ort.Boş(%) | 0.87   | 2.69   | 4.58   | 6.13   | 10.27  |
|    | 5 | Tmp        | 18302  | 36996  | 38307  | 25600  | 34918  |
|    |   | Ort.Boş(%) | 0.69   | 2.74   | 4.67   | 6.15   | 10.79  |
| 70 | 2 | Tmp        | 73576  | 144606 | 146223 | 163147 | 356099 |
|    |   | Ort.Boş(%) | 0.67   | 2.25   | 5.07   | 5.20   | 10.76  |
|    | 3 | Tmp        | 124067 | 146963 | 128817 | 167411 | 282422 |
|    |   | Ort.Boş(%) | 0.88   | 2.26   | 5.13   | 5.29   | 10.91  |
|    | 5 | Tmp        | 89260  | 104125 | 91145  | 120535 | 201521 |
|    |   | Ort.Boş(%) | 0.70   | 2.30   | 5.23   | 5.30   | 11.46  |

#### 4.2. Tezgah maliyetini ve iş gecikmesini minimize etmek için iş çizelgeleme ve paralel tezgah seçimi

Son yıllarda, paralel tezgahlarda çizelgeleme problemi bir çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Genel bir paralel tezgah çizelgeleme probleminde, bir set bağımsız iş belirli bir iş tamamlama süresini karşılayacak şekilde belli sayıdaki tezgah için çizelgelenmektedir. Paralel tezgahlarda en çok kullanılan amaç fonksiyonlarından birisi toplam ağırlıklı iş gecikmesini minimize etmektir. Bu makalede, paralel tezgah çizelgeleme problemi, potansiyel tezgahlardan seçim yapmayı da içine alan geniş bir çerçevede incelenmiştir. Problem, tezgahları seçmek ve seçilmiş tezgahlara iş kümelerini çizelgelemektir. Seçilmiş tezgahlara işleri çizelgelemek paralel tezgah çizelgeleme problemidir. Seçim ve çizelgelemeyi amacı toplam tezgah elde tutma maliyeti ve toplam geciken işlerden doğan ceza maliyetlerini minimize etmektir. Bu problemi çözmek için, öncelikle kombinasyonu dayalı bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Model sıradan bir paralel tezgah çizelgeleme probleminin genişletilmiş halidir. Bu nedenle aynı zamanda bir NP-Hard problemidir. Eğer problemin boyutu büyürse bu problemi brute-force algoritması ile çözümlenmeye çalışmak hiç verimli bir yöntem olmayacaktır. Bu çalışmada, optimal ve yarı optimal çözümler bulmak için Tabu araması tabanlı bir sezgisel arama algoritması geliştirilmiştir. Tabu arama mekanizması belirli tezgahlara çizelgelenmiş işler çözüm aralığında arama prosesini kontrol

etmek için tasarlanmıştır. Sezgisel algoritma ise daha büyük boyutlu problemler için geliştirilmiştir.

#### 4.2.1. Problemin tanımı ve model geliştirme

$N$  bağımsız iş kümesi ve  $K$  adet tezgah düşünelim. Eğer bir tezgah herhangi bir işi işlemek üzere seçilirse, bir tezgah maliyeti oluşacaktır. Genel anlamda, yüksek işleme kapasiteli bir tezgahın maliyeti düşük kapasiteli bir tezgahtan daha fazla olacaktır. Bir iş seçilen tezgahların birden fazlasında işlenebilir. Proses süresi eğer farklı tezgahlarda iş işleniyorsa farklılık gösterebilir. Farklı tezgahlardaki farklı proses süreleri, o iş için tezgah kapasitelerinin farklı olduğunu gösterir. Bir iş bir tezgahta işlenmek üzere belirlendiğinde, iş tamamlanana kadar o tezgahta kalacaktır. İş önalımına izin verilmemektedir. İşler için teslimat zamanları belirlenmiştir ve eğer teslimat süresi hedef süresi aşarsa bir ceza oluşacaktır. Tezgah seçimi ile iş çizelgeleme kararlarını entegre etmek için, tezgah maliyetini minimize etmek ve geciken işlerden kaynaklanan ceza maliyetlerini minimize etmek amacıyla kombinasyonel bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Optimizasyon modelinin matematiksel ifadesinden önce notasyonları belirleyelim.

#### 4.2.2. Problemin parametreleri

$i, j = 0, 1, \dots, N$  işleri göstermektedir. 0 işi o tezgahtaki ilk işi göstermektedir.

$K$  tezgah indeksi,  $k = 1, \dots, K$

$P_{i,k}$   $i$  işinin  $k$  tezgahında işlenmesinde oluşan  $p_{0k}$  proses süresidir.

$\beta_k$  tezgah elde tutma maliyeti  $k, k = 1, \dots, N$

$w_j$   $j, j = 1, \dots, N$  işine atanan gecikme ceza ağırlığı

$d_j$   $j, j = 1, \dots, N$  işinin teslim zamanı

#### 4.2.3. Karar değişkenleri

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{eğer iş } j \text{ tezgah } k \text{ 'daki işi} \\ & \text{Hemen arkasında ise } i=0, \dots, N, j=1, \dots, N, k=1, \dots, K \text{ ve } j \neq i \end{cases}$$

0 Aksi taktirde,

(4.3)

$$y_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{eğer iş } j \text{ tezgah } k \text{ 'ya atanmış ise} \\ 0 & \text{Aksi taktirde, } j=1,...,N, k=1,...,K \end{cases}$$

(4.4)

$$z_k = \begin{cases} 1 & \text{eğer tezgah } k \text{ seçilmiş ise} \\ 0 & \text{Aksi taktirde, } k=1,...,K \end{cases}$$

(4.5)

$C_i$   $i$  işinin tamamlanma zamanıdır ve  $C_0$  sanal bir işi her tezgahın başlangıcında sıfır proses zamanı ile yer alır.

Yukarıdaki bu notasyonları kullanarak, paralel tezgah seçimi optimizasyon modeli ve iş çizelgeleme problemi açıklanacaktır.

#### 4.2.4. Paralel tezgah seçimi ve çizelgeleme problemi (PMSSM)

$$\text{Min } T_c = \sum_{k=1}^K \beta_k z_k + \sum_{i=1}^N w_i \max\{0, C_i - d_i\} \quad (4.6)$$

$$\text{S.t. } \sum_{i=0, i \neq j}^N \sum_{k=1}^K X_{ijk} = 1, \quad j = 1, \dots, N, \quad (4.7)$$

$$\sum_{i=0, i \neq j}^N x_{ijk} = y_{jk}, \quad j = 1, \dots, N, \quad k = 1, \dots, K, \quad (4.8)$$

$$\sum_{i=0, i \neq j}^N x_{ijk} \leq y_{ik}, \quad j = 1, \dots, N, \quad k = 1, \dots, K, \quad (4.9)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{0jk} \leq z_k, \quad k = 1, \dots, K, \quad (4.10)$$

$$C_j + M_1(1 - x_{ijk}) \geq C_i + p_{jk}, \quad C_0 = 0, \quad j = 1, \dots, N, \quad i = 0, \dots, N, \quad i \neq j \quad (4.11)$$

$$x_{ijk}, y_{jk}, z_k = 0, 1; C_i \geq 0, \quad j = 1, \dots, N, \quad i = 0, \dots, N, \quad k = 1, \dots, K \quad (4.12)$$

PMSSM modelinde, (4.6) denklemi iki bileşenden oluşan amaç fonksiyonudur. Birinci terim makine elde tutma maliyetidir ve ikinci terim toplam ağırlıklı iş gecikme ceza maliyetidir. Bu



amaç fonksiyonu sistem maliyeti ile ceza maliyeti arasındaki dengeyi yansıtmaktadır. (4.7) denklemi bir işin sadece ve sadece bir tezgahta işlendiğini garanti eder. (4.8) denklemi  $j$  işinin  $k$  tezgahına yerleştirilmesi halinde başka bir işi takip edeceğini gösterir. (4.9) denklemi eğer  $i$  işi,  $i \neq 0$ ,  $k$  tezgahında işlenirse, bu tezgahta en fazla bir iş tarafından takip edilecektir. (4.10) denklemi ilk iş olan sanal 0 işini bir işin hemen takip etmesi için sistemi zorlar. (4.11) denkleminde,  $M_1$  pozitif çok büyük bir sayıdır. Bu denklem, sıfır proses zamanı olan başlangıç işi ile ilgili olan fakat sanal olmayan işlerin tamamlanma zamanlarını belirtir. (4.12) denklemi karar değişkenlerinin durumlarını belirtmektedir.

#### 4.2.5. Görsel Örnek

Bu bölümde, PMSSM modeli kullanılarak LINDO optimizasyon yazılımı yardımıyla üç küçük ölçekli örnek problem çözülmüştür. Örnekler verilen şartlarda makine maliyeti ceza maliyeti dengesini, makine seçimi ve çizelgelenmesini göstermektedir. Bu problemlerde kullanılan verilen çizelgelerde gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 Teslim zamanları  $d_i$  (örnek 1-3)

|        | $d_1$ | $d_2$ | $d_3$ | $d_4$ | $d_5$ | $d_6$ |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Termin | 20    | 30    | 40    | 55    | 60    | 65    |

Çizelge 4.7 Proses zamanları  $p_{ik}$

| $p_{ik}$ | Makine 1 | Makine 2 | Makine 3 |
|----------|----------|----------|----------|
| İş 1     | 15       | 17       | 12       |
| İş 2     | 12       | 14       | 10.5     |
| İş 3     | 20       | 24       | 18       |
| İş 4     | 25       | 28       | 22       |
| İş 5     | 30       | 33       | 27       |
| İş 6     | 30       | 33       | 27       |

Çizelge 4.8 Makine elde tutma maliyeti  $\beta_k$

|           | Makine 1 | Makine 2 | Makine 3 |
|-----------|----------|----------|----------|
| $\beta_k$ | 50       | 40       | 60       |

Çizelge 4.9 Ceza ağırlıkları  $w_i$  (örnek 1-3)

| $w_i$   | İş 1 | İş 2 | İş 3 | İş 4 | İş 5 | İş 6 |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| Örnek 1 | 1.0  | 1.0  | 2.0  | 2.0  | 1.0  | 1.0  |
| Örnek 2 | 1.0  | 1.0  | 2.0  | 2.0  | 1.0  | 4.0  |
| Örnek 3 | 1.0  | 1.0  | 0.2  | 2.0  | 0.1  | 1.0  |

Çizelge 4.10 Optimal sonuçlar (örnek 1-3)

|         | $T_c$ | En iyi seçim / iş çizelge şeması                                                       |
|---------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Örnek 1 | 104.5 | M.2: 4 $\Rightarrow$ 5; M.3: 1 $\Rightarrow$ 2 $\Rightarrow$ 3 $\Rightarrow$ 6         |
| Örnek 2 | 105.0 | M.1: 1 $\Rightarrow$ 3 $\Rightarrow$ 6; M.2: 2 $\Rightarrow$ 4 $\Rightarrow$ 5         |
| Örnek 3 | 82.05 | M.3: 1 $\Rightarrow$ 2 $\Rightarrow$ 4 $\Rightarrow$ 6 $\Rightarrow$ 3 $\Rightarrow$ 5 |

Örnek 1 ve 2 Çizelge 4.10 ‘da sonuçları verilmiştir. Örnek 1’de iş 6’nın ceza ağırlığı 1.0’dan örnek 2’de 4.0 ‘a çıkmıştır. Bu örnek 1’deki değerden çok farklıdır. İş 3 ve 5’in örnek 1’deki ağırlıkları 2.0 ve 1.0’dan örnek 3’te 0.2 ve 0.1 ‘e düşmüştür. Örnek 3’ün çözümü sadece 3. tezgahın tüm işleri yapabilmek için yeterli olduğunu göstermektedir. Bu örnekler göstermektedir ki, ceza ağırlıklarının dağılımdaki en küçük bir değişiklik tüm makine seçimi ve çizelgeleme tablolarının tamamen değişmesine sebep olabilmektedir.

#### 4.2.6. Yerel arama sezgisel algoritması

PMSSM problemi makine seçimini ve toplam ağırlıklı gecikme cezasını minimize etmeye çalışan genel paralel tezgah çizelgelemesinin geliştirilmiş bir halidir. PMSSM çözümlerindeki tecrübemize göre, direk çözüm metodu, örneğin tamsayılı programlamama metodu, üç tezgah ve altı işe kadar olan problemleri çözebilmektedir. Dal ve sınır metodu, dört tezgah ve on sekiz işe kadar çok iyi bir performans sergilemektedir. Bu bölümde, PC bilgisayarlarda çözümlenebilecek, en iyi veya iyiye yakın çözümü bulacak Tabu tabanlı bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir.

Tabu araması, Glover tarafından geliştirilmiştir. Kombinasyonel problemlerde yerel optimumun var olduğunda optimal veya optimale yakın noktayı bulmak içindir. Kısa dönem modunda, arama prosesi yerel optimum çözümün komşularını araştırmak suretiyle yerel

optimumdan kaçınmaya çalışır. Bu prosese dahil olan arama tarihçesi, en son uğranan çözüm alanları “Tabu” olarak adlandırılır. Tabu listesinde bu elemanları içeren ileriki adımlar hariç tutulmaktadır. Tabu mekanizması bu çözümlere geriye yönelik hareketler engeller. Ayrıca, eğer belirli bir amaca ulaşılmış ise bir hareketin Tabu listesi modifiye edilebilir. Bu modifikasyon arama prosesini daha umut verici bir yöne taşıyacaktır. Tabu arama algoritmasının adım adım prosedürünü anlatmadan önce, özel Tabu mekanizmamızın çeşitli konseptleri açıklanmaktadır.

- *Başlangıç çözüm.* Arama prosedürü bir başlangıç çözüm ile başlamaktadır. Doğru belirlenmiş bir başlangıç çözüm, prosedürün daha etkili ve daha verimli olmasını sağlar. Bir başlangıç çözüm atama problemi düşünelim (IJAP)<sup>7</sup>. IJAP tüm işleri verilen  $T_{ms}$  işletim zamanı ve minimum maliyet ile tamamlamayı hedefler. Burada  $T_{ms}$  ‘ye eşit veya küçük bir işletim zamanı olan bir çizelge şeması set edilerek elde edilir. IJAP probleminin çözümü  $T_{ms}$  parametresinin aldığı değerlere bağlıdır.  $T_{ms}$  parametresi mutlaka termin zamanları ile ilişkilendirilmelidir. Bu parametreyi set etmek ile, kısmi termin zamanı bilgisi IJAP modelinde tam olarak yer almış olacaktır. Pratikte,  $T_{ms}$  ile çözümlenen IJAP problemi termin zamanı ile ilişkili olan bir çok parametre ile set edilmektedir. Seçilen tezgahlarda, atanan işler en erken termin zamanına (EDD)<sup>8</sup> göre çizelgelenir. IJAP problemi LINDO gibi optimizasyon yazılımları ile kolayca çözümlenebilir. Bu çözüm, bu bölümde anlatılacak olan Tabu arama prosesini başlatmak için kullanılacaktır.

- *Çözüm sunumu.* PMSSM probleminin fisibil çözümü Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Burada  $N = \sum_{k=1}^K n_k$  olmak üzere,  $k$  tezgahına yüklenen  $n_k$  işlerinin çizelge şemasını ve seçimi görülmektedir. (2-5) denklemlerini doğrulayan herhangi bir fisibil çözüm bir özel çözüm sunumuna tekabül etmektedir.

- *Çözüm alanı oluşumu.* Tezgah seçimi ve iş çizelgelemesi için, komşu çözümler üretmede üç tip hareket kullanılmaktadır.

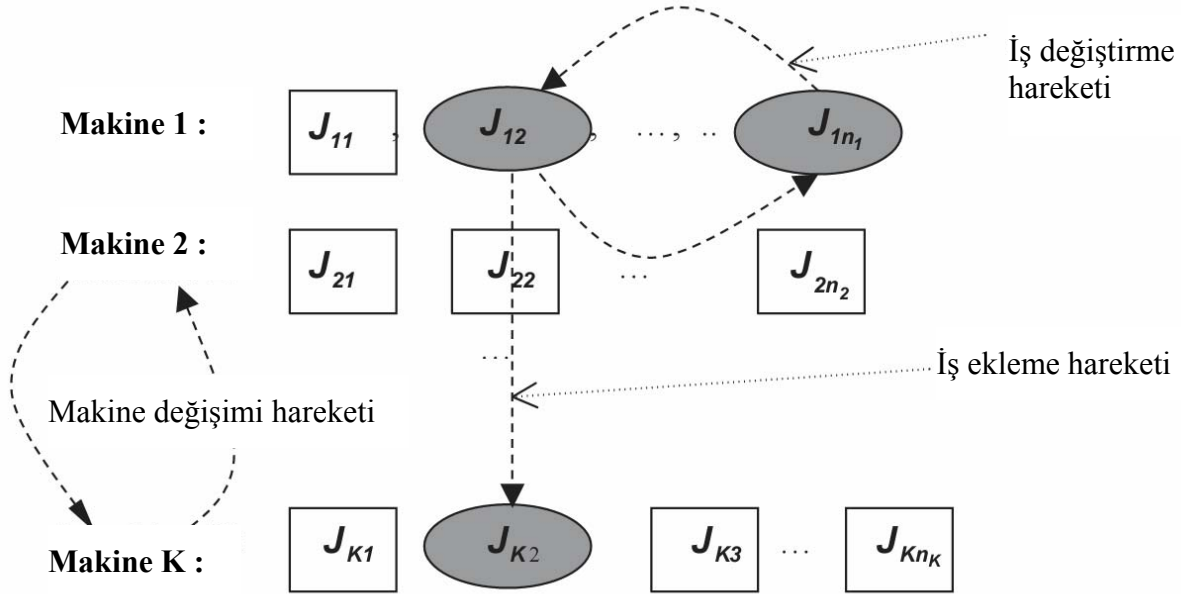
- o *Tezgah değişimi.* Tezgah değişimi hareketi belirli iki tezgahı tanımlar. Bu iki tezgah iş sıralarını değiştirmeye zorlamadan işleri değiştirir. Diğer tezgahlardaki iş sıraları aynı kalır.

---

<sup>7</sup> IJAP (Initial job assignment problem)

<sup>8</sup> EDD (Earliest due date)

- o *İş ekleme*. İş ekleme hareketi, Şekil 4.1’te görüldüğü gibi farklı tezgahlara yüklenmiş iki işi tanımlar. Birinci iş mevcut pozisyonundan alınır ve diğer tüm işler aynı kalacak şekilde ikinci işin hemen arkasına yerleştirilir.
- o *İş değişimi*. İş değişimi hareketi diğer tüm işler aynı kalırken, aynı tezgahdaki iki işin pozisyonlarının yer değişmesidir.



Şekil 4.1 Çözüm sunumu ve komşu oluşumu.  $j_{kl}$  :  $k$  makinesinde  $l$  pozisyonuna çizelgelenmiş iş ve  $n_k$  :  $k$  makinesine yüklenmiş iş sayısıdır.

$x = \{x_{ijk}\}$  fisibil çözümü Şekil 4.1’deki özel çözüme tekabül eder, burada  $x \rightarrow x'$  bir hareketi göstermektedir. Bu bir iş ekleme hareketi, iş değişimi veya tezgah değişimi hareketi olabilir.  $K$  ek sanal işleri ile, çözüm alanının boyutu  $N(K + N - 2) + K(K - 1)/2$  olacaktır.

- *Tabu sınıflandırması ve kısıtlaması*.  $(i,j,k)$  ‘yı  $k$  tezgahındaki  $i$  işi ve  $j$  işinin arasındaki alan ilişkisini gösteren bir yay olarak tanımlayalım.  $(i,j,k)$  yayı  $k$  tezgahında  $j$  işinin  $i$  işinin hemen ardından geldiğini gösterir.  $(i,j,k)$  yayı bir Tabu iken,  $(i,j,k)$  yayını içeren tüm çizelgeler de Tabu olacaktır. Bu tabu sınıflandırması belirlenen Tabu boyutu ile bir sonraki iterasyonda aynı  $k$  tezgahında  $j$  işinin tekrar  $i$  işinin ardından gelmesini engellemektedir. Seçilen tezgahta iş çevresi ilişkileri belirlemek Tabu arama prosedürünün özel bir özelliğidir çünkü farklı tezgahlardaki aynı iş ilişkileri eşit olarak alınmamalıdır. Seçilen tezgahı belirtmeden, aktif bir Tabu yayı  $(i,j)$  , farklı tezgahlara atanmış olsalar bile tüm yayları aynı  $(i,j)$  ilişkisi ile dışlayabilir. Tezgah seçimi işin içine girdiğinde bu dışlama etkin olmayacaktır. Bir hareket operasyonu gerçekleştirilmede, bu hareketin Tabu listesi şu şekilde belirlenir:

- o İş değıştirme hareketi veya iş ekleme hareketi, eğer bu hareket aktif bir Tabu yayı oluşturuyorsa bir Tabu'dur. Aksi takdirde bu hareket inaktif Tabu'dur.
- o Tezgah değışimi hareketi birkaç iş ekleme hareketinden oluşur. Tezgah değışimi hareketi eğer tezgah değışimi hareketindeki iş ekleme hareketlerinden birisi Tabu aktif ise Tabu aktif'tir. Eğer tezgah değışimi hareketindeki tüm iş ekleme hareketleri Tabu inaktif ise Tabu inaktif'tir.
- *Tabu mülkiyet modifikasyon kuralı.* Bir yay için Tabu mülkiyeti, bu yayın Tabu aktif kaldığı iterasyon sayısıdır. Bir hareket operasyonu gerçekleştirdikten sonra, bazı varolan yaylar kırılacaktır. Temel düşünce, son hareket eden yayların tekrar ortaya çıkmasından kaçınmaktır. Bu nedenle, Tabu listesini güncellerken, son kırılan yayların Tabu mülkiyetleri  $TL$  (Tabu liste boyutu) tarafından belirlenir. Bir iş ekleme veya tezgah değışimi hareketinden sonra, mevcut durumda bu işi elinde tutan tezgahla ilişkili olan tüm yayların Tabu mülkiyetleri  $TL$ 'ye set edilir. Bunu yapmakla, bir sonraki hareket amaç kriterini karşılamadıkça son hareket eden işlerin bir sonraki iterasyonlarda tekrar aynı tezgaha yüklenmeleri engellenmiş olmaktadır. Diğer tüm yaylar için, Tabu mülkiyetleri bir sayım ünitesi kadar azalmaktadır.
- *Amaç kriteri.* PMSSM modelindeki amaç fonksiyonu,  $T_c(x)$ ,  $x$  Tabu arama çözümünün amaç kriterini ölçmek için kullanılır. Eğer bir hareket  $T_c(x)$  verilen amaç kriterini aşarken Tabu aktif ise bu hareket yapılır.
- *Durma kriteri.* Tabu arama prosedürü önceden belirlenen iterasyon sayısına ulaşıldığında veya ardışık belirli sayıdaki iterasyondan sonra çözüm iyileşmiyor ise durur. Bu limitler arama prosesine başlamadan önce Tabu liste büyüklüğü ve problemin büyüklüğüne bağı olarak belirlenir. Bu araştırmadaki örnekte arama prosesi belirlenen iterasyon sayısına ulaşıldığından durmaktadır.

Yukarıdaki tanıtılan konseptler ve açıklamalar doğrultusunda, kısaca Tabu arama prosedürü aşağıdaki gibi gösterilebilir.

#### *Adım 1. (Başlangıç)*

$x^1$  başlangıç çözümünü elde etmek için IJAP iş atama problemini çöz.

Tüm yaylar için Tabu listesini belirle.

$T_c$  ve  $x^*$   $T_c$  ve  $x$  'in en iyi değerleridir. Bu değerler şu şekilde başlar

$$x^* = x^1 \text{ ve } T_c^* = T_c(x^1)$$

*Adım 2. (İteratif arama)*

- $x^\zeta$ ,  $\zeta, \zeta = 1, 2, \dots$  adımıdaki çözüm olsun.  $\hat{T}_c$ ,  $T_c(x)$  'in  $V(x^\zeta)$  aranırken erişilebilecek en iyi değeri olsun.  $\hat{x}, V(x^\zeta)$  'deki en iyi çözümdür. Burada  $T_c(\hat{x}) = \hat{T}_c$ ,  $\hat{T}_c$  başlangıç olarak  $\infty$  'a eşitlenir.

Herhangi  $x \in V(x^\zeta)$  için,

Eğer  $x^\zeta \rightarrow x$  hareketi Tabu değil ve  $T_c(x) < \hat{T}_c$ , veya  $x^\zeta \rightarrow x$  hareketi Tabu ve  $T_c(x)$  amaç kriterini aşıyor ise  $(T_c(x) < T_c^*)$ ,  $\hat{T}_c = T_c(x)$ ,  $\hat{x} = x$  ve  $x^{\zeta+1} = \hat{x}$

Eğer  $\hat{T}_c < T_c^*$  ise  $x^* = \hat{x}$  ve  $T_c^* = \hat{T}_c$  'dir.

*Adım 3. (Bitiş)*

Eğer bitiş kriterine erişildiyse durulur.

## 5. ARIZA MODELİ İÇEREN SEZGİSEL ALGORİTMALAR

Gerçek hayatta hiç bir insan yapısı sistem yoktur ki sürekli performansında bir şey kaybetmeden çalışsın. Bu elbette ki mümkün değildir. Her sistem bazı zamanlarda yavaşlamakta, en önemlisi arızalanmakta ve geçici olarak sistem dışında kalmaktadır. İşte çizelgeleme algoritmalarında genelde göz ardı edilen nokta arıza durumlarıdır. Çünkü arızaların ne zaman olacağı kesin olarak bilinemez, tamir süreleri değişkendir ve kesin bir değer belirlenemez. Bu nedenle araştırmacılar çizelgeleme algoritmalarında son yıllarda arıza oluşumlarının sisteme dahil edilebilmesi için çeşitli yöntemler geliştirmektedirler.

Bu bölümde arızaları göz önüne almayan veya, sabit bir sayı, yüzde olarak ifade eden araştırmalar kapsam dışında tutulmuştur. Aşağıda iki farklı arıza modeli yaklaşımı incelenmiştir.

### 5.1. Bakım –onarım aktivitesi içeren tek makine iş çizelgelemesi

Çizelgeleme alanındaki araştırmalar makinelerin sürekli sabit bir hızda çalıştığı varsayımı üzerinde kuruludur. Halbuki, endüstriyel uygulamalarda, makinelerin belli bir süre çalıştıktan sonra normal dışı bir davranış içine girmeleri oldukça genel bir durumdur. Bu makalede, bir elektronik parça montaj hattında karşılaşılan, tamir ve hız ayarlı bakım aktivitelerini içeren bir çizelgeleme problemi ile uğraşmaktadır. Bir makine verimli hızından daha düşük bir hızda çalışırken, üretim planlamacı makineyi durdurup bakım yapmak veya sonra bakım yapmak üzere devam etmek kararını verebilir. Eğer verilen karar bakım yapmadan devam etmek ise muhtemelen yakın zamanda bir arıza oluşacak ve acil tamir gerektirecektir. Her iki bakım ve tamir aktiviteleri makine hızını anormal durumdan normal duruma getirebilecektir. Bu nedenle, biz bunları hız-ayarlı aktiviteler olarak isimlendiriyoruz. Buradaki amaç, işleri eş zamanlı olarak sıralamak ve uygun performans ölçütlerini optimize etmek için bakım çizelgesi oluşturmaktır. Bu makalede, proses zamanı deterministik olarak kabul edilmiştir. Makine arızaları ise rastsal dağılım olarak ele alınmıştır. Burada iki tür proses ele alınmıştır; geri dönebilir ve geri dönemez. Amaç fonksiyonları olarak beklenen işlem süresi, toplam beklenen tamamlanma zamanı, maksimum beklenen gecikme belirlenmiştir.

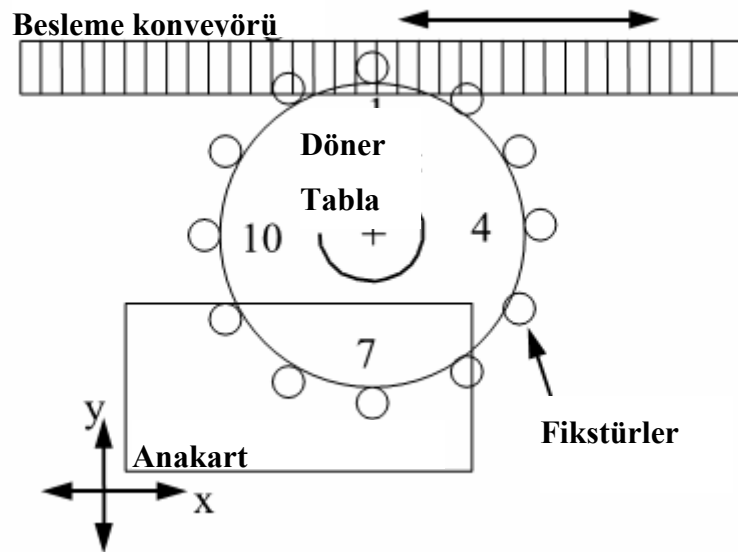
#### 5.1.1. Problemin tanımı

Makine çizelgeleme mevcut kaynakları optimum şekilde kullanarak işleri yapma problemi ile ilgilidir. Bu karar verme üretim sistemlerinde, servis hizmetlerinde ve bilgi işleme birimlerinde mevcuttur. Geçtiğimiz kırk yılda, çizelgeleme alanında bir çok makale

yayınlanmıştır. Bunların birçoğu makinelerin sabit hızda çalıştığını varsaymıştır. Aslında gerçek hayatta çalışan bir makine bir süre sonra normal durumdan uzaklaşacaktır. Notasyonel kolaylık açısından, düzeltme aktivitesini *bakım* olarak adlandırıyoruz. Diğer taraftan, yavaşlamaya başlayan makinenin bakımının yapılmadan devam edilmesi sonucu arızalanması sonucu yapılan aktiviteye is *tamir* diyoruz. Her ki tamir ve bakım aktivitesi makine hızını anormalden normale çevirebilmektedir.

Problemde,  $n$  adet işin tek bir tezgahta çizelgelemesi yapılacaktır. Her iş  $j, j=1, \dots, n$  bir teslim zamanı  $d_j$  ile ilişkilidir ve iki bilinen proses süresi  $p_j$  ve  $q_j$  sırasıyla bakım öncesi ve sonrası proses zamanını göstermektedir.  $q_j = \alpha p_j$  olarak belirlenmiş ve  $0 < \alpha \leq 1$  olarak gösterilmiştir. Bir bakım aktivitesi  $t$  birim süre almakta ve arıza tamir süresi negatif olmayan beklenen değeri  $E[V] = v$  birim süre olan rastsal  $V$  değişkeni ile belirtmektedir. Burada  $v > t$  olarak kabul edilmiştir. Karar verilecek hususlar (i) bakım aktivitelerinin ne zaman yapılacağı ve (ii) performans ölçütlerini optimize etmek için işlerin nasıl sıralanacağıdır. Bu nedenle, problemin iki özelliği vardır, (i) bir makine arıza veya bakım nedeniyle sürekli kullanılabilir olmayacaktır ve (ii) bir makine bakım veya tamir öncesi ve sonrasında farklı hızlara sahip olabilir.

Bu makalede, *devam edilebilen* ve *devam edilemeyen* olmak üzere iki tip proses durumundan bahsediliyor. Burada makinenin arızalandığı veya bakıma alındığı düşünülüyor. Eğer iş makine tekrar çalışır hale geldiğinde devam ediyorsa problemi devam edilebilen olarak adlandırılıyor. Diğer taraftan işin baştan yapılması gerekiyorsa devam edilemeyen olarak adlandırılıyor.



Şekil 5.1 Problemin şematik gösterimi



### 5.1.2. Sonuç

Özellikle devam edilemeyen durumlar için oldukça ilginç sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin, (i) beklenen iş süresini minimize etme problemi için, eğer bakım yapmamayı seçersek, dağılım fonksiyonu  $F(x)$  konkav iken işleri SPT<sup>9</sup> sırasında dağıtmak optimal olmaktadır. Diğer taraftan, dağılım fonksiyonu  $F(x)$  işlerin toplam sürelerine kadar konveks ise LP sırasında işleri dağıtmak optimaldir. (ii) toplam beklenen tamamlanma süresini minimize etme problemi için, dağılım fonksiyonu  $F(x)$  konkav iken işleri SPT sırasında dağıtmak optimaldir. (iii) maksimum beklenen gecikmeyi minimize etme problemi için, dağılım fonksiyonu  $F(x)$  konkav (veya konveks) iken işleri EDD<sup>10</sup> sırasında dağıtmak optimal olmaktadır.

## 5.2. N makine içeren beklenmeyen arızaların olduğu durum çizelgelemesi

Çizelgeleme teorisinin temel modeli sabitlenmiş bir set makine planlama ufku boyunca sürekli çalışır olarak kabul edilmektedir. Bu varsayım, belki bazı durumlarda geçerli olabilir fakat belirli bakım gereksinimleri, arızalar ve makinenin çalışmasını durduracak herhangi başka bir kısıtın olduğu durumlarda geçerli olamaz. Makine kısıtı oldukça açık bir durumdur. Açıkça, makine hatalı çalışabilir veya arızalanır. Bunun yanı sıra, makine kısıtları üretim planlamasının operasyonel seviyesinde ortaya çıkar. Burada bazı işler bir proses zamanı, başlama, bitiş zamanı ve bir kaynağa atanmıştır. Yeni işler işlenmek için hazır olduğunda mevcut tezgahlarda işlenmekte olan hali hazırda işler bulunmaktadır. Yeni gelen işler mevcut işlerden arta kalan kapasitede işlenebilecektir. Benzer bir problemde işletim sistemlerinde oluşmaktadır. Alt programlardan yüksek öncelikli olanlar az öncelikli olanların önüne geçmektedir.

Bu nedenle, kısıtlı makine kapasitesi pratikte oldukça genel bir sorundur. Makine kapasiteleri hakkındaki bilgi tam veya eksik olabilir. Makine arızaları online olarak ortaya çıkan tipik olaylardır. Bazen planlayıcı kapasiteler hakkında kısıtlı bilgiye sahip olur ve bir takım tecrübeleri vardır. İleride makinenin ne zaman bakıma ihtiyacı olabileceğini bilebilir veya makinenin tekrar yeniden arızalanacağını bilebilir. Offline ayarlama ise makinenin çizelgeleme safhasında tüm detay bilgileri bilinmektedir.

### 5.2.1. Problemin tanımı

---

<sup>9</sup> SPT: Shortest processing time (En kısa işleme zamanı)

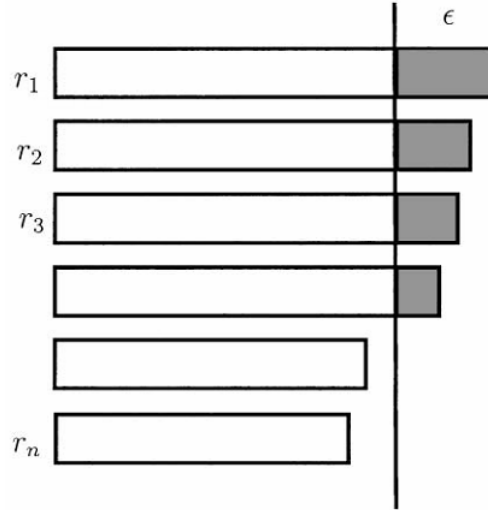
<sup>10</sup> EDD: Earliest Due Date (En erken teslim zamanı)

Bu makalede, kısıtlı makine kapasitesine göre çok temel bir çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Bir set iş, eş bir set makinede işletim zamanını minimize edecek şekilde çizelgenecektir. Burada  $\ell = \{J_i \mid i = 1, \dots, n\}$  birbirinden bağımsız bir set iştir.  $J_i$  işi  $p_i$  birim zaman proses süresine sahiptir.  $1 \leq i \leq n$ . İşler eşit hızlarla işlem yapan makinelerde işlenecektir. Herhangi bir zamanda işin duraklamasına herhangi bir ceza olmaksızın izin verilmektedir. Eğer bir iş duraklarsa tekrar kaldığı yerden herhangi bir makinede işlenmeye devam edebilir. Her makine aynı anda sadece bir iş işleyebilir. Bir iş aynı anda sadece bir makinede işlenebilir. Burada amaç en son işin tamamlanma süresi gibi işletim zamanının minimize edilmesidir. Makineler farklı zamanlarda aktif olabilirler. Burada vurgulanan, bu çalışmanın makine kısıtlarının ileride bilinmediği gerçek zamanlı (online) bir çizelgeleme yapılmak istenmesidir. Makinelerin aktif olmadığı zaman aralıklarını *arıza* olarak adlandırılıyor. Makineler herhangi bir zamanda arızalanabilir ve rastsal bir süre sonra tekrar işleme devam edebilir. Ayrıca yeni makineler sisteme ilave edilebilir. Eğer bir makine arızalanırsa, o anda işlenen iş basit anlamda yarım kalmış olacaktır, işlenmiş kısım makine tarafından kaydedilecek ve böylelikle diğer bir işlemcide işlenmeye devam edecektir. Diğer taraftan *tecrübe* bilgisi göz önüne alınıyor. Örneğin, planlamacı bir sonraki makine kapasitesi değişimini bilmektedir. Bununla birlikte, hangi makinenin arızalandığı veya aktif olacağını bilmemektedir.

A çizelgeleme algoritması için problemin tanımında,  $C_{\max}^A$  A tarafından üretilen çizelgenin işletim zamanıdır.  $C_{\max}^{OPT}$  ise makine kapasitelerinin bilindiği offline algoritmanın işletim zamanını göstermektedir.

### 5.2.2. Optimal çizelge

Bu bölümde  $C_{\max}^{OPT}$  işletim zamanında optimal çizelgeyi oluşturan bir algoritma açıklanmaktadır. Algoritma tecrübe bilgisi içeren online bir algoritmadır. Yani algoritma daima bir sonraki makine kapasite değişiminin ne zaman olduğunu bilmektedir. Bununla birlikte algoritmanın hangi makinenin arızalandığını veya aktif olduğunu bilmesine gerek yoktur.

Şekil 5.2  $\epsilon$  seçimi

$J_1, \dots, J_n$  verilen işler ve  $p_i, 1 \leq i \leq n$   $J_i$  işinin proses zamanı olsun. Burada  $p_i$  'nin bilindiğini varsayıyoruz. Genellikle uzaklaşmadan işler  $p_1 \geq p_2 \geq \dots \geq p_n$  olarak adlandırılmıştır. Çizelgeleme sürecinin herhangi bir zamanında  $r_i$ ,  $J_i$  işinin kalan proses süresinin göstermektedir.  $t=0$  zamanından başlayarak, algoritma aktif makineler sabit kalacak şekilde  $I = [t, t')$  zaman aralığını tekrarlayarak çizelgeler. Kapasite  $t$  anında değişir ve  $t'$  anında tekrar değişir. Her bir aralıkta, algoritma geri kalan proses zamanını minimize ederken mümkün olduğunca fazla yükü çizelgeleyecektir.

Daha özel olarak, algoritmanın  $[0, t]$  aralığını çizelgelediğini düşünelim ve  $t$  anında makine kapasitelerini değiştiğini varsayalım.  $t$  anında, tecrübe bilgisini kullanarak, algoritma  $t' > t$  olacak şekilde bir sonraki kapasite değişimini belirler.  $\delta = t' - t$  ve  $m^{\text{av}}$ ,  $I = [t, t')$  aralığında aktif olan makine sayısını göstermektedir. Sezgisel olarak, algoritma mümkün olan en büyük  $\epsilon$  değerini belirlemeye çalışacaktır.  $r_1 \geq \epsilon > 0$ , tüm işler için  $J_k, 1 \leq k \leq n$ ,  $r_1 - \epsilon$  aşan kalan proses zamanı  $I$  içinde çizelgelenebilir. Bu nedenle,  $I$  'nin sonunda, tüm işler en fazla  $r_1 - \epsilon$  kadar proses zamanına sahip olacaktır. Şekil 5.2 'de görüleceği üzere şematik olarak algoritma bir dikey çizgi ile sağında bir gri alan bırakır ki bu alanda  $I$  'daki işleme kapasitesinin toplamına eşittir.  $r_1 - \epsilon$  'yi aşan toplam proses zamanı

$$\sum_{k=1}^n \max\{0, r_k - (r_1 - \epsilon)\} \quad (5.1)$$

Ve  $I$  'daki toplam aktif işleme kapasitesi  $m^{\text{av}} \delta$  kadardır. Bu nedenle algoritma bir  $\epsilon$  değeri hesaplar:

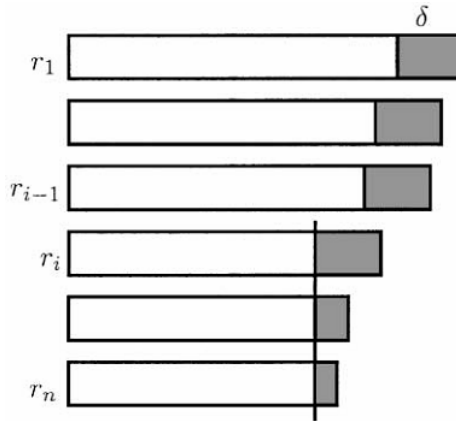
$$\sum_{k=1}^n \max\{0, r_k - (r_1 - \varepsilon)\} = m^{av} \delta \quad (5.2)$$

Bununla birlikte, algoritma  $I$  aralığında her iş için en fazla  $\delta$  birim zaman çizelgelenebilir kısıtını sağlamalıdır. Bu nedenle, eğer bir  $\varepsilon > \delta$  için

$$\sum_{k=1}^n \max\{0, r_k - (r_1 - \varepsilon)\} = m^{av} \delta \quad (5.3)$$

ise, algoritma  $I$  aralığında  $J_i$  işi için  $\varepsilon$  birim zamanını hesaplayamaz. Sadece  $\delta$  birim zamanına izin verilmektedir.

Bu nedenden dolayı, algoritma öncelikle  $I$  aralığında  $\delta$  zaman birimi için çizelgelenen iş setini belirler.  $I$  aralığında algoritmanın  $J_1, \dots, J_{i-1}$  işinin  $\delta$  zaman birimini çizelgelemiş olduğunu varsayalım.  $m^{av}$  bu çizelgelenmiş olan  $i-1$  işten sonraki mevcut durumda kapasitesi olan makine sayısı olsun. Burada  $m^{av} = m^{av} - (i-1)$  'dir ve  $I$  aralığında kalan toplam kalan proses kapasitesi  $m_i^{av}$  'dir.



Şekil 5.3 (a) durumuna ait bir örnek

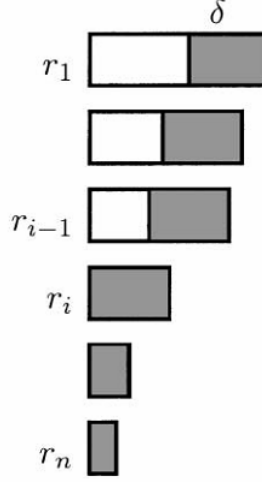
Algoritma aynı zamanda eğer  $r_i - \delta$  'yı aşan toplam kalan proses zamanı hala kullanılabilir olan proses zamanını doldurmaya yetmiyor ve  $r_i \geq \delta$  ise,  $I$  aralığında  $J_i$  işinin  $\delta$  zaman birimini çizelgeler. (Formül olarak, eğer  $\sum_{k=1}^n \max\{0, r_k - (r_i - \varepsilon)\} < m_i^{av} \delta$  ve  $r_i \geq \delta$ .) 6-8. satırlardaki *while* döngüsünden çıktığımızı ve  $i > n$  olduğunu varsayalım. Sonra, algoritma  $I$  aralığına daha fazla iş çizelgeleyemez.

Eğer  $i \leq n$  ise, düşünülmesi gereken iki durum vardır.

(a)  $\sum_{k=1}^n \max\{0, r_k - (r_i - \varepsilon)\} \geq m_i^{av} \delta$  . Bu durumda, algoritma  $\varepsilon$  'yı belirler,  $0 \leq \varepsilon \leq \delta$  , tüm işlerin  $J_k, i \leq k \leq n$  olduğu gibi,  $r_i - \varepsilon$  'yi aşan toplam kalan proses zamanı tam olarak

$m_i^{av} \delta$ 'ya eşittir, (Şekil 5.3). Bu işlerin her biri  $\max \{0, r_k - (r_i - \varepsilon)\}$ 'ye kadar  $I$  içinde çizelgelenir.

(b)  $\sum_{k=1}^n \max\{0, r_k - (r_i - \varepsilon)\} < m_i^{av} \delta$  ve  $r_i < \delta$ . Bu durumda, algoritma eğer var ise geriye kalan  $J_i, \dots, J_n$  işlerini  $I$  aralığına çizelgeler (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 (b) durumuna ait bir örnek

Her bir durum için, işlerin çizelgelenmesi McNaughton algoritması ile yapılmıştır. Algoritmanın tamamı aşağıda verilmiştir.)

$t=0$ ;

$r_i = p_i$ , for  $1 \leq i \leq n$ ;

while kalan işlerden pozitif işleme zamanına sahip olan işler var do

$t' =$  geçerli tezgahlar kümesinin değiştiği bir sonraki zaman

$\delta = t' - t$ ;  $i = 1$ ;  $m_1^{av} = [t, t + \delta)$  aralığında geçerli tezgahlar;

While  $i \leq n$  ve  $\sum_{k=i}^n \max\{0, r_k - (r_i - \delta)\} < m_i^{av} \delta$  ve  $r_i \geq \delta$  do

$[t, t + \delta)$  aralığında  $J_i$  'nin  $\delta$  zaman birimini çizelgele

$r_i = r_i - \delta$ ;  $m_{i+1}^{av} = m_i^{av} - 1$ ;  $i = i + 1$  ;

if  $i \leq n$  then

Maksimum  $\varepsilon$  'yi hesapla,  $\varepsilon \leq \min(\{\delta, r_i\})$ ,

$\sum_{k=i}^n \max\{0, r_k - (r_i - \varepsilon)\} \leq m_i^{av} \delta$  ;

For  $k = i, \dots, n$   $[t, t + \delta)$  aralığında  $J_k$  'nın  $\max\{0, r_k - (r_i - \varepsilon)\}$  zaman birimini

McNaughton algoritmasını kullanarak çizelgele ve  $r_k = \min\{r_k, r_i - \varepsilon\}$  olarak belirle;

$$t = t'$$

## 6. PARALEL N TEZGAHTA ARIZA HALİNDE ÇOK AMAÇLI ÇİZELGELEME MODELİ (UYGULAMA)

Bu çalışmada açıklanan çizelgeleme ile ilgili sezgisel algoritmalar ve literatürdeki diğer sezgisel algoritmalarda, algoritmanın karmaşıklığını azaltmak ve çözülebilir hale getirebilmek için değişkenlerden bazıları göz ardı edilmekte veya sabit kabul edilmektedir. Çizelgeleme konusunda en büyük problemi arıza hallerinde ortaya çıkan değişkenlerdir. Burada, arızanın ne zaman olacağı, ne kadar bir tamir süresi gerektiği gibi değişkenleri çok iyi tanımlamak gerekmektedir. Tabi ileriye yönelik bir tahminden öteye geçemediğinde bu değişkenleri tanımlamak ve çözüme dahil etmek çoğu zaman bizleri doğru sonuçlardan uzaklaştırmakta ve anlamsız çizelgeler ortaya çıkarmaktadır.

Genelde arızaları sisteme dahil eden araştırmacılar, eğer N tezgah üzerinde çalışıyorsa arıza zamanlarını rastsal olarak almış ve arıza sürelerini ise sabit kabul etmişlerdir. Şayet tek tezgah üzerinde çalışıyorlar ise bir fonksiyon ile arıza sürelerini belirlemeye çalışmışlardır. Fakat N tezgah durumu için kapsamlı bir arıza zamanı ve süresi yaklaşımı araştırdığımız çalışmalar içinde bulunamamıştır. Burada yola çıkarak bu tezdeki uygulama çalışmasında N tezgah için arıza durumu istatistiksel olarak sisteme dahil edilmiş ve setup sürelerini de minimize etmek şartıyla çok amaçlı bir çizelgeleme modeli oluşturulmuştur.

### 6.1. Problemin Tanımı

Problemde  $n$  adet iş, yığın bir iş listesi olarak (batch job) gelmektedir. Sınırsız tipte model iş olarak sistemde dahil edilebilir. İşlerin proses zamanları birbiriyle aynı veya farklı olabilir. Tezgah tarafında ise  $m$  adet tezgah bulunmaktadır. Bu tezgahlar teknik ve kapasite olarak birbirlerinden farklılık gösterebilirler. Algoritmaya başlangıçta her bir model işin hangi tezgahlarda işlenebileceği dizi şeklinde verilmektedir. İşler  $t=0$  anında çizelgelenmek üzere liste olarak gelmektedir. Yine  $t=0$  anında tezgahlar boş olarak beklemektedir. Başlangıçta herhangi bir devam etmekte olan işe izin verilmemektedir. Tezgahların herhangi biri herhangi bir zamanda arızalanabilir. Arıza durumunda işlenmekte olan iş duraklar ve tamir süresi kadar o tezgahta bekler. Başka bir tezgaha işin aktarılmasına izin verilmemektedir. Bir iş aynı anda sadece bir tezgahta işlenebilir, çoklu tezgah kullanımına izin verilmemektedir. Sıraya bağlı setup süreleri oluşmaktadır. Bir önceki modelden farklı bir model tezgahta işlenecekse bir setup süresi oluşacaktır. Bu süre çalışmada sabit olarak alınmıştır.

## 6.2. Kullanılan notasyon

$m_j$  = Tezgah sayısı

$T_j$  =  $m_j$  tezgahı için toplam akış zamanı

$n_{i,j}$  =  $m_j$  tezgahında işlenecek  $i$  işi

$D_{i,j}$  =  $n_{i,j}$  işinin sipariş miktarı

$d_{i,j}$  =  $n_{i,j}$  işinin teslim zamanı

$b_{i,j}$  =  $n_{i,j}$  işinin işlenmeye başlama zamanı

$p_{i,j}$  =  $n_{i,j}$  işinin proses süresi

$s_{i,j}$  =  $n_{i,j}$  işi için gerekli setup süresi (eğer  $n_{i,j} \neq n_{i-1,j}$ )

$c_{i,j}$  =  $n_{i,j}$  işinin tamamlanma zamanı

$f_{k,j}$  =  $m_j$  tezgahında oluşan  $k$  arızası

$f_{b,kj}$  =  $f_{k,j}$  arızasının başlama zamanı ( $0 < f_{b,kj} < T_j$ )

$f_{r,kj}$  =  $f_{k,j}$  arızasının tamir süresi

$f_{u,kj}$  =  $f_{k,j}$  arızasının tamir edildikten sonra tekrar çalışmaya başladığı zaman

$tr_{ij}$  =  $n_{i,j}$  işinin teslim zamanını aştığı süre (gecikme süresi)

## 6.3. Çizelgeleme algoritması

Bu bölümde çalışmadaki çizelgeleme algoritmasının her bir modülünün detaylı açıklaması yer almaktadır. .

### 6.3.1. İşlerin tezgahlara atanması

İşler  $t=0$  anında yığın olarak (batch job) gelmektedir. Örnek bir liste Çizelge 6.1'de görülmektedir.

Çizelge 6.1 Yığın iş listesi



| Sıra [i] | Teslim Zamanı [ $d_{ij}$ ] | Talep [ $D_{ij}$ ] | İş [ $n_{ij}$ ] |
|----------|----------------------------|--------------------|-----------------|
| 1        | 10,0                       | 360                | A               |
| 2        | 15,0                       | 300                | B               |
| 3        | 23,0                       | 240                | C               |
| 4        | 32,0                       | 420                | A               |
| 5        | 46,0                       | 480                | C               |
| 6        | 48,0                       | 150                | B               |
| 7        | 55,0                       | 210                | A               |
| 8        | 60,0                       | 60                 | C               |
| 9        | 63,0                       | 120                | B               |
| 10       | 70,0                       | 360                | A               |
| 11       | 72                         | 105                | C               |
| 12       | 79                         | 180                | B               |
| 13       | 82                         | 240                | A               |
| 14       | 87,0                       | 180                | B               |
| 15       | 93,0                       | 60                 | B               |
| 16       | 104                        | 360                | C               |
| 17       | 110                        | 300                | A               |
| 18       | 118                        | 210                | A               |
| 19       | 124                        | 150                | C               |
| 20       | 129,0                      | 240                | B               |
| 21       | 132                        | 60                 | C               |
| 22       | 138                        | 420                | A               |

Tezgah atamasının ilk adımı sıradaki işin atanabileceği tezgah kümesini belirlemektir. Algoritmayı çalıştırmadan önce her bir model iş için, bu modelin işlenebileceği tezgahlar kümesi bir dizi olarak aşağıdaki gibi belirlenir.

$$A = \{m_1, m_2, m_4\}, B = \{m_1, m_2, m_3\} \quad (6.1)$$

Bu kısımdan sonra geçecek “tüm tezgahlar” ifadesi o modelin işlenebileceği geçerli tezgah kümesini ifade edecektir.

Buradaki algoritma şu şekilde özetlenebilir:

For i = 1 To n

ReDim Preserve vSureler(1, 0)

vTezgah =  $n_{\text{tezgah}}$  (n işinin üretilebildiği tezgahlar dizisi)

For k = 0 To UBound(vTezgah) 'alternatif tezgahları ve süreleri ile yeni bir dizi oluştur

ReDim Preserve vSureler(1, UBound(vSureler, 2) + 1)

vSureler(0, k) = vTezgah(k)

vSureler(1, k) = Sheets("ÖZET").Cells(vTezgah(k) + 1, 4)

Next

iMinTezgah = vSureler(0, 0)

```

iMinDeger = vSureler(1, 0)
For j = UBound(vSureler, 2) - 1 To 0 Step -1 'alternatif tezgahlar arasından min akış süresine
sahip olan tezgah bulunur.O tezgaha atama yapılır
  If Not IsEmpty(vSureler(1, j)) Then
    If vSureler(1, j) < iMinDeger Then
      iMinTezgah = vSureler(0, j)
      iMinDeger = vSureler(1, j)
    End If
  End If
Next

```

Bu şekildeki bir iş listesinden belirlenen tezgah sayısı kadar iş o tezgahların ilk işleri olarak atanır. Atanan işlerin proses ve setup süreleri hesaplanarak, başlama ve bitiş süreleri belirlenir. Her tezgahın ilk işi belirlendikten sonra algoritma her iterasyonda (her bir iş kalemi için) tüm tezgahların o anki  $T_j$  toplam akış zamanlarını hesaplar ve bu değer minimum olan tezgaha sıradaki iş yerleştirilir. Yerleştirilen her işten sonra aktif tüm işlerin proses, setup, başlama ve bitiş zamanlarını hesaplayan bir modül (Süre\_Hesaplama) çalıştırılır. Bu şekilde tüm işler belirlenen sayıdaki ( $n$  adet,  $n \geq 1$ ) tezgaha başlangıç çözümü olarak çizelgelenmiş olacaktır.

Burada çalışan algoritmayı şu şekilde özetleyebiliriz,

```

j = 1
For i = 1 to tezgah_sayısı
   $n_{ij} = n_i$ 
   $j = j + 1$ 
  Süre_Hesaplama
Next
For i = tezgah_sayısı+1 to n
   $j = \max(T_j)$ 
   $n_{ij} = n_i$ 
  Süre_Hesaplama
Next

```

Süre\_Hesaplama

For  $i=1$  to  $n$  (burada  $n$  aktif tezgahdaki atanmış olan iş sayısıdır)

```

  If  $n_{ij} = n_{i-1,j}$  ' modeller aynı ise setup gerekmez
     $s_{ij} = 0$ 

```

```

Else
     $s_{ij} = \text{Setup\_Süresi}$ 
End if
 $p_{ij} = D_{ij} * \text{Çevrim}(i)$     ‘proses süreleri
 $b_{ij} = c_{i-1,j}$                 ‘başlama zamanı
 $c_{ij} = b_{ij} + p_{ij} + s_{ij}$     ‘tamamlanma zamanı
Next

```

### 6.3.2. Setup sayısının optimize edilmesi

Setup sayılarının minimizasyonu her tezgah için ayrı ayrı yapılmaktadır. Algoritmanın genel yapısı itibariyle işler tezgahlara atandıktan sonra tüm işlemler her bir tezgahı tekil olarak kabul edilerek yapılmaktadır. Setup minimizasyonu şu şekilde yapılmaktadır; her bir iş kalemi için, o işten sonra gelen işler arasında bu iş ile aynı olan bir iş var ise jobList dizisine bu işin sırası kayıt edilir. Tüm aynı  $n_m$  işleri belirlendikten sonra, her bir  $n_m$  işi  $n_{i+1}$  işi olarak çizelge sırasında yeri değiştirilir. Böylece  $n_{i+1}=n$  olacağından bir setup yapılmasına gerek kalmayacaktır. Bu değişiklik yapıldıktan sonra bir önceki bölümde açıklanan “süre hesaplama” algoritması kullanılarak değişiklik yapılmış durumdaki yeni başlama, bitiş, proses süreleri yeniden hesaplanır. Bundan sonra tüm işler için olabilecek gecikme süreleri hesaplanır. Buradaki mantık şöyledir; tüm işler için teslim sürelerinden bitiş süreleri çıkartılır. Eğer iş gecikiyorsa bu işlemde elde edilecek sonuç negatif olacaktır. Değişiklik yapılmadan önce hesaplanan gecikme değeri eğer değişiklik yapıldıktan sonraki gecikme değerinden büyük ise değer azalmış olacağından gecikme artmış olacaktır. Bu nedenle yapılan değişiklik iyileşme değil sistemde ekstra bir gecikmeye neden olmuş demektir. Bu durumda yapılan iş sırası değişikliği geri alınacaktır. Şayet hesaplanan gecikme değeri önceki değerden büyük ise bu durumda gerçek bir iyileştirme sağlandığından yapılan işlem aynen kalır ve dizideki diğer aynı işlere geçilir. Dizideki tüm aynı işler için işlem tekrarlandıktan sonra sıradan bir sonraki  $n_i$  iş kalemine geçilerek aynı döngüler tekrarlanır. Böylelikle mümkün olduğunca aynı işler bir araya getirilerek setup sayıları ve dolayısıyla da setup süreleri minimize edilmektedir.

Algoritma aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

```

For i = 1 to n    ‘tezgaha atanmış olan tüm işler için
    For m = i+1 to n    ‘n işinden sonraki işlerde n ile aynı olan işler belirlenir)
        If  $n_i = n_m$  then

```

```

jobList(j)=n
j=j+1
Gecikme_Hesaplama1 ‘değişiklik öncesi gecikme hesaplanır
ni+1=nm ‘m sırasındaki iş i+1 sırasına alınır
Gecikme_Hesaplama2 ‘değişiklik sonrası gecikme hesaplanır
If Gecikme2 > Gecikme1 ‘iyileşme var
Else ‘iyileşme yok
nm = ni+1 ‘iş önceki yerine geri alınır
End If
End If
Next m
Next i
Gecikme_Hesaplama

For i = 1 to n ‘tezgaha atanmış olan tüm işler için
If di < ci ‘bitiş zamanı talep zamanını aşıyor.
Gecikme = Gecikme + (di - ci)
End If
Next i

```

### 6.3.3. Arıza zamanlarının ve tamir sürelerinin hesaplanması

Bu tezde incelenen arıza modeli içeren algoritmalarındaki arıza zamanlarını sistemde dahil etme yaklaşımları gerçeğe çok yakın sonuçlar elde etmemektedir. Genelde rastsal zamanlar ve rastsal süreler, toplam zamanın yüzdesi gibi sabit sayılar ile belirlenmiştir.

Kendi çalışmamızda ise arızalar geriye yönelik bilgiler istatistiksel veri olarak kullanılmıştır. Sistemdeki tezgahların geriye yönelik arıza kayıtları istatistiksel olarak incelenerek, arıza zamanlarını bir dağılıma uydurmak suretiyle gerçeğe daha yakın arıza zamanları elde etmek mümkün olmaktadır.

Uygulamada arıza zamanlarını hesaplamak için üstel dağılım kullanılmıştır. Her bir tezgahın  $0 - T_j$  akış süresi aralığında herhangi bir zamanda arızalanabileceği düşünülürse, arıza zamanı bu süre aralığında olmak kaydıyla herhangi bir değer alabilir. Üstel dağılım fonksiyonu ile arızalar için gelişler arası süreyi hesaplariken şu formül kullanılmaktadır:

$$x = -\lambda \cdot \ln(RS) \quad (6.2)$$

Burada RS 0 ile 1 arasında bir değer olmaktadır. Algoritma içinde bu formülasyon kullanılırken şu yol izlenmektedir

$t=0$  (tezgahın ilk işe başlangıç zamanı)

Do while  $t < T_j$

RdNumber = Int((100 \* Rnd) + 1)

if RdNumber  $\geq 10$  Then

    fnum = RdNumber / 100

    lastnum =  $-\lambda * \ln(\text{fnum})$

Else

    fnum = RdNumber / 10

    lastnum =  $-\lambda * \ln(\text{fnum})$

End If

Loop

Bu algoritma ile  $0 \leq t < T_j$  aralığında arızalar için gelişler arası süreler kümülatif olarak hesaplanarak arıza zamanları belirlenmiş olacaktır. Fakat burada dikkat edilmesi gereken husus, algoritma bu aralıktaki herhangi bir zamana arıza ataması yapabilir. Bunu denetlemek gerekecektir çünkü aşağıda belirtilen kriterler gerçekleştiğinde arıza ataması yapmak mantıksız olacaktır;

- Arıza içinde arıza olamaz. Yani tezgah arıza halindeyken başka bir arızanın oluşması olası değildir.
- Tezgahta setup yapılıyor ise arıza oluşması olası değildir.

Bu iki kriteri kontrol altında tutmak için iki işlem yapılmaktadır.

Bir tezgahta yukarıdaki algoritmaya göre oluşturulan bir arıza, bir önceki arızanın zamanı ve bir önceki arızanın süresinden büyük değilse, bu arıza bir önceki arıza içine denk geliyor demektir. Bu mümkün olmayacağı için bu arıza tezgaha atanmaz. İkinci kontrol için ise şu şekilde yapılmaktadır. Tezgahtaki her  $i$  işi için,  $i$  işinin setup süresi ile işe başlama süresi toplamı yani setup işleminin bittiği an, atanmaya çalışılan arıza süresinden büyükse, bu arıza setup yapılırken oluşacaktır. Böyle bir durum mümkün olmadığından bu şartın sağlandığı durumlarda arıza ataması yapılmaz.

Algoritma  $0 \leq t < T_j$  aralığında arıza gelişleri arasındaki süreleri kümülatif olarak belirledikten sonra bu anlık zamanlarda oluşan her bir arıza için bir tamir süresi bulacaktır. Bu

tamir süresi daha önceden verilen kesikli olasılık dağılımından elde edilecektir. Uygulamadaki örnekte şu şekilde bir olasılık dağılımı kullanılmıştır.

Çizelge 6.2 Kesikli olasılık dağılımı

| Tamir Süresi ( $a$ ) | Olasılık ( $s$ ) |
|----------------------|------------------|
| 0 dk                 | 0,78             |
| 30 dk                | 0,15             |
| 60 dk                | 0,05             |
| 90 dk                | 0,02             |

Bu tablodaki değerler algoritma içinde değişken olarak tanımlanmıştır. Olasılıklar  $s$  karşılık gelen arıza süreleri  $a$  ile gösterilmiştir.

Bu notasyon kullanılarak, önceki algoritma ile elde edilen her bir potansiyel arıza zamanı için arıza süresi (tamir süresi) ataması yapılır. Burada yukarıda bahsedilen arıza içinde arıza olamaz kriteri de kontrol altında tutulmaktadır. Şayet o andaki arıza anı, bir önceki arıza anı ve tamir süresi toplamından büyük değilse, bir önceki arıza dilimine denk geliyor demektir. Bu durumda yeni arıza anına arıza süresi ataması yapılmaz.

If  $f_{b,ij} \geq f_{b,i-1j} + f_{r,ij}$  Then

RdNumber2 = Int((100 \* Rnd) + 0)

SelectCase RdNumber2

Case 0 To s1

BreakDown = a1

Case s1 + 1 To s2

BreakDown = a2

Case s2 + 1 To s3

BreakDown = a3

Case s3 + 1 To s4

BreakDown = a4

End Select

End If

Arıza zamanları ve bunlara karşılık gelen arıza süreleri böylelikle elde edilmiş olacaktır. Görülmektedir ki %78 olasılıkla arıza zamanına karşılık gelen tamir süresi 0 dk olacaktır.

Yani bu anda arıza oluşmayacaktır. Bu olasılık değerleri de geriye yönelik arıza kayıtlarından kolaylıkla elde edilebilmektedir.

#### 6.4. Örnek uygulama

Anlatılan algoritmanın hesaplama sürelerini belirlemek, iteratif bir yaklaşım olduğundan, her bir adım için ne kadar iterasyon gerektiği ve işlem sonundaki iyileşme oranı gibi performans kriterlerini hesaplamak ve algoritmanın daha iyi anlaşılmasını sağlamak amacıyla sayısal bir örnek üzerinde aşağıdaki uygulama hazırlanmıştır. Uygulamada plastik enjeksiyon yöntemi ile üretim yapan bir departman ele alınmıştır. Bu departmanda 6 adet plastik enjeksiyon presi bulunmaktadır. Bu tezgahlarından üç tanesi 420 tonluk, bir tanesi 300 tonluk ve iki tanesi de 500 tonluk kapama kuvvetlerine sahiptirler. Üretim programı aylık yayınlanan program üzerinden planlanmaktadır. Burada yayınlanan program yığın bir iş listesi değil yatay bir planlama çizelgesi şeklindedir (Çizelge 6.3). Öncelikle bu yatay formattaki programın iş listesi şekline dönüştürülmesi gerekmektedir. Burada basit bir for-next döngüsü ile çizelge algoritmamızın kullanabileceği yığın iş listesi haline getirilmektedir (Çizelge 6.4).

Bu adımdan sonra bölüm 6.3 'te anlatılan algoritma adımlarına göre işler tezgahlara dağıtılır. Dağıtımı yapılan işler her bir tezgahta setup sayılarını minimize etmek için optimize edilir. Son adım olarak arıza zamanları ve tamir süreleri hesaplanarak tezgah çizelgesine eklenir.

Uygulamayı atama, optimizasyon ve arıza ataması olarak üç adıma ayırarak inceleyeceğiz.

Çizelge 6.3 Yatay üretim çizelgesi

| MODEL       | 04.01.07 00:00 | 05.01.07 00:00 | 06.01.07 00:00 | 07.01.07 00:00 |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| PL1 / 2     | 2024           | 755            | 1150           | 1200           |
| PL1 / 2 GRİ |                |                |                |                |

|                     |      |     |      |      |
|---------------------|------|-----|------|------|
| PL1 / 1             | 598  | 375 | 47   | 150  |
| PL1 / 1 GRİ         |      |     |      |      |
| PL3 / 2             | 480  | 347 | 234  |      |
| PL3 / 2 GRİ         | 567  |     |      |      |
| PL3 / 1             |      | 544 | 678  | 9    |
| DIF.LCD PANO        | 456  |     |      |      |
| DIF.LCD PANO GRİ    |      |     |      |      |
| FUS. LCD PANO       | 342  | 456 | 892  | 867  |
| FUS. LCD PANO GRİ   |      | 967 |      |      |
| TR PL2. PANO ÇEK    |      |     |      |      |
| TR DIF PANO         | 267  |     | 36   | 77   |
| TR DIF. PANO GRİ    |      |     |      |      |
| TR PL0.PANO         | 364  | 313 | 1202 | 1100 |
| TR DIF.PANO ÇEK     |      |     |      |      |
| TR DIF.PANO ÇEK GRİ | 674  |     | 986  |      |
| TR DIF.PANO PL2     |      | 739 |      |      |
| PL1 ÇEKMECE         | 1010 | 3   | 36   | 15   |
| PL1 ÇEKMECE GRİ     |      |     |      |      |

Çizelge 6.4 Yığın iş listesi

| TARİH          | STOK NO    | TANIM           | ADET | ÇEVİRİM | PROSES SÜRESİ |
|----------------|------------|-----------------|------|---------|---------------|
| 04.01.07 00:00 | 2812540100 | PL1 / 2         | 2024 | 42      | 0,98          |
| 04.01.07 00:00 | 2812540300 | PL1 / 1         | 598  | 42      | 0,29          |
| 04.01.07 00:00 | 2815350100 | PL3 / 2         | 480  | 42      | 0,23          |
| 04.01.07 00:00 | 2957370100 | TR DIF PANO     | 267  | 44      | 0,14          |
| 04.01.07 00:00 | 2957810100 | TR PL0.PANO     | 364  | 44      | 0,19          |
| 04.01.07 00:00 | 2812560100 | PL1 ÇEKMECE     | 1010 | 22      | 0,26          |
| 04.01.07 00:00 | 2812570100 | PL1-A ÇEKMECE   | 1612 | 22      | 0,41          |
| 04.01.07 00:00 | 2815360100 | PL3 ÇEKMECE     | 381  | 22      | 0,10          |
| 04.01.07 00:00 | 2815370100 | PL3-A ÇEKMECE   | 99   | 22      | 0,03          |
| 04.01.07 00:00 | 2957390100 | TR İÇ KAPAK     | 631  | 55      | 0,40          |
| 05.01.07 00:00 | 2812540100 | PL1 / 2         | 755  | 42      | 0,37          |
| 05.01.07 00:00 | 2812540300 | PL1 / 1         | 375  | 42      | 0,18          |
| 05.01.07 00:00 | 2957810100 | TR PL0.PANO     | 313  | 44      | 0,16          |
| 05.01.07 00:00 | 2958480100 | TR DIF.PANO PL2 | 739  | 44      | 0,38          |

#### 6.4.1. Atama

Atama kısmında, yığın iş listesi haline getirilen çizelge, mevcut tezgahlara atanacaktır. Fakat burada bir kısıt bizi sınırlamaktadır. Her model her tezgahta üretilmemektedir. Burada teknik kısıtlar öne çıkmaktadır. Örneğin dış kapak gibi büyük projeksiyon alanına sahip kalıplar 500 tonluk kapama kuvvetinin altındaki tezgahlarda üretilmemektedir. Bu nedenle aşağıdaki



matris ile hangi modelin hangi tezgahlarda üretilebilirliği algoritmanın başında girdi olarak kullanılmaktadır. Bu matriste ayrıca her modelin çevrim süresi girdi olarak yer almaktadır.

Çizelge 6.5 Tezgah ve çevrim süresi matrisi

| Tanım                | Çevrim Süresi | Tezgah    |
|----------------------|---------------|-----------|
| PL1 / 2              | 0,70          | 1,2,3     |
| PL1 / 2 GRİ          | 0,70          | 1,2,3     |
| PL1 / 1              | 0,70          | 1,2       |
| PL1 / 1 GRİ          | 0,70          | 1,2,3     |
| PL3 / 2              | 0,70          | 1,2,3     |
| PL3 / 2 GRİ          | 0,70          | 1,2,3     |
| PL3 / 1              | 0,70          | 1,2,3     |
| DİF.LCD PANO         | 0,70          | 1,2,3,5,6 |
| DİF.LCD PANO GRİ     | 0,70          | 1,2,3,5,6 |
| FUS. LCD PANO        | 0,70          | 1,2,3,5,6 |
| FUS. LCD PANO GRİ    | 0,70          | 1,2,3,5,6 |
| TR PL2. PANO ÇEK     | 0,37          | 4         |
| TR DİF PANO          | 0,73          | 1,2,3     |
| TR DİF. PANO GRİ     | 0,73          | 1,2,3     |
| TR PL0.PANO          | 0,73          | 1,2,3     |
| TR DİF.PANO ÇEK      | 0,37          | 1,2,3     |
| TR DİF.PANO ÇEK GRİ  | 0,37          | 1,2,3     |
| TR DİF.PANO PL2      | 0,73          | 1,2,3     |
| PL1 ÇEKMECE          | 0,37          | 4         |
| PL1 ÇEKMECE GRİ      | 0,37          | 4         |
| PL1-A ÇEKMECE        | 0,37          | 4         |
| PL1-A ÇEKMECE GRİ    | 0,37          | 4         |
| DİF.LCD ÇEKMECE      | 0,37          | 1,2,3,4   |
| DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 0,37          | 1,2,3,4   |
| PL3 ÇEKMECE          | 0,37          | 4         |
| PL3 ÇEKMECE GRİ      | 0,37          | 4         |

Bu şekilde alternatif tezgahlar arasından minimum akış zamanına sahip olan tezgaha sırayla tüm işler atanır. Çizelge 6.6 420/1 tezgahı için atama adımı sonucu başlangıç çizelgeyi göstermektedir. Tüm tezgahların çizelgeleri Ekler 1 'de verilmiştir.

Çizelge 6.6 420/1 tezgahı başlangıç çizelgesi

| Sıra<br>[j] | Sipariş<br>[Dij] | Talep<br>[dij] | Model [Mij]     | Üretim<br>Zamanı<br>[pij] | Setup<br>[sij] | Fiili<br>Başlama<br>[bij] | Bitiş<br>Zamanı<br>[cij] | Gecikme  |
|-------------|------------------|----------------|-----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|----------|
| 1           | 1440             | 2024           | PL1 / 2         | 1416,80                   | 0              | 0,00                      | 1416,80                  | -23,20   |
| 19          | 4320             | 47             | PL1 / 1         | 32,90                     | 120            | 1416,80                   | 1569,70                  | -2750,30 |
| 21          | 4320             | 36             | TR DİF PANO     | 26,40                     | 120            | 1569,70                   | 1716,10                  | -2603,90 |
| 25          | 4320             | 892            | FUS.LCD ÇEKMECE | 327,07                    | 120            | 1716,10                   | 2163,17                  | -2156,83 |
| 28          | 5760             | 150            | PL1 / 1         | 105,00                    | 120            | 2163,17                   | 2388,17                  | -3371,83 |

|     |       |      |                      |         |     |          |          |          |
|-----|-------|------|----------------------|---------|-----|----------|----------|----------|
| 29  | 5760  | 853  | PL3 / 1              | 597,10  | 120 | 2388,17  | 3105,27  | -2654,73 |
| 36  | 5760  | 700  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 256,67  | 120 | 3105,27  | 3481,93  | -2278,07 |
| 39  | 7200  | 1178 | PL1 / 2              | 824,60  | 120 | 3481,93  | 4426,53  | -2773,47 |
| 44  | 7200  | 234  | TR PL0.PANO          | 171,60  | 120 | 4426,53  | 4718,13  | -2481,87 |
| 45  | 7200  | 234  | TR DİF.PANO ÇEK GRİ  | 85,80   | 120 | 4718,13  | 4923,93  | -2276,07 |
| 49  | 7200  | 894  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 327,80  | 120 | 4923,93  | 5371,73  | -1828,27 |
| 56  | 8640  | 371  | PL1 / 1              | 259,70  | 120 | 5371,73  | 5751,43  | -2888,57 |
| 57  | 8640  | 268  | PL3 / 2              | 187,60  | 120 | 5751,43  | 6059,03  | -2580,97 |
| 61  | 8640  | 470  | FUS. LCD PANO GRİ    | 329,00  | 120 | 6059,03  | 6508,03  | -2131,97 |
| 64  | 8640  | 379  | TR DİF.PANO ÇEK      | 138,97  | 120 | 6508,03  | 6767,00  | -1873,00 |
| 73  | 8640  | 379  | TR DİF ÇEKMECE       | 138,97  | 120 | 6767,00  | 7025,97  | -1614,03 |
| 78  | 10080 | 399  | PL1 / 2              | 279,30  | 120 | 7025,97  | 7425,27  | -2654,73 |
| 80  | 10080 | 611  | PL1 / 1              | 427,70  | 120 | 7425,27  | 7972,97  | -2107,03 |
| 87  | 10080 | 1033 | TR PL0.PANO          | 757,53  | 120 | 7972,97  | 8850,50  | -1229,50 |
| 102 | 11520 | 1395 | PL1 / 1              | 976,50  | 120 | 8850,50  | 9947,00  | -1573,00 |
| 106 | 11520 | 561  | TR DİF PANO          | 411,40  | 120 | 9947,00  | 10478,40 | -1041,60 |
| 111 | 11520 | 628  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 230,27  | 120 | 10478,40 | 10828,67 | -691,33  |
| 117 | 12960 | 1439 | PL1 / 1              | 1007,30 | 120 | 10828,67 | 11955,97 | -1004,03 |
| 125 | 12960 | 974  | TR DİF.PANO ÇEK      | 357,13  | 120 | 11955,97 | 12433,10 | -526,90  |
| 130 | 12960 | 368  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 134,93  | 120 | 12433,10 | 12688,03 | -271,97  |
| 137 | 14400 | 1139 | PL1 / 1              | 797,30  | 120 | 12688,03 | 13605,33 | -794,67  |
| 140 | 14400 | 1203 | TR DİF PANO          | 882,20  | 120 | 13605,33 | 14607,53 | 207,53   |
| 151 | 17280 | 1148 | PL1 / 2              | 803,60  | 120 | 14607,53 | 15531,13 | -1748,87 |
| 157 | 17280 | 290  | TR PL0.PANO          | 212,67  | 120 | 15531,13 | 15863,80 | -1416,20 |
| 159 | 17280 | 653  | TR DİF.PANO PL2      | 478,87  | 120 | 15863,80 | 16462,67 | -817,33  |
| 167 | 18720 | 1076 | PL1 / 2              | 753,20  | 120 | 16462,67 | 17335,87 | -1384,13 |
| 170 | 18720 | 164  | TR DİF PANO          | 120,27  | 120 | 17335,87 | 17576,13 | -1143,87 |
| 171 | 18720 | 106  | TR PL0.PANO          | 77,73   | 120 | 17576,13 | 17773,87 | -946,13  |
| 172 | 18720 | 361  | TR DİF.PANO ÇEK      | 132,37  | 120 | 17773,87 | 18026,23 | -693,77  |
| 179 | 20160 | 600  | PL1 / 2              | 420,00  | 120 | 18026,23 | 18566,23 | -1593,77 |
| 182 | 20160 | 856  | PL3 / 2              | 599,20  | 120 | 18566,23 | 19285,43 | -874,57  |
| 187 | 20160 | 835  | TR DİF.PANO ÇEK      | 306,17  | 120 | 19285,43 | 19711,60 | -448,40  |
| 196 | 21600 | 1619 | PL1 / 2              | 1133,30 | 120 | 19711,60 | 20964,90 | -635,10  |
| 203 | 21600 | 183  | TR DİF PANO          | 134,20  | 120 | 20964,90 | 21219,10 | -380,90  |
| 205 | 21600 | 154  | TR DİF.PANO ÇEK      | 56,47   | 120 | 21219,10 | 21395,57 | -204,43  |
| 213 | 21600 | 154  | TR DİF ÇEKMECE       | 56,47   | 120 | 21395,57 | 21572,03 | -27,97   |
| 217 | 23040 | 802  | PL1 / 2              | 561,40  | 120 | 21572,03 | 22253,43 | -786,57  |
| 225 | 23040 | 920  | TR DİF.PANO PL2      | 674,67  | 120 | 22253,43 | 23048,10 | 8,10     |
| 237 | 24480 | 1550 | PL3 / 1              | 1085,00 | 120 | 23048,10 | 24253,10 | -226,90  |
| 249 | 25920 | 1250 | PL1 / 1              | 875,00  | 120 | 24253,10 | 25248,10 | -671,90  |
| 258 | 25920 | 170  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 62,33   | 120 | 25248,10 | 25430,43 | -489,57  |
| 260 | 25920 | 100  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 36,67   | 120 | 25430,43 | 25587,10 | -332,90  |
| 264 | 27360 | 1250 | PL1 / 1              | 875,00  | 120 | 25587,10 | 26582,10 | -777,90  |
| 272 | 27360 | 170  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 62,33   | 120 | 26582,10 | 26764,43 | -595,57  |
| 277 | 28800 | 1003 | PL1 / 2              | 702,10  | 120 | 26764,43 | 27586,53 | -1213,47 |
| 281 | 28800 | 1288 | PL3 / 2              | 901,60  | 120 | 27586,53 | 28608,13 | -191,87  |
| 286 | 28800 | 992  | TR PL0.PANO          | 727,47  | 120 | 28608,13 | 29455,60 | 655,60   |
| 298 | 30240 | 1500 | PL1 / 1              | 1050,00 | 120 | 29455,60 | 30625,60 | 385,60   |
| 308 | 30240 | 700  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 256,67  | 120 | 30625,60 | 31002,27 | 762,27   |
| 310 | 30240 | 515  | TR DİF ÇEKMECE       | 188,83  | 120 | 31002,27 | 31311,10 | 1071,10  |
| 315 | 31680 | 562  | PL1 / 1              | 393,40  | 120 | 31311,10 | 31824,50 | 144,50   |
| 319 | 31680 | 320  | TR PL0.PANO          | 234,67  | 120 | 31824,50 | 32179,17 | 499,17   |
| 324 | 31680 | 560  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 205,33  | 120 | 32179,17 | 32504,50 | 824,50   |
| 328 | 33120 | 1958 | PL1 / 1              | 1370,60 | 120 | 32504,50 | 33995,10 | 875,10   |
| 340 | 34560 | 1700 | PL1 / 1              | 1190,00 | 0   | 33995,10 | 35185,10 | 625,10   |

|     |       |      |                 |        |     |          |          |         |
|-----|-------|------|-----------------|--------|-----|----------|----------|---------|
| 347 | 34560 | 177  | TR DIF.PANO PL2 | 129,80 | 120 | 35185,10 | 35434,90 | 874,90  |
| 352 | 34560 | 500  | FUS.LCD ÇEKMECE | 183,33 | 120 | 35434,90 | 35738,23 | 1178,23 |
| 360 | 36000 | 581  | TR DIF PANO     | 426,07 | 120 | 35738,23 | 36284,30 | 284,30  |
| 361 | 36000 | 202  | TR PL0.PANO     | 148,13 | 120 | 36284,30 | 36552,43 | 552,43  |
| 362 | 36000 | 332  | TR DIF.PANO PL2 | 243,47 | 120 | 36552,43 | 36915,90 | 915,90  |
| 368 | 37440 | 1200 | PL1 / 2 GRİ     | 840,00 | 120 | 36915,90 | 37875,90 | 435,90  |
| 373 | 37440 | 1020 | TR DIF PANO     | 748,00 | 120 | 37875,90 | 38743,90 | 1303,90 |
| 381 | 38880 | 1200 | PL1 / 2 GRİ     | 840,00 | 120 | 38743,90 | 39703,90 | 823,90  |
| 385 | 38880 | 487  | TR DIF.PANO ÇEK | 178,57 | 120 | 39703,90 | 40002,47 | 1122,47 |
| 394 | 40320 | 1400 | PL1 / 2         | 980,00 | 120 | 40002,47 | 41102,47 | 782,47  |
| 402 | 40320 | 202  | TR PL0.PANO     | 148,13 | 120 | 41102,47 | 41370,60 | 1050,60 |
| 404 | 40320 | 332  | TR DIF.PANO PL2 | 243,47 | 120 | 41370,60 | 41734,07 | 1414,07 |
| 409 | 40320 | 689  | FUS.LCD ÇEKMECE | 252,63 | 120 | 41734,07 | 42106,70 | 1786,70 |

Tabloda geciken işler boyalı olarak işaretlenmiştir. Gecikme sütununda pozitif olarak gecikme süresi dakika cinsinden yer almaktadır. Negatif değerler işin teslim süresinden daha önce bitirildiğini göstermektedir. Bu örnek için gecikme süresi toplamı **18584,33 dakikadır**. Bu değer her geciken işin gecikme sürelerinin toplamından elde edilen gösterge değerdir. Yapılan setup sayısı ise **71 adettir**. Geciken iş sayısı **24 adettir**.

#### 6.4.2. Optimizasyon

6.3.2 ‘bölümünde anlatılmış olan algoritmaya göre atama tablosu üzerinden setup sayılarının ve toplam akış zamanının minimize edilmesi amacıyla optimizasyon yapılır.

Çizelge 6.7’ de optimizasyon yapılmış çizelge görülmektedir. Bu tabloya göre gecikme süresi toplamı **5692,30 dakikadır**. Yapılan setup sayısı **43 adettir**. Görüleceği üzere setup sayısındaki iyileşme **%39,4** oranındadır. Gecikme süresi ise **%69,3** oranında iyileşmiştir. Geciken iş sayısı ise **10 adettir**. Geciken iş sayısında **%58’lik** bir iyileşme olmuştur.

Çizelge 6.7 420/1 tezgahı optimizasyon tablosu

| Sıra [i] | Sipariş [Dij] | Talep [dij] | Model [Mij] | Üretim Zamanı [pij] | Setup [sij] | Fiili Başlama [bij] | Bitiş Zamanı [cij] | Gecikme   |
|----------|---------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------|-----------|
| 1        | 1440          | 2024        | PL1 / 2     | 1416,80             | 0           | 0,00                | 1416,80            | -23,20    |
| 167      | 18720         | 1076        | PL1 / 2     | 753,20              | 0           | 1416,80             | 2170,00            | -16550,00 |
| 151      | 17280         | 1148        | PL1 / 2     | 803,60              | 0           | 2170,00             | 2973,60            | -14306,40 |
| 78       | 10080         | 399         | PL1 / 2     | 279,30              | 0           | 2973,60             | 3252,90            | -6827,10  |
| 39       | 7200          | 1178        | PL1 / 2     | 824,60              | 0           | 3252,90             | 4077,50            | -3122,50  |
| 19       | 4320          | 47          | PL1 / 1     | 32,90               | 120         | 4077,50             | 4230,40            | -89,60    |
| 80       | 10080         | 611         | PL1 / 1     | 427,70              | 0           | 4230,40             | 4658,10            | -5421,90  |

|     |       |      |                      |         |     |          |          |           |
|-----|-------|------|----------------------|---------|-----|----------|----------|-----------|
| 56  | 8640  | 371  | PL1 / 1              | 259,70  | 0   | 4658,10  | 4917,80  | -3722,20  |
| 28  | 5760  | 150  | PL1 / 1              | 105,00  | 0   | 4917,80  | 5022,80  | -737,20   |
| 21  | 4320  | 36   | TR DİF PANO          | 26,40   | 120 | 5022,80  | 5169,20  | 849,20    |
| 25  | 4320  | 892  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 327,07  | 120 | 5169,20  | 5616,27  | 1296,27   |
| 260 | 25920 | 100  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 36,67   | 0   | 5616,27  | 5652,93  | -20267,07 |
| 49  | 7200  | 894  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 327,80  | 0   | 5652,93  | 5980,73  | -1219,27  |
| 36  | 5760  | 700  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 256,67  | 0   | 5980,73  | 6237,40  | 477,40    |
| 29  | 5760  | 853  | PL3 / 1              | 597,10  | 120 | 6237,40  | 6954,50  | 1194,50   |
| 44  | 7200  | 234  | TR PL0.PANO          | 171,60  | 120 | 6954,50  | 7246,10  | 46,10     |
| 45  | 7200  | 234  | TR DİF.PANO ÇEK GRİ  | 85,80   | 120 | 7246,10  | 7451,90  | 251,90    |
| 57  | 8640  | 268  | PL3 / 2              | 187,60  | 120 | 7451,90  | 7759,50  | -880,50   |
| 61  | 8640  | 470  | FUS. LCD PANO GRİ    | 329,00  | 120 | 7759,50  | 8208,50  | -431,50   |
| 64  | 8640  | 379  | TR DİF.PANO ÇEK      | 138,97  | 120 | 8208,50  | 8467,47  | -172,53   |
| 205 | 21600 | 154  | TR DİF.PANO ÇEK      | 56,47   | 0   | 8467,47  | 8523,93  | -13076,07 |
| 73  | 8640  | 379  | TR DİF ÇEKMECE       | 138,97  | 120 | 8523,93  | 8782,90  | 142,90    |
| 87  | 10080 | 1033 | TR PL0.PANO          | 757,53  | 120 | 8782,90  | 9660,43  | -419,57   |
| 102 | 11520 | 1395 | PL1 / 1              | 976,50  | 120 | 9660,43  | 10756,93 | -763,07   |
| 106 | 11520 | 561  | TR DİF PANO          | 411,40  | 120 | 10756,93 | 11288,33 | -231,67   |
| 111 | 11520 | 628  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 230,27  | 120 | 11288,33 | 11638,60 | 118,60    |
| 130 | 12960 | 368  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 134,93  | 0   | 11638,60 | 11773,53 | -1186,47  |
| 117 | 12960 | 1439 | PL1 / 1              | 1007,30 | 120 | 11773,53 | 12900,83 | -59,17    |
| 125 | 12960 | 974  | TR DİF.PANO ÇEK      | 357,13  | 120 | 12900,83 | 13377,97 | 417,97    |
| 137 | 14400 | 1139 | PL1 / 1              | 797,30  | 120 | 13377,97 | 14295,27 | -104,73   |
| 140 | 14400 | 1203 | TR DİF PANO          | 882,20  | 120 | 14295,27 | 15297,47 | 897,47    |
| 360 | 36000 | 581  | TR DİF PANO          | 426,07  | 0   | 15297,47 | 15723,53 | -20276,47 |
| 203 | 21600 | 183  | TR DİF PANO          | 134,20  | 0   | 15723,53 | 15857,73 | -5742,27  |
| 170 | 18720 | 164  | TR DİF PANO          | 120,27  | 0   | 15857,73 | 15978,00 | -2742,00  |
| 157 | 17280 | 290  | TR PL0.PANO          | 212,67  | 120 | 15978,00 | 16310,67 | -969,33   |
| 319 | 31680 | 320  | TR PL0.PANO          | 234,67  | 0   | 16310,67 | 16545,33 | -15134,67 |
| 171 | 18720 | 106  | TR PL0.PANO          | 77,73   | 0   | 16545,33 | 16623,07 | -2096,93  |
| 159 | 17280 | 653  | TR DİF.PANO PL2      | 478,87  | 120 | 16623,07 | 17221,93 | -58,07    |
| 347 | 34560 | 177  | TR DİF.PANO PL2      | 129,80  | 0   | 17221,93 | 17351,73 | -17208,27 |
| 225 | 23040 | 920  | TR DİF.PANO PL2      | 674,67  | 0   | 17351,73 | 18026,40 | -5013,60  |
| 172 | 18720 | 361  | TR DİF.PANO ÇEK      | 132,37  | 120 | 18026,40 | 18278,77 | -441,23   |
| 187 | 20160 | 835  | TR DİF.PANO ÇEK      | 306,17  | 0   | 18278,77 | 18584,93 | -1575,07  |
| 179 | 20160 | 600  | PL1 / 2              | 420,00  | 120 | 18584,93 | 19124,93 | -1035,07  |
| 182 | 20160 | 856  | PL3 / 2              | 599,20  | 120 | 19124,93 | 19844,13 | -315,87   |
| 196 | 21600 | 1619 | PL1 / 2              | 1133,30 | 120 | 19844,13 | 21097,43 | -502,57   |
| 213 | 21600 | 154  | TR DİF ÇEKMECE       | 56,47   | 120 | 21097,43 | 21273,90 | -326,10   |
| 310 | 30240 | 515  | TR DİF ÇEKMECE       | 188,83  | 0   | 21273,90 | 21462,73 | -8777,27  |
| 217 | 23040 | 802  | PL1 / 2              | 561,40  | 120 | 21462,73 | 22144,13 | -895,87   |
| 277 | 28800 | 1003 | PL1 / 2              | 702,10  | 0   | 22144,13 | 22846,23 | -5953,77  |
| 237 | 24480 | 1550 | PL3 / 1              | 1085,00 | 120 | 22846,23 | 24051,23 | -428,77   |
| 249 | 25920 | 1250 | PL1 / 1              | 875,00  | 120 | 24051,23 | 25046,23 | -873,77   |
| 315 | 31680 | 562  | PL1 / 1              | 393,40  | 0   | 25046,23 | 25439,63 | -6240,37  |
| 258 | 25920 | 170  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 62,33   | 120 | 25439,63 | 25621,97 | -298,03   |
| 272 | 27360 | 170  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 62,33   | 0   | 25621,97 | 25684,30 | -1675,70  |
| 264 | 27360 | 1250 | PL1 / 1              | 875,00  | 120 | 25684,30 | 26679,30 | -680,70   |
| 281 | 28800 | 1288 | PL3 / 2              | 901,60  | 120 | 26679,30 | 27700,90 | -1099,10  |
| 286 | 28800 | 992  | TR PL0.PANO          | 727,47  | 120 | 27700,90 | 28548,37 | -251,63   |
| 298 | 30240 | 1500 | PL1 / 1              | 1050,00 | 120 | 28548,37 | 29718,37 | -521,63   |
| 308 | 30240 | 700  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 256,67  | 120 | 29718,37 | 30095,03 | -144,97   |
| 324 | 31680 | 560  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 205,33  | 120 | 30095,03 | 30420,37 | -1259,63  |
| 328 | 33120 | 1958 | PL1 / 1              | 1370,60 | 120 | 30420,37 | 31910,97 | -1209,03  |
| 340 | 34560 | 1700 | PL1 / 1              | 1190,00 | 0   | 31910,97 | 33100,97 | -1459,03  |

|     |       |      |                 |        |     |          |          |          |
|-----|-------|------|-----------------|--------|-----|----------|----------|----------|
| 352 | 34560 | 500  | FUS.LCD ÇEKMECE | 183,33 | 120 | 33100,97 | 33404,30 | -1155,70 |
| 409 | 40320 | 689  | FUS.LCD ÇEKMECE | 252,63 | 0   | 33404,30 | 33656,93 | -6663,07 |
| 361 | 36000 | 202  | TR PL0.PANO     | 148,13 | 120 | 33656,93 | 33925,07 | -2074,93 |
| 402 | 40320 | 202  | TR PL0.PANO     | 148,13 | 0   | 33925,07 | 34073,20 | -6246,80 |
| 362 | 36000 | 332  | TR DIF.PANO PL2 | 243,47 | 120 | 34073,20 | 34436,67 | -1563,33 |
| 404 | 40320 | 332  | TR DIF.PANO PL2 | 243,47 | 0   | 34436,67 | 34680,13 | -5639,87 |
| 368 | 37440 | 1200 | PL1 / 2 GRİ     | 840,00 | 120 | 34680,13 | 35640,13 | -1799,87 |
| 381 | 38880 | 1200 | PL1 / 2 GRİ     | 840,00 | 0   | 35640,13 | 36480,13 | -2399,87 |
| 373 | 37440 | 1020 | TR DIF PANO     | 748,00 | 120 | 36480,13 | 37348,13 | -91,87   |
| 385 | 38880 | 487  | TR DIF.PANO ÇEK | 178,57 | 120 | 37348,13 | 37646,70 | -1233,30 |
| 394 | 40320 | 1400 | PL1 / 2         | 980,00 | 120 | 37646,70 | 38746,70 | -1573,30 |

#### 6.4.3. Arıza zamanları ve tamir süreleri

Bu adımda da arıza zamanları ve tamir süreleri belirlenerek optimize edilmiş tabloya sanal işler olarak eklenir. Bu adımda kullanılan algoritma 6.3.3'nolu bölümde anlatılmıştır. Çizelge 6.8'de 420/1 tezgahını optimize edilmiş tablosuna arızaların eklenmiş hali görülmektedir. Burada arızalar XX sanal işi olarak görülmektedir. XX sanal işlerinin sipariş ve talep değerleri 0 olmaktadır. Üretim zamanı olarak arızanın tamir süresi görülmektedir. Arıza tamir edildikten sonra işler kaldığı yerden devam etmektedir. Arızaların sisteme dahil edilmesiyle gecikme süresi **9896,00 dakikaya** çıkmıştır. Geciken iş sayısı **22'ye** yükselmiştir.

Çizelge 6.8 420/1 tezgahı arıza tablosu

| Sıra [j] | Sipariş [Dij] | Talep [dij] | Model [Mij]         | Üretim Zamanı [pij] | Setup [sij] | Fiili Başlama [bij] | Bitiş Zamanı [cij] | Gecikme   |
|----------|---------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------|-----------|
| 1        | 1440          | 2024        | PL1 / 2             | 1416,80             | 0           | 0,00                | 1416,80            | -23,20    |
| 167      | 18720         | 1076        | PL1 / 2             | 753,20              | 0           | 1416,80             | 2170,00            | -16550,00 |
| 151      | 17280         | 1148        | PL1 / 2             | 803,60              | 0           | 2170,00             | 2973,60            | -14306,40 |
| 78       | 10080         | 399         | PL1 / 2             | 279,30              | 0           | 2973,60             | 3252,90            | -6827,10  |
| 39       | 0             | 724         | PL1 / 2             | 506,80              | 0           | 3252,90             | 3760,00            |           |
|          | 0             | 0           | XX                  | 30,00               | 0           | 3760,00             | 3790,00            |           |
|          | 7200          | 454         | PL1 / 2             | 317,80              | 0           | 3790,00             | 4107,50            | -3092,50  |
| 19       | 4320          | 47          | PL1 / 1             | 32,90               | 120         | 4107,50             | 4260,40            | -59,60    |
| 80       | 0             | 391         | PL1 / 1             | 273,70              | 0           | 4260,40             | 4534,00            |           |
|          | 0             | 0           | XX                  | 60,00               | 0           | 4534,00             | 4594,00            |           |
|          | 10080         | 220         | PL1 / 1             | 154,00              | 0           | 4594,00             | 4748,10            | -5331,90  |
| 56       | 8640          | 371         | PL1 / 1             | 259,70              | 0           | 4748,10             | 5007,80            | -3632,20  |
| 28       | 5760          | 150         | PL1 / 1             | 105,00              | 0           | 5007,80             | 5112,80            | -647,20   |
| 21       | 4320          | 36          | TR DIF PANO         | 26,40               | 120         | 5112,80             | 5259,20            | 939,20    |
| 25       | 4320          | 892         | FUS.LCD ÇEKMECE     | 327,07              | 120         | 5259,20             | 5706,27            | 1386,27   |
| 260      | 25920         | 100         | FUS.LCD ÇEKMECE     | 36,67               | 0           | 5706,27             | 5742,93            | -20177,07 |
| 49       | 7200          | 894         | FUS.LCD ÇEKMECE     | 327,80              | 0           | 5742,93             | 6070,73            | -1129,27  |
| 36       | 5760          | 700         | FUS.LCD ÇEKMECE     | 256,67              | 0           | 6070,73             | 6327,40            | 567,40    |
| 29       | 5760          | 853         | PL3 / 1             | 597,10              | 120         | 6327,40             | 7044,50            | 1284,50   |
| 44       | 7200          | 234         | TR PL0.PANO         | 171,60              | 120         | 7044,50             | 7336,10            | 136,10    |
| 45       | 7200          | 234         | TR DIF.PANO ÇEK GRİ | 85,80               | 120         | 7336,10             | 7541,90            | 341,90    |
| 57       | 0             | 146         | PL3 / 2             | 102,20              | 120         | 7541,90             | 7764,00            |           |
|          | 0             | 0           | XX                  | 30,00               | 0           | 7764,00             | 7794,00            |           |

|     |       |      |                      |         |     |          |          |           |
|-----|-------|------|----------------------|---------|-----|----------|----------|-----------|
|     | 8640  | 122  | PL3 / 2              | 85,40   | 0   | 7794,00  | 7879,50  | -760,50   |
| 61  | 0     | 266  | FUS. LCD PANO GRİ    | 186,20  | 120 | 7879,50  | 8186,00  |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 60,00   | 0   | 8186,00  | 8246,00  |           |
|     | 8640  | 204  | FUS. LCD PANO GRİ    | 142,80  | 0   | 8246,00  | 8388,50  | -251,50   |
| 64  | 0     | 80   | TR DIF.PANO ÇEK      | 29,33   | 120 | 8388,50  | 8538,00  |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 60,00   | 0   | 8538,00  | 8598,00  |           |
|     | 8640  | 299  | TR DIF.PANO ÇEK      | 109,63  | 0   | 8598,00  | 8707,47  | 67,47     |
| 205 | 21600 | 154  | TR DIF.PANO ÇEK      | 56,47   | 0   | 8707,47  | 8763,93  | -12836,07 |
| 73  | 8640  | 379  | TR DIF ÇEKMECE       | 138,97  | 120 | 8763,93  | 9022,90  | 382,90    |
| 87  | 10080 | 1033 | TR PL0.PANO          | 757,53  | 120 | 9022,90  | 9900,43  | -179,57   |
| 102 | 11520 | 1395 | PL1 / 1              | 976,50  | 120 | 9900,43  | 10996,93 | -523,07   |
| 106 | 0     | 404  | TR DIF PANO          | 296,27  | 120 | 10996,93 | 11413,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 90,00   | 0   | 11413,00 | 11503,00 |           |
|     | 11520 | 157  | TR DIF PANO          | 115,13  | 0   | 11503,00 | 11618,33 | 98,33     |
| 111 | 11520 | 628  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 230,27  | 120 | 11618,33 | 11968,60 | 448,60    |
| 130 | 12960 | 368  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 134,93  | 0   | 11968,60 | 12103,53 | -856,47   |
| 117 | 12960 | 1439 | PL1 / 1              | 1007,30 | 120 | 12103,53 | 13230,83 | 270,83    |
| 125 | 12960 | 974  | TR DIF.PANO ÇEK      | 357,13  | 120 | 13230,83 | 13707,97 | 747,97    |
| 137 | 0     | 137  | PL1 / 1              | 95,90   | 120 | 13707,97 | 13924,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 30,00   | 0   | 13924,00 | 13954,00 |           |
|     | 14400 | 1002 | PL1 / 1              | 701,40  | 0   | 13954,00 | 14655,27 | 255,27    |
| 140 | 14400 | 1203 | TR DIF PANO          | 882,20  | 120 | 14655,27 | 15657,47 | 1257,47   |
| 360 | 36000 | 581  | TR DIF PANO          | 426,07  | 0   | 15657,47 | 16083,53 | -19916,47 |
| 203 | 21600 | 183  | TR DIF PANO          | 134,20  | 0   | 16083,53 | 16217,73 | -5382,27  |
| 170 | 18720 | 164  | TR DIF PANO          | 120,27  | 0   | 16217,73 | 16338,00 | -2382,00  |
| 157 | 17280 | 290  | TR PL0.PANO          | 212,67  | 120 | 16338,00 | 16670,67 | -609,33   |
| 319 | 0     | 195  | TR PL0.PANO          | 143,00  | 0   | 16670,67 | 16814,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 60,00   | 0   | 16814,00 | 16874,00 |           |
|     | 31680 | 125  | TR PL0.PANO          | 91,67   | 0   | 16874,00 | 16965,33 | -14714,67 |
| 171 | 18720 | 106  | TR PL0.PANO          | 77,73   | 0   | 16965,33 | 17043,07 | -1676,93  |
| 159 | 17280 | 653  | TR DIF.PANO PL2      | 478,87  | 120 | 17043,07 | 17641,93 | 361,93    |
| 347 | 34560 | 177  | TR DIF.PANO PL2      | 129,80  | 0   | 17641,93 | 17771,73 | -16788,27 |
| 225 | 23040 | 920  | TR DIF.PANO PL2      | 674,67  | 0   | 17771,73 | 18446,40 | -4593,60  |
| 172 | 18720 | 361  | TR DIF.PANO ÇEK      | 132,37  | 120 | 18446,40 | 18698,77 | -21,23    |
| 187 | 20160 | 835  | TR DIF.PANO ÇEK      | 306,17  | 0   | 18698,77 | 19004,93 | -1155,07  |
| 179 | 20160 | 600  | PL1 / 2              | 420,00  | 120 | 19004,93 | 19544,93 | -615,07   |
| 182 | 20160 | 856  | PL3 / 2              | 599,20  | 120 | 19544,93 | 20264,13 | 104,13    |
| 196 | 21600 | 1619 | PL1 / 2              | 1133,30 | 120 | 20264,13 | 21517,43 | -82,57    |
| 213 | 21600 | 154  | TR DIF ÇEKMECE       | 56,47   | 120 | 21517,43 | 21693,90 | 93,90     |
| 310 | 30240 | 515  | TR DIF ÇEKMECE       | 188,83  | 0   | 21693,90 | 21882,73 | -8357,27  |
| 217 | 23040 | 802  | PL1 / 2              | 561,40  | 120 | 21882,73 | 22564,13 | -475,87   |
| 277 | 0     | 878  | PL1 / 2              | 614,60  | 0   | 22564,13 | 23179,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 30,00   | 0   | 23179,00 | 23209,00 |           |
|     | 28800 | 125  | PL1 / 2              | 87,50   | 0   | 23209,00 | 23296,23 | -5503,77  |
| 237 | 24480 | 1550 | PL3 / 1              | 1085,00 | 120 | 23296,23 | 24501,23 | 21,23     |
| 249 | 25920 | 1250 | PL1 / 1              | 875,00  | 120 | 24501,23 | 25496,23 | -423,77   |
| 315 | 31680 | 562  | PL1 / 1              | 393,40  | 0   | 25496,23 | 25889,63 | -5790,37  |
| 258 | 25920 | 170  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 62,33   | 120 | 25889,63 | 26071,97 | 151,97    |
| 272 | 27360 | 170  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 62,33   | 0   | 26071,97 | 26134,30 | -1225,70  |
| 264 | 27360 | 1250 | PL1 / 1              | 875,00  | 120 | 26134,30 | 27129,30 | -230,70   |
| 281 | 0     | 450  | PL3 / 2              | 315,00  | 120 | 27129,30 | 27564,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 30,00   | 0   | 27564,00 | 27594,00 |           |
|     | 28800 | 838  | PL3 / 2              | 586,60  | 0   | 27594,00 | 28180,90 | -619,10   |
| 286 | 28800 | 992  | TR PL0.PANO          | 727,47  | 120 | 28180,90 | 29028,37 | 228,37    |
| 298 | 30240 | 1500 | PL1 / 1              | 1050,00 | 120 | 29028,37 | 30198,37 | -41,63    |

|     |       |      |                      |         |     |          |          |          |
|-----|-------|------|----------------------|---------|-----|----------|----------|----------|
| 308 | 30240 | 700  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 256,67  | 120 | 30198,37 | 30575,03 | 335,03   |
| 324 | 31680 | 560  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 205,33  | 120 | 30575,03 | 30900,37 | -779,63  |
| 328 | 33120 | 1958 | PL1 / 1              | 1370,60 | 120 | 30900,37 | 32390,97 | -729,03  |
| 340 | 34560 | 1700 | PL1 / 1              | 1190,00 | 0   | 32390,97 | 33580,97 | -979,03  |
| 352 | 34560 | 500  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 183,33  | 120 | 33580,97 | 33884,30 | -675,70  |
| 409 | 40320 | 689  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 252,63  | 0   | 33884,30 | 34136,93 | -6183,07 |
| 361 | 36000 | 202  | TR PL0.PANO          | 148,13  | 120 | 34136,93 | 34405,07 | -1594,93 |
| 402 | 40320 | 202  | TR PL0.PANO          | 148,13  | 0   | 34405,07 | 34553,20 | -5766,80 |
| 362 | 0     | 236  | TR DİF.PANO PL2      | 173,07  | 120 | 34553,20 | 34846,00 |          |
|     | 0     | 0    | XX                   | 30,00   | 0   | 34846,00 | 34876,00 |          |
|     | 36000 | 96   | TR DİF.PANO PL2      | 70,40   | 0   | 34876,00 | 34946,67 | -1053,33 |
| 404 | 40320 | 332  | TR DİF.PANO PL2      | 243,47  | 0   | 34946,67 | 35190,13 | -5129,87 |
| 368 | 37440 | 1200 | PL1 / 2 GRİ          | 840,00  | 120 | 35190,13 | 36150,13 | -1289,87 |
| 381 | 38880 | 1200 | PL1 / 2 GRİ          | 840,00  | 0   | 36150,13 | 36990,13 | -1889,87 |
| 373 | 37440 | 1020 | TR DİF PANO          | 748,00  | 120 | 36990,13 | 37858,13 | 418,13   |
| 385 | 38880 | 487  | TR DİF.PANO ÇEK      | 178,57  | 120 | 37858,13 | 38156,70 | -723,30  |
| 394 | 40320 | 1400 | PL1 / 2              | 980,00  | 120 | 38156,70 | 39256,70 | -1063,30 |

#### 6.4.4. İyileştirme sonucu

İyileştirme sonuçlarının özeti aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Çizelge 6.9 İyileştirme tablosu

|                      | Setup Sayısı | Geciken İş Sayısı | Gecikme Süresi<br>[dk] |
|----------------------|--------------|-------------------|------------------------|
| Başlangıç            | 71           | 24                | 18584,33               |
| Optimizasyon sonrası | 43           | 10                | 5692,30                |
| İyileşme             | 39,44%       | 58,33%            | 69,37%                 |
| Arızalar eklenince   | 43           | 22                | 9896,00                |

#### 6.5. Performans Değerlendirmesi

Algoritmanın performansı hakkında değerlendirme yapmak için testler yaparak çeşitli veriler elde edilmiştir. Testlerde 6 tezgahlı bir sistem referans alınmıştır. Tüm algoritma 50, 100 ,150 ,200, 250, 300, 350 ve 400 iş adedi için tekrar edilmiştir. Testlerde AMD XP 64 3500+ işlemci, 1 GB RAM, Windows XP Professional Editon işletim sistemli bir bilgisayar kullanılmıştır. Algoritmanın kodlaması Excel 2003'te VBA (Visual Basic for Application) kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 6.10 Algoritma iterasyon sayıları ve işlem süreleri

| İş Sayısı | Atama     |           | Optimizasyon |           | Arıza     |           |
|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|           | İterasyon | Süre (sn) | İterasyon    | Süre (sn) | İterasyon | Süre (sn) |
| 50        | 50        | 0,28      | 29           | 0,41      | 8         | 0,11      |
| 100       | 100       | 0,77      | 87           | 1,64      | 13        | 0,17      |
| 150       | 150       | 1,45      | 216          | 4,72      | 23        | 0,27      |
| 200       | 200       | 2,3       | 423          | 10,17     | 32        | 0,36      |
| 250       | 250       | 3,52      | 662          | 18,77     | 40        | 0,45      |
| 300       | 300       | 4,69      | 990          | 31,83     | 53        | 0,58      |
| 350       | 350       | 6,22      | 1258         | 44,06     | 63        | 0,69      |
| 400       | 400       | 8,27      | 1790         | 72,64     | 65        | 0,88      |

Yapılan testlerde iş sayı ile iterasyon sayıları ve dolayısıyla da geçen süreler arasında pozitif bir korelasyon bulunmaktadır.

Çizelge 6.11 İş sayısı ile iterasyon sayısı ve işlem süresi arasındaki korelasyon

|                     | İş Sayısı | Atama Süresi | Optimizasyon Süresi | Arıza Süresi |
|---------------------|-----------|--------------|---------------------|--------------|
| İş Sayısı           | 1,00      |              |                     |              |
| Atama Süresi        | 0,98      | 1,00         |                     |              |
| Optimizasyon Süresi | 0,93      | 0,99         | 1,00                |              |
| Arıza Süresi        | 0,99      | 1,00         | 0,97                | 1,00         |

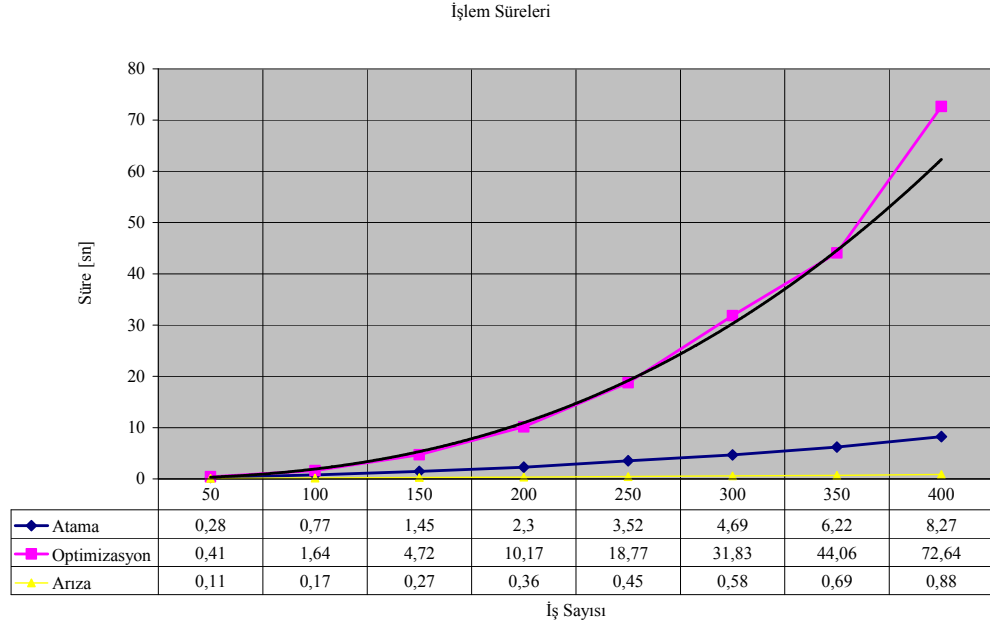
Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'deki grafiklerden de görüleceği gibi iş sayıları arttıkça iterasyon sayıları ve dolayısıyla işlem süreleri artmaktadır. Atama adımlarında daha basit bir algoritma yapısı olduğu için iş sayısı işlem süreleri üzerinde çok etkili değildir fakat optimizasyon adımında işlem süresi iş sayısı ile ikinci derece bir denkleme bağlı olarak artmaktadır.

İş sayısı ile işlem süresi arasındaki ilişki  $x$  iş sayısı olmak üzere aşağıdaki gibidir.

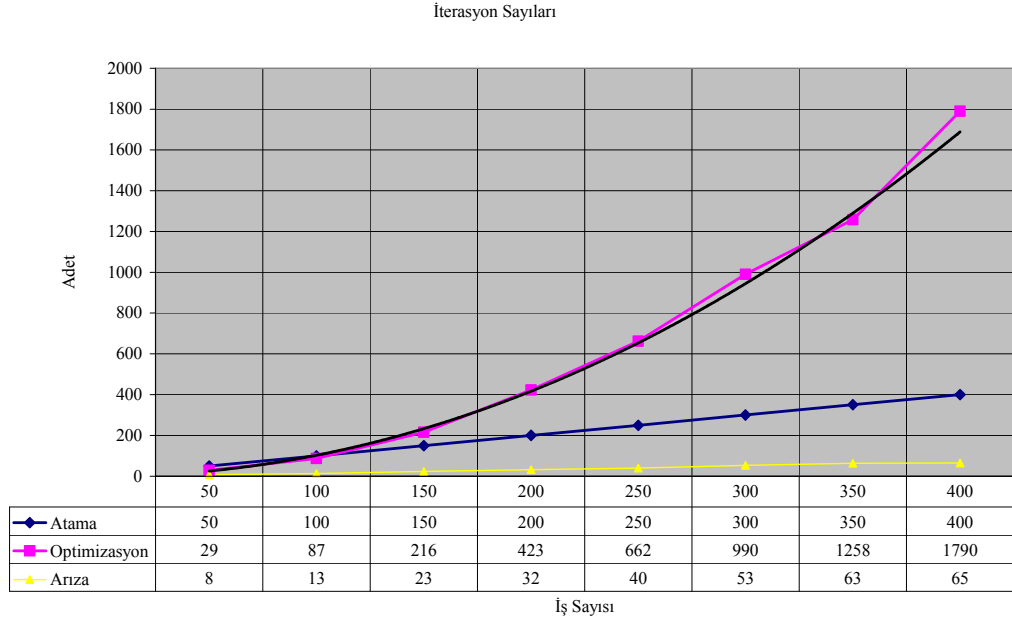
$$y = 0,3393x^{2,5069} \quad (6.3)$$

Burada kararlılık katsayısı  $R^2 = 0,995$  olduğundan denklem geçerlidir.





Şekil 6.1 İşlem süreleri grafiği



Şekil 6.2 İterasyon sayıları grafiği

Benzer şekilde Şekil 6.2’de görüleceği gibi iterasyon sayıları da iş sayısı ile ikinci dereceden bağlı olarak artış göstermektedir. İş sayısı ile iterasyon sayıları arasındaki ilişki  $x$  iş sayısı olmak üzere aşağıdaki gibidir.

$$y = 25,36x^{2,019} \quad (6.4)$$

Burada kararlılık katsayısı  $R^2 = 0,9959$  olduğundan denklem geçerlidir.

## 7. SONUÇLAR

Günümüz rekabet şartlarında yapılan bir işte artık saniyelerin bile son derece önemli rol almaktadır. Bir işin sadece bir saniye bile daha kısa sürede yapılabilmesi çoğu zaman binlerce lira kazanç olarak bize dönmektedir. Hal böyle olunca endüstri mühendisliği olarak temel konulardan biri olan optimizasyon en çok çalışma yapılan konu olmaya devam etmektedir. Proses ve ar-ge mühendisleri bir taraftan prosesleri daha basit ve kısa sürede gerçekleştirebilmek için çalışmalar yapsa da diğer taraftan işlerin planlanması ve kayıp zamanların elimine edilmesi her durumda hayati önem kazanmakta. Hatta çoğu zaman işin %50 'si kadar kazancı basit bir optimizasyon ile sağlayabilmekteyiz.

Bu çalışmada gerçek hayatta karşılaşılan çizelgeleme problemlerini çözebilmek için sezgisel algoritmalarından bazıları incelenmiş ve yine geliştirmiş olduğumuz sezgisel algoritma sayısal uygulamalı olarak açıklanmıştır. Sezgisel algoritmalar gerçek çalışmalara çözüm oluşturmak için yapılmakta ve gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Genelde araştırmacılar gerçek bir örnek üzerinde fiilen çalışmaktadırlar.

Sezgisel algoritmalarda bir iş-tezgah problemi çözümlenirken en çok karmaşa yaratan kısım arıza durumları olmaktadır. Araştırmacılar şimdiye dek bir çok arıza modeli üretmiş ve bu model ile algoritmalarının entegrasyonu için çalışma yapmıştır. Fakat arızaların kesin olarak ne zaman olacağı bilinmediği için mutlaka bir yaklaşım yöntemi seçilmek durumundadır. Hal böyle olunca elde edilen olasılıklar artmakta ve çizelgeleme problemi içinden çıkılmaz bir hale gelebilmektedir. Bu çalışmaya katkıda bulunan araştırmalar olarak iki kategoride dört çalışma incelenmiştir. Arıza durumu içeren ve içermeyen olarak iki ana bölüme ayrılan çalışmaların benzer ve farklı bakış açıları detaylı olarak irdelenmiştir. Özellikle arıza durumu içeren çalışmalarda görülen durum, arızaların sistemi çok karışık bir hale getirmemesi için genelde belli bir oran, veya belli bir aralıkta rastsal bir sayı olarak sisteme dahil edilmeleridir. Diğer bir nokta ise, eğer yapılan çalışmada arıza modeli detaylı ise tek tezgah veya iki tezgah için çizelgeleme yapılmıştır. Üç veya n tezgahlı çalışmalarda ise arıza modelleri genelde çok daha basit sisteme dahil edilmektedir.

Bu çalışmada ise arıza modeli gerçek hayata daha yakın olması için istatistiksel bilgiler kullanılarak arıza bir dağılım ile tanımlanmıştır. Algoritma içinde bu dağılıma uyan rastsal geliş arası süreler hesaplanarak çizelgeleme modelinin içinde dahil edilmiştir. Sayısal örnekler ile de görüleceği gibi setup sayılarında yaklaşık %40, geciken iş sayısında ise yaklaşık %60'a varan iyileştirmeler sağlanmıştır. Algoritmanın n tezgah için geçerli olduğunu düşünürsek arıza modeli içeren bir çalışmada gayet iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmadan sonra yapılacak ileriki çalışmalara yön vermesi açısından şu noktalar incelenebilir. Bu çalışmada tezgahlara ilk iş dağılımı yapıldıktan sonra her tezgah bireysel olarak düşünülmektedir. Örneğin bir tezgahta sorun çıktığında, diğer tezgahlarda olabilecek boş kapasiteler kullanılamamaktadır. Yani tezgahlar arası iş geçişine izin verilmemektedir. Bu yapıya izin veren bir çalışma iyileşme seviyelerini çok daha yüksek rakamlara çekebilir. Diğer bir nokta işe başlangıç durumunda ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada  $t = 0$  anında işler boş duran tezgahlara atanmaya başlanmaktadır. Oysaki gerçek hayatta iş listeleri planlamaya başlanırken o anda tezgahlarda bir önceki işler işlenmektedir. İleriki çalışmalarda başlangıçta işlenmekte olan işlerin de göz önünde alınarak yeni çizelgelemeye dahil edilebilir hale getirilmesi faydalı bir çalışma olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Acar A., (1989), "Linear Programming for Managerial Decisions-A Non Algorithmic Approach with Computer Applications", Middle East Technical University, Ankara.
- Alli A.M., (1989), "A Heuristic N-Jobs-M-Machines Scheduling Algorithm" Computers Industrial Engineering, Vol.17, No.1-4.
- Albers S., Schmidt G., (2001), "Scheduling with unexpected machine breakdowns", Discrete Applied Mathematics, 85-99.
- Blackstone J, H., Philipps D.T., Hogg G.L., (1982), "A State of the Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing job Shop Operations", International Journal of Production Research, Vol.20, No.1.
- Cao D., Chen M., Wan G., (2005), "Parallel machine selection and job scheduling to minimize machine cost and job tardiness", Computers & Operation Research, Vol.32, 1995-2012.
- Delporte C., Thomas J., (1977), "Lot Sizing and Sequencing for N Products on One Facility", Management Science, June.
- Elmaghraby S., (1977), "The Economic Lot Scheduling Problem (ELPS): Review and Extensions", Management Science, June.
- Hax A., Meal H., (1975), "Hierarchical Integration of Production Planning and Scheduling", Management Sciences, Vol.1.
- Higgins P., Browne J., (1992), "Master Production Scheduling A Concurrent Planning Approach", Production Planning and Control, Vol.3, No.1, 1992, 6.
- Hughes M.W., (1986), "Why Projects Fail: The Effects of Ignoring the Obvious", Industrial Engineering, Vol.18, No.4.
- Karmarkar U.S., (1987), "Lot Sizes, Lead Times and Inventory Process Inventories", Management Science, Vol.33, No.3.
- Lee C.Y, Lin C.S, (2001), "Single-machine scheduling with maintenance and repair rate-modifying activities", European Journal of Operational Research, 493-513.
- Maxell W.L., Muckstadt J., Thomas J., VanderEecken J., (1983), "A Modelling Framework for Planning and Control of Production in Discrete Parts Manufacturing and Assembly Systems", Interfaces, Vol 13, No.6.
- Maxell W.L., Singh H., (1983), "The Effect of Restricting Cycle Time in the Economic Lot Scheduling Problem", IEE Transaction Vo.15, No.3.
- McClain J.O., (1992), Operations Management: Production of Goods and Services, 3rd Ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Weiss E.N., (1988), "An Optimization Based Heuristic for Scheduling Parallel Project Networks with Constrained Renewable Resources", IEE Transactions, Vol.20, No.2, June 1.
- Yalaoui F., Chu C., (2003), "An efficient heuristic approach for parallel machine scheduling with job splitting and sequence-dependent setup times", IEE Transactions, Vol.35, 183-190.
- Zipkin P.H., (1991), "Computing Optimal Lot Sizes in the Economic Lot Scheduling Problem", Operations Research, Vol.35, No.1.

## EKLER

## Ek 1 420/1 Tezgahı (Atama tablosu)

| Sıra [j] | Sipariş [Dij] | Talep [dij] | Model [Mij]          | Üretim Zamanı [pij] | Setup [sij] | Fiili Başlama [bij] | Bitiş Zamanı [cij] | Gecikme  |
|----------|---------------|-------------|----------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------|----------|
| 1        | 1440          | 2024        | PL1 / 2              | 1416,80             | 0           | 0,00                | 1416,80            | -23,20   |
| 19       | 4320          | 47          | PL1 / 1              | 32,90               | 120         | 1416,80             | 1569,70            | -2750,30 |
| 21       | 4320          | 36          | TR DİF PANO          | 26,40               | 120         | 1569,70             | 1716,10            | -2603,90 |
| 25       | 4320          | 892         | FUS.LCD ÇEKMECE      | 327,07              | 120         | 1716,10             | 2163,17            | -2156,83 |
| 28       | 5760          | 150         | PL1 / 1              | 105,00              | 120         | 2163,17             | 2388,17            | -3371,83 |
| 29       | 5760          | 853         | PL3 / 1              | 597,10              | 120         | 2388,17             | 3105,27            | -2654,73 |
| 36       | 5760          | 700         | FUS.LCD ÇEKMECE      | 256,67              | 120         | 3105,27             | 3481,93            | -2278,07 |
| 39       | 7200          | 1178        | PL1 / 2              | 824,60              | 120         | 3481,93             | 4426,53            | -2773,47 |
| 44       | 7200          | 234         | TR PL0.PANO          | 171,60              | 120         | 4426,53             | 4718,13            | -2481,87 |
| 45       | 7200          | 234         | TR DİF.PANO ÇEK GRİ  | 85,80               | 120         | 4718,13             | 4923,93            | -2276,07 |
| 49       | 7200          | 894         | FUS.LCD ÇEKMECE      | 327,80              | 120         | 4923,93             | 5371,73            | -1828,27 |
| 56       | 8640          | 371         | PL1 / 1              | 259,70              | 120         | 5371,73             | 5751,43            | -2888,57 |
| 57       | 8640          | 268         | PL3 / 2              | 187,60              | 120         | 5751,43             | 6059,03            | -2580,97 |
| 61       | 8640          | 470         | FUS. LCD PANO GRİ    | 329,00              | 120         | 6059,03             | 6508,03            | -2131,97 |
| 64       | 8640          | 379         | TR DİF.PANO ÇEK      | 138,97              | 120         | 6508,03             | 6767,00            | -1873,00 |
| 73       | 8640          | 379         | TR DİF ÇEKMECE       | 138,97              | 120         | 6767,00             | 7025,97            | -1614,03 |
| 78       | 10080         | 399         | PL1 / 2              | 279,30              | 120         | 7025,97             | 7425,27            | -2654,73 |
| 80       | 10080         | 611         | PL1 / 1              | 427,70              | 120         | 7425,27             | 7972,97            | -2107,03 |
| 87       | 10080         | 1033        | TR PL0.PANO          | 757,53              | 120         | 7972,97             | 8850,50            | -1229,50 |
| 102      | 11520         | 1395        | PL1 / 1              | 976,50              | 120         | 8850,50             | 9947,00            | -1573,00 |
| 106      | 11520         | 561         | TR DİF PANO          | 411,40              | 120         | 9947,00             | 10478,40           | -1041,60 |
| 111      | 11520         | 628         | DİF.LCD ÇEKMECE      | 230,27              | 120         | 10478,40            | 10828,67           | -691,33  |
| 117      | 12960         | 1439        | PL1 / 1              | 1007,30             | 120         | 10828,67            | 11955,97           | -1004,03 |
| 125      | 12960         | 974         | TR DİF.PANO ÇEK      | 357,13              | 120         | 11955,97            | 12433,10           | -526,90  |
| 130      | 12960         | 368         | DİF.LCD ÇEKMECE      | 134,93              | 120         | 12433,10            | 12688,03           | -271,97  |
| 137      | 14400         | 1139        | PL1 / 1              | 797,30              | 120         | 12688,03            | 13605,33           | -794,67  |
| 140      | 14400         | 1203        | TR DİF PANO          | 882,20              | 120         | 13605,33            | 14607,53           | 207,53   |
| 151      | 17280         | 1148        | PL1 / 2              | 803,60              | 120         | 14607,53            | 15531,13           | -1748,87 |
| 157      | 17280         | 290         | TR PL0.PANO          | 212,67              | 120         | 15531,13            | 15863,80           | -1416,20 |
| 159      | 17280         | 653         | TR DİF.PANO PL2      | 478,87              | 120         | 15863,80            | 16462,67           | -817,33  |
| 167      | 18720         | 1076        | PL1 / 2              | 753,20              | 120         | 16462,67            | 17335,87           | -1384,13 |
| 170      | 18720         | 164         | TR DİF PANO          | 120,27              | 120         | 17335,87            | 17576,13           | -1143,87 |
| 171      | 18720         | 106         | TR PL0.PANO          | 77,73               | 120         | 17576,13            | 17773,87           | -946,13  |
| 172      | 18720         | 361         | TR DİF.PANO ÇEK      | 132,37              | 120         | 17773,87            | 18026,23           | -693,77  |
| 179      | 20160         | 600         | PL1 / 2              | 420,00              | 120         | 18026,23            | 18566,23           | -1593,77 |
| 182      | 20160         | 856         | PL3 / 2              | 599,20              | 120         | 18566,23            | 19285,43           | -874,57  |
| 187      | 20160         | 835         | TR DİF.PANO ÇEK      | 306,17              | 120         | 19285,43            | 19711,60           | -448,40  |
| 196      | 21600         | 1619        | PL1 / 2              | 1133,30             | 120         | 19711,60            | 20964,90           | -635,10  |
| 203      | 21600         | 183         | TR DİF PANO          | 134,20              | 120         | 20964,90            | 21219,10           | -380,90  |
| 205      | 21600         | 154         | TR DİF.PANO ÇEK      | 56,47               | 120         | 21219,10            | 21395,57           | -204,43  |
| 213      | 21600         | 154         | TR DİF ÇEKMECE       | 56,47               | 120         | 21395,57            | 21572,03           | -27,97   |
| 217      | 23040         | 802         | PL1 / 2              | 561,40              | 120         | 21572,03            | 22253,43           | -786,57  |
| 225      | 23040         | 920         | TR DİF.PANO PL2      | 674,67              | 120         | 22253,43            | 23048,10           | 8,10     |
| 237      | 24480         | 1550        | PL3 / 1              | 1085,00             | 120         | 23048,10            | 24253,10           | -226,90  |
| 249      | 25920         | 1250        | PL1 / 1              | 875,00              | 120         | 24253,10            | 25248,10           | -671,90  |
| 258      | 25920         | 170         | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 62,33               | 120         | 25248,10            | 25430,43           | -489,57  |
| 260      | 25920         | 100         | FUS.LCD ÇEKMECE      | 36,67               | 120         | 25430,43            | 25587,10           | -332,90  |

| Ek1 'in devamı |       |      |                      |         |     |          |          |          |
|----------------|-------|------|----------------------|---------|-----|----------|----------|----------|
| 264            | 27360 | 1250 | PL1 / 1              | 875,00  | 120 | 25587,10 | 26582,10 | -777,90  |
| 272            | 27360 | 170  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 62,33   | 120 | 26582,10 | 26764,43 | -595,57  |
| 277            | 28800 | 1003 | PL1 / 2              | 702,10  | 120 | 26764,43 | 27586,53 | -1213,47 |
| 281            | 28800 | 1288 | PL3 / 2              | 901,60  | 120 | 27586,53 | 28608,13 | -191,87  |
| 286            | 28800 | 992  | TR PL0.PANO          | 727,47  | 120 | 28608,13 | 29455,60 | 655,60   |
| 298            | 30240 | 1500 | PL1 / 1              | 1050,00 | 120 | 29455,60 | 30625,60 | 385,60   |
| 308            | 30240 | 700  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 256,67  | 120 | 30625,60 | 31002,27 | 762,27   |
| 310            | 30240 | 515  | TR DİF ÇEKMECE       | 188,83  | 120 | 31002,27 | 31311,10 | 1071,10  |
| 315            | 31680 | 562  | PL1 / 1              | 393,40  | 120 | 31311,10 | 31824,50 | 144,50   |
| 319            | 31680 | 320  | TR PL0.PANO          | 234,67  | 120 | 31824,50 | 32179,17 | 499,17   |
| 324            | 31680 | 560  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 205,33  | 120 | 32179,17 | 32504,50 | 824,50   |
| 328            | 33120 | 1958 | PL1 / 1              | 1370,60 | 120 | 32504,50 | 33995,10 | 875,10   |
| 340            | 34560 | 1700 | PL1 / 1              | 1190,00 | 0   | 33995,10 | 35185,10 | 625,10   |
| 347            | 34560 | 177  | TR DİF.PANO PL2      | 129,80  | 120 | 35185,10 | 35434,90 | 874,90   |
| 352            | 34560 | 500  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 183,33  | 120 | 35434,90 | 35738,23 | 1178,23  |
| 360            | 36000 | 581  | TR DİF PANO          | 426,07  | 120 | 35738,23 | 36284,30 | 284,30   |
| 361            | 36000 | 202  | TR PL0.PANO          | 148,13  | 120 | 36284,30 | 36552,43 | 552,43   |
| 362            | 36000 | 332  | TR DİF.PANO PL2      | 243,47  | 120 | 36552,43 | 36915,90 | 915,90   |
| 368            | 37440 | 1200 | PL1 / 2 GRİ          | 840,00  | 120 | 36915,90 | 37875,90 | 435,90   |
| 373            | 37440 | 1020 | TR DİF PANO          | 748,00  | 120 | 37875,90 | 38743,90 | 1303,90  |
| 381            | 38880 | 1200 | PL1 / 2 GRİ          | 840,00  | 120 | 38743,90 | 39703,90 | 823,90   |
| 385            | 38880 | 487  | TR DİF.PANO ÇEK      | 178,57  | 120 | 39703,90 | 40002,47 | 1122,47  |
| 394            | 40320 | 1400 | PL1 / 2              | 980,00  | 120 | 40002,47 | 41102,47 | 782,47   |
| 402            | 40320 | 202  | TR PL0.PANO          | 148,13  | 120 | 41102,47 | 41370,60 | 1050,60  |
| 404            | 40320 | 332  | TR DİF.PANO PL2      | 243,47  | 120 | 41370,60 | 41734,07 | 1414,07  |
| 409            | 40320 | 689  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 252,63  | 120 | 41734,07 | 42106,70 | 1786,70  |

**Ek 2 420/1 Tezgahı (Optimizasyon tablosu)**

| Sıra [j] | Sipariş [Dij] | Talep [dij] | Model [Mij]         | Üretim Zamanı [pij] | Setup [sij] | Fiili Başlama [bij] | Bitiş Zamanı [cij] | Gecikme   |
|----------|---------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------|-----------|
| 1        | 1440          | 2024        | PL1 / 2             | 1416,80             | 0           | 0,00                | 1416,80            | -23,20    |
| 167      | 18720         | 1076        | PL1 / 2             | 753,20              | 0           | 1416,80             | 2170,00            | -16550,00 |
| 151      | 17280         | 1148        | PL1 / 2             | 803,60              | 0           | 2170,00             | 2973,60            | -14306,40 |
| 78       | 10080         | 399         | PL1 / 2             | 279,30              | 0           | 2973,60             | 3252,90            | -6827,10  |
| 39       | 7200          | 1178        | PL1 / 2             | 824,60              | 0           | 3252,90             | 4077,50            | -3122,50  |
| 19       | 4320          | 47          | PL1 / 1             | 32,90               | 120         | 4077,50             | 4230,40            | -89,60    |
| 80       | 10080         | 611         | PL1 / 1             | 427,70              | 0           | 4230,40             | 4658,10            | -5421,90  |
| 56       | 8640          | 371         | PL1 / 1             | 259,70              | 0           | 4658,10             | 4917,80            | -3722,20  |
| 28       | 5760          | 150         | PL1 / 1             | 105,00              | 0           | 4917,80             | 5022,80            | -737,20   |
| 21       | 4320          | 36          | TR DIF.PANO         | 26,40               | 120         | 5022,80             | 5169,20            | 849,20    |
| 25       | 4320          | 892         | FUS.LCD ÇEKMECE     | 327,07              | 120         | 5169,20             | 5616,27            | 1296,27   |
| 260      | 25920         | 100         | FUS.LCD ÇEKMECE     | 36,67               | 0           | 5616,27             | 5652,93            | -20267,07 |
| 49       | 7200          | 894         | FUS.LCD ÇEKMECE     | 327,80              | 0           | 5652,93             | 5980,73            | -1219,27  |
| 36       | 5760          | 700         | FUS.LCD ÇEKMECE     | 256,67              | 0           | 5980,73             | 6237,40            | 477,40    |
| 29       | 5760          | 853         | PL3 / 1             | 597,10              | 120         | 6237,40             | 6954,50            | 1194,50   |
| 44       | 7200          | 234         | TR PL0.PANO         | 171,60              | 120         | 6954,50             | 7246,10            | 46,10     |
| 45       | 7200          | 234         | TR DIF.PANO ÇEK GRİ | 85,80               | 120         | 7246,10             | 7451,90            | 251,90    |
| 57       | 8640          | 268         | PL3 / 2             | 187,60              | 120         | 7451,90             | 7759,50            | -880,50   |
| 61       | 8640          | 470         | FUS. LCD PANO GRİ   | 329,00              | 120         | 7759,50             | 8208,50            | -431,50   |
| 64       | 8640          | 379         | TR DIF.PANO ÇEK     | 138,97              | 120         | 8208,50             | 8467,47            | -172,53   |
| 205      | 21600         | 154         | TR DIF.PANO ÇEK     | 56,47               | 0           | 8467,47             | 8523,93            | -13076,07 |
| 73       | 8640          | 379         | TR DIF ÇEKMECE      | 138,97              | 120         | 8523,93             | 8782,90            | 142,90    |
| 87       | 10080         | 1033        | TR PL0.PANO         | 757,53              | 120         | 8782,90             | 9660,43            | -419,57   |
| 102      | 11520         | 1395        | PL1 / 1             | 976,50              | 120         | 9660,43             | 10756,93           | -763,07   |
| 106      | 11520         | 561         | TR DIF.PANO         | 411,40              | 120         | 10756,93            | 11288,33           | -231,67   |
| 111      | 11520         | 628         | DİF.LCD ÇEKMECE     | 230,27              | 120         | 11288,33            | 11638,60           | 118,60    |
| 130      | 12960         | 368         | DİF.LCD ÇEKMECE     | 134,93              | 0           | 11638,60            | 11773,53           | -1186,47  |
| 117      | 12960         | 1439        | PL1 / 1             | 1007,30             | 120         | 11773,53            | 12900,83           | -59,17    |
| 125      | 12960         | 974         | TR DIF.PANO ÇEK     | 357,13              | 120         | 12900,83            | 13377,97           | 417,97    |
| 137      | 14400         | 1139        | PL1 / 1             | 797,30              | 120         | 13377,97            | 14295,27           | -104,73   |
| 140      | 14400         | 1203        | TR DIF.PANO         | 882,20              | 120         | 14295,27            | 15297,47           | 897,47    |
| 360      | 36000         | 581         | TR DIF.PANO         | 426,07              | 0           | 15297,47            | 15723,53           | -20276,47 |
| 203      | 21600         | 183         | TR DIF.PANO         | 134,20              | 0           | 15723,53            | 15857,73           | -5742,27  |
| 170      | 18720         | 164         | TR DIF.PANO         | 120,27              | 0           | 15857,73            | 15978,00           | -2742,00  |
| 157      | 17280         | 290         | TR PL0.PANO         | 212,67              | 120         | 15978,00            | 16310,67           | -969,33   |
| 319      | 31680         | 320         | TR PL0.PANO         | 234,67              | 0           | 16310,67            | 16545,33           | -15134,67 |
| 171      | 18720         | 106         | TR PL0.PANO         | 77,73               | 0           | 16545,33            | 16623,07           | -2096,93  |
| 159      | 17280         | 653         | TR DIF.PANO PL2     | 478,87              | 120         | 16623,07            | 17221,93           | -58,07    |
| 347      | 34560         | 177         | TR DIF.PANO PL2     | 129,80              | 0           | 17221,93            | 17351,73           | -17208,27 |
| 225      | 23040         | 920         | TR DIF.PANO PL2     | 674,67              | 0           | 17351,73            | 18026,40           | -5013,60  |
| 172      | 18720         | 361         | TR DIF.PANO ÇEK     | 132,37              | 120         | 18026,40            | 18278,77           | -441,23   |
| 187      | 20160         | 835         | TR DIF.PANO ÇEK     | 306,17              | 0           | 18278,77            | 18584,93           | -1575,07  |
| 179      | 20160         | 600         | PL1 / 2             | 420,00              | 120         | 18584,93            | 19124,93           | -1035,07  |
| 182      | 20160         | 856         | PL3 / 2             | 599,20              | 120         | 19124,93            | 19844,13           | -315,87   |
| 196      | 21600         | 1619        | PL1 / 2             | 1133,30             | 120         | 19844,13            | 21097,43           | -502,57   |
| 213      | 21600         | 154         | TR DIF ÇEKMECE      | 56,47               | 120         | 21097,43            | 21273,90           | -326,10   |
| 310      | 30240         | 515         | TR DIF ÇEKMECE      | 188,83              | 0           | 21273,90            | 21462,73           | -8777,27  |
| 217      | 23040         | 802         | PL1 / 2             | 561,40              | 120         | 21462,73            | 22144,13           | -895,87   |
| 277      | 28800         | 1003        | PL1 / 2             | 702,10              | 0           | 22144,13            | 22846,23           | -5953,77  |
| 237      | 24480         | 1550        | PL3 / 1             | 1085,00             | 120         | 22846,23            | 24051,23           | -428,77   |



**Ek 2 'nin devamı**

|     |       |      |                      |         |     |          |          |          |
|-----|-------|------|----------------------|---------|-----|----------|----------|----------|
| 249 | 25920 | 1250 | PL1 / 1              | 875,00  | 120 | 24051,23 | 25046,23 | -873,77  |
| 315 | 31680 | 562  | PL1 / 1              | 393,40  | 0   | 25046,23 | 25439,63 | -6240,37 |
| 258 | 25920 | 170  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 62,33   | 120 | 25439,63 | 25621,97 | -298,03  |
| 272 | 27360 | 170  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 62,33   | 0   | 25621,97 | 25684,30 | -1675,70 |
| 264 | 27360 | 1250 | PL1 / 1              | 875,00  | 120 | 25684,30 | 26679,30 | -680,70  |
| 281 | 28800 | 1288 | PL3 / 2              | 901,60  | 120 | 26679,30 | 27700,90 | -1099,10 |
| 286 | 28800 | 992  | TR PL0.PANO          | 727,47  | 120 | 27700,90 | 28548,37 | -251,63  |
| 298 | 30240 | 1500 | PL1 / 1              | 1050,00 | 120 | 28548,37 | 29718,37 | -521,63  |
| 308 | 30240 | 700  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 256,67  | 120 | 29718,37 | 30095,03 | -144,97  |
| 324 | 31680 | 560  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 205,33  | 120 | 30095,03 | 30420,37 | -1259,63 |
| 328 | 33120 | 1958 | PL1 / 1              | 1370,60 | 120 | 30420,37 | 31910,97 | -1209,03 |
| 340 | 34560 | 1700 | PL1 / 1              | 1190,00 | 0   | 31910,97 | 33100,97 | -1459,03 |
| 352 | 34560 | 500  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 183,33  | 120 | 33100,97 | 33404,30 | -1155,70 |
| 409 | 40320 | 689  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 252,63  | 0   | 33404,30 | 33656,93 | -6663,07 |
| 361 | 36000 | 202  | TR PL0.PANO          | 148,13  | 120 | 33656,93 | 33925,07 | -2074,93 |
| 402 | 40320 | 202  | TR PL0.PANO          | 148,13  | 0   | 33925,07 | 34073,20 | -6246,80 |
| 362 | 36000 | 332  | TR DİF.PANO PL2      | 243,47  | 120 | 34073,20 | 34436,67 | -1563,33 |
| 404 | 40320 | 332  | TR DİF.PANO PL2      | 243,47  | 0   | 34436,67 | 34680,13 | -5639,87 |
| 368 | 37440 | 1200 | PL1 / 2 GRİ          | 840,00  | 120 | 34680,13 | 35640,13 | -1799,87 |
| 381 | 38880 | 1200 | PL1 / 2 GRİ          | 840,00  | 0   | 35640,13 | 36480,13 | -2399,87 |
| 373 | 37440 | 1020 | TR DİF PANO          | 748,00  | 120 | 36480,13 | 37348,13 | -91,87   |
| 385 | 38880 | 487  | TR DİF.PANO ÇEK      | 178,57  | 120 | 37348,13 | 37646,70 | -1233,30 |
| 394 | 40320 | 1400 | PL1 / 2              | 980,00  | 120 | 37646,70 | 38746,70 | -1573,30 |

**Ek 3 420/1 Tezgahı (Arıza tablosu)**

| Sıra<br>[j] | Sipariş<br>[Dij] | Talep<br>[dij] | Model [Mij]         | Üretim<br>Zamanı [pij] | Setup<br>[sij] | Fiili<br>Başlama<br>[bij] | Bitiş<br>Zamanı<br>[cij] | Gecikme   |
|-------------|------------------|----------------|---------------------|------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|-----------|
| 1           | 1440             | 2024           | PL1 / 2             | 1416,80                | 0              | 0,00                      | 1416,80                  | -23,20    |
| 167         | 18720            | 1076           | PL1 / 2             | 753,20                 | 0              | 1416,80                   | 2170,00                  | -16550,00 |
| 151         | 17280            | 1148           | PL1 / 2             | 803,60                 | 0              | 2170,00                   | 2973,60                  | -14306,40 |
| 78          | 10080            | 399            | PL1 / 2             | 279,30                 | 0              | 2973,60                   | 3252,90                  | -6827,10  |
| 39          | 0                | 724            | PL1 / 2             | 506,80                 | 0              | 3252,90                   | 3760,00                  |           |
|             | 0                | 0              | XX                  | 30,00                  | 0              | 3760,00                   | 3790,00                  |           |
|             | 7200             | 454            | PL1 / 2             | 317,80                 | 0              | 3790,00                   | 4107,50                  | -3092,50  |
| 19          | 4320             | 47             | PL1 / 1             | 32,90                  | 120            | 4107,50                   | 4260,40                  | -59,60    |
| 80          | 0                | 391            | PL1 / 1             | 273,70                 | 0              | 4260,40                   | 4534,00                  |           |
|             | 0                | 0              | XX                  | 60,00                  | 0              | 4534,00                   | 4594,00                  |           |
|             | 10080            | 220            | PL1 / 1             | 154,00                 | 0              | 4594,00                   | 4748,10                  | -5331,90  |
| 56          | 8640             | 371            | PL1 / 1             | 259,70                 | 0              | 4748,10                   | 5007,80                  | -3632,20  |
| 28          | 5760             | 150            | PL1 / 1             | 105,00                 | 0              | 5007,80                   | 5112,80                  | -647,20   |
| 21          | 4320             | 36             | TR DIF.PANO         | 26,40                  | 120            | 5112,80                   | 5259,20                  | 939,20    |
| 25          | 4320             | 892            | FUS.LCD ÇEKMECE     | 327,07                 | 120            | 5259,20                   | 5706,27                  | 1386,27   |
| 260         | 25920            | 100            | FUS.LCD ÇEKMECE     | 36,67                  | 0              | 5706,27                   | 5742,93                  | -20177,07 |
| 49          | 7200             | 894            | FUS.LCD ÇEKMECE     | 327,80                 | 0              | 5742,93                   | 6070,73                  | -1129,27  |
| 36          | 5760             | 700            | FUS.LCD ÇEKMECE     | 256,67                 | 0              | 6070,73                   | 6327,40                  | 567,40    |
| 29          | 5760             | 853            | PL3 / 1             | 597,10                 | 120            | 6327,40                   | 7044,50                  | 1284,50   |
| 44          | 7200             | 234            | TR PL0.PANO         | 171,60                 | 120            | 7044,50                   | 7336,10                  | 136,10    |
| 45          | 7200             | 234            | TR DIF.PANO ÇEK GRİ | 85,80                  | 120            | 7336,10                   | 7541,90                  | 341,90    |
| 57          | 0                | 146            | PL3 / 2             | 102,20                 | 120            | 7541,90                   | 7764,00                  |           |
|             | 0                | 0              | XX                  | 30,00                  | 0              | 7764,00                   | 7794,00                  |           |
|             | 8640             | 122            | PL3 / 2             | 85,40                  | 0              | 7794,00                   | 7879,50                  | -760,50   |
| 61          | 0                | 266            | FUS. LCD PANO GRİ   | 186,20                 | 120            | 7879,50                   | 8186,00                  |           |
|             | 0                | 0              | XX                  | 60,00                  | 0              | 8186,00                   | 8246,00                  |           |
|             | 8640             | 204            | FUS. LCD PANO GRİ   | 142,80                 | 0              | 8246,00                   | 8388,50                  | -251,50   |
| 64          | 0                | 80             | TR DIF.PANO ÇEK     | 29,33                  | 120            | 8388,50                   | 8538,00                  |           |
|             | 0                | 0              | XX                  | 60,00                  | 0              | 8538,00                   | 8598,00                  |           |
|             | 8640             | 299            | TR DIF.PANO ÇEK     | 109,63                 | 0              | 8598,00                   | 8707,47                  | 67,47     |
| 205         | 21600            | 154            | TR DIF.PANO ÇEK     | 56,47                  | 0              | 8707,47                   | 8763,93                  | -12836,07 |
| 73          | 8640             | 379            | TR DIF ÇEKMECE      | 138,97                 | 120            | 8763,93                   | 9022,90                  | 382,90    |
| 87          | 10080            | 1033           | TR PL0.PANO         | 757,53                 | 120            | 9022,90                   | 9900,43                  | -179,57   |
| 102         | 11520            | 1395           | PL1 / 1             | 976,50                 | 120            | 9900,43                   | 10996,93                 | -523,07   |
| 106         | 0                | 404            | TR DIF.PANO         | 296,27                 | 120            | 10996,93                  | 11413,00                 |           |
|             | 0                | 0              | XX                  | 90,00                  | 0              | 11413,00                  | 11503,00                 |           |
|             | 11520            | 157            | TR DIF.PANO         | 115,13                 | 0              | 11503,00                  | 11618,33                 | 98,33     |
| 111         | 11520            | 628            | DIF.LCD ÇEKMECE     | 230,27                 | 120            | 11618,33                  | 11968,60                 | 448,60    |
| 130         | 12960            | 368            | DIF.LCD ÇEKMECE     | 134,93                 | 0              | 11968,60                  | 12103,53                 | -856,47   |
| 117         | 12960            | 1439           | PL1 / 1             | 1007,30                | 120            | 12103,53                  | 13230,83                 | 270,83    |
| 125         | 12960            | 974            | TR DIF.PANO ÇEK     | 357,13                 | 120            | 13230,83                  | 13707,97                 | 747,97    |
| 137         | 0                | 137            | PL1 / 1             | 95,90                  | 120            | 13707,97                  | 13924,00                 |           |
|             | 0                | 0              | XX                  | 30,00                  | 0              | 13924,00                  | 13954,00                 |           |
|             | 14400            | 1002           | PL1 / 1             | 701,40                 | 0              | 13954,00                  | 14655,27                 | 255,27    |
| 140         | 14400            | 1203           | TR DIF.PANO         | 882,20                 | 120            | 14655,27                  | 15657,47                 | 1257,47   |
| 360         | 36000            | 581            | TR DIF.PANO         | 426,07                 | 0              | 15657,47                  | 16083,53                 | -19916,47 |
| 203         | 21600            | 183            | TR DIF.PANO         | 134,20                 | 0              | 16083,53                  | 16217,73                 | -5382,27  |
| 170         | 18720            | 164            | TR DIF.PANO         | 120,27                 | 0              | 16217,73                  | 16338,00                 | -2382,00  |
| 157         | 17280            | 290            | TR PL0.PANO         | 212,67                 | 120            | 16338,00                  | 16670,67                 | -609,33   |
| 319         | 0                | 195            | TR PL0.PANO         | 143,00                 | 0              | 16670,67                  | 16814,00                 |           |

**Ek 3 'ün devamı**

|     |       |      |                      |         |     |          |          |           |
|-----|-------|------|----------------------|---------|-----|----------|----------|-----------|
|     | 0     | 0    | XX                   | 60,00   | 0   | 16814,00 | 16874,00 |           |
|     | 31680 | 125  | TR PL0.PANO          | 91,67   | 0   | 16874,00 | 16965,33 | -14714,67 |
| 171 | 18720 | 106  | TR PL0.PANO          | 77,73   | 0   | 16965,33 | 17043,07 | -1676,93  |
| 159 | 17280 | 653  | TR DIF.PANO PL2      | 478,87  | 120 | 17043,07 | 17641,93 | 361,93    |
| 347 | 34560 | 177  | TR DIF.PANO PL2      | 129,80  | 0   | 17641,93 | 17771,73 | -16788,27 |
| 225 | 23040 | 920  | TR DIF.PANO PL2      | 674,67  | 0   | 17771,73 | 18446,40 | -4593,60  |
| 172 | 18720 | 361  | TR DIF.PANO ÇEK      | 132,37  | 120 | 18446,40 | 18698,77 | -21,23    |
| 187 | 20160 | 835  | TR DIF.PANO ÇEK      | 306,17  | 0   | 18698,77 | 19004,93 | -1155,07  |
| 179 | 20160 | 600  | PL1 / 2              | 420,00  | 120 | 19004,93 | 19544,93 | -615,07   |
| 182 | 20160 | 856  | PL3 / 2              | 599,20  | 120 | 19544,93 | 20264,13 | 104,13    |
| 196 | 21600 | 1619 | PL1 / 2              | 1133,30 | 120 | 20264,13 | 21517,43 | -82,57    |
| 213 | 21600 | 154  | TR DIF ÇEKMECE       | 56,47   | 120 | 21517,43 | 21693,90 | 93,90     |
| 310 | 30240 | 515  | TR DIF ÇEKMECE       | 188,83  | 0   | 21693,90 | 21882,73 | -8357,27  |
| 217 | 23040 | 802  | PL1 / 2              | 561,40  | 120 | 21882,73 | 22564,13 | -475,87   |
| 277 | 0     | 878  | PL1 / 2              | 614,60  | 0   | 22564,13 | 23179,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 30,00   | 0   | 23179,00 | 23209,00 |           |
|     | 28800 | 125  | PL1 / 2              | 87,50   | 0   | 23209,00 | 23296,23 | -5503,77  |
| 237 | 24480 | 1550 | PL3 / 1              | 1085,00 | 120 | 23296,23 | 24501,23 | 21,23     |
| 249 | 25920 | 1250 | PL1 / 1              | 875,00  | 120 | 24501,23 | 25496,23 | -423,77   |
| 315 | 31680 | 562  | PL1 / 1              | 393,40  | 0   | 25496,23 | 25889,63 | -5790,37  |
| 258 | 25920 | 170  | DIF. LCD ÇEKMECE GRİ | 62,33   | 120 | 25889,63 | 26071,97 | 151,97    |
| 272 | 27360 | 170  | DIF. LCD ÇEKMECE GRİ | 62,33   | 0   | 26071,97 | 26134,30 | -1225,70  |
| 264 | 27360 | 1250 | PL1 / 1              | 875,00  | 120 | 26134,30 | 27129,30 | -230,70   |
| 281 | 0     | 450  | PL3 / 2              | 315,00  | 120 | 27129,30 | 27564,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 30,00   | 0   | 27564,00 | 27594,00 |           |
|     | 28800 | 838  | PL3 / 2              | 586,60  | 0   | 27594,00 | 28180,90 | -619,10   |
| 286 | 28800 | 992  | TR PL0.PANO          | 727,47  | 120 | 28180,90 | 29028,37 | 228,37    |
| 298 | 30240 | 1500 | PL1 / 1              | 1050,00 | 120 | 29028,37 | 30198,37 | -41,63    |
| 308 | 30240 | 700  | DIF. LCD ÇEKMECE GRİ | 256,67  | 120 | 30198,37 | 30575,03 | 335,03    |
| 324 | 31680 | 560  | DIF.LCD ÇEKMECE      | 205,33  | 120 | 30575,03 | 30900,37 | -779,63   |
| 328 | 33120 | 1958 | PL1 / 1              | 1370,60 | 120 | 30900,37 | 32390,97 | -729,03   |
| 340 | 34560 | 1700 | PL1 / 1              | 1190,00 | 0   | 32390,97 | 33580,97 | -979,03   |
| 352 | 34560 | 500  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 183,33  | 120 | 33580,97 | 33884,30 | -675,70   |
| 409 | 40320 | 689  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 252,63  | 0   | 33884,30 | 34136,93 | -6183,07  |
| 361 | 36000 | 202  | TR PL0.PANO          | 148,13  | 120 | 34136,93 | 34405,07 | -1594,93  |
| 402 | 40320 | 202  | TR PL0.PANO          | 148,13  | 0   | 34405,07 | 34553,20 | -5766,80  |
| 362 | 0     | 236  | TR DIF.PANO PL2      | 173,07  | 120 | 34553,20 | 34846,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 30,00   | 0   | 34846,00 | 34876,00 |           |
|     | 36000 | 96   | TR DIF.PANO PL2      | 70,40   | 0   | 34876,00 | 34946,67 | -1053,33  |
| 404 | 40320 | 332  | TR DIF.PANO PL2      | 243,47  | 0   | 34946,67 | 35190,13 | -5129,87  |
| 368 | 37440 | 1200 | PL1 / 2 GRİ          | 840,00  | 120 | 35190,13 | 36150,13 | -1289,87  |
| 381 | 38880 | 1200 | PL1 / 2 GRİ          | 840,00  | 0   | 36150,13 | 36990,13 | -1889,87  |
| 373 | 37440 | 1020 | TR DIF PANO          | 748,00  | 120 | 36990,13 | 37858,13 | 418,13    |
| 394 | 40320 | 1400 | PL1 / 2              | 980,00  | 120 | 38156,70 | 39256,70 | -1063,30  |

**Ek 4 420/2 Tezgahı (Atama tablosu)**

| Sıra [j] | Sipariş [Dij] | Talep [dij] | Model [Mij]          | Üretim Zamanı [pij] | Setup [sij] | Fiili Başlama [bij] | Bitiş Zamanı [cij] | Gecikme  |
|----------|---------------|-------------|----------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------|----------|
| 2        | 1440          | 598         | PL1 / 1              | 418,60              | 0           | 0,00                | 418,60             | -1021,40 |
| 12       | 2880          | 375         | PL1 / 1              | 262,50              | 0           | 418,60              | 681,10             | -2198,90 |
| 13       | 2880          | 313         | TR PL0.PANO          | 229,53              | 120         | 681,10              | 1030,63            | -1849,37 |
| 18       | 4320          | 1150        | PL1 / 2              | 805,00              | 120         | 1030,63             | 1955,63            | -2364,37 |
| 27       | 5760          | 1200        | PL1 / 2              | 840,00              | 0           | 1955,63             | 2795,63            | -2964,37 |
| 32       | 5760          | 1100        | TR PL0.PANO          | 806,67              | 120         | 2795,63             | 3722,30            | -2037,70 |
| 40       | 7200          | 2177        | PL1 / 1              | 1523,90             | 120         | 3722,30             | 5366,20            | -1833,80 |
| 55       | 8640          | 999         | PL1 / 2 GRİ          | 699,30              | 120         | 5366,20             | 6185,50            | -2454,50 |
| 62       | 8640          | 313         | TR DIF PANO          | 229,53              | 120         | 6185,50             | 6535,03            | -2104,97 |
| 65       | 8640          | 221         | TR DIF.PANO ÇEK GRİ  | 81,03               | 120         | 6535,03             | 6736,07            | -1903,93 |
| 72       | 8640          | 470         | FUS. LCD ÇEKMECE GRİ | 172,33              | 120         | 6736,07             | 7028,40            | -1611,60 |
| 79       | 10080         | 674         | PL1 / 2 GRİ          | 471,80              | 120         | 7028,40             | 7620,20            | -2459,80 |
| 82       | 10080         | 359         | PL3 / 1              | 251,30              | 120         | 7620,20             | 7991,50            | -2088,50 |
| 88       | 10080         | 893         | TR DIF.PANO ÇEK GRİ  | 327,43              | 120         | 7991,50             | 8438,93            | -1641,07 |
| 96       | 10080         | 207         | FUS. LCD ÇEKMECE GRİ | 75,90               | 120         | 8438,93             | 8634,83            | -1445,17 |
| 97       | 10080         | 678         | TR DIF ÇEKMECE GRİ   | 248,60              | 120         | 8634,83             | 9003,43            | -1076,57 |
| 103      | 11520         | 568         | PL3 / 2              | 397,60              | 120         | 9003,43             | 9521,03            | -1998,97 |
| 104      | 11520         | 656         | PL3 / 1              | 459,20              | 120         | 9521,03             | 10100,23           | -1419,77 |
| 107      | 11520         | 385         | TR PL0.PANO          | 282,33              | 120         | 10100,23            | 10502,57           | -1017,43 |
| 116      | 12960         | 1732        | PL1 / 2              | 1212,40             | 120         | 10502,57            | 11834,97           | -1125,03 |
| 123      | 12960         | 654         | TR DIF PANO          | 479,60              | 120         | 11834,97            | 12434,57           | -525,43  |
| 133      | 12960         | 567         | TR DIF ÇEKMECE       | 207,90              | 120         | 12434,57            | 12762,47           | -197,53  |
| 138      | 14400         | 1000        | PL1 / 1 GRİ          | 700,00              | 120         | 12762,47            | 13582,47           | -817,53  |
| 139      | 14400         | 283         | PL3 / 2              | 198,10              | 120         | 13582,47            | 13900,57           | -499,43  |
| 142      | 14400         | 589         | TR DIF.PANO ÇEK      | 215,97              | 120         | 13900,57            | 14236,53           | -163,47  |
| 143      | 14400         | 966         | TR DIF.PANO PL2      | 708,40              | 120         | 14236,53            | 15064,93           | 664,93   |
| 152      | 17280         | 1873        | PL1 / 1              | 1311,10             | 120         | 15064,93            | 16496,03           | -783,97  |
| 168      | 18720         | 2015        | PL1 / 1              | 1410,50             | 0           | 16496,03            | 17906,53           | -813,47  |
| 176      | 18720         | 361         | TR DIF ÇEKMECE       | 132,37              | 120         | 17906,53            | 18158,90           | -561,10  |
| 181      | 20160         | 701         | PL1 / 1              | 490,70              | 120         | 18158,90            | 18769,60           | -1390,40 |
| 185      | 20160         | 591         | TR DIF PANO          | 433,40              | 120         | 18769,60            | 19323,00           | -837,00  |
| 188      | 20160         | 189         | TR DIF.PANO PL2      | 138,60              | 120         | 19323,00            | 19581,60           | -578,40  |
| 193      | 20160         | 1000        | TR DIF ÇEKMECE       | 366,67              | 120         | 19581,60            | 20068,27           | -91,73   |
| 197      | 21600         | 574         | PL1 / 2 GRİ          | 401,80              | 120         | 20068,27            | 20590,07           | -1009,93 |
| 198      | 21600         | 784         | PL1 / 1              | 548,80              | 120         | 20590,07            | 21258,87           | -341,13  |
| 206      | 21600         | 967         | TR DIF.PANO PL2      | 709,13              | 120         | 21258,87            | 22088,00           | 488,00   |
| 220      | 23040         | 450         | PL3 / 1              | 315,00              | 120         | 22088,00            | 22523,00           | -517,00  |
| 231      | 23040         | 500         | FUS.LCD ÇEKMECE      | 183,33              | 120         | 22523,00            | 22826,33           | -213,67  |
| 235      | 24480         | 1298        | PL1 / 1              | 908,60              | 120         | 22826,33            | 23854,93           | -625,07  |
| 244      | 24480         | 1010        | FUS.LCD ÇEKMECE      | 370,33              | 120         | 23854,93            | 24345,27           | -134,73  |
| 250      | 25920         | 593         | PL3 / 2              | 415,10              | 120         | 24345,27            | 24880,37           | -1039,63 |
| 253      | 25920         | 234         | TR DIF PANO          | 171,60              | 120         | 24880,37            | 25171,97           | -748,03  |
| 255      | 25920         | 883         | TR DIF.PANO PL2      | 647,53              | 120         | 25171,97            | 25939,50           | 19,50    |
| 265      | 27360         | 593         | PL3 / 2              | 415,10              | 120         | 25939,50            | 26474,60           | -885,40  |
| 269      | 27360         | 883         | TR DIF.PANO PL2      | 647,53              | 120         | 26474,60            | 27242,13           | -117,87  |
| 279      | 28800         | 2111        | PL1 / 1              | 1477,70             | 120         | 27242,13            | 28839,83           | 39,83    |
| 291      | 28800         | 789         | DIF.LCD ÇEKMECE      | 289,30              | 120         | 28839,83            | 29249,13           | 449,13   |
| 297      | 30240         | 1786        | PL1 / 2              | 1250,20             | 120         | 29249,13            | 30619,33           | 379,33   |
| 304      | 30240         | 400         | TR DIF.PANO PL2      | 293,33              | 120         | 30619,33            | 31032,67           | 792,67   |

|                        |       |      |                 |         |     |          |          |         |
|------------------------|-------|------|-----------------|---------|-----|----------|----------|---------|
| 313                    | 31680 | 825  | PL1 / 2         | 577,50  | 120 | 31032,67 | 31730,17 | 50,17   |
| <b>Ek 4 'ün devamı</b> |       |      |                 |         |     |          |          |         |
| 318                    | 31680 | 122  | TR DİF PANO     | 89,47   | 120 | 31730,17 | 31939,63 | 259,63  |
| 320                    | 31680 | 811  | TR DİF.PANO PL2 | 594,73  | 120 | 31939,63 | 32654,37 | 974,37  |
| 331                    | 33120 | 581  | TR DİF PANO     | 426,07  | 120 | 32654,37 | 33200,43 | 80,43   |
| 332                    | 33120 | 202  | TR PL0.PANO     | 148,13  | 120 | 33200,43 | 33468,57 | 348,57  |
| 335                    | 33120 | 275  | DİF.LCD ÇEKMECE | 100,83  | 120 | 33468,57 | 33689,40 | 569,40  |
| 339                    | 34560 | 1966 | PL1 / 2         | 1376,20 | 120 | 33689,40 | 35185,60 | 625,60  |
| 349                    | 34560 | 465  | DİF.LCD ÇEKMECE | 170,50  | 120 | 35185,60 | 35476,10 | 916,10  |
| 353                    | 34560 | 368  | TR DİF ÇEKMECE  | 134,93  | 120 | 35476,10 | 35731,03 | 1171,03 |
| 357                    | 36000 | 1958 | PL1 / 1         | 1370,60 | 120 | 35731,03 | 37221,63 | 1221,63 |
| 369                    | 37440 | 1200 | PL1 / 1         | 840,00  | 0   | 37221,63 | 38061,63 | 621,63  |
| 376                    | 37440 | 1572 | DİF.LCD ÇEKMECE | 576,40  | 120 | 38061,63 | 38758,03 | 1318,03 |
| 382                    | 38880 | 1035 | PL1 / 1         | 724,50  | 120 | 38758,03 | 39602,53 | 722,53  |
| 384                    | 38880 | 303  | PL3 / 1         | 212,10  | 120 | 39602,53 | 39934,63 | 1054,63 |
| 391                    | 38880 | 487  | TR DİF ÇEKMECE  | 178,57  | 120 | 39934,63 | 40233,20 | 1353,20 |
| 395                    | 40320 | 120  | PL1 / 2 GRİ     | 84,00   | 120 | 40233,20 | 40437,20 | 117,20  |
| 396                    | 40320 | 1958 | PL1 / 1         | 1370,60 | 120 | 40437,20 | 41927,80 | 1607,80 |

**Ek 5 420/2 Tezgahı (Optimizasyon tablosu)**

| Sıra [j] | Sipariş [Dij] | Talep [dij] | Model [Mij]          | Üretim Zamanı [pij] | Setup [sij] | Fiili Başlama [bij] | Bitiş Zamanı [cij] | Gecikme   |
|----------|---------------|-------------|----------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------|-----------|
| 2        | 1440          | 598         | PL1 / 1              | 418,60              | 0           | 0,00                | 418,60             | -1021,40  |
| 12       | 2880          | 375         | PL1 / 1              | 262,50              | 0           | 418,60              | 681,10             | -2198,90  |
| 181      | 20160         | 701         | PL1 / 1              | 490,70              | 0           | 681,10              | 1171,80            | -18988,20 |
| 40       | 7200          | 2177        | PL1 / 1              | 1523,90             | 0           | 1171,80             | 2695,70            | -4504,30  |
| 13       | 2880          | 313         | TR PL0.PANO          | 229,53              | 120         | 2695,70             | 3045,23            | 165,23    |
| 332      | 33120         | 202         | TR PL0.PANO          | 148,13              | 0           | 3045,23             | 3193,37            | -29926,63 |
| 107      | 11520         | 385         | TR PL0.PANO          | 282,33              | 0           | 3193,37             | 3475,70            | -8044,30  |
| 32       | 5760          | 1100        | TR PL0.PANO          | 806,67              | 0           | 3475,70             | 4282,37            | -1477,63  |
| 18       | 4320          | 1150        | PL1 / 2              | 805,00              | 120         | 4282,37             | 5207,37            | 887,37    |
| 27       | 5760          | 1200        | PL1 / 2              | 840,00              | 0           | 5207,37             | 6047,37            | 287,37    |
| 55       | 8640          | 999         | PL1 / 2 GRİ          | 699,30              | 120         | 6047,37             | 6866,67            | -1773,33  |
| 79       | 10080         | 674         | PL1 / 2 GRİ          | 471,80              | 0           | 6866,67             | 7338,47            | -2741,53  |
| 62       | 8640          | 313         | TR DIF PANO          | 229,53              | 120         | 7338,47             | 7688,00            | -952,00   |
| 318      | 31680         | 122         | TR DIF PANO          | 89,47               | 0           | 7688,00             | 7777,47            | -23902,53 |
| 253      | 25920         | 234         | TR DIF PANO          | 171,60              | 0           | 7777,47             | 7949,07            | -17970,93 |
| 123      | 12960         | 654         | TR DIF PANO          | 479,60              | 0           | 7949,07             | 8428,67            | -4531,33  |
| 65       | 8640          | 221         | TR DIF.PANO ÇEK GRİ  | 81,03               | 120         | 8428,67             | 8629,70            | -10,30    |
| 88       | 10080         | 893         | TR DIF.PANO ÇEK GRİ  | 327,43              | 0           | 8629,70             | 8957,13            | -1122,87  |
| 72       | 8640          | 470         | FUS. LCD ÇEKMECE GRİ | 172,33              | 120         | 8957,13             | 9249,47            | 609,47    |
| 96       | 10080         | 207         | FUS. LCD ÇEKMECE GRİ | 75,90               | 0           | 9249,47             | 9325,37            | -754,63   |
| 82       | 10080         | 359         | PL3 / 1              | 251,30              | 120         | 9325,37             | 9696,67            | -383,33   |
| 97       | 10080         | 678         | TR DIF ÇEKMECE GRİ   | 248,60              | 120         | 9696,67             | 10065,27           | -14,73    |
| 103      | 11520         | 568         | PL3 / 2              | 397,60              | 120         | 10065,27            | 10582,87           | -937,13   |
| 139      | 14400         | 283         | PL3 / 2              | 198,10              | 0           | 10582,87            | 10780,97           | -3619,03  |
| 104      | 11520         | 656         | PL3 / 1              | 459,20              | 120         | 10780,97            | 11360,17           | -159,83   |
| 116      | 12960         | 1732        | PL1 / 2              | 1212,40             | 120         | 11360,17            | 12692,57           | -267,43   |
| 133      | 12960         | 567         | TR DIF ÇEKMECE       | 207,90              | 120         | 12692,57            | 13020,47           | 60,47     |
| 138      | 14400         | 1000        | PL1 / 1 GRİ          | 700,00              | 120         | 13020,47            | 13840,47           | -559,53   |
| 142      | 14400         | 589         | TR DIF.PANO ÇEK      | 215,97              | 120         | 13840,47            | 14176,43           | -223,57   |
| 143      | 14400         | 966         | TR DIF.PANO PL2      | 708,40              | 120         | 14176,43            | 15004,83           | 604,83    |
| 304      | 30240         | 400         | TR DIF.PANO PL2      | 293,33              | 0           | 15004,83            | 15298,17           | -14941,83 |
| 188      | 20160         | 189         | TR DIF.PANO PL2      | 138,60              | 0           | 15298,17            | 15436,77           | -4723,23  |
| 152      | 17280         | 1873        | PL1 / 1              | 1311,10             | 120         | 15436,77            | 16867,87           | -412,13   |
| 168      | 18720         | 2015        | PL1 / 1              | 1410,50             | 0           | 16867,87            | 18278,37           | -441,63   |
| 176      | 18720         | 361         | TR DIF ÇEKMECE       | 132,37              | 120         | 18278,37            | 18530,73           | -189,27   |
| 193      | 20160         | 1000        | TR DIF ÇEKMECE       | 366,67              | 0           | 18530,73            | 18897,40           | -1262,60  |
| 185      | 20160         | 591         | TR DIF PANO          | 433,40              | 120         | 18897,40            | 19450,80           | -709,20   |
| 197      | 21600         | 574         | PL1 / 2 GRİ          | 401,80              | 120         | 19450,80            | 19972,60           | -1627,40  |
| 395      | 40320         | 120         | PL1 / 2 GRİ          | 84,00               | 0           | 19972,60            | 20056,60           | -20263,40 |
| 198      | 21600         | 784         | PL1 / 1              | 548,80              | 120         | 20056,60            | 20725,40           | -874,60   |
| 206      | 21600         | 967         | TR DIF.PANO PL2      | 709,13              | 120         | 20725,40            | 21554,53           | -45,47    |
| 255      | 25920         | 883         | TR DIF.PANO PL2      | 647,53              | 0           | 21554,53            | 22202,07           | -3717,93  |
| 220      | 23040         | 450         | PL3 / 1              | 315,00              | 120         | 22202,07            | 22637,07           | -402,93   |
| 231      | 23040         | 500         | FUS.LCD ÇEKMECE      | 183,33              | 120         | 22637,07            | 22940,40           | -99,60    |
| 244      | 24480         | 1010        | FUS.LCD ÇEKMECE      | 370,33              | 0           | 22940,40            | 23310,73           | -1169,27  |
| 235      | 24480         | 1298        | PL1 / 1              | 908,60              | 120         | 23310,73            | 24339,33           | -140,67   |
| 382      | 38880         | 1035        | PL1 / 1              | 724,50              | 0           | 24339,33            | 25063,83           | -13816,17 |
| 250      | 25920         | 593         | PL3 / 2              | 415,10              | 120         | 25063,83            | 25598,93           | -321,07   |
| 265      | 27360         | 593         | PL3 / 2              | 415,10              | 0           | 25598,93            | 26014,03           | -1345,97  |
| 269      | 27360         | 883         | TR DIF.PANO PL2      | 647,53              | 120         | 26014,03            | 26781,57           | -578,43   |

**Ek 5 'in devamı**

|     |       |      |                 |         |     |          |          |          |
|-----|-------|------|-----------------|---------|-----|----------|----------|----------|
| 279 | 28800 | 2111 | PL1 / 1         | 1477,70 | 120 | 26781,57 | 28379,27 | -420,73  |
| 291 | 28800 | 789  | DİF.LCD ÇEKMECE | 289,30  | 120 | 28379,27 | 28788,57 | -11,43   |
| 297 | 30240 | 1786 | PL1 / 2         | 1250,20 | 120 | 28788,57 | 30158,77 | -81,23   |
| 313 | 31680 | 825  | PL1 / 2         | 577,50  | 0   | 30158,77 | 30736,27 | -943,73  |
| 320 | 31680 | 811  | TR DİF.PANO PL2 | 594,73  | 120 | 30736,27 | 31451,00 | -229,00  |
| 331 | 33120 | 581  | TR DİF PANO     | 426,07  | 120 | 31451,00 | 31997,07 | -1122,93 |
| 335 | 33120 | 275  | DİF.LCD ÇEKMECE | 100,83  | 120 | 31997,07 | 32217,90 | -902,10  |
| 349 | 34560 | 465  | DİF.LCD ÇEKMECE | 170,50  | 0   | 32217,90 | 32388,40 | -2171,60 |
| 339 | 34560 | 1966 | PL1 / 2         | 1376,20 | 120 | 32388,40 | 33884,60 | -675,40  |
| 353 | 34560 | 368  | TR DİF ÇEKMECE  | 134,93  | 120 | 33884,60 | 34139,53 | -420,47  |
| 391 | 38880 | 487  | TR DİF ÇEKMECE  | 178,57  | 0   | 34139,53 | 34318,10 | -4561,90 |
| 357 | 36000 | 1958 | PL1 / 1         | 1370,60 | 120 | 34318,10 | 35808,70 | -191,30  |
| 369 | 37440 | 1200 | PL1 / 1         | 840,00  | 0   | 35808,70 | 36648,70 | -791,30  |
| 376 | 37440 | 1572 | DİF.LCD ÇEKMECE | 576,40  | 120 | 36648,70 | 37345,10 | -94,90   |
| 384 | 38880 | 303  | PL3 / 1         | 212,10  | 120 | 37345,10 | 37677,20 | -1202,80 |
| 396 | 40320 | 1958 | PL1 / 1         | 1370,60 | 120 | 37677,20 | 39167,80 | -1152,20 |

**Ek 6 420/2 Tezgahı (Arıza tablosu)**

| Sıra [j] | Sipariş [Dij] | Talep [dij] | Model [Mij]          | Üretim Zamanı [pij] | Setup [sij] | Fiili Başlama [bij] | Bitiş Zamanı [cij] | Gecikme   |
|----------|---------------|-------------|----------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------|-----------|
| 2        | 1440          | 598         | PL1 / 1              | 418,60              | 0           | 0,00                | 418,60             | -1021,40  |
| 12       | 2880          | 375         | PL1 / 1              | 262,50              | 0           | 418,60              | 681,10             | -2198,90  |
| 181      | 20160         | 701         | PL1 / 1              | 490,70              | 0           | 681,10              | 1171,80            | -18988,20 |
| 40       | 7200          | 2177        | PL1 / 1              | 1523,90             | 0           | 1171,80             | 2695,70            | -4504,30  |
| 13       | 2880          | 313         | TR PL0.PANO          | 229,53              | 120         | 2695,70             | 3045,23            | 165,23    |
| 332      | 33120         | 202         | TR PL0.PANO          | 148,13              | 0           | 3045,23             | 3193,37            | -29926,63 |
| 107      | 11520         | 385         | TR PL0.PANO          | 282,33              | 0           | 3193,37             | 3475,70            | -8044,30  |
| 32       | 5760          | 1100        | TR PL0.PANO          | 806,67              | 0           | 3475,70             | 4282,37            | -1477,63  |
| 18       | 4320          | 1150        | PL1 / 2              | 805,00              | 120         | 4282,37             | 5207,37            | 887,37    |
| 27       | 5760          | 1200        | PL1 / 2              | 840,00              | 0           | 5207,37             | 6047,37            | 287,37    |
| 55       | 8640          | 999         | PL1 / 2 GRİ          | 699,30              | 120         | 6047,37             | 6866,67            | -1773,33  |
| 79       | 10080         | 674         | PL1 / 2 GRİ          | 471,80              | 0           | 6866,67             | 7338,47            | -2741,53  |
| 62       | 8640          | 313         | TR DIF PANO          | 229,53              | 120         | 7338,47             | 7688,00            | -952,00   |
| 318      | 31680         | 122         | TR DIF PANO          | 89,47               | 0           | 7688,00             | 7777,47            | -23902,53 |
| 253      | 25920         | 234         | TR DIF PANO          | 171,60              | 0           | 7777,47             | 7949,07            | -17970,93 |
| 123      | 12960         | 654         | TR DIF PANO          | 479,60              | 0           | 7949,07             | 8428,67            | -4531,33  |
| 65       | 8640          | 221         | TR DIF.PANO ÇEK GRİ  | 81,03               | 120         | 8428,67             | 8629,70            | -10,30    |
| 88       | 10080         | 893         | TR DIF.PANO ÇEK GRİ  | 327,43              | 0           | 8629,70             | 8957,13            | -1122,87  |
| 72       | 8640          | 470         | FUS. LCD ÇEKMECE GRİ | 172,33              | 120         | 8957,13             | 9249,47            | 609,47    |
| 96       | 10080         | 207         | FUS. LCD ÇEKMECE GRİ | 75,90               | 0           | 9249,47             | 9325,37            | -754,63   |
| 82       | 10080         | 359         | PL3 / 1              | 251,30              | 120         | 9325,37             | 9696,67            | -383,33   |
| 97       | 10080         | 678         | TR DIF ÇEKMECE GRİ   | 248,60              | 120         | 9696,67             | 10065,27           | -14,73    |
| 103      | 11520         | 568         | PL3 / 2              | 397,60              | 120         | 10065,27            | 10582,87           | -937,13   |
| 139      | 14400         | 283         | PL3 / 2              | 198,10              | 0           | 10582,87            | 10780,97           | -3619,03  |
| 104      | 11520         | 656         | PL3 / 1              | 459,20              | 120         | 10780,97            | 11360,17           | -159,83   |
| 116      | 12960         | 1732        | PL1 / 2              | 1212,40             | 120         | 11360,17            | 12692,57           | -267,43   |
| 133      | 12960         | 567         | TR DIF ÇEKMECE       | 207,90              | 120         | 12692,57            | 13020,47           | 60,47     |
| 138      | 14400         | 1000        | PL1 / 1 GRİ          | 700,00              | 120         | 13020,47            | 13840,47           | -559,53   |
| 142      | 14400         | 589         | TR DIF.PANO ÇEK      | 215,97              | 120         | 13840,47            | 14176,43           | -223,57   |
| 143      | 14400         | 966         | TR DIF.PANO PL2      | 708,40              | 120         | 14176,43            | 15004,83           | 604,83    |
| 304      | 30240         | 400         | TR DIF.PANO PL2      | 293,33              | 0           | 15004,83            | 15298,17           | -14941,83 |
| 188      | 20160         | 189         | TR DIF.PANO PL2      | 138,60              | 0           | 15298,17            | 15436,77           | -4723,23  |
| 152      | 17280         | 1873        | PL1 / 1              | 1311,10             | 120         | 15436,77            | 16867,87           | -412,13   |
| 168      | 0             | 422         | PL1 / 1              | 295,40              | 0           | 16867,87            | 17163,00           |           |
|          | 0             | 0           | XX                   | 30,00               | 0           | 17163,00            | 17193,00           |           |
|          | 18720         | 1593        | PL1 / 1              | 1115,10             | 0           | 17193,00            | 18308,37           | -411,63   |
| 176      | 18720         | 361         | TR DIF ÇEKMECE       | 132,37              | 120         | 18308,37            | 18560,73           | -159,27   |
| 193      | 20160         | 1000        | TR DIF ÇEKMECE       | 366,67              | 0           | 18560,73            | 18927,40           | -1232,60  |
| 185      | 20160         | 591         | TR DIF PANO          | 433,40              | 120         | 18927,40            | 19480,80           | -679,20   |
| 197      | 21600         | 574         | PL1 / 2 GRİ          | 401,80              | 120         | 19480,80            | 20002,60           | -1597,40  |
| 395      | 40320         | 120         | PL1 / 2 GRİ          | 84,00               | 0           | 20002,60            | 20086,60           | -20233,40 |
| 198      | 21600         | 784         | PL1 / 1              | 548,80              | 120         | 20086,60            | 20755,40           | -844,60   |
| 206      | 21600         | 967         | TR DIF.PANO PL2      | 709,13              | 120         | 20755,40            | 21584,53           | -15,47    |
| 255      | 25920         | 883         | TR DIF.PANO PL2      | 647,53              | 0           | 21584,53            | 22232,07           | -3687,93  |
| 220      | 23040         | 450         | PL3 / 1              | 315,00              | 120         | 22232,07            | 22667,07           | -372,93   |
| 231      | 23040         | 500         | FUS.LCD ÇEKMECE      | 183,33              | 120         | 22667,07            | 22970,40           | -69,60    |
| 244      | 0             | 547         | FUS.LCD ÇEKMECE      | 200,57              | 0           | 22970,40            | 23171,00           |           |
|          | 0             | 0           | XX                   | 30,00               | 0           | 23171,00            | 23201,00           |           |
|          | 24480         | 463         | FUS.LCD ÇEKMECE      | 169,77              | 0           | 23201,00            | 23370,73           | -1109,27  |
| 235      | 0             | 116         | PL1 / 1              | 81,20               | 120         | 23370,73            | 23572,00           |           |



**Ek 6 'nın devamı**

|     |       |      |                 |         |     |          |          |           |
|-----|-------|------|-----------------|---------|-----|----------|----------|-----------|
|     | 0     | 0    | XX              | 90,00   | 0   | 23572,00 | 23662,00 |           |
|     | 24480 | 1182 | PL1 / 1         | 827,40  | 0   | 23662,00 | 24489,33 | 9,33      |
| 382 | 38880 | 1035 | PL1 / 1         | 724,50  | 0   | 24489,33 | 25213,83 | -13666,17 |
| 250 | 25920 | 593  | PL3 / 2         | 415,10  | 120 | 25213,83 | 25748,93 | -171,07   |
| 265 | 27360 | 593  | PL3 / 2         | 415,10  | 0   | 25748,93 | 26164,03 | -1195,97  |
| 269 | 27360 | 883  | TR DIF.PANO PL2 | 647,53  | 120 | 26164,03 | 26931,57 | -428,43   |
| 279 | 28800 | 2111 | PL1 / 1         | 1477,70 | 120 | 26931,57 | 28529,27 | -270,73   |
| 291 | 0     | 70   | DİF.LCD ÇEKMECE | 25,67   | 120 | 28529,27 | 28675,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX              | 30,00   | 0   | 28675,00 | 28705,00 |           |
|     | 28800 | 719  | DİF.LCD ÇEKMECE | 263,63  | 0   | 28705,00 | 28968,57 | 168,57    |
| 297 | 30240 | 1786 | PL1 / 2         | 1250,20 | 120 | 28968,57 | 30338,77 | 98,77     |
| 313 | 31680 | 825  | PL1 / 2         | 577,50  | 0   | 30338,77 | 30916,27 | -763,73   |
| 320 | 31680 | 811  | TR DIF.PANO PL2 | 594,73  | 120 | 30916,27 | 31631,00 | -49,00    |
| 331 | 33120 | 581  | TR DIF PANO     | 426,07  | 120 | 31631,00 | 32177,07 | -942,93   |
| 335 | 33120 | 275  | DİF.LCD ÇEKMECE | 100,83  | 120 | 32177,07 | 32397,90 | -722,10   |
| 349 | 34560 | 465  | DİF.LCD ÇEKMECE | 170,50  | 0   | 32397,90 | 32568,40 | -1991,60  |
| 339 | 0     | 1357 | PL1 / 2         | 949,90  | 120 | 32568,40 | 33638,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX              | 30,00   | 0   | 33638,00 | 33668,00 |           |
|     | 34560 | 609  | PL1 / 2         | 426,30  | 0   | 33668,00 | 34094,60 | -465,40   |
| 353 | 34560 | 368  | TR DIF ÇEKMECE  | 134,93  | 120 | 34094,60 | 34349,53 | -210,47   |
| 391 | 38880 | 487  | TR DIF ÇEKMECE  | 178,57  | 0   | 34349,53 | 34528,10 | -4351,90  |
| 357 | 36000 | 1958 | PL1 / 1         | 1370,60 | 120 | 34528,10 | 36018,70 | 18,70     |
| 369 | 37440 | 1200 | PL1 / 1         | 840,00  | 0   | 36018,70 | 36858,70 | -581,30   |
| 376 | 37440 | 1572 | DİF.LCD ÇEKMECE | 576,40  | 120 | 36858,70 | 37555,10 | 115,10    |
| 384 | 38880 | 303  | PL3 / 1         | 212,10  | 120 | 37555,10 | 37887,20 | -992,80   |
| 396 | 40320 | 1958 | PL1 / 1         | 1370,60 | 120 | 37887,20 | 39377,80 | -942,20   |

**Ek 7 420/3 Tezgahı (Atama tablosu)**

| Sıra<br>[i] | Sipariş<br>[Dij] | Talep<br>[dij] | Model [Mij]        | Üretim<br>Zamanı [pij] | Setup<br>[sij] | Fiili<br>Başlama<br>[bij] | Bitiş<br>Zamanı<br>[cij] | Gecikme  |
|-------------|------------------|----------------|--------------------|------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|----------|
| 3           | 1440             | 480            | PL3 / 2            | 336,00                 | 0              | 0,00                      | 336,00                   | -1104,00 |
| 11          | 2880             | 755            | PL1 / 2            | 528,50                 | 120            | 336,00                    | 984,50                   | -1895,50 |
| 14          | 2880             | 739            | TR DIF.PANO PL2    | 541,93                 | 120            | 984,50                    | 1646,43                  | -1233,57 |
| 22          | 4320             | 1202           | TR PL0.PANO        | 881,47                 | 120            | 1646,43                   | 2647,90                  | -1672,10 |
| 31          | 5760             | 1200           | TR DIF PANO        | 880,00                 | 120            | 2647,90                   | 3647,90                  | -2112,10 |
| 41          | 7200             | 386            | PL3 / 2            | 270,20                 | 120            | 3647,90                   | 4038,10                  | -3161,90 |
| 43          | 7200             | 1078           | TR DIF PANO        | 790,53                 | 120            | 4038,10                   | 4948,63                  | -2251,37 |
| 50          | 7200             | 546            | TR DIF ÇEKMECE GRİ | 200,20                 | 120            | 4948,63                   | 5268,83                  | -1931,17 |
| 54          | 8640             | 627            | PL1 / 2            | 438,90                 | 120            | 5268,83                   | 5827,73                  | -2812,27 |
| 58          | 8640             | 638            | PL3 / 1            | 446,60                 | 120            | 5827,73                   | 6394,33                  | -2245,67 |
| 63          | 8640             | 264            | TR PL0.PANO        | 193,60                 | 120            | 6394,33                   | 6707,93                  | -1932,07 |
| 71          | 8640             | 335            | FUS.LCD ÇEKMECE    | 122,83                 | 120            | 6707,93                   | 6950,77                  | -1689,23 |
| 74          | 8640             | 221            | TR DIF ÇEKMECE GRİ | 81,03                  | 120            | 6950,77                   | 7151,80                  | -1488,20 |
| 81          | 10080            | 787            | PL3 / 2            | 550,90                 | 120            | 7151,80                   | 7822,70                  | -2257,30 |
| 86          | 10080            | 181            | TR DIF PANO        | 132,73                 | 120            | 7822,70                   | 8075,43                  | -2004,57 |
| 92          | 10080            | 347            | DİF.LCD ÇEKMECE    | 127,23                 | 120            | 8075,43                   | 8322,67                  | -1757,33 |
| 95          | 10080            | 560            | FUS.LCD ÇEKMECE    | 205,33                 | 120            | 8322,67                   | 8648,00                  | -1432,00 |
| 101         | 11520            | 2338           | PL1 / 2            | 1636,60                | 120            | 8648,00                   | 10404,60                 | -1115,40 |
| 108         | 11520            | 176            | TR DIF.PANO PL2    | 129,07                 | 120            | 10404,60                  | 10653,67                 | -866,33  |
| 118         | 12960            | 329            | PL1 / 1 GRİ        | 230,30                 | 120            | 10653,67                  | 11003,97                 | -1956,03 |
| 119         | 12960            | 250            | PL3 / 2            | 175,00                 | 120            | 11003,97                  | 11298,97                 | -1661,03 |
| 120         | 12960            | 678            | PL3 / 1            | 474,60                 | 120            | 11298,97                  | 11893,57                 | -1066,43 |
| 124         | 12960            | 248            | TR PL0.PANO        | 181,87                 | 120            | 11893,57                  | 12195,43                 | -764,57  |
| 126         | 12960            | 504            | TR DIF.PANO PL2    | 369,60                 | 120            | 12195,43                  | 12685,03                 | -274,97  |
| 136         | 14400            | 1418           | PL1 / 2            | 992,60                 | 120            | 12685,03                  | 13797,63                 | -602,37  |
| 141         | 14400            | 793            | TR PL0.PANO        | 581,53                 | 120            | 13797,63                  | 14499,17                 | 99,17    |
| 148         | 14400            | 548            | TR DIF ÇEKMECE     | 200,93                 | 120            | 14499,17                  | 14820,10                 | 420,10   |
| 153         | 17280            | 62             | PL1 / 1 GRİ        | 43,40                  | 120            | 14820,10                  | 14983,50                 | -2296,50 |
| 156         | 17280            | 785            | TR DIF PANO        | 575,67                 | 120            | 14983,50                  | 15679,17                 | -1600,83 |
| 158         | 17280            | 934            | TR DIF.PANO ÇEK    | 342,47                 | 120            | 15679,17                  | 16141,63                 | -1138,37 |
| 163         | 17280            | 155            | DİF.LCD ÇEKMECE    | 56,83                  | 120            | 16141,63                  | 16318,47                 | -961,53  |
| 164         | 17280            | 677            | TR DIF ÇEKMECE     | 248,23                 | 120            | 16318,47                  | 16686,70                 | -593,30  |
| 169         | 18720            | 1438           | PL1 / 1 GRİ        | 1006,60                | 120            | 16686,70                  | 17813,30                 | -906,70  |
| 173         | 18720            | 225            | TR DIF.PANO PL2    | 165,00                 | 120            | 17813,30                  | 18098,30                 | -621,70  |
| 180         | 20160            | 1097           | PL1 / 2 GRİ        | 767,90                 | 120            | 18098,30                  | 18986,20                 | -1173,80 |
| 186         | 20160            | 529            | TR PL0.PANO        | 387,93                 | 120            | 18986,20                  | 19494,13                 | -665,87  |
| 191         | 20160            | 1487           | DİF.LCD ÇEKMECE    | 545,23                 | 120            | 19494,13                  | 20159,37                 | -0,63    |
| 199         | 21600            | 1110           | PL3 / 2            | 777,00                 | 120            | 20159,37                  | 21056,37                 | -543,63  |
| 204         | 21600            | 240            | TR PL0.PANO        | 176,00                 | 120            | 21056,37                  | 21352,37                 | -247,63  |
| 210         | 21600            | 50             | DİF.LCD ÇEKMECE    | 18,33                  | 120            | 21352,37                  | 21490,70                 | -109,30  |
| 214         | 21600            | 411            | TR PL2 ÇEKMECE     | 150,70                 | 120            | 21490,70                  | 21761,40                 | 161,40   |
| 218         | 23040            | 21             | PL1 / 1 GRİ        | 14,70                  | 120            | 21761,40                  | 21896,10                 | -1143,90 |
| 219         | 23040            | 150            | PL3 / 2            | 105,00                 | 120            | 21896,10                  | 22121,10                 | -918,90  |
| 224         | 23040            | 200            | TR PL0.PANO        | 146,67                 | 120            | 22121,10                  | 22387,77                 | -652,23  |
| 229         | 23040            | 304            | DİF.LCD ÇEKMECE    | 111,47                 | 120            | 22387,77                  | 22619,23                 | -420,77  |
| 232         | 23040            | 20             | TR PL2 ÇEKMECE     | 7,33                   | 120            | 22619,23                  | 22746,57                 | -293,43  |
| 236         | 24480            | 299            | PL3 / 2 GRİ        | 209,30                 | 120            | 22746,57                  | 23075,87                 | -1404,13 |
| 239         | 24480            | 516            | TR DIF. PANO GRİ   | 378,40                 | 120            | 23075,87                  | 23574,27                 | -905,73  |
| 240         | 24480            | 700            | TR DIF.PANO PL2    | 513,33                 | 120            | 23574,27                  | 24207,60                 | -272,40  |

|                         |       |      |                      |        |     |          |          |          |
|-------------------------|-------|------|----------------------|--------|-----|----------|----------|----------|
| 248                     | 25920 | 1140 | PL1 / 2              | 798,00 | 120 | 24207,60 | 25125,60 | -794,40  |
| <b>Ek 7 'nin devamı</b> |       |      |                      |        |     |          |          |          |
| 254                     | 25920 | 282  | TR PL0.PANO          | 206,80 | 120 | 25125,60 | 25452,40 | -467,60  |
| 263                     | 27360 | 1140 | PL1 / 2              | 798,00 | 120 | 25452,40 | 26370,40 | -989,60  |
| 268                     | 27360 | 282  | TR PL0.PANO          | 206,80 | 120 | 26370,40 | 26697,20 | -662,80  |
| 274                     | 27360 | 100  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 36,67  | 120 | 26697,20 | 26853,87 | -506,13  |
| 278                     | 28800 | 685  | PL1 / 2 GRİ          | 479,50 | 120 | 26853,87 | 27453,37 | -1346,63 |
| 280                     | 28800 | 500  | PL1 / 1 GRİ          | 350,00 | 120 | 27453,37 | 27923,37 | -876,63  |
| 285                     | 28800 | 985  | TR DİF PANO          | 722,33 | 120 | 27923,37 | 28765,70 | -34,30   |
| 287                     | 28800 | 212  | TR DİF.PANO PL2      | 155,47 | 120 | 28765,70 | 29041,17 | 241,17   |
| 292                     | 28800 | 100  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 36,67  | 120 | 29041,17 | 29197,83 | 397,83   |
| 294                     | 28800 | 650  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 238,33 | 120 | 29197,83 | 29556,17 | 756,17   |
| 299                     | 30240 | 500  | PL1 / 1 GRİ          | 350,00 | 120 | 29556,17 | 30026,17 | -213,83  |
| 302                     | 30240 | 280  | TR PL0.PANO          | 205,33 | 120 | 30026,17 | 30351,50 | 111,50   |
| 303                     | 30240 | 515  | TR DİF.PANO ÇEK      | 188,83 | 120 | 30351,50 | 30660,33 | 420,33   |
| 309                     | 30240 | 1258 | FUS.LCD ÇEKMECE      | 461,27 | 120 | 30660,33 | 31241,60 | 1001,60  |
| 314                     | 31680 | 1200 | PL1 / 2 GRİ          | 840,00 | 120 | 31241,60 | 32201,60 | 521,60   |
| 327                     | 33120 | 1400 | PL1 / 2              | 980,00 | 120 | 32201,60 | 33301,60 | 181,60   |
| 333                     | 33120 | 332  | TR DİF.PANO PL2      | 243,47 | 120 | 33301,60 | 33665,07 | 545,07   |
| 336                     | 33120 | 689  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 252,63 | 120 | 33665,07 | 34037,70 | 917,70   |
| 341                     | 34560 | 800  | PL3 / 1              | 560,00 | 120 | 34037,70 | 34717,70 | 157,70   |
| 345                     | 34560 | 427  | TR DİF PANO          | 313,13 | 120 | 34717,70 | 35150,83 | 590,83   |
| 346                     | 34560 | 368  | TR DİF.PANO ÇEK      | 134,93 | 120 | 35150,83 | 35405,77 | 845,77   |
| 350                     | 34560 | 110  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 40,33  | 120 | 35405,77 | 35566,10 | 1006,10  |
| 356                     | 36000 | 1400 | PL1 / 2              | 980,00 | 120 | 35566,10 | 36666,10 | 666,10   |
| 364                     | 36000 | 275  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 100,83 | 120 | 36666,10 | 36886,93 | 886,93   |
| 365                     | 36000 | 689  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 252,63 | 120 | 36886,93 | 37259,57 | 1259,57  |
| 370                     | 37440 | 1066 | PL1 / 1 GRİ          | 746,20 | 120 | 37259,57 | 38125,77 | 685,77   |
| 377                     | 37440 | 922  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 338,07 | 120 | 38125,77 | 38583,83 | 1143,83  |
| 380                     | 38880 | 800  | PL1 / 2              | 560,00 | 120 | 38583,83 | 39263,83 | 383,83   |
| 383                     | 38880 | 594  | PL3 / 2              | 415,80 | 120 | 39263,83 | 39799,63 | 919,63   |
| 386                     | 38880 | 455  | TR DİF.PANO PL2      | 333,67 | 120 | 39799,63 | 40253,30 | 1373,30  |
| 397                     | 40320 | 543  | PL3 / 2              | 380,10 | 120 | 40253,30 | 40753,40 | 433,40   |
| 401                     | 40320 | 581  | TR DİF PANO          | 426,07 | 120 | 40753,40 | 41299,47 | 979,47   |
| 403                     | 40320 | 503  | TR DİF.PANO ÇEK      | 184,43 | 120 | 41299,47 | 41603,90 | 1283,90  |
| 407                     | 40320 | 275  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 100,83 | 120 | 41603,90 | 41824,73 | 1504,73  |
| 410                     | 40320 | 354  | TR DİF ÇEKMECE       | 129,80 | 120 | 41824,73 | 42074,53 | 1754,53  |

**Ek 8 420/3 Tezgahı (Optimizasyon tablosu)**

| Sıra [j] | Sipariş [Dij] | Talep [dij] | Model [Mij]        | Üretim Zamanı [pij] | Setup [sij] | Fiili Başlama [bij] | Bitiş Zamanı [cij] | Gecikme   |
|----------|---------------|-------------|--------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------|-----------|
| 3        | 1440          | 480         | PL3 / 2            | 336,00              | 0           | 0,00                | 336,00             | -1104,00  |
| 219      | 23040         | 150         | PL3 / 2            | 105,00              | 0           | 336,00              | 441,00             | -22599,00 |
| 199      | 21600         | 1110        | PL3 / 2            | 777,00              | 0           | 441,00              | 1218,00            | -20382,00 |
| 119      | 12960         | 250         | PL3 / 2            | 175,00              | 0           | 1218,00             | 1393,00            | -11567,00 |
| 81       | 10080         | 787         | PL3 / 2            | 550,90              | 0           | 1393,00             | 1943,90            | -8136,10  |
| 41       | 7200          | 386         | PL3 / 2            | 270,20              | 0           | 1943,90             | 2214,10            | -4985,90  |
| 11       | 2880          | 755         | PL1 / 2            | 528,50              | 120         | 2214,10             | 2862,60            | -17,40    |
| 54       | 8640          | 627         | PL1 / 2            | 438,90              | 0           | 2862,60             | 3301,50            | -5338,50  |
| 14       | 2880          | 739         | TR DIF.PANO PL2    | 541,93              | 120         | 3301,50             | 3963,43            | 1083,43   |
| 173      | 18720         | 225         | TR DIF.PANO PL2    | 165,00              | 0           | 3963,43             | 4128,43            | -14591,57 |
| 108      | 11520         | 176         | TR DIF.PANO PL2    | 129,07              | 0           | 4128,43             | 4257,50            | -7262,50  |
| 22       | 4320          | 1202        | TR PL0.PANO        | 881,47              | 120         | 4257,50             | 5258,97            | 938,97    |
| 124      | 12960         | 248         | TR PL0.PANO        | 181,87              | 0           | 5258,97             | 5440,83            | -7519,17  |
| 63       | 8640          | 264         | TR PL0.PANO        | 193,60              | 0           | 5440,83             | 5634,43            | -3005,57  |
| 31       | 5760          | 1200        | TR DIF PANO        | 880,00              | 120         | 5634,43             | 6634,43            | 874,43    |
| 43       | 7200          | 1078        | TR DIF PANO        | 790,53              | 0           | 6634,43             | 7424,97            | 224,97    |
| 86       | 10080         | 181         | TR DIF PANO        | 132,73              | 0           | 7424,97             | 7557,70            | -2522,30  |
| 50       | 7200          | 546         | TR DIF ÇEKMECE GRİ | 200,20              | 120         | 7557,70             | 7877,90            | 677,90    |
| 74       | 8640          | 221         | TR DIF ÇEKMECE GRİ | 81,03               | 0           | 7877,90             | 7958,93            | -681,07   |
| 58       | 8640          | 638         | PL3 / 1            | 446,60              | 120         | 7958,93             | 8525,53            | -114,47   |
| 71       | 8640          | 335         | FUS.LCD ÇEKMECE    | 122,83              | 120         | 8525,53             | 8768,37            | 128,37    |
| 274      | 27360         | 100         | FUS.LCD ÇEKMECE    | 36,67               | 0           | 8768,37             | 8805,03            | -18554,97 |
| 95       | 10080         | 560         | FUS.LCD ÇEKMECE    | 205,33              | 0           | 8805,03             | 9010,37            | -1069,63  |
| 92       | 10080         | 347         | DIF.LCD ÇEKMECE    | 127,23              | 120         | 9010,37             | 9257,60            | -822,40   |
| 101      | 11520         | 2338        | PL1 / 2            | 1636,60             | 120         | 9257,60             | 11014,20           | -505,80   |
| 118      | 12960         | 329         | PL1 / 1 GRİ        | 230,30              | 120         | 11014,20            | 11364,50           | -1595,50  |
| 120      | 12960         | 678         | PL3 / 1            | 474,60              | 120         | 11364,50            | 11959,10           | -1000,90  |
| 126      | 12960         | 504         | TR DIF.PANO PL2    | 369,60              | 120         | 11959,10            | 12448,70           | -511,30   |
| 136      | 14400         | 1418        | PL1 / 2            | 992,60              | 120         | 12448,70            | 13561,30           | -838,70   |
| 141      | 14400         | 793         | TR PL0.PANO        | 581,53              | 120         | 13561,30            | 14262,83           | -137,17   |
| 148      | 14400         | 548         | TR DIF ÇEKMECE     | 200,93              | 120         | 14262,83            | 14583,77           | 183,77    |
| 410      | 40320         | 354         | TR DIF ÇEKMECE     | 129,80              | 0           | 14583,77            | 14713,57           | -25606,43 |
| 164      | 17280         | 677         | TR DIF ÇEKMECE     | 248,23              | 0           | 14713,57            | 14961,80           | -2318,20  |
| 153      | 17280         | 62          | PL1 / 1 GRİ        | 43,40               | 120         | 14961,80            | 15125,20           | -2154,80  |
| 280      | 28800         | 500         | PL1 / 1 GRİ        | 350,00              | 0           | 15125,20            | 15475,20           | -13324,80 |
| 218      | 23040         | 21          | PL1 / 1 GRİ        | 14,70               | 0           | 15475,20            | 15489,90           | -7550,10  |
| 156      | 17280         | 785         | TR DIF PANO        | 575,67              | 120         | 15489,90            | 16185,57           | -1094,43  |
| 158      | 17280         | 934         | TR DIF.PANO ÇEK    | 342,47              | 120         | 16185,57            | 16648,03           | -631,97   |
| 346      | 34560         | 368         | TR DIF.PANO ÇEK    | 134,93              | 0           | 16648,03            | 16782,97           | -17777,03 |
| 163      | 17280         | 155         | DIF.LCD ÇEKMECE    | 56,83               | 120         | 16782,97            | 16959,80           | -320,20   |
| 210      | 21600         | 50          | DIF.LCD ÇEKMECE    | 18,33               | 0           | 16959,80            | 16978,13           | -4621,87  |
| 191      | 20160         | 1487        | DIF.LCD ÇEKMECE    | 545,23              | 0           | 16978,13            | 17523,37           | -2636,63  |
| 169      | 18720         | 1438        | PL1 / 1 GRİ        | 1006,60             | 120         | 17523,37            | 18649,97           | -70,03    |
| 180      | 20160         | 1097        | PL1 / 2 GRİ        | 767,90              | 120         | 18649,97            | 19537,87           | -622,13   |
| 186      | 20160         | 529         | TR PL0.PANO        | 387,93              | 120         | 19537,87            | 20045,80           | -114,20   |
| 204      | 21600         | 240         | TR PL0.PANO        | 176,00              | 0           | 20045,80            | 20221,80           | -1378,20  |
| 302      | 30240         | 280         | TR PL0.PANO        | 205,33              | 0           | 20221,80            | 20427,13           | -9812,87  |
| 268      | 27360         | 282         | TR PL0.PANO        | 206,80              | 0           | 20427,13            | 20633,93           | -6726,07  |
| 254      | 25920         | 282         | TR PL0.PANO        | 206,80              | 0           | 20633,93            | 20840,73           | -5079,27  |
| 224      | 23040         | 200         | TR PL0.PANO        | 146,67              | 0           | 20840,73            | 20987,40           | -2052,60  |

**Ek 8 'in devamı**

|     |       |      |                      |        |     |          |          |           |
|-----|-------|------|----------------------|--------|-----|----------|----------|-----------|
| 214 | 21600 | 411  | TR PL2 ÇEKMECE       | 150,70 | 120 | 20987,40 | 21258,10 | -341,90   |
| 232 | 23040 | 20   | TR PL2 ÇEKMECE       | 7,33   | 0   | 21258,10 | 21265,43 | -1774,57  |
| 229 | 23040 | 304  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 111,47 | 120 | 21265,43 | 21496,90 | -1543,10  |
| 407 | 40320 | 275  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 100,83 | 0   | 21496,90 | 21597,73 | -18722,27 |
| 364 | 36000 | 275  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 100,83 | 0   | 21597,73 | 21698,57 | -14301,43 |
| 236 | 24480 | 299  | PL3 / 2 GRİ          | 209,30 | 120 | 21698,57 | 22027,87 | -2452,13  |
| 239 | 24480 | 516  | TR DİF. PANO GRİ     | 378,40 | 120 | 22027,87 | 22526,27 | -1953,73  |
| 240 | 24480 | 700  | TR DİF.PANO PL2      | 513,33 | 120 | 22526,27 | 23159,60 | -1320,40  |
| 386 | 38880 | 455  | TR DİF.PANO PL2      | 333,67 | 0   | 23159,60 | 23493,27 | -15386,73 |
| 333 | 33120 | 332  | TR DİF.PANO PL2      | 243,47 | 0   | 23493,27 | 23736,73 | -9383,27  |
| 287 | 28800 | 212  | TR DİF.PANO PL2      | 155,47 | 0   | 23736,73 | 23892,20 | -4907,80  |
| 248 | 25920 | 1140 | PL1 / 2              | 798,00 | 120 | 23892,20 | 24810,20 | -1109,80  |
| 263 | 27360 | 1140 | PL1 / 2              | 798,00 | 0   | 24810,20 | 25608,20 | -1751,80  |
| 327 | 33120 | 1400 | PL1 / 2              | 980,00 | 0   | 25608,20 | 26588,20 | -6531,80  |
| 278 | 28800 | 685  | PL1 / 2 GRİ          | 479,50 | 120 | 26588,20 | 27187,70 | -1612,30  |
| 285 | 28800 | 985  | TR DİF PANO          | 722,33 | 120 | 27187,70 | 28030,03 | -769,97   |
| 292 | 28800 | 100  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 36,67  | 120 | 28030,03 | 28186,70 | -613,30   |
| 350 | 34560 | 110  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 40,33  | 0   | 28186,70 | 28227,03 | -6332,97  |
| 294 | 28800 | 650  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 238,33 | 120 | 28227,03 | 28585,37 | -214,63   |
| 336 | 33120 | 689  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 252,63 | 0   | 28585,37 | 28838,00 | -4282,00  |
| 309 | 30240 | 1258 | FUS.LCD ÇEKMECE      | 461,27 | 0   | 28838,00 | 29299,27 | -940,73   |
| 299 | 30240 | 500  | PL1 / 1 GRİ          | 350,00 | 120 | 29299,27 | 29769,27 | -470,73   |
| 303 | 30240 | 515  | TR DİF.PANO ÇEK      | 188,83 | 120 | 29769,27 | 30078,10 | -161,90   |
| 403 | 40320 | 503  | TR DİF.PANO ÇEK      | 184,43 | 0   | 30078,10 | 30262,53 | -10057,47 |
| 314 | 31680 | 1200 | PL1 / 2 GRİ          | 840,00 | 120 | 30262,53 | 31222,53 | -457,47   |
| 341 | 34560 | 800  | PL3 / 1              | 560,00 | 120 | 31222,53 | 31902,53 | -2657,47  |
| 345 | 34560 | 427  | TR DİF PANO          | 313,13 | 120 | 31902,53 | 32335,67 | -2224,33  |
| 401 | 40320 | 581  | TR DİF PANO          | 426,07 | 0   | 32335,67 | 32761,73 | -7558,27  |
| 356 | 36000 | 1400 | PL1 / 2              | 980,00 | 120 | 32761,73 | 33861,73 | -2138,27  |
| 380 | 38880 | 800  | PL1 / 2              | 560,00 | 0   | 33861,73 | 34421,73 | -4458,27  |
| 365 | 36000 | 689  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 252,63 | 120 | 34421,73 | 34794,37 | -1205,63  |
| 377 | 37440 | 922  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 338,07 | 0   | 34794,37 | 35132,43 | -2307,57  |
| 370 | 37440 | 1066 | PL1 / 1 GRİ          | 746,20 | 120 | 35132,43 | 35998,63 | -1441,37  |
| 383 | 38880 | 594  | PL3 / 2              | 415,80 | 120 | 35998,63 | 36534,43 | -2345,57  |
| 397 | 40320 | 543  | PL3 / 2              | 380,10 | 0   | 36534,43 | 36914,53 | -3405,47  |

**Ek 9 420/3 Tezgahı (Arıza tablosu)**

| Sıra<br>[j] | Sipariş<br>[Dij] | Talep<br>[dij] | Model [Mij]        | Üretim<br>Zamanı [pij] | Setup<br>[sij] | Fiili<br>Başlama<br>[bij] | Bitiş<br>Zamanı<br>[cij] | Gecikme   |
|-------------|------------------|----------------|--------------------|------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|-----------|
| 3           | 1440             | 480            | PL3 / 2            | 336,00                 | 0              | 0,00                      | 336,00                   | -1104,00  |
| 219         | 23040            | 150            | PL3 / 2            | 105,00                 | 0              | 336,00                    | 441,00                   | -22599,00 |
| 199         | 21600            | 1110           | PL3 / 2            | 777,00                 | 0              | 441,00                    | 1218,00                  | -20382,00 |
| 119         | 12960            | 250            | PL3 / 2            | 175,00                 | 0              | 1218,00                   | 1393,00                  | -11567,00 |
| 81          | 10080            | 787            | PL3 / 2            | 550,90                 | 0              | 1393,00                   | 1943,90                  | -8136,10  |
| 41          | 7200             | 386            | PL3 / 2            | 270,20                 | 0              | 1943,90                   | 2214,10                  | -4985,90  |
| 11          | 0                | 46             | PL1 / 2            | 32,20                  | 120            | 2214,10                   | 2366,00                  |           |
|             | 0                | 0              | XX                 | 30,00                  | 0              | 2366,00                   | 2396,00                  |           |
|             | 2880             | 709            | PL1 / 2            | 496,30                 | 0              | 2396,00                   | 2892,60                  | 12,60     |
| 54          | 8640             | 627            | PL1 / 2            | 438,90                 | 0              | 2892,60                   | 3331,50                  | -5308,50  |
| 14          | 2880             | 739            | TR DIF.PANO PL2    | 541,93                 | 120            | 3331,50                   | 3993,43                  | 1113,43   |
| 173         | 18720            | 225            | TR DIF.PANO PL2    | 165,00                 | 0              | 3993,43                   | 4158,43                  | -14561,57 |
| 108         | 11520            | 176            | TR DIF.PANO PL2    | 129,07                 | 0              | 4158,43                   | 4287,50                  | -7232,50  |
| 22          | 4320             | 1202           | TR PL0.PANO        | 881,47                 | 120            | 4287,50                   | 5288,97                  | 968,97    |
| 124         | 12960            | 248            | TR PL0.PANO        | 181,87                 | 0              | 5288,97                   | 5470,83                  | -7489,17  |
| 63          | 8640             | 264            | TR PL0.PANO        | 193,60                 | 0              | 5470,83                   | 5664,43                  | -2975,57  |
| 31          | 0                | 1150           | TR DIF PANO        | 843,33                 | 120            | 5664,43                   | 6628,00                  |           |
|             | 0                | 0              | XX                 | 60,00                  | 0              | 6628,00                   | 6688,00                  |           |
|             | 5760             | 50             | TR DIF PANO        | 36,67                  | 0              | 6688,00                   | 6724,43                  | 964,43    |
| 43          | 7200             | 1078           | TR DIF PANO        | 790,53                 | 0              | 6724,43                   | 7514,97                  | 314,97    |
| 86          | 10080            | 181            | TR DIF PANO        | 132,73                 | 0              | 7514,97                   | 7647,70                  | -2432,30  |
| 50          | 7200             | 546            | TR DIF ÇEKMECE GRİ | 200,20                 | 120            | 7647,70                   | 7967,90                  | 767,90    |
| 74          | 8640             | 221            | TR DIF ÇEKMECE GRİ | 81,03                  | 0              | 7967,90                   | 8048,93                  | -591,07   |
| 58          | 8640             | 638            | PL3 / 1            | 446,60                 | 120            | 8048,93                   | 8615,53                  | -24,47    |
| 71          | 8640             | 335            | FUS.LCD ÇEKMECE    | 122,83                 | 120            | 8615,53                   | 8858,37                  | 218,37    |
| 274         | 27360            | 100            | FUS.LCD ÇEKMECE    | 36,67                  | 0              | 8858,37                   | 8895,03                  | -18464,97 |
| 95          | 10080            | 560            | FUS.LCD ÇEKMECE    | 205,33                 | 0              | 8895,03                   | 9100,37                  | -979,63   |
| 94          | 10080            | 347            | DIF.LCD ÇEKMECE    | 127,23                 | 120            | 9100,37                   | 9347,60                  | -732,40   |
| 92          | 10080            | 345            | DIF.LCD ÇEKMECE    | 127,23                 | 120            | 9100,37                   | 9347,60                  | -732,40   |
| 101         | 0                | 238            | PL1 / 2            | 166,60                 | 120            | 9347,60                   | 9634,00                  |           |
|             | 0                | 0              | XX                 | 60,00                  | 0              | 9634,00                   | 9694,00                  |           |
|             | 0                | 577            | PL1 / 2            | 403,90                 | 0              | 9694,00                   | 10098,00                 |           |
|             | 0                | 0              | XX                 | 30,00                  | 0              | 10098,00                  | 10128,00                 |           |
|             | 11520            | 1523           | PL1 / 2            | 1066,10                | 0              | 10128,00                  | 11194,20                 | -325,80   |
| 118         | 12960            | 329            | PL1 / 1 GRİ        | 230,30                 | 120            | 11194,20                  | 11544,50                 | -1415,50  |
| 120         | 12960            | 678            | PL3 / 1            | 474,60                 | 120            | 11544,50                  | 12139,10                 | -820,90   |
| 128         | 12960            | 504            | TR DIF.PANO PL2    | 369,60                 | 120            | 12139,10                  | 12628,70                 | -331,30   |
| 126         | 12960            | 504            | TR DIF.PANO PL2    | 369,60                 | 120            | 12139,10                  | 12628,70                 | -331,30   |
| 136         | 0                | 1163           | PL1 / 2            | 814,10                 | 120            | 12628,70                  | 13563,00                 |           |
|             | 0                | 0              | XX                 | 30,00                  | 0              | 13563,00                  | 13593,00                 |           |
|             | 14400            | 255            | PL1 / 2            | 178,50                 | 0              | 13593,00                  | 13771,30                 | -628,70   |
| 141         | 14400            | 793            | TR PL0.PANO        | 581,53                 | 120            | 13771,30                  | 14472,83                 | 72,83     |
| 148         | 14400            | 548            | TR DIF ÇEKMECE     | 200,93                 | 120            | 14472,83                  | 14793,77                 | 393,77    |
| 410         | 40320            | 354            | TR DIF ÇEKMECE     | 129,80                 | 0              | 14793,77                  | 14923,57                 | -25396,43 |
| 164         | 17280            | 677            | TR DIF ÇEKMECE     | 248,23                 | 0              | 14923,57                  | 15171,80                 | -2108,20  |
| 153         | 17280            | 62             | PL1 / 1 GRİ        | 43,40                  | 120            | 15171,80                  | 15335,20                 | -1944,80  |
| 280         | 0                | 387            | PL1 / 1 GRİ        | 270,90                 | 0              | 15335,20                  | 15606,00                 |           |
|             | 0                | 0              | XX                 | 60,00                  | 0              | 15606,00                  | 15666,00                 |           |
|             | 28800            | 113            | PL1 / 1 GRİ        | 79,10                  | 0              | 15666,00                  | 15745,20                 | -13054,80 |
| 218         | 23040            | 21             | PL1 / 1 GRİ        | 14,70                  | 0              | 15745,20                  | 15759,90                 | -7280,10  |

**Ek 9 'un devamı**

|     |       |      |                      |         |     |          |          |           |
|-----|-------|------|----------------------|---------|-----|----------|----------|-----------|
| 156 | 17280 | 785  | TR DIF.PANO          | 575,67  | 120 | 15759,90 | 16455,57 | -824,43   |
| 158 | 17280 | 934  | TR DIF.PANO ÇEK      | 342,47  | 120 | 16455,57 | 16918,03 | -361,97   |
| 346 | 34560 | 368  | TR DIF.PANO ÇEK      | 134,93  | 0   | 16918,03 | 17052,97 | -17507,03 |
| 163 | 17280 | 155  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 56,83   | 120 | 17052,97 | 17229,80 | -50,20    |
| 210 | 21600 | 50   | DİF.LCD ÇEKMECE      | 18,33   | 0   | 17229,80 | 17248,13 | -4351,87  |
| 191 | 20160 | 1487 | DİF.LCD ÇEKMECE      | 545,23  | 0   | 17248,13 | 17793,37 | -2366,63  |
| 169 | 18720 | 1438 | PL1 / 1 GRİ          | 1006,60 | 120 | 17793,37 | 18919,97 | 199,97    |
| 180 | 20160 | 1097 | PL1 / 2 GRİ          | 767,90  | 120 | 18919,97 | 19807,87 | -352,13   |
| 186 | 20160 | 529  | TR PL0.PANO          | 387,93  | 120 | 19807,87 | 20315,80 | 155,80    |
| 204 | 21600 | 240  | TR PL0.PANO          | 176,00  | 0   | 20315,80 | 20491,80 | -1108,20  |
| 302 | 0     | 101  | TR PL0.PANO          | 74,07   | 0   | 20491,80 | 20566,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 30,00   | 0   | 20566,00 | 20596,00 |           |
|     | 30240 | 179  | TR PL0.PANO          | 131,27  | 0   | 20596,00 | 20727,13 | -9512,87  |
| 268 | 27360 | 282  | TR PL0.PANO          | 206,80  | 0   | 20727,13 | 20933,93 | -6426,07  |
| 254 | 25920 | 282  | TR PL0.PANO          | 206,80  | 0   | 20933,93 | 21140,73 | -4779,27  |
| 224 | 23040 | 200  | TR PL0.PANO          | 146,67  | 0   | 21140,73 | 21287,40 | -1752,60  |
| 214 | 21600 | 411  | TR PL2 ÇEKMECE       | 150,70  | 120 | 21287,40 | 21558,10 | -41,90    |
| 232 | 23040 | 20   | TR PL2 ÇEKMECE       | 7,33    | 0   | 21558,10 | 21565,43 | -1474,57  |
| 229 | 23040 | 304  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 111,47  | 120 | 21565,43 | 21796,90 | -1243,10  |
| 407 | 40320 | 275  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 100,83  | 0   | 21796,90 | 21897,73 | -18422,27 |
| 364 | 36000 | 275  | DİF.LCD ÇEKMECE      | 100,83  | 0   | 21897,73 | 21998,57 | -14001,43 |
| 236 | 24480 | 299  | PL3 / 2 GRİ          | 209,30  | 120 | 21998,57 | 22327,87 | -2152,13  |
| 239 | 24480 | 516  | TR DIF. PANO GRİ     | 378,40  | 120 | 22327,87 | 22826,27 | -1653,73  |
| 240 | 24480 | 700  | TR DIF.PANO PL2      | 513,33  | 120 | 22826,27 | 23459,60 | -1020,40  |
| 386 | 38880 | 455  | TR DIF.PANO PL2      | 333,67  | 0   | 23459,60 | 23793,27 | -15086,73 |
| 333 | 33120 | 332  | TR DIF.PANO PL2      | 243,47  | 0   | 23793,27 | 24036,73 | -9083,27  |
| 287 | 28800 | 212  | TR DIF.PANO PL2      | 155,47  | 0   | 24036,73 | 24192,20 | -4607,80  |
| 248 | 0     | 190  | PL1 / 2              | 133,00  | 120 | 24192,20 | 24445,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 30,00   | 0   | 24445,00 | 24475,00 |           |
|     | 25920 | 950  | PL1 / 2              | 665,00  | 0   | 24475,00 | 25140,20 | -779,80   |
| 263 | 0     | 628  | PL1 / 2              | 439,60  | 0   | 25140,20 | 25580,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 30,00   | 0   | 25580,00 | 25610,00 |           |
|     | 27360 | 512  | PL1 / 2              | 358,40  | 0   | 25610,00 | 25968,20 | -1391,80  |
| 327 | 0     | 48   | PL1 / 2              | 33,60   | 0   | 25968,20 | 26002,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 30,00   | 0   | 26002,00 | 26032,00 |           |
|     | 33120 | 1352 | PL1 / 2              | 946,40  | 0   | 26032,00 | 26978,20 | -6141,80  |
| 278 | 28800 | 685  | PL1 / 2 GRİ          | 479,50  | 120 | 26978,20 | 27577,70 | -1222,30  |
| 285 | 28800 | 985  | TR DIF.PANO          | 722,33  | 120 | 27577,70 | 28420,03 | -379,97   |
| 292 | 28800 | 100  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 36,67   | 120 | 28420,03 | 28576,70 | -223,30   |
| 350 | 34560 | 110  | DİF. LCD ÇEKMECE GRİ | 40,33   | 0   | 28576,70 | 28617,03 | -5942,97  |
| 294 | 0     | 128  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 46,93   | 120 | 28617,03 | 28784,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 30,00   | 0   | 28784,00 | 28814,00 |           |
|     | 28800 | 522  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 191,40  | 0   | 28814,00 | 29005,37 | 205,37    |
| 336 | 33120 | 689  | FUS.LCD ÇEKMECE      | 252,63  | 0   | 29005,37 | 29258,00 | -3862,00  |
| 309 | 30240 | 1258 | FUS.LCD ÇEKMECE      | 461,27  | 0   | 29258,00 | 29719,27 | -520,73   |
| 299 | 30240 | 500  | PL1 / 1 GRİ          | 350,00  | 120 | 29719,27 | 30189,27 | -50,73    |
| 303 | 30240 | 515  | TR DIF.PANO ÇEK      | 188,83  | 120 | 30189,27 | 30498,10 | 258,10    |
| 403 | 0     | 46   | TR DIF.PANO ÇEK      | 16,87   | 0   | 30498,10 | 30515,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 30,00   | 0   | 30515,00 | 30545,00 |           |
|     | 40320 | 457  | TR DIF.PANO ÇEK      | 167,57  | 0   | 30545,00 | 30712,53 | -9607,47  |
| 314 | 31680 | 1200 | PL1 / 2 GRİ          | 840,00  | 120 | 30712,53 | 31672,53 | -7,47     |
| 341 | 34560 | 800  | PL3 / 1              | 560,00  | 120 | 31672,53 | 32352,53 | -2207,47  |
| 345 | 0     | 309  | TR DIF.PANO          | 226,60  | 120 | 32352,53 | 32699,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                   | 30,00   | 0   | 32699,00 | 32729,00 |           |

**Ek 9 'un devamı**

|     |       |      |                 |        |     |          |          |          |
|-----|-------|------|-----------------|--------|-----|----------|----------|----------|
|     | 34560 | 118  | TR DIF PANO     | 86,53  | 0   | 32729,00 | 32815,67 | -1744,33 |
| 401 | 40320 | 581  | TR DIF PANO     | 426,07 | 0   | 32815,67 | 33241,73 | -7078,27 |
| 356 | 36000 | 1400 | PL1 / 2         | 980,00 | 120 | 33241,73 | 34341,73 | -1658,27 |
| 380 | 0     | 462  | PL1 / 2         | 323,40 | 0   | 34341,73 | 34665,00 |          |
|     | 0     | 0    | XX              | 30,00  | 0   | 34665,00 | 34695,00 |          |
|     | 38880 | 338  | PL1 / 2         | 236,60 | 0   | 34695,00 | 34931,73 | -3948,27 |
| 365 | 36000 | 689  | FUS.LCD ÇEKMECE | 252,63 | 120 | 34931,73 | 35304,37 | -695,63  |
| 377 | 37440 | 922  | FUS.LCD ÇEKMECE | 338,07 | 0   | 35304,37 | 35642,43 | -1797,57 |
| 370 | 37440 | 1066 | PL1 / 1 GRİ     | 746,20 | 120 | 35642,43 | 36508,63 | -931,37  |
| 383 | 38880 | 594  | PL3 / 2         | 415,80 | 120 | 36508,63 | 37044,43 | -1835,57 |
| 397 | 40320 | 543  | PL3 / 2         | 380,10 | 0   | 37044,43 | 37424,53 | -2895,47 |



**Ek 10 300/1 Tezgahı (Atama tablosu)**

| Sıra<br>[j] | Sipariş<br>[Dij] | Talep<br>[dij] | Model [Mij]       | Üretim<br>Zamanı [pij] | Setup<br>[sij] | Fiili<br>Başlama<br>[bij] | Bitiş<br>Zamanı<br>[cij] | Gecikme  |
|-------------|------------------|----------------|-------------------|------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|----------|
| 4           | 1440             | 267            | PL1-A ÇEKMECE     | 97,90                  | 0              | 0,00                      | 97,90                    | -1342,10 |
| 7           | 1440             | 1612           | PL1-A ÇEKMECE     | 591,07                 | 0              | 97,90                     | 688,97                   | -751,03  |
| 8           | 1440             | 381            | PL3 ÇEKMECE       | 139,70                 | 120            | 688,97                    | 948,67                   | -491,33  |
| 9           | 1440             | 99             | PL3-A ÇEKMECE     | 36,30                  | 120            | 948,67                    | 1104,97                  | -335,03  |
| 15          | 2880             | 3              | PL1 ÇEKMECE       | 1,10                   | 120            | 1104,97                   | 1226,07                  | -1653,93 |
| 16          | 2880             | 1127           | PL1-A ÇEKMECE     | 413,23                 | 120            | 1226,07                   | 1759,30                  | -1120,70 |
| 23          | 4320             | 1200           | PL1 ÇEKMECE       | 440,00                 | 120            | 1759,30                   | 2319,30                  | -2000,70 |
| 24          | 4320             | 333            | PL1-A ÇEKMECE     | 122,10                 | 120            | 2319,30                   | 2561,40                  | -1758,60 |
| 33          | 5760             | 256            | PL1 ÇEKMECE       | 93,87                  | 120            | 2561,40                   | 2775,27                  | -2984,73 |
| 34          | 5760             | 600            | PL1-A ÇEKMECE     | 220,00                 | 120            | 2775,27                   | 3115,27                  | -2644,73 |
| 35          | 5760             | 500            | PL3 ÇEKMECE       | 183,33                 | 120            | 3115,27                   | 3418,60                  | -2341,40 |
| 46          | 7200             | 456            | PL1 ÇEKMECE       | 167,20                 | 120            | 3418,60                   | 3705,80                  | -3494,20 |
| 47          | 7200             | 3353           | PL1-A ÇEKMECE     | 1229,43                | 120            | 3705,80                   | 5055,23                  | -2144,77 |
| 48          | 7200             | 386            | PL3 ÇEKMECE       | 141,53                 | 120            | 5055,23                   | 5316,77                  | -1883,23 |
| 66          | 8640             | 456            | PL1 ÇEKMECE       | 167,20                 | 120            | 5316,77                   | 5603,97                  | -3036,03 |
| 67          | 8640             | 554            | PL1-A ÇEKMECE     | 203,13                 | 120            | 5603,97                   | 5927,10                  | -2712,90 |
| 68          | 8640             | 999            | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 366,30                 | 120            | 5927,10                   | 6413,40                  | -2226,60 |
| 69          | 8640             | 689            | DİF.LCD ÇEKMECE   | 252,63                 | 120            | 6413,40                   | 6786,03                  | -1853,97 |
| 70          | 8640             | 906            | PL3 ÇEKMECE       | 332,20                 | 120            | 6786,03                   | 7238,23                  | -1401,77 |
| 89          | 10080            | 576            | PL1 ÇEKMECE       | 211,20                 | 120            | 7238,23                   | 7569,43                  | -2510,57 |
| 90          | 10080            | 434            | PL1-A ÇEKMECE     | 159,13                 | 120            | 7569,43                   | 7848,57                  | -2231,43 |
| 91          | 10080            | 670            | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 245,67                 | 120            | 7848,57                   | 8214,23                  | -1865,77 |
| 93          | 10080            | 359            | PL3 ÇEKMECE       | 131,63                 | 120            | 8214,23                   | 8465,87                  | -1614,13 |
| 94          | 10080            | 787            | PL3-A ÇEKMECE     | 288,57                 | 120            | 8465,87                   | 8874,43                  | -1205,57 |
| 109         | 11520            | 428            | PL1 ÇEKMECE       | 156,93                 | 120            | 8874,43                   | 9151,37                  | -2368,63 |
| 110         | 11520            | 3305           | PL1-A ÇEKMECE     | 1211,83                | 120            | 9151,37                   | 10483,20                 | -1036,80 |
| 112         | 11520            | 780            | PL3 ÇEKMECE       | 286,00                 | 120            | 10483,20                  | 10889,20                 | -630,80  |
| 113         | 11520            | 345            | PL3-A ÇEKMECE     | 126,50                 | 120            | 10889,20                  | 11135,70                 | -384,30  |
| 127         | 12960            | 1391           | PL1 ÇEKMECE       | 510,03                 | 120            | 11135,70                  | 11765,73                 | -1194,27 |
| 128         | 12960            | 329            | PL1 ÇEKMECE GRİ   | 120,63                 | 120            | 11765,73                  | 12006,37                 | -953,63  |
| 129         | 12960            | 1780           | PL1-A ÇEKMECE     | 652,67                 | 120            | 12006,37                  | 12779,03                 | -180,97  |
| 131         | 12960            | 250            | PL3 ÇEKMECE       | 91,67                  | 120            | 12779,03                  | 12990,70                 | 30,70    |
| 132         | 12960            | 457            | PL3-A ÇEKMECE     | 167,57                 | 120            | 12990,70                  | 13278,27                 | 318,27   |
| 144         | 14400            | 654            | PL1 ÇEKMECE       | 239,80                 | 120            | 13278,27                  | 13638,07                 | -761,93  |
| 145         | 14400            | 1903           | PL1-A ÇEKMECE     | 697,77                 | 120            | 13638,07                  | 14455,83                 | 55,83    |
| 146         | 14400            | 1000           | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 366,67                 | 120            | 14455,83                  | 14942,50                 | 542,50   |
| 147         | 14400            | 283            | PL3 ÇEKMECE       | 103,77                 | 120            | 14942,50                  | 15166,27                 | 766,27   |
| 160         | 17280            | 396            | PL1 ÇEKMECE       | 145,20                 | 120            | 15166,27                  | 15431,47                 | -1848,53 |
| 161         | 17280            | 2625           | PL1-A ÇEKMECE     | 962,50                 | 120            | 15431,47                  | 16513,97                 | -766,03  |
| 162         | 17280            | 62             | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 22,73                  | 120            | 16513,97                  | 16656,70                 | -623,30  |
| 174         | 18720            | 3091           | PL1-A ÇEKMECE     | 1133,37                | 120            | 16656,70                  | 17910,07                 | -809,93  |
| 175         | 18720            | 1438           | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 527,27                 | 120            | 17910,07                  | 18557,33                 | -162,67  |
| 189         | 20160            | 1301           | PL1-A ÇEKMECE     | 477,03                 | 120            | 18557,33                  | 19154,37                 | -1005,63 |
| 190         | 20160            | 1097           | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 402,23                 | 120            | 19154,37                  | 19676,60                 | -483,40  |
| 192         | 20160            | 795            | PL3 ÇEKMECE       | 291,50                 | 120            | 19676,60                  | 20088,10                 | -71,90   |
| 202         | 21600            | 411            | TR PL2. PANO ÇEK  | 150,70                 | 120            | 20088,10                  | 20358,80                 | -1241,20 |
| 207         | 21600            | 401            | PL1 ÇEKMECE       | 147,03                 | 120            | 20358,80                  | 20625,83                 | -974,17  |
| 208         | 21600            | 1229           | PL1-A ÇEKMECE     | 450,63                 | 120            | 20625,83                  | 21196,47                 | -403,53  |
| 209         | 21600            | 975            | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 357,50                 | 120            | 21196,47                  | 21673,97                 | 73,97    |

|                         |       |      |                   |         |     |          |          |         |
|-------------------------|-------|------|-------------------|---------|-----|----------|----------|---------|
| 211                     | 21600 | 1010 | PL3 ÇEKMECE       | 370,33  | 120 | 21673,97 | 22164,30 | 564,30  |
| <b>Ek 10 'un devamı</b> |       |      |                   |         |     |          |          |         |
| 212                     | 21600 | 100  | PL3-A ÇEKMECE     | 36,67   | 120 | 22164,30 | 22320,97 | 720,97  |
| 223                     | 23040 | 20   | TR PL2. PANO ÇEK  | 7,33    | 120 | 22320,97 | 22448,30 | -591,70 |
| 226                     | 23040 | 252  | PL1 ÇEKMECE       | 92,40   | 120 | 22448,30 | 22660,70 | -379,30 |
| 227                     | 23040 | 21   | PL1 ÇEKMECE GRİ   | 7,70    | 120 | 22660,70 | 22788,40 | -251,60 |
| 228                     | 23040 | 550  | PL1-A ÇEKMECE     | 201,67  | 120 | 22788,40 | 23110,07 | 70,07   |
| 230                     | 23040 | 600  | PL3 ÇEKMECE       | 220,00  | 120 | 23110,07 | 23450,07 | 410,07  |
| 241                     | 24480 | 1298 | PL1-A ÇEKMECE     | 475,93  | 120 | 23450,07 | 24046,00 | -434,00 |
| 242                     | 24480 | 1550 | PL3 ÇEKMECE       | 568,33  | 120 | 24046,00 | 24734,33 | 254,33  |
| 243                     | 24480 | 299  | PL3 ÇEKMECE GRİ   | 109,63  | 120 | 24734,33 | 24963,97 | 483,97  |
| 256                     | 25920 | 183  | PL1 ÇEKMECE       | 67,10   | 120 | 24963,97 | 25151,07 | -768,93 |
| 257                     | 25920 | 2207 | PL1-A ÇEKMECE     | 809,23  | 120 | 25151,07 | 26080,30 | 160,30  |
| 259                     | 25920 | 593  | PL3 ÇEKMECE       | 217,43  | 120 | 26080,30 | 26417,73 | 497,73  |
| 270                     | 27360 | 183  | PL1 ÇEKMECE       | 67,10   | 120 | 26417,73 | 26604,83 | -755,17 |
| 271                     | 27360 | 2207 | PL1-A ÇEKMECE     | 809,23  | 120 | 26604,83 | 27534,07 | 174,07  |
| 273                     | 27360 | 593  | PL3 ÇEKMECE       | 217,43  | 120 | 27534,07 | 27871,50 | 511,50  |
| 288                     | 28800 | 100  | PL1 ÇEKMECE       | 36,67   | 120 | 27871,50 | 28028,17 | -771,83 |
| 289                     | 28800 | 3014 | PL1-A ÇEKMECE     | 1105,13 | 120 | 28028,17 | 29253,30 | 453,30  |
| 290                     | 28800 | 1185 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 434,50  | 120 | 29253,30 | 29807,80 | 1007,80 |
| 293                     | 28800 | 1288 | PL3 ÇEKMECE       | 472,27  | 120 | 29807,80 | 30400,07 | 1600,07 |
| 305                     | 30240 | 1286 | PL1 ÇEKMECE       | 471,53  | 120 | 30400,07 | 30991,60 | 751,60  |
| 306                     | 30240 | 2000 | PL1-A ÇEKMECE     | 733,33  | 120 | 30991,60 | 31844,93 | 1604,93 |
| 307                     | 30240 | 500  | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 183,33  | 120 | 31844,93 | 32148,27 | 1908,27 |
| 321                     | 31680 | 175  | PL1 ÇEKMECE       | 64,17   | 120 | 32148,27 | 32332,43 | 652,43  |
| 322                     | 31680 | 1212 | PL1-A ÇEKMECE     | 444,40  | 120 | 32332,43 | 32896,83 | 1216,83 |
| 323                     | 31680 | 1200 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 440,00  | 120 | 32896,83 | 33456,83 | 1776,83 |
| 334                     | 33120 | 3358 | PL1-A ÇEKMECE     | 1231,27 | 120 | 33456,83 | 34808,10 | 1688,10 |
| 348                     | 34560 | 3666 | PL1-A ÇEKMECE     | 1344,20 | 0   | 34808,10 | 36152,30 | 1592,30 |
| 351                     | 34560 | 800  | PL3 ÇEKMECE       | 293,33  | 120 | 36152,30 | 36565,63 | 2005,63 |
| 363                     | 36000 | 3358 | PL1-A ÇEKMECE     | 1231,27 | 120 | 36565,63 | 37916,90 | 1916,90 |
| 374                     | 37440 | 1200 | PL1-A ÇEKMECE     | 440,00  | 0   | 37916,90 | 38356,90 | 916,90  |
| 375                     | 37440 | 2266 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 830,87  | 120 | 38356,90 | 39307,77 | 1867,77 |
| 387                     | 38880 | 1835 | PL1-A ÇEKMECE     | 672,83  | 120 | 39307,77 | 40100,60 | 1220,60 |
| 388                     | 38880 | 1200 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 440,00  | 120 | 40100,60 | 40660,60 | 1780,60 |
| 389                     | 38880 | 303  | PL3 ÇEKMECE       | 111,10  | 120 | 40660,60 | 40891,70 | 2011,70 |
| 390                     | 38880 | 594  | PL3-A ÇEKMECE     | 217,80  | 120 | 40891,70 | 41229,50 | 2349,50 |
| 405                     | 40320 | 3358 | PL1-A ÇEKMECE     | 1231,27 | 120 | 41229,50 | 42580,77 | 2260,77 |
| 406                     | 40320 | 2221 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 814,37  | 120 | 42580,77 | 43515,13 | 3195,13 |
| 408                     | 40320 | 324  | PL3 ÇEKMECE       | 118,80  | 120 | 43515,13 | 43753,93 | 3433,93 |

## Ek 11 300/1 Tezgahı (Optimizasyon tablosu)

| Sıra [i] | Sipariş [Dij] | Talep [dij] | Model [Mij]       | Üretim Zamanı [pij] | Setup [sij] | Fiili Başlama [bij] | Bitiş Zamanı [cij] | Gecikme   |
|----------|---------------|-------------|-------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------|-----------|
| 4        | 1440          | 267         | PL1-A ÇEKMECE     | 97,90               | 0           | 0,00                | 97,90              | -1342,10  |
| 7        | 1440          | 1612        | PL1-A ÇEKMECE     | 591,07              | 0           | 97,90               | 688,97             | -751,03   |
| 228      | 23040         | 550         | PL1-A ÇEKMECE     | 201,67              | 0           | 688,97              | 890,63             | -22149,37 |
| 145      | 14400         | 1903        | PL1-A ÇEKMECE     | 697,77              | 0           | 890,63              | 1588,40            | -12811,60 |
| 129      | 12960         | 1780        | PL1-A ÇEKMECE     | 652,67              | 0           | 1588,40             | 2241,07            | -10718,93 |
| 110      | 11520         | 3305        | PL1-A ÇEKMECE     | 1211,83             | 0           | 2241,07             | 3452,90            | -8067,10  |
| 90       | 10080         | 434         | PL1-A ÇEKMECE     | 159,13              | 0           | 3452,90             | 3612,03            | -6467,97  |
| 67       | 8640          | 554         | PL1-A ÇEKMECE     | 203,13              | 0           | 3612,03             | 3815,17            | -4824,83  |
| 47       | 7200          | 3353        | PL1-A ÇEKMECE     | 1229,43             | 0           | 3815,17             | 5044,60            | -2155,40  |
| 34       | 5760          | 600         | PL1-A ÇEKMECE     | 220,00              | 0           | 5044,60             | 5264,60            | -495,40   |
| 24       | 4320          | 333         | PL1-A ÇEKMECE     | 122,10              | 0           | 5264,60             | 5386,70            | 1066,70   |
| 16       | 2880          | 1127        | PL1-A ÇEKMECE     | 413,23              | 0           | 5386,70             | 5799,93            | 2919,93   |
| 8        | 1440          | 381         | PL3 ÇEKMECE       | 139,70              | 120         | 5799,93             | 6059,63            | 4619,63   |
| 408      | 40320         | 324         | PL3 ÇEKMECE       | 118,80              | 0           | 6059,63             | 6178,43            | -34141,57 |
| 131      | 12960         | 250         | PL3 ÇEKMECE       | 91,67               | 0           | 6178,43             | 6270,10            | -6689,90  |
| 93       | 10080         | 359         | PL3 ÇEKMECE       | 131,63              | 0           | 6270,10             | 6401,73            | -3678,27  |
| 70       | 8640          | 906         | PL3 ÇEKMECE       | 332,20              | 0           | 6401,73             | 6733,93            | -1906,07  |
| 48       | 7200          | 386         | PL3 ÇEKMECE       | 141,53              | 0           | 6733,93             | 6875,47            | -324,53   |
| 35       | 5760          | 500         | PL3 ÇEKMECE       | 183,33              | 0           | 6875,47             | 7058,80            | 1298,80   |
| 9        | 1440          | 99          | PL3-A ÇEKMECE     | 36,30               | 120         | 7058,80             | 7215,10            | 5775,10   |
| 212      | 21600         | 100         | PL3-A ÇEKMECE     | 36,67               | 0           | 7215,10             | 7251,77            | -14348,23 |
| 15       | 2880          | 3           | PL1 ÇEKMECE       | 1,10                | 120         | 7251,77             | 7372,87            | 4492,87   |
| 23       | 4320          | 1200        | PL1 ÇEKMECE       | 440,00              | 0           | 7372,87             | 7812,87            | 3492,87   |
| 33       | 5760          | 256         | PL1 ÇEKMECE       | 93,87               | 0           | 7812,87             | 7906,73            | 2146,73   |
| 46       | 7200          | 456         | PL1 ÇEKMECE       | 167,20              | 0           | 7906,73             | 8073,93            | 873,93    |
| 66       | 8640          | 456         | PL1 ÇEKMECE       | 167,20              | 0           | 8073,93             | 8241,13            | -398,87   |
| 321      | 31680         | 175         | PL1 ÇEKMECE       | 64,17               | 0           | 8241,13             | 8305,30            | -23374,70 |
| 288      | 28800         | 100         | PL1 ÇEKMECE       | 36,67               | 0           | 8305,30             | 8341,97            | -20458,03 |
| 68       | 8640          | 999         | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 366,30              | 120         | 8341,97             | 8828,27            | 188,27    |
| 307      | 30240         | 500         | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 183,33              | 0           | 8828,27             | 9011,60            | -21228,40 |
| 162      | 17280         | 62          | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 22,73               | 0           | 9011,60             | 9034,33            | -8245,67  |
| 91       | 10080         | 670         | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 245,67              | 0           | 9034,33             | 9280,00            | -800,00   |
| 69       | 8640          | 689         | DİF.LCD ÇEKMECE   | 252,63              | 120         | 9280,00             | 9652,63            | 1012,63   |
| 89       | 10080         | 576         | PL1 ÇEKMECE       | 211,20              | 120         | 9652,63             | 9983,83            | -96,17    |
| 256      | 25920         | 183         | PL1 ÇEKMECE       | 67,10               | 0           | 9983,83             | 10050,93           | -15869,07 |
| 94       | 10080         | 787         | PL3-A ÇEKMECE     | 288,57              | 120         | 10050,93            | 10459,50           | 379,50    |
| 132      | 12960         | 457         | PL3-A ÇEKMECE     | 167,57              | 0           | 10459,50            | 10627,07           | -2332,93  |
| 113      | 11520         | 345         | PL3-A ÇEKMECE     | 126,50              | 0           | 10627,07            | 10753,57           | -766,43   |
| 109      | 11520         | 428         | PL1 ÇEKMECE       | 156,93              | 120         | 10753,57            | 11030,50           | -489,50   |
| 270      | 27360         | 183         | PL1 ÇEKMECE       | 67,10               | 0           | 11030,50            | 11097,60           | -16262,40 |
| 112      | 11520         | 780         | PL3 ÇEKMECE       | 286,00              | 120         | 11097,60            | 11503,60           | -16,40    |
| 389      | 38880         | 303         | PL3 ÇEKMECE       | 111,10              | 0           | 11503,60            | 11614,70           | -27265,30 |
| 192      | 20160         | 795         | PL3 ÇEKMECE       | 291,50              | 0           | 11614,70            | 11906,20           | -8253,80  |
| 147      | 14400         | 283         | PL3 ÇEKMECE       | 103,77              | 0           | 11906,20            | 12009,97           | -2390,03  |
| 127      | 12960         | 1391        | PL1 ÇEKMECE       | 510,03              | 120         | 12009,97            | 12640,00           | -320,00   |
| 128      | 12960         | 329         | PL1 ÇEKMECE GRİ   | 120,63              | 120         | 12640,00            | 12880,63           | -79,37    |
| 227      | 23040         | 21          | PL1 ÇEKMECE GRİ   | 7,70                | 0           | 12880,63            | 12888,33           | -10151,67 |
| 144      | 14400         | 654         | PL1 ÇEKMECE       | 239,80              | 120         | 12888,33            | 13248,13           | -1151,87  |
| 226      | 23040         | 252         | PL1 ÇEKMECE       | 92,40               | 0           | 13248,13            | 13340,53           | -9699,47  |
| 207      | 21600         | 401         | PL1 ÇEKMECE       | 147,03              | 0           | 13340,53            | 13487,57           | -8112,43  |

**Ek 11 'in devamı**

|     |       |      |                   |         |     |          |          |           |
|-----|-------|------|-------------------|---------|-----|----------|----------|-----------|
| 160 | 17280 | 396  | PL1 ÇEKMECE       | 145,20  | 0   | 13487,57 | 13632,77 | -3647,23  |
| 146 | 14400 | 1000 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 366,67  | 120 | 13632,77 | 14119,43 | -280,57   |
| 290 | 28800 | 1185 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 434,50  | 0   | 14119,43 | 14553,93 | -14246,07 |
| 209 | 21600 | 975  | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 357,50  | 0   | 14553,93 | 14911,43 | -6688,57  |
| 190 | 20160 | 1097 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 402,23  | 0   | 14911,43 | 15313,67 | -4846,33  |
| 175 | 18720 | 1438 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 527,27  | 0   | 15313,67 | 15840,93 | -2879,07  |
| 161 | 17280 | 2625 | PL1-A ÇEKMECE     | 962,50  | 120 | 15840,93 | 16923,43 | -356,57   |
| 174 | 18720 | 3091 | PL1-A ÇEKMECE     | 1133,37 | 0   | 16923,43 | 18056,80 | -663,20   |
| 189 | 20160 | 1301 | PL1-A ÇEKMECE     | 477,03  | 0   | 18056,80 | 18533,83 | -1626,17  |
| 322 | 31680 | 1212 | PL1-A ÇEKMECE     | 444,40  | 0   | 18533,83 | 18978,23 | -12701,77 |
| 257 | 25920 | 2207 | PL1-A ÇEKMECE     | 809,23  | 0   | 18978,23 | 19787,47 | -6132,53  |
| 241 | 24480 | 1298 | PL1-A ÇEKMECE     | 475,93  | 0   | 19787,47 | 20263,40 | -4216,60  |
| 208 | 21600 | 1229 | PL1-A ÇEKMECE     | 450,63  | 0   | 20263,40 | 20714,03 | -885,97   |
| 202 | 21600 | 411  | TR PL2. PANO ÇEK  | 150,70  | 120 | 20714,03 | 20984,73 | -615,27   |
| 223 | 23040 | 20   | TR PL2. PANO ÇEK  | 7,33    | 0   | 20984,73 | 20992,07 | -2047,93  |
| 211 | 21600 | 1010 | PL3 ÇEKMECE       | 370,33  | 120 | 20992,07 | 21482,40 | -117,60   |
| 230 | 23040 | 600  | PL3 ÇEKMECE       | 220,00  | 0   | 21482,40 | 21702,40 | -1337,60  |
| 242 | 24480 | 1550 | PL3 ÇEKMECE       | 568,33  | 0   | 21702,40 | 22270,73 | -2209,27  |
| 351 | 34560 | 800  | PL3 ÇEKMECE       | 293,33  | 0   | 22270,73 | 22564,07 | -11995,93 |
| 293 | 28800 | 1288 | PL3 ÇEKMECE       | 472,27  | 0   | 22564,07 | 23036,33 | -5763,67  |
| 273 | 27360 | 593  | PL3 ÇEKMECE       | 217,43  | 0   | 23036,33 | 23253,77 | -4106,23  |
| 259 | 25920 | 593  | PL3 ÇEKMECE       | 217,43  | 0   | 23253,77 | 23471,20 | -2448,80  |
| 243 | 24480 | 299  | PL3 ÇEKMECE GRİ   | 109,63  | 120 | 23471,20 | 23700,83 | -779,17   |
| 271 | 27360 | 2207 | PL1-A ÇEKMECE     | 809,23  | 120 | 23700,83 | 24630,07 | -2729,93  |
| 289 | 28800 | 3014 | PL1-A ÇEKMECE     | 1105,13 | 0   | 24630,07 | 25735,20 | -3064,80  |
| 374 | 37440 | 1200 | PL1-A ÇEKMECE     | 440,00  | 0   | 25735,20 | 26175,20 | -11264,80 |
| 348 | 34560 | 3666 | PL1-A ÇEKMECE     | 1344,20 | 0   | 26175,20 | 27519,40 | -7040,60  |
| 334 | 33120 | 3358 | PL1-A ÇEKMECE     | 1231,27 | 0   | 27519,40 | 28750,67 | -4369,33  |
| 306 | 30240 | 2000 | PL1-A ÇEKMECE     | 733,33  | 0   | 28750,67 | 29484,00 | -756,00   |
| 305 | 30240 | 1286 | PL1 ÇEKMECE       | 471,53  | 120 | 29484,00 | 30075,53 | -164,47   |
| 323 | 31680 | 1200 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 440,00  | 120 | 30075,53 | 30635,53 | -1044,47  |
| 406 | 40320 | 2221 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 814,37  | 0   | 30635,53 | 31449,90 | -8870,10  |
| 388 | 38880 | 1200 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 440,00  | 0   | 31449,90 | 31889,90 | -6990,10  |
| 375 | 37440 | 2266 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 830,87  | 0   | 31889,90 | 32720,77 | -4719,23  |
| 363 | 36000 | 3358 | PL1-A ÇEKMECE     | 1231,27 | 120 | 32720,77 | 34072,03 | -1927,97  |
| 387 | 38880 | 1835 | PL1-A ÇEKMECE     | 672,83  | 0   | 34072,03 | 34744,87 | -4135,13  |
| 405 | 40320 | 3358 | PL1-A ÇEKMECE     | 1231,27 | 0   | 34744,87 | 35976,13 | -4343,87  |
| 390 | 38880 | 594  | PL3-A ÇEKMECE     | 217,80  | 120 | 35976,13 | 36313,93 | -2566,07  |

**Ek 12 300/1 Tezgahı (Arıza tablosu)**

| Sıra [j] | Sipariş [Dij] | Talep [dij] | Model [Mij]       | Üretim Zamanı [pij] | Setup [sij] | Fiili Başlama [bij] | Bitiş Zamanı [cij] | Gecikme   |
|----------|---------------|-------------|-------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------|-----------|
| 4        | 1440          | 267         | PL1-A ÇEKMECE     | 97,90               | 0           | 0,00                | 97,90              | -1342,10  |
| 7        | 1440          | 1612        | PL1-A ÇEKMECE     | 591,07              | 0           | 97,90               | 688,97             | -751,03   |
| 228      | 23040         | 550         | PL1-A ÇEKMECE     | 201,67              | 0           | 688,97              | 890,63             | -22149,37 |
| 145      | 14400         | 1903        | PL1-A ÇEKMECE     | 697,77              | 0           | 890,63              | 1588,40            | -12811,60 |
| 129      | 0             | 803         | PL1-A ÇEKMECE     | 294,43              | 0           | 1588,40             | 1883,00            |           |
|          | 0             | 0           | XX                | 30,00               | 0           | 1883,00             | 1913,00            |           |
|          | 12960         | 977         | PL1-A ÇEKMECE     | 358,23              | 0           | 1913,00             | 2271,07            | -10688,93 |
| 110      | 11520         | 3305        | PL1-A ÇEKMECE     | 1211,83             | 0           | 2271,07             | 3482,90            | -8037,10  |
| 90       | 10080         | 434         | PL1-A ÇEKMECE     | 159,13              | 0           | 3482,90             | 3642,03            | -6437,97  |
| 67       | 0             | 144         | PL1-A ÇEKMECE     | 52,80               | 0           | 3642,03             | 3695,00            |           |
|          | 0             | 0           | XX                | 30,00               | 0           | 3695,00             | 3725,00            |           |
|          | 8640          | 410         | PL1-A ÇEKMECE     | 150,33              | 0           | 3725,00             | 3875,17            | -4764,83  |
| 47       | 0             | 1821        | PL1-A ÇEKMECE     | 667,70              | 0           | 3875,17             | 4543,00            |           |
|          | 0             | 0           | XX                | 30,00               | 0           | 4543,00             | 4573,00            |           |
|          | 7200          | 1532        | PL1-A ÇEKMECE     | 561,73              | 0           | 4573,00             | 5134,60            | -2065,40  |
| 34       | 5760          | 600         | PL1-A ÇEKMECE     | 220,00              | 0           | 5134,60             | 5354,60            | -405,40   |
| 24       | 4320          | 333         | PL1-A ÇEKMECE     | 122,10              | 0           | 5354,60             | 5476,70            | 1156,70   |
| 16       | 2880          | 1127        | PL1-A ÇEKMECE     | 413,23              | 0           | 5476,70             | 5889,93            | 3009,93   |
| 8        | 1440          | 381         | PL3 ÇEKMECE       | 139,70              | 120         | 5889,93             | 6149,63            | 4709,63   |
| 408      | 40320         | 324         | PL3 ÇEKMECE       | 118,80              | 0           | 6149,63             | 6268,43            | -34051,57 |
| 131      | 12960         | 250         | PL3 ÇEKMECE       | 91,67               | 0           | 6268,43             | 6360,10            | -6599,90  |
| 93       | 10080         | 359         | PL3 ÇEKMECE       | 131,63              | 0           | 6360,10             | 6491,73            | -3588,27  |
| 70       | 8640          | 906         | PL3 ÇEKMECE       | 332,20              | 0           | 6491,73             | 6823,93            | -1816,07  |
| 48       | 7200          | 386         | PL3 ÇEKMECE       | 141,53              | 0           | 6823,93             | 6965,47            | -234,53   |
| 35       | 5760          | 500         | PL3 ÇEKMECE       | 183,33              | 0           | 6965,47             | 7148,80            | 1388,80   |
| 9        | 1440          | 99          | PL3-A ÇEKMECE     | 36,30               | 120         | 7148,80             | 7305,10            | 5865,10   |
| 212      | 21600         | 100         | PL3-A ÇEKMECE     | 36,67               | 0           | 7305,10             | 7341,77            | -14258,23 |
| 15       | 2880          | 3           | PL1 ÇEKMECE       | 1,10                | 120         | 7341,77             | 7462,87            | 4582,87   |
| 23       | 4320          | 1200        | PL1 ÇEKMECE       | 440,00              | 0           | 7462,87             | 7902,87            | 3582,87   |
| 33       | 5760          | 256         | PL1 ÇEKMECE       | 93,87               | 0           | 7902,87             | 7996,73            | 2236,73   |
| 46       | 7200          | 456         | PL1 ÇEKMECE       | 167,20              | 0           | 7996,73             | 8163,93            | 963,93    |
| 66       | 8640          | 456         | PL1 ÇEKMECE       | 167,20              | 0           | 8163,93             | 8331,13            | -308,87   |
| 321      | 31680         | 175         | PL1 ÇEKMECE       | 64,17               | 0           | 8331,13             | 8395,30            | -23284,70 |
| 288      | 28800         | 100         | PL1 ÇEKMECE       | 36,67               | 0           | 8395,30             | 8431,97            | -20368,03 |
| 68       | 8640          | 999         | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 366,30              | 120         | 8431,97             | 8918,27            | 278,27    |
| 307      | 30240         | 500         | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 183,33              | 0           | 8918,27             | 9101,60            | -21138,40 |
| 162      | 17280         | 62          | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 22,73               | 0           | 9101,60             | 9124,33            | -8155,67  |
| 91       | 10080         | 670         | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 245,67              | 0           | 9124,33             | 9370,00            | -710,00   |
| 69       | 8640          | 689         | DİF.LCD ÇEKMECE   | 252,63              | 120         | 9370,00             | 9742,63            | 1102,63   |
| 89       | 10080         | 576         | PL1 ÇEKMECE       | 211,20              | 120         | 9742,63             | 10073,83           | -6,17     |
| 256      | 25920         | 183         | PL1 ÇEKMECE       | 67,10               | 0           | 10073,83            | 10140,93           | -15779,07 |
| 94       | 10080         | 787         | PL3-A ÇEKMECE     | 288,57              | 120         | 10140,93            | 10549,50           | 469,50    |
| 132      | 12960         | 457         | PL3-A ÇEKMECE     | 167,57              | 0           | 10549,50            | 10717,07           | -2242,93  |
| 113      | 11520         | 345         | PL3-A ÇEKMECE     | 126,50              | 0           | 10717,07            | 10843,57           | -676,43   |
| 109      | 0             | 386         | PL1 ÇEKMECE       | 141,53              | 120         | 10843,57            | 11105,00           |           |
|          | 0             | 0           | XX                | 90,00               | 0           | 11105,00            | 11195,00           |           |
|          | 11520         | 42          | PL1 ÇEKMECE       | 15,40               | 0           | 11195,00            | 11210,50           | -309,50   |
| 270      | 27360         | 183         | PL1 ÇEKMECE       | 67,10               | 0           | 11210,50            | 11277,60           | -16082,40 |
| 112      | 11520         | 780         | PL3 ÇEKMECE       | 286,00              | 120         | 11277,60            | 11683,60           | 163,60    |
| 389      | 38880         | 303         | PL3 ÇEKMECE       | 111,10              | 0           | 11683,60            | 11794,70           | -27085,30 |

**Ek 12 'nin devamı**

|     |       |      |                   |         |     |          |          |           |
|-----|-------|------|-------------------|---------|-----|----------|----------|-----------|
| 192 | 20160 | 795  | PL3 ÇEKMECE       | 291,50  | 0   | 11794,70 | 12086,20 | -8073,80  |
| 147 | 14400 | 283  | PL3 ÇEKMECE       | 103,77  | 0   | 12086,20 | 12189,97 | -2210,03  |
| 127 | 0     | 756  | PL1 ÇEKMECE       | 277,20  | 120 | 12189,97 | 12587,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                | 30,00   | 0   | 12587,00 | 12617,00 |           |
|     | 12960 | 635  | PL1 ÇEKMECE       | 232,83  | 0   | 12617,00 | 12850,00 | -110,00   |
| 128 | 12960 | 329  | PL1 ÇEKMECE GRİ   | 120,63  | 120 | 12850,00 | 13090,63 | 130,63    |
| 227 | 23040 | 21   | PL1 ÇEKMECE GRİ   | 7,70    | 0   | 13090,63 | 13098,33 | -9941,67  |
| 144 | 14400 | 654  | PL1 ÇEKMECE       | 239,80  | 120 | 13098,33 | 13458,13 | -941,87   |
| 226 | 23040 | 252  | PL1 ÇEKMECE       | 92,40   | 0   | 13458,13 | 13550,53 | -9489,47  |
| 207 | 21600 | 401  | PL1 ÇEKMECE       | 147,03  | 0   | 13550,53 | 13697,57 | -7902,43  |
| 160 | 17280 | 396  | PL1 ÇEKMECE       | 145,20  | 0   | 13697,57 | 13842,77 | -3437,23  |
| 146 | 14400 | 1000 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 366,67  | 120 | 13842,77 | 14329,43 | -70,57    |
| 290 | 28800 | 1185 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 434,50  | 0   | 14329,43 | 14763,93 | -14036,07 |
| 209 | 21600 | 975  | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 357,50  | 0   | 14763,93 | 15121,43 | -6478,57  |
| 190 | 20160 | 1097 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 402,23  | 0   | 15121,43 | 15523,67 | -4636,33  |
| 175 | 18720 | 1438 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 527,27  | 0   | 15523,67 | 16050,93 | -2669,07  |
| 161 | 17280 | 2625 | PL1-A ÇEKMECE     | 962,50  | 120 | 16050,93 | 17133,43 | -146,57   |
| 174 | 0     | 446  | PL1-A ÇEKMECE     | 163,53  | 0   | 17133,43 | 17297,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                | 60,00   | 0   | 17297,00 | 17357,00 |           |
|     | 18720 | 2645 | PL1-A ÇEKMECE     | 969,83  | 0   | 17357,00 | 18326,80 | -393,20   |
| 189 | 20160 | 1301 | PL1-A ÇEKMECE     | 477,03  | 0   | 18326,80 | 18803,83 | -1356,17  |
| 322 | 31680 | 1212 | PL1-A ÇEKMECE     | 444,40  | 0   | 18803,83 | 19248,23 | -12431,77 |
| 257 | 25920 | 2207 | PL1-A ÇEKMECE     | 809,23  | 0   | 19248,23 | 20057,47 | -5862,53  |
| 241 | 24480 | 1298 | PL1-A ÇEKMECE     | 475,93  | 0   | 20057,47 | 20533,40 | -3946,60  |
| 208 | 21600 | 1229 | PL1-A ÇEKMECE     | 450,63  | 0   | 20533,40 | 20984,03 | -615,97   |
| 202 | 21600 | 411  | TR PL2. PANO ÇEK  | 150,70  | 120 | 20984,03 | 21254,73 | -345,27   |
| 223 | 23040 | 20   | TR PL2. PANO ÇEK  | 7,33    | 0   | 21254,73 | 21262,07 | -1777,93  |
| 211 | 21600 | 1010 | PL3 ÇEKMECE       | 370,33  | 120 | 21262,07 | 21752,40 | 152,40    |
| 230 | 23040 | 600  | PL3 ÇEKMECE       | 220,00  | 0   | 21752,40 | 21972,40 | -1067,60  |
| 242 | 24480 | 1550 | PL3 ÇEKMECE       | 568,33  | 0   | 21972,40 | 22540,73 | -1939,27  |
| 351 | 34560 | 800  | PL3 ÇEKMECE       | 293,33  | 0   | 22540,73 | 22834,07 | -11725,93 |
| 293 | 28800 | 1288 | PL3 ÇEKMECE       | 472,27  | 0   | 22834,07 | 23306,33 | -5493,67  |
| 273 | 27360 | 593  | PL3 ÇEKMECE       | 217,43  | 0   | 23306,33 | 23523,77 | -3836,23  |
| 259 | 25920 | 593  | PL3 ÇEKMECE       | 217,43  | 0   | 23523,77 | 23741,20 | -2178,80  |
| 243 | 24480 | 299  | PL3 ÇEKMECE GRİ   | 109,63  | 120 | 23741,20 | 23970,83 | -509,17   |
| 271 | 27360 | 2207 | PL1-A ÇEKMECE     | 809,23  | 120 | 23970,83 | 24900,07 | -2459,93  |
| 289 | 0     | 447  | PL1-A ÇEKMECE     | 163,90  | 0   | 24900,07 | 25064,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                | 60,00   | 0   | 25064,00 | 25124,00 |           |
|     | 0     | 813  | PL1-A ÇEKMECE     | 298,10  | 0   | 25124,00 | 25422,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                | 60,00   | 0   | 25422,00 | 25482,00 |           |
|     | 28800 | 1754 | PL1-A ÇEKMECE     | 643,13  | 0   | 25482,00 | 26125,20 | -2674,80  |
| 374 | 37440 | 1200 | PL1-A ÇEKMECE     | 440,00  | 0   | 26125,20 | 26565,20 | -10874,80 |
| 348 | 34560 | 3666 | PL1-A ÇEKMECE     | 1344,20 | 0   | 26565,20 | 27909,40 | -6650,60  |
| 334 | 33120 | 3358 | PL1-A ÇEKMECE     | 1231,27 | 0   | 27909,40 | 29140,67 | -3979,33  |
| 306 | 30240 | 2000 | PL1-A ÇEKMECE     | 733,33  | 0   | 29140,67 | 29874,00 | -366,00   |
| 305 | 30240 | 1286 | PL1 ÇEKMECE       | 471,53  | 120 | 29874,00 | 30465,53 | 225,53    |
| 323 | 31680 | 1200 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 440,00  | 120 | 30465,53 | 31025,53 | -654,47   |
| 406 | 0     | 1932 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 708,40  | 0   | 31025,53 | 31734,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                | 30,00   | 0   | 31734,00 | 31764,00 |           |
|     | 40320 | 289  | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 105,97  | 0   | 31764,00 | 31869,90 | -8450,10  |
| 388 | 38880 | 1200 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 440,00  | 0   | 31869,90 | 32309,90 | -6570,10  |
| 375 | 37440 | 2266 | PL1-A ÇEKMECE GRİ | 830,87  | 0   | 32309,90 | 33140,77 | -4299,23  |
| 363 | 0     | 336  | PL1-A ÇEKMECE     | 123,20  | 120 | 33140,77 | 33384,00 |           |
|     | 0     | 0    | XX                | 30,00   | 0   | 33384,00 | 33414,00 |           |

**Ek 12 'nin devamı**

|     |       |      |               |         |     |          |          |          |
|-----|-------|------|---------------|---------|-----|----------|----------|----------|
|     | 36000 | 3022 | PL1-A ÇEKMECE | 1108,07 | 0   | 33414,00 | 34522,03 | -1477,97 |
| 387 | 38880 | 1835 | PL1-A ÇEKMECE | 672,83  | 0   | 34522,03 | 35194,87 | -3685,13 |
| 405 | 0     | 2272 | PL1-A ÇEKMECE | 833,07  | 0   | 35194,87 | 36028,00 |          |
|     | 0     | 0    | XX            | 30,00   | 0   | 36028,00 | 36058,00 |          |
|     | 40320 | 1086 | PL1-A ÇEKMECE | 398,20  | 0   | 36058,00 | 36456,13 | -3863,87 |
| 390 | 38880 | 594  | PL3-A ÇEKMECE | 217,80  | 120 | 36456,13 | 36793,93 | -2086,07 |

**Ek 13 500/1 Tezgahı (Atama tablosu)**

| Sıra [j] | Sipariş [Dij] | Talep [dij] | Model [Mij]       | Üretim Zamanı [pij] | Setup [sij] | Fiili Başlama [bij] | Bitiş Zamanı [cij] | Gecikme  |
|----------|---------------|-------------|-------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------|----------|
| 5        | 1440          | 364         | TR İÇ KAPAK       | 333,67              | 0           | 0,00                | 333,67             | -1106,33 |
| 10       | 1440          | 631         | TR İÇ KAPAK       | 578,42              | 0           | 333,67              | 912,08             | -527,92  |
| 17       | 2880          | 1052        | TR İÇ KAPAK       | 964,33              | 0           | 912,08              | 1876,42            | -1003,58 |
| 30       | 5760          | 867         | FUS. LCD PANO     | 606,90              | 120         | 1876,42             | 2603,32            | -3156,68 |
| 37       | 5760          | 1056        | TR İÇ KAPAK       | 968,00              | 120         | 2603,32             | 3691,32            | -2068,68 |
| 42       | 7200          | 894         | FUS. LCD PANO     | 625,80              | 120         | 3691,32             | 4437,12            | -2762,88 |
| 52       | 7200          | 357         | TR DIŞ KAPAK GRİ  | 357,00              | 120         | 4437,12             | 4914,12            | -2285,88 |
| 53       | 7200          | 1158        | TR İÇ KAPAK       | 1061,50             | 120         | 4914,12             | 6095,62            | -1104,38 |
| 75       | 8640          | 956         | TR İÇ KAPAK       | 876,33              | 0           | 6095,62             | 6971,95            | -1668,05 |
| 83       | 10080         | 18          | DIF.LCD PANO      | 12,60               | 120         | 6971,95             | 7104,55            | -2975,45 |
| 84       | 10080         | 678         | FUS. LCD PANO     | 474,60              | 120         | 7104,55             | 7699,15            | -2380,85 |
| 85       | 10080         | 207         | FUS. LCD PANO GRİ | 144,90              | 120         | 7699,15             | 7964,05            | -2115,95 |
| 99       | 10080         | 789         | TR DIŞ KAPAK GRİ  | 789,00              | 120         | 7964,05             | 8873,05            | -1206,95 |
| 100      | 10080         | 1215        | TR İÇ KAPAK       | 1113,75             | 120         | 8873,05             | 10106,80           | 26,80    |
| 115      | 11520         | 1122        | TR İÇ KAPAK       | 1028,50             | 0           | 10106,80            | 11135,30           | -384,70  |
| 135      | 12960         | 1315        | TR İÇ KAPAK       | 1205,42             | 0           | 11135,30            | 12340,72           | -619,28  |
| 149      | 14400         | 1116        | TR İÇ KAPAK       | 1023,00             | 0           | 12340,72            | 13363,72           | -1036,28 |
| 154      | 17280         | 155         | DIF.LCD PANO      | 108,50              | 120         | 13363,72            | 13592,22           | -3687,78 |
| 165      | 17280         | 951         | TR İÇ KAPAK       | 871,75              | 120         | 13592,22            | 14583,97           | -2696,03 |
| 177      | 18720         | 856         | TR İÇ KAPAK       | 784,67              | 0           | 14583,97            | 15368,63           | -3351,37 |
| 183      | 20160         | 1487        | DIF.LCD PANO      | 1040,90             | 120         | 15368,63            | 16529,53           | -3630,47 |
| 195      | 20160         | 1315        | TR İÇ KAPAK       | 1205,42             | 120         | 16529,53            | 17854,95           | -2305,05 |
| 201      | 21600         | 843         | FUS. LCD PANO     | 590,10              | 120         | 17854,95            | 18565,05           | -3034,95 |
| 216      | 21600         | 1002        | TR İÇ KAPAK       | 918,50              | 120         | 18565,05            | 19603,55           | -1996,45 |
| 222      | 23040         | 500         | FUS. LCD PANO     | 350,00              | 120         | 19603,55            | 20073,55           | -2966,45 |
| 234      | 23040         | 1140        | TR İÇ KAPAK       | 1045,00             | 120         | 20073,55            | 21238,55           | -1801,45 |
| 245      | 24480         | 700         | TR İÇ KAPAK       | 641,67              | 0           | 21238,55            | 21880,22           | -2599,78 |
| 247      | 24480         | 1216        | TR İÇ KAPAK       | 1114,67             | 0           | 21880,22            | 22994,88           | -1485,12 |
| 262      | 25920         | 1165        | TR İÇ KAPAK       | 1067,92             | 0           | 22994,88            | 24062,80           | -1857,20 |
| 267      | 27360         | 100         | FUS. LCD PANO     | 70,00               | 120         | 24062,80            | 24252,80           | -3107,20 |
| 276      | 27360         | 1165        | TR İÇ KAPAK       | 1067,92             | 120         | 24252,80            | 25440,72           | -1919,28 |
| 283      | 28800         | 100         | DIF.LCD PANO GRİ  | 70,00               | 120         | 25440,72            | 25630,72           | -3169,28 |
| 284      | 28800         | 650         | FUS. LCD PANO     | 455,00              | 120         | 25630,72            | 26205,72           | -2594,28 |
| 296      | 28800         | 1204        | TR İÇ KAPAK       | 1103,67             | 120         | 26205,72            | 27429,38           | -1370,62 |
| 301      | 30240         | 1258        | FUS. LCD PANO     | 880,60              | 120         | 27429,38            | 28429,98           | -1810,02 |
| 312      | 30240         | 1195        | TR İÇ KAPAK       | 1095,42             | 120         | 28429,98            | 29645,40           | -594,60  |
| 317      | 31680         | 1234        | FUS. LCD PANO     | 863,80              | 120         | 29645,40            | 30629,20           | -1050,80 |
| 326      | 31680         | 1131        | TR İÇ KAPAK       | 1036,75             | 120         | 30629,20            | 31785,95           | 105,95   |
| 338      | 33120         | 1115        | TR İÇ KAPAK       | 1022,08             | 0           | 31785,95            | 32808,03           | -311,97  |
| 342      | 34560         | 465         | DIF.LCD PANO      | 325,50              | 120         | 32808,03            | 33253,53           | -1306,47 |
| 354      | 34560         | 972         | TR İÇ KAPAK       | 891,00              | 120         | 33253,53            | 34264,53           | -295,47  |
| 358      | 36000         | 275         | DIF.LCD PANO      | 192,50              | 120         | 34264,53            | 34577,03           | -1422,97 |
| 359      | 36000         | 689         | FUS. LCD PANO     | 482,30              | 120         | 34577,03            | 35179,33           | -820,67  |
| 367      | 36000         | 1115        | TR İÇ KAPAK       | 1022,08             | 120         | 35179,33            | 36321,42           | 321,42   |
| 372      | 37440         | 922         | FUS. LCD PANO     | 645,40              | 120         | 36321,42            | 37086,82           | -353,18  |
| 379      | 37440         | 1020        | TR İÇ KAPAK       | 935,00              | 120         | 37086,82            | 38141,82           | 701,82   |
| 393      | 38880         | 942         | TR İÇ KAPAK       | 863,50              | 0           | 38141,82            | 39005,32           | 125,32   |
| 399      | 40320         | 250         | DIF.LCD PANO GRİ  | 175,00              | 120         | 39005,32            | 39300,32           | -1019,68 |
| 411      | 40320         | 1115        | TR İÇ KAPAK       | 1022,08             | 120         | 39300,32            | 40442,40           | 122,40   |



## Ek 14 500/1 Tezgahı (Optimizasyon tablosu)

| Sıra [j] | Sipariş [Dij] | Talep [dij] | Model [Mij]       | Üretim Zamanı [pij] | Setup [sij] | Fiili Başlama [bij] | Bitiş Zamanı [cij] | Gecikme   |
|----------|---------------|-------------|-------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------|-----------|
| 5        | 1440          | 364         | TR İÇ KAPAK       | 333,67              | 0           | 0,00                | 333,67             | -1106,33  |
| 10       | 1440          | 631         | TR İÇ KAPAK       | 578,42              | 0           | 333,67              | 912,08             | -527,92   |
| 17       | 2880          | 1052        | TR İÇ KAPAK       | 964,33              | 0           | 912,08              | 1876,42            | -1003,58  |
| 75       | 8640          | 956         | TR İÇ KAPAK       | 876,33              | 0           | 1876,42             | 2752,75            | -5887,25  |
| 53       | 7200          | 1158        | TR İÇ KAPAK       | 1061,50             | 0           | 2752,75             | 3814,25            | -3385,75  |
| 37       | 5760          | 1056        | TR İÇ KAPAK       | 968,00              | 0           | 3814,25             | 4782,25            | -977,75   |
| 30       | 5760          | 867         | FUS. LCD PANO     | 606,90              | 120         | 4782,25             | 5509,15            | -250,85   |
| 42       | 7200          | 894         | FUS. LCD PANO     | 625,80              | 0           | 5509,15             | 6134,95            | -1065,05  |
| 267      | 27360         | 100         | FUS. LCD PANO     | 70,00               | 0           | 6134,95             | 6204,95            | -21155,05 |
| 84       | 10080         | 678         | FUS. LCD PANO     | 474,60              | 0           | 6204,95             | 6679,55            | -3400,45  |
| 52       | 7200          | 357         | TR DIŞ KAPAK GRİ  | 357,00              | 120         | 6679,55             | 7156,55            | -43,45    |
| 99       | 10080         | 789         | TR DIŞ KAPAK GRİ  | 789,00              | 0           | 7156,55             | 7945,55            | -2134,45  |
| 83       | 10080         | 18          | DIF.LCD PANO      | 12,60               | 120         | 7945,55             | 8078,15            | -2001,85  |
| 342      | 34560         | 465         | DIF.LCD PANO      | 325,50              | 0           | 8078,15             | 8403,65            | -26156,35 |
| 154      | 17280         | 155         | DIF.LCD PANO      | 108,50              | 0           | 8403,65             | 8512,15            | -8767,85  |
| 85       | 10080         | 207         | FUS. LCD PANO GRİ | 144,90              | 120         | 8512,15             | 8777,05            | -1302,95  |
| 100      | 10080         | 1215        | TR İÇ KAPAK       | 1113,75             | 120         | 8777,05             | 10010,80           | -69,20    |
| 115      | 11520         | 1122        | TR İÇ KAPAK       | 1028,50             | 0           | 10010,80            | 11039,30           | -480,70   |
| 135      | 12960         | 1315        | TR İÇ KAPAK       | 1205,42             | 0           | 11039,30            | 12244,72           | -715,28   |
| 149      | 14400         | 1116        | TR İÇ KAPAK       | 1023,00             | 0           | 12244,72            | 13267,72           | -1132,28  |
| 165      | 17280         | 951         | TR İÇ KAPAK       | 871,75              | 0           | 13267,72            | 14139,47           | -3140,53  |
| 177      | 18720         | 856         | TR İÇ KAPAK       | 784,67              | 0           | 14139,47            | 14924,13           | -3795,87  |
| 245      | 24480         | 700         | TR İÇ KAPAK       | 641,67              | 0           | 14924,13            | 15565,80           | -8914,20  |
| 234      | 23040         | 1140        | TR İÇ KAPAK       | 1045,00             | 0           | 15565,80            | 16610,80           | -6429,20  |
| 216      | 21600         | 1002        | TR İÇ KAPAK       | 918,50              | 0           | 16610,80            | 17529,30           | -4070,70  |
| 195      | 20160         | 1315        | TR İÇ KAPAK       | 1205,42             | 0           | 17529,30            | 18734,72           | -1425,28  |
| 183      | 20160         | 1487        | DIF.LCD PANO      | 1040,90             | 120         | 18734,72            | 19895,62           | -264,38   |
| 358      | 36000         | 275         | DIF.LCD PANO      | 192,50              | 0           | 19895,62            | 20088,12           | -15911,88 |
| 201      | 21600         | 843         | FUS. LCD PANO     | 590,10              | 120         | 20088,12            | 20798,22           | -801,78   |
| 222      | 23040         | 500         | FUS. LCD PANO     | 350,00              | 0           | 20798,22            | 21148,22           | -1891,78  |
| 359      | 36000         | 689         | FUS. LCD PANO     | 482,30              | 0           | 21148,22            | 21630,52           | -14369,48 |
| 301      | 30240         | 1258        | FUS. LCD PANO     | 880,60              | 0           | 21630,52            | 22511,12           | -7728,88  |
| 284      | 28800         | 650         | FUS. LCD PANO     | 455,00              | 0           | 22511,12            | 22966,12           | -5833,88  |
| 247      | 24480         | 1216        | TR İÇ KAPAK       | 1114,67             | 120         | 22966,12            | 24200,78           | -279,22   |
| 262      | 25920         | 1165        | TR İÇ KAPAK       | 1067,92             | 0           | 24200,78            | 25268,70           | -651,30   |
| 276      | 27360         | 1165        | TR İÇ KAPAK       | 1067,92             | 0           | 25268,70            | 26336,62           | -1023,38  |
| 312      | 30240         | 1195        | TR İÇ KAPAK       | 1095,42             | 0           | 26336,62            | 27432,03           | -2807,97  |
| 296      | 28800         | 1204        | TR İÇ KAPAK       | 1103,67             | 0           | 27432,03            | 28535,70           | -264,30   |
| 283      | 28800         | 100         | DIF.LCD PANO GRİ  | 70,00               | 120         | 28535,70            | 28725,70           | -74,30    |
| 399      | 40320         | 250         | DIF.LCD PANO GRİ  | 175,00              | 0           | 28725,70            | 28900,70           | -11419,30 |
| 317      | 31680         | 1234        | FUS. LCD PANO     | 863,80              | 120         | 28900,70            | 29884,50           | -1795,50  |
| 326      | 31680         | 1131        | TR İÇ KAPAK       | 1036,75             | 120         | 29884,50            | 31041,25           | -638,75   |
| 338      | 33120         | 1115        | TR İÇ KAPAK       | 1022,08             | 0           | 31041,25            | 32063,33           | -1056,67  |
| 354      | 34560         | 972         | TR İÇ KAPAK       | 891,00              | 0           | 32063,33            | 32954,33           | -1605,67  |
| 367      | 36000         | 1115        | TR İÇ KAPAK       | 1022,08             | 0           | 32954,33            | 33976,42           | -2023,58  |
| 393      | 38880         | 942         | TR İÇ KAPAK       | 863,50              | 0           | 33976,42            | 34839,92           | -4040,08  |
| 379      | 37440         | 1020        | TR İÇ KAPAK       | 935,00              | 0           | 34839,92            | 35774,92           | -1665,08  |
| 372      | 37440         | 922         | FUS. LCD PANO     | 645,40              | 120         | 35774,92            | 36540,32           | -899,68   |

|     |       |      |             |         |     |          |          |          |
|-----|-------|------|-------------|---------|-----|----------|----------|----------|
| 411 | 40320 | 1115 | TR İÇ KAPAK | 1022,08 | 120 | 36540,32 | 37682,40 | -2637,60 |
|-----|-------|------|-------------|---------|-----|----------|----------|----------|

### Ek 15 500/1 Tezgahı (Arıza tablosu)

| Sıra [j] | Sipariş [Dij] | Talep [dij] | Model [Mij]       | Üretim Zamanı [pij] | Setup [sij] | Fiili Başlama [bij] | Bitiş Zamanı [cij] | Gecikme   |
|----------|---------------|-------------|-------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------|-----------|
| 5        | 0             | 349         | TR İÇ KAPAK       | 319,92              | 0           | 0,00                | 320,00             |           |
|          | 0             | 0           | XX                | 30,00               | 0           | 320,00              | 350,00             |           |
|          | 1440          | 15          | TR İÇ KAPAK       | 13,75               | 0           | 350,00              | 363,67             | -1076,33  |
| 10       | 1440          | 631         | TR İÇ KAPAK       | 578,42              | 0           | 363,67              | 942,08             | -497,92   |
| 17       | 2880          | 1052        | TR İÇ KAPAK       | 964,33              | 0           | 942,08              | 1906,42            | -973,58   |
| 75       | 8640          | 956         | TR İÇ KAPAK       | 876,33              | 0           | 1906,42             | 2782,75            | -5857,25  |
| 53       | 7200          | 1158        | TR İÇ KAPAK       | 1061,50             | 0           | 2782,75             | 3844,25            | -3355,75  |
| 37       | 0             | 447         | TR İÇ KAPAK       | 409,75              | 0           | 3844,25             | 4254,00            |           |
|          | 0             | 0           | XX                | 30,00               | 0           | 4254,00             | 4284,00            |           |
|          | 5760          | 609         | TR İÇ KAPAK       | 558,25              | 0           | 4284,00             | 4842,25            | -917,75   |
| 30       | 5760          | 867         | FUS. LCD PANO     | 606,90              | 120         | 4842,25             | 5569,15            | -190,85   |
| 42       | 7200          | 894         | FUS. LCD PANO     | 625,80              | 0           | 5569,15             | 6194,95            | -1005,05  |
| 267      | 27360         | 100         | FUS. LCD PANO     | 70,00               | 0           | 6194,95             | 6264,95            | -21095,05 |
| 84       | 10080         | 678         | FUS. LCD PANO     | 474,60              | 0           | 6264,95             | 6739,55            | -3340,45  |
| 52       | 7200          | 357         | TR DIŞ KAPAK GRİ  | 357,00              | 120         | 6739,55             | 7216,55            | 16,55     |
| 99       | 10080         | 789         | TR DIŞ KAPAK GRİ  | 789,00              | 0           | 7216,55             | 8005,55            | -2074,45  |
| 83       | 10080         | 18          | DIF.LCD PANO      | 12,60               | 120         | 8005,55             | 8138,15            | -1941,85  |
| 342      | 34560         | 465         | DIF.LCD PANO      | 325,50              | 0           | 8138,15             | 8463,65            | -26096,35 |
| 154      | 17280         | 155         | DIF.LCD PANO      | 108,50              | 0           | 8463,65             | 8572,15            | -8707,85  |
| 85       | 10080         | 207         | FUS. LCD PANO GRİ | 144,90              | 120         | 8572,15             | 8837,05            | -1242,95  |
| 100      | 10080         | 1215        | TR İÇ KAPAK       | 1113,75             | 120         | 8837,05             | 10070,80           | -9,20     |
| 115      | 11520         | 1122        | TR İÇ KAPAK       | 1028,50             | 0           | 10070,80            | 11099,30           | -420,70   |
| 135      | 12960         | 1315        | TR İÇ KAPAK       | 1205,42             | 0           | 11099,30            | 12304,72           | -655,28   |
| 149      | 14400         | 1116        | TR İÇ KAPAK       | 1023,00             | 0           | 12304,72            | 13327,72           | -1072,28  |
| 165      | 17280         | 951         | TR İÇ KAPAK       | 871,75              | 0           | 13327,72            | 14199,47           | -3080,53  |
| 177      | 18720         | 856         | TR İÇ KAPAK       | 784,67              | 0           | 14199,47            | 14984,13           | -3735,87  |
| 245      | 24480         | 700         | TR İÇ KAPAK       | 641,67              | 0           | 14984,13            | 15625,80           | -8854,20  |
| 234      | 0             | 84          | TR İÇ KAPAK       | 77,00               | 0           | 15625,80            | 15703,00           |           |
|          | 0             | 0           | XX                | 60,00               | 0           | 15703,00            | 15763,00           |           |
|          | 23040         | 1056        | TR İÇ KAPAK       | 968,00              | 0           | 15763,00            | 16730,80           | -6309,20  |
| 216      | 21600         | 1002        | TR İÇ KAPAK       | 918,50              | 0           | 16730,80            | 17649,30           | -3950,70  |
| 195      | 0             | 628         | TR İÇ KAPAK       | 575,67              | 0           | 17649,30            | 18225,00           |           |
|          | 0             | 0           | XX                | 60,00               | 0           | 18225,00            | 18285,00           |           |
|          | 0             | 646         | TR İÇ KAPAK       | 592,17              | 0           | 18285,00            | 18877,00           |           |
|          | 0             | 0           | XX                | 60,00               | 0           | 18877,00            | 18937,00           |           |
|          | 20160         | 41          | TR İÇ KAPAK       | 37,58               | 0           | 18937,00            | 18974,72           | -1185,28  |
| 183      | 20160         | 1487        | DIF.LCD PANO      | 1040,90             | 120         | 18974,72            | 20135,62           | -24,38    |
| 358      | 36000         | 275         | DIF.LCD PANO      | 192,50              | 0           | 20135,62            | 20328,12           | -15671,88 |
| 201      | 0             | 387         | FUS. LCD PANO     | 270,90              | 120         | 20328,12            | 20719,00           |           |
|          | 0             | 0           | XX                | 60,00               | 0           | 20719,00            | 20779,00           |           |
|          | 21600         | 456         | FUS. LCD PANO     | 319,20              | 0           | 20779,00            | 21098,22           | -501,78   |
| 222      | 0             | 317         | FUS. LCD PANO     | 221,90              | 0           | 21098,22            | 21320,00           |           |
|          | 0             | 0           | XX                | 30,00               | 0           | 21320,00            | 21350,00           |           |
|          | 23040         | 183         | FUS. LCD PANO     | 128,10              | 0           | 21350,00            | 21478,22           | -1561,78  |
| 359      | 36000         | 689         | FUS. LCD PANO     | 482,30              | 0           | 21478,22            | 21960,52           | -14039,48 |
| 301      | 30240         | 1258        | FUS. LCD PANO     | 880,60              | 0           | 21960,52            | 22841,12           | -7398,88  |

|                         |       |      |                  |         |     |          |          |           |
|-------------------------|-------|------|------------------|---------|-----|----------|----------|-----------|
| 284                     | 28800 | 650  | FUS. LCD PANO    | 455,00  | 0   | 22841,12 | 23296,12 | -5503,88  |
| 247                     | 24480 | 1216 | TR İÇ KAPAK      | 1114,67 | 120 | 23296,12 | 24530,78 | 50,78     |
| 262                     | 0     | 949  | TR İÇ KAPAK      | 869,92  | 0   | 24530,78 | 25401,00 |           |
|                         | 0     | 0    | XX               | 30,00   | 0   | 25401,00 | 25431,00 |           |
| <b>Ek 15 'in devamı</b> |       |      |                  |         |     |          |          |           |
|                         | 25920 | 216  | TR İÇ KAPAK      | 198,00  | 0   | 25431,00 | 25628,70 | -291,30   |
| 276                     | 0     | 509  | TR İÇ KAPAK      | 466,58  | 0   | 25628,70 | 26095,00 |           |
|                         | 0     | 0    | XX               | 30,00   | 0   | 26095,00 | 26125,00 |           |
|                         | 27360 | 656  | TR İÇ KAPAK      | 601,33  | 0   | 26125,00 | 26726,62 | -633,38   |
| 312                     | 30240 | 1195 | TR İÇ KAPAK      | 1095,42 | 0   | 26726,62 | 27822,03 | -2417,97  |
| 296                     | 0     | 81   | TR İÇ KAPAK      | 74,25   | 0   | 27822,03 | 27896,00 |           |
|                         | 0     | 0    | XX               | 60,00   | 0   | 27896,00 | 27956,00 |           |
|                         | 28800 | 1123 | TR İÇ KAPAK      | 1029,42 | 0   | 27956,00 | 28985,70 | 185,70    |
| 283                     | 28800 | 100  | DIF.LCD PANO GRİ | 70,00   | 120 | 28985,70 | 29175,70 | 375,70    |
| 399                     | 40320 | 250  | DIF.LCD PANO GRİ | 175,00  | 0   | 29175,70 | 29350,70 | -10969,30 |
| 317                     | 31680 | 1234 | FUS. LCD PANO    | 863,80  | 120 | 29350,70 | 30334,50 | -1345,50  |
| 326                     | 31680 | 1131 | TR İÇ KAPAK      | 1036,75 | 120 | 30334,50 | 31491,25 | -188,75   |
| 338                     | 33120 | 1115 | TR İÇ KAPAK      | 1022,08 | 0   | 31491,25 | 32513,33 | -606,67   |
| 354                     | 34560 | 972  | TR İÇ KAPAK      | 891,00  | 0   | 32513,33 | 33404,33 | -1155,67  |
| 367                     | 36000 | 1115 | TR İÇ KAPAK      | 1022,08 | 0   | 33404,33 | 34426,42 | -1573,58  |
| 393                     | 38880 | 942  | TR İÇ KAPAK      | 863,50  | 0   | 34426,42 | 35289,92 | -3590,08  |
| 379                     | 0     | 3    | TR İÇ KAPAK      | 2,75    | 0   | 35289,92 | 35293,00 |           |
|                         | 0     | 0    | XX               | 30,00   | 0   | 35293,00 | 35323,00 |           |
|                         | 37440 | 1017 | TR İÇ KAPAK      | 932,25  | 0   | 35323,00 | 36254,92 | -1185,08  |
| 372                     | 37440 | 922  | FUS. LCD PANO    | 645,40  | 120 | 36254,92 | 37020,32 | -419,68   |
| 411                     | 40320 | 1115 | TR İÇ KAPAK      | 1022,08 | 120 | 37020,32 | 38162,40 | -2157,60  |

**Ek 16 500/2 Tezgahı (Atama tablosu)**

| Sıra [j] | Sipariş [Dij] | Talep [dij] | Model [Mij]      | Üretim Zamanı [pij] | Setup [sij] | Fiili Başlama [bij] | Bitiş Zamanı [cij] | Gecikme  |
|----------|---------------|-------------|------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------|----------|
| 6        | 1440          | 1010        | TR DIŞ KAPAK GRİ | 1010,00             | 0           | 0,00                | 1010,00            | -430,00  |
| 20       | 4320          | 892         | FUS. LCD PANO    | 624,40              | 120         | 1010,00             | 1754,40            | -2565,60 |
| 26       | 4320          | 1238        | TR İÇ KAPAK      | 1134,83             | 120         | 1754,40             | 3009,23            | -1310,77 |
| 38       | 5760          | 1095        | TR İÇ KAPAK      | 1003,75             | 0           | 3009,23             | 4012,98            | -1747,02 |
| 51       | 7200          | 1131        | TR İÇ KAPAK      | 1036,75             | 0           | 4012,98             | 5049,73            | -2150,27 |
| 59       | 8640          | 634         | DIF.LCD PANO     | 443,80              | 120         | 5049,73             | 5613,53            | -3026,47 |
| 60       | 8640          | 789         | FUS. LCD PANO    | 552,30              | 120         | 5613,53             | 6285,83            | -2354,17 |
| 76       | 8640          | 221         | TR DIŞ KAPAK GRİ | 221,00              | 120         | 6285,83             | 6626,83            | -2013,17 |
| 77       | 8640          | 1177        | TR İÇ KAPAK      | 1078,92             | 120         | 6626,83             | 7825,75            | -814,25  |
| 98       | 10080         | 1214        | TR İÇ KAPAK      | 1112,83             | 0           | 7825,75             | 8938,58            | -1141,42 |
| 105      | 11520         | 628         | DIF.LCD PANO     | 439,60              | 120         | 8938,58             | 9498,18            | -2021,82 |
| 114      | 11520         | 679         | TR İÇ KAPAK      | 622,42              | 120         | 9498,18             | 10240,60           | -1279,40 |
| 121      | 12960         | 368         | DIF.LCD PANO     | 257,60              | 120         | 10240,60            | 10618,20           | -2341,80 |
| 122      | 12960         | 489         | FUS. LCD PANO    | 342,30              | 120         | 10618,20            | 11080,50           | -1879,50 |
| 134      | 12960         | 1315        | TR İÇ KAPAK      | 1205,42             | 120         | 11080,50            | 12405,92           | -554,08  |
| 150      | 14400         | 1116        | TR İÇ KAPAK      | 1023,00             | 0           | 12405,92            | 13428,92           | -971,08  |
| 155      | 17280         | 859         | FUS. LCD PANO    | 601,30              | 120         | 13428,92            | 14150,22           | -3129,78 |
| 166      | 17280         | 951         | TR İÇ KAPAK      | 871,75              | 120         | 14150,22            | 15141,97           | -2138,03 |
| 178      | 18720         | 856         | TR İÇ KAPAK      | 784,67              | 0           | 15141,97            | 15926,63           | -2793,37 |
| 184      | 20160         | 236         | FUS. LCD PANO    | 165,20              | 120         | 15926,63            | 16211,83           | -3948,17 |
| 194      | 20160         | 1315        | TR İÇ KAPAK      | 1205,42             | 120         | 16211,83            | 17537,25           | -2622,75 |
| 200      | 21600         | 895         | DIF.LCD PANO     | 626,50              | 120         | 17537,25            | 18283,75           | -3316,25 |
| 215      | 21600         | 1002        | TR İÇ KAPAK      | 918,50              | 120         | 18283,75            | 19322,25           | -2277,75 |
| 221      | 23040         | 304         | DIF.LCD PANO     | 212,80              | 120         | 19322,25            | 19655,05           | -3384,95 |
| 233      | 23040         | 1140        | TR İÇ KAPAK      | 1045,00             | 120         | 19655,05            | 20820,05           | -2219,95 |
| 238      | 24480         | 1010        | FUS. LCD PANO    | 707,00              | 120         | 20820,05            | 21647,05           | -2832,95 |
| 246      | 24480         | 516         | TR DIŞ KAPAK GRİ | 516,00              | 120         | 21647,05            | 22283,05           | -2196,95 |
| 251      | 25920         | 170         | DIF.LCD PANO GRİ | 119,00              | 120         | 22283,05            | 22522,05           | -3397,95 |
| 252      | 25920         | 100         | FUS. LCD PANO    | 70,00               | 120         | 22522,05            | 22712,05           | -3207,95 |
| 261      | 25920         | 1165        | TR İÇ KAPAK      | 1067,92             | 120         | 22712,05            | 23899,97           | -2020,03 |
| 266      | 27360         | 170         | DIF.LCD PANO GRİ | 119,00              | 120         | 23899,97            | 24138,97           | -3221,03 |
| 275      | 27360         | 1165        | TR İÇ KAPAK      | 1067,92             | 120         | 24138,97            | 25326,88           | -2033,12 |
| 282      | 28800         | 985         | DIF.LCD PANO     | 689,50              | 120         | 25326,88            | 26136,38           | -2663,62 |
| 295      | 28800         | 1204        | TR İÇ KAPAK      | 1103,67             | 120         | 26136,38            | 27360,05           | -1439,95 |
| 300      | 30240         | 700         | DIF.LCD PANO GRİ | 490,00              | 120         | 27360,05            | 27970,05           | -2269,95 |
| 311      | 30240         | 1195        | TR İÇ KAPAK      | 1095,42             | 120         | 27970,05            | 29185,47           | -1054,53 |
| 316      | 31680         | 560         | DIF.LCD PANO     | 392,00              | 120         | 29185,47            | 29697,47           | -1982,53 |
| 329      | 33120         | 275         | DIF.LCD PANO     | 192,50              | 120         | 30854,22            | 31166,72           | -1953,28 |
| 330      | 33120         | 689         | FUS. LCD PANO    | 482,30              | 120         | 31166,72            | 31769,02           | -1350,98 |
| 337      | 33120         | 1115        | TR İÇ KAPAK      | 1022,08             | 120         | 31769,02            | 32911,10           | -208,90  |
| 343      | 34560         | 110         | DIF.LCD PANO GRİ | 77,00               | 120         | 32911,10            | 33108,10           | -1451,90 |
| 344      | 34560         | 500         | FUS. LCD PANO    | 350,00              | 120         | 33108,10            | 33578,10           | -981,90  |
| 355      | 34560         | 972         | TR İÇ KAPAK      | 891,00              | 120         | 33578,10            | 34589,10           | 29,10    |
| 366      | 36000         | 1115        | TR İÇ KAPAK      | 1022,08             | 0           | 34589,10            | 35611,18           | -388,82  |
| 371      | 37440         | 1572        | DIF.LCD PANO     | 1100,40             | 120         | 35611,18            | 36831,58           | -608,42  |
| 378      | 37440         | 1020        | TR İÇ KAPAK      | 935,00              | 120         | 36831,58            | 37886,58           | 446,58   |
| 392      | 38880         | 942         | TR İÇ KAPAK      | 863,50              | 0           | 37886,58            | 38750,08           | -129,92  |
| 398      | 40320         | 275         | DIF.LCD PANO     | 192,50              | 120         | 38750,08            | 39062,58           | -1257,42 |
| 400      | 40320         | 689         | FUS. LCD PANO    | 482,30              | 120         | 39062,58            | 39664,88           | -655,12  |

|     |       |      |             |         |     |          |          |        |
|-----|-------|------|-------------|---------|-----|----------|----------|--------|
| 412 | 40320 | 1115 | TR İÇ KAPAK | 1022,08 | 120 | 39664,88 | 40806,97 | 486,97 |
|-----|-------|------|-------------|---------|-----|----------|----------|--------|

**Ek 17 500/2 Tezgahı (Optimizasyon tablosu)**

| Sıra<br>[j] | Sipariş<br>[Dij] | Talep<br>[dij] | Model [Mij]      | Üretim<br>Zamanı [pij] | Setup<br>[sij] | Fiili<br>Başlama<br>[bij] | Bitiş<br>Zamanı<br>[cij] | Gecikme   |
|-------------|------------------|----------------|------------------|------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|-----------|
| 6           | 1440             | 1010           | TR DIŞ KAPAK GRİ | 1010,00                | 0              | 0,00                      | 1010,00                  | -430,00   |
| 246         | 24480            | 516            | TR DIŞ KAPAK GRİ | 516,00                 | 0              | 1010,00                   | 1526,00                  | -22954,00 |
| 76          | 8640             | 221            | TR DIŞ KAPAK GRİ | 221,00                 | 0              | 1526,00                   | 1747,00                  | -6893,00  |
| 20          | 4320             | 892            | FUS. LCD PANO    | 624,40                 | 120            | 1747,00                   | 2491,40                  | -1828,60  |
| 184         | 20160            | 236            | FUS. LCD PANO    | 165,20                 | 0              | 2491,40                   | 2656,60                  | -17503,40 |
| 60          | 8640             | 789            | FUS. LCD PANO    | 552,30                 | 0              | 2656,60                   | 3208,90                  | -5431,10  |
| 26          | 4320             | 1238           | TR İÇ KAPAK      | 1134,83                | 120            | 3208,90                   | 4463,73                  | 143,73    |
| 38          | 5760             | 1095           | TR İÇ KAPAK      | 1003,75                | 0              | 4463,73                   | 5467,48                  | -292,52   |
| 51          | 7200             | 1131           | TR İÇ KAPAK      | 1036,75                | 0              | 5467,48                   | 6504,23                  | -695,77   |
| 77          | 8640             | 1177           | TR İÇ KAPAK      | 1078,92                | 0              | 6504,23                   | 7583,15                  | -1056,85  |
| 59          | 8640             | 634            | DIF.LCD PANO     | 443,80                 | 120            | 7583,15                   | 8146,95                  | -493,05   |
| 121         | 12960            | 368            | DIF.LCD PANO     | 257,60                 | 0              | 8146,95                   | 8404,55                  | -4555,45  |
| 105         | 11520            | 628            | DIF.LCD PANO     | 439,60                 | 0              | 8404,55                   | 8844,15                  | -2675,85  |
| 98          | 10080            | 1214           | TR İÇ KAPAK      | 1112,83                | 120            | 8844,15                   | 10076,98                 | -3,02     |
| 114         | 11520            | 679            | TR İÇ KAPAK      | 622,42                 | 0              | 10076,98                  | 10699,40                 | -820,60   |
| 134         | 12960            | 1315           | TR İÇ KAPAK      | 1205,42                | 0              | 10699,40                  | 11904,82                 | -1055,18  |
| 122         | 12960            | 489            | FUS. LCD PANO    | 342,30                 | 120            | 11904,82                  | 12367,12                 | -592,88   |
| 252         | 25920            | 100            | FUS. LCD PANO    | 70,00                  | 0              | 12367,12                  | 12437,12                 | -13482,88 |
| 155         | 17280            | 859            | FUS. LCD PANO    | 601,30                 | 0              | 12437,12                  | 13038,42                 | -4241,58  |
| 150         | 14400            | 1116           | TR İÇ KAPAK      | 1023,00                | 120            | 13038,42                  | 14181,42                 | -218,58   |
| 166         | 17280            | 951            | TR İÇ KAPAK      | 871,75                 | 0              | 14181,42                  | 15053,17                 | -2226,83  |
| 178         | 18720            | 856            | TR İÇ KAPAK      | 784,67                 | 0              | 15053,17                  | 15837,83                 | -2882,17  |
| 194         | 20160            | 1315           | TR İÇ KAPAK      | 1205,42                | 0              | 15837,83                  | 17043,25                 | -3116,75  |
| 261         | 25920            | 1165           | TR İÇ KAPAK      | 1067,92                | 0              | 17043,25                  | 18111,17                 | -7808,83  |
| 233         | 23040            | 1140           | TR İÇ KAPAK      | 1045,00                | 0              | 18111,17                  | 19156,17                 | -3883,83  |
| 215         | 21600            | 1002           | TR İÇ KAPAK      | 918,50                 | 0              | 19156,17                  | 20074,67                 | -1525,33  |
| 200         | 21600            | 895            | DIF.LCD PANO     | 626,50                 | 120            | 20074,67                  | 20821,17                 | -778,83   |
| 221         | 23040            | 304            | DIF.LCD PANO     | 212,80                 | 0              | 20821,17                  | 21033,97                 | -2006,03  |
| 398         | 40320            | 275            | DIF.LCD PANO     | 192,50                 | 0              | 21033,97                  | 21226,47                 | -19093,53 |
| 371         | 37440            | 1572           | DIF.LCD PANO     | 1100,40                | 0              | 21226,47                  | 22326,87                 | -15113,13 |
| 329         | 33120            | 275            | DIF.LCD PANO     | 192,50                 | 0              | 22326,87                  | 22519,37                 | -10600,63 |
| 316         | 31680            | 560            | DIF.LCD PANO     | 392,00                 | 0              | 22519,37                  | 22911,37                 | -8768,63  |
| 282         | 28800            | 985            | DIF.LCD PANO     | 689,50                 | 0              | 22911,37                  | 23600,87                 | -5199,13  |
| 238         | 24480            | 1010           | FUS. LCD PANO    | 707,00                 | 120            | 23600,87                  | 24427,87                 | -52,13    |
| 344         | 34560            | 500            | FUS. LCD PANO    | 350,00                 | 0              | 24427,87                  | 24777,87                 | -9782,13  |
| 330         | 33120            | 689            | FUS. LCD PANO    | 482,30                 | 0              | 24777,87                  | 25260,17                 | -7859,83  |
| 251         | 25920            | 170            | DIF.LCD PANO GRİ | 119,00                 | 120            | 25260,17                  | 25499,17                 | -420,83   |
| 266         | 27360            | 170            | DIF.LCD PANO GRİ | 119,00                 | 0              | 25499,17                  | 25618,17                 | -1741,83  |
| 275         | 27360            | 1165           | TR İÇ KAPAK      | 1067,92                | 120            | 26108,17                  | 27296,08                 | -63,92    |
| 295         | 28800            | 1204           | TR İÇ KAPAK      | 1103,67                | 0              | 27296,08                  | 28399,75                 | -400,25   |
| 311         | 30240            | 1195           | TR İÇ KAPAK      | 1095,42                | 0              | 28399,75                  | 29495,17                 | -744,83   |
| 325         | 31680            | 1131           | TR İÇ KAPAK      | 1036,75                | 0              | 29495,17                  | 30531,92                 | -1148,08  |
| 337         | 33120            | 1115           | TR İÇ KAPAK      | 1022,08                | 0              | 30531,92                  | 31554,00                 | -1566,00  |
| 392         | 38880            | 942            | TR İÇ KAPAK      | 863,50                 | 0              | 31554,00                  | 32417,50                 | -6462,50  |
| 366         | 36000            | 1115           | TR İÇ KAPAK      | 1022,08                | 0              | 32417,50                  | 33439,58                 | -2560,42  |
| 355         | 34560            | 972            | TR İÇ KAPAK      | 891,00                 | 0              | 33439,58                  | 34330,58                 | -229,42   |
| 343         | 34560            | 110            | DIF.LCD PANO GRİ | 77,00                  | 120            | 34330,58                  | 34527,58                 | -32,42    |
| 378         | 37440            | 1020           | TR İÇ KAPAK      | 935,00                 | 120            | 34527,58                  | 35582,58                 | -1857,42  |
| 412         | 40320            | 1115           | TR İÇ KAPAK      | 1022,08                | 0              | 35582,58                  | 36604,67                 | -3715,33  |
| 400         | 40320            | 689            | FUS. LCD PANO    | 482,30                 | 120            | 36604,67                  | 37206,97                 | -3113,03  |

**Ek 18 500/2 Tezgahı (Arıza tablosu)**

| Sıra<br>[j] | Sipariş<br>[Dij] | Talep<br>[dij] | Model [Mij]      | Üretim<br>Zamanı [pij] | Setup<br>[sij] | Fiili<br>Başlama<br>[bij] | Bitiş<br>Zamanı<br>[cij] | Gecikme   |
|-------------|------------------|----------------|------------------|------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|-----------|
| 6           | 1440             | 1010           | TR DIŞ KAPAK GRİ | 1010,00                | 0              | 0,00                      | 1010,00                  | -430,00   |
| 246         | 0                | 215            | TR DIŞ KAPAK GRİ | 215,00                 | 0              | 1010,00                   | 1225,00                  |           |
|             | 0                | 0              | XX               | 30,00                  | 0              | 1225,00                   | 1255,00                  |           |
|             | 24480            | 301            | TR DIŞ KAPAK GRİ | 301,00                 | 0              | 1255,00                   | 1556,00                  | -22924,00 |
| 76          | 8640             | 221            | TR DIŞ KAPAK GRİ | 221,00                 | 0              | 1556,00                   | 1777,00                  | -6863,00  |
| 20          | 4320             | 892            | FUS. LCD PANO    | 624,40                 | 120            | 1777,00                   | 2521,40                  | -1798,60  |
| 184         | 20160            | 236            | FUS. LCD PANO    | 165,20                 | 0              | 2521,40                   | 2686,60                  | -17473,40 |
| 60          | 8640             | 789            | FUS. LCD PANO    | 552,30                 | 0              | 2686,60                   | 3238,90                  | -5401,10  |
| 26          | 4320             | 1238           | TR İÇ KAPAK      | 1134,83                | 120            | 3238,90                   | 4493,73                  | 173,73    |
| 38          | 5760             | 1095           | TR İÇ KAPAK      | 1003,75                | 0              | 4493,73                   | 5497,48                  | -262,52   |
| 51          | 0                | 9              | TR İÇ KAPAK      | 8,25                   | 0              | 5497,48                   | 5506,00                  |           |
|             | 0                | 0              | XX               | 60,00                  | 0              | 5506,00                   | 5566,00                  |           |
|             | 7200             | 1122           | TR İÇ KAPAK      | 1028,50                | 0              | 5566,00                   | 6594,23                  | -605,77   |
| 77          | 0                | 915            | TR İÇ KAPAK      | 838,75                 | 0              | 6594,23                   | 7433,00                  |           |
|             | 0                | 0              | XX               | 30,00                  | 0              | 7433,00                   | 7463,00                  |           |
|             | 8640             | 262            | TR İÇ KAPAK      | 240,17                 | 0              | 7463,00                   | 7703,15                  | -936,85   |
| 59          | 8640             | 634            | DIF.LCD PANO     | 443,80                 | 120            | 7703,15                   | 8266,95                  | -373,05   |
| 121         | 0                | 111            | DIF.LCD PANO     | 77,70                  | 0              | 8266,95                   | 8345,00                  |           |
|             | 0                | 0              | XX               | 30,00                  | 0              | 8345,00                   | 8375,00                  |           |
|             | 12960            | 257            | DIF.LCD PANO     | 179,90                 | 0              | 8375,00                   | 8554,55                  | -4405,45  |
| 105         | 11520            | 628            | DIF.LCD PANO     | 439,60                 | 0              | 8554,55                   | 8994,15                  | -2525,85  |
| 98          | 10080            | 1214           | TR İÇ KAPAK      | 1112,83                | 120            | 8994,15                   | 10226,98                 | 146,98    |
| 114         | 11520            | 679            | TR İÇ KAPAK      | 622,42                 | 0              | 10226,98                  | 10849,40                 | -670,60   |
| 134         | 12960            | 1315           | TR İÇ KAPAK      | 1205,42                | 0              | 10849,40                  | 12054,82                 | -905,18   |
| 122         | 12960            | 489            | FUS. LCD PANO    | 342,30                 | 120            | 12054,82                  | 12517,12                 | -442,88   |
| 252         | 25920            | 100            | FUS. LCD PANO    | 70,00                  | 0              | 12517,12                  | 12587,12                 | -13332,88 |
| 155         | 0                | 670            | FUS. LCD PANO    | 469,00                 | 0              | 12587,12                  | 13056,00                 |           |
|             | 0                | 0              | XX               | 30,00                  | 0              | 13056,00                  | 13086,00                 |           |
|             | 17280            | 189            | FUS. LCD PANO    | 132,30                 | 0              | 13086,00                  | 13218,42                 | -4061,58  |
| 150         | 14400            | 1116           | TR İÇ KAPAK      | 1023,00                | 120            | 13218,42                  | 14361,42                 | -38,58    |
| 166         | 0                | 487            | TR İÇ KAPAK      | 446,42                 | 0              | 14361,42                  | 14808,00                 |           |
|             | 0                | 0              | XX               | 30,00                  | 0              | 14808,00                  | 14838,00                 |           |
|             | 17280            | 464            | TR İÇ KAPAK      | 425,33                 | 0              | 14838,00                  | 15263,17                 | -2016,83  |
| 178         | 18720            | 856            | TR İÇ KAPAK      | 784,67                 | 0              | 15263,17                  | 16047,83                 | -2672,17  |
| 194         | 20160            | 1315           | TR İÇ KAPAK      | 1205,42                | 0              | 16047,83                  | 17253,25                 | -2906,75  |
| 261         | 25920            | 1165           | TR İÇ KAPAK      | 1067,92                | 0              | 17253,25                  | 18321,17                 | -7598,83  |
| 233         | 23040            | 1140           | TR İÇ KAPAK      | 1045,00                | 0              | 18321,17                  | 19366,17                 | -3673,83  |
| 215         | 21600            | 1002           | TR İÇ KAPAK      | 918,50                 | 0              | 19366,17                  | 20284,67                 | -1315,33  |
| 200         | 21600            | 895            | DIF.LCD PANO     | 626,50                 | 120            | 20284,67                  | 21031,17                 | -568,83   |
| 221         | 23040            | 304            | DIF.LCD PANO     | 212,80                 | 0              | 21031,17                  | 21243,97                 | -1796,03  |
| 398         | 40320            | 275            | DIF.LCD PANO     | 192,50                 | 0              | 21243,97                  | 21436,47                 | -18883,53 |
| 371         | 37440            | 1572           | DIF.LCD PANO     | 1100,40                | 0              | 21436,47                  | 22536,87                 | -14903,13 |
| 329         | 33120            | 275            | DIF.LCD PANO     | 192,50                 | 0              | 22536,87                  | 22729,37                 | -10390,63 |
| 316         | 31680            | 560            | DIF.LCD PANO     | 392,00                 | 0              | 22729,37                  | 23121,37                 | -8558,63  |
| 282         | 28800            | 985            | DIF.LCD PANO     | 689,50                 | 0              | 23121,37                  | 23810,87                 | -4989,13  |
| 238         | 24480            | 1010           | FUS. LCD PANO    | 707,00                 | 120            | 23810,87                  | 24637,87                 | 157,87    |
| 344         | 34560            | 500            | FUS. LCD PANO    | 350,00                 | 0              | 24637,87                  | 24987,87                 | -9572,13  |
| 330         | 33120            | 689            | FUS. LCD PANO    | 482,30                 | 0              | 24987,87                  | 25470,17                 | -7649,83  |
| 251         | 25920            | 170            | DIF.LCD PANO GRİ | 119,00                 | 120            | 25470,17                  | 25709,17                 | -210,83   |
| 266         | 27360            | 170            | DIF.LCD PANO GRİ | 119,00                 | 0              | 25709,17                  | 25828,17                 | -1531,83  |

**Ek 18 'in devamı**

|     |       |      |                  |         |     |          |          |          |
|-----|-------|------|------------------|---------|-----|----------|----------|----------|
| 300 | 30240 | 700  | DIF.LCD PANO GRİ | 490,00  | 0   | 25828,17 | 26318,17 | -3921,83 |
| 275 | 0     | 890  | TR İÇ KAPAK      | 815,83  | 120 | 26318,17 | 27254,00 |          |
|     | 0     | 0    | XX               | 30,00   | 0   | 27254,00 | 27284,00 |          |
|     | 27360 | 275  | TR İÇ KAPAK      | 252,08  | 0   | 27284,00 | 27536,08 | 176,08   |
| 295 | 0     | 1176 | TR İÇ KAPAK      | 1078,00 | 0   | 27536,08 | 28614,00 |          |
|     | 0     | 0    | XX               | 30,00   | 0   | 28614,00 | 28644,00 |          |
|     | 28800 | 28   | TR İÇ KAPAK      | 25,67   | 0   | 28644,00 | 28669,75 | -130,25  |
| 311 | 30240 | 1195 | TR İÇ KAPAK      | 1095,42 | 0   | 28669,75 | 29765,17 | -474,83  |
| 325 | 31680 | 1131 | TR İÇ KAPAK      | 1036,75 | 0   | 29765,17 | 30801,92 | -878,08  |
| 337 | 33120 | 1115 | TR İÇ KAPAK      | 1022,08 | 0   | 30801,92 | 31824,00 | -1296,00 |
| 392 | 38880 | 942  | TR İÇ KAPAK      | 863,50  | 0   | 31824,00 | 32687,50 | -6192,50 |
| 366 | 0     | 330  | TR İÇ KAPAK      | 302,50  | 0   | 32687,50 | 32990,00 |          |
|     | 0     | 0    | XX               | 60,00   | 0   | 32990,00 | 33050,00 |          |
|     | 36000 | 785  | TR İÇ KAPAK      | 719,58  | 0   | 33050,00 | 33769,58 | -2230,42 |
| 355 | 34560 | 972  | TR İÇ KAPAK      | 891,00  | 0   | 33769,58 | 34660,58 | 100,58   |
| 343 | 34560 | 110  | DIF.LCD PANO GRİ | 77,00   | 120 | 34660,58 | 34857,58 | 297,58   |
| 378 | 37440 | 1020 | TR İÇ KAPAK      | 935,00  | 120 | 34857,58 | 35912,58 | -1527,42 |
| 412 | 40320 | 1115 | TR İÇ KAPAK      | 1022,08 | 0   | 35912,58 | 36934,67 | -3385,33 |
| 400 | 40320 | 689  | FUS. LCD PANO    | 482,30  | 120 | 36934,67 | 37536,97 | -2783,03 |



**ÖZGEÇMİŞ**

|               |             |                                                                                                          |
|---------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Doğum Yeri    | İstanbul    |                                                                                                          |
| Doğum Yılı    | 12.06.1981  |                                                                                                          |
| Lise          | 1995 - 1999 | Haydarpaşa Anadolu Lisesi                                                                                |
| Lisans        | 1999 - 2003 | Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak.<br>Makine Mühendisliği Bölümü                                     |
|               | 2000 - 2004 | Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak.<br>Endüstri Mühendisliği Bölümü                                   |
| Yüksek Lisans | 2004 - 2007 | Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü<br>Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Endüstri Müh.Programı |

**Çalıştığı Kurumlar**

2002 - Devam ediyor Arçelik A.Ş. Çamaşır Makinesi İşletmesi  
Üretim Mühendisi