

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SONLU KAPASİTE PLANLAMA YÖNTEMİ  
KULLANARAK ENTEGRE ÜRETİM PLANLAMA  
SİSTEMİNDEKİ PROBLEMLERİN ÇÖZÜMÜ  
VE BİR OPTİMİZASYON UYGULAMASI

Endüstri Mühendisi Köksal KÜÇÜKADA

FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yar. Doç. H. İbrahim ERDEM

128736

Y. Doç. Dr. H. İbrahim ERDEM

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MÜHÜRÜ

Prof. Dr. Nisan Şenmez

Doç. Dr. Mesut Özgürler

İSTANBUL, 2002

## İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Üretim Planlama ve Kontrolün tanımı ve amacı.....	1
1.2. Üretim Planlama ve Kontroldeki problemler.....	3
1.3. Çözüm yaklaşımı.....	4
2.LİTERATÜR İNCELEMESİ .....	7
2.1. Stok kontrol politikaları.....	7
2.2. Malzeme ihtiyaç planlaması (MRP).....	7
2.3. Üretim kaynakları planlaması (MRPII).....	9
2.4. Üretim kaynakları planlamasının modülleri .....	9
2.5. Hiyerarşik üretim planlama .....	12
2.6. Tam zamanında üretim .....	12
2.7. Optimize üretim tekniği.....	14
2.8. Sonlu kapasite çizelgeleme yaklaşımı.....	14
3. SONLU KAPASİTE İLE ÜRETİM PLANLAMA MODELİ .....	16
3.1. Sonlu Kapasite Planlamanın Tanımı ve Amacı .....	17
3.2. Üretim Planlamada Çizelgelemenin Rolü .....	19
3.3. Üretim planlama ile üretim çizelgelemeyi birbirinden ayıran özellikler.....	20
3.4. Sonlu Kapasite Çizelgelemenin Tanımı .....	22
3.5. Sonlu Kapasite Çizelgeleme İle İşletme Fonksiyonları Arasındaki ilişki.....	24
3.5.1. Üretim çizelgeleme ile üretim planlama arasındaki etkileşim.....	24
3.5.2. Üretim çizelgeleme ile satış ve bütçe bölümü arasındaki etkileşim.....	25
3.5.3. Üretim çizelgeleme ile atölye düzeyi kontrolünün etkileşimi .....	26
3.5.4. Üretim çizelgeleme ile satın alma bölümünün etkileşimi .....	27
3.5.5. Üretim çizelgeleme ile ürün proses geliştirme bölümünün etkileşimi .....	27
3.5.6 Üretim çizelgeleme ile yönetim fonksiyonunun etkileşimi.....	27
3.6. Sonlu Kapasite Çizelgeleme Probleminin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanı	28
3.7. Sonlu Kapasite Çizelgelemede Veri Gereksinimi.....	30
3.8. Sonlu Kapasite Çizelgeleme Kriterleri.....	30
4. ÇİZELGELEME TEKNİKLERİ .....	32
4.1. İki Makine İş Sıralaması.....	32
4.2. Johnson İki Makine Çizelgeleme Algoritması.....	33
4.3. Üç Makine Çizelgeleme Algoritması .....	35
4.4. Johnson Algoritması İle Baskınlı Üç Makine İş Çizelgelemesi .....	36

4.5. M Makine İş Çizelgesi	37
4.6. Gupta'nın M Makine İçin İş çizelgeleme Yöntemi	38
4.7 Sıra Önemli İki Makine İşlerin Çizelgesi	39
4.7.1 Jackson metoduna göre sıra önemli 2 makine işlerin çizelgesi	39
4.8. Sıra Önemli M Makine İş Çizelgesi	42
4.9 Tek Makine Çizelgesi	45
4.10. Maksimum Gecikmelerin Minimize Edilmesi	46
4.11. En Düşük Gecikmelerin Maksimize Edilmesi	47
4.12. Geciken İş Sayısının Minimize Edilmesi	49
4.13 Geciken İşlerin Sayısının Minimize Edilmesi İçin Geliştirilen Hodgson's Kuralı	50
4.14 Van Drew Şeması	51
4.15. Öncelikli Tek Makine İş Çizelgesi	55
4.16. Öncelik Bilgisine Göre Maksimum Gecikmeleri Minimize Etme	56
4.17. Öncelik Bilgisine Göre Minimum Gecikmeleri Maksimize Etme	56
<b>5. BİLGİSAYAR DESTEKLİ SONLU KAPASİTE ÇİZELGELEME</b>	<b>58</b>
5.1 Manuel Çizelgelemenin Sakıncaları	58
5.2. Bilgisayar Destekli Sonlu Kapasite Çizelgeleme Aşamaları	60
5.2.1. Modelleme seviyesi	60
5.2.2. Veri kaynağı yönetimi seviyesi	61
5.2.3. Çizelge oluşturma seviyesi	61
5.2.4. Kullanıcı arayüzü seviyesi	64
5.3. Sonlu Kapasite Planlama Yazılım Seçimi ve Uyarlanması	65
5.3.1. Çizelgesi gereken konular	67
5.3.2. İkincil konuların çizelgesi	67
5.3.3. Ürün değişkenliğinin dikkate alınması	67
5.3.4. Üretim alanı organizasyonunun sonlu kapasite çizelgeleme modeline etkisi	68
5.3.5. Müşteri ihtiyaçlarının karşılanması	68
5.3.6. Raporlamalar ve operasyonel ihtiyaçlar	68
5.4 Üç Makine Üç İş Çizelgeleme Örneği ve Değerlendirilmesi	71
5.5. Türkiyedeki Güncel Bazı Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulamaları ve Sonuçları	75
5.5.1. Arçelik A.Ş. sonlu kapasite çizelgeleme uygulaması	76
5.5.2. Trakya Otocam Sanayi sonlu kapasite çizelgeleme uygulaması	77
5.5.3. Camış Ambalaj San. A.Ş. sonlu kapasite çizelgeleme uygulaması	78
<b>6. UYGULAMA</b>	<b>81</b>
6.1. Uygulama Yapılan Firmanın Tanıtımı	81
6.1.1. Genel bilgiler	81
6.1.2. Organizasyon yapısının analizi	81
6.2. Üretim Sisteminin Analizi	82
6.2.1 Sipariş alımı	82
6.2.2 Genel tanımlar	82
6.2.2.1 Sipariş aşamasında ürün tanımları	83
6.2.2.2 Ürünlerin genel özellikleri	83
6.2.3. Sipariş tahmin metodu	84
6.3. Sonlu Kapasite Çizelgeleme Proje Amacı	85
6.4. Planlama Süreci Analizi	86
6.4.1. Malzeme planlama modülü	87

6.4.2. Üretim planlama modülü .....	87
6.4.3. Üretim çizelgeleme modülü.....	88
6.5. Proje Kaynakları .....	90
6.5.1. Döküm Hattı I (Modified Hunter Standart Caster) .....	91
6.5.2. Döküm Hattı II (Hunter Speed Caster).....	92
6.5.3. Döküm Hattı III (Hunter Speed Caster) .....	92
6.5.4. Döküm Hattı IV-V (Hunter Speed Caster) .....	93
6.5.5. Vardiya Düzeni .....	93
6.6. Proje Kısıtları ve Kriterleri .....	94
6.7. Döküm Hatları Planlama Algoritması.....	101
6.7.1 Algoritma 1 .....	104
6.7.2 Algoritma 2 .....	108
6.7.3. Değerlendirme sonuçları.....	115
7. SONUÇLAR.....	117
7.1. Genel Değerlendirmeler .....	117
7.2. Gelecek Çalışmalar İçin Yönlendirmeler .....	120
KAYNAKLAR .....	122
ÖZGEÇMİŞ .....	126

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 Bir Üretim Planlama Sistemi.....	2
Şekil 3.1 Sonlu Kapasite Üretim Planlama Sistemi.....	16
Şekil 3.2 Kapasite Kullanım Histogramı.....	18
Şekil 3.3 Gantt Şeması.....	23
Şekil 4.1 İşlem 1 Gantt Şeması .....	32
Şekil 4.2 Johnson Algoritması Grantt Şeması.....	34
Şekil 5.1 Üç Ürün Rotası ve İşlem Süresi.....	71
Şekil 5.2 Gantt Şeması 1.....	72
Şekil 5.3 Gantt Şeması 2.....	72
Şekil 5.4 Gantt Şeması 3.....	73
Şekil 5.5 Gantt Şemalarının Toplu Gösterimi.....	73
Şekil 5.6 Toplam İş Akış Zamanı Gösterimi.....	74
Şekil 5.7 Toplam geç Kalma Süresi Gösterimi.....	74
Şekil 5.8 Çizelgelerin Değerlendirilmesi.....	75
Şekil 6.1 Döküm Hatları En Büyüklüklerinin Gösterimi.....	97

## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 4.1.	Örnek İşlem 1.....	32
Çizelge 4.2.	3 Makine Örnek İşlem.....	35
Çizelge 4.3.	2 Makine Problemine İndirgeme .....	36
Çizelge 4.4.	Beş Makine İşlem Süreleri.....	37
Çizelge 4.5.	Gupta Metodu Örnek Çizelge.....	38
Çizelge 4.6.	Sıralı 2 Makine Metodu Örnek Çizelge.....	40
Çizelge 4.7.	Sadece F-T Sırasında İşlem Görecek İşler .....	41
Çizelge 4.8.	Örnek Sıralama 1.....	41
Çizelge 4.9.	Örnek Sıralama 2.....	41
Çizelge 4.10.	Örnek Sıralama 3.....	42
Çizelge 4.11.	Örnek Sıralama 4.....	42
Çizelge 4.12.	İşler ve Zamanları.....	43
Çizelge 4.13.	Tek Makine İş Çizelgeleme Örnek Tablosu.....	45
Çizelge 4.14.	SPT Sıralama Sonucu Tablosu.....	46
Çizelge 4.15.	Beklenen Zaman Kuralı Sıralama Tablosu.....	47
Çizelge 4.16.	İş Çizelgesi.....	48
Çizelge 4.17.	Boş Zaman Kuralına Göre Yapılan Sıralama .....	48
Çizelge 4.18.	Problem Çizelgesi.....	49
Çizelge 4.19.	Sonuç Sıralama.....	50
Çizelge 4.20.	Orijinal Problem.....	51
Çizelge 4.21.	Algoritmaya Göre Oluşan Sıralama.....	51
Çizelge 4.22.	2. Algoritmaya Göre Oluşan Sıralama.....	52
Çizelge 4.23.	3. Algoritmaya Göre Oluşan Sıralama.....	53
Çizelge 4.24.	4. Kuralına Göre Oluşan Van Drew Şeması.....	53
Çizelge 4.25.	5. Kuralına Göre Oluşan Van Drew Şeması.....	54
Çizelge 4.26.	Önceliklendirilmiş İşlerin Oran Değerleri.....	55
Çizelge 4.27.	Oran Kuralına Göre Elde Edilen Çizelge Değerleri.....	56
Çizelge 4.28.	Oran Değerleri Çizelgesi.....	57
Çizelge 5.1.	Sonlu Kapasite Çizelgeleme Yazılımları.....	70
Çizelge 6.1.	DH1 Döküm Makinesi Özellikleri.....	92
Çizelge 6.2.	DH2 Döküm Makinesi Özellikleri.....	92
Çizelge 6.3.	DH3 Döküm Makinesi Özellikleri.....	93
Çizelge 6.4.	DH4 ve DH5 Döküm Makinesi Özellikleri.....	93
Çizelge 6.5.	Döküm Hattı 1-2-3-4-5 Alaşım Geçiş Süreleri.....	95
Çizelge 6.6.	DH1'de Alaşım ve Kalınlık Dağılımına Göre Hız Kapasiteleri....	98
Çizelge 6.7.	DH2-3-4-5'de Alaşım ve Kalınlık Dağılımına Göre Hız Kapasiteleri.....	99
Çizelge 6.8.	Döküm Hatları Yüzey Sınıflarına Göre Merdane Ömürleri.....	100
Çizelge 6.9.	Döküm Hatlarında 2000 Eylül Ayı Sonunda Yapılan Üretimler...	103
Çizelge 6.10.	Aylık Döküm İhtiyacı Örnek Tablosu.....	104
Çizelge 6.11.	Faaliyet Kodları.....	105
Çizelge 6.12.	Algoritma 1'e Göre Döküm Hattı 1 Çizelgesi.....	106
Çizelge 6.13.	Algoritma 1'e Göre Döküm Hattı 2 Çizelgesi.....	106
Çizelge 6.14.	Algoritma 1'e Göre Döküm Hattı 3 Çizelgesi.....	107
Çizelge 6.15.	Algoritma 1'e Göre Döküm Hattı 4 Çizelgesi.....	107
Çizelge 6.16.	Algoritma 1'e Göre Döküm Hattı 5 Çizelgesi.....	108

Çizelge 6.17.	Algoritma 2'e Göre Döküm Hattı 1 Çizelgesi.....	111
Çizelge 6.18.	Algoritma 2'e Göre Döküm Hattı 2 Çizelgesi.....	112
Çizelge 6.19.	Algoritma 2'e Göre Döküm Hattı 3 Çizelgesi.....	113
Çizelge 6.20.	Algoritma 2'e Göre Döküm Hattı 4 Çizelgesi.....	113
Çizelge 6.21.	Algoritma 2'e Göre Döküm Hattı 5 Çizelgesi.....	114
Çizelge 6.22.	Algoritma 1 ve Algoritma 2'ye Göre Elde Edilen Sonuçlar.....	115
Çizelge 6.23.	Algoritma 1 ve Algoritma 2'ye Göre Geç Kalan İşler.....	116
Çizelge 7.1.	n İş İçin Gereken Çizelgeleme Süreleri.....	118



## ÖNSÖZ

Bu çalışmada üretim işletmelerinde planlama fonksiyonunu iyileştiren ve etkinleştiren Sonlu Kapasite Çizelgeleme yaklaşımı incelenmiş ve uygulama örneklerine yer verilmiştir. Çalışmada, literatürde konu ile ilgili bulunan güncel çalışmalara yer verilmiş, elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

Bu çalışma esnasında değerli fikirleri ve tavsiyeleriyle bana yön veren kıymetli hocam Sayın Yar. Doç. Dr. H. İbrahim Erdem'e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca bu çalışma sırasında benden maddi manevi yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarıma ve aileme teşekkür ederim.





## ÖZET

Değişimin hızlı yaşandığı, rekabetin arttığı ve standartların uluslar arası boyutta geliştiği bir ortamda işletmelerin, klasik yapı ve üretim anlayışlarından vazgeçerek esnek bir sisteme kavuşup, modern üretim yaklaşım ve tekniklerini bu sistem içerisinde uygulamaları gerekli hale gelmiştir. Bu amaç doğrultusunda, mevcut üretim sistemini iyi analiz etmek ve işletme için gerekli olan modernleşme adaptasyonun yapılmasında amaç, esneklik, hız, maliyet e kalite gibi performans kriterlerinin optimizasyonu sağlanarak üretim sistemlerine yansıtılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda üretim planlama fonksiyonu da kritik rol oynamaktadır. Planlama işleminin kısa dönemli gereksinimlerini etkin bir şekilde karşılamak üzere çok daha esnek ve çözüm üreten bir yapıda olması gerekmektedir. Bu sebeple üretim çizelgeleme günümüz işletmelerinde üretim planlama işleminin anahtar rolünü üstlenmektedir.

Sonlu Kapasite Çizelgeleme sistemleri üretim sisteminin fiziksel ve teknolojik sınırlamalarını dikkate alarak ve alternatif proses metodlarını değerlendirerek detaylı ve uygulanabilir üretim çizelgelerinin oluşturulmasını sağlar. Sonlu Kapasite Çizelgeleme ile elde edilen çizelge kısıtı dikkate alınarak hem zamanları hem de kaynaklardaki operasyon sıralarını içermektedir. Bu yaklaşımla işletmenin mevcut durumu hakkında ayrıntılı bilgi sağlandığı gibi, gelecekteki olası sonuçlar önceden oluşturularak, işletmede doğru kararlar üretilebilmektedir. Sonuç olarak Sonlu Kapasite Çizelgelemenin çıktıları üretimde direkt olarak kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, birinci bölümde genel olarak projenin amacı ve içeriği anlatılmış ikinci bölümde üretim planlama ve kontrol sistemleri incelenmiştir. Üçüncü bölümde sonlu kapasite ile üretim planlama modeli kapsamında, Sonlu Kapasite Çizelgeleme konusu detaylı olarak ortaya konmuştur. Dördüncü bölümde ise klasik çizelgeleme teknikleri yer almaktadır. Beşinci bölümde bilgisayar destekli Sonlu Kapasite Çizelgeleme yaklaşımının kurulum aşamaları, uyarlanması ve Türkiye'deki güncel uygulamaları ile beraber ele alınmıştır. Son bölümde ise Assan Alüminyum A.Ş'de Sonlu Kapasite Çizelgeleme uygulaması geniş olarak incelenmiştir.

Sonuç bölümünde ise Sonlu Kapasite Çizelgeleme ile ilgili genel değerlendirmeler ve gelecek çalışmalar için yönlendirmeler yer almaktadır.

**Anahtar Kelimeler :** Sonlu, Kapasite, Çizelgeleme, Üretim, Planlama

## **ABSTRACT**

In a rapidly changing environment having an increasing competition and internationally developing standards, companies should give up the traditional production and organization approaches, and they should encountered a necessity to have a flexible modern system that will led the use of recent production approaches and techniques. Under these circumstances, existing production systems should be properly examined and the required modern production system approaches and techniques should be implemented in the shop-floor (production area). The objective of the implementation is to attain the optimization of the performance measures such as flexibility, speed, cost and quality that will reflect to the production system. Production planning function has a critical role in building effective job results in order to reach this objective. Planning process has to be in a more flexible and solution provider form that will meet the short term requirements effectively. For this reason, production scheduling is the key function of planning process at present companies.

Finite Capacity Scheduling systems consider the physical and technological limits of the production systems and develops a detailed and applicable production schedules evaluating alternative process methods. The outcome of the finite capacity schedule includes both the time information and operation sequences at the resource. The scheduling output has been used in the shop-floor directly. Although the finite capacity scheduling approach provides detailed information about the current shop-floor, by producing future probable outcomes it also helps to make right decisions.

At the fist part of this thesis the project and its content is generally mentioned, and at the second part production planning and control systems is examined. In the scope of finite capacity and production planning model the Finite Capacity Scheduling subject exposed in details at the third part. The forth part includes the traditional scheduling techniques. Setup steps, adaptations of computer supported the finite capacity scheduling approach with some current applications in Turkey is presented at the fifth part. And at the last part the application of the finite capacity scheduling approach at ASSAN Aluminum is examined extensively and in details. The general evaluations and guiding for future works about Finite Capacity Scheduling is take part at the conclusion section.

**Keywords :** Finite, Capacity, Scheduling, Production, Planning

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Üretim Planlama ve Kontrolün Tanımı

Üretim planlama ve kontrol kapsam bakımından oldukça geniş, faaliyet hacmi çok yüklü bir işletmecilik fonksiyonudur. Buna göre üretim planlama ve kontrol için aşağıdaki gibi tanımlar yapılmaktadır:

- Üretim planlama ve kontrol, malzeme akışlarının hızlı ve verimli yönetilmesi, çalışanların ve ekipmanın verimli kullanılması, çalışanlar ve ekipman arasındaki koordinasyonun eksiksiz sağlanması, pazardaki müşteri taleplerinin eksiksiz ve hızlı bir şekilde üretim sistemine aktarılması ve bütün bunların yönetilmesi için bilgi sağlayan bir sistemdir (Vollmann vd., 1997).
- Üretim planlaması gelecekteki imalat faaliyetlerinin(veya miktarlarının) düzeylerini ve limitlerini belirleyen fonksiyon olarak tanımlanabilir (Kobu,1996).
- Üretim planlama ve kontrol zamana bağlı yetiştirilmesi gereken emirlerin kaynaklara aktarılması faaliyetlerinin bir bütünüdür (Giebels,2000).

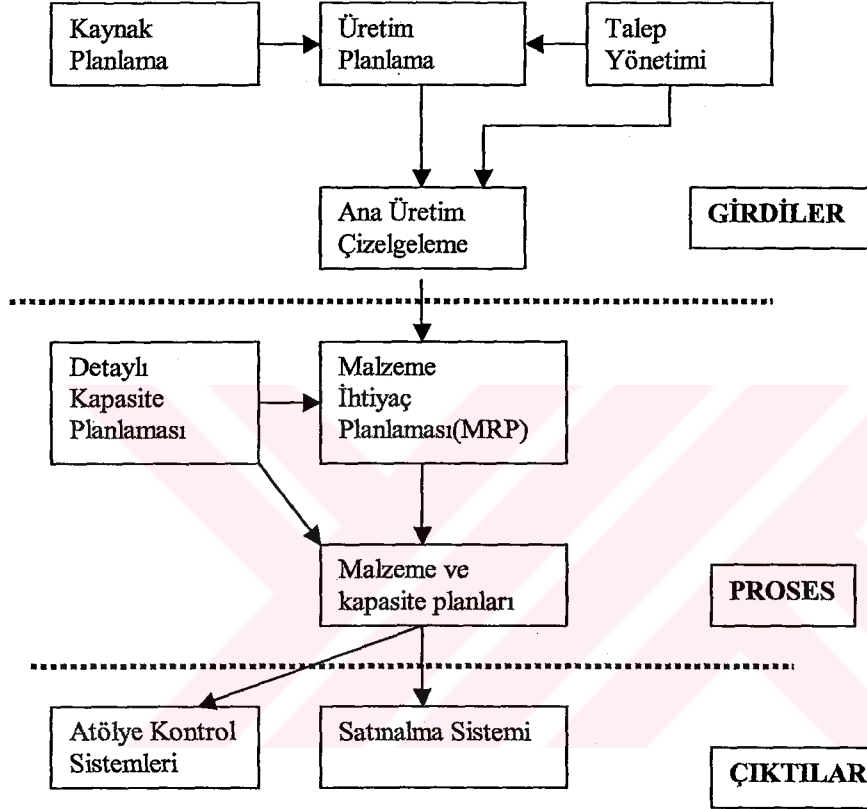
Önemli olan sistemin, yöneticiler için gerekli bilgiyi sağlayabilmesidir. ÜPK sistemi, üretimle ilgili kararları vermez veya operasyonları gerçekleştirmez, bunları yöneticiler yapar. Bu sistem yöneticiler veya karar mekanizmalarının şirket için doğru karar vermelerinde sadece bir araçtır.

Bir şirkette üretim planlama ve kontrol üç aşamada gerçekleşir. Birinci kısımda şirketin oyun planı doğrultusunda genel bir üretim planlaması yapılır (ürün seçimleri veya son ürün). İkinci kısım genel üretim planını destekleyen kısımdır ve burada detaylı malzeme ve kapasite planlamaları yapılır. Üçüncü ve en son kısımda ise bütün bu üretim planlarının üretim sahasında ve satın alma departmanında uygulanması ve sonuç alınması vardır.

Şekil 1.1 modern bir ÜPK sistemini şematik olarak göstermektedir. Bütün sistem diğer veri girişlerini, sistem modüllerini ve geri besleme bağlantılarını içermektedir: şekil üç kısma ayrılmıştır; en üstte yer alan üretim planlamanın girdileri kısmında bütün sistemin yönetilebilmesi için gerekli olan üretim aktiviteleri ve sistemleri bulunmaktadır. Talep planlaması müşteri, son ürün taleplerini, sipariş girişlerini ve dışarıda üretilecek parçaların tahmin adetlerini kapsamaktadır. Aslında üretim

stratejisi için gerekli kapasitelerin hepsi talep yönetimi modülü tarafından ele alınmaktadır. Üretim planlaması modülü ise üst yönetimin belirlediği ana stratejiyi sayısal verilerle ana üretim çizelgelemeye ileten kısımdır.

Ana üretim çizelgeleme modülü üretim planlama modülünden aldığı verilerin detaylandırılmış halidir. Ana üretim çizelgeleme üretim sahasının ileriki zamanda ne üreteceğinin bir planıdır (Vollmann vd., 1997).



Şekil 1.1 ÜPK Sisteminin Üç Aşaması(Vollmann, vd., 1997)

Şekil 1.1'de orta kısımda bulunan proses kısmı detaylı malzeme ve kapasite planlarının bulunduğu bölümdür. Ana üretim çizelgeleme doğrudan malzeme ihtiyaç planlamasını (MİP) gönderdiği verilerle besler. MİP dönem dönem(zamana bağlı olarak) ana üretim çizelgelemesinde yer alan malzemenin planlarını belirler. Bu planlar daha sonra detaylı kapasite planlaması modülünde işçilik ve işlem merkezlerinin üretim için gerekli olan kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılır.

Son kısım olan üretim planlamanın çıktılarında ise atölye kontrolü ve satış sistemleri yer almaktadır. Atölye kontrol sisteminde işler öncelik sıralarına yani önem derecelerine göre çizelgenirler ve bu doğrultuda üretilirler. Üretilmeyen parçalar ise dışarıdan hazır olarak satın alınacaktır. Ana üretim çizelgelemesine bu parçalar için verilmiş olan siparişler ve planlanan siparişler dahil edilmelidir.

Ana üretim çizelgelemesinden başlayarak ÜPK çıktılarına kadar olan bütün alt sistemlerin yönetimi ve bunların arasındaki bilgi akışları çeşitli bilgisayar donanımları ve yazılımları tarafından desteklenmektedir. Örneğin ana üretim çizelgeleme bilgisayar sistemi sayesinde MİP modülüne bilgiyi tam doğrulukta ve çok kısa bir zamanda iletebilmektedir.

Detaylı malzeme ve kapasite planlarının yapılması makina ve iş merkezlerinin çizelgenmesini gerektirmektedir. Fabrika içerisinde bu çizelgemeye parçalar için başlama ve bitiş zamanları, çeşitli problemler, durmalar ve gereken yerde olmama gibi unsurlar dahildir. Bu karmaşık çizelgelerin genellikle günde en az bir sefer güncellenmeleri gerekmektedir. Benzer şekilde detaylı bir çizelgenin de dışardan satın alınacak parçalar için de hazırlanması gerekmektedir. Satın alma aşlında iş merkezi kapasitesinin dışardan karşılanması anlamına gelmektedir. Bu aktivitenin iyi bir şekilde yürütülmesi satıcı ile uzun süreli üretim anlaşmaları ve satıcıların sistemlerinin üretim sistemine entegrasyonu ile olmaktadır.

## **1.2. Üretim Planlama ve Kontroldeki Problemler**

Endüstriyel işletmelerde global düzeyde çok boyutlu olarak yaşanan gelişmeler beraberinde, üretimin rolünü ve önemini de değiştirmiştir. Yeni üretim tekniklerinin uygulanması ve üretim sistemlerinin modernizasyonu, işletmelerin bu yeni koşullarda rekabet güçlerini koruyabilmeleri için gereken ana unsurlardan biri haline gelmiştir.

Artık sabit ürün karması ile pazar payını korumak mümkün değildir. Müşteri ihtiyaçlarının sürekli değiştiği, müşteri beklentilerinin arttığı günümüzde, işletmeler, ürün tasarımlarında yeni değişiklikler yaparak ve yüksek ürün çeşitliliği ile pazarda yer alabilmektedirler. Bu yeni pazarlama anlayışı tatmin edebilmek ancak güçlü ve esnek bir üretim sistemi ile mümkün olabilecektir.

Proses dizaynının artan karmaşıklığı ürün ömür çevrimlerinin azalmasını gerektirmektedir. Bilindiği gibi ürün ömür çevrimi, dizayn, üretim ve kullanım aşamalarından meydana gelmektedir. Önceden bu aşamalar bir dizi halinde ortaya çıkarlardı ve asıl üretime geçmeden önce üretim metotlarını saptamak için yeterli zaman vardı. Günümüzde ise uzun yıllara dayalı yüksek ve durağan talep imkansızdır. Browne'un (1988) belirttiği gibi üretimin yüksek maliyetlere neden

olmadan yeni ürün dizaynlarına adapte olacak kadar esnek olması gerektiği anlaşılmıştır. Ölçek ekonomisi kavramı yerini fırsat ekonomisi yaklaşımıyla değiştirmiştir.

Artırılmış ürün çeşitliliği ile ürün yönetimi de karmaşıklaşmıştır. Ürünler daha küçük partiler halinde üretilmeye başlanmış ve çok değişik ürünlerin aynı zaman periyodunda üretilmesi zorunluluğu ile karşı karşıya kalınmıştır. Küçük parti büyüklükleri ve ürünlerin çok sayıda olması hem üretim planlamayı hem de atölye düzeyi kontrolü zorlaştırmıştır. Bu değişiklikler sadece belirli endüstri alanlarında görülmemiştir. Bunun delilleri otomotivde, ticari mallarda, elektronik ve beyaz eşya endüstrisinde büyük oranda görülebilmektedir. İşletme yönetimleri böyle bir ortamla başa çıkmak için yeni stratejilere gereksinim duymaya başlamıştır.

### 1.3. Çözüm Yaklaşımı

Rekabet dünyasında üretim firmaları bilgisayar destekli planlama ve kontrol metotlarını yıllardır aramaktadırlar. Böyle bir sistemin ana fonksiyonları şöyle özetlenebilmektedir:

- Üretilen mamüllerin hangisinin ne kadar müşteri siparişlerine ve talep tahminlerine dayandırılmasının gerektiğini belirlemek
- Parti büyüklüğünü içeren malzeme ihtiyaçlarını planlamak .
- Envanter kontrolü.
- Çizelgeleme ve sırasal işler.
- Kapasiteyi planlama ve dengeleme.
- Amaç performansını kontrol etme ve sapmalar oluşursa önlemler almak (Zäpfel and Missbauer, 1993).

Bu fonksiyonları yerine getirebilmek için ilk gelişme, envanter kontrol alanında gelişmiş satınalma politikalarını bilgisayar kullanarak uygulamak olmuştur. Daha sonra ortaya çıkan Malzeme İhtiyaç Planlaması (Material Requirements Planning - MRP) envanter kontrol yaklaşımının geliştirilmesinin yanında üretim planlamasının

da yapılabilmesini sağlamıştır. MRP sistemi üzerinde kapalı çevrim üretim yönetimi sistemi oluşturabilmek için uzun süre çalışılmıştır. Ticareti ve şirketin finansal fonksiyonlarını kapsaması için ek özellikler temel sisteme eklenmiştir. Sonuçta ortaya çıkan sistem Üretim Kaynakları Planlaması (Manufacturing Resources Planning - MRPII) olarak adlandırılmıştır. Bu, üretim planlama ve kontrolde önemli bir gelişme olduğundan MRPII en fazla uygulanan üretim yönetimi sistemi olmuştur.

Yıllar geçtikçe MRP uygulamaları eleştiriler almaya başlamıştır. Tam Zamanında Üretim (Just in Time - JIT) gibi yeni felsefeler MRP sistemine alternatif olarak ortaya çıkmıştır. JIT sadece üretim planlama aracı değil aynı zamanda proses dizayn felsefesidir. Planlama ihtiyacını azaltmak için proses dizaynlarının basitleştirilmesi felsefesi geniş kabul görmüştür. Bununla birlikte Kanban olarak adlandırılan JIT'in atölye düzeyi kontrol metodu tekrarlanan üretim durumları için tek yaklaşımdır. Fakat JIT MRP'nin üretim planlama ve kontrol sistemlerindeki merkezi rolünün yerini alamamıştır.

Optimize Üretim Teknolojisi (Optimized Production Technology - OPT) MRP'ye alternatif diğer bir felsefe olarak ortaya çıkmıştır. OPT, sabit üretim tedarik sürelerini konu edinmiştir ve üretimi çizelgeleyebilmek için bir algoritma ortaya koymuştur. Her ne kadar OPT, MRP'nin bazı yönlerini geliştirmiş görünse de, OPT' de hiçbir zaman MRP'nin yerini alamamıştır.

MRP sistemleri uygulamada geniş kabul görmekle birlikte, bünyesinde bir çok eksiklikler taşımaktadır. Bu eksiklikler şu şekilde açıklanabilir;

- MRP sisteminin çalıştırılması uzun zaman alabilir.
- Sabit tedarik süreleri kullanılır.
- MRP sonuçları kapasiteye karşı hassas ve fizibil değildir.
- Önceden belirlenmiş ortalama üretim zamanları yanılıcıdır.
- Darboğaz kaynakların durumu göz ardı edilir.
- Özellikle operasyon sırasına bağımlı hazırlık zamanlarının söz konusu olduğu durumlarda MRP modülleri yetersiz kalmaktadır.

1990'ların başlarında bilgi teknolojisindeki gelişmelerle, Sonlu Kapasite Çizelgeleme (Finite Capacity Scheduling - FCS) yaklaşımı ortaya çıkmıştı. Sonlu kapasite çizelgeleme MRP'nin sabit tedarik süre kabullerinin üstesinden geldiğinden ve yeterince detaylı veri sağladığından, uygulanabilir ve detaylı üretim çizelgeleri ürettiğinden önemli oranda ilgi görmüştür. Mevcut planlama tekniklerinin dezavantajlarına karşı bir çözüm olarak ortaya çıkan çizelgeleme yaklaşımı şu avantajları sağlamaktadır;

- Kapasitenin gerçek mevcudiyeti dikkate alınarak gerçekçi planlar üretilir.
- Gerçekçi termin tarihlerinin belirlenmesi sağlanır ve bu terminlere uyabilme yüzdesi artırılır.
- Malzeme yokluğu, fazla mesai ve gerçekçi olmayan satınalma planları gibi problemlerin önüne geçilir.
- İyi bir çizelgeleme mantığı, kaynakların optimum kullanımı yönünde çok etkilidir.
- Ürün akış zamanları ve stok seviyeleri iyileştirilir.
- Farklı senaryolar altında üretim sisteminin nasıl değiştiğini görmek için bir simülasyon ortamı sağlanır.

Artırılmış ürün çeşitliliği ve değişimin sabit bir proses haline geldiği günümüzde, işletmelerin mevcut durumlarının optimize etmenin yanında, gelecekteki olası durumlara da hazırlıklı olarak faaliyetlerine yön vermeleri gerekmektedir. Bu çalışmada sonlu kapasite çizelgeleme yaklaşımının işletme faaliyetlerindeki yeri ve önemi, tüm yönleri ile incelenmiştir.



## 2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

### 2.1. Stok Kontrol Politikaları

Üretim Planlama uygulamalarını geliştirmek amacıyla bilgisayar kullanım çalışmaları ilk önce stok kontrol alanında uygulanmıştır. Daha önceki yaklaşımlar, sipariş yenilemelerini minimize eden ve stok taşıma maliyetlerini dengelemeye çalışan “Ekonomik Sipariş Miktarı” modeline dayanan gelişmiş satınalma politikaları, istatistiksel varsayımlar oluşturmuş ve stok çıktılarını tamamen önleyememişler, fakat güvenilir bir faktöre indirmişlerdir. Öte yandan, bilgisayarlaşma işletmelere daha önceden mamul olarak görüntülenen sipariş politikalarını ürün ve bölümlere genişletme imkanı tanımıştır. Stok Kontrol Modelleri'nin sınırlandırılması, gelecekteki ürün talebini tek bir özetlemeyi gerektirmiştir. Buna çözüm olarak zaman aşama talepli daha gelişmiş modeller öne sürülmüştür. Yeni zaman aşamalı modellerde dinamik plan algoritmaları kullanılmıştır. Bu algoritmalar tekrar doluların miktarını ve zamanını, fix tutar kısıtlaması ve önceden belirlenmiş sipariş seviyeleri olmadan belirtmiştir (Sartori,1988).

### 2.2. Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP - Material Requirement Planning)

Stok kontrol yaklaşımları, stok parçalarının yeniden dolularının birbirinden bağımsız olarak planlanabileceğini varsayar. Öte yandan birleşen parçalara olan talebin ana ürüne olan talebe bağlı olduğuna işaret eder. Bu bağımlılık birleşen parçalar (komponent) için iyi tanımlanmış talep örneği yerine toplu talep fenomenine yol açar ve ihtiyaçlar tablosundan üst seviye parçalar için zaman aşamalı ihtiyaçları hesaplamak mümkündür.

Bu gözlemler, malzeme ihtiyaç planlamasının gelişmesine ve özellikle iş kontrolünün ve satınalma siparişlerinin bir ürün altında birleşmesine yol açmıştır.

MRP sistemi için girdi üst seviye parçalar için Ana Üretim Planıdır. Bir prosedür seti her bir komponent için net gereksinimlerin çizelgesini oluşturabilmek için bu ana

üretim planına uygulanır. İlk olarak sistem her bir komponentin net ihtiyaçlarını, programlanmış siparişler ve eldeki stokları göz önüne alarak ortaya çıkarır. Sonra, net ihtiyaçlar parti büyüklüğü kullanılarak planlanmış siparişe çevrilir. Daha sonra planlanmış sipariş tedarik süresi kullanılarak ihtiyaç tarihi geriye doğru programlanır. Son olarak ana üretim programı malzeme ilişkileri listelerine yazılarak kullanıcılar yönlendirilir (Elsayed, 1985).

Üretimde değişim sürekli olduğu için MRP sistemi bu değişiklikleri barındırmak zorundadır. MRP sistemi içerisinde tekrar planlama yaklaşımları iki ana başlık altında toplanabilir: Bunlar yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya doğru planlama yöntemleridir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi açıklanabilir:

#### 1. Yukarıdan Aşağıya Planlama :

Yukarıdan aşağıya planlama sistem tarafından MRP prosedürünün uygulanmasıdır. Yukarıdan aşağıya planlama ya tekrar planlama veya net-değişim esaslıdır. Tekrar planlama ile MRP'nin net ihtiyaçları ve planlanan siparişlerde meydana gelen her güncellemede prosedür baştan sona tekrar çalıştırılır. Diğer yandan net-değişim yaklaşımında kısmısal bir patlama olduğunda sadece bu değişimden etkilenen bölümlerin ayarlanması yapılır. Tekrar planlama çok fazla veriyi işlemeyi içerdiğinden bu sistemler haftalık ve aylık çalıştırılır. Net-değişim yaklaşımı tekrar planlamanın sürekli yapılamaması zayıflığının üstesinden gelse de bu yaklaşım hatalara karşı savunmasız durumdadır.

#### 2. Aşağıdan Yukarıya Planlama :

Yukarıdan aşağıya planlamada sistem değişime tepki olarak planlama yapsa da aşağıdan yukarıya planlamada planlamacı prosesi kendi yönetir. İhtiyaçları sabitleştirmek aşağıdan yukarıya planlamanın birinci metodudur. Sabitleştirmeyle kullanıcı beklenmeyen bir durumda toplam ihtiyaçlar için talep kaynakları tanımlamasını yapabilir. Kullanıcı için tek seviye veya toplam sabitleştirme imkanı vardır. Toplam sabitleştirme pratikte üretim ve malzemeler için iyi çizelgeler üretmede oldukça pahalıdır. Bir olayın sonuçları için iyileştirici hareketleri sabitleştirme ile sondan geriye doğru izleme işletmenin planlanmış sipariş tekniğidir (Browne, 1988).

İç ve dış tedarikçilerden dağıtımların zamanının ayarlanması envanter kontrol alanında ileriye doğru büyük bir adımdır. Bununla birlikte MRP prosedürü uygun malzeme ve komponent kazançlarına dayandırılmıştır ve üretim kapasitesini bir kısıt olarak dikkate almamıştır (Ptak, 1991; Browne, 1988).

### **2.3. Üretim Kaynakları Planlaması (MRPII - Manufacturing Resources Planning)**

MRP Satınalma'ya destek olan transaction processing yazılımı, şirketin envanter ve finansal fonksiyonları gibi aşamalı olarak eklenen bir dizi ilaveler sonucunda gelişmiştir. Kara desteğinin yayılmasıyla MRP'de yapılan kabullere yakın ve bir kaç modulden oluşan hiyerarşik planlama sistemi yapılandırıldı. Böylece Üretim Kaynakları Planlaması (MRPII) bütünün değişik seviyelerinde kaynak ihtiyaçlarının kontrol edildiği kapalı çevrim bir üretim planlama ve kontrol sistemi olarak ortaya çıktı.

### **2.4. Üretim Kaynakları Planlamasının Modülleri**

Aşağıda MRPII'nin değişik modüllerinin geniş bir özeti verilmektedir.

#### **1. Ana Üretim Planı**

Ana üretim planı (Master Production Planning – MPS) şirketin ne üretmeyi planladığını göstermek üzere satış tahminleri, malzeme mevcudiyeti, kapasite mevcudiyeti, yönetim politikaları ve şirket amaçlarının dikkate alınmasıyla oluşturulur. Genellikle sistemin oluşturduğu tahmin, manuel tahmin ve gerçek müşteri siparişleri planı talep tahminine ulaşmak için basit bir prosedürle birleştirilir. MRP'ye çok benzer bir işlem tahmin edilen talep, ana üretim çizelgesi ve mevcut envanter üzerine uygulanarak eldeki ve kullanılacak envanterin bir çıktısı elde edilir. Önerilen MPS kilitlenip üretim için serbest bırakılmadan önce yapılması gereken uygulanabilirlik testi Kaba Kapasite Planlama modülüne de taşınabilir.

#### **2. Kaba Kapasite Planlama**

Kaba kapasite planlama ana üretim planının kapasite bazında fizibil olduğunu garantilemek için birkaç anahtar kaynak üzerinde yapılan hızlı bir kontroldür. Her ana çizelgelenen madde çeşitli anahtar faaliyetlerin kapasitesini açıklayan ilgili kaynak listesi ve/veya her bir maddeyi üretmek için gereken insanı kapsar. Tedarik süresi dengeleme kapasite gereksinimlerine ulaşip MPS'yi genişletmek için kaynak listesi aracılığıyla kullanılır. Fakat komponent envanteri hesaba katılmamıştır. Eğer yapılabilmesi olanaklı gözüküyorsa bu kaynak ayarlamaları veya MPS'deki ayarlamalar aracılığıyla çözülür.

### 3. Kapasite İhtiyaç Planlaması

Ana üretim Planının gereksinimlerini karşılamak için MRP planlı tedarik süresi üzerine dayalı iş emirleri üretilir. Buna rağmen bu planı yaratırken herhangi bir kapasite aksaklığını göz ardı eder. Bu noktada MRP çıktılarının fizibilitesini sağlamak için başka bir araca ihtiyaç duyulur. Kapasite İhtiyaç Planlaması üretim aktivitesi kontrolde belirtilen yönlendirmeler aracılığıyla planlanan üretim emirlerini genişletir ve profilini oluşturur. Daha sonra arzulan kapasite şu andaki mevcut kapasite ile karşılaştırılır ve fazla yükleme ile az yükleme durumu belirlenir. Daha sonra planlayıcı fizibilitesizliği önlemek için fazla zaman gibi gerekli çıkar yol hareketini yapar.

### 4. Üretim Aktivite Kontrolü

Parçaların yönlendirilmesi, iş merkezi ve standart zaman bilgisi MRPII sisteminin üretim aktivite kontrol modülü (Production Activity Control – PAC) içinde açıklanmıştır. Kapasite İhtiyaç Planlaması sistemine benzeyen çizelgeleme prosedürü planlı operasyon başlama zamanının belirlenmesinde kullanılır. Dahası gönderme listelerindeki üretim emirlerinin önceliklerinin belirlenmesi aşama yolu fonksiyonları üzerindeki çalışmayla olanaklı kılınır.

### 5. Üretim Kaynakları Planlaması Yaklaşımı'nın Değerlendirilmesi

MRPII malzemelerin planlama ve kontrollerinin aşamasındaki bir sonraki adımdı ve göstermişti ki hiyerarşik planlama MPS, MRP, PAC gibi üretim prosesinin temsili detayının çoklu seviyesiyle, üretim sistemlerinin çeşitliliği ve karmaşıklığı ile başa

çıkmanın etkili bir yoludur. Dahası bize öğretmiştir ki bilgisayar ve üretim veritabanı aracılığıyla değişik üretim fonksiyonlarındaki bir çok insanın işi daha iyi koordine edilebilmektedir ve bir çok ortak bilgi paylaşılabilir. Sonuç olarak MRP/MRP II ikilisi en çok kullanılan büyük ölçekli üretim yönetim sistemi olmuştur.

MRP sistemindeki ana zorluk 1986'da açıklandığı gibi üretim çevrelerinde sıkça gerek duyulan yeniden çizelgelemektir. Tipik bir MRP çalışması uzun zaman alır ve sonuç olarak genellikle haftalık bazda kullanılır. Aşağıdan yukarı planlama sabitleştirme gereksinimleri de bu problemi çözmez. Çünkü sabitleştirme gereksinimleri veri işleme maliyetine eklenir (Hastings ve diğ., 1982).

Bir çok kişi MRP yaklaşımının esas zayıflığını tedarik zamanı belirleme olarak görür. Sabit tedarik süresi tedarik süresinin çizelgeden ve parti boyutundan bağımsız olması demektir. Ne var ki gerçek hayatta tedarik süresi hem yığın boyutuna hem de siparişin kuyruk zamanına bağlıdır. Diğer yandan kapasite yönetimini kullanıcıya bırakma fikri hiçbir zaman iyi çalışmamıştır. Kapasite İhtiyaç Planlaması bir çok durumda planlayıcıyı detaylarla boğar. Bu nedenden dolayı interaktif planlamayı mümkün kılmaz, esas olarak bir soruşturma aracı olarak kullanılır.

Sonuç olarak MRP'nin sonuçları kapasiteye karşı hassas ve fizibil olmamaktadır. Ancak MRP düşüncesi felsefi kriterlerle de kabul edilmiştir (Browne 1988). MRP'nin gerekli gördüğü öneriler paradigması üretim yönetim sisteminde basit tekniklerle kullanılır ve bu sayede bilgisayarın hangi kararların verildiğini ve insanların ne derecede buna karıştığı, mücadele ettiği kolaylıkla insanlar tarafından anlaşılabilir. Bu yüzden sonlu yükleme algoritması yeterince hüristik ve anlaşılması muhtemelen zor olduğundan MRP kullananlar ona sıcak bakmadılar. Soru sonsuz yükleme paradigma ise hiyerarşik çizelgeleme sisteminin her aşamasına uygun mu? Fakat imalat sistemi yüksek mühendislik, otomatik ve önceden bilinen bir program haline gelmeye ve prosesi yöneten kişiler daha bilgili olmaya başlayınca bu adapte edilmesi için çok gerekli olmayan sonsuz yükleme / karar destek stratejisi üretimi çizelgelemek için yetersiz ve gereksiz hale dönüştü.

## 2. 5. Hiyerarşik Üretim Planlama

Üretim Planlama organizasyon içinde oldukça kompleks bir takım karar alma aşamalarını içerir. Planlama prosesinin çeşitli hiyerarşik karar aşamalarına bölüdüğü hiyerarşik planlama bu karmaşıklığı basitleştiren etkili bir yöntemdir.

MRP II teoriksel bazda hiyerarşik planlama kavramı içerisinde yer alır. Hiyerarşik planlama üzerine bu öncü teoriksel çalışma Hax ve Meal tarafından ortaya atıldı (Bitran ve Hax, 1981).

Hiyerarşik Üretim Planlama kapsamlı üretim planlama problemlerini matematiksel modellerle açıklayan alt problemlere çeviren bir sistemdir. Bu toplanmış/ayrılmış proses belirsiz bir şekilde formalize edildi. Bununla beraber literatürde belirtilen HÜP'nin üretim problemleri MRP II'nin toplam planlama problemlerinden daha kolay gözüktü. Diğer yandan optimizasyon problemleri küçük bir rol oynuyor ve hiyerarşik düzeyler arasındaki bağlantılar MRPII'de formalize edilmiyordu. Bu iki yaklaşımın sınırlamalarına göre literatürde hybrid metotlar üretilmiştir (Yazgac ve Özdamar, 1996).

Bunun yanında hiyerarşik üretim planlama uygulamaları ile ilgili farklı örnekler literatürde bulunmaktadır. Çini endüstrisinde Liberatore ve Miller (1985), atölye işlemlerinde Gelders ve Steelandt (1980), süt tozu üretiminde Rutten (1993) ve gıda üretiminde Allen ve Schuster (1994) konularında örnek uygulamalar içermektedirler.

## **2. 6. Tam Zamanında Üretim (JIT - Just in Time)**

1980 yılları Japonların dünya piyasalarındaki başarıları ile göze çarpmıştır. Japonların bu başarısı onların üretim proseslerine bir ilgi oluşturdu ve tam zamanında üretim (Just in Time – JIT) diğer üretim yöntemlerine meydan okumaya başladı.

JIT felsefesinin arkasındaki düşünceler şöyle özetlenebilir:

- Stok tutmak maliyetlidir.
- Güvenilir olmayan satış tahminleri nedeniyle mamul stokları satılamaz.
- Stoklar üretim sisteminin verimliliğini azaltır.

Sonuç olarak mümkün olduğu kadar stok tutma sebeplerinden kaçınılacak bir mantık zinciri yeniden organize edilmelidir (Zapfel ve Missbauer, 1993).

JIT sistemleri bu amacı yerine getirmek için üç yaklaşım içerir:

- Üretimde JIT felsefik yaklaşımı.
- JIT üretim sistemini planlamak ve dizayn etmek için teknikler.
- JIT sisteminde atölye düzeyi kontrol için teknikler (Browne,1988).

JIT felsefesi sadece stokların azaltılması değil aynı zamanda üretim prosesinin geliştirilmesidir. JIT üretim sisteminin planlaması ve dizaynı için teknikler şunları içerir:

- Hazırlık Zamanlarının azaltılması.
- Malzeme akışının karmaşıklığının azaltılması.
- Talepteki dalgalanmalara cevap verebilmek için kapasite esnekliği.
- Üretim miktarındaki değişimlerin azaltılması.
- JIT kavramına tedarikçilerinde entegre edilmesi.
- Koruyucu bakım, kalite kontrol vb. için etkili sistemler ile üretim prosesinin güvenilirliğini arttırmak (Zapfel ve Missbauer,1993).

JIT'in tipik üretim kontrol sistemi, basitleştirilmiş iş yükü kontrol sistemi olarak adlandırılabilir Kanban Sistemidir. Üretim sistemini basitleştirmek için geliştirilen teknikler değişik durumlarda uygun olsa bile sorgulanan şey, Kanban'ın tekrarlayan üretimlerden daha karmaşık olan sistemlere başarı ile uygulanabilir olup olmadığıdır.

## 2.7. Optimize Üretim Teknolojisi (OPT - Optimized Production Tecnique)

1980'lerde MRP'ye meydan okumuş diğer önemli felsefe Optimize Üretim Tekniği (Optimized Production Tecnique – OPT)'dir. Sistem üretim çizelgeleri üretme felsefesini sağlamak için bir sistem temeli ve yazılım paketi ile yapılandırılmış felsefeden oluşur.

OPT mamul ve malzemelerin akışı kavramı üzerine kurulmuştur ve dolayısıyla üretim sisteminin performansı sistemdeki darboğazlar ile belirlenir (Goldratt, 1984).

OPT'nin planlama felsefesi 9 OPT kuralı olarak özetlenebilir (Godratt, 1984) :

1. Kapasiteyi değil akışı dengele,
2. Bir aşamanın darboğazsız kullanımı sadece onun potansiyeli ile değil diğer sistem sınırlamaları ile belirlenir.
3. Kullanım ve çalıştırmak eşanlamlı değildir.
4. Bir darboğazda bir saatlik kayıp tüm sistemde bir saatlik kayıp demektir.
5. Darboğaz olmadan bir saatlik kazanç sadece bir hayaldir.
6. Darboğazlar sistemdeki stoklardan kaynaklanır.
7. Bir seferde transfer edilen yığın büyüklüğü, bir seferde işlem gören yığın büyüklüğüne eşit olmayabilir, olmamalıdır.
8. İşlem gören yığın büyüklüğü sabit değil, değişken olmalıdır.
9. Çizelgeler, tüm kısıtlar dikkate alınarak eş zamanlı olarak oluşturulmalıdır. Termin tarihleri çizelge sonuçlarına göre belirlenir.

## 2. 8. Sonlu Kapasite Çizelgeleme Yaklaşımı (FCS – Finite Capacity Scheduling)

1990'ın başlarında bilgi teknolojisindeki gelişmelerle FCS sistemleri OPT'den farklı ortaya çıktı. Bu sistemler üretim sisteminin fiziksel ve teknolojik sınırlamalarını dikkate alarak ve alternatif proses metotlarını hesaba katıp, değerlendirerek detaylı ve uygulanabilir üretim çizelgeleri ortaya koydular (Taylor,1995).



Çoğu üretim çizelgeleme problemleri gibi FCS problemleri tamsayılı lineer programların karışımı olarak modellenebilir veya dinamik programlama, dallanma gibi yöneylem teknikleri kullanılarak çözülebilir. Bu tarz yaklaşımlarda tipik bir amaç operasyonlarda ki teknolojik sınırları ve kaynakların mevcudiyetini gösteren sınırlamalar kümesinin minimize edilmesidir.

Hesaplamasal karmaşıklık açısından böyle problemlerde kısıtların kombine edilmesi oldukça zor olmaktadır. Sonuçta optimizasyon tekniklerinden birinin kullanılmasıyla optimal çözümün bulunması çok gelişmiş bilgisayarlarda bile çok uzun sürmektedir. Bu yüzden bir çare olarak bu modellerin basitleştirilmiş versiyonlarıyla birleştirilmiş heristik algoritmalar yarı optimal fakat yeterince etkili çözümler ortaya koymaktadır (French, 1982).

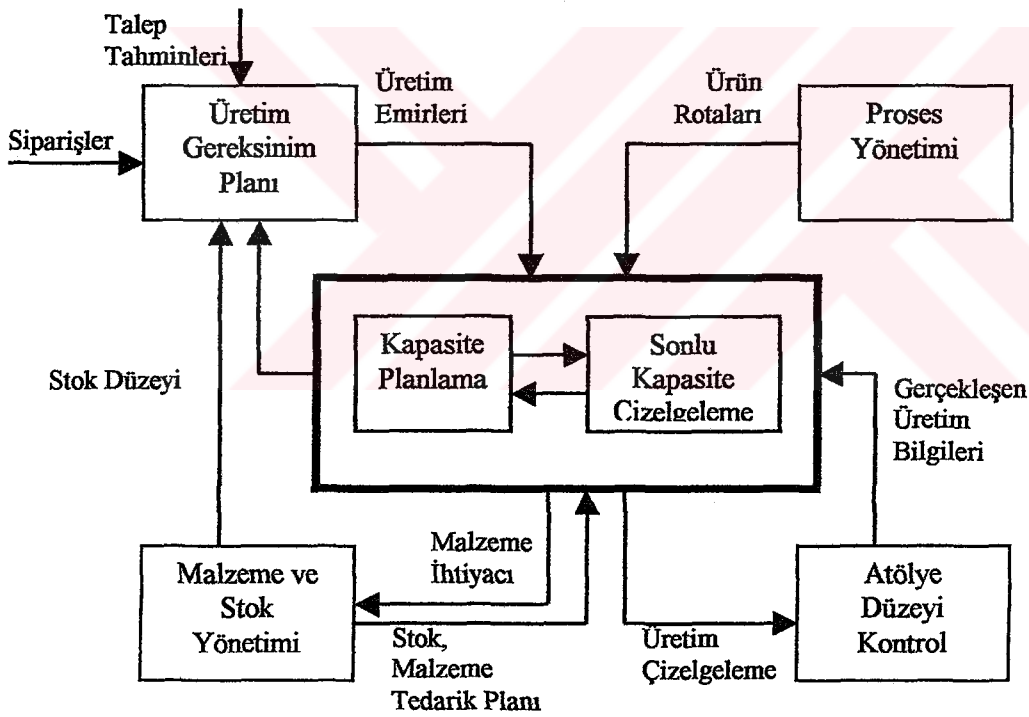
FCS ile elde edilen çizelge hem zamanları hem de kaynaklardaki operasyon sıralamasını içermektedir. Ayrıca bu sistemler kolaylıkla ek siparişler, kapasitedeki varyanslar ve malzemelerin mevcudiyeti gibi seçilmiş faktörlere göre bütün üretim planını sebep-sonuç analizi doğrultusunda test edebilir. Sonuç olarak FCS'nin çıktıları üretimde direkt olarak kullanılabilir.

OPT için yapılan bazı eleştiriler FCS içinde yapılmaktadır. FCS'de üretim organizasyonlarının organizasyonel yapısıyla bağlantılı olarak karar seviyeleri hiyerarşisi sağlanamamaktadır. Ayrıca bu sistemler bütün planlama dönemlerinde elde edilemeyen talep bilgileri, detaylı üretim prosesi açıklamaları, kaynakların kapasitesi ve malzemelerin mevcudiyeti gibi bilgilere ihtiyaç duymaktadır. Sonuç olarak işletmelerde FCS uygulamaları MRPII sisteminin atölye düzeyi kontrol modülü olarak uygulanmakta ve makine yüklemeleri ve operasyon sıralama bilgilerini üretmektedir.

### 3. SONLU KAPASİTE İLE ÜRETİM PLANLAMA MODELİ

Browne'un (1988) belirttiği gibi MRP/MRPİI paradigması, hiyerarşik planlamanın üretim sistemlerinin karmaşıklığıyla başa çıkmak için oldukça etkili bir yol olduğunu göstermiştir. Bundan başka bize "bir bilgisayar ve üretim veri tabanı ile çok değişik üretim fonksiyonlarındaki insanların çalışmalarının daha iyi koordine edilebileceğini ve bölümlerin ortak bilgilerinin paylaşılabilirliğini" öğretti. Bu yüzden şirketin diğer fonksiyonlarıyla entegre bir hiyerarşik planlama sistemi bugünün rekabet piyasalarında üretimi yönetmek için uygun bir çözüm olacaktır.

Tam bir üretim yönetimi sistemi üretim çizelgeleme ve kapasite planlamadan daha farklı fonksiyonlara sahiptir. Modülleri arasındaki etkileşimlerinde görüldüğü böyle bir üretim yönetim sistemi aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 3.1. Sonlu Kapasite Üretim Planlama Sistemi ( Browne, 1988 )

Sistem karar noktalarının hiyerarşisine göre düzenlenmiştir. İlk karar noktası kısa ve uzun dönem üretim siparişlerinin müşteri siparişleri, envanter ve şirket politikalarına dayanarak karar verildiği Üretim Kaynakları Planlamasıdır. İlk aşamada belirlenen üretim siparişleri sonlu kapasite çizelgeleme ve kapasite planlamayı içeren ikinci

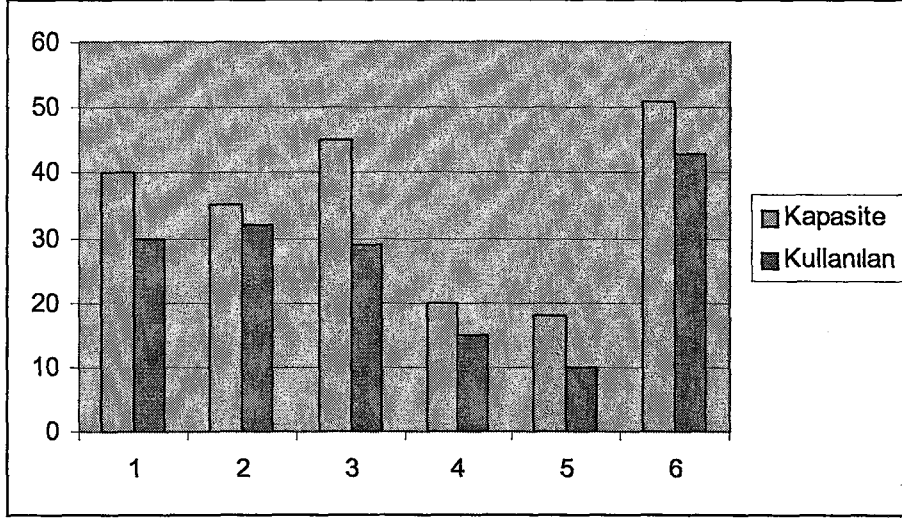
aşamada üretim çizelgeleri haline getirilir. Sonra atölye düzeyi kontrol modülü üretim çizelgelerine göre çalıştırılır ve gerçekleştirilmiş üretim verileri bilgileri elde edilir. Bu sırada Malzeme Yönetimi Modülü sonlu planlamanın sonuçlarına göre üretim için gerekli malzemenin sağlanması ve elde etme maliyetinin minimize edilmesi gibi kriterleri sağlamak için çalıştırılır. Üretim ve kaynak yönetimi modülü diğer modüllere proses planları ve onarılabilen kaynaklar gibi gerekli bilgileri sağlar. Burada bu araştırmanın konu olarak ele aldığı sonlu planlama modülü anlatılacaktır.

### **3.1. Sonlu Kapasite Planlamanın Tanımı ve Amacı**

Sonlu kapasite planlama işlerin çizelgelemesinden elde edilen sonuçlara göre üretim işlerinin yaklaşık başlangıç ve bitiş zamanlarının ve kaynakların kapasite yüklerinin belirlenmesi olarak adlandırılır. Orta ve uzun dönem üretim ihtiyaçları da ürünlerden çok ürün grupları bakımından ele alınmalıdır. Sonuç olarak bu aşamada rotaların FCS’de gerekli olduğu gibi detaylı olmasına ihtiyaç yoktur.

Operasyonların kaynak ve kaynak gruplarının değil, kapasitenin ne kadarını kapsadığının tanımlanması gerekir. Kapasite planlama sonlu kapasiteyi ayrık zaman grupları olarak kabul eder ve aynı anda hem kaynak hem de kaynak gruplarının kapasite sınırlarını dikkate alır. Bu modülün sonuçları en iyi kaynak kapasite kullanım histogramında (Şekil 3.2) görülebilir. Ayrıca iş temelli Gantt şeması da bu amaçlar için görülebilir.

Orta ve kısa dönem veri detayı şartlarıyla sonlu kapasiteyi uygulamak imkansızlaşmaktadır. Bu yapılmaya çalışılınca da doğru olmayan veya gerekli olmayan keyfi veri detayları oluşturulması gerekmektedir. Bununla birlikte tam bir sonlu kapasite planlama sistemi mevcut olan detaydaki bilgiyi kullanarak işlem yapacak yeteneğe sahip olmalıdır. Böyle bir yaklaşım sonlu kapasite çizelgeleme ve kapasite planlama gibi birbiriyle sıkı sıkıya entegre iki modülün kapsanmasını önermektedir.



Şekil 3.2. Kapasite Kullanım Histogramı (IMS, 2000b)

Sonlu planlama kaynaklardaki üretim çizelgesinin saptanması olarak tanımlanabilir ki ancak böylece üretim uygulanabilir ve onu destekleyen fonksiyonlar senkronize çalışabilir. Bu modül sonlu kapasite çizelgeleme ve kapasite planlama denen iki alt modülden oluşmaktadır. Sonlu kapasite çizelgeleme detaylı çizelgeler oluşturarak atölyedeki üretimi yönlendirir. Kısa dönem malzeme ihtiyaçları da bu alt modülün çıktıları kullanılarak belirlenir. Sonlu kapasite planlama yaklaşık bilgilerle orta ve uzun dönem için diğer çizelgeleri hazırlar. Orta ve uzun dönem kapasite planları için karar desteği sağlar ve FCS'den daha uzun tedarik süreli malzeme ihtiyaçlarını yapılandırır.

Sonuçta, tüm kaynakların gerçek kapasitelerini, ne zaman sonlandıklarını ve bu kaynakların her bir operasyonda ne şekilde kullanacağına dair tüm detayları göz önüne aldığı için bu sürece Sonlu Kapasite Planlama adı verilir.

Kapasite planlama sonuçları kullanıcıya orta vadede karşılaşılabileceği muhtemel darboğaz durumlarını göstermede ve böyle durumlar için muhtemel alternatif çözümleri değerlendirme de yardımcı olur.

Kapasite planlama modülü algoritması gecikmeleri ve çalışılan proses envanterini minimize etmek amacıyla dizayn edilir. Algoritma ilk önce orta ve uzun dönem üretim ihtiyaçları için operasyonları geriye doğru yükler ve ikinci kez ileri doğru operasyonları bir daha geri dönmeyecek şekilde çizelgeler.

Gerçekleşeni takip edebilmek önemlidir ama bu bilgiler, bu detayda önceden üretilebilseydi:

- Daha doğru kararlar alabilirdik;
- Olası sorunları önceden saptayıp önlem alabilirdik;
- Bu bilgiyi üretimi yönlendirmek için kullanabilirdik.

Sonlu Kapasite Planlamasıyla bu amaçlara ulaşılabilir.

### 3.2. Üretim Planlamada Çizelgelemenin Rolü

Çizelgeleme, görev zamanları dahilinde, kaynak tahsis etme ile ilgili karar verme prosesidir. Amaç, belirlenen planlama periyodu içerisinde gerçekleştirilecek işler için kaynakların nasıl kullanılacağına karar verilmesidir.

Çizelgeleme üretimden dağıtıma ve lojistiğe kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir. Taşımacılık, inşaat veya yazılım geliştirme projelerinin yönetimi veya eğitim kuruluşlarında ders programlarının hazırlanması gibi uygulamalar özel çizelgeleme uygulamalarıdır.

Kaynaklar, bir üretim birimindeki makineler, havaalanında hizmet veren çalışanlar, taşımacılıkta kullanılan kamyonlar ve sürücüler, yazılım uyarlanmasında çalışan danışmanlar ve hatta bilgiyi işleyen bilgisayardaki bilgi işlemciler olabilir. Benzer olarak görevler de bir üretim işleminden, projedeki bir duruşa, bir taşımacılık işlemine veya bir bilgisayar programının çalıştırılmasına kadar değişik alanda olabilir.

Üretim çizelgeleme, planlama periyodunda, müşteri taleplerini tatmin etmek için işletme kaynaklarının nasıl kullanılacağına belirlenmesi şeklinde tanımlanabilir.

Kaynaklar, makineler, iş istasyonları, araçlar, operatörler, hammadde enerji vb. gibidir. Görevler ise müşteri taleplerini karşılamak için yapılması gereken operasyonlardır. Üretimdeki çizelgeleme problemi, teknolojik ve fiziksel kısıtlar altında, operasyonların sıralanması ve zamanlanmasıdır (IMS, 2000b).

Klasik çizelgeleme teorisinin başarısı çoğu üretim çevrelerinde yetersiz kalmaktadır. Üretim çizelgeleme ve tesisi yükleme işlemi çok az işletmede birinci derecedeki hat yöneticileri tarafından gerçekleştirilmektedir. Çoğu sektörde bu görev vardiya sorumluları, formenler gibi üretim elemanlarına verilmiştir. Bu kişiler kendi kişisel tecrübeleri ile karar vermektedirler ve bu kararların işletmenin genel performansı üzerindeki etkisi araştırılmamaktadır (Çelikçapa, 1999).

### 3.3. Üretim Planlama İle Üretim Çizelgelemeyi Birbirinden Ayıran Özellikler

Üreticiler daha küçük partilerle üretim yapmaya zorlanmaktadır. Çoğu zaman parti büyüklüğü müşterinin talep ettiği miktara göre belirlenmektedir. Bu nedenden dolayı üreticiler, öncelikle mevcut kaynaklarla, müşterilerin kısa dönemli ihtiyacı veya olası ihtiyaçlarının karşılanması üzerine yoğunlaşırlar. Sonuç olarak planlama işleminin, kısa dönemli gereksinimleri etkin bir şekilde karşılamak üzere, çok daha esnek ve çözüm üreten bir yapıda olması gerekmektedir. Bu sebeple, üretim çizelgeleme, günümüz işletmelerinde üretim planlama işleminin anahtar rolünü üstlenmektedir.

Üretim planlama işlemi seyrek olarak üretim hattı veya makine parkındaki değişiklikler dikkate alınarak aylık yada üç aylık periyotlar halinde yapılır. Planlama işlemi genellikle, toplu ürün gruplarına göre, gelecek satış tahminleri ve teorik üretim kapasitesine göre hazırlanır. Bir işletmede ürünlerin üretilmesi veya işlemlerin yerine getirilmesi için zaman ve sıralama açısından yapılan plan yapılır. Bu plan üretim çizelgesidir (Çelikçapa, 1999).

Üretim planlamada kilit rolü oynayan güç, girdi materyallerin en uygun kazancı oluşturması yaklaşımıdır. Planlama işlemi ile stratejik düzeyde kaynakların amaçlar doğrultusunda tahsis edilmesini ve toplu olarak tüm kaynak gruplarının yönetilmesi sağlanır. Bunun yanında, çeşitli safhalardaki ürün rotaları birleştirilerek çok aşamalı üretim işleminin toplu görünümü oluşturulur. Sonuç, ürün dağılımı ve orta ve uzun dönemde girdi materyallerinden elde edilen kazançtır (IMS, 2000b).

Diğer taraftan üretim çizelgeleme ile her bir kaynak için bir vardiyalık veya bir günlük dönemde, operasyonel olarak dakika dakika yada saat saat iş planları oluşturulur. Üretim çizelgeleme her ürün için ayrıntılı işlem alternatiflerini dikkate

alır ve optimum rota, kapasite gereksinimi, malzeme, araç gereç ve değiştirme ve hazırlık duruşlarını yönetir.

Daha da önemlisi üretim çizelgeleme, kaynakların tahsis edilmesi ve kapasite kısıtlarından meydana gelen fizibil olmayan durumları da dikkate alır. Kısa dönemli planlamanın önemi, makine ve insan kaynağının rasyonel olarak verimli kullanılmasının yanında, stratejik düzeydeki uzun dönemli üretim planlarından kaynaklanan kısıtlara da uyulması zorunluluğudur.

Üretim çizelgeleme gün içerisinde sipariş değişimlerine, makine arızalarına, malzeme stoklarına ve diğer etkenlere göre değiştirilir. Sonuçta, işletme ortamında kaynakların hangi operasyonlarla ve hangi sırada kullanılacağına bilgisi ayrıntılı olarak oluşturulur.

Planlamada etkinlik üzerine odaklanılmıştır. Satınalma ve çizelgelemede, malzeme ve kaynak ihtiyaçlarının yaratılabilmesi için talepler üretim işlerine çevrilmelidir. Genellikle, bir ya da daha fazla üretim yerleri için merkezi aktivite, birçok insanı, 3 – 12 aylık planlama ufkunu (ki bu plan tahmin ve/veya günlük, haftalık ya da aylık işletme siparişleri bilgileri ile oluşturulmaktadır.) kapsamaktadır (Proasis, 1998).

Temel olarak içeriği:

- Ne, ne zaman ve nerede yapılacak.
- Ürün aileleri ve grupları.
- Anahtar kapasiteler, oranlar ve kısıtlar.
- Envanter, fabrika ve işçilik planlamaları.
- Kampanya planlaması.
- Kaynak kullanımı dengelemesi.
- Stok ayarlaması ve yenileme hedefleri.
- Bütçe planlama.

Çizelgelemede verimlilik üzerine odaklanılmıştır. Genellikle bir insan tarafından kontrol edilen bir yer ile alakalı (atölye) aktivitelerdir. Üretim emirlerinin sıralaması ve çizelgelemesi ile ilgilendir. Çizelgeleme, tipik olarak talep kontrollü, sıkı kısıtlara sahip olan, karmaşık ve detaylandırılmış ve teslim tarihine göre çalışan bir yapıdır. Çizelgeleme, genellikle endüstriye bağlı olarak süreklidir ve bir kaç günden bir kaç haftaya kadar sürebilir.

Temel olarak içeriği (Proasis, 1998);

- Teslim tarihine göre çalışır.
- Detaylandırılmış ürünler ve kabuller.
- Rotalama
- Değişim zamanlarının minimizasyonu ve sıralaması.
- Kaynaklar arasında aktivitelerin senkronizasyonu.
- Taşıma öncelikleri, kısıtları.
- Atölye uygulaması görüntüleme.
- Değişimi yönetmek

### 3.4. Sonlu Kapasite Çizelgelemenin Tanımı

FCS ürünleri üretmek için gerekli olan operasyonların başlangıç ve bitiş zamanlarını belirleme işlemidir. Detaylı ve esnek üretim çizelgeleri üretim sisteminin fiziksel ve teknolojik kısıtlarını hesaba katılarak oluşturulur.

45 üretim işletmesinde bilgisayar destekli çizelgeleme yaklaşımının uygulanması ile ilgili olarak yapılan araştırmada, aşağıdaki dört konunun azaltılmasının amaçlandığı belirtilmiştir. Bunlar (Smith, 1989);

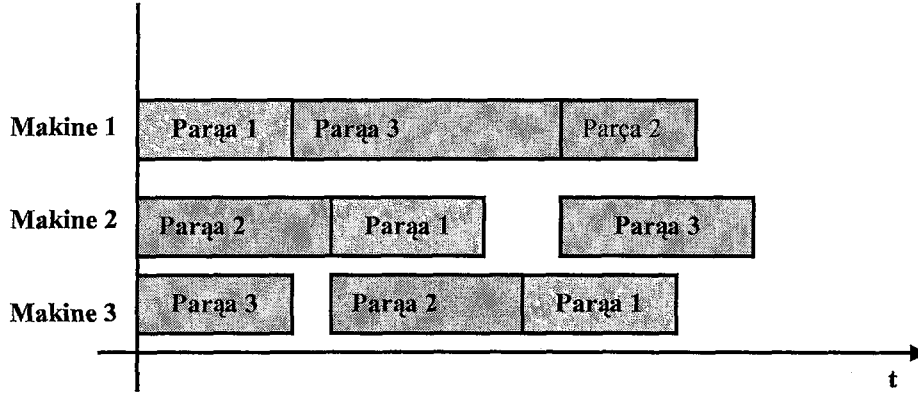
1. Termin sapmalarının minimize edilmesi.
2. Erişim zamanlarının minimize edilmesi.
3. Toplam set-up ve maliyetlerin minimize edilmesi.
4. Ara stokların minimize edilmesi.

Yine bu çalışmada belirtilmemekle birlikte üretim işletmelerinin ilgilendiği diğer önemli konu :

5. Makine kullanımının maksimize edilmesidir.

Bir operasyon için alternatif üretim metotları kullanılan çizelgeleme algoritması kriterlerine göre değerlendirilir ve seçilir. Çizelgeleme kaynaklardaki operasyonların sıralanması ve bunların gerçekleştirilmesi için kaynakların tüketimini içerir. Bu modülün çıktısı en iyi Gantt Şeması ile ortaya koyulabilir.





Şekil 3.3. Gantt Şeması (IMS, 2000b)

FCS sistemleri kolaylıkla siparişler, kapasitedeki varyanslar ve malzemenin mevcudiyeti gibi seçilmiş faktörlere göre üretim planını sebep-sonuç analizi doğrultusunda test edebilir. Bununla birlikte bu sistemler kısa dönem talepleri, üretim proseslerinin detaylı açıklaması, kaynakların kapasitesi ve kaynakların mevcudiyeti gibi konularda tam ve kesin bilgiye ihtiyaç duymaktadır.

Kapasite planlama modülünde sonlu kapasite çizelgeleme doğru ve kesin verilerin mevcut olduğu kısa dönem üretim çizelgeleri için kullanılmaktadır. İntput verilerdeki kesinlik sonucunda FCS'den elde edilen çizelgeler atölyede üretimin uygulanması için yeterince detaylıdır.

Çizelgeleme yaklaşımı detaylı, gerçekçi, senkronize ve amaç merkezli optimizasyonu sağlamalıdır. Çizelge tüm üretim kaynaklarını kapsamlı ve ayrıntılı olarak zaman bazlı operasyonları tanımlamalıdır. Değişiklikler karşısında esnek olmalı ve maliyet azaltımı konusunda görülür faydalar sağlamalıdır (Commit, 1996).

Hesaplama karmaşıklığı açısından bakıldığında; bu problemler pek çok alt bileşenden oluşur ve orta ölçekli bir problemin bile çözümünde optimizasyon teknikleriyle en gelişmiş bilgisayarlar kullanıldığında dahi optimal sonucu elde etmek çok fazla zaman alır. Çare, anlatılmış olan modellerin basitleştirilmiş uyarlamalarını ve buluşsal algoritmalar kullanarak, optimal altı, ancak tatmin edici ölçüde etkin sonuçlar elde edilebilmektedir. Son dönemlerde kabul edilebilir çözümler üretebilmek yapay zeka, yerel arama teknikleri, genetik algoritmalar, yapay zeka ağları, kısıt programlama ve OPT'ye dayalı çözüm teknikleri geliştirilmiştir.

Ancak araştırma sonuçları göstermektedir ki, bu tip buluşsal prosedürlerin başarısı çizelgeleme problemine göre değişmektedir ve belirli bir problemle ilgili performansı

önceden tahmin etmek neredeyse imkansızdır. Bu nedenle, çizelgeleme sisteminin üretim sistemlerinin geniş bir aralığında uygulanabilir olması için, çizelgeleme sisteminin bünyesinde farklı çözüm teknikleri barındırması ve özelleştirilmiş algoritmaları desteklemesi gerekmektedir.

### **3.5. Sonlu Kapasite Çizelgeleme İle İşletme Fonksiyonları Arasındaki İlişki**

İşletmelerde üretim çizelgeleme ile işletmenin kritik süreçlerinden olan üretim planlama, satış ve bütçeleme ve shop floor control gibi süreçlerle direk ilişkilidir. Bu ikili ilişkiler doğrultusunda bir tarafta alınan bir karara göre, diğer taraf etkilenir ve/veya oluşturulur (IMS, 2000b).

#### **3.5.1. Üretim Çizelgeleme İle Üretim Planlama Arasındaki Etkileşim**

Bu iki proses, uzun ve kısa dönemli üretim planlarına göre verimliliği artıracak yönde birbirlerini etkilerler. Çizelgeleme, üretim planlama prosesini uygulamaya yaklaştırarak, planların fizibil olup olmadığını kanıtlar. Üretim çizelgeleme işlemi ile operasyonel düzeyde bir uygunsuzluk tespit edildiğinde, planlama işlemi tarafından stratejik düzeyde gereken tedbirler alınır.

Bu nedenden dolayı, gerçekçi ve güvenilir bir üretim planı oluşturabilmek için planlama işleminin çizelgeleme işlemi ile senkronize olması gerekir. Bu yaklaşım müşteri isteklerinin yerine getirilirken, işletmenin stratejik düzeyde hazırladığı planların operasyonel düzeyde uygulanması sırasında, fizibil olmayan bir durumla karşılaşma riskinden korur.

Planlama departmanı üretim çizelgelemede anahtar rolü üstlenmektedir. İşletmede üretim prosesleri ile ilgili detaylı bilgilere planlama bölümü sahiptir ve veri altyapı sisteminin oluşturulmasını ve yönetilmesini sağlayabilir. Bu veriler, kaynaklar, ürünler, rotalar ve malzemeler hakkında bilgiler içerir.

Planlama yetkilileri üretimi planlar ve üretim çizelgeleri oluştururlar. Satış görevlileri tarafından sağlanan müşteri talepleri ve stok kontrol görevlileri tarafından sağlanan malzeme ihtiyaç planları, çizelgeleme prosesi için girdi oluştururlar.

Planlama yetkilileri üretim çizelgeleme sistemi yardımıyla veya manuel olarak planlama periyodunu belirlerler ve bu periyotta çizelgeler oluştururlar. Alternatif çizelgelerin değerlendirilmesi için istatistiki karşılaştırmalar ve değerlendirme kriterleri belirlerler. Bu kriterler ve istatistiklere göre performans değerlendirme kriterleri oluşturulur. Eğer gerekli ise arzu edilen çizelgelemenin oluşturulması için gelişme yolları araştırılır ve çizelgenin üretime verilip verilemeyeceğine karar verilir.

Planlamacılar satış görevlileri ile satış planları hakkında görüşürler. Benzer olarak malzeme ihtiyaç planı da gözden geçirilir. Planlama yetkilileri gelişen değişiklikler sonucunda mevcut çizelgenin geçerli olup olmadığına karar verip gerekirse yeniden çizelge oluştururlar.

Aynı zamanda üretim yetkilileri ile görüşülür ve gerçekleşen üretim kontrol edilir. Arıza duruşları gibi aksaklıkları ve realize olan üretim verilerini takip edilir. Bu verilere göre gerçekleşen olayların yeniden çizelgeleme gerektirip gerektirmediğine karar verilir.

Planlama bölümü çizelge sonuçlarına göre gerekirse orta ve uzun vadeli üretim planlarını da günceller. Kısa periyotlu çizelgeleme aktivitelerinin yanında planlamacılar ayrıca simülasyon analizleri ile müşteri siparişlerinin maksimum olduğu durumları, stok oluşturma stratejilerini, yeni ürün üretme yada dış kaynakları kullanma fırsatlarını dikkate alarak gelecekteki üretim planlarını geliştirirler.

Planlama bölümü gerçekleşen çizelge istatistikleri ile üretimin performansını üst yönetime raporlarlar. Bunun yanında simülasyon senaryo sonuçlarını da üst yönetime sunarlar.

### **3.5.2. Üretim Çizelgeleme İle Satış ve Bütçe Bölümü Arasındaki Etkileşim**

Satış yetkilileri müşteri isteklerini siparişe dönüştürerek üretim için talep oluştururlar. Satış işlemlerini gerçekleştirirler. Müşterilere üretim termini ile ilgili bilgi verirken, planlama departmanına da müşteri siparişlerindeki erteleme, iptal etme, önceliklendirme miktar azaltma veya artırma konusunda bilgilendirirler.

Üretim çizelgeleme satış bölümünün oluşturduğu tahmini veya realize edilmiş sipariş bilgilerini ana girdi verisi olarak kabul eder. Planlama işleminin fizibil olup olmadığı

kanıtlandığı gibi, termin yönetimine göre oluşturulmuş olan satış planlarının uygulanabilirliğini ortaya koyar. Özellikle gecikmeler yaşandığında çizelgeleme sonuçları kullanılarak, yüksek kayıplar doğabilecek durumlarda, termin konusunda daha sağlıklı sözler verilebilir.

Diğer yandan satış planlarındaki erteleme, iptal etme, miktar azaltma, miktar artırma veya önceliklendirme gibi güncellemeler çizelgeyi direk etkiler ve yeniden çizelgeleme gerekebilir.

### 3.5.3. Üretim Çizelgeleme İle Atölye Düzeyi Kontrolünün Etkileşimi

Atölye düzeyi control işlemleri üretim, set-up, taşıma, kalite kontrol gibi fiziksel işlemlerdir. Çizelgeleme sonuçları, atölye işlemlerine sıralama, zamanlama işlem talimatları yoluyla yön verilmesi ve kontrol edilmesinde kullanılır.

Üretim görevlileri işletmenin kontrolünden sorumludur. Gerçekleşen proses zamanları, hurda oranları, kaynak verimlilikleri ve diğer konularda planlama bölümünü bilgilendirirler. Dahası makine arıza duruşları, malzeme yokluğu gibi beklenmedik durumları planlama bölümüne raporlarlar.

Üretim çizelgeleme ile shop-floor control işlemleri birbirlerini çeşitli aşamalarda etkilerler. Bu etkileşimde, çizelge ile atölyenin reel durumunun senkronize olmasına yoğunlaşılır.

İlk aşama, herhangi bir çizelgeleme yapmadan önce atölyenin mevcut durumunun ortaya çıkarılmasıdır. Üretim, sürekli bir işlem olduğundan, herhangi bir “t” anında işlemlerin bir kısmı tamamlanmış, bir kısmı başlamak üzere fakat bir kısmı da kısmen tamamlanmıştır. Çizelgelemenin bu tip henüz tamamlanmış durumda olan üretim işlemlerini de dikkate alması gerekir.

Üretim çizelgeleme, reel üretimin beklendiği şekilde olacağını kabul eder. İşlem zamanları, ortalama makine kullanımı beklenen hurda, arıza duruşları gibi hesaplamalar bu kabule göre yapılır. Bu parametrelerin hiçbiri gerçek zamanlı üretimdeki değişikliklere duyarlı değildir. Operasyonlar daha uzun sürebilir, kaynak verimlilikleri teorik değerlerden farklı olabilir veya hurda oranının artmasından dolayı planlanan miktardan daha az üretim yapılabilir. Bu nedenle, çizelgeleme ile

reel üretim bilgilerinin senkronize olması ve uygulama ile ilgili daha doğru gelecek tahminleri üretebilmek için üretim çizelgeleme sık sık güncellenir.

Ayrıca arıza duruşları, operasyon hataları, hammadde eksikliği ya da malzeme kalitesinin düşüklüğü nedeni ile meydana gelen aksamalar sonucunda çizelgeleme sonuçları tutarsızlaşır. Bu nedenle yeniden çizelgeleme yapmak gerekir.

#### **3.5.4. Üretim Çizelgeleme İle Satın Alma Bölümü'nün Etkileşimi**

Satınalma bölümü malzeme ihtiyaç planını oluşturur. İhtiyaç planları ile gerçekleşme durumlarını takip eder ve iptaller, talep edilen miktardaki artış yada azalışta, teslim günündeki gecikme yada erken teslimler konusunda planlama bölümünü bilgilendirir.

Üretim çizelgeleme, mevcut kaynaklar ve erişim kısıtları ile malzeme ediniminin gerçekleşmesini sağlar. Öte yandan hammadde planlamada meydana gelen iptal, erteleme, miktar artırma yada azaltma gibi değişiklikler çizelgelemenin yeniden yapılmasını gerektirir.

#### **3.5.5. Üretim Çizelgeleme İle Ürün Proses Geliştirme Bölümü'nün Etkileşimi**

Sistem analistleri gerçekleşen çizelge analizlerini ve iş etüdü analizlerini oluştururlar. Kapasite kullanımı ve darboğaz tepiti konularına yoğunlaşırlar. Eğer mümkünse, üretimi dikkate alarak yerleşimin değiştirilmesi ile malzeme akış alternatiflerini ve proses geliştirmelerini araştırırlar.

Periyodik olarak yapılan çizelgeleme aktiviteleri, sistem analistleri için üretim sistemindeki darboğazları tespit etmek için çok önemli bir kaynak oluşturur. Darboğazların yanısıra, malzeme akışındaki verimsizlikler simulasyon analizleri ile tespit edilip çözülebilir. Üretim çizelgeleme ile gerçekleşmiş üretim arasındaki farklara ait geçmiş kayıtlar ürün proses geliştirme prosedürlerine üretim verimliliğini artırmak için yön verirler.

#### **3.5.6 Üretim Çizelgeleme İle Yönetim Fonksiyonu'nun Etkileşimi**

Planlama bölümünün ve sistem analistlerinin raporları doğrultusunda eğer gerekli ve uygun ise teknolojik yatırımlara karar verirler. Daha önemlisi, simulasyon senaryo

sonuçlarına göre satış ve promosyon stratejilerinin oluşturulması aşamasında karar verme prosesinde kilit rol oynarlar.

### **3.6. Sonlu Kapasite Çizelgeleme Probleminin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanı**

Yöneylem araştırma yönteminde, birçok akademik araştırmacılar yıllar boyu çizelgeleme problemi hakkında çalıştılar. Teorik olarak çizelgeleme problemleri bir makine, paralel makineler, akış tipi, atölye tipi gibi kategorilerde hem deterministik hem de stokastik olarak modellendiler. Her kategorinin kendi varsayımları, kuralları, kısıtları ve optimum koşulları bulunmaktadır. Basit bir üretim çevresinde bile pazarın talebine uyum sağlamak ve tesisi etkin bir biçimde bu talebe uygun olarak yönlendirmek sorun olmaktadır. Üretim yöneticileri ve yöneylem araştırmacıları 1950’li yıllardan beri bu konuda çalışma yapmaktadırlar (Çelikçapa, 1999).

Gerçek uygulamalarda örneğin büyük ölçekli üretim endüstrilerinde ise karmaşık ve melez yapılar mevcuttur. Teorik modellerle gerçek uygulamalar arasındaki en belirgin farklardan biri, çizelgelemenin statik bir yapı değil sürekli bir proses olmasıdır.

Yeniden çizelgeleme, pratikte çizelgelemenin temel kavramlarından biridir. Beklenmedik olaylar veya eklenen yeni görevler mevcut çizelgelere küçük veya büyük modifikasyonlar getirebilir. Yeniden çizelgeleme sıfırdan yeni bir çizelge değil mevcut çizelgenin üzerine gelişen değişikliklerin yansıtılması ile oluşturulur.

Üretim çizelgelemede birçok endüstride yaygın olan kaynaklar, kapasite vardiya, arizi duruşlar, set-up, hurda, rota, malzeme ağacı gibi kavramlar yer alır. Sıkça karşılaşılan kısıtlar arasında kaynak kullanım oranı, termin, set-up süresine dayanan sıralama, diğer sıralama kuralları, operasyon bölümlene, öncelik kısıtları, makine uygunluk kısıtları sayılabilir. Çizelgeleme problemlerinin birçoğu, işgücünün vardiyalar ve fazla mesailer içinde tahsis edilmesi ile ilişkilidir. İş yükünün fazla ve terminlerin sıkışık olduğu zamanlarda, sevk tarihlerine uyabilmek için fazla mesai ve ekstra mesailer konulabilir.

Bununla birlikte bu tür kavramların farklı endüstrilerdeki uygulamaları birbirlerinden farklılık gösterir. Örneğin çelik üretimindeki teknolojik kısıtlar sıhhi tesisat

üretiminden çok farklılık gösterir yada çimento üretimi çini üretimine göre çok daha özel ve fazla sayıda prosese sahiptir.

Değişik endüstrilerde, endüstrinin sahip olduğu belirli öncelik ve ağırlıklandırmaya göre çeşitli hedefler tespit edilir. Bu hedeflere set-up tekrarının minimizasyonu, kaynak kullanımının maksimizasyonu yada termin gecikmelerinin minimizasyonu örnek olarak gösterilebilir. Bu hedefler zaman içinde birbirleri ile çatışabilir, öncelikler değişebilir. Bu değişiklikler üretimin mevcut durumuna bağlıdır.

Bu nedenden dolayı üretim çizelgeleme prosesinin kuralları genel olarak her alanda kullanıldığı gibi her üretim prosesinin özel amaçlı yapıları da bulunmaktadır. Modelleme ve çözüm aşamasında bu özel gereksinimler dikkate alınır.

Süreç olarak zaman dikkate alındığında çizelgeleme aşağıdaki proseslerde kullanılır (Ünal, 1999);

- Kısa Vade
  - Departman bazında tezgah yüklemede (detaylı sıralama kapasite analizi).
  - Option bazlı anahat sıralamasında.
  - Kısa tedarik süreli malzeme alım planlamasında.
  - Ara stok planlamasında.
  - Tek yerleşkede departmanlar arası senkronizasyonda.
  - Termin bazlı lot miktarı belirleme ve ürün stok planlaması.
- Orta Vade
  - İş gücü planlamasında.
  - Malzeme Tedarik Planlamasında (uzun tedarik süreli).

- Tedarik zinciri ara stok planlamasında.
- Tedarikçi iş yüklemesinde.
- Finans planlamasında.

### 3.7. Sonlu Kapasite Çizelgelemede Veri Gereksinimi

Toplu olarak baktığımızda çizelgeleme için aşağıdaki veri gruplarına ihtiyaç duyulur;

- Zaman Birimleri
- Yenilenebilir ve Tüketilen Kaynaklar
- Vardiya Çeşitleri ve Kaynak Atamaları
- Ürünler ve Ürün Ağaçları
- Rotalar ve Operasyon Alternatifleri
- Siparişler

### 3.8. Sonlu Kapasite Çizelgeleme Kriterleri

Çizelgeleme hazırlanırken ve sonuçları analiz edilirken aşağıdaki kriterlerden biri yada birkaçı aynı zamanda kullanılabilir (Ünal, 1999);

- Termin Zamanı Bağımlı Kriterler
  - Toplam Geç Kalma Süresi
  - Toplam Geç Kalan İş Adedi
- Ara Stok ve Bekleme Süresi Bağımlı Kriterler
  - Toplam Akış Süresi
  - Toplam Bekleme Süresi
  - En Geç Bitiş Zamanı



- JIT Kriterleri
  - Ağırlıklı Geç Kalma ve Erken Bitme Kriteri
- Çok Parametrelı Kriterler
  - Toplam İş Akış Süresi ve Toplam Geç Kalma Süresi
  - Toplam Hazırlık Süresi, Toplam Bekleme Süresi ve Toplam Geç Kalma Süresi



## 4. ÇİZELGELEME TEKNİKLERİ

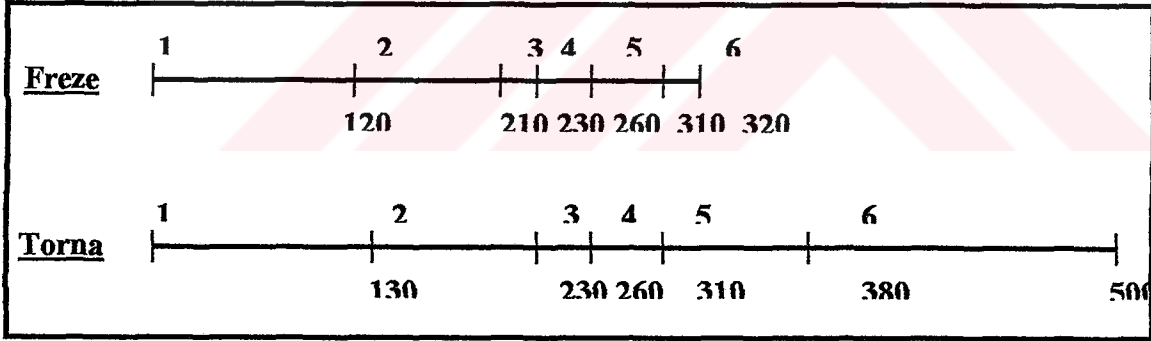
### 4.1. İki Makine İş Sıralaması

Önce freze sonra da torna tezgahından geçme zorunluluğu olan aşağıdaki gibi 6 adet işimiz ve işlem süreleri (saat) olduğunu düşünelim. Bu işleri sıralamanın en mantıksız yolu, oldukları halde onları bırakmak yani 1,2,3,4,5,6 sırasını oluşturmaktır (Woolsey ve Maurer, 1992).

Çizelge 4.1. Örnek İşlem 1 (Woolsey ve Maurer, 1992)

İş	1	2	3	4	5	6
Freze	120	90	20	30	50	10
Torna	10	20	30	40	70	120

Bunun gösterimini aşağıdaki Gantt tablosu ile daha iyi açıklamak mümkündür. Aşağıdaki tabloda 1,2,3,4,5,6 işleri zaman çizgisi içinde yerleştirilmiştir. İş numaraları tablonun üzerinde olup, işin tamamlanma zamanı çizginin altında sağa doğru yazılmıştır.



Şekil 4.1. İşlem 1 Gantt Şeması (Woolsey ve Maurer, 1992)

Yukarıdaki şemaya ilk bakıldığında 1. İşin frezede 120 saat sürdüğü görülür. Bunun anlamı, eğer ilk yapılacak iş bu işlem ise torna tezgahı 120 saat boyunca hiçbir şey yapmadan bekleyecektir. Buna başlangıç boş zamanı denir. Eğer 1. İşten sonra 2. İş yapılacaksa torna tezgahı 80 saat daha bekleyecektir. En sonunda ise freze tezgahı torna tezgahında işlerin bitmesini 180 saat bekleyecektir. Bu süreye de bitiş boş zamanı denir.

İlk ve son boş zamanları minimize etmek için bir sıralama yapılması gerekmektedir. Bunu azaltmak demek, iki makinedeki işlerin çalışma başlama ve bitiş zamanlarının birbirine yakın yapılması anlamına gelir. Şu bir gerçektir ki, freze tezgahında en kısa süren işi en başa alarak torna tezgahının bekleme süresi minimize edilebilir. Bu sayede başlangıç boş zamanı azaltılır. Aynı mantıkla, torna tezgahında en kısa süren işi en son sıraya alarak bitiş boş zamanı minimize edilir. Bu mantık dizisi ile Johnson Kuralı elde edilmiştir.

#### 4.2. Johnson İki Makine Çizelgeleme Algoritması

Johnson algoritması aşağıdaki 4 adımdan oluşmaktadır (Woolsey ve Maurer, 1992);

1. Herhangi bir makinedeki herhangi bir iş için en kısa işlem zamanı bulunur.
2. Eğer bu süre ilk makinede ise, o iş sola yerleştirilir.
3. Eğer bu süre ikinci makinede ise, o iş sağa yerleştirilir.
4. Bu işin üzerini çizilir ve birinci adıma geri dönülür.

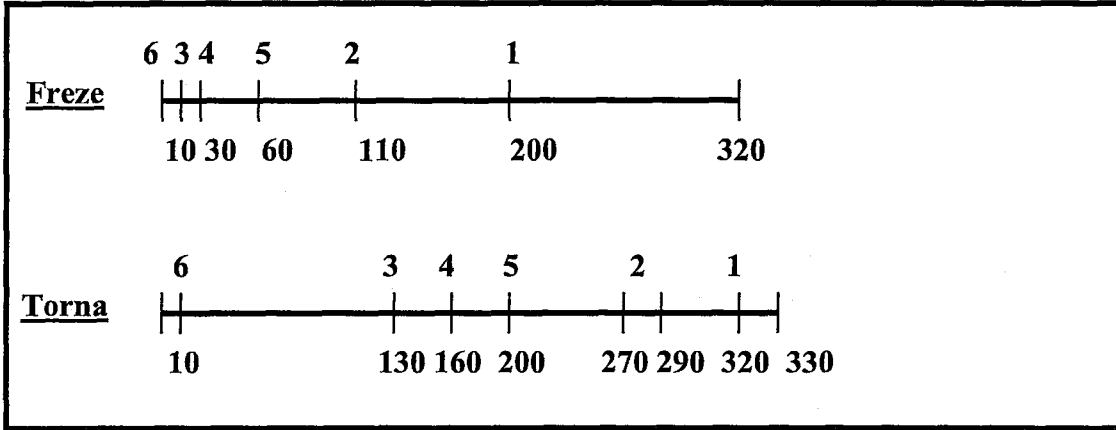
Tüm işler yukarıdaki algoritmaya göre sıralanır. Aşağıdaki örnekte bu kuralın nasıl uygulandığı adım adım görülmektedir.

Çizelge 3.1'deki örnek işlemi dikkate alarak yukarıdaki kuralları dikkate alırsak iki makinedeki en kısa işlem zamanlarının iş 1 ve iş 6 ya ait olduğu görülmektedir. Fakat iş 1'deki süre ikinci makine olduğu için 1. İşlem sağa yerleştirilir ve “\_ \_ \_ \_ \_ 1” sırası oluşur. Ayrıca iş 6'daki süre birinci makinede olduğu için iş 6'yı sola yerleştirilmelidir. Böylece “6 \_ \_ \_ \_ 1” sırası oluşur.

İş 1 ve iş 6 sıralandıktan sonra kalan işler arasında tekrar en kısa işlem zamanı arandığında bunların iş 2 ve iş 3 oldukları görülür. İş 2 ikinci tezgaha ait olduğu için sağ tarafa iş 3 birinci tezgaha ait olduğu için sol tarafa yerleştirilmesi gerekir. Bu işlemlerden sonra “6 3 \_ \_ 2 1” sırası oluşur.

İş 2 ve 3'ün yerleştirilmesinden sonra en kısa işlem süresi olan 30 saat birinci tezgahdaki 4. İşte bulunmaktadır. Bu sebepten 4. İş sol tarafa yerleştirilir ve “6 3 4 \_ 2 1” sırası elde edilir. 5. İş son kalan iş olduğu için o geri kalan aralığa yerleştirilir ve “6 3 4 5 2 1” sırası elde edilir. Buna göre Johnson Algoritması işletilmiş olur.

Eğer bu sıralamanın Gantt şeması oluşturulursa aşağıdaki grafik oluşur.



Şekil 4.2. Johnson Algoritması Gantt Şeması

Torna tezgahı 6. İşin ikinci kısmına başlamadan önce geçen başlangıç boş zamanı sadece 1 saattir. Ayrıca torna tezgahında 1. İşin ikinci kısmı için geçirilmesi gereken bitiş boş zamanı sadece 10 saattir. Sonuç olarak başlangıçtan bitişe kadar tüm işlerdeki toplam boş zaman 40 saattir. Hatırlanacağı gibi ilk yapılan 1,2,3,4,5,6 sıralamasında işler toplam 500 saatte bitmiş ve toplam boş zaman süresi 210 saat olarak gerçekleşmiştir. Bunun yanında yukarıdaki sıralamada tüm işler toplam 330 saat sürmüş ve makineler sadece 40 saat boş kalmıştır. Özet olarak Johnson Algoritması kullanılarak 170 saatlik boş zaman kazancı sağlanmıştır.

Bu yöntem için kaç adet işiniz olduğu önemli değildir. 1000 adet sıralanacak iş olsa bile Johnson Algoritması ile en verimli sonuç bulunabilir. Fakat mutlaka sıralı iş yapan iki tane makine olması gerekmektedir. Sürekli olarak birinci makine ikinci makineyi takip etmelidir. Ayrıca bu metot simetriktir. Soldan sağa yada sağdan sola çalışan bir metottur.

### 4.3. Üç Makine Çizelgeleme Algoritması

Eğer üç adet işlem veya makinemiz varsa Johnson Algoritması bu sıralamayı yapamaz. İşlem sürelerinde baskınlık olduğu durumda aşağıdaki algoritma kullanılır. Makinelerdeki işlerin birbirini takip ettiği aşağıdaki 5 işli örnek incelenebilir.

Çizelge 4.2. 3 Makine Örnek İşlem

İş	Freze	Torna	Matkap
1	7	5	10
2	8	2	10
3	7	6	9
4	13	1	8
5	7	2	11

Her şeyden önce işlerin sürelerine bakılır. Dikkat edilirse torna tezgahındaki en uzun işlem zamanı frezedeki en kısa işlem zamanından kısadır. Ayrıca yine tornadaki en uzun işlem zamanı matkaptaki en uzun işlem zamanından kısadır. Yukarıdaki bu duruma baskınlık denir. Eğer freze tezgahı matkap tezgahından baskınsa veya matkap tezgahı torna tezgahından baskınsa bu yöntem uygulanabilir. Fakat her ikisinin de aynı anda olması şart değildir. Eğer torna tezgahındaki en uzun işlem zamanı her zaman freze tezgahındaki en kısa işlem zamanından küçükse, matkap tezgahı daha çok freze tezgahındaki işlerin bitmesini bekler.

Simetriden dolayı eğer matkap tezgahındaki işlem zamanları daima tornadaki işlem zamanlarından büyükse aynı şey ters yönde söylenebilir. Bu tip problemler iki makine problemi haline getirilebilir. Burada yapılacak iş işlem zamanlarını toplamaktır. Basitçe freze ve torna tezgahı işlem zamanları ile torna ve matkap tezgahı işlem zamanlarını toplamaktır.

#### 4.4. Johnson Algoritması İle Baskınlı 3 Makine İş Çizelgelemesi

Üç Makineli iş sıralaması verildiğinde aşağıdakiler kontrol edilir:

- Birinci makinedeki en kısa işlem zamanı  $\geq$  ikinci makinedeki en uzun işlem zamanı yada,

- Üçüncü makinedeki en kısa işlem zamanı  $\geq$  ikinci makinedeki en uzun işlem zamanı

İkinci makinedeki en uzun işlem zamanı, birinci yada üçüncü makinedeki en kısa işlem zamanından küçük veya eşitse bu işlem uygulanabilir.

1. Üç makine probleminden iki makine problemi oluşturulur. İlk iki işlem zamanının toplamı birinci makine grubunun işlem zamanlarını, ikinci iki işin zamanları toplamı ikinci makine grubunun işlem zamanını oluşturur.
2. Bu iki yeni makine grubu Johnson iki makine problemi gibi çözülür.

Çizelge 4.3. 2 Makine Problemine İndirgeme

İş	Freze	Torna	Matkap	Freze + Torna	Torna + Matkap
1	7	5	10	12	15
2	8	2	10	10	12
3	7	6	9	13	15
4	13	1	8	14	9
5	7	2	11	9	13

Johnson 2 makine iş sıralama Algoritması'nı bu oluşuma uygulanırsa, 5. İşin 9 olan en kısa işlem zamanı birinci makine grubunda olduğu için sola yerleştirilir. Dördüncü işteki en kısa işlem zamanı olan 9 sağa yerleştirilir ve "5 \_ \_ \_ 4" sırası elde edilir. Bu iki işi yerleştirdikten sonra geriye kalanlar içinde 2. İş en kısa işlem zamanına sahiptir ve sola yerleştirilir. Birinci iş 12 saatlik işlem zamanı ile 2. İşten sonra soldaki yerini alır ve kalan yere 3. İş yerleştirilir. Buna göre sıralama "5 2 1 3 4" haline gelir.

Daha önce belirtildiği gibi bu yöntem sıralanacak kaç tane iş olursa olsun çalışır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için gereken şartlar, üç işlemin olması, tüm işlerin aynı sırada yapılması ve baskınlığın olmasıdır.

#### 4.5. M Makine İş Çizelgesi

Eğer üç veya daha fazla iş mevcutsa ve baskınlık mevcut değilse nasıl çizelgeleme yapılır sorusu akla gelmektedir. Bunun için J.N.D Gupta'nın çalışması incelenebilir. Örneğin A,B,C,D,E gibi 5 adet işlem ve 4 tane işin mevcut olduğu ve bütün işlerin aynı sırada yapıldığı aşağıdaki örnek dikkate alınabilir.

Çizelge 4.4. Beş Makine İşlem Süreleri

İş	A	B	C	D	E
1	4	3	7	2	8
2	3	7	2	8	5
3	1	2	4	3	7
4	3	4	3	7	2

Gupta, bu işleri sıralayabilmek için bazı yollara ihtiyaç olduğuna dikkat çekmiştir. Bu yüzden en kısa ilk işlem zamanı olan işi, ilk iş için en iyi aday olarak görmüştür. Aynı şekilde son işe en iyi aday, son işlem zamanı en kısa olan iştir. Bunları yaptıktan sonra diğer işleri sıralamak için yeni bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır.

Eğer bir iş için ilk işlem zamanı son işlem zamanından küçük ise, bu iş ilk işlem olmak için iyi bir adaydır. Bu işler pay-1 olarak adlandırılır. Aynı şekilde bir iş için son işlem zamanı ilk işlem zamanından büyük ise, bu iş son işlem olmak için iyi bir adaydır. Bu işler de pay+1 olarak adlandırılır. Böylece işler ikiye bölünmüş olur.

Gupta daha sonra yan yana olan işlemleri soldan sağa doğru ikiye ikiye toplamıştır (A+B, B+C, C+D, D+E). Daha sonra her iş için bu toplamaların en küçüğünü seçip, bu sayıyı payda olarak almıştır. Kısacası, pay hangi yönde yerleştirme yapılacağını, payda ise nereye yada ne kadar uzağa yerleştirme yapılacağına karar verir.

#### 4.6. Gupta'nın M makine için İş çizelgeleme Yöntemi

Kural şu şekilde açıklanabilir; M tane makineden geçecek işler verilir ve her işin pay ve payda değerleri belirlenir (Gupta, 1971).

- Eğer ilk makinedeki işlem zamanı son makinedeki işlem zamanından büyük veya eşitse pay değeri +1, ilk makinedeki işlem zamanı son makinedeki işlem zamanından küçükse pay değeri -1'dir.
- Payda soldan sağa toplanan işlem zaman çiftlerinin en küçüğüdür.
- En iyi sıralama en küçük işlem zamanı değerinden en büyük işlem zamanına doğru giden değerlerden oluşur.

Çizelge 4.5. Gupta Metodu Örnek Çizelge

İş	A	B	C	D	E	Değer
1	4	3	7	2	8	-1/7
2	3	7	2	8	5	-1/9
3	1	2	4	3	7	-1/3
4	3	4	3	7	2	+1/7

1. İşin A makinesindeki işlem zamanı 4, E makinesindeki işlem zamanı ise 8'dir. Bu yüzden pay değeri -1'dir. İkinci iş için A noktasındaki işlem zamanı 3, E noktasındaki işlem zamanı ise 5'dir. Bu yüzden pay değeri -1'dir. 3. İş için  $1 < 7$  olduğu için pay değeri -1'dir. 4. İş için  $3 > 2$  olduğundan pay değeri +1'dir.

1. iş için (4+3), (3+7), (7+2) ve (8+2) değerlerinden en küçüğü 7 olduğundan payda 7'dir. 2. İş için ise (3+7), (7+2), (2+8) ve (8+5) değerlerinden en küçüğü 9 olduğundan payda 9'dur. 3. İş için ise (1+2), (2+4), (4+3) ve (3+7) değerlerinden en küçüğü 7 olduğundan payda 7'dir.

Bu değerleri her iş için küçükten büyüğe doğru sıraladığımızda, şu sıra elde edilir. (-1/3), (-1/7), (-1/9) ve (+1/4) dür. Bu sıralamadan anlaşılacağı gibi en iyi sıralama 3,1,2,4 olarak gerçekleşir.

Gupta'nın yöntemi optimum değildir. Fakat algoritma üzerinde yapılan geniş çaplı uygulamalar göstermiştir ki problem büyüdükçe bu metot daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu konuda merkezi limit teoreminin etkili olduğu söylenmekle birlikte,



problemin büyümesiyle oluşan kombinasyon sayısı da artmakta ve bu artışın çözüme ulaşmada etkili olacağı unutulmamalıdır.

Gupta'nın çizelgeleme algoritması uygulama dahilinde ne kadar işlem ve ne kadar iş olduğunu göz önüne almadan çalışır. Bu algoritmanın ilgilendiği tek kısıt tanımlanan işlerin aynı sırada işlemlere tabi olmasıdır.

#### 4.7 Sıra Önemli 2 Makine İşlerin Çizelgenmesi

Şu ana kadar bütün işlerin aynı sırada soldan sağa doğru işlem göreceği varsayımına dayanılarak çizelgenmiştir. Şimdi bu varsayımı kaldırıp 2 makineli çizelgeleme işlemi incelenecektir. Bu sayede M adet makine olan işlerin çizelgenmesi daha kolay anlaşılabilir. Şimdi aşağıda verilen ve belli bir düzene sahip olan işlerin iki makinede en kısa toplam işlem zamanı elde edecek şekilde sıralanması işlemi yapılacaktır. Bunun için Jackson Algoritması kullanılacaktır.

##### 4.7.1 Jackson Metoduna Göre Sıra Önemli 2 Makine İşlerin Çizelgenmesi

Bu algoritma aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

1. Sadece 1. Makinede (A) yapılan işler herhangi bir sırada yazılır.
2. Sadece 2. Makinede (B) yapılan işler herhangi bir sırada yazılır.
3. Her iki makinede A-B sırasında yapılan işler, Johnson 2 makine algoritmasına göre sıralanır.
4. Her iki makinede B-A sırasında yapılan işler, Johnson 2 makine algoritmasına göre sıralanır.
5. A makinesi için en iyi çizelge, 3. basamakta elde edilen sıranın yanına 1. basamaktan elde edilen, onun yanına da 4. basamaktan elde edilen işler yazarak oluşturulur.
6. B makinesi için en iyi çizelge, 4. basamakta elde edilen sıranın yanına 2. basamakta elde edilen, onun yanına da 3. basamaktan elde edilen işler yazarak oluşturulur.

Çizelge 4.6. Sıralı 2 Makine Metodu Örnek Çizelge

İşler	Freze	Torna	Sıra
1	20	0	F
2	70	40	F-T
3	30	60	F-T
4	0	70	T
5	10	30	F-T
6	30	10	T-F
7	20	70	T-F
8	0	40	T
9	40	0	F

Yukarıdaki örneğe Jackson metodu şu şekilde uygulanır. İlk önce sadece freze tezgahında işleme girecek işler alınır. Bu işler alınırken herhangi bir sıralama kısıtı dikkate alınmaz. Sadece freze tezgahında işlem görececek işler 1. ve 9. işlerdir. Daha sonra sadece torna tezgahında işlem görececek işler alınır ve aynı yaklaşımla bu işler herhangi bir sırada yerleştirilir. Sadece torna tezgahında işlem gören işler 4. ve 8. İşlerdir.

Şimdi 2 makineli iş sıralama problemlerine geçilir ve freze-torna sırasında işlem gören işler dikkate alınır. Bu şekilde sadece 3 adet iş olduğundan problem aşağıdaki tablodaki gibi oluşur.

Çizelge 4.7. Sadece F-T Sırasında İşlem Görececek İşler

İşler	Freze	Torna	Sıra
2	70	40	F-T
3	30	60	F-T
5	10	30	F-T

Yukarıda en kısa işlem zamanı 5. işte olduğu için, ilk işleme 5. iş alınır. Daha sonra yine yukarıdaki tabloda en kısa işlem süresi 30 saat ile 3. işe eşittir ve ikinci işleme girecek olan iş 3. iştir. Son olarak 2. iş işleme girer ve freze-torna işleri için (5,3,2) çizelgeleme sırası oluşur.

Geriye kalan 2 makineli iş sıralama problemini oluşturan işler 6. ve 7. işlerdir. Yukarıdaki algoritmaya göre bu problemi ele aldığımızda iş sıralamasının önce 6. sonra da 7. iş olduğu görülür.

Şu ana kadar sadece freze tezgahında, sadece torna tezgahında, sırasıyla freze ve torna tezgahlarında yada sırasıyla torna ve freze tezgahlarında işleme girecek olan işler çizelgelenmiştir.

İlk önce torna tezgahında ikinci işlemini görecektir işlerden başlayarak freze tezgahı sıralamasının oluşturulması gerektiği kesindir. Bu işler de freze-torna tezgahları sıralı işlerdir. İki makineli iş sıralama yöntemi optimum sonuç verdiği için bu sıralamanın optimum sonuç verdiğini bilerek aşağıdaki Gantt şeması ile sıralamaya başlanabilir.

Çizelge 4.8. Örnek sıralama 1

Freze	(5,3,2)
Torna	

Simetriden dolayı freze için freze-torna sıralı işleri ilk alındığından, torna içinde torna-freze işleri ilk olarak alınır ve Gantt şeması ile işler sıralanır.

Çizelge 4.9. Örnek sıralama 2

Freze	(5,3,2)
Torna	(6,7)

Bu sıralamalar ile başladıktan sonra verilmesi gereken karar freze tezgahı için hangi işlerin ikinci grup olarak sıralanacağıdır. 6. iş hala torna tezgahında işlem göreceğinden dolayı, güvenlik için ikinci konulacak işler sadece freze operasyonu gören işler olmalıdır. Yine simetriden dolayı torna tezgahı için de sadece torna tezgahında işlem gören işleri ikinci sırada yerleştirilmelidir ve bu da aşağıdaki sıralamayı verir.

Çizelge 4.10. Örnek sıralama 3

Freze	(5,3,2)(1,9)
Torna	(6,7)(4,8)

Freze tezgahı için sadece torna – freze tezgah sıralı işler ve torna tezgahı için de sadece freze – torna tezgah sıralı işler kaldığından onlar da tabloya yerleştirilerek sıralama tamamlanmış olur.

Çizelge 4.11. Örnek sıralama 4

Freze	(5,3,2)(1,9)(6,7)
Torna	(6,7)(4,8)(5,3,2)

Her iki 2 makineli işler sıralaması optimize edildiğinden ve işlemler devam ederken oluşabilecek boş zamanlar da sadece o makinede işlem görecektir işler ile yüklendiğinden dolayı bu yöntemin etkinliği yüksektir. Bu metot iş sıralarını ve iş sayısını göz önüne almadan çalışır. Tabii dikkate alınması gerekli olan nokta, bu algoritmada sadece iki makine veya işlem olmasıdır.

#### 4.8. Sıra Önemli M Makine İş Çizelgelemesi

Bu bölümde M makine ve N tane işin sıralaması incelenecektir. Optimum olan Jackson metodu kullanılarak optimum olmayan bir yaklaşım kullanılacaktır. Fakat problem büyüdükçe bu yöntemin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Son algoritmada freze ve torna tezgahlarında işlem gören işler optimize edildi ve böylece toplam işlem zamanı minimize edilmiş oldu. Daha sonra optimize edilmiş bu işlerin arkasına sadece o makinede işlem görecektir işlerden oluşan sırayı koyarak arada oluşabilecek boşluklar yok edildi. En son olarak kalan işler yerleştirilerek probleme ait optimum sıra elde edilmiş oldu.

Benzer algoritma ile taşlama operasyonunu da ekleyerek aşağıda görülen operasyonlar ve süreleri çizelgelenecektir.

Çizelge 4.12. İşler ve Zamanları

İşler	Freze	Torna	Matkap	İş Sırası
1	20	10	30	F-T-M
2	50	20	10	F-M-T
3	40	60	50	T-F-M
4	60	70	20	T-M-F
5	50	10	20	M-T-F
6	80	20	10	M-F-T
7	40	60	0	F-T
8	40	0	70	F-M
9	0	40	40	T-M
10	20	30	0	T-F
11	20	0	40	M-F
12	0	60	50	M-T
13	100	0	0	F
14	0	120	0	T
15	0	0	90	M

Bu işlem yapılırken aşağıdaki algoritma takip edilir;

Freze tezgahı: Freze tezgahı ile çizelgelemeye başlanarak, diğer operasyonların en kısa sürede işleme girmesi sağlanır. Sadece iki farklı kombinasyon mevcut olup bunlar F-T-M ve F-M-T şeklindedir. Fakat freze tezgahında birinci iş ikinci işe göre 30 saat kısa sürdüğü için sıralama (F-T-M) ve (F-M-T) şeklinde yapılır.

Üç makinede birden operasyon göreceğ olan işler çizelgelendikten sonra iki makinede operasyona girecek olan işler çizelgenir. Bunlar F-T ve F-M'dir. F-M diğer iş olan F-T'ye göre 20 saat hızlı olduğundan ilk F-M daha sonra F-T işleme alınır. Son olarak ise sadece freze tezgahında işleme girecek olan iş çizelgenir ve şu sıra oluşur;

Freze Tezgahı : (F-T-M), (F-M-T), (F-M), (F-T), (F)

Torna tezgahı : Aynı algoritma torna tezgahı için uygulandığında aşağıdaki sıra oluşur:

Torna Tezgahı : (T-F-M), (T-M-F), (T-F), (T-M), (T)

Matkap Tezgahı : Matkap tezgahı için aynı mantık uygulandığında aşağıdaki sıra oluşur:

Matkap Tezgahı : (M-T-F), (M-F-T), (M-F), (M-T), (M)

Bu mantıksal işlerin bir sonraki adımı şu şekilde açıklanabilir: Arada oluşabilecek beklmeleri engellemek için sadece bir makinede işlem görülen işler kullanılmıştı. Aynı mantıkla bekleme oluşmasını engellemek için 2 işlemi olan işleri tek işlemi olan işlerin arkasına yerleştirilir. Bu yaklaşımla aşağıdaki çizelge elde edilir :

Freze Tezgahı : (F-T-M), (F-M-T), (F-M), (F-T), (F), (T-F), (M-F)

Torna Tezgahı : (T-F-M), (T-M-F), (T-F), (T-M), (T), (F-T), (M-T)

Matkap Tezgahı : (M-T-F), (M-F-T), (M-F), (M-T), (M), (F-M), (T-M)

Geriye sadece 3 işlemi olan işler kaldığından bu işler de yerleştirildiğinde son çizelgeleme şu şekilde oluşur.

Freze Tezgahı : (F-T-M), (F-M-T), (F-M), (F-T), (F), (T-F), (M-F), (T-M-F), (M-T-F)

Torna Tezgahı : (T-F-M), (T-M-F), (T-F), (T-M), (T), (F-T), (M-T), (F-M-T), (M-F-T)

Matkap Tezgahı : (M-T-F), (M-F-T), (M-F), (M-T), (M), (F-M), (T-M), (F-T-M), (T-F-M)

Burada belirtilmesi gereken iki önemli husus mevcuttur:

1. Bu yöntem mantık yapısı içinde farklı düzenleri olan bir çok iş ve işlem için geliştirilebilir.

2. Eğer yukarıda açıklanan her iş kümesini optimize edilmiş olarak düşünülürse, aynı mantık çerçevesinde problem geliştirilebilir.

Özet olarak 2 makine iş çizelgeleme kombinasyonlarını Johnson Algoritması ile çözümlürse, 3 veya daha fazla makineli çizelgeleme problemlerini Gupta Algoritması ile çözümlürse ve M makineli, N işli sıra önemli iş çizelgeleme problemleri için bir algoritma sağlanabilir.

Bu anlatılan algoritmaların içinde sadece Johnson ve Jackson yöntemleri optimum sonucu vermektedir. Gupta'nın yada yukarıdaki heuristic algoritmaları kullanıldığında üzerinde dikkatle çalışılması gerekir. Çünkü yanlış kabuller kullanılması halinde algoritma doğru da çalıştırılsa hatalı sonuçlar elde edilebilir.

#### 4.9 Tek Makine Çizelgeleme

Bu bölümde, aşağıda gösterildiği gibi 8 farklı işimiz olduğunu varsayalım. Ayrıca, bu günden sonra bu işlerin uygun zamanda ve aşağıda gösterilen zamanlarda yapılacağını kabul edilsin. Bu toplu işlere yaklaşık 22 adet farklı işlem uygulanacaktır. Ayrıca,  $1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 \times 7 \times 8 = 40320$  farklı yol kullanılmadan programlanamayan 8 adet iş olduğunu da göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca farklı programlama metotları da incelenecektir (Lawler, 1973).

Çizelge 4.13. Tek Makine İş Çizelgeleme Örnek Tablosu

İş	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Beklenen Gün</b>	40	20	80	42	68	74	93	108
<b>Proses Süresi</b>	20	10	50	11	21	22	40	60

- Ortalama bitiş zamanının minimum yapılması.
- Ortalama akış zamanının minimum yapılması.
- Ortalama bekleme zamanını minimum yapılması.

Tüm bunları tek bir metodun yapıyor olması şaşırtıcı olabilir. Probleme şu şekilde yaklaşılmalıdır: Eğer ikinci işin yapılması için en az beklemek istersek, ilk sıraya hangi iş yerleştirilmelidir? Cevabı vermek için çok beklememeniz gerekir: "En kısa

iş” . Sonra 3. işi en az bekleme zamanı ile yapmak istersek, 2. sıraya hangi işi koyarız? “Tabi ki 2. en kısa işi”. O zaman uygulanması gereken algoritma “**en kısa işlem zamanı’dır**” (SPT) İşler artan işlem zamanına göre sıralanır.

Çizelge 4.14. SPT Sıralama Sonucu Tablosu

İş	2	4	1	5	6	7	3	8
<b>Beklenen Gün</b>	20	42	40	68	74	93	80	108
<b>Proses Süresi</b>	10	11	20	21	22	40	50	60

Yukarıdaki problem için optimal sıra şudur : 2 - 4 - 1 - 5 - 6 - 7 - 3 - 8

Günümüzde bu metot “Denetçi Gelmeden Önce metodu” adıyla anılır. Örnek olarak bir mağaza işlettiğimizi ve mağazaya merkezden bir denetçinin geleceğini düşünebiliriz. Eğer en iyi şekilde görünmek istersek, herkese işleri SPT metoduna göre yapmaları söylenir. Eğer tüm en kısa işleri bugün yaparsak üretkenliğimiz mükemmel gözükür. Bu iyi haberdir. Ama eğer tüm kısa işler bugün yapılırsa, yarına bütün uzun işlerin kalacağı ortadadır. Bu da yarınki üretkenliğimizin düşük olacağını gösterir. Kısaca, bu programla kısa dönemde üretkenlik getirisi, uzun dönemde de genel ortalama “0” olacak şekilde üretkenlik kaybı elde edilir. Unutulmamalıdır ki denetçi, “savaş kaybedildikten sonra gelen ve yaralıları süngüleyen kişi” şeklinde tanımlanır.

#### 4.10. Maksimum Gecikmelerin Minimize Edilmesi

Örnek olarak Chicago ‘nun güney kesimine kakao sağlayan ana tedarikçisiniz. Size, teslimatlarınızın gecikmesine göre iş alacağınız söyleniyor. Açık olarak, gecikmeleri en aza indirmeye çalışıyoruz. Bu problemi başka bir yönden ele alırsak, her geç teslimat, bir müşterinin şikayetine ya da bir satıcının müşterisine sözünü gecikmeden dolayı yerine getirememesine yol açacaktır. Eğer ikinci işin gecikme zamanını minimum yapmak istiyorsak, en çok beklenen işi ilk olarak yapmamız gerektiğini anlamamız zor olmayacaktır. Sonra, beklenen işleri sıraya koyarak devam ederiz. Bu, “**beklenen zaman kuralı**” ‘dır.

İşleri beklenen zamanlarına göre sıralarsak.



Çizelge 4.15. Beklenen Zaman Kuralı Sıralama Tablosu

İş	2	1	4	5	6	3	7	8
Beklenen Gün	20	40	42	68	74	80	93	108
Proses Süresi	10	20	11	21	22	50	40	60

Yukarıdaki problem için optimal sıra : 2 - 1 - 4 - 5 - 6 - 3 - 7 - 8

Değerlendirme :

Yukarıdaki programa hızlı bir bakış 2 şeyi ortaya çıkarmaktadır : Birincisi, bu metot 1. metot ile aynı değildir. Kısaca, sadece tüm beklenen zamanlar ve işlem zamanları aynı artan sırada olsaydı iki metod aynı sonucu verecekti. İkincisi, iyi haberin “hiçbir şey çok geç değil” olduğudur. Ama kötü haber “her şey geç olabilir”dir.

#### 4.11. En Düşük Gecikmelerin Maksimum Edilmesi

Şu bir cesaret kırıcı gerçektir ki bu dünyada en çok kullanılan planlama metotlarından biridir. Fakat yukarıda açıklandığı gibi, neden birilerinin bu metodu uygulamak istediğini anlamak güçtür. Metot şudur: Beklenen zamandan işlem zamanı çıkartılır ve işler artan farkların sırası izlenerek yapılır. Bu farka “Boş zaman” denir. Eğer beklenen zamanı 2 gün olan ve işlem zamanı 3 gün olan bir işimiz varsa, gecikmeyi minimum yapmak için bunu büyük ihtimalle en başa koyarız ve boş zaman =  $2-3 = -1$  gün olur. Eğer beklenen zamanı 90 gün olan ve işlem zamanı 5 gün olan bir iş üzerinde diğerleri ile karşılaştırıldığında fazla önem taşımamaktadır. Bu düşünce bize “boş zaman kuralı”nı sağlar.

Beklenen zaman ve işlem zamanı arasındaki farkların artan sırasına göre işlerin hesaplaması yapılırsa;

Çizelge 4.16. İş Tablosu

İş	1	2	3	4	5	6	7	8
Beklenen Gün	40	20	80	42	68	74	93	108
Proses Süresi	20	10	50	11	21	22	40	60

<b>Boş Zaman</b>	20	10	30	31	47	52	53	48
------------------	----	----	----	----	----	----	----	----

Çizelge 4.17. Boş Zaman Kuralına Göre Yapılan Sıralama

<b>İş</b>	2	1	3	4	5	8	7	6
<b>Beklenen Gün</b>	20	40	80	42	68	108	93	74
<b>Proses Süresi</b>	10	20	50	11	21	60	40	22
<b>Boş Zaman</b>	10	20	30	31	47	48	53	52

Yukarıdaki problem için optimal çözüm : 2 – 1 – 3 – 4 – 5 – 8 – 7 – 6

Değerlendirme :

Bu metodun güçlü yönü şudur; bir işin gecikme ihtimalini en düşüğe indirdiğinizi düşünürsünüz. Zayıf yönü ise, geç bir iş aldığınızda o iş gerçekten geç kalacaktır. Çünkü 40320 farklı düzen arasından, bu metot, geç biten işi en kötü yapmaktadır. Bu metoda başka bir bakış açısı, bu metodu geç işlere karşı “yangın sigortası” yaptırmak için kullanmayı düşünmektir. Maalesef, sonuç en fazla geç kalan işin ilk önce yapılmak istenen iş olmasıdır. Ayrıca, aşağıdaki işler de dikkate alınır:

İş No	1	2	2	1
Beklenen Zaman	90	10	10	90
İşlem Zamanı	5	5	5	5
Bitiş Zamanı	5	10	5	10
Boş zaman	85	5	5	85

Bu durumda, sağda görüldüğü gibi, Boş Zaman Düzeni, önce 2. sonra 1. işi yapmayı önerir. Soldaki diğer düzende, diğer işlerin işlem zamanlarından birinde bir olay meydana gelse, 2. işin gecikeceğini görebiliriz. Diğer taraftan, önce 1. işi sonra 2. işi yapsaydık, fazlasıyla boş zamanımız kalacaktı.

Bir başka örnek olarak aşağıdaki işler incelenebilir. Burada, iki iş için de boş zamanın aynı olmasından dolayı, boş zaman düzeninin iki farklı dizi arasındaki farkı

açıklayamadığına dikkat edilmelidir. Burada değerlendirme kriteri, ikinci düzenin gecikmesinin 0 gün, fakat birinci düzenin gecikmesinin 80 gün olmasıdır.

İş No	1	2	2	1
Beklenen Zaman	90	10	10	90
İşlem Zamanı	85	5	5	85
Bitiş Zamanı	85	90	5	90
Boş zaman	5	5	5	5
Gecikme	0	80	0	0

#### 4.12. Geciken İş Sayısının Minimize Edilmesi

Bu yaklaşım genel olarak gerçekleştirilmeye çalışılan bir yaklaşım olarak görülebilir. Tabi ki geciken işlerin sayısı azaltmak istenir. Sonuçta geciken iş sayısının "0" olması istenir. Geciken işlerin minimize edilmesinin anlamı bu muhteşem sonuç için düşündüğünüzden daha fazla bir bedel ödemeniz gerektiğidir (Moore, 1968).

Orijinal problem aşağıda tekrar ortaya konursa:

Çizelge 4.18. Problem Tablosu

<b>İş</b>	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Beklenen Gün</b>	40	20	80	42	68	74	93	108
<b>Proses Süresi</b>	20	10	50	11	21	22	40	60

Eğer hiç geciken iş istenmiyorsa, yapılacak ilk adım işleri beklenen gün sırasına koymaktır. Beklenen zaman kuralı maksimum gecikmeyi minimize edecektir. Bu başlamak için iyi bir noktadır.

#### 4.13 Geciken İşlerin Sayısının Minimize Edilmesi İçin Geliştirilen Hodgson's Kuralı

Bu algoritmanın uygulanmasında aşağıdaki adımlar gerçekleştirilir (Woolsey ve Maurer, 1992):

1. İşleri beklenen günün artan sırasına yerleştirin.
2. İşleri soldan sağa doğru geciken bir tane oluncaya çizelgelemeye başlayın.
3. Geciken de dahil olmak üzere geciken işten sonraki en büyük proses süreli işi en sona koyunuz.
4. İkinci adıma dönün ve işlerin hepsi bitinceye kadar devam edin.

Çizelge 4.19. Sonuç Sıralama

İş	2	1	4	5	6	7	3	8
<b>Beklenen Gün</b>	20	40	42	68	74	93	80	108
<b>Proses Süresi</b>	10	20	11	21	22	40	50	60
<b>Bitiş Süresi</b>	10	30	41	62	83	123	173	233

Yukarıdaki problemde ilk gözlemlediğimiz 8 işten 4'ünün zamanında çıkacağıdır. Bu şekilde tam zamanında performansın artırılmış olması iyi bir haber fakat bunun için ödenen bedel karşılığında sadece %50 oranında tam zamanında performans kazanılmıştır. Bu nedenle daha iyi bir yolun düşünülmesi uygun olacaktır.

Daha iyi bir yol olarak zamanında olan işler için en kısa proses zamanı uygulanabilir. Bu şekilde optimum sıra 2, 4, 1, 5 olacaktır. Böylece işlerin bekleme sürelerini azaltıp fabrikadaki yarı mamul mevcudu azaltılabilir. Fakat ne yazık ki 1 iş daha geç kalacak ve tam zamanında yapılan iş performansı %38'e düşecektir.

#### 4.14 Van Drew Şeması

Kullandığımız metotların sonuçlarının doğruluğu Van Drew şeması ile kontrol edilebilir. Yardımcı olacak bazı tanımlar aşağıda listelenmiştir.

Bir işin tamamlanma süresi : o iş için bekleme süresi + o iş için proses süresi

Gecikme : tamamlanma süresi - beklenen gün

Ortalama gecikme : gecikmelerin toplamı / toplam iş sayısı

Ortalama akış süresi : tamamlanma sürelerinin toplamı / toplam iş sayısı

Ortalama bekleme süresi: bekleme zamanlarının toplamı / toplam iş sayısı

Toplam tamamlanma süresi : bütün işleri tamamlamak için gereken süre

Orijinal Problem :

Çizelge 4.20. Orijinal Problem

İş	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Beklenen Gün</b>	40	20	80	42	68	74	93	108
<b>Proses Süresi</b>	20	10	50	11	21	22	40	60

En Kısa Proses Zamanı çizelgelemesi için Van Drew Şeması :

Çizelge 4.21. Algoritmaya Göre Oluşan Sıralama

İş	2	4	1	5	6	7	3	8
<b>Beklenen Gün</b>	20	42	40	68	74	93	80	108
<b>Proses Süresi</b>	10	11	20	21	22	40	50	60
<b>Tamam. Süresi</b>	10	21	41	62	84	124	174	234
<b>Bekleme Süresi</b>	0	10	21	41	62	84	124	174
<b>Gecikme</b>	-10	-21	1	-6	10	31	94	126

Geciken İş Sayısı : 5

Maksimum Gecikme: 126

Ortalama Gecikme:  $225/8= 28.125$

Minimum Gecikme: -21

Ort. Akış Süresi:  $750/8= 93.75$

Ort. Proses Süresi:  $234 / 8= 29.25$

Ort. Bekleme Süresi:  $516/8= 64.5$

Top. Tamam. Süresi: 234

İlk gelen ilk çıkar (FIFO) kuralı hiçbir kriterde optimizasyon getirmediği halde, müşterilere karşı güvenilirliği korumak için başvurulabilen bir yöntem olmaktadır.

Özellikle servis işletmelerinde müşterilerle planlama ve hizmet anında direk temas sağlandığı için, FIFO daha fazla görülmektedir.

İlk Gelen İlk Çıkar Kuralı İçin Van Drew Şeması :

Çizelge 4.22. 2. Algoritmaya Göre Oluşan Sıralama

İş	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Beklenen Gün</b>	40	20	80	42	68	74	93	108
<b>Proses Süresi</b>	20	10	50	11	21	22	40	60
<b>Tamam. Süresi</b>	20	30	80	91	112	134	174	234
<b>Bekleme Süresi</b>	0	20	30	80	91	112	134	174
<b>Gecikme</b>	-20	10	0	49	44	60	81	126

Geciken İş Sayısı : 6

Maksimum Gecikme: 126

Ortalama Gecikme:  $350/8=43.75$

Minimum Gecikme: -20

Ort. Akış Süresi:  $875/8=109.375$

Ort. Proses Süresi:  $234/8=29.25$

Ort. Bekleme Süresi:  $641/8=80.125$

Top. Tamam. Süresi: 234

İlk giren ilk çıkar müşterilere adilane davranmak dışında herhangi bir şeyi optimize etmeye çalışmadığından diğer yöntemlere göre oldukça zayıftır.

Beklenen Gün Kuralı İçin Van Drew Şeması :

Çizelge 4.23. 3. Algoritmaya Göre Oluşan Sıralama

İş	2	1	4	5	6	3	7	8
<b>Beklenen Gün</b>	20	40	42	68	74	80	93	108
<b>Proses Süresi</b>	10	20	11	21	22	50	40	60
<b>Tamam. Süresi</b>	10	30	41	62	84	134	174	234
<b>Bekleme Süresi</b>	0	10	30	41	62	84	134	174
<b>Gecikme</b>	-10	-10	-1	-7	10	54	81	126

Buna Göre;



Geciken İş Sayısı :	4	Maximum Gecikme:	126
Ortalama Gecikme:	$243/8= 30.375$	Minumum Gecikme:	-10
Ort. Akış Süresi:	$769/8= 96.125$	Ort. Proses Süresi:	$234/ 8= 29.25$
Ort. Bekleme Süresi:	$535/8= 66.875$	Top. Tamam. Süresi:	234

Değerlendirme ;

Yukarı bakıldığında SPT nin ortalama akış zamanını, ortalama bekleme zamanını yani ortalama tamamlama zamanını azalttığı görülmektedir. Beklenen zaman maksimum gecikmeyi azaltmaktadır. Boş zaman kuralı minimum gecikmeyi artırmaktadır. Hodgson's kuralları geciken işlerin adedini minimize etmek için bir düzen bulur. Kullanıcı bu metodun mevcut düzeni bulabileceğine dair uyarılır, fakat bu başkalarının da olabileceğini hatırlattığı için önemlidir. Örneğin, geciken işleri azaltmak için birden fazla yol olabilir. Eğer mevcut durumda yapabileceklerin en iyisi zamanında 4 iş yapmak ise, proses envanter maliyetini minimize eden alternatif çizelgelerle ile ilgilenmek söz konusudur.

#### 4.15. Öncelikli Tek Makine İş Çizelgeleme

- Öncelikli Ortalama Tamamlama Zamanını Minimize Etme
- Öncelikli Ortalama Akış Zamanını Minimize Etme
- Öncelikli Ortalama Bekleme Zamanını Minimize Etme

Bu bölümün başında en kısa zaman kuralının veya SPT'nin yukarıdakilerin hepsini önceliksiz olarak yapıldığının hatırlanması gerekmektedir. Şu ana kadar yapılan çizelgelerde bütün işlerin aynı önemde olduğunu kabul edildi. Gerçekte böyle bir şeyin şansı yoktur. Şimdi problemi tekrar fakat bu defa ağırlık veya öncelik faktörü (daha büyük ağırlık daha önemli iş olduğunu gösterir) ekleyerek gösterilecektir.

Aşağıda işlerin öncelikleri ve proses zamanlarına göre oran değerleri görülmektedir.



Çizelge 4.26. Önceliklendirilmiş İşlerin Oran Değerleri

İş	1	2	3	4	5	6	7	8
Beklenen Zaman	40	20	80	42	68	74	93	108
Proses Zamanı	20	10	50	11	21	22	40	60
Önemi	5	2	4	3	7	8	1	6
Oran	4	5	12,5	3,66	3	2,75	40	10

Durum 1. Bütün işler aynı öneme farklı proses zamanı ile sahiptir.

Ortalama iş bekleme zamanını minimize etmek için SPT kuralı kullanılır.

İşleri en kısa proses zamanından en uzuna doğru sıralanırsa:

2 - 4 - 1 - 5 - 6 - 7 - 3 - 8

Durum 2. Bütün işler farklı öneme ve aynı proses zamanına sahiptir

En büyük önemden en küçük öneme doğru sıralanırsa :

6 - 5 - 8 - 1 - 3 - 4 - 2 - 7

Durum 3. Bütün işler farklı öneme ve farklı proses zamanına sahiptir.

Genel kural en büyük öncelik ve en kısa proses zamanına sahip iş ile başlayarak sıralamayı öngörür. En sonda en küçük öncelik ve en uzun proses zamanına eşit iş kalır. Açıkça en küçük oran ilk işi verir ve basit bir şekilde sırayla çizelgenir. bu kurala göre sıralama yapılırsa :

6 - 5 - 4 - 1 - 2 - 8 - 3 - 7

#### 4.16. Öncelik Bilgisine Göre Maksimum Gecikmeleri Minimize Etme

İzlenecek olan algoritma tam olarak yukarıdaki algoritmanın içinde aynı tartışmayı yapmak fakat şimdi proses zamanı yerine beklenen zaman kullanılacaktır.

Oran Kuralı :

Çizelge 4.27. Oran Kuralına Göre Elde Edilen Tablo Değerleri

İş	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Beklenen Zaman</b>	40	20	80	42	68	74	93	108
<b>Proses Zamanı</b>	20	10	50	11	21	22	40	60
<b>Önemi</b>	5	2	4	3	7	8	1	6
<b>Oran</b>	8	10	20	14	3,71	9,75	93	18

En optimum sıralama: 5 – 1 – 6 – 2 – 4 – 8 – 3 – 7

Bu metodun beklenen zaman kuralına dayandığı unutulmamalıdır, hiçbir şey çok gecikemez fakat herşey gecikebilir.

#### 4.17. Öncelik Bilgisine Göre Minimum Gecikmeleri Maksimize Etme

Bu metotta Oran Kuralını uygularken boş zamanı öneme bölerek oranlar bulunur ve oranları artan sırada sıraladığımızda optimum sıraya ulaşmış olacağız.

Oran Kuralı :

Çizelge 4.28. Oran Değerleri Tablosu

İş	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Beklenen Zaman</b>	40	20	80	42	68	74	93	108
<b>Proses Zamanı</b>	20	10	50	11	21	22	40	60
<b>Boş Zaman</b>	20	10	30	31	41	52	53	48
<b>Önemi</b>	5	2	4	3	7	8	1	6
<b>Oranı</b>	4	5	7,5	10,33	5,85	6,5	53	8

En optimum sıralama: 1 – 2 – 5 – 6 – 3 – 8 – 4 – 7

Boş zaman kuralı güvenli bir kuraldır. Fakat önceliği yüksek olan işlerden bir tanesi çok fazla gecikebilir. Sonuç olarak önceliği fazla olan bir işin daha az önemli olan bir işi beklemesinin açıklanabilmesi gerekmektedir.



## 5. BİLGİSAYAR DESTEKLİ SONLU KAPASİTE ÇİZELGELEME

Günümüz üretim sistemlerinde, işletmeler müşteri taleplerini en iyi şekilde tatmin etmek için birbirleriyle yarışmaktadırlar. Dolayısıyla kaynak kullanımının en etkin yollarının bulunması kaçınılmaz bir önem taşımaktadır. Bu nedenle birçok işletme üretim problemlerini çözmek için değişik metotlar kullanmışlardır.

Bazı işletmeler planlama bölümünün hazırladığı haftalık veya aylık periyotlarla oluşturdukları manuel çizelgeleme aktivitelerini gerçekleştirirler. Veri tabanı uygulamaları, raporlar veya grafiksel gösterimli teknolojik bilgi altyapısı ile çalışırlar. Fakat bu çizelgeler sonuç olarak insan görüşünü taşır. Bunun sonucu olarak çizelgenin doğasında çeşitli engeller olabileceğine dikkat edilmesi gerekir.

Manuel çizelgelemenin sahip olduğu engellerle baş edebilmek için işletmeler bilgisayar destekli çizelgeleme sistemlerini kullanırlar. Bu sistemler satın alınabildiği gibi iç bünyede de oluşturulabilir. Bu sistemlerin ana amacı planlamacıların işini kolaylaştırmak ve bir karar destek aracı olarak hizmet vermektir.

Çizelgeleme sistemlerinin değişik özellik ve değişik düzeylerde işlem gören türleri bulunmaktadır. Çizelgelemenin karmaşık ve dinamik bir proses olması dolayısıyla, bilgisayar destekli çizelgeleme sistemleri de değişik boyutlarda mevcut ve gelişen ihtiyaçları karşılar hale gelmişlerdir (Im, 2000b).

### 5.1 Manuel Çizelgelemenin Sakıncaları

Geniş bir uygulama alanına sahip olmasına rağmen, manuel çizelgelemenin sahip olduğu aşağıdaki engellere işletmelerin dikkat etmesi gerekir.

1. Manuel çizelgeleme insana bağlı bir prosestir. Üretim prosesleri ile ilgili ayrıntılı bilgilere sahip olan planlama yetkilileri çizelgeleme yapmaktan sorumludurlar. Tipik olarak manuel metotlar ve planlama yetkililerinin yaklaşımları, geçmişten gelen pratik tecrübelerle dayanmaktadır. Bu tecrübeler de insanın karar verme mekanizması temeline dayanır. Bu nedenle bu mekanizma, biçimsel analitik olarak açıklanamayacağı için bu mekanizma sonucu üretilen bilgi, özellikle

tecrübesi az olan kişiler tarafından aynı şekilde kabul görmeyebilir. Bu nedenle, işletmelerin bu bilgiye sahip çalışanları, kritik duruma geçerler, diğer çalışanlar arasında farklı bir konuma sahip olurlar ve planlama prosesi ağırlıklı olarak kişiye bağlı bir hale dönüşür.

2. Manuel çizelgeleme performans değerlendirmeden yoksundur. Çizelgeleme oldukça karmaşık bir problemdir. İnsan kapasitesi geniş çaplı problemleri çözebilmesine rağmen, uygulanabilir bir sonuç üretilmesi için çok fazla zaman ve efor sarf edilmesi gerektiğinden dolayı, genellikle üretilen çözüm ile herhangi bir alternatif çözüm karşılaştırılmaz. Manuel olarak elde edilen çizelge başarılı gibi gözükmesine rağmen, doğrulama şansı yoktur, ayrıca daha iyi çizelgeler mevcut olabilir.
3. Manuel çizelgelerin güncellenmesi geniş ve derin bir çalışmayı gerektirir. Çizelgeleme dinamik ve sürekli bir prosestir. Yeniden çizelgeleme uygulamada temel kavramlardan biridir. Beklenmedik gelişmeler, satış planlarının güncellenmesi, ana üretim planının revize edilmesi gibi değişiklikler, mevcut çizelge üzerinde minör veya majör boyutta modifikasyonlar gerektirebilir. Manuel çizelgeleme otomatik güncellemeden yoksundur ve bu tip küçük yada büyük güncellemeler çok fazla zaman ve efor gerektirir.
4. Manuel çizelge çıktıları görsellikten uzaktır. Genellikle, manuel çizelge sonuçları bir cetvel yada liste halinde hazırlanır. Bu liste görsel olmadığı gibi, yerleştirme ve kaynakların kapasite kullanımı gibi değerlendirmeler de sağlamaz.

Gantt şemaları ve kapasite kullanım grafikleri gibi görsel raporların manuel hazırlanması ve güncellenmesi çok fazla zaman ve yoğun emek gerektirir. Gantt şemaları ve kapasite kullanım grafikleri gibi raporların yerine herhangi bir modifikasyon gerektirmeyen gerçekleşmiş üretim bilgileri kullanılır.

5. Manuel çizelgeleme ile işletmenin diğer sistemleri entegre çalışmazlar.

## 5.2. Bilgisayar Destekli Sonlu Kapasite Çizelgelemenin Aşamaları

Bugün daha iyi bir çizelgeleme ihtiyacının artması piyasada birçok ticari çizelgeleme sisteminin geliştirilmesini ve satılmasını sağlamıştır. Fakat çoğu sistem uzun süre kullanılamaz durumda gözükmektedir. Sistemler tamamlandıktan sonra sınırlı bir zaman kullanımda kalmakta ve belli bir süre sonunda vazgeçilmekte veya müşteri ihtiyaçlarını karşılayamıyor şeklinde suçlanır. Bunun nedeni çoğu çizelgeleme sisteminin değişik dizayn ihtiyaçlarına uygun olmamasıdır.

Modern firmalarda merkezi bir bilgisayar ve veri tabanı sistemi bulunmaktadır. Lokal network bağlantıları, kişisel bilgisayarlar, iş istasyonları ve veri giriş terminalleri bu merkezi veri tabanına bilgileri taşır. Çizelgeleme işlemi gelişmiş bir kişisel bilgisayarda merkez veri tabanına bağlı olarak çalışır. Bu veri tabanından bilgileri okur ve oluşan çizelgeler yeniden veri tabanına yazılır (Pinedo, 1995).

Başarılı bir implementasyon amaçlayan bilgisayar tabanlı çizelgeleme sistemi dört ana seviyede fonksiyonellik sağlamalıdır (Ims, 2000b):

1. Modelleme Seviyesi
2. Veri Kaynağı Yönetimi Seviyesi
3. Çizelge Oluşturma Seviyesi
4. Kullanıcı Ara yüzü Seviyesi

### 5.2.1. Modelleme Seviyesi

Anlaşılmıştır ki her özel çizelgeleme durumu özel amaçlar ve endüstri ilişkili kesin özelliklere sahiptir ki bu değişiklik şirket modelleme detayları gerektirir.

Genel amaçlı bir bilgisayar tabanlı çizelgeleme sisteminin modelleme seviyesi değişik endüstrilerin özellik ve ihtiyaçlarını karşılayacak derecede esnek olmalıdır. Yani duruma özel ihtiyaçlara göre uygulanabilecek yapıları ayarlamak için gerekli olan özelleştirme çabalarını kolaylaştırmalıdır ve mevcut yapıdaki olası özelleştirmelerde sistem kodunun değiştirilmesine ihtiyaç duyulmalıdır.

Piyasa koşulları sürekli değişiklik gösterdiğinden modelleme seviyesi gerektiğinde şirket modelinin genişlemesi veya daralmasına imkan sağlamalıdır.

### **5.2.2. Veri Kaynağı Yönetimi Seviyesi**

Veri kaynağı yönetimi seviyesi üretim proses alt yapısını gösteren verileri yönetebilecek yeteneklere sahip olmalıdır. Bunun gibi satış, atölye ve malzeme planları gibi dinamik verilerin oluşturulması ve güncellenmesi bu seviyeyle oldukça ilişkilidir.

Veri kaynağı yönetimi seviyesinin engellerinden biri şirketlerin arka plan ve kalıcı sistemlerini değişik yapılarda entegre veya entegre olmayan data yapılarıyla tutuyor olmalarıdır. Şuna dikkat edilmelidir ki her sistem değişik bir veri yapısına sahiptir ve veri okuma ve mekanizmayı beslemek için değişik ara yüzlere ihtiyaç duyabilir.

Örneğin bir şirket satış verilerini excel dosyalarında fakat stok bilgilerini AS/400 temelli uygulamalarda tutuyor olabilir. Planlama manuel olarak yapılıyor olabilir ve gerçekleşen üretim verinin ayrı bir ilişiksel veri tabanına girilmesine ihtiyaç duyabilir.

Başka bir şirket bütün entegre işlemleri (satış, dağıtım, malzeme yönetimi ve üretim planlama v.b.) içeren ortak depolamaya uygun tam bir ERP kullanıyor olabilir. Genellikle böyle sistemler tek bir ERP ve tek bir veri tabanında çalışmaktadırlar.

Arayüz yeteneğinin yanında veri kaynağı yönetimi seviyesi veri girişinin tekrarlanması ve verinin farklı sistemlerde tekrarlanmasını engelleyecek yüksek bir entegre seviyesine sahip olmalıdır.

Esneklik ve mevcut yapılarda olabilecek gelecekteki değişikliklerle başa çıkabilmek için genişleyebilme özelliklerinin yanında değişik bilgi adaları ve çizelgeleme sistemi arasında kesintisiz veri akışının sağlanması da veri kaynağı yönetiminin değerlendirme kriterlerinden biridir.

### **5.2.3. Çizelge Oluşturma Seviyesi**

Bilgisayar tabanlı çizelgeleme sisteminin çizelge oluşturma seviyesinin ana amacı karar destek sistemi olarak hizmet vermesi ve üretim çizelgeleme prosesinde

planlamacıların yerine geçmeyi amaçlamaz ama onların tecrübelerinin otomatik fonksiyonlarla uyum içinde olması konusunda destekler.

Her şeyden önce , çizelge oluşturma seviyesi çizelge oluşturulurken alternatif çözüm teknikleri geliştirmeyi kolaylaştırır.

Tam sayılı ve karmaşık tam sayılı programlama , dinamik programlama, v. b yöneylem teknikleri çizelgeleme problemlerini çözmeye kullanılan yaygın metotlardan biridir. Böyle yaklaşımlarda, tipik bir ayarlama teknik sınırlamaları uygulayabilmek için belirli bir çizelgeleme amaç konusunu küçültmektir. Hesaplamadaki karmaşıklık bakımından, böyle problemler ilişkisel bir yapıdadırlar ve çok kolay problemler için bile optimizasyon tekniklerinden birinin kullanılarak optimal bir çözüm bulunması çok gelişmiş bilgisayarlarla bile çok uzun zaman almaktadır.

Bir çare olarak yeterli seviyede etkili çözümler sağlayan bu modellerin basitleştirilmiş buluşsal algoritmalar kullanıldılar. Sonuçta yapay zeka temelli gelişmiş çözüm teknikleri, lokal araştırma teknikleri, ve güçlü alan bilgisi kabul edilebilir çözümler elde etmek için geliştirildiler. Bu çözüm tekniklerine örnek olarak genetik algoritmalar, dar boğazları kaydırma, OPT , JIT programlama verilebilir.

Araştırmalar göstermiştir ki bu herustik prosedürlerin başarısı tamamen problem bağımlıdır. Değişik çizelgeleme problemleri değişik kalıplar ve genellikle gizli özelliklere sahip olduğundan özel bir durumda verecekleri performansı tahmin etmek imkansızdır. Bununla birlikte her bir çizelgeleme yaklaşımı gerçek üretim sistemlerindeki bütün uygulanabilir problemlerde başarılı sonuçlar üretmez.

Sonuç olarak, planlamacılar ellerindeki özel problemi çözmek için alternatif çözüm tekniklerini seçme ve test edebilme yeteneğine sahip olmalıdırlar.

Alternatif çizelgeleme algoritmaları bakımından çoğu ticari çizelgeleme sisteminde planlamacı sistemdeki algoritma kütüphanesindeki algoritmaların listesiyle sınırlı kalmakta ve kendi ihtiyaçlarına göre onları değiştirmek için çok az imkana sahiptir. Bu sınırlama çizelgeleme sistemi uygulamalarının başarısızlığının ana nedenlerinden biri olan yeteri kadar iyi olmayan çizelgelemelerin oluşturulması ile sonuçlanır.



Bu günlerde ticari çizelgeleme sistemleri, kendilerine özgü algoritmaları geliştirmek için planlamacılara imkanlar sağlamaya başladılar. Böyle bir özelleştirmeyi sağlamak için iki temel yaklaşım izlenmektedir.

İlk yaklaşım Visual Basic gibi popüler kodlama dillerini kullanarak algoritma oluşturma, düzeltme kolaylığı sağlayan bir kodlama özelliği sağlamaktır. Bu yaklaşımda genellikle planlamacılar sadece çok bilinen seçim kuralları yazmaktadırlar. Bu kurallar daha sonra buluşsal temelli standart kurallarda kullanılmaktadırlar ve algoritmanın temel çalışan mekanizmasını değiştirmek imkansızdır. Yeni bir algoritma yazmak mümkün değildir.

İkinci yaklaşım, programlama ile çizelgeleme kütüphanesinin genişletilmesidir. Böyle bir durumda genellikle nesne merkezli özelleştirme mekanizmaları kullanılır. Bu tip bir ayarlama planlamacıya herhangi bir çizelgeleme algoritmasını kodlama esnekliği sağlamaktadır, ama geniş bir programlama dili bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Yani ikinci yaklaşımın uygulanması hem uygulama, hem de çizelgeleme ayarlamalarında önemli değişiklikler yapabilmek için geniş bir danışmanlık gerektirmektedir.

Yani çizelgeleme oluşturma seviyesi programlama tecrübesi olmayan fakat kendi çözüm yaklaşımlarını dizayn edip, çalıştırmak için algoritma geliştirme bilgisi olan planlamacılara esnek ve geniş bir yapı sağlamalıdır.

Alternatif ve özelleştirilmiş çözüm metotlarının yanında çözüm oluşturma seviyesi planlamacıya çeşitli anlamlar sağlamalıdır. Mekanizmanın genel sınırları içerisinde planlamacıya sınırları aktif veya pasif hale getirme, yeni sınırlar mantıklar ekleme konusunda interaktif ve esnek bir ortam olmalıdır.

Çizelge oluşturma seviyesi tekrar çizelgeleme için gerekli araçlarla donatılmış olmalıdır. Tekrar çizelgeleme temel üretim prosesinin bütün durum özel özelliklerini taşır ve bu yüzden değişik çizelgeleme sistem uygulamalarında kullanılacak genel amaçlı bir tekrar çizelgeleme mekanizması oluşturmak imkansızdır.

Tekrar çizelgeleme problemin durumuna bağlı olarak planlaması muhtemel çözümleri görebilme imkanı sağlamalıdır. Bunun için planlamaya zaman içinde görevleri ileri veya geri hareket ettirme veya bir görevi alternatif proses kaynaklarına

atama v.b. denemeleri yapabilme imkanı sağlamalıdır. Sonuç olarak çizelgelemeye benzer olarak tekrar çizelgelemede planlamacının uzman bilgisini gerektirmektedir.

Yani çizelgeleme oluşturma seviyesi planlamacıya tekrar çizelgeleme mantığını özelleştirmede, tanımlamada kolaylıklar sağlamalı ama aynı zamanda planlamacıların geliştirdiği çözümlerin uygulanabilirliğini kontrol etmelidir.

#### 5.2.4. Kullanıcı Arayüzü Seviyesi

Çizelgeleme sonuçların üzerinde interaktif ve dinamik güncellemeler gerektirdiğinden, planlamacılar aynı zamanda çok sayıda bilgi kümesini görmek isterler. Bu nedenle kullanıcı arayüzleri pencere mekanizmalarının geniş bir kullanımını içermelidir. Genellikle çizelgeleme sistemlerinde kullanıcı arayüzleri elektronik Gantt şemaları şeklinde düzenlenir. Gantt şemasının ne olduğu, faydaları aşağıda anlatılacaktır.

Genellikle, kullanıcı arayüz seviyesi çizelgeleme prosesinin sonuçlarını yönetmek ve analiz etmek için düzenlenir. Bu nedenle kullanıcı arayüz seviyesi çizelgeleme düzeltme performansına değerlendirme ve neden-sebep analizleri gibi konularda yardım sağlamalıdır.

Performans değerlendirme faaliyetleri istatistiksel planlama veya gerçekleşmiş çizelge sonuçlarına dayanır. Bundan dolayı kullanıcı arayüzünün çizelgenin temelini oluşturan bütün detaylarını ortaya çıkarmayı sağlaması oldukça önemlidir:

Çizelgeleme sonuçlarına dayanarak planlamacı( ortalama iş kuyruk zamanı, çalışma zaman yüzdesi, toplam hazırlık setup süresi gibi) belirli bazı performans değerlendirme istatistiklerini formülize etmek ve izlemek ister.

Bu tarz istatistikler matematiksel formülasyonlar veya basit algoritmik adımlara göre hesaplanabilir. Bundan dolayı planlamacılar ilgilerine göre istatistikleri ortaya çıkarmak için algoritma ve matematiksel açıklamaları oluşturabilmelidirler.

İstatistiklerin formülasyonu ve ölçümlerinin yanında, performans değerlendirme aktiviteleri veya aynı zamanda şema ve raporlar gibi görsel araçlarda kullanılırlar. Kaynak kullanım grafikleri, kaynak fayda grafiği kuyruktaki işlerin şeması v.b. bu şemalara örnek olabilir. Bir bilgisayar temelli çizelgeleme sistemi için kullanıcı

arayüz seviyesi esnek ve genişletilebilir. Şema ve rapor oluşturma mekanizmalarına sahip olması oldukça kritiktir.

Gantt şeması çizelgeleme programlarının en popüler formudur. Gantt şemalarının genel kullanımı zaman içinde kaynaklara atanan işlerin gösterilmesidir. Şemanın X eksenini zamanı, Y eksenini de kullanılabilir kaynakları gösterir (Proasis, 1998).

İşler dikdörtgenlerle ifade edilir. Dikdörtgenin uzunluğu işin süresini belirtir. Dikdörtgen yatay olarak sol köşesi işin başlangıç zamanına, sağ köşesi de işin bitiş zamanına gelecek şekilde yerleştirilir. Dikdörtgenin dikey pozisyonu Y ekseninde kaynağa ayrılan yere göre ayarlanır.

Gösterilen işleri belirtmek için genellikle renkler veya şablonlar kullanılır. Bu şekilde bir gösterim planlamacının çizelgelenmiş işlerin özel durumlarını fark etmelerini sağlar. Bunlara ek olarak Gantt şemaları scroll ve büyütme gibi özelliklere sahiptir ki böylece kullanıcılar zaman içinde geri ve ileri gidebilir ve belirli bir kaynak grubuna odaklanabilir.

Mouse ile sürükleyip bırak operasyonu Gantt şemasının sağlayacağı önemli özelliklerden biridir. Planlamacılar bir kaynaktaki belirli bir işin pozisyonunu işin dikdörtgenine tıklayıp Gantt şemasındaki yeni pozisyonunu sürükleyerek değiştirilebilir.

### **5.3. Sonlu Kapasite Planlama Yazılım Seçimi ve Uyarlanması**

FCS sistemleri geçen 10 yılda ortaya çıkmış ve gelişmiştir ve şu anda 100'den fazla paket yazılım seçeneği mevcuttur. Bu yazılımların kapasiteleri ve fiyatları çeşitlidir. Hiçbir yazılım açık şekilde görülür piyasa lideri durumunda değildir. FCS sistemlerinin sürekli büyümeleri, başarıları ve sürekli artan sayıdaki uygulamaları giderek daha fazla şirketin bu sistemleri kullanmasına yol açmıştır.

FCS sistemlerinin ortaya çıkması mevcut malzeme ihtiyaç planlama, üretim kaynakları planlaması ve işletme kaynaklarının planlama (Enterprise Resource Planning – ERP) kullanıcılarında tedirginliğe yol açmış ve FCS nin değeri konusundaki tartışmaları alevlendirmiştir. Fakat gerçekte böyle bir tartışmanın

olması anlamsızdır. Çünkü MRP malzeme ve biraz da planlamayla ilgiliyken FCS sadece çizelgelemeyle ilgilidir. Aslında FCS ve MRP/ERP birlikte kullanılabilir.

FCS nin değerini kabul ederek geleneksel çizelgeleme tekniklerinden FCS sistemlerine geçerek, tabii kültürel değişiklikleri hesaba katarak, üretkenlik artırılabilir. Böyle bir geçişin iki önemli sonucu, kısalan bir cycle time (üretim zamanı) ve teslimat zamanının tahmin edilebilmesidir. Çoğu şirket FCS sistemlerini yerleştirmek ve yürümesini sağlamayı çok fazla zahmetli görmektedir. Fakat FCS ye geçiş yapacak şirketler mutlaka pazarlarında geleneksel çözümlerle çalışan şirketler üzerinde baskı yaratacaktır (Kirchmayer, 1998).

Üretim işletmesinin gerçekten sonlu kapasite planlamasına (FCS) ihtiyaç duyup duymadığını tanımlamak tahmin edilenden daha fazla konu üzerinde düşünme gerektirir. Eğer gerçekten otomatik çizelgeleme yardımına ihtiyacınız yoksa, paraya ve zamana yaptığınız yatırım boşa gitmiş olacaktır. Ürüne olan talep artışlarını fazla mesaiyle karşılayan fabrikalar FCS'yi, otomatik olarak gelecek çalışma dönemini normal çizelgelemeye çalıştığı için baş ağrısı olarak düşünebilirler. Ancak eğer iş dünyasında uzun süreli hayatta kalma mücadeleniz, fabrikanızdaki kısıtlı üretim kaynaklarının optimum listelemesine dayanıyorsa, geri kazanç garantidir. "Neden" sorusunu tanımladığınız zaman, "Ne" ve "Nasıl" gibi zor soruları cevaplandırmak için hazır hale gelirsiniz.

İlk olarak FCS fonksiyonları ve daha yüksek seviyelerde listeleme yapılan hali hazır MRP/ERP sisteminin etkileşimi düşünülmesi gerekir. Tabii ki en doğrusu FCS modülü olan ve fabrika ihtiyaçlarını karşılayan bir ERP sisteminin olmasıdır. Ancak genellikle FCS paketi başka bir program satıcısında alınır ve böyle durumlarda ara yüzey oluşturma çok önemli hale gelir. ERP ve FCS arasındaki bütünleşme olmaz ise, ilk olarak otomasyon adasının uçurumlarıyla karşı karşıya kalınır ve zaman geçtikçe üst seviye planlama ile detay listeleme arasındaki uçurum gittikçe genişler. ERP ve FCS etkileşiminin düzenli olmasını sağlayacak en önemli gereksinim doğru program seçimidir.

Üst seviye planlama ile ilgili bütünleşme işlemleri çözümlendikten sonra, veya en azından sistemin çatısını oluşturmak için kullanıldıktan sonra, firma FCS sisteminin gerçekleştireceği fonksiyonların detaylarının tanımlaması ve öncelik sırasına

koyulması gereklidir. Aşağıda dikkat edilmesi gerekli fonksiyonelliklerin bazıları yer almaktadır (Kuiper,1997);

### **5.3.1. Çizelgelenmesi Gereken Konular**

Birçok durumda, her şeyin FCS sisteminde çizelgelenmesi gerekli değildir. Üst seviye planlamada ihtiyacı karşılayacak derecede çizelgelenen kaynakların FCS sisteminde çizelgelenmesi gerekli değildir. Saat başı çizelge değiştirmesi gerektiren ve dar boğaz olan kaynakların çizelgelenmesinde, FCS somut sonuçlar getirmektedir. Bu bağlamda, üç ana kaynak parçası, iş gücü zamanı, makine zamanı ve malzemenin varlığı ayrı yarı düşünülmelidir.

### **5.3.2. İkincil Konuların Çizelgelenmesi**

Yukarıda adı geçen üç ana parçaya ek olarak, farklı çalışma çevreleri diğer başka şeylerinde çizelgeleme algoritmasına eklenmesi gerekliliğini ortaya çıkartmaktadır. Bakımlar, hassas çalışma merkezleri ve programlı bakım gereksinimleri çizelgeye eklenmelidir. Kaliteye hassas operasyonlarda inceleme ve test aktiviteleri çizelgelemenin bütünleyici parçalarıdır. Tekrar işleme aktiviteleri çizelgenin neresinde yer almaktadır? Aletlerin hazırlanması ve demir başlar sistem tarafından çizelgelenmeli midir? Set-up'lar ayrı yarı mı listelenmelidir? Bazı durumlarda depolama kısıtlayıcı ise depolamada çizelgelemede yer almalıdır.

### **5.3.3. Ürün Değişkenliğinin Dikkate Alınması**

FCS'nin karmaşıklığının bir sebebi de ürün değişkenliğinin detay çizelgelemeye olan etkisinin boyutların tanımlanması zorunludur.

Eğer ürünler özelliklerine göre değişik kategorilere ayrılabilirse, özelliklere göre gruplamayı destekleyen FCS yararlı olabilir. Kurala dayalı ürün sıralama verimlilik sağlamak için gerekli midir? Örnek; ölçünün önemli olduğu durumlarda ufaktan büyüğe, rengin önemli olduğu durumlarda koyu renkten açık renge sıralama yapılması. Karmaşık ürün ilişkisi için kurala dayalı ürün sıralama gerekli midir?

### 5.3.4. Üretim Alanı Organizasyonunun Sonlu Kapasite Çizelgeleme Modeline Etkisi

Fabrikamın organizasyonu FCS'nin nasıl oluşturulacağı konusunda oldukça etkilidir. Farklılaşmış, yığın halinde tekrarlanan ve sürekli, akış operasyonlarının her birinin ayrı bir çizelgelemeye ihtiyaç duyar. Geleneksel çalışma merkezlerinden daha ziyade çalışma hücrelerinin kullanılması çizelgeleme metodolojisinde etkilidir. Bütünleştirilmiş çok fabrikalı operasyonlar veya alt kontratlı üretim operasyonları çizelgelemeyi daha da karmaşık hale getirmektedir. Karmaşıklığı artıran diğer şeyler; üretim hattı yüklemesi ve dengelenmesi, dar boğazlarda dinamik tampon mal stoğu kontrolü, otomatik alternatif yönlendirme, arıza ve dar boğaz oluşması durumunda malzeme yerine verme ve otomatik veri toplamanın geri besleme döngüsü ile birleştirilmesidir.

### 5.3.5. Müşteri İhtiyaçlarının Karşlanması

FCS temel olarak fabrika içi amaçlarla kullanılmasına rağmen, FCS'de fonksiyonel kararlar müşteri ihtiyaçlarına dayanmalıdır. Sevkiyat termini önceliklendirilmesi denkleme katılıyor mu? Belli siparişler bir arada yada özel bir terimde malzeme talep eden müşteri siparişleri hesaba katılıyor mu? Yeniden plan oluşturmaya ihtiyaç duymadan, sistem yardımı ile hızlandırmayı destekliyor mu? Eğer firma job-shop ortamındaysa, FCS statü ve maliyetleri takip etmeli mi?

### 5.3.6. Raporlamalar ve Operasyonel İhtiyaçlar

Sistem ne kadar interaktif olmalıdır? Kullanıcı dostu, interaktif yeniden çizelgeleme ve analizleri kolaylaştıran "workbench" yaklaşımını kullanıyor mu? İnteraktif ve gerçek zamanlı personel, malzeme ve ekipman ile ilgili uyarı veriyor mu? Dar boğaz analizi yapıyor mu? Problemlerin çabuk tanımlanması için grafik formda sonuçlandırma yapılabilir mi? Geçmişteki sonuçlardan oluşmuş eksper sistem bilgisine ihtiyaç var mı?

Özet olarak, FCS farklı şekillerde sunulmaktadır. FCS programını seçerken girdilere karşı kapasitenin ölçülmesi gereklidir. Doğru tercih; detay seviyede çizelgeleme yapılması gereken bütün parçalara çizelgeleme yapmayı ve bu çizelge ile üst seviye planlama sistemi ile bütünleşmeyi, müşteri taleplerine cevap vermeyi, üretim sahası

organizasyonunun kurulmasını desteklemeyi ve uygulanan iş tarzına en uygun raporlama ihtiyaçlarının cevaplanmasını sağlayacaktır (Kuiper, 1997).

Sonlu kapasite planlaması uygulamasında en belirgin problem bütün becerisini eski sistem üzerine kurmuş olan personelin direncidir. Burada çözüm eğitime erken başlamaktır. Karar verme mekanizmalarında personeller en erken zamanda katılımları sağlanmalıdır. Bütün seviyelerde eğitim, sonlu kapasite planlaması uygulamalarında zaman ve maliyet tasarrufunda en önemli etkidir.

Geleneksel sonsuz kapasite yaklaşımından sonlu kapasite planlaması yaklaşımına geçişin faydaları çok açıktır. Fakat hangi metodun veya hangi satıcının seçileceği çok belirgin değildir.

Tanınmış iş yazarlarından Peter Drucker tanımlaması “Üretkenliğin ölçüsü verili sınırlı kaynaklarla birim zamandaki çıktıdır.”

Sonlu kapasite planlama sistemlerini değerlendirmedeki en iyi kriter kapasite kullanım oranı ölçüsüdür. Verili bir isteğe (örneğin: sabit kaynaklar ve sabit arz durumunda çevirim zamanını minimize etmek) göre kapasite kullanım oranını maksimize eden sistemler genel performans, artan akış, daha tutarlı planlama, daha kısa akış zamanı bakımından daha iyi sonuç verirler.

Planlama metodlarını karşılaştırmadaki en iyi yöntem firmanızın uygulamasına ait verilerin bir alt kümesini oluşturmaktır. Bu proses yakın zamanda kodlanmış demo olarak tanınmıştır. Bu veri sonra seçilmiş satıcılara makinelerin okuyabileceği formatta gönderilir. Seçilen satıcılardan alınan sonuçlar karşılaştırılarak karar verilir. Aşağıdaki tabloda Amerikadaki Sonlu Kapasite Çizelgeleme yazılım şirketlerinin bazıları listelenmiştir.

Çizelge 5.1. Sonlu Kapasite Çizelgeleme Yazılımları (Melnik, 1998)

Yazılım	Firma	Yazılım	Firma
Agama	CSB Systems Ltd.	IMPACT Encore	Syspro Group
Alliance/MFG for Windows	Alliance Manufacturing Software	Imprimis	Tangible Vision Inc.
ASPROVA	Scheduling System Laboratory Corporation	JBA System 21	JBA International*
AutoSched AP	AutoSimulations	Job Shop Perfect	Micro Perfect*
Avante APS	DataWorks Corporation	JobTime Plus	JobTime Systems Inc.
BaanSCS Scheduler	Baan Supply Chain Solutions	Leverage	Interval Logic Corporation
Capacity Management System	Manufacturing Management Systems, Inc.*	Manugistics 5	Manugistics Inc.
CFS Manufacturing	CFS Inc.	MAX for Windows	Micro-MRP Inc.
Computer Aided Optimal Production Planning & Sched.	BENDER Management Consultants Inc.*	MIMI	Chesapeake Decision Sciences Inc.
Control	Cincom Systems Inc.*	Mixed Model Scheduler (MMS)	MMS Soft Co.
Custom Order Manufacturing System (COMS)	Information Specialists Inc.	Monitor Factory Management Software	Monitor Systems Inc.
DataModes TM/4	DataModes Inc.	MOVEX	Intentia International
eMIS/2000	ESI/Technologies Inc.*	MPSwin	Bridgware Inc.*
ERPx	J.D. Edwards World Solutions Company*	MS/X OnTime, TS/X OnTime	TYECIN Systems Inc.
Factor	Pritsker Corporation*	Navigator	PILOT Systems Inc.
FCPS (Finite Cap. Planning and Scheduling)	MAPICS Inc.	Noah	User Solutions Inc.
GMP (OMP Graphical Mfg. Planning)	OM Partners	OnTrack FCS	RWT Corporation
GRASS (Graphical Shop Scheduler)	Lexel Corporation	OPT® Solution Suite	STG
GRIP	Fygir*	ORTEMS	ORTEMS Americas' Inc.
HarrisData Management System-ERP/MRP II	HarrisData	OrderLinks	Pritsker Corporation*
IMPACT Encore	Syspro Group	Pacemaker	Paragon Management Systems*
Job Shop Perfect	Micro Perfect*	PMSIM	PMSIM Systems A/S
JobTime Plus	JobTime Systems Inc.	Point.Man	Pivotpoint Inc.
Leverage	Interval Logic Corporation	Preactor	Preactor Inc.

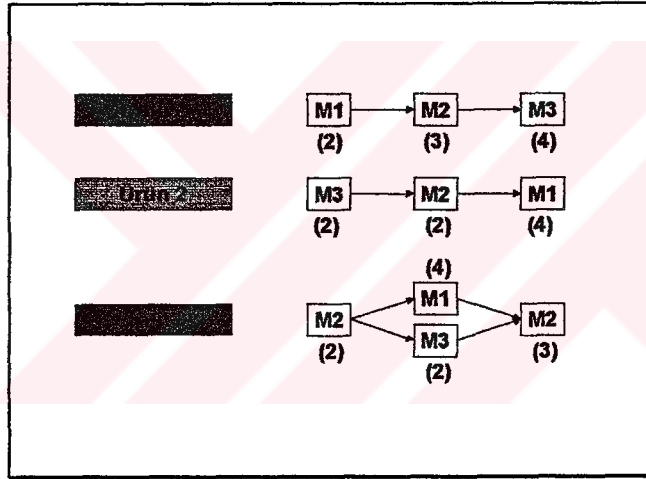
Not : (\*) 1996 dan sonra bilgileri yenilenmemiş ürünler



Hiçbir satıcı bütün uygulamalarda en iyisi değildir, bundan dolayı firmanızın başarmakta zorluk çektiği amaçları açık olarak bilmeli ve bu amaçları en iyi şekilde değerlendirecek verilerden oluşan bir set oluşturulmalıdır. Kendi uygulamanıza ait gerçek testler yapmanın yanısıra satıcının kendi verileriyle yapacağı sunumları dikkate almak alternatif bir yöntemdir. Satıcılar genellikle bu alıcı firma verileri değerlendirmeleri pek sevmezler. Çünkü bu, ölçülebilir bir karşılaştırma olanağı sunar alıcıya ve satıcıların kendi sistemlerini satmada önemli kabul ettikleri özellikler üzerinde durma imkanlarını azaltır (Krichmier, 1998).

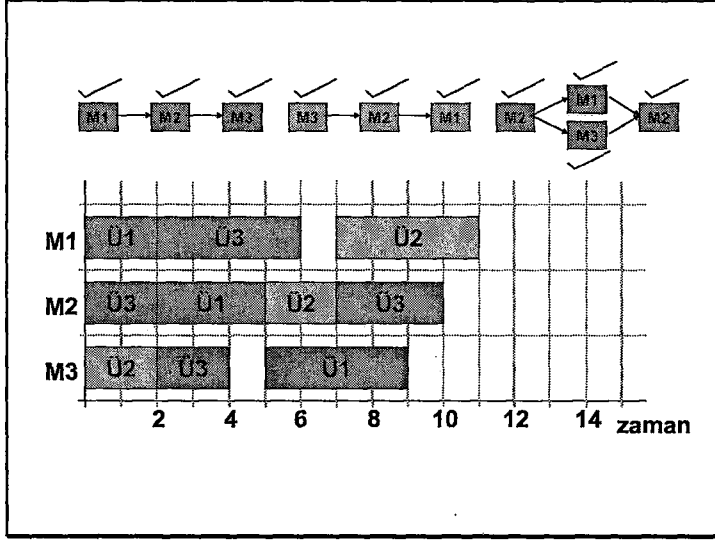
#### 5.4. Üç Makine Üç İş Çizelgeleme Örneği ve Değerlendirilmesi

Aşağıda 3 ürünün rotaları ve bu rotadaki operasyonların standart süreleri görülmektedir.



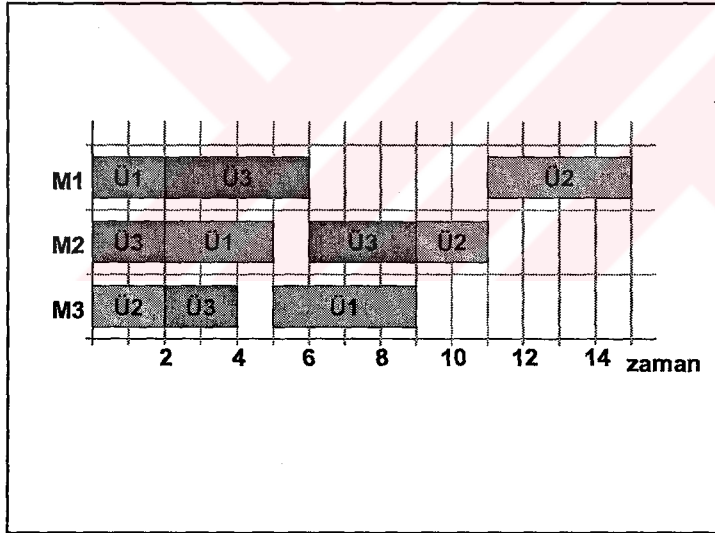
Şekil 5.1. Üç Ürün Rotası ve İşlem Süreleri

Bu ürünlerin çizelgelerini oluşturmak yani hangi ürünün hangi işinin ne zaman ve işlerin hangi sırada yapılacağına karar vermek için Gantt şemaları kullanılabilir. Bu şemaların oluşturulması için kaynaklar yani makineler sırasıyla doldurulmaya çalışılır. Bu şemaları oluştururken önemli olan bir ürünün bir işi bitmeden diğerine başlanmayacağına dikkat etmektir.

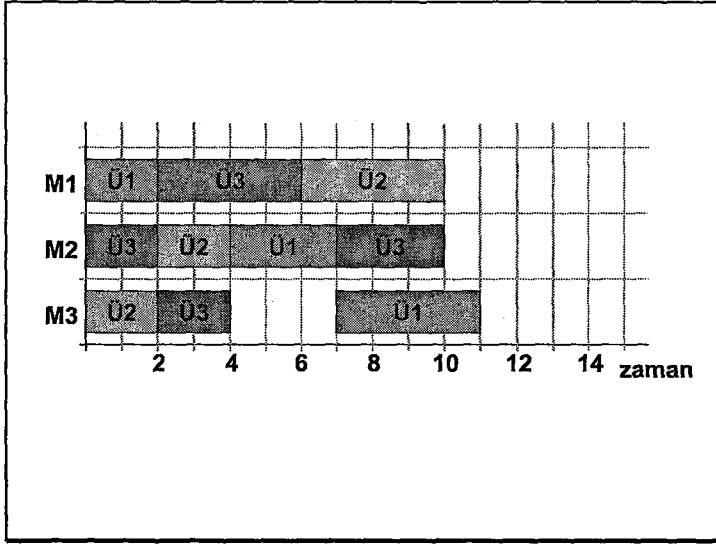


Şekil 5.2. Gantt Şeması 1

İşler sıralanırken sadece bir değil birden çok alternatif ortaya çıkacaktır. Dolayısıyla işlerin çizelgeleri oluşturulurken çeşitli algoritmalara dayanılır. Aşağıda bu problemle ilgili oluşturulabilecek diğer Gantt Şemaları görülmektedir.

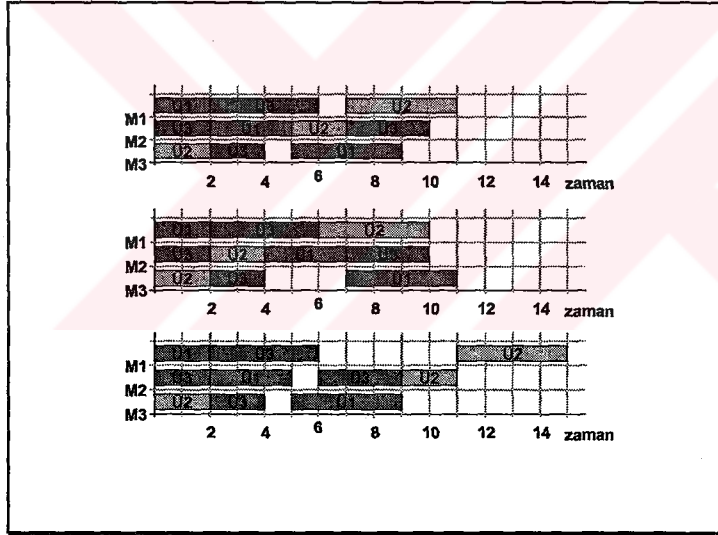


Şekil 5.3. Gantt Şeması 2



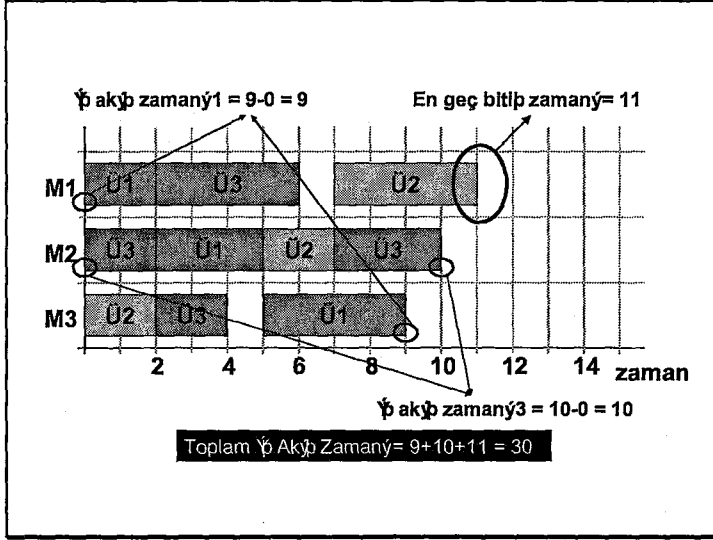
Şekil 5.4. Gantt Şeması 3

Böyle basit bir problemde bile aşağıda görüldüğü gibi 3 alternatif çizelge oluşmuştur. Önemli olan bu alternatif çizelgelerden hangisinin seçileceğidir.



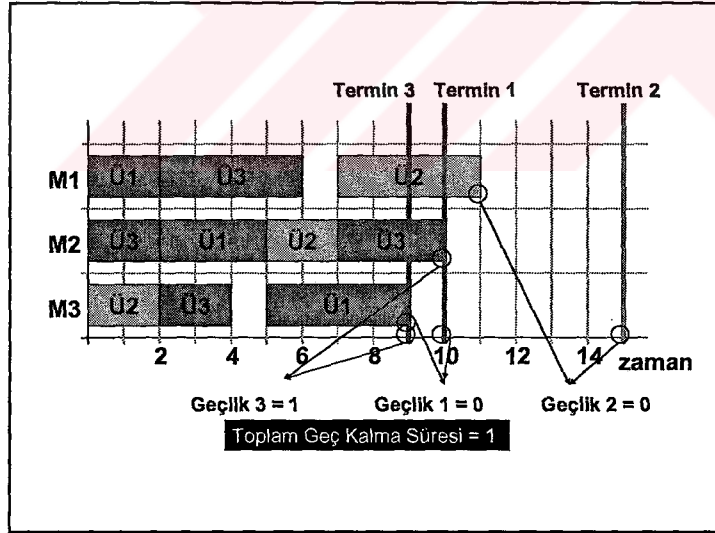
Şekil 5.5. Gantt Şemalarının Toplu Gösterimi

Hangi çizelgenin seçileceği sorusuna cevap vermek için çizelgelerin değerlendirilmesi bazı hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Çizelgeleri değerlendirirken ilk yapılması gereken en geç bitiş zamanı, her ürün için iş akış zamanı ve toplam iş akış zamanının hesaplanmasıdır. İlk oluşturulan şema için aşağıdaki görüleceği gibi en geç bitiş zamanı 11 birimdir. Toplam iş akış süresinde herbir ürünün bitiş zamanlarının toplanmasıyla elde edilir ve bu şema için 30 birim bulunmuştur.



Şekil 5.6. Toplam İş Akış Zamanı Gösterimi

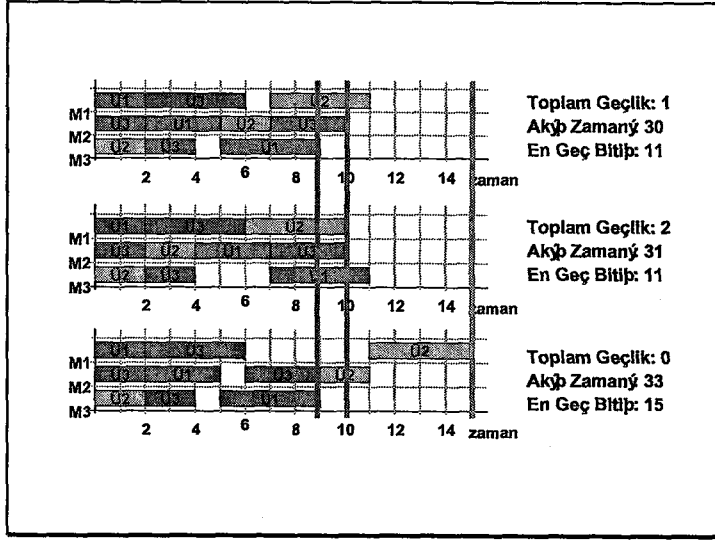
İkinci bakılması gereken kriter termin olmalıdır. Acaba bu sıralama (çizelgelemeyle) termin süreleri ne kadar tutturulabiliyor sorusuna cevap aranmalıdır. Aşağıda ilk oluşturulan şema için geçlik denilebilecek gecikme durumlarının hesaplanması gösterilmiştir. Bu şemaya göre sadece 3 nolu ürünün üretilmesinde 1 birimlik bir sapma oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5.7. Toplam Geç Kalma Süresi Gösterimi

Bu değerlendirmeler yapıldıktan sonra hangi çizelgenin daha uygun olduğuna karar vermek gereklidir. Aşağıda görüleceği gibi eğer terminlerin önemli olduğu bir sektörde çalışıyorsanız toplam geçliğin 0 olduğu yani terminlerde sapmanın olmadığı fakat toplam iş akış süresinin yani bu ürünlerin kapasite kapladıkları sürenin 33 br. Yani en uzun süre olduğu 3 nolu alternatif seçilmelidir. Fakat 3 nolu ürünün 1 br.'lik

gecikmesi sorun çıkarmıyacaksa 1 nolu alternatif seçilmesi daha kısa iş akış süresinden dolayı uygun olacaktır.



Şekil 5.8. Çizelgelerin Değerlendirilmesi

Örnek problemde gözardı edilenler:

- Malzeme kısıtları
- Alternatif kaynaklar
- Çok kapasiteli kaynaklar
- Ara stok kısıtları
- İş gücü kısıtları
- Diğer üretime özel kısıtlar ve tercihler

### 5.5. Güncel Bazı FCS Uygulamaları ve Sonuçları

FCS'nin daha iyi anlaşılabilmesi için Türkiye'de FCS ile ilgili yazılımları kullanan bazı firmaların gerçekleştirdiği uygulamalar ve problemlere getirilen çözümler aşağıda gösterilmiştir (İms, 2000c).

### 5.5.1. Arçelik A.Ş. Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulaması

- Problem:

Yeni bir parça için enjeksiyon presi hazırlamak amacıyla gereken zaman; prese tutturulmuş kalıba, malzemeye ve bir önceki işte kullanılmış olan renge bağlıdır. Bu nedenle, enjeksiyona girecek malzemelerde benzerlerin ya da aynı renkte olan parçaların art arda işlem görmesi, hazırlık sürelerini kısaltacağından önemlidir. Enjeksiyon departmanının sorunu, uzun süren hazırlık süreleri nedeniyle üretim kapasitesinin düşük oranda kullanımıydı. Makine üzerinde alternatif sıralamalar manuel olarak yapılamayacağından dolayı, enjeksiyon aleti üzerinde parçaya göre değişim sık sık yapılmakta, bu da hazırlık süresini uzatmaktaydı.

- Çözüm:

Gereksinimler üzerindeki incelemeden sonra, Arçelik A.Ş.'nin ihtiyaçlarını karşılamak için, firmaya özel bir çizelgeleme algoritması tasarlandı. Enjeksiyon departmanını çizelgelemek için, net bileşen gereksinimleri Oracle veritabanından ASCII dosyasına alındı. Ayrıca, makine, kalıp tanımları ve hazırlık süresi matrisleri ASCII dosyasından alınarak çizelgeleme programına uygun hale getirildi. Program çizelge bilgilerini, ayrı bir ASCII dosyasına yazıyordu. Çizelge basıldı ve uyuşan siparişlerin işemirleri verildi.

- Sonuç:

Gözlenmiştir ki çizelgeleme programı hayata geçtiğinden itibaren, toplam planlama prosesi önemli ölçüde gelişme göstermiştir. Şu anda, hiçbir kalıp daha önceden planlanmadan makineye bağlanmamakta ya da makineden sökülmemektedir. Bunun ötesinde, "Neden-Sonuç Analizi"nin yardımıyla, planlama ekibi ileriye dönük bakabilmekte ve darboğaz durumlarını önceden tahmin edebilmektedir. Sonuç olarak, hazırlık sürelerinden %20 oranında kazanım sağlanmıştır. Bu da demektir ki, bu süre üretime aktarılmıştır.

### 5.5.2. Trakya Otocam Sanayi Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulaması

- Problem:

Kuruluşundan beri istikrarlı ve hızlı şekilde büyümesinden dolayı TOF (Trakya Otocam Fabrikası), tüm üretim prosesinin yönetimi konusunda güçlüklerle yüz yüze gelmektedir. İlk olarak, teslim performansına bağlı müşteri memnuniyeti düşük seviyedeydi ve satış ve üretim departmanı arasında iletişim problemi vardı. Ara stok alanları izlenemiyordu. Gereksiz ve sık ara stok alanı kontrolleri mevcuttu.

Bir diğer problem, bir sonraki aşamadaki üretimi görememenin verdiği üretim makinelerinde parça değiştirmenin sık olmasından ötürü üretim kapasitesinin düşük kullanımıydı. Son olarak, üretim çizelgesinin daha önceden belirlenememesi nedeniyle, kısa ve orta dönem malzeme ihtiyacının belirlenmesi ve malzeme temin planının yönetimi düzgün değildi.

- Çözüm:

Proje veri depolamada Oracle DBMS kullanmaktadır. T.O.F tarafından kayıtları tutulan sipariş verileri üretimi yönetmeye yetecek detaya sahip değildi. Bu nedenle, sipariş teslimatlarının ve iş emirlerinin planlanması için FCS'ye ek bir modül yerleştirildi. Kaynaklar ve işletme içinde mamul üretim rotası veritabanı arayüzü yine program tarafından sağlandı.

Sisteme uyarlanmış çizelgeleme algoritması ve kapasite modülü geliştirildi. FCS iş emirlerini, kaynakları ve mamul rotasını fabrika veritabanından okumakta ve çizelgeyi yine fabrika veritabanına kaydetmektedir. Çizelgenin işlerlik kazanması için iş merkezlerinin önündeki terminallerde gösterilen veri toplama modülü, gerçekleşen üretim verilerini toplayabilsin diye üçüncü şahıslarca geliştirildi.

- Sonuç:

FCS proje uygulamasında fabrikada gerçekleşen tüm faaliyetler kolayca izlenebilmektedir. Neyin ne zaman üretileceği daha önceden belirlenebildiği için, teslim performansı %15 oranında arttı. Şu anda, ara mamul stok miktarı düşmüştür ve çok iyi bir şekilde izlenebilmektedir. FCS mekanizmasıyla hazırlık sürelerinden kaynaklanan üretim kapasitesi kaybı %10 oranında azaltılmıştır. Çizelgeleme yoluyla

kısa dönem malzeme ihtiyacı belirlenebilmektedir. Sonuç olarak, bir günlük cam levha stoku tutulmakta ve malzeme açığı görülmemektedir. Orta dönem malzeme ihtiyacıysa kapasite planlama modülüyle belirlenmektedir.

### 5.5.3. Camiş Ambalaj San. A.ř. Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulaması

- Problem:

Camiş'te FCS uygulanma projesinden önce, satış, planlama ve üretim departmanı arasındaki ilişki, üretim planlama döngüsünde meydana gelen problemler nedeniyle oldukça baskı altındaydı. Her perşembe düzenli olarak, bu departmanlarda çalışanların da katıldığı toplantılar yapılır, ancak bu toplantılar olağan toplantılara benzemez, çalışanların çekişmesiyle geçerdi. İş emirlerinin altındaki işlerin hazırlıklarına harcanan zamanın çok uzun olmasının yanında, doküman akışı çok yoğundu. Bu nedenle, müşteri siparişlerinin maliyetlerini hesaplamada çok başarılı değillerdi. Diğer büyük problemler üretim aşamasındaydı. Tezgahların hazırlığı üzerine çok fazla zaman harcıyorlardı ve bu zaman kaybı makine önündeki yarı mamul stok seviyesini artırıyordu.

- Çözüm:

Camiş, veri işleme operasyonlarında Cobol ve Oracle kullanmaktadır. Müşteri siparişleriyle ilgili olarak oluşturulan iş emirlerinin hazırlanması için birincil olarak Basic programlama dilinde geliştirilmiş bir editör kullanmaktaydılar. Bu editör yerine, Camiş'in veritabanından verileri okuyan ve bunları FCS'ye aktaran yeni bir arayüz geliştirildi ve uygulamaya koyuldu. FCS Camiş'in bilgi sistemiyle bütünleşik hale geldi. Bu arayüz yoluyla, FCS siparişleri bir araya getirip bunları üretim için iş emrine dönüştürmektedir.

Bu proses sırasında FCS ayrıca, mevcut ve yeni iş emirleriyle ilgi olarak rapor sunmaktadır. Yukarıda belirtilene ek olarak program, yeni siparişin maliyetini de mevcut maliyet faktörlerine dayanarak hesaplayabilmektedir. Üretim sonunda program ayrıca operasyonlar sonucunda oluşan üretim maliyetini de hesaplar. Her bir iş istasyonundaki terminaller yoluyla üretim merkezinden veri toplarlar ve bu veriler FCS tarafından bir sonraki çizelgeleme periyodunda operasyonların geri kalanını çizelgelemede ve günlük iş emirlerini iş istasyonlarına vermekte kullanılır.



- Sonuç:

Camiş Ambalaj'daki FCS projesi, işletmeye maliyetlerini önceden hesaplama şansı ve müşteriyle yapılan telefon konuşması sırasında siparişin termin tarihini belirleme şansı vermiştir. Bu zamanında yapılan teslimlerle doğrudan müşteri tatminini arttırmaktadır.

Operasyonların çizelgelenmesinde optimizasyonu sağlayan işletme, kapasite kullanımını da arttırmıştır. İş istasyonlarındaki terminallerin desteğine ek olarak FCS Gantt Şeması yoluyla gelecekteki operasyonların kayıtlarını da tutmaktadırlar.



## 6. UYGULAMA

### 6.1. Uygulama Yapılan Firmanın Tanıtımı

#### 6.1.1. Genel Bilgiler

Assan Alüminyum Tesisleri , İstanbul – Ankara karayolu üzeri Tuzla/Bandros mevkinde 370.000 m<sup>2</sup> açık 70.000 m<sup>2</sup> kapalı alan üzerinde kurulmuştur. Metal Endüstri alanında önde gelen kuruluşlardan birisi olan Assan Alüminyum, Kibar Holding bünyesinde yer almaktadır.

Assan Alüminyum Türkiye'nin ihtiyacı olan yassı alüminyum mamullerinin yarısından fazlasını karşılamaktadır. Yıllık döküm kapasitesi toplam 82.000 ton olan sürekli döküm makinelerine sahiptir ve üretilen ürünlerde maksimum genişlik aralığı 2150 mm olup, 1700, 1320 mm ende malzemeler üretilmektedir. Şu an 2300 mm'ye ulaşan enlerde soğuk hadde makinesi ve buna ilaveten 1300 mm ene sahip mamülleri haddeleyen hadde makinası mevcuttur. Folyo ürünleri için kalınlık aralığı 6.35'den 250 mikrona kadar değişmekte olup yıllık üretim kapasitesi 17.000 ton'a ulaşmıştır. Folyo ürünlerinde 1700 mm genişliğinde üretim yapılmaktadır.

Assan Alüminyum Fabrikasında 1999 yılında döküm hatlarında 50.660 ton, levha işletmesinde foil stock ile birlikte 48.633 ton, folyo işletmesinde ise 14.173 ton üretim gerçekleştirilmiştir. Firmada aylık yapılan toplam satışın %50'si yurtdışı ülkelere ihraç edilmektedir. Kalan %50'lik bölüm ise yurtiçi piyasaya satılır.

Başlıca ürünleri şunlardır:

- Dökme Rulo
- Rulo
- Tabaka Levha
- Şerit Rulo
- Oluklandırılmış Çatı ve Cephe Kaplama

- Çeta
- Aksesuar Malzemeleri
- Folyo Ürünleri
  - Ambalaj Folyosu
  - Blister Folyo
  - Sigara Folyosu
  - Laminasyon
  - Mutfak Folyosu
  - Buruşuk Kap ( Konteyner Foil )
  - Esnek Boru ( Flexible Pipe )
  - Finstock
  - Kapak Folyosu
  - Pilferproof
  - Mum Kabı
  - Termokolon

### 6.1.2. Organizasyon Yapısının Analizi

Assan Alüminyum'un organizasyon yapısı yalın bir görüntü arz etmektedir. Genel müdüre bağlı tek genel müdür yardımcısı bulunmaktadır ve diğer müdürlükler bu seviyeden dallanır. Üretim, her biri bir işletme müdürü tarafından yönetilen ve genel müdürün bir alt seviyesindeki fabrika müdürlüğüne bağlı olan, üç ana işletmeye bölünmüştür:

- Döküm İşletmesi

- Levha İşletmesi
- Folyo İşletmesi

Tüm planlama fonksiyonları, doğrudan genel müdüre bağlı olan, Üretim Planlama ve Kalite Güvence müdürlüğü tarafından yürütülmektedir. Ancak, işletme müdürlükleri, planlama müdürlüğüyle birlikte hazırlanan yaklaşık plana sadık kalmak kaydıyla, kendi güncel üretim planları üzerinde değişiklikler yapabilmektedirler (Assan, 1999).

## 6.2. Üretim Sisteminin Analizi

### 6.2.1 Sipariş Alımı

Siparişler Ticaret müdürlüğüne bağlı olarak faaliyet gösteren

Levha Dış Satış

Levha İç Satış

Folyo İç ve Dış Satış birimleri vasıtası ile alınmaktadır.

### 6.2.2 Genel Tanımlar

Assan'da ürünler 2 ana grup altında toplanmıştır:

#### Rulo ve Levha Ürünleri

Çeşitli alaşımlardan imal edilen, farklı kondüsyon ve kalınlıklardaki rulo, şerit ve tabaka levhalar bu gruba girmektedir. Ürünler standart, gofrajlı, yağlı/yağsız, çetalı, pilfer proof rulo/levha ve trapez levha şeklinde olabilmektedir.

#### Folyo Ürünleri

250 mikrondan ince olan ürünler bu gruba girmektedir. Kullanım alanlarına göre ilaç folyosu, kapak folyosu, buruşuk kap folyosu, termokolon, finstock, mutfak folyosu,

esnek boru folyosu, kablo folyosu, izolasyon folyosu ve değerlendirilmiş folyo şeklinde adlandırılabilmektedir.

#### 6.2.2.1 Sipariş Aşamasında Ürün Tanımları

Genel anlamda bir ürün kodlama sistemi yoktur. Ancak siparişler önceden belirlenmiş ve ürün tipleri ile bağlantılı “Özellik Grupları” dahilinde ve gerektiğinde ek açıklamalar ile alınmaktadır. Özellik Gruplarını, “Ürün gruplarını tanımlamakta kullanılan formlar” şeklinde açıklamak mümkündür.

Örnek olarak “Alüminyum Rulo” tipi ürünler için geçerli olabilecek bir “Özellik Grup” tanımını aşağıda veriliştir:

01 Alüminyum Rulo	-- Ürün
01 Alüminyum Rulo	-- Özellik Grubu
02 – Alaşım	-- Özellik
03 – Kondüsyon	
05 – Üreticisi	
07 – Kalınlık	
08 – En	
10 – İç çap v.b.	

#### 6.2.2.2 Ürünlerin Genel Özellikleri

**Alaşım:** Ürünün kompozisyonunu (% Si, Fe, Cu, Mn, Mg) belirleyen 1050, 3003, 8011, vb. kodlar ile gösterilmektedir.

**Kondüsyon:** Aynı alaşıma sahip alüminyum rulolar tabii oldukları hadde ve tav işlemlerine bağlı olarak değişik çekme, akma ve uzama özelliklerine sahip olabilmektedirler. Bu özellikler H12, H16, vb. kodlar ile belirtilmektedir.

**Kullanım alanı:** Malzemenin nerede kullanılacağı bilgisi. Kondüsyon kodu malzemenin fiziksel özelliklerini belirli bir aralıkta tanımlamaktadır. Ancak bazı istekler için bu yeterli olmamaktadır. Malzemenin, kondüsyon kodunun belirttiği aralığın hangi bölgesinde (örnek: alt veya üst limite yakınlık) olacağı kullanım alanı kodu ile belirlenmektedir.

**Kalınlık:** Levha, folyo veya rulonun kalınlığı.

**Yüzey kalitesi:** İstenen ürünün yüzey kalitesi burada belirtilmektedir. Döküm ve haddeleme proseslerini ilgilendirmektedir. A, B, C, D,... gibi harflerle ile gösterilmektedir ( A en iyi kalite).

**En:** Levha, folyo veya rulonun sipariş eni.

**Ağırlık:** Siparişin net toplam ağırlığı.

**Rulo iç, dış çap:** Rulo halinde sevkedilecek mamullerin iç ve dış çaplarının minimum ve maksimum değerleri (mamul iç çapı sadece belirli değerler alabilir).

### 6.2.3. Sipariş Tahmin Metodu

Mevcut siparişlere ilave olarak yapılan sipariş tahminleri ve buna döküm planlaması ayda bir yapılan toplantılar ile belirlenmektedir. Tahminlerde şu veriler kullanılmaktadır:

- 1- Önceki dönemlere ait veriler,
- 2- Gelecek döneme ait beklentiler,
- 3- Kişisel tecrübeler,

Öte yandan, yine geçmiş dönem siparişleri gözönüne alınarak, malzeme hadde ve tav işlemleriyle belli bir kalınlığa kadar incelebilmektedir (Assan, 2000).

### 6.3. Sonlu Kapasite Çizelgeleme Proje Amacı

Assan Alüminyum Tesisleri gibi siparişe dayalı üretim yapan ve birbirinin alternatifi olarak kullanılabilir çok sayıda proses hattı ile yaklaşık 100,000 ürün kombinasyonu ile pazara hizmet veren bir işletmede planlama probleminin çözülebilmesi klasik planlama yaklaşımları ile mümkün değildir. İyi bir çözüm için tüm kaynakların gerçek kapasitelerini, ne zaman sonlandıklarını ve bu kaynakları her bir operasyonda ne şekilde ve hangi sıra ile kullanılacağına dair tüm detayları içine alan bir süreci modelleyen dolayısıyla sonlu kapasite planlaması ve çizelgelemesi yapan bir modüle ihtiyaç vardır. Yassı metal ürünleri için konuda pazarda bulunan ürünlere bakıldığında henüz bir ERP paket programı ile entegre edilmediği görülmüştür. İşte bu tip boşlukları doldurarak işletmemizin planlama problemine çözüm getirmek üzere böyle bir yazılım geliştirilecektir.

Sürekli döküm yapan işletmenin döküm, levha ve folyo üretim proseslerinde mevcut makina parkındaki tezgah sayısının fazla olması yönüyle, bu makine parkı içinde birbirine alternatif olan kaynakların ve akışın optimum şekilde yüklenebilmesi ve çizelgelenebilmesi Assan Alüminyum gibi siparişe dayalı üretim yapan ve geniş yelpazede ürün üreten bir işletmede oldukça zor bir iştir. Bu sorun, stok kontrol politikaları geliştirme güçlükleri, tam zamanında üretim yapamama, kaynakları dolu ve üretken tutamama, darboğaz yaratan üretim hatlarını görerek buralarda yaşanan bir aksamanın tüm sistemde nelere yol açtığını görememe gibi sorunlara neden olmaktadır.

Proje kapsamında, çeşitli etütler dikkate alınacak, teknik kısıtlar ortaya konacak, kaynak kısıtları tespit edilecek, üretim yöntemleri gözden geçirilerek gereken standart operasyon prosedürleri ve rotalar hazırlanacak, kaynak senkronizasyonları belirlenerek bir modül geliştirilmesi için gereken yazılımlar gerçekleştirilecektir.

Bu projenin gerçekleşmesi ile;

1. Siparişlere doğru termin verilebilecek, siparişlerin tam zamanında hazır edilmesi beklenmektedir (terminden ne sonra, ne de önce)
2. Kapasite kullanımında artış gerçekleşecek ve üretim akışı dengelenebilecektir,

3. Darboğaz yaratan noktalar kolayca tespit edilebilecek, bunlarla ilgili gereken tedbirler alınabilecek, hatta gerektiğinde alınacak yatırım kararlarında hazırlanacak olan bu modülden elde edilecek veriler kullanılabilir,
4. Hurda miktarları ve işletme içi stokları azalacak,
5. Üretime ayrılan zamanlar doğru yöntemlerle belirlenip takip edilecek, standart zaman tespit çalışmalarıyla geliştirmeler yapılacaktır. Boş kalan süreler minimize edilecek,
6. Stratejik stok miktarları belirlenerek bunların hazır tutulması için geliştirilecek olan politikalar belirli hale gelecek,
7. Kurulacak raporlama sistemi ile planlama yönetim fonksiyonları iyileştirilecek,
8. Hammadde tedarik planları gözden geçirilerek hammaddelerin stokta bekleme süreleri azalacak,
9. Tek tek üretim hatlarının verimli şekilde yüklenmesi değil tüm tesisin optimizasyonu dikkate alınacaktır.

Özetle, müşteri memnuniyeti sağlanacak, etkin ve verimli çalışmalar ile üretim yapılabilir.

#### **6.4. Planlama Süreci Analizi**

Bu aşamada projede şu anda yapılmakta olan planlama işlemlerinin ne şekilde gerçekleştirildiği, planlama yapabilmek için gerekli temel bilgilerin neler olduğu ve bunların mevcut ERP programında nerelerde kayıtlı olduğunun tespiti ve yaşanan sıkıntıların hangi aşamalarda olduğu listelenerek ve programın hangi çözümleri getirmesi gerektiği analizi yapılacaktır (Assan, 2000).

Çizelgeleme yaparken kullanmamız gereken süre kısıtlarının neler olduğunu tespit etmek üzere üretim hatları etüd edilecek ve her bir üretim hattının çalışma ve duruş süreleri, bunların ürüne ve işleme göre nasıl değiştiği, tezgahları yüklemeye kullandığımız kriterler, üretim hatlarının teknik spesifikasyonları yani kaynak kısıtları belirlenecektir.



Bunlara ek olarak üretim hatlarının senkronizasyonu için kısıtların neler olduğu, hatları dengelemek amacıyla işleme alınacak olan malzemelerin peşi sıra gelecek işlemlerinin hangi koşulları dikkate alarak simüle edilip çizelgeleneceği incelenecektir.

Sistem mimarisi tasarımı aşaması, temel anlamda çizelgeleme yazılımında hazırlanması düşünülen modüllerin alt yapısının nasıl oluşturulacağına baz teşkil edecektir. Bu üç modül;

1. Malzeme Planlama,
2. Üretim Planlama,
3. Üretim Çizelgeleme olmak üzere belirlenmiştir.

#### **6.4.1. Malzeme Planlama Modülü**

Malzeme Planlama Modülü kullanılmakta olan ERP paket programında takibi yapılan proses içi envanterler ve hammaddelerin hangi siparişe tahsis edileceğini belirleyebilmek, ayrıca mevcut envantere bulunamayan, ihtiyaç duyulan malzemeler için bir tedarik planı oluşturmak ve tedarik edilecek malzemelerin ve partilerin büyüklüklerini belirleyebilmek için sipariş bilgileri ve ERP programında bulunan stokların kontrülünü yürütmek üzere hazırlanacak modüldür. Bu amaçla, hazırlanacak olan ilk modülün nasıl olması gerektiği ve kullanılmakta olan veri tabanı "SQL" ile nasıl bir iletişim içinde olacağı, hangi tablolardan, nasıl bilgi transferi yapılabileceği tespiti gerekmektedir.

#### **6.4.2. Üretim Planlama Modülü**

Üretim Planlama Çizelgeleme Modülü'nde, üretim planlarının orta ve uzun vadede kapasite planlamaları yapılacaktır. Bunu gerçekleştirebilmek için kısıtları tanımlanacak olan kaynakların alternatifleri de dikkate alınarak, kapasiteleri planlanacaktır. Bunun için, hazırlanacak olan, çok geçişli planlama algoritması kullanılacak, ek olarak müşteri önceliklerine göre malzeme akışı optimize edilecektir. Bu amaçla hazırlanacak olan yazılım ERP paket programında hazırlanan üretim planları, çizelgelemeye altyapı oluşturacak planlama bilgilerini derleyerek

bunları işletme içinde kullanılabilir, zamanları belirlenmiş bilgiler haline getirecektir. Proje bu modülde ihtiyaç duyduğu bilgileri ERP paket programından SQL tablolarına aktarılacak, tespitleri yapılacak bilgileri kullanacaktır.

Projede çizelgeleme önceliği üretimimizin ilk aşaması olan çok hatlı Döküm İşletmesi çizelgelemesine verilmiştir. Ardından çok hatlı levha işletmesi çizelgenecektir. Aynı ayrı çizelgelenen bu işletmeler yapılan bu çalışmaların ardından birlikte çizelgenecektir. Gerçekleştirilen bu çizelgelerin ışığında üretim hatlarına yapacakları işleri liste halinde verebilmek adına çizelge listeleri ( üretim çalışma programı listeleri ) oluşturma çalışması gerçekleştirilerek, çıkan sonuçlar değerlendirilecek, varsa problemlerin giderilmesi yönünde tedbirler alınacaktır. Bu aşamaların hemen sonrasında folyo işletmesi ve paketleme ünitelerinin çizelgeleme ve sıralamaları gerçekleştirilecektir.

#### **6.4.3. Üretim Çizelgeleme Modülü**

Bu iş paketi kapsamında öncelikli olarak sipariş modülü için çizelgelemeye yansımaları gereken bilgilerin tespiti ve bu bilgilerin nasıl kullanılacağı tespiti yapılacak ve gerekli yazılım çalışmaları gerçekleştirilecektir. Ayrıca 3. İş paketi kapsamında teker teker çizelgelediğimiz üretim hatlarını senkronize olmuş şekilde çizelgeleyebilmek ve sipariş terminlerini kolay verebilmek için çalışmalar yapılacaktır.

Gerçekleştirilecek yazılımla her bir sipariş için kalınlık, en, alaşım gibi temel bilgileri dikkate alarak, uygun malzeme seçimi yapılabilecektir.

Simülasyon ve optimizasyon teknikleri kullanılarak her bir üretim hattının, her malzeme ya da parti için başlangıç ve bitiş terminlerinin belirlenebilmesi, bunların sıralanması, sıralanan bu operasyonların listelenmiş halde üretim hatlarına ulaştırılabilmesi için kullanılacak modüldür. Bu modül yapacağı çizelgelerde belirlenmesi düşünülen proses akışını ve bunun alt detayında, malzemeye ve nihai ürün özelliklerine bağlı olarak standart operasyon prosedürlerini kullanacaktır. Bu bilgilerin yanı sıra değişen zaman kullanımları, boş kalma süreleri gibi bilgileri derleyerek, sonuçta hurda ve atıl süre minimizasyonu, sipariş gecikmelerinde azalma, stok ve darboğaz azaltımı ve tüm işletmenin çizelgenebilmesi gibi faydaları

sağlayacak altyapının oluşturulması hedeflerine yönelik olarak çalışacaktır. Bu doğrultuda, yazılacak olan program için ihtiyaç duyulabilecek diğer kısıtlar tespit edilecek, bu bilgilere mevcut ERP paketinde nasıl ulaşılabileceği, SQL'de yapılması gereken hazırlıkların neler olduğu ve diğer gerekli olabilecek arayüz programları için altyapı çalışmaları belirlenerek sistem tasarımı gerçekleştirilecektir.

Nihai ürün özellikleri ve dağılımına göre malzeme / parti eşleme ya da bölümlenme ise üretimi yapacak tezgahların kullanım oranlarını artırabilmek için birden fazla siparişi birlikte üretmeye karar vererek tahsis edilecek malzeme ya da malzeme grubunu yani parti büyüklüklerini belirlemek ve belirlenmiş olan bu parti büyüklüklerini gereken aşamada bölümlenme işlemini gerçekleştirecektir.

Hammadde ihtiyaçlarının planlanması ve tedarik planının oluşturması işlemi de gerçekleştirilecek yazılım aracılığıyla yapılacaktır. Siparişler için gereken malzemelerin döküm işletmesinden paketleme aşamasında kullanılacak olan paketleme malzemelerine kadar, ihtiyaç duyulacak her hammadde ihtiyacı bu yazılım aracılığıyla hesaplanacak daha önce gerçekleşen tedariklerin süresi dikkate alınarak tedarik planları oluşturulacaktır.

Siparişlere planlanan malzemelerin prosesin herhangi bir aşamasında karşılaşılabileceği problemler nedeniyle sipariş için kullanılamaması gibi riskli durumları dikkate alarak stratejik önem taşıyan malzemelerden stokta malzeme bulundurulması yaşanacak herhangi bir problem karşısında siparişlerin bu stoklar aracılığıyla karşılanması yoluna gidilecektir. Proje kapsamında bu tip malzemeler de belirlenerek stokta bulundurulmaları için gereken hammadde tedariki, planlaması ve çizelgeleme işlemleri gerçekleştirilecektir.

Çıkabilecek sorunlar nedeniyle, kalite ya da malzeme parti bölümlenme konularında sıkıntılar oluşması, ve bu nedenler doğrultusunda malzemelerin tahsis edildikleri siparişlere yönlendirilmekten vazgeçilerek başka siparişlere ya da stoğa yönlendirilen malzemelerin azaltılabilmesi ve işletme içinde tutulan stok seviyelerinin azaltılması için çalışmalar gerçekleştirilecektir. Proje kapsamında bu yolla envanter fazlasının minimizasyonu hedeflenmektedir.

Proje kapsamında, daha önce ayrı ayrı çizelgelenen üretim hatlarının senkronize edilmiş şekilde çizelgenerek, yalnızca üretim hattı kapasitelerinin değil, tüm

işletme kapasitesinin optimum yüklenmesini amaçlayan simülasyonlar gerçekleştirilecektir.

Senkronize üretim çizelgeleme simülasyonları aşamasında, hazırlık sürelerini minimize etmek, atıl süreleri azaltmak, sipariş gecikmelerini minimize etmek, darboğazları ortadan kaldırmak üzere, alternatif kaynakları yönlendirebilmek, hurdaları minimize etmek ve tüm tesisin çok geçişli ürün karmasını optimize etmeye yönelik çalışmaları yapabilecek yazılım çalışmaları yapılarak, simülasyon denemeleri ile programın güvenilirliği test edilecek ve gerçekleştirilen yazılıma son hali kazandırılacaktır. Bu paketin son aşaması olan termin belirleme modülünün geliştirilmesi aşamasında da satış yetkililerinin müşterilerle sipariş alma aşamasında yaptıkları görüşmeler sırasında termin tarihi vermeyle ilgili sıkıntılarını giderebilmek üzere bu yazılım kullanılacaktır.

## 6.5. Proje Kaynakları

Değişik teknolojik özelliklere sahip 5 adet döküm hattı vardır (DH1 → DH5). Alüminyum rulolar hem Assan dahilinde dökülmekte, hem de dışarıdan temin edilmektedir. Dışarıdan temin edilen rulo oranı mümkün olduğunca azaltılmaya çalışılmaktadır. Ancak dışarıdan alım miktarının hiçbir zaman sıfır seviyesine inmeyeceği belirtilmiştir. Alüminyum rulolar çeşitli alaşımlar kullanılarak, değişik enlerde, 5.5-12 ton aralığında üretilmektedir. Standart döküm enleri 1320, 1700 ve 2150 mm dir.

Tipik döküm hattı girdileri şunlardır:

Ham maddeler: Dışarıdan temin edilen külçe, slab ve ingot alüminyumlar döküm hatlarının ana girdisini oluşturmaktadır.

Hurda: Fabrika içerisinde imalat sırasında ortaya çıkan kalitesiz malzemeler ve fireler alaşım grupları dahilinde toplanarak bazı alaşımların dökümünde tekrardan değerlendirilebilmektedir. Sürekli olarak hurda malzeme olduğu göz önünde bulundurulursa söz konusu hurdaların yüksek miktarlarda birikimini önlemek için belli alaşım özelliklerinde döküm yapılması gerekliliği vardır.

Alaşım Elementleri ve katkıları: Dökülen rulolarının belirli kompozisyonlarda olması alaşım element eklemeleri ile sağlanmaktadır. Bu elementler büyük miktarlarda kullanılmadıklarından ve stok seviyeleri önceden ayarlandığından dolayı üretimsel bağlamda kısıt değillerdir.

Rulolar folyo ve levha amaçlı olabilmektedir. Ancak zorunlu hallerde rulo kullanım alanları, rulo niteliklerinin elverdiği ölçüde ilk döküm amacının dışına çıkabilmektedir. (Folyo için dökülen rulonun levha değerlendirmede kullanılması gibi.) Döküm hatlarının çalışması durumunda bekleme yapmaması tercih edilmektedir. Dökümden çıkan rulolar soğuk hadde, levha ve dilme hatlarında kullanılabilir. Ayrıca paketlenerek sevk edilebilmektedirler. Üretilebilecek rulo ebatları döküm hattına göre değişkenlik göstermektedir.

#### 6.5.1. Döküm Hattı I (Modified Hunter Standart Caster)

Döküm Hattı I'in özellikleri aşağıdaki gibidir:

Ergitme fırını	: Hengelmolen (Metal kapasitesi 20.000 Kg)
Tutma fırını	: Hengelmolen(Metal kapasitesi 10.000 Kg)
Döküm Makinesi	: Hunter

Çizelge 6.1. DH1 Döküm Makinesi Özellikleri

Döküm Genişliği	Max 1400 mm	Min 1100 mm
Döküm Kalınlığı	Max 10 mm	Min 5,0 mm
Döküm Kapasitesi	1140 Kg/m/saat	
İşletme Kapasitesi	10.000 ton / yıl	
Rulo Ağırlığı	6,5 ton	
Rafinasyon	Flux enjeksiyon yöntemi ve Degassing sistemi	

### 6.5.2. Döküm Hattı II (Hunter Speed Caster)

Döküm Hattı II'nin özellikleri aşağıdaki gibidir:

Ergitme fırını : Hengelmolen (Metal kapasitesi 48.000 Kg)

Tutma fırını : Hengelmolen(Metal kapasitesi 24.000 Kg)

Döküm Makinesi : Fata Hunter

Çizelge 6.2. DH2 Döküm Makinesi Özellikleri

Döküm Genişliği	Max 1725 mm	min 1200 mm
Döküm Kalınlığı	Max 6.35 mm	min 1.8 mm
Döküm Kapasitesi	Ort.1400 kg / m/ saat (1050 alaşımı için)	
Rulo Ağırlığı	10 ton	
İşletme Kapasitesi	18.000 ton / yıl	
Rafinasyon	Flux enjeksiyon Yöntemi + Degassing Sistem	

### 6.5.3. Döküm Hattı III (Hunter Speed Caster)

Ergitme fırını : Hengelmolen (Metal kapasitesi 72.000 Kg)

Tutma fırını : Hengelmolen(Metal kapasitesi 36.000 Kg)

Döküm Makinesi : Fata Hunter

Çizelge 6.3. DH3 Döküm Makinesi Özellikleri

Döküm Genişliği	Max 2184 mm	Min 1453 mm
Döküm Kalınlığı	Max 6,35 mm	Min 1.8 mm
Döküm Kapasitesi	Ort.1400 kg / m/ saat ( 1050 alaşımı için)	
Rulo Ağırlığı	12.5 ton	
İşletme Kapasitesi	24.000 ton / yıl	
Rafinasyon	Flux enjeksiyon Yöntemi + Degassing Sistem	

#### 6.5.4. Döküm Hattı IV-V (Hunter Speed Caster)

Döküm Hattı IV ve Döküm Hattı V'in özellikleri aşağıdaki gibidir:

Ergitme fırını : Hengelmolen (Metal kapasitesi 51.000 Kg)

Tutma fırını : Hengelmolen(Metal kapasitesi 36.000 Kg)

Döküm Makinesi : Fata Hunter

Çizelge 6.4. DH4 ve DH5 Döküm Makinesi Özellikleri

Döküm Genişliği	Max 2184 mm	min 1453 mm
Döküm Kalınlığı	Max 6,35 mm	min 1.8 mm
Döküm Kapasitesi	ort.1400 kg / m/ saat ( 1050 alaşımı için)	
Rulo Ağırlığı	12.5 ton	
İşletme Kapasitesi	2 x 24.000 ton / yıl	
Rafinasyon	Flux Enjeksiyon Yöntemi + Degassing Sistem	

#### 6.5.5. Vardiya Düzeni

Fabrika, genel anlamda yılda 365 gün ve 3 vardiya çalışmaktadır. Vardiya saatleri 0-8, 8-16 ve 16-24 olarak belirlenmiştir. İşçiler ise haftada 6 gün çalışmaktadırlar ve her hafta çalıştıkları vardiyalar değişmektedir. Yemek ve çay aralarında makina üretimleri devam etmektedir, işçiler yemeklerini dönüşümlü olarak yemektirler.

#### 6.6. Proje Kısıtları ve Kriterleri

Her ayın 20-25 inde yapılan planlama toplantılarında, döküm işletmesinin aylık üretim programı belirlenir. Daha sonra, döküm işletmesi verilen aylık üretim programını elindeki 5 döküm hattını kullanarak ve aşağıdaki kısıt ve kriterle uyarak yerine getirmeye çalışır:

1. Alaşım geçiş sıraları :

Alüminyum alaşımları 1050 – 1200 – 1235 – 3003 – 3105 – 8111 – 8011 - 8009'dür. Alüminyum ile birlikte, magnezyum, demir, silisyum, titanyum gibi

elementler birlikte eritilerek çeşitli alüminyum alaşımları meydana getirilmektedir. Bunlardan en saf yani, en fazla alüminyum oranına sahip olan alaşım minimum %99.40 ile 1050 alaşımıdır. Daha sonra 1200 ve diğer alaşımlar gelmektedir. Alaşım geçişleri iki şekilde yapılabilmektedir. Birincisi geçiş alaşımlarında malzeme üretmektir. Bu yöntemde bir alaşımdan diğerine geçerken malzeme içindeki alüminyum ve diğer element oranları değiştirilerek üretime devam edilir ve sonunda istenen alaşımda malzeme elde edilinceye kadar geçen zamanda üretilen malzemeler geçiş alaşımı malzeme olarak adlandırılır. İkinci metod ise hat durdurularak sıcak temizlik yapılır ve yeni alaşıma yeni döküm işlemi ile başlanır. Bu yöntemlerden bu proje ile birlikte sıcak geçiş uygulamasına geçilmiştir. Bunun sebebi, geçiş alaşımı malzemelerden üretilen nihai ürünlerin standart olmaması, kişisel tecrübelerle belli müşterilere verilebilmesi ve müşteri şikayeti olma olasılığıdır. Sıcak temizlik ile planlanan ve standart ürünlerin üretilmesine karar verilmiştir. Döküm sırasında saf alaşımdan daha az saf alaşıma geçerken kısa bir setup duruşu yaşanırken, birleşim elementleri fazla olan bir alaşımdan, daha saf bir alüminyum alaşımına geçiş yapılırken uzun bir setup (sıcak temizlik) süresi geçilmektedir. Aşağıdaki tabloda alaşım geçişlerinin süreleri görülmektedir. Saat cinsinden verilen sürelerden birinci sıra Döküm Hattı 1 ikinci sıra Döküm Hattı 2-3-4-5 alaşım geçiş süreleridir.



Çizelge 6.5. Döküm Hattı 1-2-3-4-5 Alaşım Geçiş Süreleri

	1050	1100	1200	1235	8011	8079	8009	3003	3105	5005	5052	5182	5754
1050		0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83
1100	0,66 0,83		0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83
1200	0,66 0,83	0,66 0,83		0	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83
1235	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83		0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83
8011	15 10	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83		0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83
8079	15 10	15 10	15 10	15 10	0,66 0,83		0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83
8009	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10		0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83
3003	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	0,66 0,83		0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83
3105	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	0,66 0,83	15 10		0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83
5005	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10		0,66 0,83	0,66 0,83	0,66 0,83
5052	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10		0,66 0,83	0,66 0,83
5182	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10		0,66 0,83
5754	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	15 10	

Tabloda görüldüğü üzere örneğin DH3'de 1050 alaşımından 3003 alaşımına geçilirken 0.66 saat setup süresi mevcuttur, oysa 3003 alaşımından 1050 alaşımına geçilirken 15 saatlik bir setup süresi bulunmaktadır. 8011 ile 8111 alaşımlarının diğer alaşımlara geçiş değerleri aynı olup tabloda sadece 8011 gösterilmiştir.

## 2. Ara terminler :

Sipariş termin tarihleri ve sonraki operasyonlar gözönüne alınarak, ÜPK tarafından döküm operasyonlarına ara terminler verilmektedir. Ancak bu ara terminler genellikle hafta ve 10 günlük dilimler bazında ifade edilmektedir. Döküm programının, verilen terminlere uyum göstermesi gerekmektedir.

## 3. Döküm Kalınlığı :

Döküm hatlarının planlanmasında bir diğer kısıt malzeme kalınlığıdır. Hatlarda dökülen malzeme kalınlığı, ince ve kalın olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

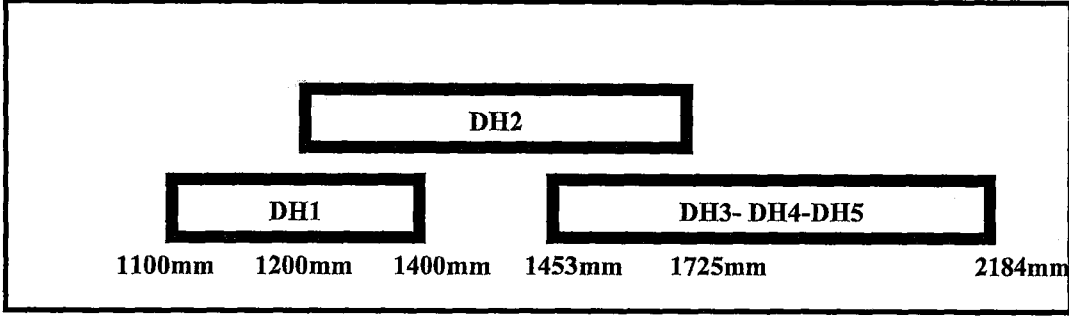
Alaşımara göre ince döküm kalınlıkları 3–4 mm (ince) yada 5–6 mm (kalın) olmaktadır. Örneğin 1050 alaşımı ince olarak 3 mm, kalın olarak 5 mm kalınlığında dökülebilmektedir. Alaşımın hangi kalınlıkta döküleceği siparişlerin kullanım amacına göre önceden belirlenmektedir.

Alaşım geçişleri sırasında ince dökümden kalın döküme geçerken merdane değişmesi gerekebilir. Oysa ince döküm bir alaşımdan yine ince döküm başka bir alaşıma geçiş yapılırsa sadece tip değişimi yapılmaktadır.

## 4. Döküm genişliği :

Her bir döküm hattında döküm sırası geniş enden dar ene doğru olmalıdır. Aksi takdirde, dar enden geniş ene geçişlerde, geniş enli rulonun üzerine merdane izi çıkmakta veya merdane değişimi gerekmektedir.

Önceden belirlenmiş olan aylık döküm talepleri hatlara göre ayrılır. Aşağıda ki şekil 6.1’de döküm hatları en kapasitelerinin bir gösterimi açıklanmıştır :



Şekil 6.1. Döküm Hatları En Büyüklüklerinin Gösterimi

Buna göre malzeme eni  $\geq 1200$  mm ve  $\leq 1400$  mm ise siparişler hem DH1' de DH2'de dökülebilmektedir. Malzeme eni  $\geq 1453$  mm ve  $\leq 1725$  mm olan siparişler hem DH2 hem de DH3 – DH4 – DH5'te dökülebilmektedir. Hatların birim zamanla dökülecek malzeme miktarını optimize etmek amacıyla dökülecek olan siparişin hatların en kapasitesine göre küçükten büyüğe doğru derecelendirilmesi uygun olacaktır. Örneğin 1350mm eninde dökülecek bir malzeme hem DH1'de hem de DH2'de dökülebilmektedir. Hatların verimini artırmak amacıyla böyle bir siparişin 1. öncelikle planlanacağı hat DH1'dir. 2. öncelikle planlanacağı hat DH2'dir. Bu yaklaşımla bütün siparişler genişliklerine göre döküm hatları bazında önceliklendirilecektir. Yine 1220 mm eninde üretilecek bir siparişin 1. önceliği DH1, 2. önceliği "0" dır, 1700mm eninde üretilecek bir siparişin 1. önceliği DH2, 2. önceliği DH3 – DH4 – DH5'dir. Bu yaklaşımla tüm siparişler önceliklendirilir.

##### 5. Merdane ve tip değişimi :

Alaşım ve kalınlık değişimlerinde, merdane yüzeyi sipariş özelliğini karşılamadığında ve arızı hallerde merdane değişimi yapılmaktadır.

Döküm sırasında sıvı metal döküm makinesi içindeki merdanelerin arasından geçerek levha haline getirilmektedir. Sıvı metalin döküm eni kadar yayılıp merdanelere ulaşmasını sağlayan aparata tip denilir ve her bir döküm için yeni bir tip kullanılır. Tip değişimi süresi 120 dakikadır. Tip değişimi nedenleri :

- a) En değişimi,
- b) Merdane değişimi,

- c) Arıza duruşları,
- d) Kalite nedenli duruşlar,
- e) Diğer işletme nedenli duruşlar,

Her bir merdane ile dökülebilecek maksimum tonajlar vardır. Her merdane değişiminde tip değişimi de yapılır ve birlikte değişim süresi 6 saattir. Bu değişim, alaşım geçişine denk getirilirse, geçiş sırasında yapılabilir. Bu sebeple merdane değişimleri alaşım geçişlerine (sıcak temizlik) çakıştırılmaya çalışılmaktadır.

#### 6. Dahili hurda tüketimi :

İşletme içerisinde ayda 1650 ton çivarında hurda ortaya çıkmaktadır. Hurda alüminum sadece belli alaşımların dökümünde hammadde olarak kullanılabilir. Bu sebeple herhangi bir anda, beş döküm hattının birinde hurda tüketebilecek bir alaşımın dökülüyor olması tercih edilmektedir. Aksi halde, hurda işletme içerisinde çok yığılmaktadır ve işletme bir haftalıktan fazla hurdayı kaldırabilecek durumda değildir.

#### 7. Hatların Döküm Hızları :

Yüklenen siparişlerin hatlarda oluşturduğu yük (zaman), sipariş eni, kalınlığı ve döküm hızına göre belirlenir. Bu hesaplama için aşağıdaki alaşımlara göre hatların döküm hızları tabloları kullanılır.

Çizelge 6.6. DH1'de Alaşım ve Kalınlık Dağılımına Göre Hız Kapasiteleri

Alaşım	Kalınlık (mm)	Saat / Ton 1000 mm	Ton/Saat
1050-1100	5	0,96	1,04
1200-1230			
1235			
8011-8079	6	1,12	0,89
3003-3105			
5005			
8111	6	1,24	0,81

Çizelge 6.7. DH 2-3-4-5'de Alaşım ve Kalınlık Dağılımına Göre Hız Kapasiteleri

Alaşım	Kalınlık (mm)	Saat/Ton 1000 mm	Ton/Saat 1000 mm	Kalınlık (mm)	Saat/Ton 1000 mm	Ton/Saat 1000 MM
1050	5	0,77	1,303	3	0,76	1,318
1100-1200	5	0,81	1,234	3	0,8	1,256
1230						
1235	5	1,03	0,968	3	1,01	0,983
8011	6	0,89	1,123	4	0,88	1,137
8111	6	1,24	0,806	4	1,24	0,806
8009-8079	6	0,93	1,075	4	0,91	1,106
3003	6	0,99	1,010	4	0,8	1,251
3105	6	1,11	0,894	4	1,08	0,923
5005	6	1,07	0,934	4	1,05	0,958
5052-5182 5754	6	1,11	0,894			

#### 8. Bakımlar :

Döküm hatlarının haftalık ve aylık bakımları vardır. Bakım süreleri 15 saatin altında olduğu alaşım geçişlerine rastgetirilmekte ve bu şekilde ekstra zaman kaybedilmemeye çalışılmaktadır. Bazı durumlarda ise, bakım, merdane ve tip değişimi sırasında yapılabilmektedir.

Planlı bakımlar alaşım geçişlerinde yapılmaktadır. Bu sebeple çizelgelemede dikkate alınması gerekmemektedir. Öte yandan uzun süreli revizyonlar da yapılmakta ancak bunların tarihleri önceden belli olmaktadır. Dolayısıyla bakım programları değil, revizyonlar çizelgelemede dikkate alınacaktır.

#### 9. Teknolojik ve ürün bazlı kısıtlar :

Farklı döküm hatlarının teknolojik özelliklerinden dolayı dökülebilecekleri ve dökemeyecekleri ürünler vardır. Örneğin, geniş en (2150 mm) rulolar DH1 ve 2 de dökülemez, DH1 de dökülen ruloların kalınlığı en az 5 mm olmalıdır, gibi. Döküm hatlarıyla ilgili teknik spesifikasyonlar daha önce verilmiştir.

### 10. Yüzey Kalitesi :

Alüminyumun yüzey kalitesi A, B, C, D, E olarak sınıflandırılmaktadır. Yeni bir merdane takıldığında, bir süre A kalitesinde yüzey elde edilirken, kullanım arttıkça yüzey kalitesi düşmektedir. Dolayısıyla, istenen yüzey kalitesi siparişlerin çizelgesini etkileyebilen bir kısıttır. Aşağıda Döküm Hatlarına göre merdane ömürleri (ton) ve yüzey sınıfları görülmektedir.

Çizelge 6.8. Döküm Hatları Yüzey Sınıflarına Göre Merdane Ömürleri

Yüzey Sınıfı					
Döküm Hatları	A	B	C	D	Merdane Üretimi (Ton)
DH 1 ton	0-250	251-500	501-750	-750	750
DH 2 ton	0-300	301-600	601-900	901-1250	1250
DH 3 ton	0-400	401-800	801-1200	1201-1500	1500
DH 4 ton	0-400	401-800	801-1200	1201-1500	1500
DH 5 ton	0-400	401-800	801-1200	1201-1500	1500

### 11. Özel Rulo :

Alaşım uyumsuzluğu veya yüzeydeki bölgesel bir kusurdan dolayı siparişe uygun olmayan rulolar özel rulo olarak adlandırılmaktadır. Bu tip rulolara uygun sipariş alınıp değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Oluşan özel ruloların planlaması algoritma tarafından otomatik olarak yapılmayacaktır.

Çizelgeleme işleminde yukarıdaki kısıtlara ek olarak aşağıdaki kriterler de dikkate alınır :

- Daha iyi bir çizelge için döküm hatlarının mümkün olduğunca uzun bir dönem için planlanması esastır. Bu sebeple, her ay sonunda bir sonraki ay için yapılan çizelgenin dökümle ilgili olan bölümünün ay içinde mümkün olduğunca değiştirilmemesi gerekir.
- Siparişler manuel olarak sisteme girilecek, iş bölümlene kuralları tüm sistem devreye alındığında dikkate alınabilecektir. Bununla birlikte Hazırlık zamanlarının yüksek olması iş bölümlemeyi zorlaştırmaktadır.
- Döküm işletmesinden kaynaklanan hurdalar, döküm hızları tablosuna yansıtılmıştır.

- Daha önce belirtildiği gibi, işletmede oluşan hurdalar dökümde bir girdi olarak kullanılmaktadır. Hurda tüketen alaşımlar 3003, 3105 ve 8009 ile sınırlandırılacaktır. İşletme içerisinde günde yaklaşık 40 ton hurda üretimi olduğuna göre, hurda yığılmasının önüne geçmek için, genel olarak herhangi bir zamanda bu üç alaşımdan birinin dökülüyor olması gerekmektedir. Algoritma en çok n gün ara vermek kısıtıyla, herhangi bir zamanda 3003, 3105 veya 8009 dan birinin dökümünü planlayacaktır. Ancak, bu mantığın işleyebilmesi için, yeterince 3003, 3105 ve 8009 üretim emrinin olması gerekmektedir. Fiili hurda takibi yapılmayacaktır.
- Dökümler önceden belirtildiği gibi genişten dar doğru sıralanacaktır. Ancak dardan geniş geçiş yapılırsa, 6 saatlik bir merdane ve tip değişimi süresi uygulanacaktır.
- Tip değişimi, merdane değişimi ve döküm eninin değiştiği durumlarda yapılır. Bunun dışında arıza hallerinde de tip değişimi yapılır. Ancak, bu tür rassal değişimler (arıza) bir kıstas olarak alınmayacaktır. Ancak çizelgenin ötelenmesine neden olabilecektir. Merdane değişiminde rol oynayan taşlama tezgahı dar boğaz oluşturmadığından taşlama tezgahı çizelgenemeyecektir.
- Düşük yüzey kalitesinden sonra yüksek kaliteli üretim yapılacaksa merdane ve tip değişimi yapılacaktır. Öte yandan gerekli döküm yüzey kalitesi müşteri dışında dahili olarak belirlenecektir.
- Alaşımdan alaşıma geçişlerde ortalama alaşım tonajları her hat için ayrı ayrı belirlenecektir.

### 6.7. Döküm Hatları Planlama Algoritması

Döküm hatları aylık olarak planlanmaktadır. Buna göre ay sonlarında birikmiş olan levha ve folyo siparişlerine göre aylık dökülecek olan malzeme talepleri oluşturulmakta ve bu talepler döküm hatlarına planlanmaktadır. Döküm hatlarının verimli ve uygulanabilir biçimde planlanması için 1 aylık planlamalar yapılması gerekmektedir. Gereken hammadde ve işletme malzemelerinin alımı da bu plana göre yapılmaktadır.

Problemin amaç fonksiyonu bir aylık zaman diliminde maksimum üretim miktarını (ton) gerçekleştirmektir. Problem maksimize edilirken kapasite, teknik, termin ve uygulama kısıtlarının dikkate alınması gerekmektedir. Kısıtların çokluğu dolayısıyla matematiksel bir optimum nokta bulmak düşük oranda, olup çeşitli hüristik yaklaşımlar kullanılacaktır. Bu yaklaşımlara göre algoritmalar oluşturulabilir. Bu algoritmalarla problem değişik açılardan optimize edilerek genel optimizasyona yakın değerler edilmeye çalışılacaktır. Algoritmaların performansının ölçülmesi amacıyla, aynı veriler kullanılarak belirlenen kısıtlar altında elde edilen sonuçlar amaç fonksiyonuna göre değerlendirilecektir.

Amaç fonksiyonu ;

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n \frac{\text{Toplam Üretim}_i (\text{ton})}{(\text{Üretim Zamanı})}$$

Proses zamanları hesaplanırken hatların döküm hızı tablosu kullanılacaktır. Alaşım ve kalınlık bazında hazırlanan tablolar 1000 mm. eninde bir üretim için gerekli saat/ton ve ton/saat bilgisini içermektedir. Hesaplamalarda parti alaşımı ve kalınlığına uygun satırdaki ton/saat bilgisi partinin eni için hesaplanır. Bu ton/saat bilgisi partinin ton miktarıyla çarpılarak o parti için gerekli proses süresi saat cinsinden hesaplanır. Örnek vermeye çalışırsak DH-1'de 1050 alaşım 5 mm. 1250 mm. eninde 250 ton'luk bir parti dökmek için :

$$\text{Ton/saat} = (1200 \times 1.04) / 1000 = 1.248$$

$$\text{Proses Süresi} = 250 / 1.248 = 200,3 \text{ saat}$$

Setup süreleri ise merdane, tip değişimi ve alaşım geçiş süreleridir. Alaşım değişimi var ise Alaşım Geçiş Süreleri tablosuna bakılarak süre bulunur. Kalınlık değişimlerinde ince bir kalınlıktan ince bir kalınlığa geçilirken sadece tip değişimi süresi yani 2 saat eklenir. En değişimlerinde eğer en genişliyorsak veya kalınlık değişimlerinde inceden kalına geçiliyorsa merdane değişimi yapılmakta ve setup süresine 6 saat eklenmektedir.



Döküm hatları çizelgelenirken bir önceki aydan devam eden partinin özellikleri dikkate alınır. Eylül ayı sonunda Döküm Hatlarında üretilen partilerin özellikleri aşağıdaki gibidir :

Çizelge 6.9. Döküm hatlarında 2000 Eylül ayı sonunda yapılan üretimler.

<b>D. Hatları</b>	<b>Alaşım</b>	<b>Kalınlık</b>	<b>En</b>	<b>Merdane Yüzeyi</b>
DH1	3003	6	1320	C
DH2	8111	6	1650	C
DH3	1050	3	1600	C
DH4	1050	5	2100	B
DH5	1050	5	1650	C

Buna göre aylık döküm ihtiyaçlarına göre iki farklı algoritma uygulanacaktır. Aylık döküm ihtiyacı proje hayata geçtiğinde program tarafından mevcut siparişlere göre belirlenecektir. Aşağıdaki tablo 6.10.'da 2000 yılı ekim ayında yapılan üretimin verileri görülmektedir. Algoritmalar işletilirken bu veri kullanılacaktır.

Çizelge 6.10. Aylık Döküm ihtiyacı Örnek Tablosu

Sıra	Alaşım	Kalınlık (mm)	En (mm)	Yüzey Özelliği	Miktar (Ton)	Öncelik
1	8009	6	1220	C	250	1
2	8011	3,5	2070	B	100	1
3	3003	6	2120	B	350	1
4	8111	6	2120	C	350	1
5	8009	6	1720	C	110	1
6	1050	5	1320	A	120	2
7	1050	5	1320	A	250	2
8	1050	5	1320	B	100	2
9	1050	5	1100	A	112	1
10	1050	5	1320	C	130	3
11	1050	5	1650	A	400	3
12	8011	3,5	2070	B	250	3
13	1200	3	2070	C	100	3
14	3003	3,8	2070	B	450	3
15	1050	5	2120	B	100	3
16	1050	5	2120	A	400	3
17	1050	5	1320	C	140	3
18	3003	6	1320	C	50	3
19	8011	6	1450	B	150	3
20	1235	5	1650	C	150	3
21	1200	3	1600	C	100	4
22	3003	3,8	2070	B	250	3
23	1050	3	2070	A	275	3
24	1050	5	2920	C	200	3
25	8111	6	1720	C	62	4
26	8111	6	1650	B	200	4
27	8111	6	1650	C	100	4
28	8111	3,5	1580	C	125	4
29	1050	3	2070	A	100	4
30	1050	3	2070	B	400	4
31	1235	5	1720	B	150	4
32	1050	3	2070	C	475	5
33	3105	3,8	2070	B	466	5
34	1235	5	2120	B	150	5

### 6.7.1. Algoritma 1

Döküm hatları teknolojik açıdan dünya standartlarında olup, yüksek kapasiteli hatlardır. Bu hatlarda yapılan üretim miktarı firma karlılığını direkt etkilemektedir. Üretilen alüminyum tüm dünya pazarına satıldığından fiyatlar piyasada belirlenmekte ve karlılığın belirlenmesinde maliyet unsuru kritik rol oynamaktadır. Tezgahlarla birim zamanda yapılan üretim miktarı arttıkça sabit maliyetler azalmakta ve firma rekabet gücü artmaktadır. Bu yüzden hatlarda minimum duruş gerçekleşirken maksimum üretim yapılmalıdır.

Buna göre maksimum üretim yapılabilecek şekilde minimum set-up hedefleyen algoritma geliştirilir. Buna göre en kısıttan dolayı öncelikle DH1 ve DH2 daha sonra DH3-4-5 çizelgelenecektir. Adımlar :

1. DH1 ve DH2'de çizelgelenebilecek partiler en ve kalınlık kısıtına göre gruplanır.
2. Mevcut merdane ile DH1 öncelikli olarak yüzey bilgisine göre yumuşak alaşımdan sert alaşıma doğru ve geniş enden dar ene doğru alaşım geçişi gerektirmeyen partiler çizelgelenir.
3. Merdane değişiminden sonra aynı işlem tüm partiler çizelgeleninceye kadar ADIM2'den devam edilir.
4. Eğer DH1'de çizelgelenmemiş parti kalmışsa ilk merdane değişiminden sonra bu partiyi sıralanır.
5. DH3-DH4 ve DH5'de çizelgelenebilecek partiler en ve kalınlık kısıtına göre gruplanır.
6. Mevcut merdane ile set-up gerektirmeyen tüm partiler çizelgelenir.
7. Merdane değişiminden sonra aynı işlem tüm partiler çizelgeleninceye kadar ADIM4'den devam edilir.

Aşağıdaki tabloda faaliyet kodları görülmektedir:

Çizelge 6.11. Faaliyet Kodları

Kod	Açıklama	Süre (saat)
361	Alaşım Değişimi	15
210	Merdane Değişimi	6
2100	Alaşım ve Merdane Değişimi	15
360	En Değişikliği	2,5
B700	Bakım – Revizyon	---

Yukarıdaki algoritma ekim ayı döküm programına uygulanınca aşağıdaki Döküm Hatları çizelgeleri elde edilir :

Çizelge 6.12. Algoritma 1'e Göre Döküm Hattı 1 Çizelgesi

	Başlama Tarihi	Alaşım	Faaliyet Kodu	Kalınlık (Mm)	Genişlik (Mm)	Miktar (Ton)	Toplam Süre		Öncelik	Yüzey
							Saat	Gün		
1	01.10.2000 00:00	3003		6	1320	50	42,4	1,8	3	C
2	02.10.2000 18:25		360				2,5	0,1		
3	02.10.2000 20:55	8009		6	1220	250	229,5	9,6	1	D
4	12.10.2000 10:25		2100				10,0	0,4		
5	12.10.2000 20:25	1050		5	1100	110	96,0	4,0	1	A
6	16.10.2000 20:25		210				6,0	0,3		
7	17.10.2000 02:25	1050		5	1320	250	181,8	7,6	3	A
8	24.10.2000 16:15	1050		5	1320	100	72,7	3,0	2	B
9	27.10.2000 16:58	1050		5	1320	140	101,8	4,2	3	C
<b>TOPLAM</b>						<b>900</b>	<b>742,8</b>	<b>30,9</b>		
<b>PLANLI DURUŞLAR (sa)</b>						<b>19</b>	<b>PL. PROD.</b>		<b>1,2116</b>	<b>T/SA</b>

Çizelge 6.13. Algoritma 1'e Göre Döküm Hattı 2 Çizelgesi

	Başlama Tarihi	Alaşım	Faaliyet Kodu	Kalınlık (Mm)	Genişlik (Mm)	Miktar (Ton)	Toplam Süre		Öncelik	Yüzey
							Saat	Gün		
1	01.10.2000 00:00	8111		6	1650	200	150,3	6,3	4	
2	07.10.2000 06:18	8011		6	1650	100	53,9	2,2	4	C
3	09.10.2000 12:14		360				2,5	0,1		
4	09.10.2000 14:44	8011		6	1450	150	92,1	3,8	3	C
5	13.10.2000 10:48		360				2,5	0,1		
6	13.10.2000 13:18	1050		5	1320	130	75,8	3,2	3	C
7	16.10.2000 17:08		210				6,0	0,3		
8	16.10.2000 23:08	1050		5	1650	400	186,7	7,8	3	A
9	24.10.2000 17:48	1235		5	1650	150	93,6	3,9	3	B
10	28.10.2000 15:26		2100				15,0	0,6		
11	29.10.2000 06:26	1050		5	1320	120	70,0	2,9	2	A
<b>TOPLAM</b>						<b>1.250</b>	<b>748,4</b>	<b>31,2</b>		
<b>PLANLI DURUŞLAR (sa)</b>						<b>26</b>	<b>PL. PROD.</b>		<b>1,6701</b>	<b>T/SA</b>

Çizelge 6.14. Algoritma 1'e Göre Döküm Hattı 3 Çizelgesi

	Başlama Tarihi	Alaşım	Faaliyet Kodu	Kalınlık (Mm)	Genişlik (Mm)	Miktar (Ton)	Toplam Süre		Öncelik	Yüzey
							Saat	Gün		
1	01.10.2000 00:00	1200		3	1600	100	50,0	2,1	4	C
2	03.10.2000 02:00		360				2,5	0,1		
3	03.10.2000 04:30	8011		3,5	1580	125	69,6	2,9	4	C
4	06.10.2000 02:07		2100				15,0	0,6		
5	06.10.2000 17:07	1050		3	2070	400	146,9	6,1	4	A
6	12.10.2000 19:58	1050		3	2070	475	174,4	7,3	5	B
7	20.10.2000 02:22	1050		3	2070	100	36,7	1,5	4	C
8	21.10.2000 15:05	1200		3	2070	100	38,6	1,6	3	C
9	23.10.2000 05:44	3105		3,8	2070	466	243,1	10,1	5	C
<b>TOPLAM</b>						<b>1.766</b>	<b>776,9</b>	<b>32,4</b>		
<b>PLANLI DURUŞLAR (sa)</b>						<b>18</b>	<b>PL. PROD.</b>	<b>2.2732</b>	<b>T/SA</b>	

Çizelge 6.15. Algoritma 1'e Göre Döküm Hattı 4 Çizelgesi

	Başlama Tarihi	Alaşım	Faaliyet Kodu	Kalınlık (Mm)	Genişlik (Mm)	Miktar (Ton)	Toplam Süre		Öncelik	Yüzey
							Saat	Gün		
1	01.10.2000 00:00	3003		6	2120	350	163,4	6,8	1	B
2	07.10.2000 19:26		2100				15,0	0,6		
3	08.10.2000 10:26	1050		3	2070	275	101,0	4,2		A
4	12.10.2000 15:24	8011		3,5	2070	100	42,5	1,8	1	B
5	14.10.2000 09:55	8011		3,5	2070	250	106,3	4,4	3	B
6	18.10.2000 20:12	3003		3,8	2070	450	173,9	7,2	3	B
7	26.10.2000 02:06	3003		3,8	2070	250	96,6	4,0	3	C
8	00.01.1900 00:00						0,0	0,0		
<b>TOPLAM</b>						<b>1.675</b>	<b>698,</b>	<b>29,1</b>		
<b>PLANLI DURUŞLAR (sa)</b>						<b>15</b>	<b>PL. PROD.</b>	<b>2.3972</b>	<b>T/SA</b>	

Çizelge 6.16. Algoritma 1'e Göre Döküm Hattı 5 Çizelgesi

	Başlama Tarihi	Alaşım	Faaliyet Kodu	Kalınlık (Mm)	Genişlik (Mm)	Miktar (Ton)	Toplam Süre		Öncelik	Yüzey
							Saat	Gün		
1	01.10.2000 00:00	1050		5	2120	200	72,6	3,0	3	A
2	04.10.2000 00:38	1050		5	2120	100	36,3	1,5	3	B
3	05.10.2000 12:57	1235		5	2120	150	72,9	3,0	5	B
4	08.10.2000 13:50	8111		6	2120	350	204,7	8,5	1	C
5	17.10.2000 02:33		2100				15,0	0,6		
6	17.10.2000 17:33	1050		5	2120	400	145,3	6,1	3	A
7	23.10.2000 18:50		360				2,5	0,1		
8	23.10.2000 21:20	1235		5	1720	150	89,8	3,7	4	B
9	27.10.2000 15:09	8111		6	1720	62	44,7	1,9	4	C
10	29.10.2000 11:51	8009		6	1720	110	59,5	2,5	1	C
11	00.01.1900 00:00						0,0	0,0		
<b>TOPLAM</b>						<b>1.522</b>	<b>743,3</b>	<b>31,0</b>		
<b>PLANLI DURUŞLAR (sa)</b>						<b>18</b>	<b>PL. PROD.</b>	<b>2,0475</b>	<b>T/SA</b>	

### 6.7.2 Algoritma 2

Assan Alüminyum firması sipariş bazlı çalışan bir firmadır. Bu nedenle siparişlere verilen terminler ve bu terminlere ulaşmak için yapılacak çizelgelenmeler büyük önem kazanmaktadır.

Sipariş bir müşteriden herhangi bir anda alınan taleplerdir. Bu siparişe firma tarafından ilgili departmanı ve yılı içeren ardışıl bir numara verilir. "LD014562" gibi. 2001 yılına ait olan bu levha dış siparişinde müşteri çeşitli özelliklerde, ebatlarda ve değişik miktarlarda ürünler isteyebilir. Bunlar o siparişe ait pozisyonlar olarak tanımlanır. Bir örnek vermeye çalışırsak:

LD014562 nolu siparişin

1. Pozisyonu :

25000 kg. 0,70x1000 ebatlarında 1050 alaşım rulo siparişi

2. Pozisyonu :

30000 kg. 0,80x1250x1500 ebatlarında 3003 alaşım tabaka levha

Bir siparişin pozisyonuna termin verilirken üretim kısıtları ve müşteri talepleri dikkate alınır. Planlama Departmanı siparişin pozisyonunu dikkate alırken müşteri siparişin bütün pozisyonlarını dikkate almaktadır. Yani planlama siparişin pozisyonunu termininde üretmeye çalışırken, müşteri bütün siparişinin pozisyonlarını bir seferde almak ister. Özellikle ihracat siparişlerinde siparişin her pozisyonunu ayrı ayrı zamanlarda almak nakliye maliyetini oldukça arttıracaktır. Bu açıdan bakıldığında genelde siparişin tamamının üretilmesi önem kazanmaktadır. Bu da çeşitli özellikteki ürünleri aynı anda üretmeye yönelik bir çalışma gerektirmektedir. Aksi takdirde ya müşteri fazla nakliye ücreti verecek yada firma gereksiz yere stok maliyetine katlanacaktır. Az önce verdiğimiz örneği dikkate alırsak birinci pozisyonun yani 25 ton'un 25.07.2001'de üretilmesi, ikinci pozisyonun ise yani 30 ton'un 25.08.2001 tarihinde üretilmesi birinci pozisyondaki malzemelerin mamul ambarda bir ay yer tutması ve bu da stok maliyetinin oldukça artması anlamına gelmektedir.

Siparişin termininde üretilmemesi de çok büyük sorunlar yaratmaktadır. Özellikle akreditifli ihracat siparişlerinde siparişleri termininde üretmemek hem siparişin iptal edilmesine hem de yasal bazı cezaların uygulanmasını gerektirmektedir.

Bir siparişin üretim süreci ise döküm hattında hammadde üretimiyle başlamakta Levha Değerlendirme tezgahlarında kondusyon, yüzey görünümü ve ebat özelliklerinin ayarlanmasıyla devam eder. Malzemeler paketlenerek mamul ambara koyulmakta ve sevk edilmektedir.

Sipariş termini bu kadar önemli, üretim prosesi ortalama 20 gün olmak üzere uzun olması ve döküm hattında parti parti üretmek zorunluluğu ve partiler arasındaki geçişin çok uzun setuplar gerektirmesi döküm hattı planlamayı çok önemli bir hale getirmektedir.

Sonuçta döküm hattı planlamada sadece setup süreleri değil ara terminlerde büyük önem kazanmakta ve dikkate alma zorunluluğunu getirmektedir. Hatta bazen döküm hattı çizelgeleme algoritması çalıştıktan sonra üretim miktarını oldukça düşürse dahi manuel değişiklikler yapılmak zorunda kalınmaktadır.

Her ay başı o ana kadar gelmiş ve gelmesi muhtemel siparişler ele alınmakta ve bunlar alayım, en ve döküm kalınlığı bazında gruplandırılmaktadır. Oluşan partilere siparişlerin terminleri dikkate alınarak birer ara termin ve dolayısıyla öncelik verilmektedir. Bu önceliklerin setup süreleriyle birlikte ele alınarak çizelge algoritmasının buna göre hazırlanması gerekmektedir. Bu anlatılanlar ışığında bir algoritma geliştirmeye çalışırsak:

Algoritmada ilk dikkat edilen kısıt önceliklidir. Fakat bu esnada setup süresi kısıtı da dikkate alınacaktır. Setup süresinde en önemli farkı alayım geçiş süresi kapsamaktadır. Buna göre :

1. Üretilmesi Gereken Partilerden öncelik sırası en küçük çizelgelenmemiş olan parti ele alınır.

2. Bu işin çizelgelenebilmesi için Döküm Hatlarına 1 – 2 – 3 – 4- 5' e sırasıyla bakılır. Bu adımda ilk olarak Döküm Hattının doluluğuna daha sonra işin eninin ele alınan hat için uygun olup olmadığına daha sonra setup süresine bakılır. Uygun olan hatta çizelgelenir. Merdane değişimi gerekiyorsa bir sonraki tezgaha geçilir. Döküm Hattı 5'e kadar devam edilir.

3. Eğer Döküm Hattı 5 ve öncesine kadar parti çizelgelenmemişse :

- Aynı önceliğe sahip bir sonraki partiye geçilir. (Adım 1)
- Eğer aynı öncelikte merdane değişimi yapılmadan parti kalmamışsa Döküm Hattı 1 veya 2'de işlenebilen parti için Döküm Hattı 1 öncelikli, diğer hatlarda işlenebilen işler için ise o ana kadar en az parti miktarı çizelgelenmiş olan Döküm Hattı'nda merdane değişimi yapılır.
- Merdane değişiminden sonra tekrar merdane değişimi gerektirmemesi için en geniş ve en yumuşak alayımlı partiye geçilir ve çizelgelenir.
- Eğer aynı öncelikte başka parti kalmamışsa Döküm Hattı 1 veya 2'de işlenebilen parti için Döküm Hattı 1 öncelikli, diğer hatlarda



işlenebilen işler için ise o ana kadar en az parti miktarı çizelgelenmiş olan Döküm Hattı'nda merdane değişimi yapılır.

4. Bütün partiler çizelgeleninceye kadar Adım 1'den devam edilir.

Yukarıdaki algoritma ekim ayı döküm programına uygulanınca aşağıdaki çizelge elde edilir :

Çizelge 6.17. Algoritma 2'e Göre Döküm Hattı 1 Çizelgesi

	Başlama Tarihi	Alaşım	Faaliyet Kodu	Kalınlık (Mm)	Genişlik (Mm)	Miktar (Ton)	Toplam Süre		Öncelik	Yüzey
							Saat	Gün		
1	01.10.2000 00:00		360				2,5	0,1		
2	01.10.2000 02:30	8009		6	1220	250	229,5	9,6	1	C
3	10.10.2000 16:00		2100				10,0	0,4		
4	11.10.2000 02:00	1050		5	1100	110	96,0	4,0	1	A
5	15.10.2000 02:00		210				6,0	0,3		
6	15.10.2000 08:00	1050		5	1320	250	181,8	7,6	2	A
7	22.10.2000 21:49	1050		5	1320	100	72,7	3,0	2	B
8	25.10.2000 22:33		210				6,0	0,3		
9	26.10.2000 04:33	1050		5	1320	120	87,3	3,6	2	A
10	29.10.2000 19:49	3003		6	1320	50	42,4	1,8	3	C
11	00.01.1900 00:00						0,0	0,0		
<b>TOPLAM</b>						<b>880</b>	<b>734,3</b>	<b>30,6</b>		
						<b>PLANLI DURUŞLAR (sa)</b>	<b>25</b>	<b>PL. PROD.</b>	<b>1,1985</b>	<b>T/SA</b>

Çizelge 6.18. Algoritma 2'e Göre Döküm Hattı 2 Çizelgesi

							Toplam Süre			
	Başlama Tarihi	Alaşım	Faaliyet Kodu	Kalınlık (Mm)	Genişlik (Mm)	Miktar (Ton)	Saat	Gün	Öncelik	Yüzey
1	01.10.2000 00:00	1235		5	1650	150	93,6	3,9	3	B
2	04.10.2000 21:38		360				2,5	0,1		
3	05.10.2000 00:08	8011		6	1450	150	92,1	3,8	3	B
4	08.10.2000 20:12		360				2,5	0,1		
5	08.10.2000 22:42	1050		5	1320	130	75,8	3,2	3	C
6	12.10.2000 02:32	1050		5	1320	140	81,7	3,4	3	C
7	15.10.2000 12:12		210				6,0	0,3	3	
8	15.10.2000 18:12	1050		5	1650	400	186,7	7,8		A
9	23.10.2000 12:52		2100				15,0	0,6	4	
10	24.10.2000 03:52	1235		5	1720	150	89,8	3,7	4	B
11	27.10.2000 21:41	8111		6	1720	62	44,7	1,9		C
12	29.10.2000 18:23		360				2,5	0,1	4	
13	29.10.2000 20:53	8011		6	1650	100	53,9	2,2		C
<b>TOPLAM</b>						<b>1.282</b>	<b>746,8</b>	<b>31,1</b>		
<b>PLANLI DURUŞLAR (sa)</b>						<b>29</b>	<b>PL. PROD.</b>	<b>1,7166</b>	<b>T/SA</b>	

Çizelgede toplam 31,1 gün dikkate alınmış ve 29 saat duruş planlanmıştır. Tüm hatlar için hazırlanan bu tablolar bir aylık üretimi dikkate almaktadır. Bilgisayar destekli sonlu kapasite çizelgeleme ile, mevcut siparişlerden biri iptal edildiği, özelliğinin yada miktarının değiştirildiği durumda, yeniden çizelgeleme ile olası sonuçları önceden raporlamak söz konusudur. Ayrıca geçmişe yönelik olarak izlenebilen çizelge performansı ile iyileştirme faaliyetlerine çok kolay odaklanma imkanına sahip olunur.

Aşağıdaki tabloda Algoritma 2'e göre DH3 çizelgesi görülmektedir :

Çizelge 6.19. Algoritma 2'e Göre Döküm Hattı 3 Çizelgesi

	Başlama Tarihi	Alaşım	Faaliyet Kodu	Kalınlık (Mm)	Genişlik (Mm)	Miktar (Ton)	Toplam Süre		Öncelik	Yüzey
							Saat	Gün		
1	01.10.2000 00:00		2100				15,0	0,6		
2	01.10.2000 15:00	8011		3,5	2070	100	42,5	1,8	1	B
3	03.10.2000 09:30	8011		3,5	2070	250	106,3	4,4	3	B
4	07.10.2000 19:47	1200		3	2070	100	38,6	1,6	3	B
5	09.10.2000 10:26	3003		3,8	2070	250	96,6	4,0	3	C
6	13.10.2000 11:03	3003		3,8	2070	450	173,9	7,2	3	C
7	20.10.2000 16:58		2100				15,0	0,6		
8	21.10.2000 07:58	8111		6	1650	200	150,3	6,3	4	B
9	27.10.2000 14:16		2100				15,0	0,6		
10	28.10.2000 05:16	1235		5	2120	150	72,9	3,0	5	B
<b>TOPLAM</b>						<b>1.500</b>	<b>726,2</b>	<b>30,3</b>		
						<b>PLANLI DURUŞLAR (sa)</b>	<b>45</b>	<b>PL. PROD.</b>	<b>2,065</b>	<b>T/SA</b>

Çizelge 6.20. Algoritma 2'e Göre Döküm Hattı 4 Çizelgesi

	Başlama Tarihi	Alaşım	Faaliyet Kodu	Kalınlık (Mm)	Genişlik (Mm)	Miktar (Ton)	Toplam Süre		Öncelik	Yüzey
							Saat	Gün		
1	01.10.2000 00:00	3003		6	2120	350	163,4	6,8	1	B
2	07.10.2000 19:26	8111		6	2120	350	204,7	8,5	1	C
3	16.10.2000 08:09		360				2,5	0,1		
4	16.10.2000 10:39	8009		6	1720	110	59,5	2,5	1	C
5	18.10.2000 22:08		2100				15,0	0,6		
6	19.10.2000 13:08	1050		3	2070	400	146,9	6,1	4	A
7	25.10.2000 15:59	3105		3,8	2070	466	243,1	10,1	5	B
8	00.01.1900 00:00						0,0	0,0		
<b>TOPLAM</b>						<b>1.676</b>	<b>835,1</b>	<b>34,8</b>		
						<b>PLANLI DURUŞLAR (sa)</b>	<b>18</b>	<b>PL. PROD.</b>	<b>2,0069</b>	<b>T/SA</b>

Çizelge 6.21. Algoritma 2'e Göre Döküm Hattı 5 Çizelgesi

	Başlama Tarihi	Alaşım	Faaliyet Kodu	Kalınlık (Mm)	Genişlik (Mm)	Miktar (Ton)	Toplam Süre		Öncelik	Yüzey
							Saat	Gün		
1	01.10.2000 00:00		2100				15,0	0,6		
2	01.10.2000 15:00	1050		5	2120	400	145,3	6,1	3	A
3	07.10.2000 16:16	1050		5	2120	100	36,3	1,5	3	B
4	09.10.2000 04:36		210				6,0	0,3		
5	09.10.2000 10:36	1050		5	2120	200	72,6	3,0	3	A
6	12.10.2000 11:14		210				6,0	0,3		
7	12.10.2000 17:14	1050		3	2070	275	101,0	4,2	3	A
8	16.10.2000 22:12	1050		3	2070	100	36,7	1,5	4	B
9	18.10.2000 10:55		360				2,5	0,1		
10	18.10.2000 13:25	1200		3	1600	100	50,0	2,1	4	B
11	20.10.2000 15:25	8011		3,5	1580	125	69,6	2,9	4	C
12	23.10.2000 13:02		2100				15,0	0,6		
13	24.10.2000 04:02	1050		3	2070	475	174,4	7,3	5	A
14	00.01.1900 00:00						0,0	0,0		
15	00.01.1900 00:00						0,0	0,0		
<b>TOPLAM</b>						<b>1.775</b>	<b>730,4</b>	<b>30,4</b>		
<b>PLANLI DURUŞLAR</b>						<b>60</b>	<b>PL. PROD.</b>	<b>2,430</b>	<b>T/SA</b>	

İki algoritmaya göre çizelge sonuçları verilmiştir. Bundan sonra sıra bu çizelgelerin değerlendirilmesi safhasına gelmektedir. Yapılan çalışmada hızlı sonuçların alınabildiği ve uygulanabilir planların elde edilebildiği görülmüştür.

### 6.7.3. Değerlendirme Sonuçları

Yapılan çizelgelere göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir. Buna göre :

Çizelge 6.22. Algoritma 1 ve Algoritma 2'ye Göre Elde Edilen Sonuçlar

Algoritma 1 Sonuçları						
Hatlar	Üretim Miktarı (ton)	Planlı Duruş (saat)	Toplam Süre (saat)	Toplam Süre (gün)	Üretim Süresi (saat)	Ton/Saat
DH1	900	19	742,8	31,0	723,8	1,21
DH2	1250	26	748,4	31,2	722,4	1,67
DH3	1766	18	776,9	32,4	758,9	2,27
DH4	1675	15	698,7	29,1	683,7	2,40
DH5	1522	18	743,3	31,0	725,3	2,05
<b>Toplam</b>	<b>7113</b>	<b>96</b>	<b>3710,1</b>	<b>154,6</b>	<b>3614,1</b>	
Algoritma 2 Sonuçları						
Hatlar	Üretim Miktarı (ton)	Planlı Duruş (saat)	Toplam Süre (saat)	Toplam Süre (gün)	Üretim Süresi (saat)	Ton/Saat
DH1	880	25	734,3	30,6	709,3	1,20
DH2	1282	29	746,8	31,1	717,8	1,72
DH3	1500	45	726,2	30,3	681,2	2,07
DH4	1676	18	835,1	34,8	817,1	2,01
DH5	1775	60	745,4	31,1	685,4	2,38
<b>Toplam</b>	<b>7113</b>	<b>177</b>	<b>3787,8</b>	<b>157,8</b>	<b>3610,8</b>	

Görüldüğü üzere Algoritma 1 'de yaklaşık 3,2 günlük bir üretim artışı söz konusudur. Bu da 150 tonluk ortalama üretime karşılık gelmektedir. Bu üretim artışının yanı sıra daha az setup işlemi maliyetlerin düşmesi anlamına gelmektedir. Her tip ve merdane değişiminde bir çok yan malzeme kullanılmakta ve bu malzemelerin çoğu ithal edilmektedir. Dolayısıyla sabit ve değişken maliyetler artmaktadır. Ayrıca üretilen malzemenin katma değeri ve makinelerin amortisman

maliyeti yüksek olduğu için kayıp olan üretim dolar bazında önemli miktarlara ulaşmaktadır.

Buna nazaran öncelik sonuçlarına bakıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 6.23. Algoritma 1 ve Algoritma 2'ye Göre Geç Kalan İşler

Öncelik	Gün	
1	1	6
2	6	12
3	12	18
4	18	24
5	24	30

Geç Kalan İş Sayısı		
	Algoritma 1	Algoritma 2
DH1	4	4
DH2	2	1
DH3	1	0
DH4	1	2
DH5	3	0
<b>Toplam</b>	<b>11</b>	<b>7</b>

Buna göre toplam 34 işten Algoritma 1'e göre 11 iş gecikmekte ve Algoritma 2'e göre 7 iş gecikmektedir. Bu gecikmelerin sonuçları incelenmelidir. Bu çizelge ile hangi siparişlerin gecikeceği belirlenir. Eğer mümkünse müşterilerle görüşerek terminler revize edilebilir. Fakat çoğu siparişlerde finans kurumları aracı olduğundan, bu tip değişiklikler maliyetleri artırır, ayrıca prestij kaybına yol açar. Bunun yanında diğer algoritmaya göre sadece %2'lik bir üretim zamanı farkıyla fazladan 4 iş gecikmektedir.

Özet olarak kısıtların kritikliği, mevcut stratejiler ve istenen sonuçlara göre değerlendirme yapılacaktır. Bu alışma göstermektedir ki, izelgelenecek her dönemde her iki algoritmanın da işletilmesi gerekmektedir. Bu sipariş grubu için minimum setup algoritması uygulanabilirken, bir başka veri grubu için termine göre hareket etmek işletme stratejileri ve rekabet gücü için avantajlı olabilir.



## 7. SONUÇLAR

### 7.1. Genel Değerlendirmeler

İşletmeler sahip oldukları değişim potansiyeli ve iyileşme çabaları ile rekabet güçlerini korumaktadırlar. Uğraş verdikleri alanda daha iyi sonuçlar elde etmek için yeni yaklaşımlara kaynak ve zaman ayırmaktadırlar. Bu doğrultuda işletmelerin üretim ve planlama etkinliğini arttırmalarının gerekliliğinin de önemi artmıştır. Sonlu Kapasite Çizelgeleme bu etkinliğin artırılmasında anahtar rolü oynayan bir yaklaşımdır. Sonlu kapasite çizelgeleme, kararlılık ve yoğun çaba gerektiren bir yaklaşımdır. Bununla birlikte arzu edilen sonuçlara ulaşmak ve değişimi yönetmek, bu yoğun çabanın sonunda elde edilecek kazançlardandır.

Bu çalışmada sonlu kapasite çizelgeleme yaklaşımının bir üretim işletmesinde uygulanması ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada sistem kısıtlarına duyarlı, uygulanabilir ve gerçeği yansıtan çizelgeler geliştirilmiştir.

Sistemin tanıtılması amacıyla FCS yaklaşımının özellikleri, üretim yönetimi içerisindeki yeri, ara yüzleri, işletmenin diğer süreçleri ile etkileşimi açıklanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre işletme yönetimi, FCS sisteminin ürettiği sonuçlar doğrultusunda teknolojik yatırımlara ve satış stratejilerinin hangi yönde oluşturulacağına karar verebilmektedir.

Literatürde yer alan ve genel kabul görmüş çizelgeleme teknikleri incelenmiş ve örneklerle bu teknikler açıklanmıştır. Gerçek uygulamalarda bu tekniklerin bir yaklaşım olarak uygun fakat problemin tamamı açısından yetersiz oldukları görülmektedir. Gerçek problemler dikkate alındığında hesaplama zorlukları, tüm kısıtların bir araya getirilmesi zorlaştırmakta ve çok gelişmiş bilgisayarlar ve yazılımlar kullanılmasına rağmen makul sürelerde optimal sonucun bulunması mümkün olmamaktadır.

Tek makine, “n” tane iş dikkate alındığında, olası sıraların sayısı  $n!$  olarak hesap edilir. Eğer 1 işlemi 1 mikro saniyede yapabildiğimizi dikkate alırsak, “n” tane iş için alternatif sayma süreleri şu şekilde hesap edilir :



Çizelge 7.1. n İş İçin Gereken Çizelgeleme Süreleri

n	Gerekli süre
10	3,6 saniye
20	770 yüzyıl
30	$8.4 \times 10^{16}$ yüzyıl

Görüldüğü gibi optimal sonucun elde edilmesi çok fazla zaman almaktadır. Çözüm, karmaşık yapıdaki modellerin basitleştirilmiş uyarlamalarını ve sezgisel algoritmalar kullanarak, optimuma yakın uygulanabilir sonuçlar dikkate alınmaktadır. Çizelgeleme sistemi bünyesinde farklı çözüm tekniklerine sahip olması ve özelleştirilmiş algoritmaları desteklemesi gerekmektedir.

Çalışma sonucunda görülmektedir ki, çizelgeleme prosesi planlama prosesini uygulamaya yaklaştırmaktadır. Sonlu kapasite çizelgeleme işlemi ile operasyonel düzeyde tespit edilen bir uygunsuzluk, planlama düzeyinde alınan önlemlerle elimine edilebilmektedir. FCS sistemi ile müşteri talepleri ve işletmenin stratejik kararları paralel hale getirilebilmektedir. Planlanmayan durumlarla karşılaşma riski elimine edilmektedir.

Bu çalışmada ayrıca bilgisayar destekli FCS prosesinin fonksiyonları açıklanmış ve uygulama ipuçları verilmiştir. Buna göre genel olarak firmaların satın aldıkları yazılımlarda orijinal olarak FCS modülü bulunmamakta, bu modül sonradan bir proje kapsamında geliştirilmektedir. Ülkemizde de kullanımı giderek artan FCS yazılımları ile ilgili güncel örnekler açıklanmıştır.

Uygulamanın gerçekleştirildiği firmada öncelikle FCS yazılımı üreten danışman firma ile bir analiz raporu hazırlanmıştır. Bu raporda firmanın kaynakları mevcut veri yapısı ve bilgi düzeyi belirlenmiştir. Bu analiz raporuna göre bir tasarım raporu oluşturularak dikkate alınacak kısıtlar ile optimizasyon yaklaşımı ve geliştirilecek çözüm algoritmaları belirlenmiş ve proje zamanlanmıştır.

Üçüncü adım olarak algoritmalar geliştirilmiş ve geçmiş veriler kullanılarak test edilmiştir. Buna göre Döküm Hatları için kritik olan hazırlık sürelerinin minimizasyon ile, termin öncelikli işlerin minimum hazırlık sürelerine göre

çizelgelenmesi yaklaşımıyla iki algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalar işletilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Uygulamanın yapıldığı firmada 100.000 farklı ürün kombinasyonu üretilebilmektedir. Yüksek kapasiteli sipariş bazlı üretim yapılmakta ve buna bağlı olarak dikkate alınması gereken çok sayıda parametre bulunmaktadır. FCS gibi çok detaylı ve kapsamlı bir çalışmanın böyle bir işletmeye uygulanması kolay değildir ve bir çok uygulama zorluğu söz konusudur. Bu zorluklar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Gerçek problemin matematiksel olarak ifade edilme zorluğu.
- Çok sayıdaki mevcut operasyonların sürelerinin sağlıklı bir şekilde belirlenmesindeki güçlük.
- Operasyon sürelerinin sabit olmaması.
- Problem parametrelerinin dinamik ve her gün değişebilir olması.
- Yeni makinelerin devreye alınıp, eski makinelerin devre dışı bırakılması.
- Sipariş miktarı tahmin metotlarının yetersizliği, siparişlerin değişkenliği.
- Rotaların değişkenliği, çok sayıda alternatif rotanın söz konusu olması.
- Şirketin gelişme stratejilerine cevap verme zorunluluğu.
- Bilgilerdeki kişisellik ve işletme içinde oluşan dirençler.

Bu çalışmada, planlama periyodu içinde yeniden çizelgeleme prosesi ile sistemdeki değişikliklere uyum sağlamak ve yazılımın esnekliği sayesinde arzu edilen değişiklikler simüle edilebilmektedir. Örneğin yüklü bir siparişin ertelendiği ya da iptal edildiği durumda algoritmalar yeniden çalıştırılmakta ve olası sonuçlar önceden belirlenebilmektedir. Bunun yanında gelecekteki beklentilere göre işletme koşullarında yapılacak değişiklikler, önceden simüle edilerek karar desteği oluşturulabilmektedir.

Özet olarak, değişimin sürekli bir proses olduğu günümüz işletmelerinde sonlu kapasite çizelgeleme yaklaşımı önemini arttırmakta ve daha etkin çalışma şekilleri geliştirilerek rekabet gücü artırılmaktadır.

## 7.2. Gelecek Çalışmalar İçin Yönlendirmeler

Bu çalışmada, mevcut bir üretim sisteminde sonlu kapasite çizelgeleme yaklaşımı uygulaması incelenmiştir. Günümüzde bu yazılımlar mevcut planlama sistemleri üzerine inşa edilmektedir. Bu yaklaşım bünyesinde bir çok sorun taşımaktadır. Öncelikle her iki yapı ayrı yapısal özelliklere sahiptir ve sonradan birleştirilmeye çalışılmaktadır. Oysaki bu iki yapının ilk aşamada beraber analiz edilmesi, sonradan karşılaşılan bir çok problemi elimine edecektir.

Bu noktada en önemli değerlendirme parametresi hızdır. FCS sisteminin sonradan adapte edildiği sistemlerde işletim hızında problemler yaşanabilmektedir. FCS sisteminin gereksinim duyduğu veriler için yeni veritabanları oluşturulması gerekebilmektedir. Bir diğer konu sistemin çatısıdır. FCS için ayrıntılı veri gereksinimi vardır ve mevcut sistemde üretilmeyen bazı verilerin sonradan üretilmesi gerekmekte ve bu da etkinliği azaltmaktadır. Gelecek çalışmalarda FCS sistemini bünyesinde taşıyan ERP sistemlerinin incelenmesi ve uygulama örneklerinin araştırılması gerekmektedir.

Sonlu kapasite çizelgeleme konusunda yapılması gereken bir diğer çalışma, gerçek zamanlı çizelgelemedir. FCS sisteminde oluşan değişikliklerin sisteme yansıtılması için yeniden çizelgeleme prosesi uygulanmaktadır. İşletmelerde değişen durumlar için yeniden çizelgeleme yapıldığı gibi, belirli zaman periyotlarında da yeniden çizelgeleme yapılabilmektedir.

Literatürde geçen bir konu olan gerçek zamanlı çizelgeleme, işletmede çizelgelemenin sürekli bir proses haline getirilmesi faaliyetidir. Günümüzde bazı işletmeler planlama fonksiyonlarını belirsizlikten arındırmış ve optimize etme imkanına sahip olmuştur. İşletmelerde, satış bölümü tarafından sipariş alınması ile birlikte, sistem tarafından termin verilmekte, siparişin planlaması ve optimum çizelgelemesi anında yapılabilmektedir. Bu plan direk olarak üretim proseslerine ulaştırılmakta ve sonuçlar raporlanmaktadır. Oluşan olumsuzluklar hakkında önceden bilgi sağlanmaktadır. Bu gelişmelerle planlama departmanları giderek küçülmektedir. Gelecekte planlama departmanları satış veya üretim departmanları ile birleşecek ve işletme fonksiyonları daha yalın hale geleceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Allen, S.J., and Schuster, E.W., (1994). Practical production scheduling with capacity constraints and dynamic demand: Family planning and disaggregation, *Production and Inventory Management Journal* 4<sup>th</sup> Quarter, 15-21
- Assan, (1999). Assan Alüminyum Oryantasyon El Kitabı. Assan Alüminyum Demir ve Sac San. A.Ş. Alüminyum Tesisleri, İstanbul
- Assan, (2000). Icron Projesi Analiz Raporu. Assan Alüminyum Demir ve Sac San. A.Ş. Alüminyum Tesisleri, İstanbul
- Bitran, G.R., and Hax, A.C., (1981) . Disaggregation and resource allocation using convex knapsack problems with bounded variables, *Management Science* 27, 431-441.
- Browne, J., Harhen, J., and Shivnan, J., (1988). Production management systems: A cim perspective, Reading: *Addison - Wesley Publishing Company, Inc.*
- Commit Systems., (1996). Finite Capacity Scheduling Plus Plant Optimization: The last frontier. Reprinted from *Managing Automation*, August, Thomas Publishing Company
- Çelikçapa, F.O., (1999). Üretim planlaması, Alfa Basım Yayın Dağıtım, İstanbul
- Elsayed, E.A. and Boucher, T.O., (1985). Analysis and control of production systems, Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall
- French, S., (1982). Sequencing and Scheduling: An introduction to the mathematics of the job-shop, *Ellis Horwood Limited, West Sussex.*
- Gelders, L.F., and Steelandt, F.V., (1980). Design and implementation of a planning system in a rolling mill: A case study, *AIIE Transactions* 22, 54-58
- Gupta, J.N.D., (1971). Functional Heuristic Algorithm for the flowshop scheduling problem. *Operational Research*, Vol. 22, No. 1, 39-48.
- Goldratt, E. and Cox, J., (1984). The Goal – Excellence in Manufacturing, *North River Press.*
- Hastings, N.A.J., Marshall, P., and Willis, R.J., (1982). Schedule Based M.R.P.: An integrated approach to production scheduling and material requirements planning, *Journal of the Operational Research Society* 33, 1021-1029.
- Hax, A.C., and Meal, H.C., (1975). Hierarchical integration of production planning and scheduling, in: *M. Geisler(ed.), TIMS Studies in Management Science*, Vol. 1, Logistics, North – Holland, American Elsevier, New York.
- Ho, C., Carter, P., Melnyk, S. And Narasimhan, R., (1986). Quantity versus timing change in open order: a critical evaluation, *Production and Inventory Management*, 27(1), 122-138.

IMS, (2000a). Assan Alüminyum A.Ş. Icron Projesi Tasarım Raporu, IMS Yazılım Danışmanlık & Ticaret Ltd Şti. İstanbul

IMS, (2000b). MMS finite capacity planner, MMS Basic Concepts, IMS Yazılım Danışmanlık & Ticaret Ltd Şti. İstanbul

IMS., (2000c). Success Stories, IMS Yazılım Danışmanlık & Ticaret Ltd Şti, İstanbul, <http://www.ims.com.tr>

Kirchmier B., (1998). Finite capacity scheduling methods , APICS – Selection an Application, August, 38 - 40

Kobu, B., (1996). Üretim yönetimi, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Araştırma ve Yardım Vakfı, Yayın No: 01, İstanbul

Kuiper, D., (1997). Selecting Finite Capacity Planning Software, Volume 3, No:9, <http://www.lionhrtpub.com>

Lawler, E.L., (1973). Optimal Sequencing of a single Machine Subject to Precedence Constraint, Management Science, Vol. 19, N. 5

Liberatore, J.M., and Moodie, C.L., (1985). A hierarchical production planning system, Interfaces 15, 11.

Melnyk, S.A., (1998). Finite Capacity Scheduling Solfwares, APICS – The Performance Advantage, FCS Software Directory, August, 60 –67

Pinedo, M., (1995). Scheduling: theory, algorithms and systems, Columbia University, Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering. Englewood Cliffs, New Jersey 07632

Proasis , (2001). Frequently Asked Questions and Answers. Prescients systems, Providing high value, Quick ROI Supply Chain Solutions. <http://www.prescientsystems.com>

Ptak, C.A., (1991). MRP, MRP II, OPT, JIT, and CIM – Succession, evolution, or necessary combination, Production and Inventory Management Journal 2<sup>nd</sup> Quarter, 7-11.

Rutten, W.G.M.M., (1993). Hierarchical mathematical programming for operational planning in a process industry, European Journal of Operational Research 64, 363-369

Sartori, L.G., (1988). Manufacturing information systems, Addison – Wesley, Reading.

Smith, S.B., (1989). Computer based production and inventory control, Illinois Institute of Technology, Prentice-Hall, Inc. A Division of Simon & Schuster Englewood Cliffs, New Jersey 07632

Taylor, S.G., (1995). Scheduling tomorrow's factories, APICS – The Performance Advantage, March, 32-36.

Ünal, A.T., (1999). Sonlu kapasite planlama ve diğer planlama teknikleri , Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Woolsey, R.E.D., Maurer, R., (1992). Production Scheduling (for people who really have to do it), Mathematical and Computer Sciences, The colorado School of Mines

Yazgaç, T., ve Özdamar, L., (1996). Sipariş Üzerine Üretimde Ürün Ailelerine Bağlı Bir Üretim Planlama Yaklaşımı, *Yöneylem Araştırması Dergisi*, 8, 61-75.

Zäpfel, G., Missbauer, H., (1993) New concepts for production planning and control, in: European Journal of Operational Research, Vol. 67, 1993.



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum Tarihi	24.05.1977
Doğum Yeri	İstanbul
Lise	1991-1994 Avcılar Anadolu Teknik Lisesi
Lisans	1994-1998 Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1999-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü

**Çalıştığı kurumlar**

1998-Devam Kibar Holding Bilgi Sistemleri Departmanı