

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR ÜRÜNÜN BAYES KARAR AĞACI YÖNTEMİ İLE
ÜRETİM KARARININ ALINMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Oğuzhan Ahmet ARIK**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY**

**Ocak 2014
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Oğuzhan Ahmet ARIK

YÖNERGEYE UYGUNLUK

Bir Ürünün Bayes Karar Ağacı Yöntemi İle Üretim Kararının Alınması adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Danışman

Oğuzhan Ahmet ARIK

Yrd. Doç. Dr. Selda Kapan ULUSOY

Endüstri Mühendisliği ABD Başkanı

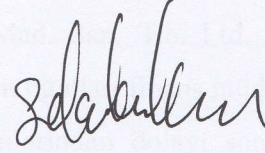
Doç. Dr. İbrahim DOĞAN

Yrd. Doç. Dr. Selda Kapan ULUSOY danışmanlığında **Oğuzhan Ahmet ARIK** tarafından hazırlanan “**Bir ürünün bayes karar ağacı yöntemi ile üretim kararının alınması**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

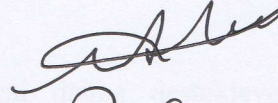
01/11 / 2013

JÜRİ:

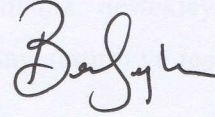
Danışman :Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY



Üye :Doç. Dr. Mithad ZEYDAN



Üye :Doç. Dr. Banu SOYLU



ONAY :

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 28/01/2014 tarih ve 2014/05-16 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Kazım KEŞİOĞLU

Enstitü Müdürü

BİR ÜRÜNÜN BAYES KARAR AĞACI YÖNTEMİ İLE ÜRETİM KARARININ ALINMASI

Oğuzhan Ahmet ARIK

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2014

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY

ÖZET

Tez çalışması bir istatistiksel karar analizi neticesinde yapılacak bir dizi işin arasından hangilerinin üretimde hangilerinin fasonda gerçekleşeceğine dair bir karar problemini temel alan bir atölye çizelgeleme problemidir. Varsayımsal bir senaryo ile bir ürünün ilk defa seri üretimi gerçekleşeceği ve elde ürüne ait ürün ağacından başka bir şeyin olmadığı vurgulanmıştır. Ürün ağacından elde edilecek iş dökümü ve iş rotası için ürün ağaç iterasyonu yöntemi bu çalışmada sunulmuş ve iş sırlamada öncelik belirlemede kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen iş dökümü ile hangi işlerin üretimde hangilerinin fasonda yapılacağına Bayes karar teoremi yöntemi ile kararların maliyet analizleri yapılarak karar verilmeye çalışılmıştır. Amaç olarak sadece iş tamamlanma sürelerinin birim işçilik ücretleri ile çarpımı sonucu oluşan değer en aza indirilmesi amaçlanmıştır. İşlerin sıralanmasında Ürün ağaç iterasyonu yönteminden elde edilen notasyonlar kullanılacak ve iş önceliği konusunda yeni kurallar tanıtılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Bayes karar teoremi, Üretim Planlama, Çizelgeleme, Sıralama, Ürün Ağacı İterasyonu, İş Dökümü Elde Edilmesi, Sezgisel Yöntem

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR ÜRÜNÜN BAYES KARAR AĞACI YÖNTEMİ İLE
ÜRETİM KARARININ ALINMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Oğuzhan Ahmet ARIK**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY**

**Ocak 2014
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Oğuzhan Ahmet ARIK

YÖNERGEYE UYGUNLUK

Bir Ürünün Bayes Karar Ağacı Yöntemi İle Üretim Kararının Alınması adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Danışman

Oğuzhan Ahmet ARIK

Yrd. Doç. Dr. Selda Kapan ULUSOY

Endüstri Mühendisliği ABD Başkanı

Doç. Dr. İbrahim DOĞAN

Yrd. Doç. Dr. Selda Kapan ULUSOY danışmanlığında **Oğuzhan Ahmet ARIK** tarafından hazırlanan “**Bir ürünün bayes karar ağacı yöntemi ile üretim kararının alınması**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

.

01/11 / 2013

JÜRİ:

Danışman :Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY

Üye :Doç. Dr. Mithad ZEYDAN

Üye :Doç. Dr. Banu SOYLU

ONAY :

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

..... /...../2014

Prof. Dr. Kazım KEŞLİOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Selda Kapan ULUSOY 'a teşekkürü bir borç bilirim.

Deneyisel çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımlarından dolayı Doç. Dr. M. Duran TOKSARI' a ve çalışmalarımın düzenlenmesinde beni bilgilendiren Araş. Gör. Gazi Bilal YILDIZ' a teşekkür ederim.

Çalışmalarıma zemin hazırlayan ve firmasında bana çalışma imkanı sağlayan eski patronum Sayıl Dayanıklı Tüketim Mobilya İnşaat ve Gıda Mad. San. Tic. Ltd. Şti. yönetim kurulu başkanı sayın Yılmaz YOLCU ve iş ortakları olan oğulları finans müdürü Tarık YOLCU ve üretim müdürü Faruk YOLCU' ya yardımlarından dolayı sonsuz müteşekkirim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme, özellikle babam sayın Mehmet Yaşar ARIK' a en içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Oğuzhan Ahmet ARIK

Kayseri, Ocak 2014

BİR ÜRÜNÜN BAYES KARAR AĞACI YÖNTEMİ İLE ÜRETİM KARARININ ALINMASI

Oğuzhan Ahmet ARIK

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2014

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY

ÖZET

Tez çalışması bir istatistiksel karar analizi neticesinde yapılacak bir dizi işin arasından hangilerinin üretimde hangilerinin fasonda gerçekleşeceğine dair bir karar problemini temel alan bir atölye çizelgeleme problemidir. Varsayımsal bir senaryo ile bir ürünün ilk defa seri üretimi gerçekleşeceği ve elde ürüne ait ürün ağacından başka bir şeyin olmadığı vurgulanmıştır. Ürün ağacından elde edilecek iş dökümü ve iş rotası için ürün ağaç iterasyonu yöntemi bu çalışmada sunulmuş ve iş sırlamada öncelik belirlemede kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen iş dökümü ile hangi işlerin üretimde hangilerinin fasonda yapılacağına Bayes karar teoremi yöntemi ile kararların maliyet analizleri yapılarak karar verilmeye çalışılmıştır. Amaç olarak sadece iş tamamlanma sürelerinin birim işçilik ücretleri ile çarpımı sonucu oluşan değer en aza indirilmesi amaçlanmıştır. İşlerin sıralanmasında Ürün ağaç iterasyonu yönteminden elde edilen notasyonlar kullanılacak ve iş önceliği konusunda yeni kurallar tanıtılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Bayes karar teoremi, Üretim Planlama, Çizelgeleme, Sıralama, Ürün Ağacı İterasyonu, İş Dökümü Elde Edilmesi, Sezgisel Yöntem

**MAKING DECISION BY USING BAYESIAN DECISION THEORY METHOD
FOR PRODUCTION OF ANY PRODUCT**

Oğuzhan Ahmet ARIK

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, January 2014

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Selda KAPAN ULUSOY

ABSTRACT

This paper considers a shop scheduling problem about decision with statistical decision analysis, which one of a number of tasks will be made in domestic production or subcontractor's production. In an hypothetical scenario, the serial manufacturing of a new product will be done in first time and the scenario emphasizes that there is nothing without bill of materials of that new product. To obtain the work breakdown structure and the work route from bill of materials, a new search algorithm that's named as iteration of bill of materials is presented and purposed for determining sequencing priority of anyone of a number of tasks. With utilization of obtained work breakdown structure, the decisions of which task will be done in domestic production or in subcontractor's production, are tried to be made with Bayesian decision theory by comparing expected costs of each decision with each other. The objective function is a minimization of the value that obtained by multiplying makespan's values and unit time labor costs. In sequencing of tasks, the notations that obtained from iteration of bill of materials method will be used and new set of rules about priority will be introduced.

Keywords: Bayesian Decision Tree, Production Planning, Scheduling, Sequencing, Bill of Material Iteration, Obtaining Work Breakdown Structure, Heuristic Approach

İÇİNDEKİLER

BİR ÜRÜNÜN BAYES KARAR AĞACI YÖNTEMİ İLE ÜRETİM KARARININ ALINMASI

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iv
ÖNSÖZ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER	xii
TABLolar LİSTESİ	xvi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xix
 GİRİŞ	 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Genel Bilgiler	4
1.1.1. İstatistiksel Kavramlar	4
1.1.1.1.Koşullu Olasılık.....	4
1.1.1.2.Bayes Teoremi.....	5
1.1.2. Karar Ağaçları.....	7
1.1.3. Üretim Planlama ve Kontrol	15
1.1.3.1.Üretim	15
1.1.3.2.Üretim Planlama.....	16

1.1.3.3.Üretim Planlama Amaçları.....	18
1.1.3.4.Üretim Kontrol.....	19
1.1.3.5.Üretim Kontrol Amaçları.....	20
1.1.3.6.Üretim Sistemleri	20
1.1.3.6.1. Geleneksel Üretim Sistemleri.....	22
1.1.3.6.1.1. Stok Yönetimlerine Göre Üretim Sistemleri.....	22
1.1.3.6.1.1.1. Stok İçin Üretim	22
1.1.3.6.1.1.2. Sipariş İçin Üretim	23
1.1.3.6.1.1.3. Sipariş İçin Montaj ve Son İşlemler.....	23
1.1.3.6.1.1.4. Sipariş İçin Mühendislik ve Üretim.....	23
1.1.3.6.1.2. Ürün Çeşitliliği ve Üretim Miktarına Göre Üretim Sistemleri.....	23
1.1.3.6.1.2.1.Proje Tipi Üretim.....	23
1.1.3.6.1.2.2.Parti Tipi Üretim	24
1.1.3.6.1.2.3.Kitle Tipi Üretim.....	24
1.1.3.6.1.2.4.Process Tipi Üretim	24
1.1.3.6.1.3. Üretim Sürecine Göre Üretim Sistemleri.....	25
1.1.3.6.1.3.1.Sipariş Tipi Atölye	25
1.1.3.6.1.3.2.Akış Tipi Atölye	25
1.1.3.6.1.3.3.Sabit Konumlu Atölye	25
1.1.3.6.2. Modern Üretim Sistemleri	25
1.1.3.6.2.1. Hücreli Üretim Sistemi	25
1.1.3.6.2.2. Yalın Üretim Sistemi.....	26
1.1.3.6.2.3. Esnek Üretim Sistemi.....	27
1.1.3.7. Üretim Planlama Yaklaşımları.....	28
1.1.3.7.1. Ana Üretim Programı.....	28
1.1.3.7.2. Stok Yönetimi ve Envanter Kontrol Modelleri	30
1.1.3.7.3. Malzeme İhtiyaç Planlaması	32
1.1.3.7.4. Kapasite İhtiyaç Planlama	35
1.1.3.7.5. İmalat Kaynak Planlama	35
1.1.3.7.6. Kurumsal Kaynak Planlama	36
1.1.4. Üretim Çizelgeleme ve Üretim İşlerinin Sıralanması.....	38
1.1.4.6. Üretim Çizelgeleme Karmaşıklığı.....	39
1.1.4.7. Üretim Çizelgeleme Öncelik Kuralları.....	40

1.1.4.8. Üretim Çizelgeleme Amaçları	42
1.1.4.9. Üretim Çizelgeleme Problemleri	43
1.1.4.10. Üretim Çizelgeleme Problemleri Çözüm Yöntemleri ve Literatür Taraması.....	45
1.1.4.10.1. Tek Makine Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri.....	45
1.1.4.10.2. Paralel Makine Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri .	48
1.1.4.10.3. Akış Tipi Atölye Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri	49
1.1.4.10.4. İş Tipi Atölye Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri	50
1.1.4.10.5. Açık Atölye Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri	51
1.1.4.10.6. Çizelgeleme Problemlerine Yönelik Son Yıllardaki Çalışmalar ..	52
1.2. Tez Konusunun Literatürdeki Benzerleri	55

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Problemin Tanımı	59
2.2. Problem Çözüm Yöntemi	59
2.3. Ürün Ağaç İterasyonu.....	61
2.4. Gerekli Yarı Mamul Miktarlarının Hesaplanması	66
2.5. Karar Ağacı Yöntemi ile Üretim veya Fason Kararları.....	69
2.6. Deneysel Üretim Planlama Matematiksel Modeli.....	72
2.6.1. Çizelgeleme Yöntemi.....	73

3. BÖLÜM

VARSAYIMSAL SENARYO VE PROBLEM ÇÖZÜMÜ

3.1. Tek Ürün İmalatı İçin Problem Oluşturma ve Problem Çözümü.....	76
3.1.1. Varsayımsal Senaryo.....	76
3.1.2. Ürün Bilgileri	77
3.1.3. Ürüne Ait İş Dökümünün Ürün Ağaç İterasyonu İle Elde Edilmesi.....	80
3.1.4. Ürün Zaman Tahminleri İle Üret veya Fason Kararları	88
3.1.5. İş Dökümünün İş Çizelgesine Dönüştürülmesi ve İş Sıralaması.....	94

4. BÖLÜM**TARTIŞMA SONUÇ VE ÖNERİLER**

4.1. Tartışma ve Sonuç	106
4.2 Öneriler ve Gelecek Çalışmalar	106
 KAYNAKLAR.....	 109
ÖZGEÇMİŞ	121

KISALTMALAR VE SİMGELER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>
BT	Bayes Teoremi
BKT	Bayes Karar Teoremi
GT	Grup Teknoloji
HÜS	Hücresele Üretim Sistemi
YÜ	Yalın Üretim
TKY	Toplam Kalite Yönetimi
TVB	Toplam Verimli Bakım
AÜP	Ana Üretim Programı
MİP	Malzeme İhtiyaç Planlaması
KİP	Kapasite İhtiyaç Planlaması
İKP	İmalat Kaynak Planlaması
KKP	Kurumsal Kaynak Planlaması
P	Polinom Zamanda Çözülebilir
NP	Polinom Zamanda Çözilemeyen
SOT	En Kısa Çalışma Süresi
LOT	En Uzun Çalışma Süresi
LRPT	En Uzun Kalan İşlem Süresi
SRPT	En Kısa Kalan İşlem Süresi
LORPT	En Uzun Çalışma Kalan İşlem Süresi
FCFS	İlk Gelen İlk Çıkar
SPT	En Kısa İşlem Süresi
LPT	En Uzun İşlem Süresi
LOS	Kendisinden Sonra Gelen En Uzun Çalışma Zamanı
SNRO	Kalan Çalışma Sayısı En Az Olan
LNRO	Kalan Çalışma Sayısı En Fazla Olan
EDD	En Erken Teslim Tarihi
α	Atölyenin Makine Ortamı
β	İşleme Özellikleri ve Kısıtları
γ	En Küçüklenecek Performans Ölçütü
1	Tek Makine

P_m	Özdeş Paralel Makineler
Q_m	Farklı Hızlara Sahip Paralel Makineler
R_m	İlişkisiz Paralel Makineler
F_m	Akış Tipi Atölye
FF_c	Esnek Akış Tipi Atölye
J_m	İş Tipi Atölye
FJ_c	Esnek İş Tipi Atölye
O_m	Açık Atölye
r_j	Geliş Zamanı
S_{jk}	Sıralama Bağımlı Kurulum Süresi
$prmp$	Bölünebilme
$Prec$	Öncelik kısıtları
$Brkdwn$	Arızalanma
M_j	Makine Uygunluk Kısıtlamaları
$prmu$	Permütasyon
$Block$	Bloklama
nwt	Bekleme Yok
$rcrc$	Yeniden dolaşım
C_{max}	İş tamamlanma süresi
L_{max}	Maksimum Geç Kalma
$\sum w_j C_j$	Toplam Ağırlıklı Tamamlanma Süresi
$\sum w_j (1 - e^{-rc_j})$	İndirimli Toplam Ağırlıklı Bitirme Süresi
$\sum w_j T_j$	Toplam Ağırlıklı Gecikme
$\sum w_j U_j$	Ağırlıklı Geç Kalınmış İş Sayısı
$\bar{O}$	İş öncelik sırası
X	Kendisine Bağlı Olan düğüm sayısı
Y	Kendisinin Bağlı Düğüm Sayısı
$U_{i,j}^{n_i n_j}$	İş Dökümünde Yer Alan İşlerin Birbirleri Arasındaki İlişkiyi

Gösteren Notasyon

i	Başlangıç ürününün düğüm numarası, $i = i \in N^+ (1, 2, 3, \dots, N)$
j	Bağlanılan ürününün düğüm numarası, $j = j \in N^+ (0, 1, 2, 3, \dots, N)$
N	Başlangıç için gerekli tüm ürünlerin düğüm sayısı
$N + 1$	Bitiş için gerekli tüm ürünlerin düğüm sayısı
A_{ij}	i . düğümdeki üretilerek j . düğümünde kullanılacak ürününün bağlan katsayısı
B_{ij}	i . düğümdeki üretilecek ürünün bağlı olduğu j . düğümdeki Ürün ağacındaki miktarı
M_i	i . düğümdeki üründen üretilmesi gereken toplam miktar
M_{ij}	i . düğümdeki üründen j . düğümü için üretilmesi gereken miktar
M_j	j . düğümdeki üründen üretilmesi gereken toplam miktar
$P(A)$	Zamanında veya evvel iç kaynak ve fason kaynak kullanılarak üretimin gerçekleşmesi olayı
$P(B)$	İç kaynak ve fason kaynak kullanılarak planlanandan geç üretimin gerçekleşmemesi olayı
$P(u)$	Geçmişte benzer işlerin iç kaynak kullanılarak üretilme olayı
$P(f)$	Geçmişte benzer işlerin fason kaynak kullanılarak üretilme olayı
t_u	İç kaynak kullanarak tahmini bir birim üretim süresi
t_f	Dış kaynak kullanarak tahmini bir birim üretim süresi
X_u	İç kaynak kullanarak normal üretim zamanı birim maliyetleri (TL)
X_f	Dış kaynak kullanarak normal üretim zamanı birim maliyetleri (TL)
Y_u	İç kaynak kullanarak zamanında üretilmemesi birim maliyeti (TL)
Y_f	Dış kaynak kullanarak normal üretim zamanı birim maliyetleri (TL)
$P(u A)$	Zamanında gerçekleştiği bilindiğinde bunun üretimde yapılma olasılığı
$P(f A)$	Zamanında gerçekleştiği bilindiğinde bunun fasonda yapılma olasılığı
$P(u B)$	Zamanında gerçekleşmediğinde bunun üretimde yapılma olasılığı
$P(f B)$	Zamanında gerçekleşmediğinde bunun fasonda yapılma olasılığı
$P(A u)$	Üretimde gerçekleştiğinde zamanında ve evvel gerçekleşme olasılığı
$P(B u)$	Üretimde gerçekleştiğinde zamanından geç gerçekleşme olasılığı
$P(A f)$	Fasonda gerçekleştiğinde zamanında ve evvel gerçekleşme olasılığı
$P(B f)$	Fasonda gerçekleştiğinde zamanından geç gerçekleşme olasılığı

M_u	Üretim kararının beklenen maliyeti
M_f	Fasona gönderme kararının beklenen maliyeti
$T_{i,j}^{n_i n_j}$	$U_{i,j}^{n_i n_j}$ işine ait tezgah kurulum süresi
$\bar{t}_{i,j}^{n_i n_j}$	$U_{i,j}^{n_i n_j}$ işine ait birim başına işlem süresi
$Y_{i,j}^{n_i n_j}$	$U_{i,j}^{n_i n_j}$ işine ait yüzde ilerleme
D_a	$U_{i,j}^{n_i n_j}$ işinin yapılacağı üretim bölümü
E_i	$U_{i,j}^{n_i n_j}$ işinde çalıştırılacak eleman sayısı
P_a	D_a bölümünde eleman çalıştırma saatlik ücreti
TE_i	En geç başlama zamanı
TB_i	En geç bitiş zamanı
$T\bar{t}_i$	Gerçekleşmesi planlanan işlem süresi
$Maliyet_a$	D_a bölümünde yapılacak işlerin işçilik maliyeti

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Ek Bilgi ile Gelen İhtimaller.....	11
Tablo 1.2. Öncül Olasılıklar.....	12
Tablo 1.3. Düzeltilmiş Soncul Olasılıklar.....	13
Tablo 1.4. Ana Üretim Planlama İşlemleri	29
Tablo 1.5. <i>P1</i> Ürünü için MİP.....	34
Tablo 1.6. Öncelik Kuralları	40
Tablo 1.7. α ve β Parametreleri	44
Tablo 1.8. γ Değeri Amaç Fonksiyonları	44
Tablo 2.1. A Ürünü için ÜAİ Birinci İterasyon.....	62
Tablo 2.2. A Ürünü için ÜAİ İkinci İterasyonu	63
Tablo 2.3. A Ürünü için ÜAİ Üçüncü İterasyon	63
Tablo 2.4. A Ürünü için ÜAİ Dördüncü İterasyon	64
Tablo 2.5. A ürünü için ÜAİ İterasyon Değerlendirmeleri.....	64
Tablo 2.6. A Ürünü Üretimi İçin İş Döküm Yapısı	65
Tablo 2.7. A Ürünü için Notasyonlu İş Döküm Yapısı	65
Tablo 2.8. A Ürünü Üretimi İçin İş Dökümü Notasyon Açıklaması	66
Tablo 2.9. A ürünü için Üretilecek Miktar Hesaplama.....	67
Tablo 2.10: Olayların Tanımı ve Öncül Olasılıkları	69
Tablo 2.11: Kararların Maliyetine İlişkin İfadeler	69
Tablo 2.12. Toplam Gerekli Zaman Hesaplama Tablosu	73
Tablo 2.13. Başlama ve Bitiş Zaman Tablosu	74
Tablo 3.1. Bank Üretimi için Gerekli Ürün Ağaç Miktarları.....	79

Tablo 3.2. Bank Üretimi için Üretim Birimleri	80
Tablo 3.3. Birinci İterasyon	81
Tablo 3.4. İkinci İterasyon	82
Tablo 3.5. Üçüncü İterasyon	82
Tablo 3.6. Dördüncü İterasyon.....	83
Tablo 3.7. Beşinci İterasyon.....	83
Tablo 3.8. Altıncı İterasyon	84
Tablo 3.9. Yedinci İterasyon.....	84
Tablo 3.10. Sekizinci İterasyon.....	84
Tablo 3.11. Dokuzuncu İterasyon	84
Tablo 3.12. İterasyon Birincileri	85
Tablo 3.13. İterasyon Sonuçlarına Göre Önceliklerin Gruplandırılması	85
Tablo 3.14. Bank Üretimi İçin Gerekli Notasyonlar.....	86
Tablo 3.15. Uzman Zaman Tahminleri ve Üretim Miktarları.....	88
Tablo 3.16. Üretme ve Fason Zaman Tahminleri ve Zamanında Üretme ve Üretememe Maliyetleri.....	89
Tablo 3.17. Soncul Olasılıkların Hesabı	90
Tablo 3.18. Üret veya Fason Kararları.....	91
Tablo 3.19. Bank Üretim İşi Özet Tablo.....	92
Tablo 3.20. Yapılacak İşlemlerin Bölümlere Göre Sınıflandırılması	94
Tablo 3.21. Testere Kesim Bölümü İçerisinde İş Sıralaması.....	95
Tablo 3.22. Press Bölümü İçerisinde İş Sıralaması	96
Tablo 3.23. Büküm Bölümü İçerisinde İş Sıralaması	97
Tablo 3.24. Düğümler Arası İleri Yönlü Bağlantı Matrisi.....	97

Tablo 3.25. Notasyonların Toplam Çalışma Zaman Hesap Matrisi (Tezgâh Kurulum Süreleri Hariç).....	98
Tablo 3.26. Optimum En Geç Başlama Zamanları Matrisi	99
Tablo 3.27. Optimum En Geç Bitiş Zamanı Hesabı	100
Tablo 3.28. İşlemlerin Üretim Maliyetleri	102
Tablo 3.29. Bölümlerin İş Gücü Kapasite İhtiyaçları	103

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Koşullu Olasılık.....	5
Şekil 1.2. Profil Fiyatları Satın Alma veya Almama Birincil Karar Ağacı.....	9
Şekil 1.3. Yenilenmiş Karar Ağacı	15
Şekil 1.4. Planlama Sistemi	17
Şekil 1.5. Üretim Kontrol Çemberi	19
Şekil 1.6. Bir Üretim Sisteminin Temel Elemanları.....	21
Şekil 1.7. Stok Yönetimine Göre Şekillenen Üretim Sistemleri ve Teslimat Zamanları ..	22
Şekil 1.8. Stokların Sınıflandırılması	31
Şekil 1.9. Talebin Yapısına Göre Stok Kontrol Modelleri.....	32
Şekil 1.10. Örnek Ürün Ağacı	33
Şekil 1.11. Gannt Grafiği ve Faaliyetler Arası Kurallar.....	39
Şekil 1.12. Üretim Çizelgeleme Problemleri.....	43
Şekil 1.13. Üretim Çizelgeleme Problemleri İle İlgili Son Yıllarda Yapılan Çalışmalar .	54
Şekil 1.14. Mühendislik ve üretim aktiviteleri için birleşik bir işlem planı.....	57
Şekil 2.1. A Ürünü için Ürün Ağacı ve İş Önceliklerinin Sıralanması	60
Şekil 2.2. A Ürünü için İş Dökümü Yapısı ve Notasyonlar.....	66
Şekil 2.3. A Ürününe Ait Herhangi Bir İşlemin Üretileceğine mi? Yoksa Fason Kaynak Kullanılarak mı? Elde Edileceğine Yönelik Karar Ağacı.....	71
Şekil 2.4. A Ürünü İşlemleri için Üretim Çizelgeme.....	75
Şekil 3.1. Bank Üretimi için Ürün Ağacı	78

Şekil 3.2. Bank Üretimi İş Akışı ve Notasyonlar	87
Şekil 3.3. İş Bitiş Zamanlamaları Örneği	101
Şekil 3.4. Bank Üretimi İş Çizelgesi	105

GİRİŞ

Günümüzde, değişen müşteri ihtiyaçları ve hızlı trendler nedeni ile ürün geliştirme departmanları, yeni ürün tasarımlarını çok hızlı bir şekilde seri üretimlerine almak zorundadırlar. Rekabetin dünya çapında ve yerel olarak sürekli olarak artması, müşterilerinin ihtiyaçlarına hızlı cevap veren üretim firmalarını pazardaki paylarını koruma konusunda diğer firmalara nazaran daha üstün duruma getirir. Bunun için müşterinin talep ettiği ürününün hızlı bir şekilde tasarlanması, tasarımın hızlı bir şekilde prototipe dönüştürülmesi, ilk örnek üzerinden gerekli kalite, güvenlik, maliyet ve diğer fonksiyonların gözlemlenerek üretime hızlı bir şekilde adaptasyonu sağlanmalı ve seri üretimi tamamlanarak müşteriye sunulmalıdır.

Üretim firmaları genellikle ilk defa üretilecek ürüne ait tüm alt operasyonlarını seri üretim esnasında, iş ve zaman etütleri yaparak incelerler. Ardından sonraki üretimin planlama ve çizelgeleme işlemleri için zaman ölçümelerini ve yapmış oldukları etüt verilerini kullanırlar. Aynı zamanda üretim firmalarının hesaba katması gereken diğer bir hususta hangi ürünün hangi bölümlerini kendilerinin üreteceği veya dış kaynak kullanarak, fasondan temin edeceğidir. Bu kararların iş yapılmadan önce alınması oldukça zordur. Ayrıca üretim ve mali kaynaklarını ilk defa üretilecek ürüne göre ayarlamak gerçekten zaman alacak bir uygulamadır. Fakat günümüzde rekabet edebilmenin bir diğer yolu da tüm kaynakları verimli kullanabilmektir. Zaman ise günümüzde asla telafi edilemeyecek en önemli kaynaktır. Genel üretim planına hangi işin kim tarafından, ne kadar süre içerisinde ve hangi makine/ekipmanın kullanılacağını bilmeden ya da en azından bir varsayımda bulunmadan dâhil edilmesi diğer üretim siparişlerinin aksamasına neden olabilmektedir.

Tez çalışmasında bu aksamaların en aza indirilebilmesi için karar ağacı yöntemi kullanılacaktır. Daha önce benzer kategoride yapılan işler ve ürünlerin üretim içerisindeki zamanında üretme / üretememe ihtimalleri ile dış kaynak kullanarak zamanında üretme / üretememe ihtimalleri kullanılarak, dış kaynak kullanmanın

beklenen maliyeti ve üretmenin beklenen maliyetleri hesaplanacaktır. Yapılan maliyet hesapları ile iş dökümünden çıkarılarak fasona gönderilecek mamuller veya fasonda direk ürettirilecek yarı mamuller belirlenecektir. Ürün ağacı yapısı kullanılarak birbirine bağlı olan ürünler birer düğüm olarak ele alınacak ve birbirlerini izleyen düğümlerin üretim önceliklerini belirlemek için bu tez çalışması için oluşturulan Ürün ağacı iterasyonu (ÜAİ) metodu kullanılacaktır.

ÜAİ üretim faaliyetlerinden hangisinin daha önce yapılması gerektiğine yönelik öncelik numaralandırmalarının belirlenmelerini iteratif bir yöntemle araştırır. ÜAİ ana ürünün üretimine yönelik yapılacak üretim faaliyetlerini önceliklerine göre belirler ve bir faaliyetinin tamamlanmasının ardından, başlayacak olan üretim faaliyetinin de öncelik numarasını baz alarak iş planlamasında, ana ürünü üretmede gerçekleşecek eylemleri verimli bir şekilde sıralamaya çalışmaktadır. Bu yöntemlerle beraber üretime ilk defa alınacak ürünle ilgili zaman tahminleri yapılacaktır. Yapılan zaman tahminlerinin ortalaması alınarak üretim planlama için tasarlanılan yeni modelde kullanılacak ve üretim tamamlanma maliyeti en az olan üretim çizelgeleme şekli belirlenecektir. Üretim planının yapılabilmesi için ürünlerin rotalara sahip olması ve her işlem noktasında hangi personel tarafından ne kadar süre işlem göreceğinin belirlenmiş olması gerekmektedir. Tasarımdan üretime adaptasyonu yapılacak ürünlerin ve hali hazırda rotaları ve reçeteleri olan ürünlerin alt işlerinin sınıflandırılmasında ürün ağaçlarından elde edilen ve herhangi bir üretime tabi olarak yarı mamul veya mamul olan ürünlerin iş dökümü yapılarının oluşturulması sağlanacaktır. İş dökümlerinden faydalanılarak deneysel bir iterasyon metodu ile hangi işin daha önce yapılacağına karar verilecektir. Oluşan iş dökümü ile nihai mamulü üretmemiz için gerekli olan tüm işçilik ve yarı mamul üretimini hangi çalışan, ne kadar süre emek harcayarak, hangi iş istasyonunda yapacağını, ürün siparişinin önceliğini ve sipariş olan ürünün iş dökümündeki önceliğini baz alarak üretim birimleri arasında boş bekleme süreleri en aza indirecek bir matematiksel model ile işlerin çizelgelenmesi için en geç başlama ve en geç bitiş zamanları belirlenecektir. Model çıktıları ise üretim çizelgelemede grafik verileri olarak kullanılacaktır.

Tez çalışmasında, birinci bölümde genel bilgiler ve literatür çalışması verilmiştir. Bu bölümde kullanılan istatistiksel karar analiz yöntemi ve yöntemle ilgili bilinmesi gereken asgari bilgiler verilmiştir. Ayrıca birinci bölümde üretim sistemleri, üretim planlama ve

kontrol ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Üretim çizelgeleme konusu ile ilgili genel bilgilere ve çözüm yöntemlerine yönelik metotlara yer verilmiştir. Birinci bölüm içerisinde yapılan literatür çalışmasında ise üretim çizelgeleme ve tez çalışmasına konu olan karar analizi hakkında yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

İkinci bölümde, problemin çözümüne yönelik geliştirilmiş metotlar anlatılmış ve metotların kullanımı ile alakalı olarak küçük bir örnek problem çözülmüştür. Birinci bölümde tanıtılan karar analizi yöntemi ile üret veya fasona gönder karar seçeneklerinin beklenen maliyetleri mukayesede edilmesidir. Çizelgeme yöntemine yönelik geliştirilen metotların ve matematiksel modelin tanıtılması da ikinci bölümde gerçekleşmiştir.

Üçüncü bölümde problemin tanımına yönelik bir varsayımsal senaryo sunulmuştur. Varsayımsal senaryo ile sunulan problemin çözümü için, ikinci bölümde sunulan problem çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Problemin çözümü için, ürüne ait iş dökümünün elde edilmesi ve ardından üretim faaliyetlerine ait öncelik sayılarının elde edilmesi işlemleri gerçekleştirmiştir. Oluşturulan iş dökümü yapısından faydalananarak, varsayımsal senaryo verileri kullanılarak üret veya fason kararlarının alınması işlemi gerçekleştirilmiştir. Kararların alınmasından sonra, üretim içi iş çizelgeleme işlemi için ikinci bölümdeki matematiksel model ve sezgisel yöntemler kullanılmıştır. Elde edilen iş sıralaması ile üretim birimleri içerisinde yapılacak olan işler için çizelgeme grafiği oluşturulmuştur.

Dördüncü bölümde varsayımsal senaryo ile oluşturulan problemin çözüm sonuçları irdelenmiştir. Ayrıca problem çözüm yöntemi ve oluşturulan metotlar hakkında eleştiriler yapılmış ve ileriki çalışmalarda neler yapılabileceğine dair aydınlatıcı bilgiler verilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1.Genel Bilgiler

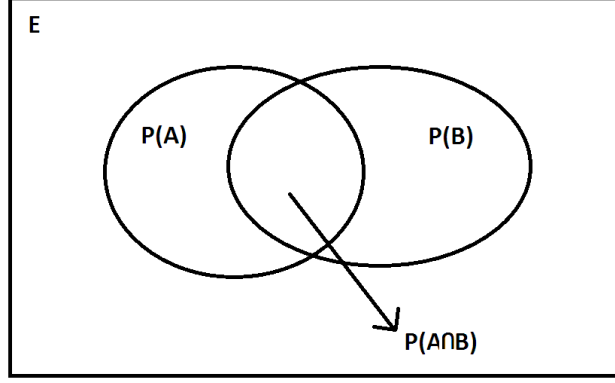
Bu bölümde ikinci ve üçüncü bölümde kullanılacak olan istatistiksel bilgiler, karar analizi (KA) metodu ve genel üretim planlama yöntemleri ile çizelgeleme yöntemlerine değinilecektir. Genel bilgiler verilerek sonraki bölümlerin anlaşılabilirliği kolaylaştırılmaya çalışılacaktır.

1.1.1. İstatistiksel Kavramlar

Bu bölümde KA metodu içerisinde kullanılan Bayes teoreminin (BT) temeli olan koşullu olasılığa değinilecek örneklerle açıklanacaktır. Ardından BT kısaca açıklanarak, KA metodu içerisinde kullanımına değinilecektir.

1.1.1.1. Koşullu Olasılık

Bir deneyin tüm olası sonuçlarının örnek uzayı olarak E içerisinde yer aldığını ve ayrıca sonuçlara ait olan tüm ihtimallerinde bu E uzayı içerisinde belirlendiğini varsayalım. E uzayı içerisinde bir veya birden çok olaya ait sonuçlar yer alır. Örnek verecek olursak, üretimden çıkan mamulün istenilen özelliklerde olup olmadığının testi bizim deneyimizdir. Kalite kontrol sonucu ürünün kusurlu veya kusursuz olma olayları mevcuttur. Bu iki olayın toplamı E uzayını oluşturur. Olayların gerçekleşme sıklığı yani frekansı ise E uzayı içerisinde gerçekleşen tüm olaylarla kıyaslandığında bizim ihtimalimizi oluşturmaktadır. Tek bir örnek uzayda tanımlı olan A ve B olayları için, A olayının gerçekleştiği varsayıldığında, B olayının ortaya çıkma olasılığına koşullu olasılık adı verilir. Şekil 1.1’de koşullu olasılık anlatılmaya çalışılmıştır.



Şekil 1.1. Koşullu Olasılık

Yukarıdaki şekil 1.1’ de açıkça görüldüğü gibi A olayının B olayının gerçekleşmesi varsayımı ile oluşan koşullu olasılığının gösterimi $P(A|B)$ şeklindedir ve hesaplanışı aşağıdaki formül 1.1’de gösterilmiştir.

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (1.1)$$

1.1.1.2. Bayes Teoremi

18. yüzyılda yaşayan İngiliz kilisesi yönetim kurulu bakanı olan rahip Thomas Bayes, Tanrı gerçekten var mı? sorusunu yöneltti. Bu soruyu cevaplamak için, Tanrının gerçekten var olduğu ihtimalini, dünya üzerinde kendisine sunulan kanıtlara dayandırarak belirtmek üzere bir formül geliştirme girişiminde bulundu. Literatürde, Bayes Teoremini oluşturan çalışmalarının kim tarafından derlenerek sunulduğuna dair çeşitli söylentiler bulunmaktadır. Bunlardan birincisi ölümünden birkaç yıl sonra Bayes’e ait çalışmalarının başka bir rahip arkadaşı tarafından derlendiğidir, ikincisi ise daha sonraları 19. yüzyılın başlarında Pierre-Simon Laplace isimli matematikçi Bayes’in çalışmalarını düzenleyerek BT olarak adlandırdığıdır.

BT çıktıları hakkında yeni bilgiler elde edildiğinde, bilinen çıktıların orijinal ihtimallerinin revize etmede faydalıdır. Gelen yeni bilgiler ışığında önceki ihtimaller artık revize edilmiş veya sonraki ihtimaller olarak adlandırılırlar [1].

BT bir stokastik süreç sırasında ortaya çıkan bir rastgele olay A ile bir diğer rastgele olay B (eğer B için kaybolmamış olasılık varsa) için koşullu olasılıkları ve marjinal olasılıkları arasındaki ilişkidir, yani

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{P(B|A) * P(A)}{P(B)} \quad (1.2)$$

BT formülü içinde bulunan her bir terime özel isimler verilmektedir [2]:

- $P(A)$ terimine A için önsel olasılık veya marjinal olasılık adı verilir
- $P(A|B)$ terimi verilmiş B için A'nın koşullu olasılığı adını alır.
- $P(B|A)$ terimi verilmiş A için B'nin koşullu olasılığı adını taşır.
- $P(B)$ terimi B olayı için 'önsel' olasılıktır veya B'nin marjinal olasılığıdır ve matematiksel rolü normalize eden bir sabittir.

Bu şekildeki BT, fazla matematiksel olmadan, sezgiye dayanarak şöyle açıklayabiliriz: BT eğer B gözlemlenmiş ise, A gözlemi hakkındaki inançların ne şekilde güncelleştirilebileceğini ortaya çıkartır.

Örnek: Bir üretim tesisinde aynı mamulü üreten 3 ayrı makine olan X, Y ve Z makineleri bulunmaktadır. Bu makinelerin kapasiteleri ve çalışma zamanları aynıdır. Üretim sonucu oluşan makinelerden çıkan ürünlerdeki kusurlu parça olma oranları sırasıyla X, Y ve Z makineleri için %2, %7 ve %12 'dir. Üretim sonucu tüm ürünler tek bir alanda toplanmaktadır. Seçilen ürünün kusurlu olduğu gözlemlendiğinde bu kusurlu ürünün Y makinesinde üretilmiş olma ihtimali nedir? [1]

Çözüm : $P(X) = 1/3$, $P(Y) = 1/3$, $P(Z) = 1/3$,

$P(H | X) = 0.02$, $P(H | Y) = 0.07$, $P(H | Z) = 0.12$,

$P(Y | H) = ?$

$$P(Y|H) = \frac{P(H|Y) * P(Y)}{P(H)}$$

$$P(H) = P(H|X) * P(X) + P(H|Y) * P(Y) + P(H|Z) * P(Z)$$

$$P(Y|H) = \frac{P(H|Y) * P(Y)}{P(H|X) * P(X) + P(H|Y) * P(Y) + P(H|Z) * P(Z)}$$

$$P(Y|H) = \frac{0.07 * 0.33}{0.02 * 0.33 + 0.07 * 0.33 + 0.12 * 0.33}$$

$$P(Y|H) = 0.33$$

Kutudan seçilen hatalı ürünün Y makinesinden üretilmiş olma ihtimali 0.33'dür.

1.1.2. Karar Ağaçları

Karar ağacı, yukarıda bahsedilen BT' ye dayanan istatistiksel bir karar analiz yöntemidir. Alternatif kararların, karar verici tarafından analiz edilmesine ve karar vericinin kendi kişisel bilgi, görüş ve deneyimlerine dayandırarak kararların sonuçlarına ait kar ve zararların hesaplanmasına olanak tanır. Bir kararın ardından doğacak sonuçlar ve o sonuçları izleyen daha çok karar verme zorunluluğu ve son olarak da alınan yeni kararlarında sonuçlarının da irdelendiği bir karar analiz yöntemidir. KA, öncelikle karar vericinin kendi kişisel bilgi, tecrübe, görüşlerine ve durumun gerçek mevcut bilgilerine dayanarak tahmin edilmek istenilen durumlara ait başlangıç dağılımlarını oluşturur. Oluşturulan bu dağılımların ardından, durumların sonrasında ek bilgi ve durumlar ile elde edilen hareket biçimleri ve bu hareketlere ait kar veya zararların hesaplanması sonucu kararların alınması işlemi ile KA işlemleri sona erer. Klasik yaklaşımlarda direk olarak özneliği veya diğer bir deyişle çeşitli olayların öncelik olasılıklarını hesaba almaz, fakat karar vermede bayesgil yaklaşımı hazırdaki herhangi bir ilk bilgiyi revize ederek toplanmış olan örnek veriler içerisinde hesaba katar [3].

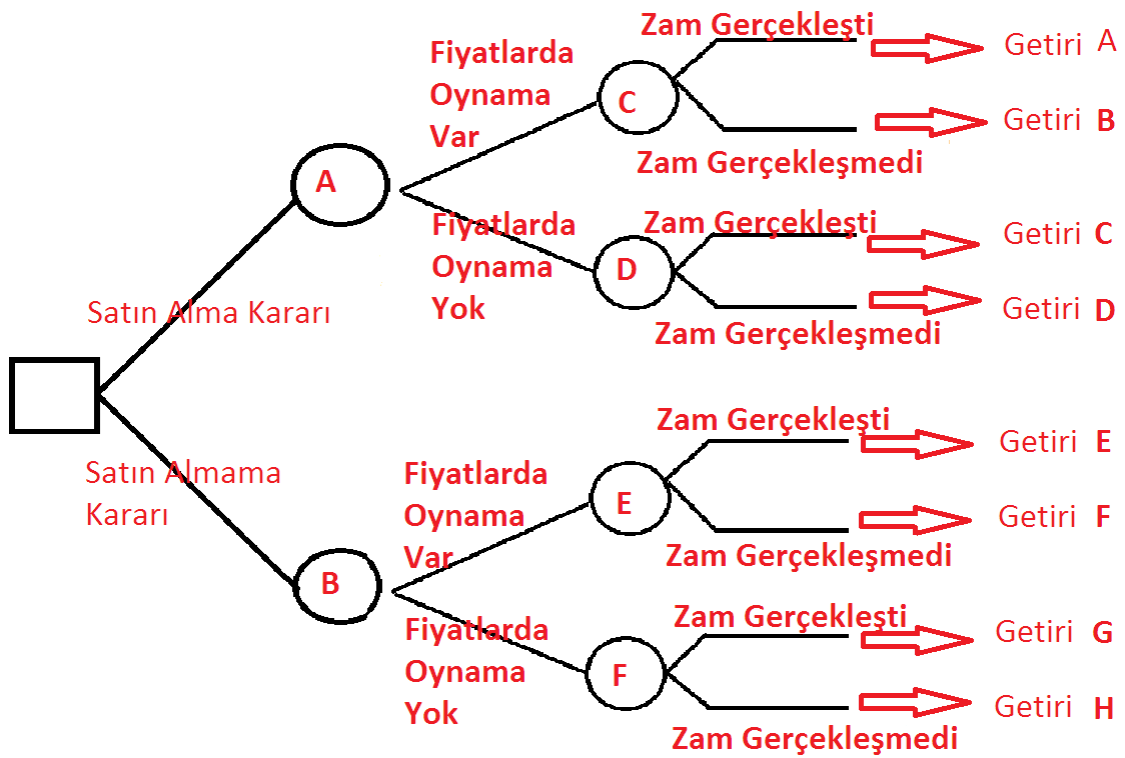
KA kullanım alanı bakımından oldukça geniş bir alana sahiptir. Alınabilecek en küçük ekonomik ölçekli karardan en yüksek ekonomik ölçekli kararda dahi kullanılabilir. İmar planlarının oluşturulmasında, gelecek yılın ev fiyatlarının tahminine yönelik şu anda ev satın alınıp alınmayacağı kararında, ürününü hangi donanım veya makine ile üretileceği kararına, tesis yerleşim problemlerinde ve daha birçok alanda KA kullanılabilir.

KA' nı daha iyi anlamak için gerçek hayat problemlerinin modellenmesi aydınlatıcı olacaktır. Metal sektöründe olan A firmasına gelecek ay sonrasında demir profil fiyatlarının % 20 oranda zamlanacağı bilgisi ulaşmıştır. Bu haber karşısında şimdiden ürün stok yapmak konusunda kararsız kalmışlardır. Bazı durumlarda bu tarz haberler asılsız çıkan spekülasyonlardan başka bir şey olmamaktadır. Geçmiş deneyimlerine dayanarak satın alma uzmanı bu haberin % 70 gerçek % 30 ise asılsız olduğuna inanmaktadır. Fakat profil fiyatları zamlandığında mevcut ürünlerine de zam yapmaları gerekebilmektedir ve bu durum A firmasının yapmış olduğu antlaşmalar sebebiyle,

rakiplerinin fiyat politikasına uyması zorunluluğundan kaynaklanmaktadır. Şimdiki zamsız fiyattan stok yaparak, daha çok kar elde edebilecekleri gibi, bu haberin asılsız olduğuna inanarak stoklarını normal seviyede tutmaya da karar verebileceklerdir. Firmanın alması gereken iki karar bulunmaktadır. Bunlar, satın alma işlemini başlatarak stok bulundurmak veya stok bulundurmamaktır. Firma aynı zamanda gelecek ay sonrası için ana malzemesi profilden olan 1000 adet ürün siparişi bulunmaktadır. Kesinleşmiş olan bu sipariş için firma ihtiyacı olan profilleri şimdiden satın alabileceği gibi, üretim öncesinde de satın alma işlemini gerçekleştirebilir. Bu 1000 adet ürün için gerekli olan profil miktarının şimdiden stoklanıp stoklanmamasının kararlaştırılması gerekmektedir. Profil fiyatlarına zam gelmesi durumunda, sektördeki rakiplerin ürünlerine zam yapması olasılığı % 55'dir. Rakipler genellikle hammadde zammını ürüne yansıtmak için ürünlerine % 25 zam uygulamaktadırlar. Böylece, profil fiyatlarına zam gelmesini izleyen iki durum oluşmaktadır, bunlar: ürünlere zam yapılacak (fiyatlarda oynama olacak) ve ürün fiyatlarında değişme olmayacak olaylardır. Profil fiyatlarına yapılan zamdan sonra, ürün fiyatlarına zam yapılmaz ise yaklaşık % 30 daha fazla sipariş alınacağı düşünülmektedir. Bu durumda bulundurulması gereken profil miktarı da daha fazla olmaktadır. Profil fiyatlarına zam gelmemesi durumunda ise üreticiyi bekleyen iki durum oluşmaktadır. Rakipleri ürün fiyatlarında oynama yaparak % 10 indirim yapmayı ve daha çok satış yapmayı planlamaktadırlar. Bu olayın ihtimali % 40 olarak düşünülmüştür ve indirim gerçekleştiğinde mevcut siparişlere ek % 40 daha fazla siparişin alınabileceğidir. Ürünlerde indirim gerçekleşmezse sipariş miktarında bir değişiklik olmayacaktır. Rakipler ürün fiyatlarında indirim yapacak (fiyatlarda oynama olacak) ve fiyatlar normal seviyede kalacak şeklinde, görüntü fiyatlarına zam gelmemesi durumunu izleyen iki olay bulunmaktadır. Ürünün şu anda normal satış bedeli 150 TL tutarındadır ve bir ürün için 4 adet profil kullanılmaktadır. Profilin şu anki fiyatı ise 20 TL tutarındadır. Eğer firma stoklarını şimdiden temin eder ve zam gelmez ise bunun kendisine maliyetinin profil başına 3 TL olduğuna karar vermiştir. Yine firma stoklarını şimdiden temin etmez ve profil fiyatlarına zam gelirse, profil başına 2 TL gibi ek stoksuzluk maliyetine maruz kalacağını düşünerek, karar analizinde

zam gelmesi durumunda uygun fiyattan stok alamamasının maliyetini abartılı bir şekilde görmek istemektedir.

Bu durumu daha iyi inceleyebilmek için ise şekil 1,2'deki karar ağacı yapısına bakmakta fayda vardır. Karar Ağacı istatistiksel karar problemlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Özellikle, Bayesgil karar verme problemlerinde çözüme büyük katkılar sağlamaktadır [4].



Şekil 1.2. Profil Fiyatları Satın Alma veya Almama Birincil Karar Ağacı

Şekil 1.2 'de ifade edilen getirilerin ve olay olasılıklarının hesaplanması ve ardından kararlara ait beklenen getirilerin belirlenmesi gerekmektedir. problem içerisindeki bilgiler kullanılmıştır. Getiriyi hesaplamak ise toplam satış miktarından toplam maliyeti çıkarmak ile mümkündür. Şekli 1.2' de ifade edilen tüm getirilerin hesaplanması aşağıdaki gibidir.

Getiri A, satın alma kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmesinden kaynaklanması, oluşan yeni zamlı fiyattan yapılan satışlardan elde edilen getiriye simgelemektedir.

$$\text{Getiri A} = (1000 * 187,50 \text{ TL}) - (4000 * 20,00 \text{ TL}) = 107.500,00 \text{ TL}$$

Getiri B, satın alma kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmemesinden kaynaklanması ve % 40 artan sipariş miktarı ile yapılan satışlardan elde edilen getiriye ifade etmektedir. İlk başta alınan profiller için zam olmaması durumu kaynaklı, stok bulundurma maliyeti oluşmuştur.

$$\text{Getiri B} = (1400 * 135,00 \text{ TL}) - (4000 * 23,00 \text{ TL}) - (1600 * 20,00 \text{ TL}) = 65.000,00 \text{ TL}$$

Getiri C, satın alma kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynamaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmesinden kaynaklanması ve normal fiyattan yapılan satışlara % 30 daha eklenmesi ile elde edilen getiriye simgelemektedir. İlk başta alınan 4000 profil haricinde alınan profiller yeni fiyattan satın alınacaklardır.

$$\text{Getiri C} = (1300 * 150,00 \text{ TL}) - (4000 * 20,00 \text{ TL}) - (1200 * 24,00 \text{ TL}) = 86.200,00 \text{ TL}$$

Getiri D, satın alma kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynamaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmemesinden kaynaklanması ve normal fiyattan yapılan satışlardan elde edilen getiriye simgelemektedir. İlk başta alınan profiller için zam olmaması durumu kaynaklı, stok bulundurma maliyeti oluşmuştur.

$$\text{Getiri D} = (1000 * 150,00 \text{ TL}) - (4000 * 23,00 \text{ TL}) = 58.000,00 \text{ TL}$$

Getiri E, satın almama kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmesinden kaynaklanması ve oluşan yeni zamlı fiyattan yapılan satışlardan elde edilen getiriye simgelemektedir. Profili daha önceden almamış olmanın maliyeti olan 2 TL' de eklenmiştir.

$$\text{Getiri E} = (1000 * 187,50 \text{ TL}) - (4000 * 26,00 \text{ TL}) = 83.500,00 \text{ TL}$$

Getiri F, satın almama kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmemesinden kaynaklanması ve % 40 artan sipariş miktarı ile yapılan satışlardan elde edilen getiriye ifade etmektedir.

$$\text{Getiri F} = (1400 * 135,00 \text{ TL}) - (5600 * 20,00 \text{ TL}) = 77.000,00 \text{ TL}$$

Getiri G, satın almama kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynamaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmesinden kaynaklanması ve normal fiyattan yapılan satışlara % 30 daha eklenmesi ile elde edilen getiriye simgelemektedir. İlk başta alınan 4000 profil haricinde alınan profiller yeni fiyattan satın alınacaklardır.

$$\text{Getiri G} = (1300 * 150,00 \text{ TL}) - (4000 * 26,00 \text{ TL}) - (1200 * 24,00 \text{ TL}) = 62.200,00 \text{ TL}$$

Getiri H, satın almama kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynamaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmemesinden kaynaklanması ve normal fiyattan yapılan satışlardan elde edilen getiriye simgelemektedir.

$$\text{Getiri H} = (1000 * 150,00 \text{ TL}) - (4000 * 20,00 \text{ TL}) = 70.000,00 \text{ TL}$$

Elimizdeki bu getiri bilgileri KA yöntemi için yeterli değildir. Her kararın beklenen getirisinin belirlenebilmesi için bize daha önce sunulan öncül olasılıkların, zammın olup olmayacağına yönelik bilgiler ışığında soncul olasılıklarının belirlenmesi gerekmektedir. KA yöntemiyle doğru kararın seçimi ile en fazla kar elde etmek için belirlenecek soncul olasılıklar için gerekli, öncül ihtimallerimizi tablo 1.1 ' de ve ek bilgi ışığında gelen ihtimallerimiz tablo 1.2'de bulunmaktadır.

Tablo 1.1. Öncül Olasılıklar

Olay	İhtimal
Zam Olacak	$P(ZV)=0.7$
Zam Haberi Asılsız	$P(ZY)= 0.3$

Tablo 1.2. Ek Bilgi İle Gelen İhtimaller

	Fiyatlarda Oynama Var P(A)	Fiyatlarda Oynama Yok P(B)	Toplam
Profil Fiyatlarına Zam	0.55	0.45	1.0
Profil Fiyatlarına Zam Yok	0.40	0.60	1.0

Bu durumda ilk olasılıklarımızı bir araya toplarsak aşağıdaki gibi sıralamamız mümkün olacaktır.

$$\begin{aligned}
 P(ZV) &= 0.70 & P(A \mid ZV) &= 0.55 & P(A \mid ZY) &= 0.40 \\
 P(ZY) &= 0.30 & P(B \mid ZV) &= 0.45 & P(B \mid ZY) &= 0.60
 \end{aligned}$$

Öncül olasılıklarımızdan oluşturacağımız soncul olasılıklar için BT kullanılacaktır. Formül 1.2 ‘deki gibi tüm olasılık değerlerimiz için yapılacak hesaplamalar aşağıdadır.

$$P(ZV|A) = \frac{P(A|ZV) * P(ZV)}{P(A)}$$

$$P(ZV|A) = \frac{0.55 * 0.7}{0.55 * 0.7 + 0.4 * 0.3}$$

$$P(ZV|A) = 0,76238 \text{ Fiyatlarda Oynama Yapılmış Olduğunda Profil Fiyatlarına}$$

Zam Gelmiş Olma Olasılığı

$$P(ZV|B) = \frac{P(B|ZV) * P(ZV)}{P(B)}$$

$$P(ZV|B) = \frac{0.45 * 0.7}{0.45 * 0.7 + 0.6 * 0.3}$$

$$P(ZV|B) = 0,63664 \text{ Normal Fiyat İle Satışlarda Profil Fiyatlarına Zam Gelmiş}$$

Olma Olasılığı

$$P(ZY|A) = \frac{P(A|ZY) * P(ZY)}{P(A)}$$

$$P(ZY|A) = \frac{0.4 * 0.3}{0.4 * 0.3 + 0.55 * 0.7}$$

$P(ZY|A) = 0,23762$ Fiyatlarla Oynama Yapıldığında Profil Fiyatlarına Zam Gelmiş

Olma Olasılığı

$$P(ZY|B) = \frac{P(B|ZY) * P(B)}{P(ZY)}$$

$$P(ZY|B) = \frac{0.6 * 0.3}{0.6 * 0.3 + 0.7 * 0.45}$$

$P(ZY|B) = 0,36336$ Normal Satış Durumunda Profil Fiyatlarına Zam Gelmemiş

Olma Olasılığı

Tüm bu yeni soncul olasılıklarımızı aşağıdaki tablo 1.3 ile gösterirsek, başlangıçtaki değerlerimizin ciddi manada değiştiğini gözlemleriz.

Tablo 1.3. Düzeltilmiş Soncul Olasılıklar

	Soncul Olasılıklar	Profil Fiyatlarına Zam P(ZV)	Profil Fiyatlarına Zam Yok P(ZY)	Toplam
Fiyatlarda Oynama P(A)	0.505	$P(ZV A) = 0.76238$	$P(ZY A) = 0.23762$	1.0
Normal Satış P(B)	0.495	$P(ZV B) = 0.63664$	$P(ZY B) = 0.36336$	1.0
Toplam	1.0			

Tablo 1.3'deki ikincil olasılıklar kullanılarak, problemin çözümü için kararların beklenen getirilerinin hesaplanması gerekmektedir. Problem içerisinde sunulan bilgiler ışığında her eylemin beklenen getirisini hesaplanmalı ve ikincil olasılık değerleri ile çarpılarak geriye doğru kararların beklenen getirileri mukayesede edilmeli ve en fazla getirisi olan karar ise karar verici tarafından seçime en uygun olan karar olarak algılanmalıdır. Karar analizini gerçekleştirmek için, probleme yönelik karar ağacı ek

bilgiler ışığında yenilenmelidir. Düzgün bir karar analizi için karar ağacının da sistemli ve anlaşılır bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Şekil 1.2 'de verilen karar ağacı problem içerisinde ki verilerin sistemli olarak gösterilmesine olanak sağlamıştır. Şekil 1.3' deki karar ağacı hesaplanan ikincil olasılıkların yerlerine konularak, kararlara ait beklenen değerlerin hesaplanması işlemi gerçekleştirilecektir. Beklenen değerlerin bulunması ile en uygun kararın seçiminde karar vericiye kolaylık sağlayacaktır. Beklenen değerlerin hesaplanması işlemim şekil 1.2' deki her düğüm için ayrı ayrı hesaplanacak ve düğümlerin birleştiği karara kadar bu işlem devam edecektir. *A* düğümü, satın alma kararsın beklenen getirisini simgelemektedir. *A* düğümündeki beklenen getiri $E(A)$ ' yı hesaplayabilmek için kendisine bağlı olan *C* ve *D* düğümlerine ait beklenen değerlerin $P(A)$ ve $P(B)$ olasılıkları ile çarpımlarının toplamını hesaplamak gereklidir. *C* ve *D* düğümlerinin beklenen değerlerinin hesaplanması da bağlı olduğu olaylara ait tablo 1.3' deki soncul olasılık değerlerinin olayların sonucuna ait getiri değerleri ile çarpımlarının toplamı şeklinde ortaya çıkacaktır. Şekil 1.2'deki *B* düğümü satın almama kararının beklenen getirisi $E(B)$ ' yı hesaplamak içinde kendisine bağlı olan düğümlerin beklenen getirilerinin $P(A)$ ve $P(B)$ olasılıkları ile çarpımlarının toplamını hesaplamak gereklidir.

$$E(A) = (P(A)*E(C)) + (P(B)*E(D))$$

$$E(A) = [0.505 * ((0.76238 * 107.500,00\text{TL}) + (0.23762 * 65.000,00 \text{ TL}))] + [0.495 * ((0.63664 * 86.200,00 \text{ TL}) + (0.36336 * 58.000,00 \text{ TL}))]$$

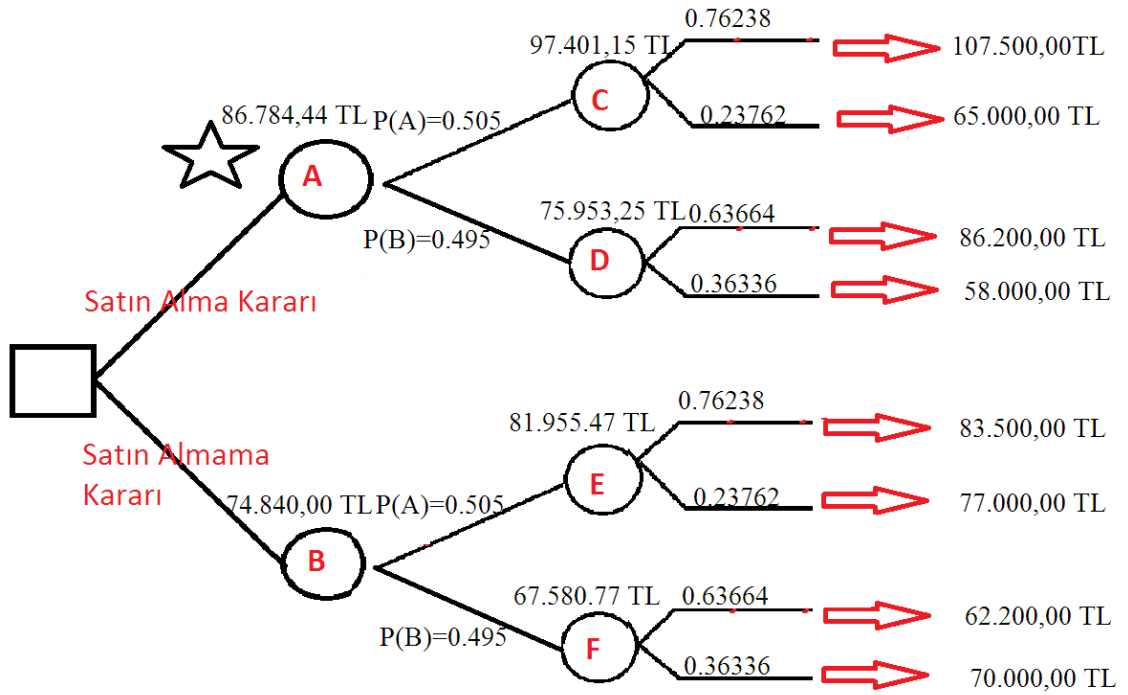
$E(A) = 86.784,44 \text{ TL}$ satın alma kararının beklenen değeri yukarıdaki hesaplamalardan bulunmaktadır.

$$E(B) = (P(A)*E(E)) + (P(B)*E(F))$$

$$E(B) = [0.505 * ((0.76238 * 83.500,00 \text{ TL}) + (0.23762 * 77.000,00 \text{ TL}))] + [0.495 * ((0.63664 * 62.200,00 \text{ TL}) + (0.36336 * 70.000,00 \text{ TL}))]$$

$E(B) = 74.840,00 \text{ TL}$ satın almama kararının beklenen değeri yukarıdaki hesaplamalardan bulunmaktadır.

Yukarıdaki beklenen değer hesapları yapıldıktan sonra tüm verilerimizi karar ağacı üzerinde görmek için şekil 1.3 ‘ deki yenilenmiş karar ağacına bakıldığında karar verici için en iyi kararın ihtiyacı olan tüm profilleri şimdiden satın alması gerektiği yönündedir.



Şekil 1.3. Yenilenmiş Karar Ağacı

Şekil 1.3’ de açıkça gözüktüğü üzere, karar verici için ihtiyacı olan profilleri şimdiden almak kendisine daha karlı bir durum oluşturacaktır. Profil fiyatlarına zam olup olmayacağının veya sektördeki rakiplerinin zam sonrası ürünlerine zam yapıp yapmayacağının belirsizliği karşısında kendisi için izlenmesi gereken en iyi olay zinciri satın alma kararının ardından gerçekleşen profil zammı ve rakiplerinin satış fiyatlarına zam politikasıdır.

1.1.3. Üretim Planlama ve Kontrolü

1.1.3.1. Üretim

Ekonomistler üretimi fayda yaratmak şeklinde tanımlar. Mühendisler ise, bir fiziksel varlık üzerinde onun değerini artıracak bir değişiklik yapmayı veya hammadde veya yarı mamulleri kullanılabilir bir mamule dönüştürmeyi üretim sayarlar [4].

Üretimi genel tek bir süreç olarak ele alırsak, üretim süreci içerisinde birden çok faaliyetin ve sürecin yer aldığını anlamış oluruz. Üretimi doğrudan veya dolaylı olarak etkinleştirmek, verimli kılmak, verilen iç ve dış taahhütleri yerine getirmek amaçlı yürütülen faaliyetler de dâhil olmak üzere, bu faaliyetlerin yönetimi, planlanması, kontrolü ve diğer süreçlerle olan etkileşimini ortaya koyan tüm faktörleri üretim yönetimi adı altında ele almamız yanlış olmayacaktır.

Küreselleşen dünyada rekabetin artması ve sürekli olarak pazarlara yeni oyuncuların girmesi ile birlikte, rekabet edebilmenin en önemli koşulu olarak ihtiyaca yönelik, istenilen kalitede ve düşük maliyetli ürünlerin üretiminde kullanılan kaynakların verimli kullanılması olmuştur. Kaynakların verimli kullanımı etkin planlama ve kontrol faaliyetlerinin bir bileşkesi olarak algılanmalıdır. Üretim kaynakları olarak değerlendirilenler arasında, iş gücü, hammadde kaynakları, makine ve ekipmanlar ve sermaye ile birlikte günümüzde asla telafisi olmayan en önemli kaynak olan zamanda bulunmaktadır. Üretim süreçlerinde kaynak yönetimine ait yapılması gereken faaliyetlerin tanıtımı aşağıda tek tek yer almaktadır.

1.1.3.2.Üretim Planlama

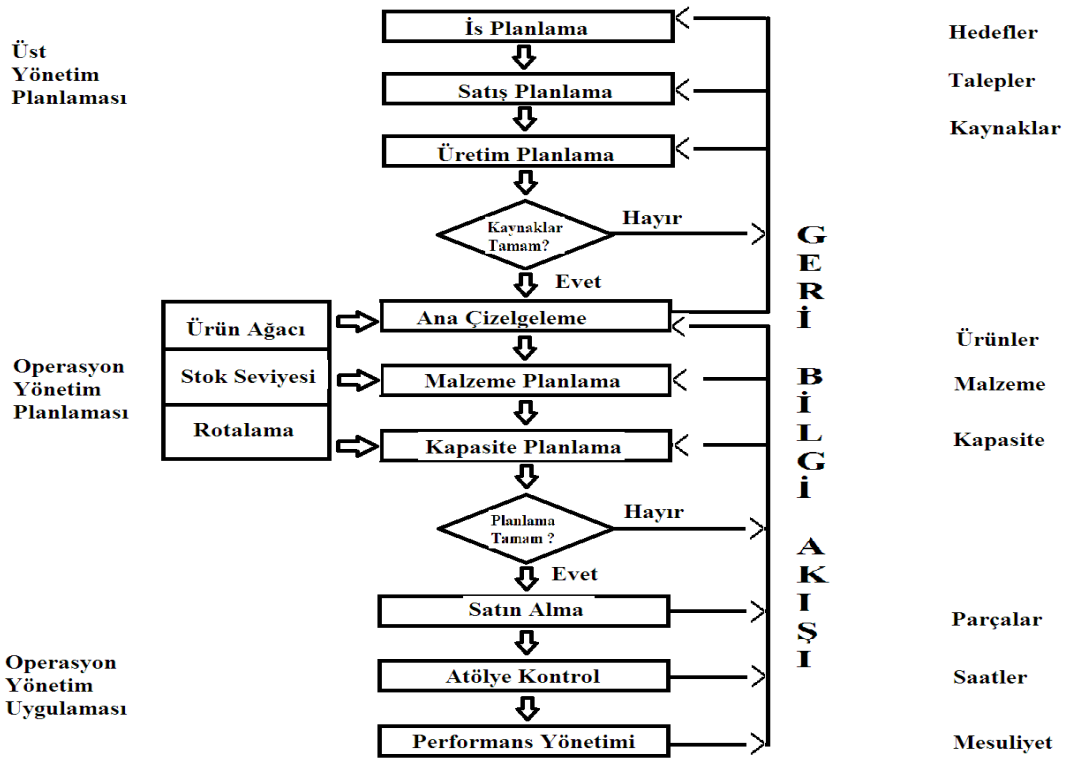
Üretimin söz konusu olduğu her ölçekten üretim tesisinde üretim planlama hangi ürünün ne kadar üretileceğini, stoklarda ne kadar ürün bulundurulacağını, üretilmesi planlanan ürünün üretim içerisinde hangi aşamalardan geçeceğini, hammadde ve yarı mamul stoklarının takibini, iş çizelgelemeyi, gerekli insan gücü, makine ve ekipmanı yönetmeyi amaçlayan sistematik bir yaklaşımdır.

Gerçek dünya problemlerinde üretim planlama yöntemleri firmalar arasında süreç, ürün ve ürüne bağlı olan diğer faktörlerin farklılıklarından dolayı farklılık göstermektedir. Küçük bir işletmede, üretim planlama işlemi tek bir kişi tarafından ifa edilebilirken, işletme büyüdükçe, ürün sayısı artıkça, tedarikçi sayısı ve üretim hattında ki eleman sayısı artıkça kaynakların planlanması daha büyük önem arz etmektedir. Bu gibi durumlarda üretim planlama işlemi sistematik bir yaklaşım içerisinde talep tahmini veya talep toplama yoluyla, üretim içerisinde kullanılacak stokların seviyelerinin sürekli kontrol altında tutularak, üretim hattı içerisindeki iş istasyonlarına ve üretim elemanlarına iş atayarak ifa edilmektedir.

Üretim planlama gereklilikleri sebebiyle stok yönetimi, satış, pazarlama, insan kaynakları ve stratejik planlama yönetimiyle büyük oranda iç içedir. Bunun sebebiyle günümüzde üretim planlamadan bahsederken, sadece üretimin planlanması olarak bahsetmek yanlış olacaktır. Bütünleşik bir sistem mimarisinin büyük bir parçası olan üretim planlama, firmanın kısa veya uzun vadeli hedeflerine yönelik, satışlarından kar elde edebilmesi için üretim içi kaynaklarının (insan gücü, makine, zaman, stok) etkin olarak planlanmasını amaçlamaktadır.

Üretimin planlanmasında rol oynayan en büyük faktör zaman ve insan faktörüdür. Zamana karşı yarış olan üretim planlama süreci, aynı standartlarda ürünü, istenilen zamanda, istenilen kalitede ve istenilen maliyette üretmeyi amaçlayan bir yöntemdir. Üretim planlama işlemi devamlılık arz eden ve sürekli tekrarı olan bir süreçtir. Bu yüzden her plan kendinden önceki planın bilgi birikimini de taşır.

Aşağıdaki şekil 1.4 ile üretim planlamanın üst düzey yönetiminden başlayarak operasyonel yönetim kararlarının icra edilmesine kadar olan hiyerarşik yapısı içerisinde ki yeri gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Planlama Sistemi [6]

1.1.3.3.Üretim Planlama Amaçları

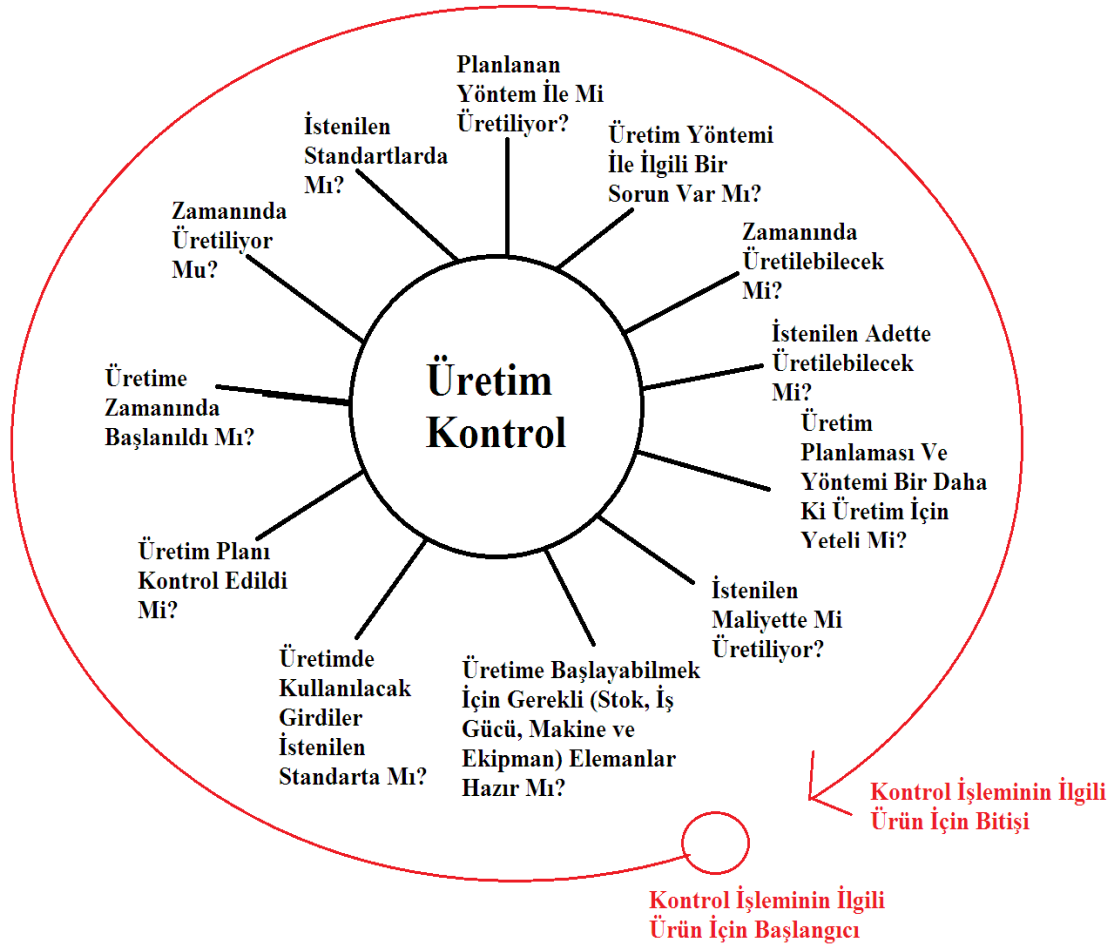
Üretimi planlamak ciddi bir süreçtir ve bir defaya mahsus olmayan, sürekli tekrarı gerektiren, dış etkenlere ve firmanın uzun ve kısa dönem stratejilerine bağlı olan bir yöntemdir. Üretim planlamada ki ana amaç, pazardan gelen talepleri veya gelmesi beklenen talepleri en uygun kalite, gerekli stok seviyesinde ve az maliyet ile zamanında teslim etmektir. Bu nedenle üretim planlama firmanın üst düzey stratejilerine hizmet eder ve sürekli olarak kısa vadeli hedefler doğrultunda değişebilen dinamik bir yapıya sahiptir. İşletmelerin en büyük amacı kar etmek ve devamlılıklarını sağlamak olduğu için planlama sistemleri de bu amaca hizmet etmeli ve kısa dönemli hedefleri gerçekleştirirken firmanın karlılığını ve devamlılığına katkıda bulunmalıdır. Firmanın ana amacına hizmet etmek için planlamanın hedeflemesi gereken yegâne amaçları aşağıdaki maddelere açıklayabiliriz.

- a) Stokların etkin kontrolü ve gerekli ekonomik seviyelerde stok miktarlarının yeterliliği sağlanarak, ürün imalatına ve taleplere karşılık verebilmek
- b) Üretim içi faaliyetleri ve bu faaliyetlerde kullanılacak olan makine, ekipman ve iş gücünün sınıflandırılarak standartlaştırılması
- c) Ürünlere ait iş akış bilgilerinin ve teknik dokümanların oluşturulması, arşivlenmesi ve standartlaştırılması
- d) Verimlilik ve karlılık esaslı düşüncenin benimsenmesi ve faaliyetlerin bu yönde düzenlenmesi
- e) Diğer departmanlarla tam işbirliği ile çalışarak firmanın ana strateji için gerekli ürün imalatlarına öncelik verilmesi
- f) Etkin planlama ile üretim içi harici giderleri (boş zamanlar, fireler, fazla stok miktarları, tezgâhlar ve makineler arası stok birikmesi vb...) yok etmek
- g) Sürekli geliştirme mantığına sahip olmak ve üretim süreci içerisindeki faaliyetlerde iyileştirme çalışmalarında bulunmak.

Yukarıda sıralanan bu maddeler üretim planlama süreci içerisinde amaçlanması gereken ana maddelerdir. Planlama işlemi sadece kendi başına etkinliğini koruyamaz, planlamanın ardından yapılması gereken planlanan işlerin istenilen şekilde yapılıp yapılmadığının kontrolüdür. Üretim kontrol olarak adlandırılan bu yöntem, planlama gibi sistematik bir şekilde yürütülmesi gereken bir ögedir. Üretim planlamayı izleyen üretim kontrol yöntemi de sürekli devam etmesi gereken bir süreçtir.

1.1.3.4. Üretim Kontrol

Üretim kontrol ve alt faaliyetleri, üretim planlama ile planlanan ve bir sıra ile yapılması beklenen işlemlerin, girdilerini ve çıktılarını kontrol eder. Bu kontroller içerisinde, üretim planlama işlemi ile belirlenen adet, zaman ve iş standartlarına uygunluğu denetler ve uygunsuzlukların giderilmesi için gerekli önlemler alınır. Kontrolsüz gerçekleşen bir üretim planlama işleminin başarıya ulaşması oldukça zordur. Bu yüzden planlama faaliyetleri içerisinde yapılması planlanan ve ulaşılması hedeflenen planlama kalemlerinin devamlı olarak kontrol edilmesi önem arz etmektedir. Şekil 1.5 ile üretim kontrol işlemlerinin her üretilen ürün için izlediği yol gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Üretim Kontrol Çemberi

Şekil 1.5 ‘deki üretim kontrol çemberi üretim işletmelerinde sistemli veya sistemsiz olarak sorulan sorular ve alınan cevaplara göre yapılan kontrol işlemleri özetlemeye çalışılmıştır.

1.1.3.5.Üretim Kontrol Amaçları

Üretim kontrolün ne olduğu daha önce açıklanmıştı, neyi amaçladığı ise üretim planlamada olduğu gibi firmanın ana hedefi olan, karlılık ve devamlılığın gerçekleşmesinde, kaynakların verimli kullanılmasını denetlemek ve gerekli düzenlemeleri gerçekleştirmek olduğundan bahsedebiliriz. Üretim kontrol, planlama verilerinin ışığında gerçekleşen veya gerçekleşecek faaliyetlerin uygunluğunu denetleyen bir yöntemdir. Yönteme ait amaçları ise aşağıdaki maddeler ile açıklamak mümkündür.

- a) Üretimde kullanılacak malzemenin uygunluğunu denetleyerek, üretim sırasında veya sonrasında oluşacak aksaklıklarla beraber ek maliyetlerden kaçınmak
- b) İş çizelgesine göre işlerin planlanan zamanlarda başlatılması ve bitirilmesi ile ürünün stoklara zamanında dâhil olması, müşteriye zamanında teslim edilmesi
- c) Üretilen ürünün planlanan standartlarda ve istenilen kalitede olup olmadığının denetlenmesi ile malzeme israfını zamanında engellemek
- d) Sürekli iyileştirme yöntemi ile yapılan işin sürekli sorgulanması ve daha iyi üretim planları ve yöntemleri geliştirmeye katkı sağlamak
- e) Üretim girdilerinin (malzeme, ekipman, iş gücü, makine) yeterliliğini sürekli olarak kontrol ederek, proaktif bir yaklaşımla zaman ve mali kayıpları yok etmek
- f) Üretim birimleri içerisindeki koordinasyonda rol oynamak ve doğru iletişim ile ürün rotalarında sapmaları ve gereksiz beklmeleri engellemek
- g) Ürünün ekonomik olarak üretilmesi için gerekli yöntemleri (kalite kontrol, kalite güvence, stok kontrol, malzeme yönetimi) kullanmak

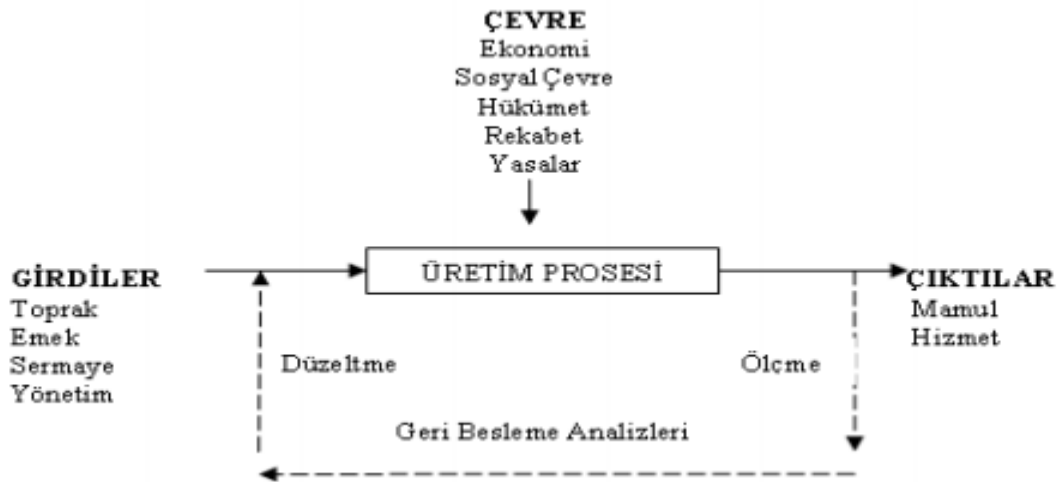
Yukarıda sıralanan bu maddeler üretim kontrol süreci içerisinde amaçlanması gereken ana maddelerdir. Nasıl planlama işlemi kontrol işlemi olmaksızın sadece kendi başına etkinliğini koruyamayacağı gibi kontrol işlemi de planlama olmadan etkisiz kalacaktır. Plansız ve standartlaştırılmamış işlemlerin kontrol edilmesi sadece kişilerin inisiyatifine kalabilir.

1.1.3.6.Üretim Sistemleri

Üretim sistemleri genel olarak kaynakların etkin bir şekilde üretimde değerlendirilmesini ve verimliliği göz önünde bulundurarak, firmanın kısa ve uzun

vadeli hedefleri doğrultusunda çalışan sistemlerdir. Ürünün özellikleri, siparişin miktarı, müşterinin talepleri, ürün üretiminin gerektirdikleri, üretimin amacı, toplam ürün sayısı ve daha birçok özelliğe bağlı olarak sınıflandırılabilirler. Fakat bu çalışmada üretim sistemleri incelenirken geleneksel üretim sistemleri ve modern üretim sistemleri olarak incelenecektir. Modern üretim sistemi olarak tabir edilen kavramlar çok da yeni tarihlerde gerçek hayat problemleri içerisine girmiş olmasalar da birçok insan için halen yeniliklerini korumakta ve araştırmacılar için geniş çalışma alanları sunmaktadırlar. Etkili üretim sistemi kullanımının getireceği faydalara verilebilecek en iyi örneklerden biri Ford otomobil fabrikası sahibi Henry Ford'un üretimde nakil bantları kullanarak, verimliliğini ve kapasitesini artırması ile maliyetlerini düşürmesi, araç fiyatlarını 850 \$'dan 300 \$'a indirmesi ve işçi ücretlerini günde 2 \$'dan 5 \$'a çıkarmasıdır.

Üretim sistemlerinin temel mahareti maliyet kalemi olan girdileri (iş gücü, makine, ekipman, envanter, zaman vb...) satış ve kar kalemi olan çıktılara çevirebilmektir. Aşağıdaki şekil 1.6 ile bir üretim sisteminin temel elemanları tanıtılmıştır.



Şekil 1.6. Bir Üretim Sisteminin Temel Elemanları [5]

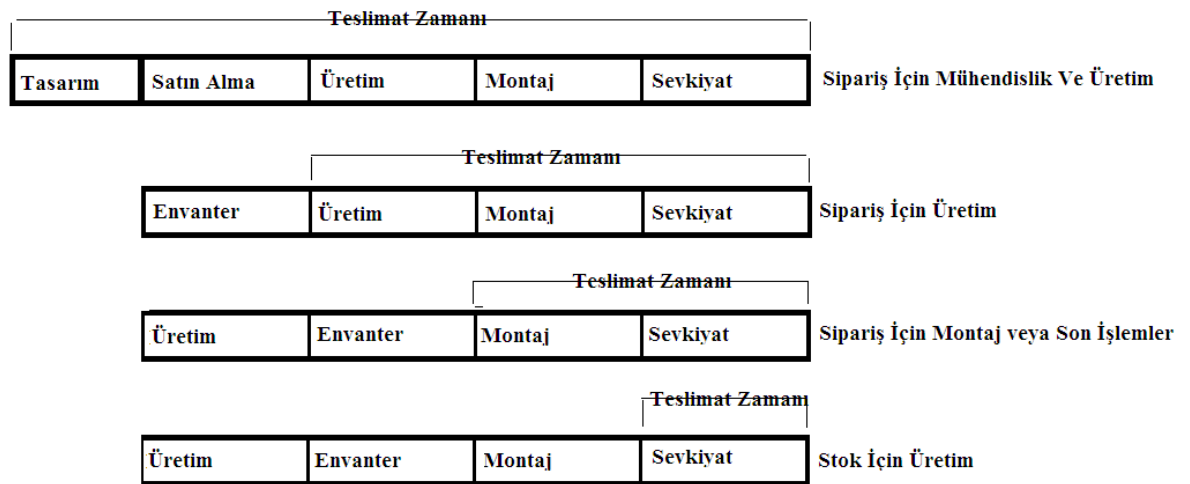
Bu çalışmada üretim sistemlerini daha rahat inceleyebilmek için geleneksel ve modern sistemler olarak iki gruba ayırdığından bahsedildi. Bu gruplar ise kendi alt gruplarına ve terminolojilerine sahiplerdir.

1.1.3.6.1. Geleneksel Üretim Sistemleri

Geleneksel üretim sistemlerini stok yönetimlerine göre, ürün çeşitlilikleri ve üretim miktarlarına göre üretim süreçlerine göre üç alt başlıkta incelemek gerekmektedir. Bunun sebebi bu üç konunun da firmalar arasında farklılıklar göstermesidir.

1.1.3.6.1.1. Stok Yönetimlerine Göre Üretim Sistemleri

Ürünlere ait stok yönetimlerinin üretim stratejileri üzerinde etkisi müşteri siparişlerine teslimat sürelerinin zamanları ile ölçümlenebilir bir kavramdır. Ürünlerin stoklarda hazır olarak bulunarak mı müşteri siparişi ile anında teslim edilmesi mi? yoksa müşteri siparişi ile başlayan başka süreçlerinde olup olmamasına bağlı olan üretim sistemleri sınıflandırılmasıdır. Şekil 1.7 ‘ da stok yönetim sistemlerine göre üretim sistemleri ve teslimat zamanı şekli ile daha anlaşılır bir görünüm elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1.7. Stok Yönetimine Göre Şekillenen Üretim Sistemleri ve Teslimat Zamanları [7]

1.1.3.6.1.1.1. Stok İçin Üretim

Stok için üretim sistemlerinde üretici ürünlerinin üretim işlemlerini tamamlanmış halde stoklarına dahil eder ve gelen müşteri siparişlerini stoklarından karşılamaya çalışmaktadır. Bu üretim sisteminde ürünler herhangi bir bekleme süresine sahip olmaksızın müşteriye sunulduğu için teslimat zamanı oldukça kısadır. Ürünler sabit tasarımlara ve standartlara sahiptirler. Bu üretim sistemleri için verilebilecek en iyi

örnekler, gıda üretim işletmeleri, ilaç üretim işletmeleri ve tütün mamulleri üretim işletmeleri olabilir.

1.1.3.6.1.1.2. Sipariş İçin Üretim

Sipariş için üretim sistemleri, müşteri siparişi gelene kadar üretim işlemine başlamamaktadır. Stoklarda bulunan hammadde ve yarı mamulün üretime alınması, üretilmesi ve sevkiyat edilip, müşteriye ulaşana kadar ki zaman teslimat zamanı olarak hesap edilir. Bu üretim sisteminde ürünler çoğunluk olarak ortak stok kalemlerinden üretilmektedirler. Bitmiş mamul stokları elde tutulmaksızın, müşteri siparişine göre üretim gerçekleştirilir ve müşteriye sunulur. Stok için üretim yapan işletmeleri konfeksiyoncuya benzetirsek, sipariş için üretim yapan işletmeleri de terziye benzetmemiz yanlış olmayacaktır.

1.1.3.6.1.1.3. Sipariş İçin Montaj ve Son İşlemler

Sipariş için montaj ve son işlemler üretim sistemlerinde ürünler üretilerek yarı mamul olarak stoklara konulur ve gelen çeşitli müşteri taleplerini karşılamak için montaj ve son üretim işlemleri tamamlanarak müşteriye teslim edilir. Ürünlere ait alt stokların ve yarı mamullerin standartlaştırıldığı, ortak kullanıldığı ve ürünler arasında küçük farklılıkların olduğu üretimlerde kullanımı elverişlidir.

1.1.3.6.1.1.4. Sipariş İçin Mühendislik ve Üretim

Ürüne ait tüm hammadde ihtiyacının, yarı mamul ihtiyacının ve tasarımın müşterinin ihtiyacına göre sıfırdan şekillendiği ve tasarım sürecinin ardından satın alma işleminin başlayarak gerekli stok kalemlerinin sadece üretim öncesinde temin edildiği üretim sistemidir. Bu üretimde sisteminde, stoklarda bulunan hazır stok kalemlerinin kullanımı oldukça azdır. Bunun yerine müşterinin kendisi için üretilmesini istediği ürünün üretimine yönelik mühendislik çalışmaları ilk defa yapılır ve bu çalışmaların ardından satın alma ve üretim işlemleri geçekleşerek müşteriye ürün temini gerçekleştirilir.

1.1.3.6.1.2.Ürün Çeşitliliği ve Üretim Miktarlarına Göre Üretim Sistemleri

1.1.3.6.1.2.1. Proje Tipi Üretim

Proje tipi üretimde üretilecek olan ürün yer değiştirmez. Bu tip üretim sistemlerinin çıktısı olan ürünler, genellikle tamamen müşteri isteğine özel olarak üretilen ve fiziksel

olarak ürünün istasyonlar arasında taşınması mümkün olmayan ürünlerdir. Ürün hareket edemediğinden tüm üretim faktörleri üretim alanına getirilir [8].

1.1.3.6.1.2.2. Parti Tipi Üretim

Çok çeşitli miktardaki ürün kısıtlı sayıda üretildiği sistemlerdir. Üretilen ürünler aynı çeşidin farklı tipleri olabileceği gibi benzer özelliklere sahip farklı ürünlerde olabilir. Her partide farklı bir ürün üretilir. Kullanılan makine ve teçhizat genel amaçlıdır. Sürekli değişen ürüne adapte olabilecek kalifiye personel kullanımını gerektirmektedir. Sürekli bir üretim olmadığından bir üretim hattı kurulması söz konusu değildir. Satın alma ve üretim planlama koordineli olarak çalışmalı ve makinelere iş yükü dağıtımı dikkatli yapılmalıdır. Bu tip üretimde her ürün değiştiğinde makinelerin tekrar ayarlanması ve malzeme taşıma miktarının fazla olması sebebi ile verimsizdir, kalifiye işçi kullanımı ise üretim maliyetlerini arttırır [8]. Ayrıca parti tipi üretim sistemleri literatürde kesikli üretim sistemlerinin bir alt sınıfı olarak da sınıflandırılır.

1.1.3.6.1.2.3. Kitle Tipi Üretim

Benzer özelliklere sahip ürünlerin büyük miktarlarda üretildiği sistemlerdir. Bu sistemlerde ürünler tamamlanmak için aynı üretim bandını takip ederler. Makineler özel amaçlı ve pahalı olmakla beraber kalifiye işçilik gerektirmezler. Talebi belli miktarların üzerinde olan ürünler için kullanılırlar. Büyük miktarlarda üretim ve kalifiye olmayan işgücü kullanımı maliyetleri düşürür. Esneklik düşüktür[8]. Ayrıca kitle tipi üretim sistemleri literatürde sürekli üretim sistemlerinin bir alt sınıfı olarak da sınıflandırılır.

1.1.3.6.1.2.4. Proses Tipi Üretim

İmalatı gerçekleştirilen ürünün genelde akışkan, ürün çeşidinin az ve üretilme miktarının yüksek olduğu üretim şekli (Talep miktarları çok yüksek olan standart ürünler olduğu için sürekli olarak yüksek miktarlarda ve stok için üretilirler. Bu üretim şekli, makinelerin ürünün iş akışına göre bütünleştirildiği tesislerde gerçekleştirilir. Örneğin deterjanlar, meşrubat, şeker, süt vb.) [8]. Kitle tipi üretim sistemleri gibi proses tipi üretim sistemleri de literatürde sürekli üretim sistemlerinin bir alt sınıfı olarak da sınıflandırılır.

1.1.3.6.1.3.Üretim Sürecine Göre Sistemleri

1.1.3.6.1.3.1. Sipariş Tipi Atölye

Bu tip üretim sistemlerinde, birden çok amaca hizmet edebilecek ve birbirlerinin yerine geçebilecek genel amaçlı tezgâhlar kullanılır ve kalifiye işçilik gerektirir. Üretilen parçalar üretim için sipariş geldiğinde ilgili makinelerin boş olmasına göre hareket eder eğer makine dolu ise ara depolama yolu ile bekletilir. Sipariş tipi atölyelerde iş akışı üretim alanı içinde oldukça karışık olup yüksek miktarda taşıma gerektirir. Bu da sistemin verimliliğini düşürür [8]. Ayrıca sipariş tipi atölye üretim sistemleri literatürde kesikli üretim sistemlerinin bir alt sınıfı olarak da sınıflandırılır.

1.1.3.6.1.3.2. Akış Tipi Atölye

Akış tipi atölyelerde gelen siparişler birbiri ardına aynı işlemlerden geçerler. Kullanılan tezgâhlar pahallı ve kısıtlı yeteneklere sahiptir, sürekli benzer işler yapıldığından kalifiye işçilik gerektirmez. Bu açıdan maliyetleri düşürür. Ara stoklar olabildiğince azaltılmış ve her istasyondaki üretim süreci ürünün sadece bir kısmının tamamlanması ile hızlandırılmıştır. Üretim hattı birbirini takip eden istasyonlardan oluştuğundan ürünün bir istasyondan diğerine geçişindeki her türlü gecikmeler üretimin aksamasına sebep olur. Bu sebeple üretim planlama ve ara stok bölgelerinin belirlenmesi önem taşır [8]. Ayrıca akış tipi atölye üretim sistemleri literatürde kesikli üretim sistemlerinin bir alt sınıfı olarak da sınıflandırılır.

1.1.3.6.1.3.3. Sabit Konumlu Atölye

Bu tip sistemlerde ürün fiziksel ölçüleri yüzünden hareket ettirmesi zor ya da imkânsız olduğundan üretim bileşenleri ürünün etrafında toplanır. Gemi ve köprü inşaatları bunlara örnek gösterilebilir [8]. Ayrıca sabit konumlu atölye üretim sistemleri literatürde proje tipi üretim sistemleri ile aynı kategoride sınıflandırılır.

1.1.3.6.2. Modern Üretim Sistemleri

1.1.3.6.2.1.Hücreli Üretim Sistemi

Grup Teknolojisi (GT), orta çeşitlilik ve hacimdeki parçaların diğer üretim sistemlerine göre daha ekonomik olarak üretilebildiği bir üretim sistemi ve bilinen bir görevi gerçekleştirmek için, verilen durum ya da nesnelerin özellikleri arasındaki yakınlıktan istifade eden bir felsefedir. GT ‘nin bir felsefe olarak anılmasının sebebi, bir görev ya da

işin tasarım ya da gerçekleştirme aşamalarının her ikisini de içermesidir. GT ‘nin bir felsefe olarak anılmasının nedeni, bir görev ya da işin tasarım ya da gerçekleştirme aşamalarının her ikisini de içermesidir. GT ’nin uygulanması, bir fabrikada kullanılan otomasyonun derecesine bağlı değildir; tamamen otomasyona dayanan bir fabrikada olduğu kadar elle üretim sistemine dayanan bir işyerine de uygulanabilir.

Hücreyel Üretim Sistemi(HÜS), GT ‘nin atölye düzenine uygulanmasıdır. Hücreyel üretim, bir ya da daha çok makinenin bir hücre olacak biçimde gruplandığı üretim tipidir ve gruplamalar, benzer süreçleri gerektiren parça aileleri için çalışma yapmak amacıyla gereksinim duyulan işler aracılığıyla belirlenmektedir. Bu tekniğin kullanılması için, benzer süreçleme özelliklerine sahip olan parça grupları olması, dahası; bu parça gruplarının benzerliklerinin belirlenmesi gerekir.

1.1.3.6.2.2.Yalın Üretim Sistemi

Birinci dünya savaşı sonrasında ortaya çıkan kitle tipi üretim sistemi ile batı devletlerindeki büyük üreticiler dünya pazarında büyük oranda sahip oldular. İkinci dünya savaşından sonra esir alınan Japonya’da üretim firmaları büyük başarısızlıklar göstermekte ve inanılmaz kalite problemleri yaşamaktaydılar. Öyle ki Japon ürünleri kalitesizlik ve yüksek maliyetle anılır olmuşlardır. Toyota firması yetkilisi olan Eiji Toyata, Ford otomobil fabrikasında kitle tipi üretim sistemlerini ve montaj hatlarını inceleyerek kendi üretim tesisinde yeni bir üretim sisteminin temellerini ortaya atmıştır. Daha sonraları bu çalışmalara Taiichi Ohno’ da katılarak, daha sonraları adı yalın üretim (YÜ) sistemi olarak adlandırılan, üretim sistemi doğmuştur. Bu üretim sistemi diğer endüstrilerdeki Japon üreticiler tarafından da benimsenerek Japon ürünlerindeki kara leke temizlenmiştir. YÜ özüne kaliteyi alan ve bunu sadece tek bir departmana ait bir iş olarak görmek yerine tüm departmanların, üst düzey ve diğer yöneticilerin, beyaz yaka personelin, çalışanların ve hatta tedarikçilerinin üstlenmesi gereken en önemli görev olduğunu vurgulayan bir üretim sistemidir.

YÜ yapısında hiçbir gereksiz unsura yer olmayan üretim sistemidir. Mühendislik ve sürekli iyileştirmeye dayanan yapısı sebebiyle, hata, maliyet, stok, işçilik, geliştirme faaliyetleri, üretim alanının hacmi, fire miktarları, müşteri memnuniyetsizliği gibi unsurların en aza indirilmesi için geçen faaliyetlerin tamamını kapsamaktadır.

YÜ birden fazla sistematik yaklaşımın tek çatıda toplanmasıdır. Bu yaklaşımları aşağıda maddeler halinde inceleyebiliriz.

1. Toplam Kalite Yönetimi (TKY)
2. Yalın Organizasyon ve Süreç İyileştirme
3. Kaizen
4. Üretim Talep Dengeleme
5. Kanban
6. Jidoka
7. Smed
8. Poka – Yoke
9. Toplam Verimli Bakım (TVB)
10. Görsel Yönetim
11. Tek Parça Akışı
12. Kalite Çemberleri
13. Eş Zamanlı Mühendislik

YÜ ve teknikleri hepsi kendi başlarına derinlemesine incelenmesi gereken konulardır. YÜ ve tekniklerinin hepsinin özünde çok sıkı disiplin ve uzun vadeli çalışmalar gerektirmektedirler.

1.1.3.6.2.3.Esnek Üretim Sistemi

Esnek üretim sistemi, bilgisayar ve teknoloji destekli bir üretim sistemidir. Üretimde ki robotlar, taşıyıcı araçlar ve akıllı makineler sayesinde, üretim klasik yöntemlere göre daha hızlı, güvenilir, kalite odaklı ve ekonomiktir. Esnek üretim sistemleri, daha verimli bir üretim sistemi sunarlar. Ürün çeşidinin fazla olması, ürünlerde kullanılan malzemelerin fazlalığı ve sürekli olarak, üretimde kullanılan malzemelerin sürekli değişmesi üretimde esnekliği gerektirmiştir. Bilgisayarların etkin bir şekilde kullanıldıkları bir üretim sistemidir. Otomasyon teknolojilerinin uygulanabilirliği açısından oldukça faydalıdır. Ürün çeşitliliği sebebiyle üretimdeki aynı hammadde ve yarı mamullerin işlenmesi sonucu birbirinden farklı ad ve sınıfta mamul ve yarı mamulün üretilmesi sonucu üretilen ve üretilecek ürünlerin takibi, kontrolü ve planlanması açısından üretimde verimliliği artıracak yönde bir üretim sistemidir.

1.1.3.7.Üretim Planlama Yaklaşımları

Üretim planlama işlemi devamlılığı olan bir süreçtir ve her üretim kararından sonra tekrarı gerçekleşir. Üretim kararı aldıktan sonra hangi üründen ne kadar üretileceğinin, başlangıçta ne kadar stok olduğunun ve üretim bitişinde ne kadar stok tüketileceğinin ve ne kadar üretileceğinin belirlenmesi, stok tüketimi için plan oluşturulması ve ihtiyaçların belirlenerek tedarikçilerden temini, üretim içerisinde kullanılacak olan diğer girdilerin (iş gücü, zaman, makine, sermaye) planlanması ve etkin kullanılması, ürünün oluşumunda izlenecek yöntemin belirlenmesi ve gerekli birimlere iş bildiriminin yapılması gerekmektedir. Tek bir çatı olarak üretim planlama şemsiyesi altında birleşen genel yaklaşımlar tek tek aşağıdaki konu başlıklarında sıralanmışlardır.

1.1.3.7.1. Ana Üretim Programı

Ana üretim planı (AÜP) üretime hangi ürünlerden ne kadar alınacağını belirten bir ana çizelgedir. Bu üretim planı ile dönemsel olarak üretime alınacak ve üretimi tamamlanacak ürünler bir ana başlık altında toplanır. Ana üretim planı kısa vadeli planlama aralığında her bir dönem için tamamlanacak ürünlerin miktarını belirler. AÜP gerçekte tüm çizelgelerin anası olarak kabul edilir [9].

AÜP basit işlemlerin yapıldığı küçük atölyelerde tek başına oldukça yeterli olsa bile işlemlerin artışı, ürün çeşitliliğinin, stok çeşidi ve miktarının artışı ve planlama ihtiyacının daha çok olduğu üretim işletmelerinde tek başına yeterli olmamaktadır. AÜP ne üretileceğine dair ana başlıkları taşır fakat kimin hangi işi yapacağını ve ne kadar stok tüketileceğini belirtmez. Ayrıca AÜP içerisinde uzun dönemli satış hedefleri, satış sonrası elde kalan stok ve üretilecek olanın da sayısal değerleri gelecek dönemler için kullanılabilmektedir.

Daha iyi anlaşılabilmesi için mobilya sektöründe ki A firması B ürünü için gelecek 12 hafta boyunca sırasıyla, 60, 70, 50, 40, 50, 65, 25, 45, 95, 50, 35 ve 60 adet satış yapabileceklerini tahmin etmektedirler. B ürünü için şu anda ellerindeki stok miktarı 40 adettir ve ekonomik olarak bu ürün için belirlenen üretim miktarı 50 adet olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu ürün için belirlenen güvenlik stok miktarı da 25 olarak belirlenmiştir. Haftalar ilerledikçe tahmin edilen satış miktarı ile gelen satış miktarları arasında farklar oluşmaktadır. Fakat üretim kararı alırken önceki satış taleplerine göre

almak zorundadırlar. Ekonomik parti büyüklüğü olarak 150 adet üretimin üretimi 1 hafta sürmektedir. Buna göre ana üretim programının oluşturulması işlemi için her hafta başlangıcında eldeki stok gelen taleplerden çıkarılır ve gelecek hafta için beklenen satış tahminine göre üretip üretmeme kararı alınır. Bu işlemlerin yapıış işlemleri aşağıdaki tablo 1.4 ana üretim planlama işlemleri tablosunda gösterilmektedir.

Tablo 1.4. Ana Üretim Planlama İşlemleri

Ana Üretim Planı 12 Haftalık												
Parti Büyüklüğü: 150 Adet							Üretim Zamanı: 1 Hafta					
Eldeki Stok Miktarı = Stoklardaki Mevcut - Emniyet Stoku = 40 – 25 = 15 Adet												
Haftalar												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yapılması Planlanan Satış Tahmini	60	70	50	40	50	65	25	45	95	50	35	60
Gerçekleşen Satış Talebi	60	50	60	40	35	45	50	60	70	30	40	60
Eldeki Stok Miktarı = 15	105	55	95	55	5	90	40	130	35	135	95	35
Ana Üretim Planı Miktarı	150	-	150	-	-	150	-	150	-	150	-	-
Söz Verilebilir Miktar	20	-	10	-	-	60	-	10	-	5	-	-

Yukarıda ki tablo 1.4’ deki gerçekleşen satış talebi sonradan planın başlangıç devresinde haftalara ait olan toplam gelen taleplerdir. Gerçekleşmesi planlanan satışlarda bir değişiklik olması durumunda AÜP tekrar hesaplanmalıdır. Diğer hücrelerin nasıl hesaplandığına aşağıda matematiksel model üzerinden örnekler verilmiştir.

$$I_0 = \text{Başlangıç Stok Miktarı}$$

$$I_i = i. \text{ci haftada eldeki stok miktarı}$$

$$F_i = i. \text{ci haftada yapılması planlanan stok miktarı}$$

$$O_i = i. \text{ci haftada gerçekleşen satış talebi}$$

$$Q_i = i. \text{ci haftada ana üretim planı miktarı}$$

$$S_i = i. \text{ci haftada söz verilebilir stok miktarı}$$

$$I_i = \max(0, I_{i-1}) - \max(F_i, O_i) \quad (1.3)$$

$$Q_i = \begin{cases} 0, & \text{eğer } I_i > 0 \\ 150, & \text{eğer } I_i < 0 \end{cases} \quad (1.4)$$

$$S_i = Q_i - \text{Gelecek AÜP'ye kadar olan tüm taleplerin toplamı} \quad (1.5)$$

Formül 1.3 ile birinci döneme ait eldeki stok miktarının hesabı için $I_1 = \max(0, 15) - \max(60, 60)$ eşitliği çözüldüğünde $I_1 = -45$ adet stoklarımız eksidedir. Formül 1.4 deki eşitlik ile $Q_i = 150$ adet üretim yapmadan 1. hafta için eldeki stok miktarı sıfırın altına indiği için, üretim gerçekleştirilmesi ve o hafta için siparişleri teslim etmemiz gereklidir. Böylece yeni üretilen ürünlerimizle beraber elimizdeki stok miktarının hesabı için $I_1 = 150 + \max(0, 15) - \max(60, 60)$ eşitliği çözüldüğünde $I_1 = 105$ adet ile elimizde ki stok miktarı güncellenmiş olacaktır. Bu işlem sırası her dönem için devam ettiğinde hafta 1, 3, 6, 8 ve 10 için AÜP miktarları 150'şer olarak belirlenmiştir. Her üretim gerçekleştikten sonra o haftaya ait eldeki stoklar ve gelecek üretim dönemine kadar ki, tüm taleplerin toplamının çıkarılması ile boşta kalan ve söz verilebilir stok miktarlarını ortaya çıkartılır. Söz verilebilir stok miktarı, gelecek üretim miktarına kadar elimizde fazladan olan miktarlardır. Formül 1.5 deki eşitlik 1. hafta için gerçekleşen üretimde kullanırlığında $S_1 = 150 - (60 + 70)$ eşitliği elde edilir ve $S_1 = 20$ adet söz verilebilir ürün miktarı olarak belirlenir. Bu işlem tüm üretim gerçekleşen haftalar için gerçekleştiğinde 1. hafta için 20 adet, 3. hafta için 10 adet, 6. hafta için 60 adet, 8. hafta için 10 adet ve 10. hafta için 5 adet söz verilebilir ürün bulunmaktadır.

AÜP' nin kolay anlaşılır olması için verilen bu örnekte kullanılan teknik ekonomik parti büyüklüğünü ve söz verilebilir ürün miktarları dikkate alarak üretim zamanlarını belirlemek oldu. Bu teknik haricinde AÜP' nin amacına ve stok yönetim sistemine göre farklı teknikler de bulunmaktadır.

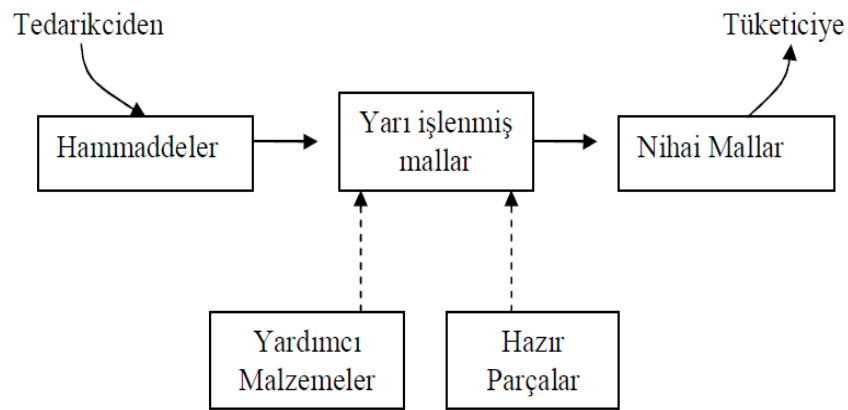
1.1.3.7.2. Stok Kontrol Yönetimi ve Envanter Kontrol Modelleri

Stok yönetimi işletmeler için hayati önem arz etmektedir. Stokların etkin yönetimi ile işletmeler mali kaynaklarını ve üretimlerini daha belirleyici bir şekilde yönetebilirler. Stoklar paraya ve ürüne çevrilebilir kaynaklardır. Bu yüzden üretim faaliyetleri olan bir

işletmede stokların sınıflandırılması, kontrolü için erişebilir ve anlaşılır olması ve ürüne veya mali kaynağa çevrimlerinde sistemli bir yapıya sahip olmaları gerekmektedir.

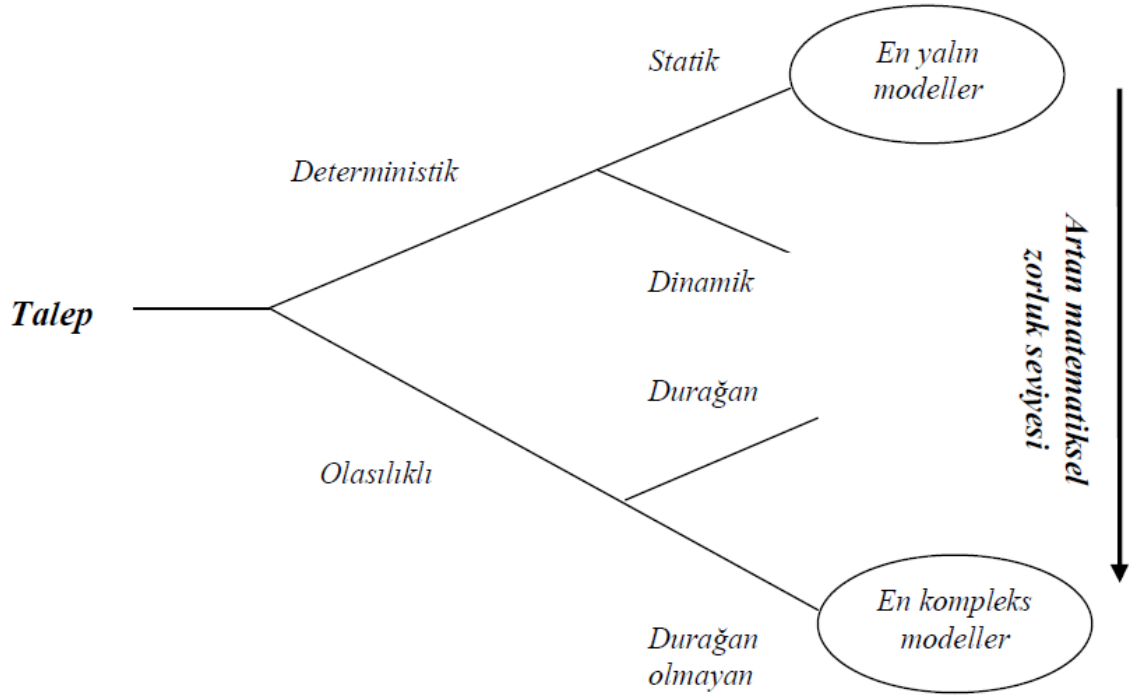
Bir stok problemi sürekli olarak kendisine Ne sipariş edilecek? Ne kadar sipariş edilecek? ve Ne zaman sipariş tekrarlanacak? sorularını sorar ve alınan cevaplar ise stok politikasını oluşturur [10].

Üretim yapısına bağlı olarak stoklar; en genel sınıflama ile 3 grupta toplanmaktadır. Bunlar: Hammaddeler, yarı işlenmiş mallar ve nihai mallardır. Üretime doğrudan katılmayan ve nihai mal içinde yer almayan bazı stok kalemleri ise doğrudan bu üç stok çeşidinin içinde sayılmazlar. Bunlar hazır parçalar ve yardımcı maddelerdir [11]. Stokların bu şekilde sınıflandırılması Şekil 1.8’de görülmektedir.



Şekil 1.8. Stokların Sınıflandırılması [11]

Envanter Kontrol Modelleri: Her ne kadar stoksuz üretim sistemleri ve yalın üretim teknikleri popülaritesini artırmaya devam etse de, günümüz işletmelerinin birçoğu için stok bulundurmaktan kaçmak yerine yarın karşılaştıkları ekonomik belirsizlikler ve talebe zamanında cevap verememe endişesi ile stok bulundurmaya ve etkin yönetimlerine daha sıkı sarılmaktadırlar. Stok kontrolünde en temel modeller talebin belirsizliği üzerinedir. Aşağıdaki şekil 1.9 ile talebin yapısına göre stok kontrol modelleri verilmektedir.



Şekil 1.9. Talebin Yapısına Göre Stok Kontrol Modelleri [12]

Şekil 1.9 ile stok kontrol modellerini deterministik ve olasılıklı modellerler olarak iki grupta inceleyebiliriz.

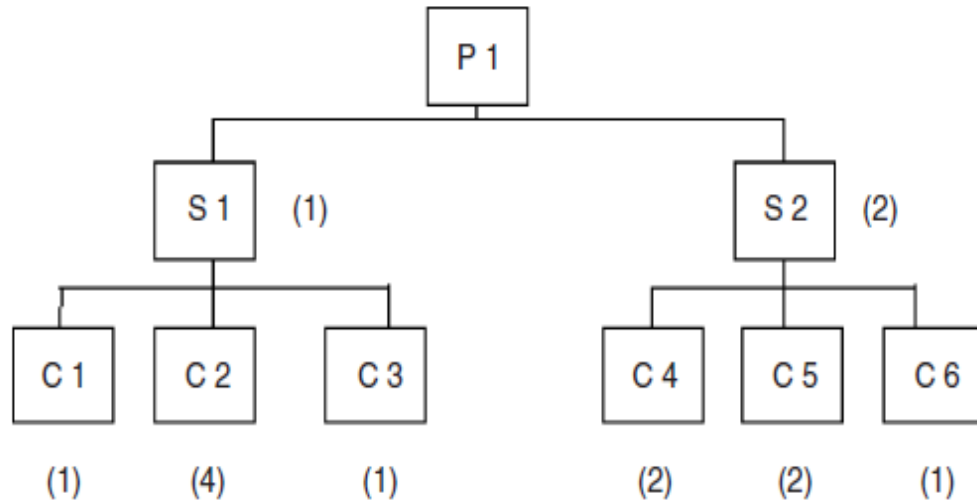
- a) **Deterministik Envanter Modelleri:** Talebin dönemler içerisindeki miktarının sabit olduğu ve ne zaman ne kadar talep geleceğinin kesin olarak bilindiği deterministik modeller deterministik statik modeller olarak adlandırılır. Talep oranının bir dönemden diğerine değişken olması durumunu ele alan modeller ise deterministik dinamik modeller olarak nitelendirilmektedir.
- b) **Olasılıklı Envanter Modelleri:** Olasılıklı talep durumunda ise; talebin olasılık yoğunluk fonksiyonu zamanla değişmiyorsa durağan modeller, olasılık yoğunluk fonksiyonu zamanla değişiyorsa durağan olmayan modeller karşımıza çıkmaktadır[12].

1.1.3.7.3. Malzeme İhtiyaç Planlama

Malzeme ihtiyaç planlaması (MİP) AÜP' da ki ürünleri oluşturmada kullanılan bileşenlerinin üretimleri ve satın alınması için bir plandır [7]. AÜP' den aldığı ürün miktarlarını kullanarak, ürünlerin üretilmesinde ihtiyaç duyulan yarı mamul ve hammadde miktarlarının ne zaman üretimde kullanılacağını gösteren bir planlama

yöntemidir. MİP üç temel girdisi vardır. Bunlar; AÜP, ürün ağaçları (ÜA) ve stok kayıtlarıdır. AÜP planından üretilecek mamul bilgilerini alır ve o ürünlerin üretimi için ÜA'larında ki toplam ihtiyaç olan malzeme tiplerini ve miktarlarını stok kayıtlarından kontrol eder. Ayrıca MİP planlarında malzeme tedarik ve üretim zamanları büyük önem arz etmektedir. MİP planları itme özelliğindeki planlama yaklaşımlarıdır. Şöyle ki, eldeki malzeme ve stoklar sipariş edilen ürünün imal edilip üretimden çıkabilmesi için hedefe doğru itilir.

ÜA İngilizce karşılığı “product tree” olmasına rağmen İngilizce kaynaklarda “Bill of Material” olarak adlandırılır. ÜA ürüne ait gereken alt ürün miktarlarını ve hiyerarşik bir şekilde de ürünler arasındaki ilişkiyi verir. Şekil 1.10 ile örnek bir ÜA verilmiştir.



Şekil 1.10. Örnek Ürün Ağacı [13]

Şekil 1.9'daki P1 ürününe ait ÜA, bize 1 adet P1 için 1 adet S1 ve 2 adet S2 ürününe ihtiyacımız olduğunu söylemektedir. Yine S1 ürünü için 1 adet C1, 4 adet C2 ve 1 adet C3 ürününe ihtiyaç vardır. 1 adet S2 ürünü için ise 2 adet C4, 2 adet C5 ve 1 adet C6 ürününe ihtiyaç vardır. MİP listesinin daha iyi anlaşılması için şekil 1.9' daki ÜA kullanılarak 5. haftanın sonunda 100 adet P1 ürünü üretilmesi gerektiğini farz ederek aşağıdaki tablo 1.5'de MİP listesi oluşturulmuştur. P1 teslim zamanı 2 haftadır ve diğer tüm ürünlerin teslim zamanları birer haftadır. Buna göre 5. haftada P1 ürünü teslim edebilmek için diğer ürünlerin en geç 5. haftanın başında hazır bulunmaları gerekmektedir. C4, C5 ,C6 ve C2 ürünlerinden elimizde 200 adet olduğunu, C1 ve C3

ürünleri için elimizde ürün bulunmadığını farz edelim. Buna göre tablo 1.5’ deki MİP doldurulması aşağıdaki gibidir.

Tablo 1.5. P1 Ürünü İçin MİP

Parça Adı:		Haftalar				
		1	2	3	4	5
P1	Brüt İhtiyaç	100				
	Elimizde Hazır Olan Miktar (0)	0				
	Net İhtiyaç	100				
	Planlanmış Gelecek Miktar	100				
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	100				
S1	Brüt İhtiyaç	100				
	Elimizde Hazır Olan Miktar (0)	0				
	Net İhtiyaç	100				
	Planlanmış Gelecek Miktar	100				
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	100				
S2	Brüt İhtiyaç	100				
	Elimizde Hazır Olan Miktar (0)	0				
	Net İhtiyaç	100				
	Planlanmış Gelecek Miktar	100				
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	100				
C1	Brüt İhtiyaç	100				
	Elimizde Hazır Olan Miktar (0)	0				
	Net İhtiyaç	100				
	Planlanmış Gelecek Miktar	100				
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	100				
C2	Brüt İhtiyaç	400				
	Elimizde Hazır Olan Miktar (200)	200	0			
	Net İhtiyaç	200				
	Planlanmış Gelecek Miktar	200				
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	200				
C3	Brüt İhtiyaç	100				
	Elimizde Hazır Olan Miktar (0)	0				
	Net İhtiyaç	100				
	Planlanmış Gelecek Miktar	100				
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	100				
C4	Brüt İhtiyaç	400				
	Elimizde Hazır Olan Miktar (200)	200	0			
	Net İhtiyaç	200				
	Planlanmış Gelecek Miktar	200				
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	200				

C5	Brüt İhtiyaç	400
	Elimizde Hazır Olan Miktar (200)	200 0
	Net İhtiyaç	200
	Planlanmış Gelecek Miktar	200
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	200
C6	Brüt İhtiyaç	100
	Elimizde Hazır Olan Miktar (200)	200 100
	Net İhtiyaç	0
	Planlanmış Gelecek Miktar	0
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	0

1.1.3.7.4. Kapasite İhtiyaç Planlama

Kapasite ihtiyaç planlaması (KİP), AÜP ‘da üretilmesi gerektiği belirtilen ürünler, mevcut kaynakların yeterliliğini sorgulayan bir yaklaşımdır. Şöyle ki, üretim için sipariş gelir, eldeki malzemenin, iş gücünün ve makine/ ekipmanın siparişi üretmek için yeterli olup olmadığı kontrol edilir. Ardından, MİP verileri ve iş rotaları kullanılarak gelen üretim siparişi üretimi gerçekleştirilebilmek için alt işlemlere bölünür ve gerekli üretim birimlerine iş emri olarak dağıtılır. Zaman faktörü KİP içerisinde oldukça önemli bir yapıya sahiptir. Bu yüzden tüm KİP işlemleri zamanlara bölünerek ve genellikle de haftalık yapılmaktadır. KİP yönetimi içerisinde yapılacak işlerin üretim birimleri içerisinde dağıtımı ve ardından üretim birimlerinde gerçekleşecek işleri yürütecek personelin ve ihtiyaç duyulan malzemenin yönetimini ve yönlendirilmesini planlayan çalışmalar bütünüdür.

1.1.3.7.5. İmalat Kaynak Planlama

MİP’ leri ürün rota bilgilerini, üretim miktarlarını ve stok kayıtlarını düzenli bir şekilde tutmaya yarayan ve ana amacı siparişin gerçekleşmesine yönelik tüm girdileri çıktı olmaya iten bir üretim planlama sistemidir. Fakat işletmeler büyüdükçe, ürün çeşitliği artıkça ve kontrol edilmesi gereken stok kalemleri artıkça, MİP’ leri üretim ve diğer birimler arasındaki tam koordinasyonu sağlayamamaktadır. Daha bütünleşik bir yapı olarak 1980’lerde karşımıza çıkan imalat kaynak planlaması (İKP) yöntemi, üretim birimlerinin ve diğer birimlerin birbirleri ile koordineli olarak çalışabilmesine olanak sağlamaya başlamıştır. Aslında ortak bir veri tabanını paylaşan İKP yönetimi bir paketleştirilmiş yazılım ürünüdür. Bu yönetim biçimi, üst yönetiminin tam desteği alınmadan ve birimlerin birbiri ile aynı dili konuşmadığı işletmelerde başarılı olamaz.

Günümüz kurumsal kaynak planlama (KKP) yazılımlarının temelini oluşturan İKP yazılımları İngilizce olarak manufacturing resources planning olarak adlandırılmakta ve literatürde de MRP 2 olarak adlandırılmaktadır. Muhasebe, finansman, depo yönetimi, üretim yönetimi ve müşteri ilişkileri yönetimini tek çatıda toplayan İKP sistemleri, temelini MİP' ten alan bir itme sistemidir.

1.1.3.7.6. Kurumsal Kaynak Planlama

KKP yazılımlarının genel amacı işletmeye ait hemen hemen tüm faaliyetlerin bilişim teknolojileri ve bilgisayar bilimleri yardımıyla tek bir veri tabanından kontrolü ve yönetimidir. KKP yönetim sistemi de, İKP gibi paketleştirilmiş bir yazılım ürünüdür. Günümüzde yerli ve yabancı birçok firma için ciddi bir sektör olan, on binlerce insanın çalıştığı, temel prensiplerinin üniversitelerin ana bilim dallarında ders olarak verildiği çok ciddi bir sektördür. İngilizcesi enterprise resource planning olan ve İngilizce kısaltması ERP olan KKP yazılımları işletmeye ait birçok yönetim alanını tek çatıda barındıran bir yönetim sistemi yazılımıdır. 1990' lı yıllardan itibaren hayatımızda olan KKP yazılımları temelinde MİP ve İKP prensiplerini alarak onların üzerine etkin bir muhasebe ve finansman, personel ve insan kaynakları yönetimi, performans ve verimlilik yönetimi, müşteri ilişkileri yönetimi ve depo ve stok yönetimi daha birçok yönetim biçiminde içerisine alan gelen bir kavramdır. Bu yönetim sistemi otomasyon teknolojilerini ve bilişim teknolojilerini içerisinde barındırarak kontrol işlemini kolaylaştırır. Yüksek maliyetleri nedeniyle günümüzde birçok firma henüz KKP yazılımları kullanmaya başlayamamıştır. KKP yazılımları işletmenin bir bütün olarak yönetilebilmesi için bir araçtır. Bütünleşik bir şekilde çalışan işletmelerde KKP yazılımlarının entegrasyonu oldukça kolaydır. Fakat işletmede KKP yönetim sistemi, üst yönetimin tam desteğini almaz ve alt yönetim birimleri tarafından yeniliğe karşı dirençle karşılaşması durumunda, entegrasyon süreci başarısız olur ve işletme sonucunda yatırımından ve harcanan emekten geri dönüşü oldukça zor olan başarısız bir yatırımının kurbanı olur. Bu tarz başarısızlıklar işletmenin ileride kararlaştırdığı yenilikler ve atılımlar içinde olumsuz bir görüş oluşturur. KKP yazılımlarından bahsederken birden çok yönetim biçiminden bahsettik, bu yüzden bu yönetim biçimlerinin modüller halinde sunulmaktadır. Günümüzde KKP modülleri adları firmalar arasında pazarlama kaynaklı farklılıklara göstermekle beraber genel bir çatıda incelenmesi gerektiğinde aşağıdaki gibi maddeler halinde sıralayabiliriz.

- a) Envanter ve Depo Yönetim Modülü
- b) Üretim Planlama Modülü
- c) Satış ve Dağıtım Modülü
- d) Kalite Yönetim Modülü
- e) Fabrika Bakım Modülü
- f) Servis Yönetim Modülü
- g) Satın alma ve Tedarik Zinciri Modülü
- h) Muhasebe Modülleri
 - Mali Muhasebe
 - Duran Varlık Yönetimi
 - Kurumsal Kontrol
 - Maliyet Muhasebesi
- i) İnsan Kaynakları Yönetim Modülü
- j) Proje Yönetimi
- k) Yatırım Yönetimi
- l) Elektronik Bankacılık ve Nakit Yönetimi
- m) E-Ticaret Yönetimi (B2B, B2C)
- n) Müşteri İlişkileri Yönetimi

KKP yazılımlarının ana özellikleri arasında ileri iş zekâsı, analiz ve raporlama yeteneklerinin çok güçlü olmasıdır. Ayrıca, sosyal hayatlarımızda gittikçe artan büyüklükte yer tutan akıllı cep telefonları, mobil cihazlar ve tablet bilgisayarların yakın tarihimizde iş hayatlarımıza da katkıları yadsınamayacak derece önemlidir. Bu teknolojik cihazların hayatımızdaki rollerini iş hayatlarımızın vazgeçilemez önemlilikteki ortak bilgi paylaşımı sağlayan, veri depolayan ve süreçlerin etkin yönetiminde kullanılan KKP yazılımlarında kullanarak, artık yazılım firmaları kullanıcılara daha etkin ve özgür iş yönetim şekli sağlamayı hedeflemektedirler.

KKP yazılımları ağırlıklı olarak sunucu-istemci mimarisi ile çalışan prensiptedirler. Günümüzde bulut teknolojisinin gelişmesi, web ve mobil teknolojilerinin yaygınlaşması sebebiyle KKP yazılımları da değişen işletme enformatiği içerisinde yapısal ve kavram olarak gelişmektedirler.

1.1.4. Üretim Çizelgeleme ve Üretim İşlerinin Sıralanması

Çizelgeleme ve sıralama, imalat ve hizmet sektöründe kritik rol oynayan bir karar verme biçimidir. Günümüz rekabet ortamında etkili sıralama ve zamanlama pazarda hayatta kalmak için bir zorunluluk haline gelmiştir. Şirketler müşterilerine taahhüt ettikleri tarihlerde sevkiyatlarını gerçekleştirmek zorundadırlar, aksi takdirde iyi niyet karinesinde önemli bir kayba sebebiyet vermektedir. Ayrıca, şirketler mevcut kaynaklarını verimli bir yolda kullanmak üzere faaliyetlerini planlamak zorundadırlar [14].

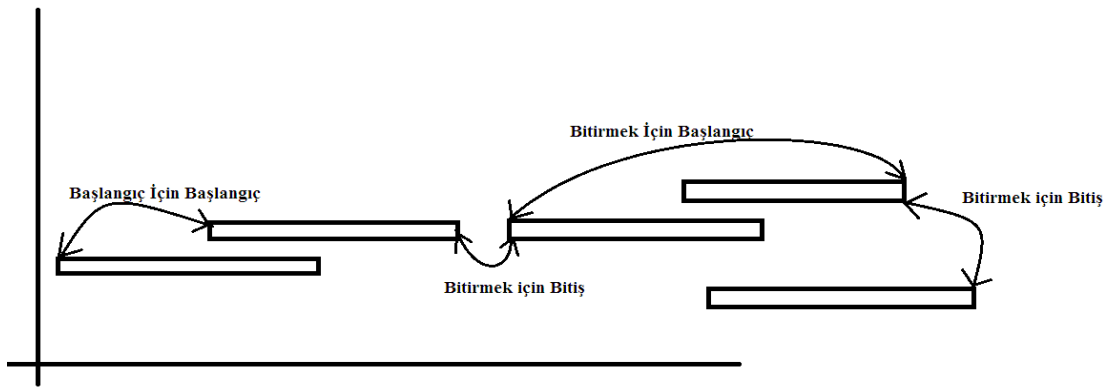
Üretim çizelgeleme zaman içerisindeki üretim kaynaklarının bir dizi kriteri en iyi şekilde karşılamak için tahsis edilmesi olarak tanımlanabilir. Tipik olarak, üretim çizelgeleme problemleri, yapılması gereken bir dizi görevi ve göreve ait erken ve geç bitirmelerin ödünleştirildiğinin ve ayrıca görevlerin tamamlanması için stok bulundurma ve sık üretim geçişleri arasındaki kriterleri içerir [19].

Üretim sistemleri amaçları gereği bir veya birden çok ürünün üretimi için gerekli olan girdilerini en verimli yoldan üretmek üzere tasarlanmışlardır. Üretimin kesikli veya sürekli olması, ürünün stok veya müşteri için üretilmesi veya üretilecek ürünün teknik özelliklerinin değişmesi çizelgelemenin firma için önemini belirlemede oldukça önemlidir. Örneğin, süt ve süt ürünleri üreten bir işletme üretim sistemi olarak proses tipi üretim sistemidir. Bu tip üretim tesislerinde ürün çeşitliği oldukça azdır ve üretilen ürünler süt ürününün yağ miktarına bağlıdır. Üretim çizelgeleme ve işlem sıralama işi için 3 tip sütün üretime sipariş edilen miktarı ve yağ filtreleme için gereken tezgâh kurulumları, işlem süreleri ve müşteriye söz verilen sevkiyat tarihleri önemlidir. Bu girdiler ile hangi tip sütün üretimine öncelik verileceğinin belirlenmesi işlemi gerçekleşecektir.

Çizelgeleme problemlerinin çözümünde büyük yere sahip olan Gannt grafikleri, görsel olarak, doğrusal bir zaman eksenini üzerinde planlanan işlerin hangi sırayla yapılacağını gösterir. Çizelgelemeyi sunmak için yaygın bir yol olan Gannt grafiği, temelde zaman içerisinde faaliyetler arasındaki ilişkiyi ve kilometre taşlarını gösteren bir çizgi grafiğidir [16]. Gannt grafikleri 1919 yılında çizelgeleme problemlerinde kullanılmak üzere bir endüstri mühendisi olan Henry Gannt tarafından tasarlanmıştır. Faaliyetlerin birbiriyle olan ilişkilerini grafik üzerinde göstermek için kullanılan dört kural

bulunmaktadır. Aşağıda maddeler halinde bu kurallar açıklanmıştır. Ayrıca Şekil 1.11’deki Gantt grafiği ile temel kurallar ifade edilmiştir.

- **Başlatmak için başlangıç:** Kendinden sonraki işin başlayabilmesi için ilk işin başlangıcından sonra belli bir sürenin geçmesidir.
- **Bitirmek için başlat:** Kendinden sonraki işin bitebilmesi için ilk işin başlangıcından sonra belli bir sürenin geçmesidir.
- **Başlatmak için bitir:** Kendinden sonraki işin başlayabilmesi için ilk işin bitişinden diğer işin başlangıcına kadar bir sürenin geçmesidir.
- **Bitirmek için bitir:** Kendinden sonraki işin bitebilmesi için ilk işin bitişinden diğer işin bitişine kadar bir sürenin geçmesidir.



Şekil 1.11. Gantt Grafiği ve Faaliyetler Arası Kurallar

Çizelgelemeye konu olacak işler ve işlemler için iş dökümü yapısına ihtiyaç duyulmaktadır. İş döküm yapısı geliştirilecek ve/ veya üretilecek ürünleri tanımlar ve gösterir. İş döküm yapısı çalışma elemanlarının birbirlerini ve son ürünleri tamamlayabilmesi ile alakalıdır [17].

1.1.4.1. Üretim Çizelgeme Karmaşıklığı

Çizelgeleme problemleri genellikle hesaplama karmaşıklığı olan problemlerdir. Pratik deneyimler, bazı hesaplama problemlerini çözmenin diğerlerinden daha kolay olduğunu göstermiştir. Karmaşıklık teorisi işlemlerin çözümlerine yönelik kolay ve zor olmak üzere matematiksel bir çerçeve sağlar [20].

Çizelgeleme problemleri, işlerin hangi sırayla yapılacağına dair karar vermek üzere çözümleri bulmayı amaçlar. Birden çok sıralama ihtimali olduğu için bu sıralama

yöntemlerinden en iyi olanı bulmaya çalışır. Matematiksel olarak, çizelgeleme problemleri en iyi sıralamayı aradığı için kombinatorial en iyileme problemleri olarak sınıflandırılır. Kombinatorial kelimesi; nesnelerin sıralanması ve seçilmesi ile ilgilenen matematiğin bir dalı olan combinatorics kelimesinden türetilmiştir. Kombinatorial optimizasyon ile nesnelerin en iyi şekilde seçilmesi ve sıralanması için aramalar yapılır veya bulunur. Sezgisel yöntemlerin optimizasyon tekniği olarak kullanıldığı bu dalda problemlerin karmaşıklık teorisine göre zorluk sınıflandırılması mevcuttur. Karmaşıklık teorisine göre problemlerin sınıflandırılması P ve NP olarak ikiye ayrılmaktadır. Polinom zamanda çözülebilir tüm karar problemlerinin sınıfı P' dir [20]. Polinom zamanda çözilemeyen ve üstel bir zamanda çözümü gerçekleştirilebilir problemler de NP sınıfında yer almaktadır. Kombinatorial optimizasyon P sınıfı problemlerin optimum çözümü için algoritmalar geliştirmiştir fakat NP sınıfı problemler için optimal çözüm yoktur. NP problemlerinin optimum çözümü olmamasının ana sebebi günümüz bilgisayarları ile çözümlerinin oldukça zor olmasıdır. Fakat gelişen teknoloji sayesinde bilgisayarların hızları ve işlem kapasiteleri artmaktadır. NP problemlerin çözümü için optimuma en yakın kabul edilen çözümleri bulmak üzere sezgisel arama yöntemleri kullanılır. NP problemlerini genel bir çatı olarak kabul edildiğinde kendi içerisinde de zorluk derecelerine göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma NP-Zor, NP-Tam, NP-Kolay ve NP-Eşitlik olarak 4'e ayrılır. Çizelgeleme problemleri çoğunlukla NP-Zor sınıftadırlar ve bazen de NP-Tam sınıfında olmaktadır.

1.1.4.2. Üretim Çizelgeleme Öncelik Kuralları

Blazewicz ve arkadaşları [15] işlerin çizelgelenmesinde ve sıralanmasında kullanılan öncelik belirleme yöntemleri ile alakalı literatürdeki çalışmaları derleyerek bir tablo olarak sunmuşlardır. Tablo 1.6'daki öncelik kuralları Blazewicz ve arkadaşları [15] tarafından literatür taraması sonucu elde edilmiştir.

Tablo 1.6. Öncelik Kuralları

NO	KURAL	AÇIKLAMA
1	SOT (En Kısa Çalışma Süresi)	Makinedeki En Kısa İşlem Süresine Sahip Olan İşlemin Öncelikli Olarak Yapılması
2	LOT (En Uzun Çalışma Süresi)	Makinedeki En Uzun İşlem Süresine Sahip Olan İşlemin Öncelikli Olarak Yapılması

3	LRPT (En Uzun Kalan İşlem Süresi)	Makinede Yapılan İşlerden Kalan İşlem Süresi En Fazla Olanın Yapılması
4	SRPT (En Kısa Kalan İşlem Süresi)	Makinede Yapılan İşlerden Kalan İşlem Süresi En Az Olanın Yapılması
5	LORPT (En Uzun Çalışma Kalan İşlem Süresi)	Kuyruğundaki iş toplamı ve işlem süresi en fazla olan operasyonun yapılması
6	Random (Rastgele)	Rastgele Bir İşin Seçilmesi
7	FCFS (İlk Gelen İlk Çıkar)	Aynı Makine İçin Kuyrukta Bekleyen İşlerden İlk Gelenin İşlenmesi
8	SPT (En Kısa İşlem Süresi)	Toplam İşlem Süresinin En Az Olanının Seçilmesi
9	LPT (En Uzun İşlem Süresi)	Toplam İşlem Süresinin En Çok Olanının Seçilmesi
10	LOS (Kendisinden Sonra Gelen En Uzun Çalışma Zamanı)	Makinede Bekleyen İşlerin Arasında Ardından Gelecek İşin İşlem Süresi En Fazla Olan İşin Seçilmesi
11	SNRO (Kalan Çalışma Sayısı En Az Olan)	Makinede Bekleyen İşlerin Arasında Ardından Gelecek İş Sayısı En Az Olan İşin Seçilmesi
12	LNRO (Kalan Çalışma Sayısı En Fazla Olan)	Makinede Bekleyen İşlerin Arasında Ardından Gelecek İş Sayısı En Fazla Olan İşin Seçilmesi

Blazewicz ve arkadaşlarının [15] yapmış olduğu öncelik kuralları sınıflandırmasının haricinde, gevşek zaman (Slack Time), Moore kanunu, en erken teslim zamanı (Earliest Due Date - EDD) ve kritik oran yöntemlerinde öncelik belirlemede kullanılan kurallardır.

Schmidt [22], keyif öncelikli çizelgeleme öncelik kuralı ile EDD yöntemini modifiye etmiştir. Schmidt' nin öncelik kuralına göre algoritma maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır.

- İşleri keyfi olarak mevcut haliyle sırala
- Bir makine bazı işler için işlem yapmaya hazır olduğu zaman, listenin ilk işini makineye yükle
- Yüklenen işi listeden sil

Öncelik kuralları herhangi bir teori veya matematiksel model kullanmadan sadece tecrübe, sağduyu veya işletme politikasına dayanarak oluşturulur. Bu kurallar yardımı

ile yapılacak sıralamalar optimal değildir. Bir kuralın diğerlerinden daha iyi veya kötü olduğunu söyleyerek genelleme yapma olanağı da yoktur. Belirli bir iş grubu için en uygun sıralama yöntemi her kural için hesaplanan karakteristik ölçüleri kıyaslama yolu ile seçilir [5].

1.1.4.3. Üretim Çizelgeleme Amaçları

Bir üretim sisteminin başarısı atölyedeki etkin üretim çizelgeleme ve kontrolüne bağlıdır [18]. Üretim çizelgeme üretim sisteminin başarısına hizmet etmektedir. Makro olarak üretim sistemlerinin amaçladığı her şeye hizmet ederler. Mikro düzeyde ise üretim çizelgelemenin başarılı olabilmesi için amaçlaması gerekenler ise şunlardır;

- ürüne ait çevrim zamanının azaltılması,
- toplam gecikme sürelerinin azaltılması,
- ve toplam akış zamanının azaltılmasıdır.

Çevrim süresi: Bir işlem devrini tamamlamak için ya da baştan sonra bir işlev, iş veya görevi tamamlamak için kullanılan süre.

Toplam Akış Zamanı: Belirli bir işi ya da belirli bir miktarda çalışmanın tamamlanması için gerekli dönem.

Toplam Gecikme Süresi: İşlere ait üretim sırasında gecikme sürelerinin toplamı.

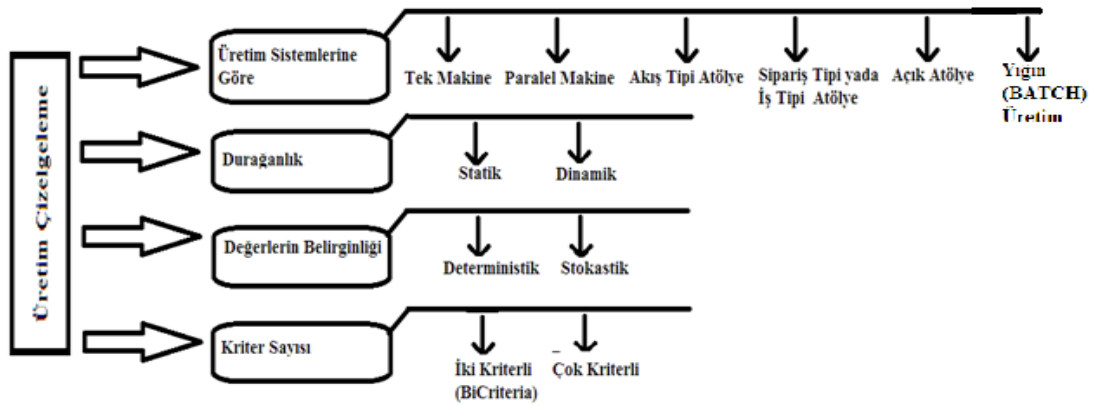
Üretimdeki çizelgeleme çalışmaları aşağıda belirtilen amaçlara ulaşmak için gerçekleştirilir [21]:

- a) Kaynakların etkin biçimde kullanılması,
- b) Müşteri taleplerinin zamanında cevaplanması,
- c) İşlerin, teslim tarihlerinde gecikmeye neden olunmadan tamamlanması,
- d) Stok seviyelerinin azaltılması,
- e) Fazla mesai çalışmalarının azaltılması,
- f) Ortalama akış süresinin azaltılması,
- g) Hazırlık sürelerinin azaltılması,

h) Üretim ve işçilik maliyetlerinin azaltılmasıdır.

1.1.4.4. Üretim Çizelgeme Problemleri

Üretim çizelgeleme problemleri oldukça zengin bir uygulama alanına sahiptirler. Üretim sisteminin yapısına, kriter sayısına, talebin veya işlerle ilgili zaman tahminlerinin stokastik veya deterministik olmasına, üretime alınacak işlerin geliş zamanlarının belirgin yani statik olmasına yahut geliş zamanlarının belirsiz olması yani dinamik olmasına göre sınıflandırılma yapılabilir. Bir sınıfı diğer bir sınıfın altında değerlendirmek ve hiyerarşik bir yapı ile sunmak oldukça zordur. Şekil 1.12 ile üretim çizelgeleme problemleri sınıflandırılmaya çalışılmıştır.



Şekil 1.12. Üretim Çizelgeleme Problemleri

Şekil 1.11’de ifade edildiği gibi üretim çizelgeleme problemleri oldukça geniş bir alana yayılmaktadır. Bir tek makine üretim çizelgeleme problemi içerisinde dinamik bir iş girdisi ve stokastik işlem sürelerini bulunduran çok kriterli bir çizelgeleme problemi olabilmektedir. Fakat kolaylık olması amaçlı üretim çizelgeleme problemleri genellikle üretim sistemi ile alakalı olarak sınıflandırılır.

Çizelgeleme problemleri $\alpha/\beta/\gamma$ şeklinde üçlü parametre yapısı ile gösterilir. α parametresi, atölyenin makine ortamını gösterir ve tek bir girdiye sahiptir. β parametresi, işleme özellikleri ve kısıtlarıyla ilgili bilgi verir ve bir veya birden fazla girdiye sahip olabilir. γ parametresi ise tek girdiye sahip olup problemdeki en küçüklenecek performans ölçütünü genellikle tek girdiyle ifade eder [14]. α ve β parametreleri için olabilecek değerleri Pinedo’nun [14] çalışmasından derleyerek aşağıdaki tablo 1.7’ de verilmiştir.

Tablo 1.7. α ve β Parametreleri

α Parametresi	Notasyon	β Parametresi	Notasyon
Tek Makine	(1)	Geliş Zamanı	(r_j)
Özdeş Paralel Makineler	(Pm)	Sıralama Bağımlı Kurulum Süresi	(S_{jk})
Farklı Hızlara Sahip Paralel Makineler	(Qm)	Bölünebilme	(prmp)
İlişkisiz Paralel Makineler	(Rm)	Öncelik kısıtları	(prec)
Akış Tipi Atölye	(Fm)	Arızalanma	(brkdwn)
Esnek Akış Tipi Atölye	(FFc)	Makine Uygunluk Kısıtlamaları	(M_j)
İş Tipi Atölye	(Jm)	Permütasyon	(prmu)
Esnek İş Tipi Atölye	(FJc)	Bloklama	(block)
Açık Atölye	(Om)	Bekleme Yok	(nwt)
		Yeniden dolaşım	(rcrc)

Çizelgeleme problemlerinde γ değeri amaç fonksiyonunu belirtmektedir. Bu amaç fonksiyonları genellikle minimizasyon amaçlıdır. Pinedo'nun [14] çalışmasından derleyerek γ değeri amaç minimizasyon fonksiyonunlar aşağıdaki tablo 1.8' de verilmiştir.

Tablo 1.8. γ Değeri Amaç Fonksiyonları

γ Parametresi	Notasyon
İş tamamlanma süresi	C_{max}
Maksimum Geç Kalma	L_{max}
Toplam Ağırlıklı Tamamlanma Süresi	$\sum w_j C_j$
İndirimli Toplam Ağırlıklı Bitirme Süresi	$\sum w_j (1 - e^{-r C_j})$
Toplam Ağırlıklı Gecikme	$\sum w_j T_j$
Ağırlıklı Geç Kalınmış İş Sayısı	$\sum w_j U_j$

1.1.4.5. Üretim Çizelgeleme Problemleri Çözüm Yöntemleri ve Literatür Taraması

Üretim çizelgeleme problemlerinin çok geniş bir alana yayıldığından bahsetmiştik. Bu sebeple çizelgeleme problemlerinin çözüm yöntemleri de oldukça geniş bir alana yayılmaktadır. Mümkün olduğu kadar sınıflara ayrılarak çözüm yöntemleri de literatürdeki örnekleri ile açıklanmaya çalışılacaktır. Çizelgeleme problemleri NP sınıfında oldukları için, optimum çözümü aramaya yönelik çalışmalar oldukça fazladır. Çoğu akademisyen ve araştırmacı kendi oluşturdukları veya literatürdeki problemlere uygun değer çözümü bulmak için yöneylem araştırması tekniklerini, geliştirdikleri sezgisel metotları ve üst sezgisel metotları kullanmışlardır.

1.1.4.5.1. Tek Makine Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri

Bu tip çizelgeleme problemleri, tek bir makine için işlerin sıraya konulması amaçlıdır. Çizelgeleme problemleri arasında en basit olanıdır. Makineye yüklenecek işler vardır ve bu işlerin sıralanması için gereken öncelik kuralları ve amaç fonksiyonları vardır. Tek makine çizelgeleme problemleri, tablo 1,8’deki γ değerlerini ve tablo 1,7’deki değerleri β değerlerini alarak çok farklı sınıflara ayrılabilir. Şöyle ifade etmek gerekirse tek makine problemleri için literatürdeki bazı gösterim şekilleri; $(1 \mid \mid L_{max})$, $(1 \mid \mid C_{max})$, $(1 \mid \text{prec} \mid \sum w_j C_j)$, $(1 \mid \mid \sum w_j C_j)$, $(1 \mid \mid \sum w_j U_j)$ ve benzeri gibidir.

Tek makine çizelgeleme problemleri için birçok metot geliştirilmiştir. Ağırlıklı olarak tek makine problemlerinin çözümünde öncelik kurallarından faydalanılarak işlerin bir sıraya konulması konusu işlenmiştir. Örnek olarak bir makinede işlem görmesi gereken 5 tane parçamız olsun yani yapılması gereken 5 tane işimiz olsun. Bu beş iş için işlem süreleri sırasıyla 10, 9, 4, 5 ve 6 dakikadır. Makinede işlerin tamamlanma süresi 34 dakikadır. Bu süre değişmeyecektir. Fakat işlerin hangi sırayla yapılacağını belirlememiz gerekmektedir. Bu durumda, makinedeki işler için 120 adet değişik sıralama oluşacaktır. Hangi sıralamayı seçeceğimizi belirlemek için kullanabileceğimiz kurallar tablo 1.6’da verilmiştir. SPT kuralı seçildiğinde, sırasıyla 4, 5, 6, 9 ve 10 dakika işlem süresine sahip işlemler yapılacaktır. Eğer, LPT kuralı seçilseydi, 10, 9, 6, 5 ve 4 dakika işlem sürelerine sahip olan işler sıralanacaktı.

Çizelgeleme problemleri için birçok kişi problem tanıtımı yapmış ve çözüm önerilerini sunmuşlardır. Sayısız kaynak içerisinde son beş yıl içerisinde yapılmış bazı çalışmalar tek makine çizelgeleme problemleri için literatür çalışması olarak aşağıda verilmiştir.

Lu ve diğerlerinin [23] çalışmalarında, iş geliş zamanlarının belirli olduğu ve iş dağıtımlarının belli bir kapasiteye sahip bir araçla gerçekleştiği, tek makine çizelgeleme problemlerinin çözümüne yönelik bir yakınlık algoritması kurmuşlardır. Bu algorithmada makineye gelen işlerin geliş zamanlarından sonra işlenerek biten ürünlerin taşınarak aktarıldığı bir ortamda kısıtlı kapasiteye sahip bir taşıma aracı kullanılmıştır. İşin bitmiş olması için taşıma işleminde bitmesi gerekmektedir. Bu problem için bölünebilir serbest bırakılmıştır. Yani makinede işlem devam ederken, iş yarıda kesilip başka bir iş yapılabilir. İş tamamlama süresinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Chang ve arkadaşları [24] çalışmalarında, tek makine çizelgeleme problemleri için Elektromagnetizma benzeri algoritması adlı yeni bir üst sezgisel yöntem bu çalışmada çözüm yöntemi olarak sunulmuştur. Genetik algoritma ve yerel arama algoritması ile beraber kullanılan bu yeni üst sezgisel metodun karışımı ortaya yeni bir hibrit algoritma çıkarmıştır. Bu yeni algoritma iteratif bir yaklaşımla optimal çizelgelemeyi aramaktadır. Literatürdeki bazı sayısal veri setleri ile denenen algoritmanın sonuçları klasik genetik algoritma çözüm sonuçlarından daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tian ve diğerleri [25] çalışmalarında, sahte polinom algoritması ile bölünebilir işlerin tek makine çizelgelemesi probleminde toplam geç kalma zamanlarının en aza indirilmesini amaçlamışlardır. İşlerin bölünerek yapılabilir olması işin makineye yüklenme zamanlarında dinamiklik oluşturmuştur. Böylece, dinamik programla yöntemi ile toplam geç kalma zamanları en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Wanga ve Wangb [26] çalışmalarında, birden fazla ortak teslim zamanlı işlerin tek makine çizelgeleme probleminde, optimum çizelgeleme ve optimum ortak teslim tarihleri belirlenmesi amaçlı çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. İşlerin erken veya geç bitmesinin cezasının doğrusal bir fonksiyon yardımıyla hesaplanabileceği ve toplam ceza miktarının en aza indirildiği bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Ayrıca, yapılan işlerde öğrenme eğrisinin polinom zamanda hesaplanabilir ve çözülebilir olduğu vurgulanmıştır.

Chen ve arkadaşları [27], dağılım tahmini algoritmalarının tek makine çizelgeleme problemlerinde etkili olarak kullanılması önermişlerdir. Tam zamanında üretim çizelgelemesi için işlerin erken ve geç bitmesinin maliyetlerini en aza indirmek üzere çözüm yöntemi sunmuşlardır.

Gharbi ve Labidi [28], literatürde iyi bilenen Jackson'un yarı bölünebilir çizelgeleme yöntemini tek makine üzerinde kullanmışlardır. İşin geliş zamanının, başka bir işin bölünebilir olmasından kaynaklı dinamik bir yapıya dönüşmesi sonucu problem dinamikleşmiştir. Dinamik programlama yöntemlerinden dal - sınır algoritmasının kullanıldığı problemin alt sınırların en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Shabtay ve arkadaşları [29], grup teknolojisi ile benzer ürünleri gruplayarak üreten bir işletmede, benzer ürünler için ortak bir teslimat zamanı belirlemek üzere tek makine çizelgeleme problemi için ürün aileleri için son tarih atama metodu geliştirilmiştir. Bu metotla işlere ait erken ve geç bitiş zamanlarından oluşacak maliyetler en aza indirilmeye çalışılmıştır. İşlere ait işlem zamanları kaynak tahsisi ile doğru orantılıdır. Bu yüzden kaynaklarında kullanımı ile oluşacak iş tamamlama zamanları da en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Srirangacharyulu [30], dağılım tahmini algoritmalarının tek makine çizelgeleme problemlerinde etkili olarak kullanılması önermişlerdir. Tam zamanında üretim çizelgelemesi için işlerin erken ve geç bitmesinin maliyetlerini en aza indirmek üzere çözüm yöntemi sunmuşlardır.

Lu ve arkadaşları [31], ürün ailelerine göre sıralama bağımlı kurulum zamanlarının ortaklaştığı ve işlem sürelerinin belirsiz olduğu tek makine çizelgeleme problemlerinde, en kötü senaryoda toplam akış zamanın, en aza indirilmesi ve ürün aileleri için güçlü iş sıralamasının bulunması amaçlamışlardır.

Tanaka ve Araki [32], tek makine çizelgeleme problemlerinde, sıra bağımlı kurulum süreleri ile toplam ağırlıklı gecikme sürelerinin minimize edilmesinde kesin bir algoritma sunmuşlardır. Ardışık subliminasyon dinamik programlama ile Lagrange rahatlama metodu kullanılmıştır. Ağ indirgeme yöntemleri ile alt ve üst sınırlar bulunmuştur.

1.1.4.5.2. Paralel Makine Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri

Paralel makine çizelgeleme problemleri, işlerin aynı anda paralel olarak benzer işleri yapabilme kapasitesine sahip makinelerde yapılmasında toplam tamamlanma zamanını ve işe ait tamamlanma zamanını en aza indirmek ve maliyetleri en aza çekmektir. Paralel makineler tablo 1.7’ de gösterildiği gibi 3 farklı sınıfa ayrılır. Bunlar: özdeş paralel makineler, farklı hızlara sahip paralel makineler ve ilişkisiz paralel makinelerdir. Tek makine çizelgeleme problemlerinden daha karmaşık bir yapıya sahiplerdir. Çok sayıda problem tanıtımı ve tanıtılan problemlerin çözümüne yönelik oldukça fazla çözüm yöntemi sunulmuştur. Literatürdeki sayısız çalışmalardan son yıllarda gerçekleşen çalışmalar aşağıda tanıtılmıştır.

Liu ve diğerleri [33] çalışmalarında, grup teknolojisi ile üretim yapan iki paralel makinede ürünlerin gruplanarak üretildiği, üretim tesislerinde, toplam tamamlanma süresinin azaltılması amaçlı sahte polinom zamanlı algoritma kullanılmıştır.

Meyr [34], çalışmasında, özdeş olmayan, heterojen makine çizelgeleme problemlerinde birden fazla ürün için eş zamanlı üretim parti büyüklüklerine yönelik problem çözüm tekniği kullanmıştır. Sıra bağımlı hazırlık sürelerinin azaltılmasının üretim hattı kapasitesinin artırılmasına sebep olduğunu vurgulamıştır. Çözüm yöntemi olarak problemi tek makine çizelgeleme problemine indirgemiş ve üst sezgisel yöntemlerden benzetim tavlama ve yerel arama tekniklerinin karışımı olan bir ikili tekrar optimizasyonu kullanmışlardır.

Kogan [35], çalışmasında sürekli bölünebilir ve zaman bağımlı kaynaklara bağımlı bir üretim sisteminde bulunan paralel makinelerin, bir ürün tipini üretmedeki teslim zamanına bağlı kalması, stok miktarlarını en aza indirmesi ve üretim maliyetlerinin azaltılması amaçlamaktadır. Sürekli zaman çizelgesinin, kesikli sıralama ve zamanlamaya indirgenerek, analitik kurallarla polinom zamanda çözülebilir bir algoritma geliştirmiştir.

Dourado [36], Özdeş paralel ve çok amaçlı makine çizelgeleme problemlerinde toplam ağırlıklı geciken iş sayısını en aza indirmeyi amaçlayan bir algoritma kurmuşlardır. Algoritmanın ilk bölümünde Jackson'un EDD kuralını kullanmışlar ve ikinci bölümde

EDD kullanımı sonucu oluşan geciken iş sayısına göre tekrar iş sıralamasında düzeltme yapmışlardır.

Mazdeh [37], iki kriterli paralel makine çizelgeleme problemlerinde, makine ve iş bozulma oranlarını inceleyerek, toplam iş gecikme süresini, iş tamamlama sürelerini ve bozulma kaynaklı maliyetleri minimize etmek üzere çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Çözüm yöntemi tabu arama yöntemi tabanlı, çok amaçlı ve karma bir tamsayı programlama yöntemidir.

1.1.4.5.3. Akış Tipi Atölye Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri

Akış tipi atölye çizelgeleme problemleri, bir ürünün üretim işleminin tamamlanabilmesi için birden çok makinenin bulunduğu üretim alanlarında birbiri sıra yapılması gereken bir dizi işin makine tekrarı olmaksızın yapılmasıdır. Her makinede yapılan iş bir operasyonu ifade etmektedir. Makinede gerçekleşen ürün işleme veya operasyon gerçekleşikten sonra aynı makinede tekrar işlem görmez ve başka bir makineye gider. Bu tarz çizelgeleme problemlerinde genellikle toplam akış zamanının en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Akış tipi çizelgeleme problemlerinin esnek ve hibrit tipleri de literatürde karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda gerçekleşen bazı problem tanımları ve çözümleri aşağıdadır.

Genoulaz [38], V şeklinde paralel makinelerden oluşan hibrit akış çizelgeleme problemlerinde, iş öncelikleri, zaman gecikmeleri ve teslim tarihlerini kısıt olarak tezgâh kurulum sürelerinden, makine hareketlerinden ve taşımadan oluşan toplam gecikmeyi en aza indirmek üzere 6 adet sezgisel metot geliştirmiştir. Metodun çözüm kalitesinin sonuçların belirginliği ile belli olduğunu savunmuştur.

Suliman [39], permutasyon akış çizelgeleme problemlerinde, tek makine çizelgeleme problemlerinde kullanılan sezgisel bir yöntem geliştirilerek, iki aşamalı bir çözüm yöntemi ile en uygun iş sıralaması elde etmeye çalışmıştır.

Zendieh ve diğerleri [40], hibrit akış tipi çizelgeleme problemlerinde, sıralamaya bağlı kurulum süreleri kullanan yeni bir sezgisel yöntem olan bağışıklık algoritması kullanmışlardır. Bu algoritma ile elde ettikleri sonuçları genetik algoritma tabanlı olup rastsal bir anahtarla optimum çözümü elde etmeye yarayan daha önceki çalışmaları ile mukayesede etmişlerdir.

Moslehi ve arkadaşları [41], iki makine akış tipi atölye üretim sisteminde, tam zamanında üretim yaklaşımları ile optimal çizelgeleme için, işlerin geç ve erken bitme maliyetlerinin en aza indirilmesi üzerine çalışmışlardır. Çözüm yöntemi olarak dal-sınır algoritması kullanmışlardır. 380 problemi oluşturdukları algoritma ile çözüp, % 82 oranında optimal çözüm elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Xu ve Zhou [42], genetik algoritma tabanlı bir simülasyon uygulaması ile örnek uzay içerisinde birandom değerlerin beklenen değerlerinin hesaplanmasından oluşan değerleri optimum çizelgelemeyi bulmak amaçlı kullanmışlardır.

Kuo, Hsu, ve Yang [43] zamana bağımlı öğrenme etkisini akış tipi çizelgeleme problemlerinde incelemişlerdir. Öğrenme etkisinin iş başlamadan hesaplanabilen bir fonksiyon olduğunu farz etmişlerdir. Çözüm yöntemi için birçok sezgisel yöntemi kullanmışlar ve oluşturdukları çözüm metodu, toplam gecikmeyi, toplam iş akış zamanını ve toplam ağırlıklı tamamlanma sürelerini en aza indirmeye çalışmıştır.

Sun ve diğerleri [44], bekleme ve boş zamanların olmadığı, üretim işlerinin doğrusal olarak bozulabildiği akış tipi çizelgeleme problemlerinde, iş tamamlama zamanlarının en aza indirildiği problem çözüm yöntemi önermişlerdir.

1.1.4.5.4. İş Atölyesi Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri

İş atölyesi çizelgeleme problemleri bir ürünün üretim işleminin tamamlanabilmesi için birden çok makinenin bulunduğu üretim alanlarında, birbiri sıra yapılması gereken bir dizi işin makinelerde yapılmasıdır. Bu tip çizelgeleme problemlerinde, işler makinelerde tekrarlanabilir ve her ürün için rota aynı olmayabilir. Bu şekilde ürünler için çizelgeleme problemleri oldukça zorlaşmaktadır. İş atölyesi tipi çizelgeleme problemlerinin esnek ve hibrit tipleri de literatürde karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda gerçekleşen bazı problem tanımları ve çözümleri aşağıdadır.

Mascis ve Pacciarelli [45], iş tipi çizelgeleme problemlerinde, bloklama ve beklemezlik kısıtları ile problemin çözümüne yönelik dal sınır algoritması yöntemiyle birden çok alt ve üst sınırlar elde etmişlerdir. Daha sonra çözüm kümesinden en iyi çözümü bulabilmek için sezgisel yöntemler kullanmışlar ve kesin çözüm önerisini sunmuşlardır.

Özgüven, Özbakır ve Yavuz [46], Esnek iş atölyesi çizelgeleme problemlerinde, optimum rota ve iş sıralaması için karma tamsayı modelleme yaklaşımını kullanmışlardır. İki aşamalı olan çözüm yönteminde geliştirdikleri varsayımsal senaryonun çözümü için öncelikle karma tamsayı programlama ve ardından sonuçları geliştirdikleri modifiye edilmiş karma tamsayı programlama ile irdelenmişlerdir.

Wonga, Chan ve Chan [47], montaj işlerinin yapıldığı atölye tipi çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Kaynak kullanımının kısıtlı olduğu, işlerin sıralanması sırasında parti büyüklüklerinin gruplandırılmıştır. Problem çözümünde genel amaç toplam gecikmeyi en aza indirmektir. Çözüm metodu olarak genetik algoritmadan faydalanılmış ve parçacık sürüsü optimizasyonunun çözümü ile kıyaslanarak çözümün etkinliği belirtilmiştir.

Kima, Parka ve Kob [48], iş sıralama ve süreç planlama birleşiminde Simbiyotik evrimsel algoritma adı verilen bir yöntemle esnek iş atölyesi çizelgeleme problemlerine çözüm önerisi getirmişlerdir. İş sıralamasının optimallığı için süreçlerin etkin planlanmasının öneminden bahsedip, iki konuyu da tek problem içerisinde çözmeye çalışmışlardır.

Torabi, Karimi ve Ghomi [49], esnek iş atölyesi problemlerinde çok ürünlü parti büyüklüğü çizelgeleme döngüsü problemi irdelenmiştir. Kısıtlı bir planlama zamanında, makine tahsisi, parti büyüklüğü belirleme ve iş sıralamada yeni bir karma tam sayı programlama modeli kurmuşlardır.

Chunga ve diğerleri [50], iş atölyesi tipi çizelgeleme problemlerinde, makine darboğazlarını aşmak için dış kaynak kullanımı ve işlerin optimal olarak sıralanabilmesi için sezgisel bir çözüm önerisi geliştirmişlerdir. Ayrıca, kısıt olarak teslim tarihleri ve makine kapasitelerini kullanmışlardır.

1.1.4.5.5. Açık Atölye Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri

Açık atölye tipi çizelgeleme problemlerinde, işler için yapılacağı birimler veya makineler arasında sıra bağımsız olarak yapılabilir. Bir işin yada işlemin herhangi bir makinede önce yapılıp yapılmayacağına dair bir öncelik kuralı yoktur. Açık atölye çizelgeleme problemlerinde ağırlıklı olarak işlem tamamlanma süreleri en aza

indirilmeye çalışılır. Literatürdeki bazı açık atölye çizelgeleme yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Baysal ve diğerlerinin [51] çalışmasında, açık atölye çizelgeleme problemleri toplam tamamlanma zamanının en aza indirilmesine yönelik, rastsal zıplama tekniği ile işleyen Paralel Kanguru Algoritması ile çözülmüştür. Paralel kanguru algoritması, sürekli daha iyi çözümlere ulaşmaya çalışan meta-sezgisel bir yöntemdir. Paralel kanguru algoritmasının bu tip problemlerinin çözümünde etkin bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

Liaw [52], bölünemez işlerin çizelgelemesinde tamamlanma sürelerini en aza indirmeyi amaçlayan, iteratif bir çözüm arama yöntemi sunmuşlardır.

Naderi ve diğerleri [53] çalışmalarında, açık atölye üretim çizelgeleme problemleri için toplam gecikme miktarını en aza indirmek amaçlı matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu model, genetik algoritma, komşu arama tekniği ve Taguchi metodu ile kullanılan karma bir doğrusal tamsayı programlama modelidir.

1.1.4.5.6. Çizelgeleme Problemlerine Yönelik Son Yıllardaki Çalışmalar

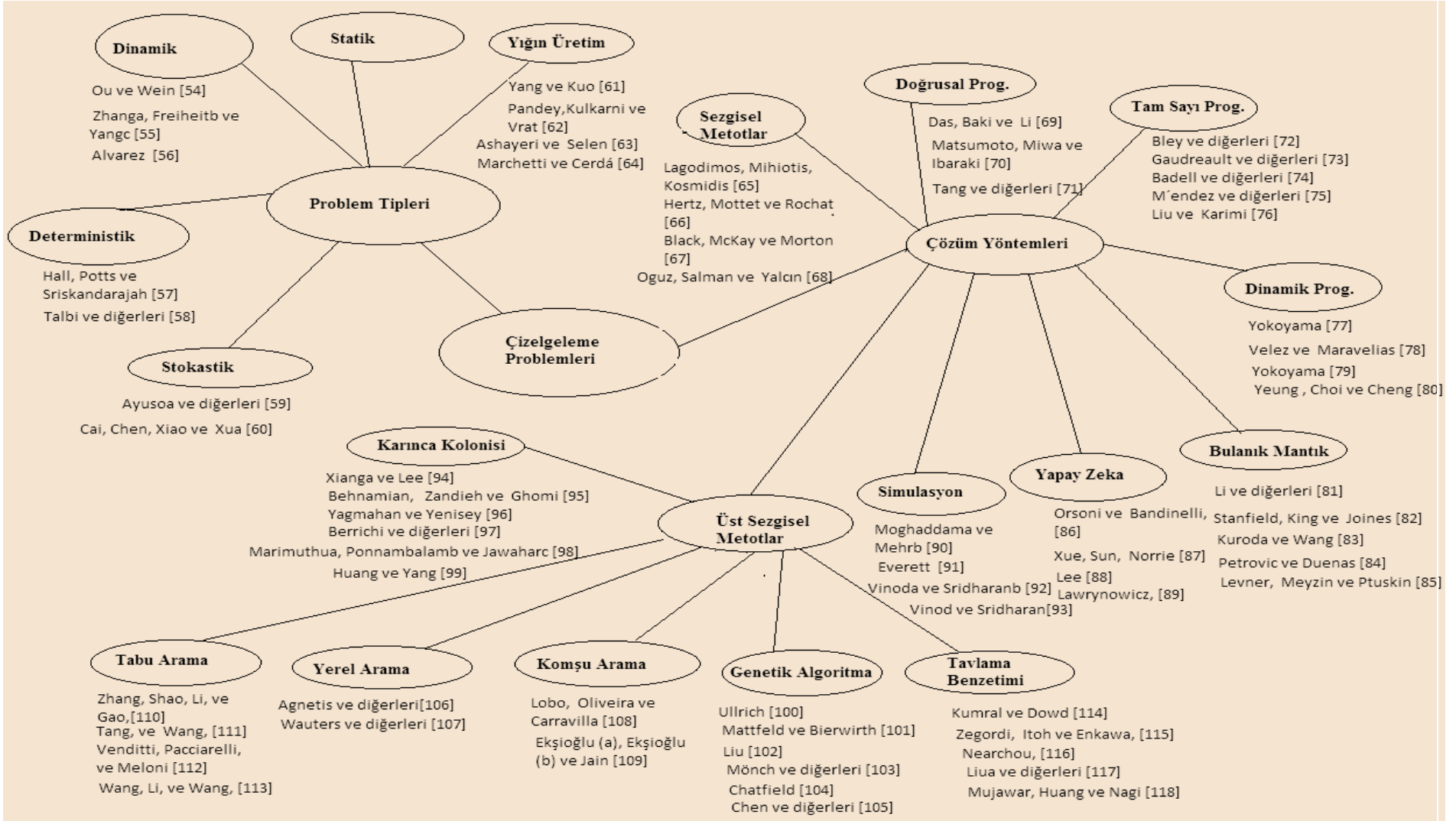
Teknolojik gelişmeler ve yeni yaklaşımlar sebebiyle günümüz dünyasında üretim sistemlerinde ağırlıklı olarak bilgisayar otomasyonları, robotlar, karmaşık taşıma sistemleri, üretimden direk e-ticaret vasıtasıyla satış yapmak ve bu satışlardan üretim planlama ve benzeri daha birçok yenilik sebebiyle çizelgeleme problemlerinin çözümleri içinde yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Yöneylem araştırmasının birçok alt başlığı çizelgeleme problemleri için kullanılmaktaydı. Bunlar: doğrusal programlama, tam sayı programlama, karma tam sayı programlama, dinamik programlama, dal sınır algoritmaları, gezgin satıcı çözüm yöntemleri ve daha birçok yöntemden oluşmaktadır.

Çizelgeleme problemlerinde bulanık mantık, yapay zeka ve simülasyon teknikleri de kullanılmaktadır. Bazı çalışmalarda optimum çözümü bulabilmeyi kolaylaştırmak için, yazarlar melez algoritmalar üretmişlerdir. Şöyle ki, amaç fonksiyonu bir tam sayı programlama olan bir modelin simülasyon ve tabu arama teknikleri ile beraber kullanılarak optimum çözüme ulaşmayı hedefleyebilmektedir. Bazen de, araştırmacılar çalışmalarında konu olan probleme en uygun çözümü kendi oluşturdukları sezgisel çözüm arama metotları ile bulmaya çalışır ve sonuçlarını da bilinen çözüm yöntemleri ile mukayesede ederek, kendi yönteminin verimliliğini vurgulamaktadır. NP sınıfındaki

izelgeme problemlerinin çözüm yöntemi olarak genellikle üst sezgisel metotlar kullanılmıştır. Üst sezgisel metotlar genellikle, en iyi sonuca yönelik arama yaparlar ve buldukları sonucun optimum olduğunu iddia edemezler. Çoğunlukla kullanılan üst sezgisel metotlar iteratiftirler. Buldukları sonucu bir veya birden fazla kısıtı tekrar göz önünde bulundurarak yinelerler ve en iyi sonucu aramaya çalışırlar. Çizelgeleme problemlerinde kullanılan bazı üst sezgisel metotlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Karınca kolonisi optimizasyon tekniğı
- Yerel arama optimizasyon tekniğı
- Tabu arama optimizasyon tekniğı
- Komşu arama optimizasyon tekniğı
- Genetik algoritma optimizasyon tekniğı
- Tavlama benzetimi optimizasyon tekniğı

Gerek çizelgeleme problem tiplerinin geniş bir alana yayılması gerek çözüm yöntemlerinin belirli bir alanda değil de sürekli olarak interaktif olarak birbirleri ile bağlantılı olarak genişlemesi sebebiyle, çizelgeleme problemlerinin çözüm tekniklerini sınıflandırmak oldukça güçtür. Aşağıdaki şekil 1.13 ile çizelgeleme problemlerine yönelik son yıllardaki çalışmalar verilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1.13. Üretim Çizelgeleme Problemleri İle İlgili Son Yıllarda Yapılan Çalışmalar

1.2. Tez Konusunun Literatürdeki Benzerlikleri

Tez çalışması bir istatistiksel karar analizi neticesinde yapılacak bir dizi işin arasından hangilerinin üretimde hangilerinin fasonda gerçekleşeceğine dair bir karar problemini temel alan akış tipi üretim çizelgeleme problemidir. Varsayımsal bir senrayo ile bir ürünün ilk defa seri üretimi gerçekleşeceği ve elde ürüne ait ÜA'dan başka bir şeyin olmadığı vurgulanmıştır. ÜA' dan elde edilecek iş dökümü ve iş rotası için ÜAİ yöntemi bu çalışmada sunulmuş ve iş sırlamada öncelik belirlemede kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen iş dökümü ile hangi işlerin üretimde hangilerinin fasonda yapılacağına KA yöntemi ile kararların maliyet analizleri yapılarak karar verilmeye çalışılmıştır. Amaç olarak sadece iş tamamlanma sürelerinin birim işçilik ücretleri ile çarpımı sonucu oluşan değerin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Problem işin nerede yapılacağına karar verilmesi açısından ilk başta dinamik gibi gözükmektedir. Fakat, üret veya fason kararını, çizelgeleme içerisinde kullanılan kısıtlardan kaynaklanan amaç fonksiyonuna hizmetinden değil de, sadece oluşacak fason ve üretim maliyetinin beklenen değerlerinin istatistiksel olarak hesaplanması sonucu ortaya çıkmasından dolayı problemin yapısı problem çözümüne başlamadan önce statiktir. Kararların alınmasından sonra ortaya çıkan statik bir akış tipi çizelgeleme problemi için işlerin hangi sırayla yapılacağını ÜA' dan elde eden ÜAİ yöntemi geliştirilmiştir. ÜAİ yöntemi işlerin makinelerde hangi sırayla yapılacağını belirlemeye çalıştığı anda problem dinamikleşir. ÜAİ yöntemi en iyi çözümü arayan bir iteratif yöntem değildir. ÜAİ, zaten belli olan ve makul bir sıralamayla yapılabilecek işlerin birbiriyle olan ilişkilerinde başlangıçtaki işin kendinden sonra hangi işe bağlı olduğunu iki işe ait öncelik sayıları ile gösterir. Öncelik sayısı düşük olan işler daha önce yapılması gereken işleri ifade ederler. Öncelik sayılarının aynı olduğu iş düğümlerinde, ardından başlaması gereken işin öncelik sayısına bakılır. İkinci işlerinin öncelik sayılarında aynı olan işlerde, hangi işin daha önce başlanılıcağına ardından gelecek işleri takip eden tüm işlerin öncelik sayıları sıraya dizilir ve matematiksel olarak en doğrusal ifadeyi sunan öncelik başlangıçına sahip iş seçilir. Aynı matematiksel doğrusallığı gösteren işlerde ise kendisi ile beraber ardından yapılması gereken tüm işler tek bir hatta incelenir ve en fazla zaman yüküne sahip iş seçilir. MİP' nin ve KİP'in de üretim çizelgeleme problemi içerisinde değerlendirilebileceği varsayılmıştır. Tez konusuna paralel nitelikte yapılan çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

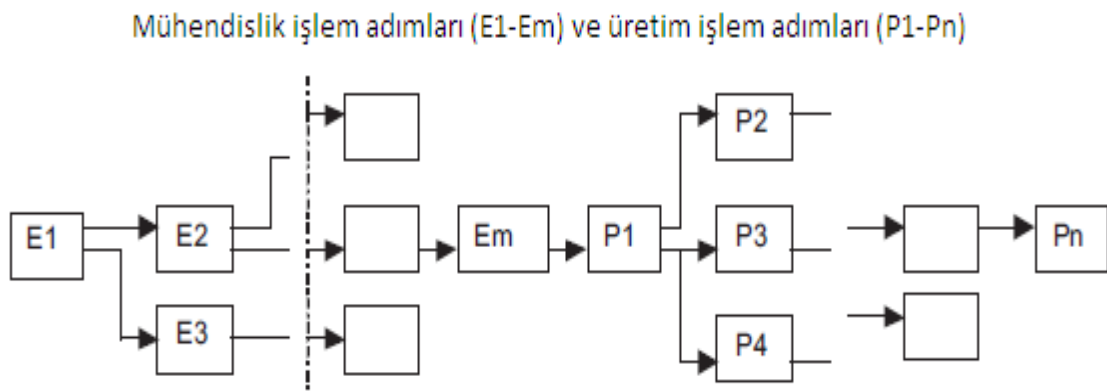
Peres ve Lares [119], sıralama kararlarının, üretim planlama ve çizelgeleme üzerindeki önemi üzerinde durmuşlardır. Klasik hiyerarşik üretim planlama yaklaşımlarında sonsuz kapasiteli MİP ve İKP yaklaşımlarının çizelgeleme de yetersiz olduğunu literatürdeki bir çok çalışmanın yazarının görüşlerine ve kendi görüşlerine dayandırarak belirtmişlerdir. Çizelgeleme problemleri için parti büyüklükleri ve kapasite sınırının önemini belirtmişlerdir. Önemi vurguladıkları kısıtların üzerine yoğunlaşarak, stok fazlalığı maliyeti, stok yetersizliği maliyeti, üretim maliyeti ve ürün ağaçlarının birbirinin halefi olan ürünlerin üretiminde, parti büyüklüğü gereksinimini göz önünde bulundurmuşlar. Planlama ardından çizelgeleme ve sonrasında tekrar planlama yaparak en iyi zaman çizelgesini bulmak için iteratif bir yöntem kullanmışlardır.

Wang ve Jianbo [120], esnek iş tipi atölye çizelgeleme problemlerinde, işlerin birbirlerine bağımlılıklarını ana ve yavru düğüm ilişkisi ile incelemişler ve işlerin birbirleri ile olan bağlantılarını, iş endeksleri olarak notasyonlar ile ifade etmişlerdir. Düğümler ile ifade edilen işlerin birbirleri ile ilişkisi iş numaraları ile endeksenerek, hangi işin hangi makinede önce başlanacağını ve iş sıralamasının nasıl olması gerektiğini arayan filtreli ışın tarama metodunu kullanmışlardır. Filtreli ışın tarama metodu dal – sınır algoritmasını örnek alan hiyerarşik düğüm yapısında her seviyede hangi işlerin öncelikli olduğunu arayarak kısmi çözümleri çözüm uzayında atan bir yöntemdir. Kısmi çözümlerden oluşan çözüm uzayı tüm düğümler arasındaki ilişki son seviyeye kadar geldiğinde irdelenerek en iyi olan çözüm oraya konulmuştur. Problemi bakım zamanlarının da olduğu bir atölye problemi olarak değerlendirmişler ve bu bakım zamanları ile alakalı çeşitli kısıtlar koyarak, birden fazla sayısal örnek çözerek, zaman çizelgeleri sunmuşlardır.

Ramazan [121], açık madenlerde çizelgeleme için temel ağaç algoritması adlı yeni bir metot kullanmıştır. Bu yöntemin ana amacı büyük ölçekli optimizasyon problemlerinde karma tam sayı problemleri kullanılmasıyla oluşan kısıt sayısını, toplam malzeme bloklarını ve tam sayı kısıt sayısını daha aza indirmek için doğrusal programla ve segizel bir yöntemin kullanılmasıdır. Bir cevher kütlelerinde üç temel blok vardır. Bu bloklardaki cevherin değeri matkap yardımıyla alınan numunelerden ölçülebilir. Her bloğa ait beklenen getiri o bloğa ulaşmada aşılacak bloklara yapılan kazı işlemlerinin maliyetlerinin toplam kardan çıkarılarak elde edilir. Birbirine bağlı yapılan kazı işleri hiyerarşik bir ağaç yapısı verir. Böylece, her blok için karma tamsayı

programlama çalıştırılacağı yerde ağaçlar için program çalıştırılır ve daha az kısıtla, daha az tam sayı ile hızlı sonuç alınmaya çalışılır.

Jin ve Thompson [122], MİP sistemlerinin sipariş için mühendislik çevresinde etkili olabilmesi için yeni çerçeve sunmuştur. Bu ortamlarda kısıtlı kapasite çizelgeleme problemlerini önermektedirler. Ürün geliştirme için mühendislik işlerinin ve üretimi gerçekleştirmek içinde üretim işlerinin birbiri ardı sıra yapılmasını aşağıdaki şekil 1.14 ile ifade etmişlerdir.



Şekil 1.14. Mühendislik ve üretim aktiviteleri için birleşik bir işlem planı [122]

Jin ve Thompson [122], ürünün çizelgele yönteminde dinamik çizelgelemenin olması gerektiğine karar verip buna göre model kurmuşlardır. Dinamik çizelgeleme kullanmalarındaki amaç mühendislik üretimi ve ürün üretimi için kapasite kısıtlarının, kaynak mevcudiyetinin ve işlem sürelerinin belirsiz olmasıdır. Rastgele bir işin terminal seçilerek, geç tamamlama durumuna göre kaynakların hangi ağırlık oranında o iş için ayrılacağı, geriye kalan işler boyunca en geç ne zaman başlayabileceği ve en geç ne zaman bitebileceği bulunmaya çalışılmıştır.

Chung ve diğerleri [50] İş atölyesi tipi çizelgeleme problemlerinde, makine darboğazlarını aşmak için dış kaynak kullanımı ve işlerin optimal olarak sıralanabilmesi için sezgisel bir çözüm önerisi geliştirmişlerdir. Ayrıca, kısıt olarak teslim tarihleri ve makine kapasitelerini kullanmışlardır. Sadece makine darboğazından kurtulmak amaçlı bir çalışma yapmamışlardır, ayrıca dış kaynak kullanmanın ve üretmeninde maliyetlerini kullanarak, teslim zamanına en az maliyeti veren üret – dış kaynak kullan problemi çözmüşlerdir.

Koyuncu [123], çalışmasında yeni ürün geliştirme projelerinde çoklu faaliyet çakıştırılmalı durum için çizelgeleme problemini incelemiştir. Yeni ürünün müşteriye çabuk sunula bilmesi ve pazardan hızlı bir şekilde siparişlerin toplanabilmesi amaçlı, ürünün ilk üretiminin gerçekleşebilmesi için yapılacak projede faaliyet çakıştırılmalı durum çizelgelemesi yöntemi kullanmıştır. Farklı öncelik kurallarına, faaliyetlerin birbiri ile olan ilişkisini göz önünde bulundurarak, en kısa sürede biten proje yöntemini bulmada parçacık sürüsü optimizasyon tekniğini kullanmıştır.

Qi [124], iki aşamalı akış tipi atölye çizelgeleme problemlerinde, iç üretim veya dışarıda üretim sonucu oluşan tamamlanma sürelerine dış üretimden kaynaklanan lojistik süreleri de eklenerek bir toplam iş tamamlanma zamanı minimizasyonunu çalışmıştır. Hangi işin üretimde yapılacağı hangisinin dışarıda yapılacağı konusu sebebiyle problem dinamik bir yapıya sahiptir. Bu yüzden Qi [124], tüm işlerde üretimin veya fasonun maliyetleri ve toplam tamamlanma zamanına olan etkilerini incelemiştir.

Yapılan literatür aramaları sırasında KA yönteminin direk üret veya fason kararları olarak çalışılmış olduğuna dair çalışmaya rastlanmadı. Fakat BT'nin bayes ağları konusuna temel olarak, proje çizelgeleme ve proje teslim zamanı tahmini gibi konularda kullanıldığı saptanmıştır. Sunghin [125], 2009 yılınca yayınladığı çalışmada bir projenin tahmini süresini sürekli olarak güncellemek için Bayes stokastik yaklaşımı denemiştir. Bu yaklaşımda, projenin kritik yolundaki tüm aktiviteler için sonraki beklenen süre değerlerini belirleyip bir bayes ağı kurmuştur. Bu ağ ve değerler kullanarak projenin toplam süresinin ilk planlana göre güncelleyerek proje yöneticilerine daha sağlıklı bir veri sunmuştur. Britney [126], 1976 yılında PERT çizelgesindeki stokastik aktiviteler için bayes nokta tahmin yönetimi kullanmıştır. Bu çalışmanın Sunghin [125] tarafından yapılan çalışmaya temel olduğunu söyleyebilirim. Aha ve Chang [127], 1996 yılında “çoklu planlama görevlerini çözmek için olay tabanlı mantık yürütme ve kooperatif bayes” adlı çalışmasında gerçekleşen olayları bir bayes ağında işleyerek, öğrenen ve öğrendiklerini tekrar kullanan bir algoritma kurmuştur. Stavoulaki, Fong ve Lin [128], 2003 yılında iki kaynaklı bir stokastik kapasite planlamayı, bayes metodu ile incelemiştir.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE METERYAL

2.1.Problemin Tanımı

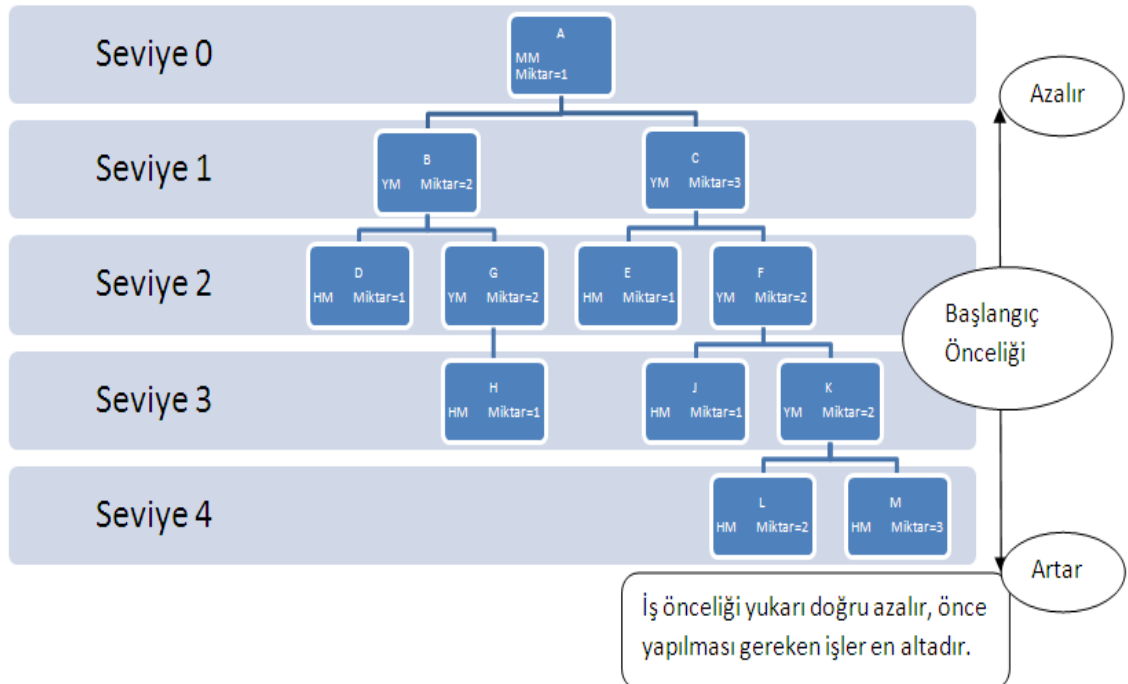
Tez çalışmasına konu olan problem için senaryo şöyledir; üretimi ilk defa gerçekleştirilecek olan bir ürün için ürün-geliştirme departmanı sorumluları ürün ağacını oluşturmuş ve ilk protipi üretmişlerdir. Fakat ilk seri üretim için bu ürüne ait işlerin rotası belirlenmemiş ve zaman etütleri yapılmamıştır. Üretimi gerçekleştirecek olan ürün için üretim içi kaynakların planlanması gerekmektedir ve hangi aşamalarda ürüne ait işlemlerin devam etmesi için fasona gönderileceğine de karar vermeleri gerekmektedir. Ayrıca zaman etütleri henüz daha yapılmadığı için işlemlere ait zamanların belirlenmesi gerekmektedir. Problemin çözümü için birinci adımda, ürün ağacı oluşturulacak ve ürün ağacından, bu çalışma için geliştirilen ÜAİ yöntemi ile iş öncelikleri belirlenecektir. İkinci adımda, KA yöntemi kullanılarak, hangi işlerin fasona gideceği belirlenecektir. Üçüncü adımda ise matematiksel model yardımıyla işlerin en geç başlama ve en geç bitiş zamanları belirlenecektir.

2.2.Problem Çözüm Yöntemi

Ürün geliştirme çalışması tamamlanarak, prototip üretiminden sonra ilk defa seri üretimi yapılacak “A” ürünü için iş istasyonlarında zaman ölçümü yapılmamış ve iş rotası hazırlanmamıştır. Üretim planlamasını genel olarak malzeme ihtiyaçları giderildikten sonra plansız olarak üretim personelinin inisiyatifine bırakılan “X” firmasında “A” ve benzeri diğer ürünlerin üretim planlaması ve çizelgelemesi işlemi için sırasıyla yapılacak işlemler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Ürün ağacı oluşturularak, iş dökümünü ve iş öncelik sıralarını belirleyebilmek amaçlı ÜAİ yönteminin kullanılması,
- İstenilen son ürünü sipariş miktarınca üretmek için gerekli alt yarı mamul ve hammaddelerin miktarlarının belirlenmesi,
- Üretimdeki uzmanlardan zaman tahminlerinin alınarak ortalama zamanın bulunması ve fason kaynaklardan zaman tahminlerinin alınarak tahmini fason süresinin bulunması,
- KA yöntemi ile üret ve fason kararlarının beklenen maliyetlerinin kıyaslanarak, fasona gönderilecek işlerin seçilmesi,
- Matematiksel bir model yardımıyla birbirinin bitişi ile başlayabilir olan işler için tezgah boş kalma sürelerinin en aza indirilmesine olanak tanıyacak şekilde işlerin en geç optimum başlama ve en geç optimum bitiş zamanlarının çizelgelemede kullanılması.

Alınan zaman tahminlerinin ortalamaları ile fason firmalardan alınan zaman ve maliyet tahminleri bir araya getirilerek, KA yönteminde kullanılacaktır. KA yöntemi ile üretmek ve fason üretim yaptırmanın maliyetleri mukayese edilerek en az maliyetli karar alınacaktır. Probleme konu edilen hayali A ürününe ait ÜA ve ÜAİ’ nda iş önceliğinin nasıl değiştiği Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. “A” Ürünü İçin Ürün Ağacı ve İş Önceliklerinin Sıralanması

Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi A ürünü için önce başlaması gereken işler en alt ağaç dallarındadırlar. Yalnız çoğu zaman bu en alttaki dallar birer hammadde olmaktadır. Hammaddelerin kullanılarak yarı mamullere ve yarı mamullerin de kullanılarak diğer yarı mamullere veya direk olarak ürüne dönüşmesi gerekmektedir. Bu süreç ister sürekli üretim sisteminin veya kesikli üretim sisteminin veya montaj hattının bir parçası olsun, ürünün oluşması için birbirinden farklı yarı mamul ve hammaddelerin farklı rotalardan gelmiş olduğunu değiştirmez. Üretim sisteminin stok için üretim mi yoksa sipariş için üretim mi olduğu durumu da bahsedilen bu durumu değiştirmeyecektir. A ürününe ait işlemlerin önceliklerini belirlemek için bu çalışma içerisinde oluşturulan ÜAİ yöntemi kullanılacaktır. Ardından, zaman tahminleri ile KA kullanılarak üret veya fason anlaşma yap kararları alınacaktır. Üretim içerisindeki bölümlerin ve bu bölümlere ait kaynakların planlanabilmesi içinde proje yönetimlerinde kullanılan gantt grafikleri kullanılacaktır. Deneyisel bir matematiksel model ile de gantt grafiği üzerinde ÜAİ verileri derlenerek yerleştirilecektir.

2.3.Ürün Ağaç İterasyonu

ÜAİ yöntemi şekil 2.1’ deki ÜA için her bir hammadde ve yarı mamulü birer düğüm olarak ele almaktadır. Bu düğümler üretmek istediğimiz A ürünü için birer yol haritası oluşturmaktadırlar. Bu yüzden izlenmesi gereken yegâne yolu bize ÜA’ nın kendisi vermektedir. ÜAİ yöntemi her düğümün kendinden bir alt seviyede bağlı olduğu düğüm ve kendinden bir üst seviyede bağlı olduğu düğüm sayıları ile ilgilenir. Düğümün bir alt seviyesinde kendisine bağlı olan düğüm sayısı X ve bir üst seviyesinde kendisinin bağlı olduğu düğüm sayısı Y ile mukayese edilerek tüm düğümlere ait önceliklerin belirlenmesi sağlanır. Her düğüm için iş öncelik sırası olarak $\bar{O}$ değeri hesaplanır. Öncelik değeri ile kast edilen uygun olan ilk zamanda hangi işin ilk olarak üretim sürecine dâhil edileceğidir. $\bar{O}$ değeri $\bar{O} = i, i \in N^+ (1, 2, 3, \dots, \infty)$ şeklinde sonsuza kadar uzanabilen sayıları temsil eder. Bu mukayese işlemi için düğümün Y sayısı en büyük olanlar ve X sayısı en az olanlar ilk önceliği alarak yani $\bar{O} = 1$ olarak, öncelik verme işlemine başlanır. Birinci öncelikleri alan düğümlerden sonra öncelik sırasının azalması için yani $\bar{O}$ değerinin artması için Y ve X sayılarının aynı şekilde mukayesede edilmesi ile tüm düğümlere birer öncelik sayısı atanır. En büyük öncelik sayısını alacak olan ve en son yapılacak işlem olarak adlandırılacak düğümler için Y sayısının en küçük ve X sayısının en büyük olduğu düğümlere bakılır. İlk başta yapılan bu işlem birinci

iterasyon olarak adlandırılır ve $\ddot{O}$ değeri 1 olarak belirlenen değerler $\ddot{U}A$ 'ndan çıkarılırlar. Bunun sebebi olarak hammadde eliminasyonu ile sadece üretilecek olan yarı mamullerin yapılacağı işlemlere odaklanmaktır. Hammadde eliminasyonu yapıldıktan sonra kalan düğümlerle aynı işlemlere devam edilir ve düğümlerin hepsine ait öncelik sırası belirlendikten sonra birinci öncelik değerini alanlar elimine edilerek bu işleme devam edilir. En son sadece bir düğüm kalana kadar yapılan bu işleme $\ddot{U}A$ kullanıldığı için $\ddot{U}A\ddot{I}$ adı verilmiştir. Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse aşağıdaki formüller $\ddot{O}$ değerinin her düğüm için nasıl hesaplandığını göstermektedir.

$$\ddot{O} = \text{İş öncelik sırası} \quad (2.1)$$

$$X = \text{Kendisine Bağlı Olan düğüm sayısı} \quad (2.2)$$

$$Y = \text{Kendisinin Bağlı Olduğu Düğüm Sayısı} \quad (2.3)$$

$$\ddot{O} = i, i \in N^+ (1, 2, 3, \dots, \infty) \quad (2.4)$$

$$i = \begin{cases} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ N^+ \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \forall \text{ Min } X \text{ Max } Y \downarrow \\ \forall \text{ Max } X \text{ Min } Y \uparrow \end{cases} \quad (2.5)$$

Yukarıda ki formüllerin daha anlaşılır olması için A ürününe ait $\ddot{U}A$ 'nın $\ddot{U}A\ddot{I}$ yöntemi ile çözümlenmesi gerekmektedir. Birinci iterasyondaki amacın hammadde eliminasyonu yapmak olduğu belirtilmiştir.

Birinci İterasyon: Şekil 2.1' de gösterildiği gibi ürün ağaçlarında tepedeki ürüne ulaşmak için öncelik sırası en altta yer alan ürünleri tamamlamak gerekmektedir. Aşağıdaki Tablo 2.1' de birinci iterasyon ile hammadde eliminasyonu yapılmıştır.

Tablo 2.1. A Ürünü için $\ddot{U}A\ddot{I}$ Birinci İterasyon

Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Düğüm Sayısı (x)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Düğüm Sayısı (y)	İş Öncelik Sırası
A	-	2	0	3
B	A	2	1	2
C	A	2	1	2
D	B	0	1	1
E	C	0	1	1
F	C	2	1	2
G	B	1	1	2
H	G	0	1	1
J	F	0	1	1

K	F	2	1	2
L	K	0	1	1
M	K	0	1	1

Tablo 2.1 deki hesaplamalar formül 2.5 ve 2.4 yardımıyla yapılmıştır. Birinci iterasyon sonucunda hammaddeleri elemek amaçlı gerçekleştirilmiştir. Tablo 2.1’de görüldüğü gibi D, E, H, J, L ve M ürünleri iterasyon işlemlerinden çıkarılır ve geri kalan ürünler tek ürün kalana kadar iterasyona tabi tutulur.

İkinci İterasyon: Tablo 2.2’de 2.5 ve 2.4 numaralı formüller kullanılarak, üretimde öncelik sırası K ve G ürünleri için 1 olarak hesaplanmıştır, şimdi bu ürünleri tablodan kaldırarak diğer ürünler için tekrar öncelik sırası hesaplanacaktır. Bu işlem artık iterasyon yapılacak ürün kalmayana dek devam edecektir.

Tablo 2.2. A Ürünü için ÜAİ İkinci İterasyonu

Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Düğüm Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Düğüm Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
A	-	2	0	3
B	A	1	1	2
C	A	1	1	2
F	C	1	1	2
G	B	0	1	1
K	F	0	1	1

Üçüncü İterasyon: Tablo 2.3’den de görüldüğü gibi, B ve F ürünleri için öncelik sayısı 1 olarak belirlenmiştir. Bu ürünlerin tablodan kaldırımı ile kalan ürünler için dördüncü bir iterasyon daha yapılmalıdır.

Tablo 2.3. A Ürünü için ÜAİ Üçüncü İterasyon

Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Düğüm Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Düğüm Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
A	-	2	0	3
B	A	0	1	1
C	A	1	1	2
F	C	0	1	1

Dördüncü İterasyon: Tablo 2.4 ’den de görüldüğü gibi, C ürünü için öncelik sayısı 1 olarak belirlenmiştir. Bu ürünün tablodan kaldırımı ile kalan tek ürün olan A için yapılacak beşinci iterasyonda öncelik sayısı 1 olacağı için yeni iterasyonu tablo ile

göstermeye gerek yoktur. İlk iterasyon haricindi kalan tüm iterasyonları aşağıdaki Tablo 2.5' den inceleyebiliriz.

Tablo 2.4. A Ürünü için ÜAİ Dördüncü İterasyon

Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Düğüm Sayısı (x)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Düğüm Sayısı (y)	İş Öncelik Sırası
A	-	1	0	2
C	A	0	1	1

Tablo 2.5. A ürünü için ÜAİ İterasyon Değerlendirmeleri

İterasyon No	Öncelik No	Düğüm
İterasyon#2	1	K, G
İterasyon#2	2	B,C,F
İterasyon#2	3	A
İterasyon#3	1	B,F
İterasyon#3	2	C
İterasyon#3	3	A
İterasyon#4	1	C
İterasyon#4	2	A
İterasyon#5	1	A

İş önceliği olarak K ve G ürünlerinin en üstün ürünler olduğu ortaya çıkmıştır. K ve G ürünlerinin ardından ikincil öncelik değerine sahip ürünler olarak B ve F ürünleri bulunmuştur. C ürünü ise B ve F ürünleri ile aynı zamanda yapılması gerektiğinde daha sonra yapılması gerektiği sahip olduğu öncelik sırası ile ortaya çıkmaktadır. Tablo 2.5'den yola çıkarak yapılacak iş dökümünü aşağıdaki Tablo 2.6 ile ifade edebiliriz.

Tablo 2.6. A Ürünü Üretimi için İş Döküm Yapısı

Öncelik	Düğüm	Düğüm No	Ana Düğüm	Ana Düğüm No	İş Akışı	İş Akışı No
1	K	6	F	4	$K \rightarrow F$	64
1	G	5	B	3	$G \rightarrow B$	53
2	F	4	C	2	$F \rightarrow C$	42
2	B	3	A	1	$B \rightarrow A$	31
3	C	2	A	1	$C \rightarrow A$	21
4	A	1	-	0	$A \rightarrow$	10

Bu verilerin matematiksel notasyonları, ifade 2.6' dan yararlanılarak Tablo 2.7'de verilmiştir.

$U_{i,j}^{nin}$ iş dökümünde A ürünü oluşturmak için yapılacak işlerin notasyonu (2.6)

$$U_{i,j}^{nin} \text{ için } \begin{cases} n = \text{öncelik sırası no, } n \in N^+(1,2,3, \dots, N) \\ i = \text{başlangıç çizge no, } i \in N^+(1,2,3, \dots, N) \\ j = \text{hedef çizge no, } j \in N^+(0,1,2,3, \dots, N) \end{cases} \quad (2.7)$$

Tablo 2.6' daki iş önceliklerini yeni tablomuz olan aşağıdaki tablo 2.7' de notasyonlar ile ifade edebiliriz.

Tablo 2.7. A Ürünü için Notasyonlu İş Döküm Yapısı

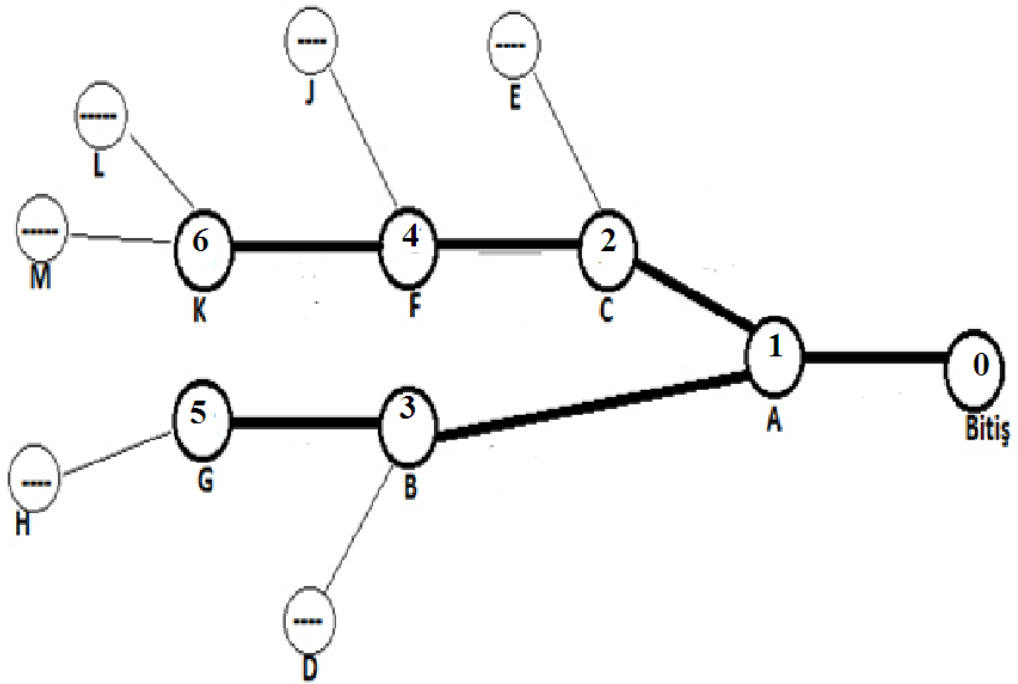
Öncelik	Düğüm	Düğüm No	Ana Düğüm	Ana Düğüm No	İş Akışı	İş Akışı No	Notasyon
1	K	6	F	4	$K \rightarrow F$	64	$U_{6,4}^{1,2}$
1	G	5	B	3	$G \rightarrow B$	53	$U_{5,3}^{1,2}$
2	F	4	C	2	$F \rightarrow C$	42	$U_{4,2}^{2,3}$
2	B	3	A	1	$B \rightarrow A$	31	$U_{3,1}^{2,4}$
3	C	2	A	1	$C \rightarrow A$	21	$U_{2,1}^{3,4}$
4	A	1	-	0	$A \rightarrow$	10	$U_{1,0}^{4,0}$

Daha önceki iterasyonlarda öncelikleri ve üretim yolumuzu belirlemiştik, $U_{i,j}^{nin}$ ifadesi üretim planlama ve çizelgeleme yaparken hangi işi, hangi işi yapabilmek için yapıyoruz sorusunun cevabını verecektir ayrıca aynı başlangıç düğümünden yada aynı öncelik sayısından başlayarak birden çok işe gireceğimizde kendinden sonra gelen öncelik sayısı küçük olanı seçerek daha optimal bir planlama yapabileceğiz. Aşağıdaki Tablo 2.8 ile notasyonlar açıklanmıştır.

Tablo 2.8. A Ürünü Üretimi için İş Dökümü Notasyon Açıklaması

Notasyon	Açıklama
$U_{6,4}^{1,2}$	K ürününün üretim işi
$U_{5,3}^{1,2}$	G ürününün üretim işi
$U_{4,2}^{2,3}$	F ürününün üretim işi
$U_{3,1}^{2,4}$	B ürününün üretim işi
$U_{2,1}^{3,4}$	C ürününün üretim işi
$U_{1,0}^{4,0}$	A ürününün üretim işi

Şekil 2.2 bizlere ulaşılmak istenilen A ürünü için öncesinde ulaşılabilecek ürünleri göstermektedir.



Şekil 2.2. A Ürünü için İş Dökümü Yapısı Ve Notasyonlar

2.4.Gerekli Yarı Mamul Miktarlarının Hesaplanması

Elde edilen iş dökümü ve öncelik notasyonu ile artık üretim planlamasını ve çizelgelemesini oluşturmak için modelimizi kurmaya başlayabiliriz. Model kurulması için her işin yapılacağı tezgahı ve üretim kaynaklarını belirlememiz gerekli. Tablo 2.9 ile Q adet üretime alınacak A ürünü için ÜA bilgisinden de faydalanarak hangi işin toplamda ne kadar yapılacağını hesaplayacağız.

Tablo 2.9. A ürünü için Üretilecek Miktar Hesaplama

Notasyon	Açıklama	ÜA Miktarı	Bağlı Olduğu Düğüm	İstenilen Adet
$U_{1,0}^{4,0}$	A ürününün üretim işi	1	-	$1*Q$
$U_{2,1}^{3,4}$	C ürününün üretim işi	3	A	$3*Q$
$U_{3,1}^{2,4}$	B ürününün üretim işi	2	A	$2*Q$
$U_{4,2}^{2,3}$	F ürününün üretim işi	2	C	$3*2*Q$
$U_{5,3}^{1,2}$	G ürününün üretim işi	2	B	$2*2*Q$
$U_{6,4}^{1,2}$	K ürününün üretim işi	2	F	$3*2*2*Q$

Tablo 2.9’ da hesaplanan üretim miktarlarını bulmak için sırasıyla aşağıdaki ifadeler, matematiksel formüller ve MİP algoritması kullanıldı.

$$i: \text{Başlangıç ürününün düğüm numarası, } i = i \in N^+(1,2,3, \dots, N) \quad (2.8)$$

j : Bağlanılan ürünün düğüm numarası,

$$j = i \in N^+(0,1,2,3, \dots, N) \quad (2.9)$$

$$N: \text{Başlangıç için gerekli tüm ürünlerin düğüm sayısı} \quad (2.10)$$

N

$$+ 1: \text{Bitiş için gerekli tüm ürünlerin düğüm sayısı} \quad (2.11)$$

A_{ij} : i . düğümdeki üretilerek j . düğümünde kullanılacak ürününün bağlantı

$$\text{katsayısı} \quad (2.12)$$

$$A_{ij} = \begin{cases} 0, & i. \text{ düğüm} \text{ den } j. \text{ düğüme bağlantı yoksa} \\ 1, & i. \text{ düğüm} \text{ den } j. \text{ düğüme bağlantı varsa} \end{cases}$$

$$(2.13)$$

B_{ij} i . düğümdeki üretilecek ürünün bağlı olduğu j . düğümdeki Ürün ağacındaki

$$\text{miktarı} \quad (2.14)$$

$$M_i: i. \text{ düğüm} \text{ den } j. \text{ düğüme üretilmesi gereken toplam miktar} \quad (2.15)$$

$$M_{ij}: i. \text{ düğüm} \text{ den } j. \text{ düğüme üretilmesi gereken miktar} \quad (2.16)$$

M_j : j . düğümdeki üründen üretilmesi gereken toplam miktar (2.17)

Algorithms MIP

Input A_{ij}, B_{ij}

Given $M_0 = Q$

Begin

For $i = 1$ to N step by step do,

For $j = 0$ to N step by step do,

If $A_{ij} = 0$ then,

$M_j := 0$,

Else

$M_j := M_j$

End If

$M_{ij} = A_{ij} * B_{ij} * M_j$

$M_i += M_{ij}$

Next j ,

Display M_i ,

Next i ,

Display all M_i

End

Yukarıdaki MIP algoritması ile Q adet üretilmesi gereken “A” ürünü için gereken yarı mamul miktarlarının belirlenmesi işlemi gerçekleştirildi. Q adet ihtiyaç duyulan “A” ürününe bir alt seviyede bağlı olan ürünlerin üretim miktarı ürün ağacındaki miktarlar ve “A” ürününün üretim miktarı ile çarpılarak bulundu. Bu işlem her düğüm için kendisinin bir altındaki ürünün ürün ağaç miktarı ile kendisinin üretim miktarı çarpılarak en alttaki düğümün üretim miktarı bulunarak devam ettirildi ve Tablo 2.9 elde edildi.

İş öncelik sıraları ve üretim için gerekli yarı mamul miktarları belirlendikten sonra hangi işin iç kaynak kullanılarak, hangi işin fasonda yapılacağı belirlenmesi KA yöntemi ile aşağıda gerçekleşecektir.

2.5. Karar Ağacı Yöntemi ile Üretim veya Fason Kararları

Üretici iş dökümündeki işleri kendisi iç kaynaklarını kullanarak yapabileceği gibi fason kaynak kullanarak ta yaptırabilir. Bu yüzden üreticinin vereceği en iyi kararının alınmasına yönelik BT ile koşullu olasılıkların hesaplanması sonucu her iki kaynak kullanım şeklinin beklenen maliyetleri hesaplanır ve beklenen maliyeti düşük olan karar seçilir. İki kaynak kullanımına yönelik öncül olaylarımız ve bu öncül olaylara ait olasılıklar mevcuttur. Öncül olaylardaki olasılıkların ek bilgi ile gelen yeni durumlar için soncul olasılığa çevrilmesi ve kararların maliyetleri ile çarpılarak beklenen maliyet değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Kararlara ait hesaplanan beklenen maliyetlerin mukayese edilmesi ile üretici kendisi için uygun kararı verebilecektir. Tablo 2.10’ da olayların tanımı ve öncül olasılıkları yer almaktadır. Ayrıca Tablo 2.11’de kararların maliyetine ilişkin hesap kalemleri bulunmaktadır.

Tablo 2.10: Olayların Tanımı ve Öncül Olasılıkları

Olay	Öncül Olasılıklar
Zamanında veya evvel iç kaynak ve fason kaynak kullanılarak üretimin gerçekleşmesi olayı - A	P(A)
İç kaynak ve fason kaynak kullanılarak planlanandan geç üretimin gerçekleşmesi olayı- B	P(B)
Geçmişte benzer işlerin iç kaynak kullanılarak üretilme olayı - u	P(u)
Geçmişte benzer işlerin fason kaynak kullanılarak üretilme olayı - f	P(f)

Tablo 2.11: Kararların Maliyetine İlişkin İfadeler

Karar	Tahmini bir birim üretim süresi	Normal üretim zamanı birim maliyetleri TL	Zamanında üretememe birim maliyeti TL
Üret	t_u	X_u	Y_u
Fason	t_f	X_f	Y_f

Tablo 2.11' deki maliyet kalemlerinden t_u değeri üretim içi uzmanların verdikleri iş yapılış sürelerinin ortalamasıdır. Yukarıdaki tablo 2.11'de t_f değeri ise fason kaynaklardan alınan üretim zamanlarının ortalamasıdır. X_u değeri üretimde gerçekleşecek olan iş için yapılacak iş miktarı ile normal çalışma ücretinin çarpılarak bulunmasında ki normal işçilik birim ücretidir. Y_u değeri ise üretimde gerçekleşecek iş için ne kadar süre geç kalınacağı bilinmediği için iş miktarın normal çalışma ücretinin 2 katı ile çarpılması ile oluşan geç kalma maliyetinin bulunmasındaki normal ücretin 2 katı olan değerdir. X_f değeri fasonda gerçekleşecek olan iş için yapılacak iş miktarı ile normal çalışma ücretinin çarpılarak bulunmasında ki normal işçilik birim ücretidir. Y_f değeri ise fasonda gerçekleşecek iş için ne kadar süre geç kalınacağı bilinmediği için iş miktarın normal çalışma ücretinin 2 katı ile çarpılması ile oluşan geç kalma maliyetinin bulunmasındaki normal ücretin 2 katı olan değerdir. Karar ağacımızı oluşturabilmek için soncul olasılıkların hesaplanmasında formül 1.2' den yararlanılır ve karar ağacı üzerinde ifade edilmek istenildiğinde, aşağıdaki şekil 2.3 elde edilir. Aşağıdaki soncul olasılık hesaplamaları ise beklenen maliyet hesaplarında kullanılacaktır.

$$P(u | A): \text{Zamanında gerçekleştiği bilindiğinde bunun üretimde yapılma olasılığı} \quad (2.18)$$

$$P(f | A): \text{Zamanında gerçekleştiği bilindiğinde bunun fasonda yapılma olasılığı} \quad (2.19)$$

$$P(u | B): \text{Zamanında gerçekleşmediğinde bunun üretimde yapılma olasılığı} \quad (2.20)$$

$$P(f | B): \text{Zamanında gerçekleşmediğinde bunun fasonda yapılma olasılığı} \quad (2.21)$$

$$P(A | u): \text{Üretimde gerçekleştiğinde zamanında ve evvel gerçekleşme olasılığı} \quad (2.22)$$

$$P(B | u): \text{Üretimde gerçekleştiğinde zamanından geç gerçekleşme olasılığı} \quad (2.23)$$

$$P(A | f): \text{Fasonda gerçekleştiğinde zamanında ve evvel gerçekleşme olasılığı} \quad (2.24)$$

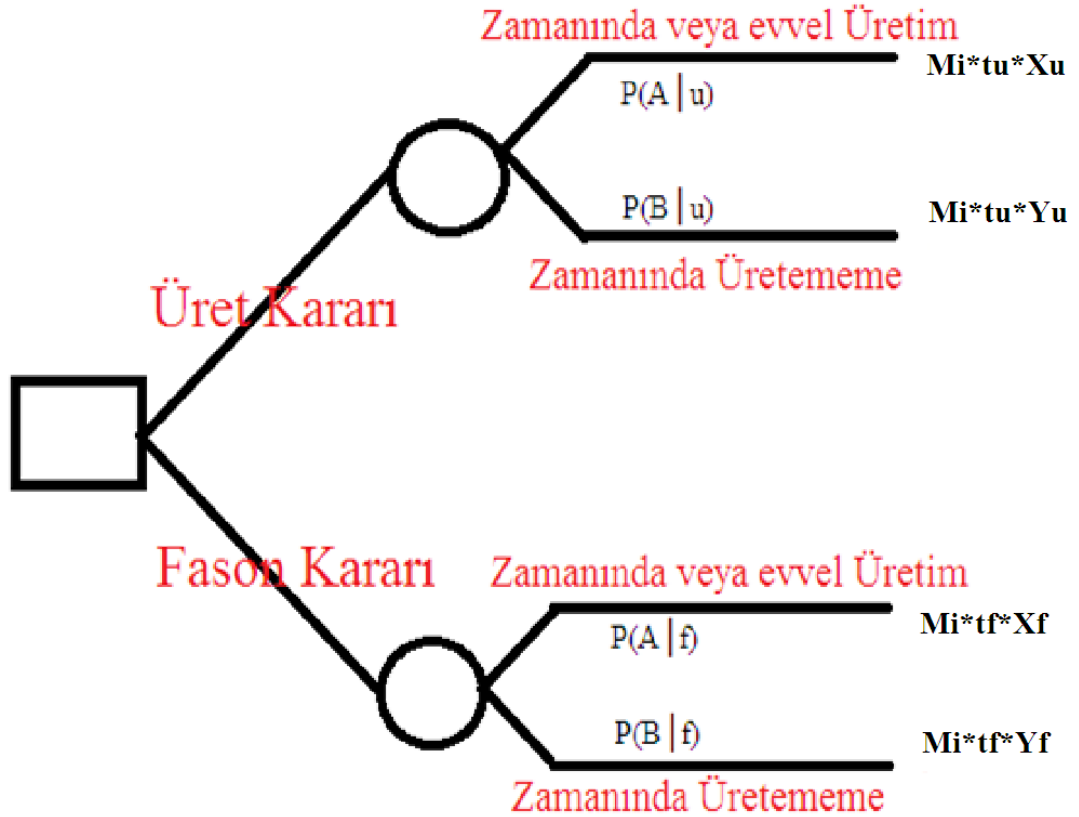
$$P(B | f): \text{Fasonda gerçekleştiğinde zamanından geç gerçekleşme olasılığı} \quad (2.25)$$

$$P(A | u) = \frac{P(A) \cdot P(u | A)}{P(A) \cdot P(u | A) + P(B) \cdot P(u | B)} \quad (2.26)$$

$$P(B | u) = \frac{P(B) \cdot P(u | B)}{P(B) \cdot P(u | B) + P(A) \cdot P(u | A)} \quad (2.27)$$

$$P(A | f) = \frac{P(A) * P(f | A)}{P(A) * P(f|A) + P(B) * P(f | B)} \quad (2.28)$$

$$P(B | f) = \frac{P(B) * P(f | B)}{P(B) * P(f|B) + P(A) * P(f|A)} \quad (2.29)$$



Şekil 2.3. Üret veya Fasona Gönder Karar Ağacı

Şekil 2.3 ile herhangi bir işlemin üretimde mi yapılacağı yoksa fason kaynak kullanılarak mı yapılacağı sorusuna cevap bulmak amaçlı geriye doğru üret ve fason kararlarının beklenen maliyetlerinin toplamı bulunması gerekmektedir. Aşağıdaki formüller ile bu kararlara ait mukayese işlemi gerçekleştirilir.

$$\text{Üretme kararının beklenen maliyeti: } M_u \quad (2.30)$$

$$M_u = (P(A|u) * M_i * t_u * X_u) + (P(B|u) * M_i * t_u * Y_u) \quad (2.31)$$

$$\text{Fasona gönderme kararının beklenen maliyeti: } M_f \quad (2.32)$$

$$M_f = (P(A|f) * M_i * t_f * X_f) + (P(B|f) * M_i * t_f * Y_f) \quad (2.33)$$

Eğer $M_u \leq M_f$ ise üretim kararı alınması gerekmektedir. Aksi durumda ise fason karanın alınması gerekmektedir.

2.6.Model Kurulumu ve Üretim Planlama

Çizelgeleme matematiksel modelinde tezgahlar arasında birbiri sıra yapılacak işlerde, herhangi bir tezgahın diğer bir tezgahdaki yarı mamul beklemesinden kaynaklanan boş sürelerin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Şimdiye kadar üretimde hangi işleri önce yaparak daha optimum planlama yapabileceğimize yönelik ifade 2.6' ı ve bu işten ne kadar üretileceğine dair ifade 2.15'i bulduk. Bundan sonra geliştirilecek ifadeler üretim planlamayı yapmamız için gerekli olan tezgâh kurulum süresi, parça işlem süresi, tezgâhlar arası yüzde ilerleme ile kendinden sonraki başlayacak iş için başlangıç zamanını daha erkene almak gibi ifadeler tanımlanacaktır. Ayrıca bölümler için gerekli kapasite ihtiyaçları ve gerekli eleman ihtiyaçları belirlenerek çizelgeleme yapılacaktır.

Matematiksel Model

$$T_{i,j}^{n_j}: U_{i,j}^{n_j} \text{ işine ait tezgah kurulum süresi} \quad (2.34)$$

$$I_{i,j}^{n_j}: U_{i,j}^{n_j} \text{ işine ait birim başına işlem süresi} \quad (2.35)$$

$$Y_{i,j}^{n_j}: U_{i,j}^{n_j} \text{ işine ait yüzde ilerleme} \quad (2.36)$$

$$D_a: U_{i,j}^{n_j} \text{ işinin yapılacağı üretim bölümü} \quad (2.37)$$

$$E_i: U_{i,j}^{n_j} \text{ işinde çalıştırılacak eleman sayısı} \quad (2.38)$$

$$P_a: D_a \text{ bölümünde eleman çalıştırma saatlik ücreti} \quad (2.39)$$

$$TE_i: \text{En geç başlama zamanı} \quad (2.40)$$

$$TB_i: \text{En geç bitiş zamanı} \quad (2.41)$$

$$TI_i: \text{Gerçekleşmesi planlanan işlem süresi} \quad (2.42)$$

Tüm Da' lar için ayrı ayrı bölüm çalışma maliyetleri

$$Maliyet_a = \sum_i^S TI_i * E_i * P_a \quad i = i \in N^+(1,2,3, \dots, S) \text{ ve } i = (a \text{ bölümünde yapılacak işlemlerin kümesi}) \quad (2.43)$$

$$TI_i = TB_i - TE_i \quad (2.44)$$

$$k, i. \text{ ci düğüme direk bağlı işlerdir ve } k \in N^+(1,2,3, \dots, K) \quad (2.45)$$

$$TB_i = \text{Max} \begin{cases} TB_k + Y_{k,j}^{ni,nj} M_k I_{k,j}^{ni,nj} \\ \vdots \\ TB_1 + Y_{1,j}^{ni,nj} M_1 I_{1,j}^{ni,nj} \\ TE_i + T_{i,j}^{ni,nj} + M_i I_{i,j}^{ni,nj} \end{cases} \quad (2.46)$$

$$TE_i = \text{Max} \begin{cases} TE_k + T_{k,j}^{ni,nj} + Y_{k,j}^{ni,nj} M_k I_{k,j}^{ni,nj} \\ \vdots \\ TE_1 + T_{1,j}^{ni,nj} + Y_{1,j}^{ni,nj} M_1 I_{1,j}^{ni,nj} \end{cases} \quad (2.47)$$

İfade 2.46 ve 2.47 ile düğümden yapılacak iş için en geç optimum başlama süresi ve en geç optimum bitiş süreleri hesaplanmıştır. Yüzde ilerlememe yardımı ile bir kendinden önce ki işin bitmesini beklemeden ,önceki başlayan işin toplam miktarının istenilen yüzde ilerlemesi tamamlandıktan düğümden iş başlayabilir, bu şekilde tezgahlar arasındaki bekleme oranı azaltılmaya ve işlerin daha hızlı bitmesi amaçlanmaktadır.

2.6.1. Çizelgeleme Yöntemi

ÜAİ yöntemi ile iş dökümünü elde ettikten sonra, iş dökümündeki her iş için fason mu yoksa üretim mi? kararlarının alınması işlemi ile artık çizelgeleme işlemi için verilerimizi derleyebiliriz. Yukarıda ki matematiksel model ile işlemlere ait notasyonları kullanarak her işlemin toplam süresini, tezgâh kurulum süresini de işin içerisine katarak hesaplanması aşağıdaki tablo 2.12 de gösterilmiştir.

Tablo 2.12. Toplam Gerekli Zaman Hesaplama Tablosu

Notasyon	İstenilen Adet	Anası Olduğu Düğüm	Bağlı Olduğu Düğüm	Tezgah Kurulum Süresi	Birim Başına İşlem Süresi	Toplam Zaman
$U_{6,4}^{1,2}$	M_6	-	F	$T_{6,4}^{1,2}$	$i_{6,4}^{1,2}$	$T_{6,4}^{1,2} + M_6 * i_{6,4}^{1,2}$

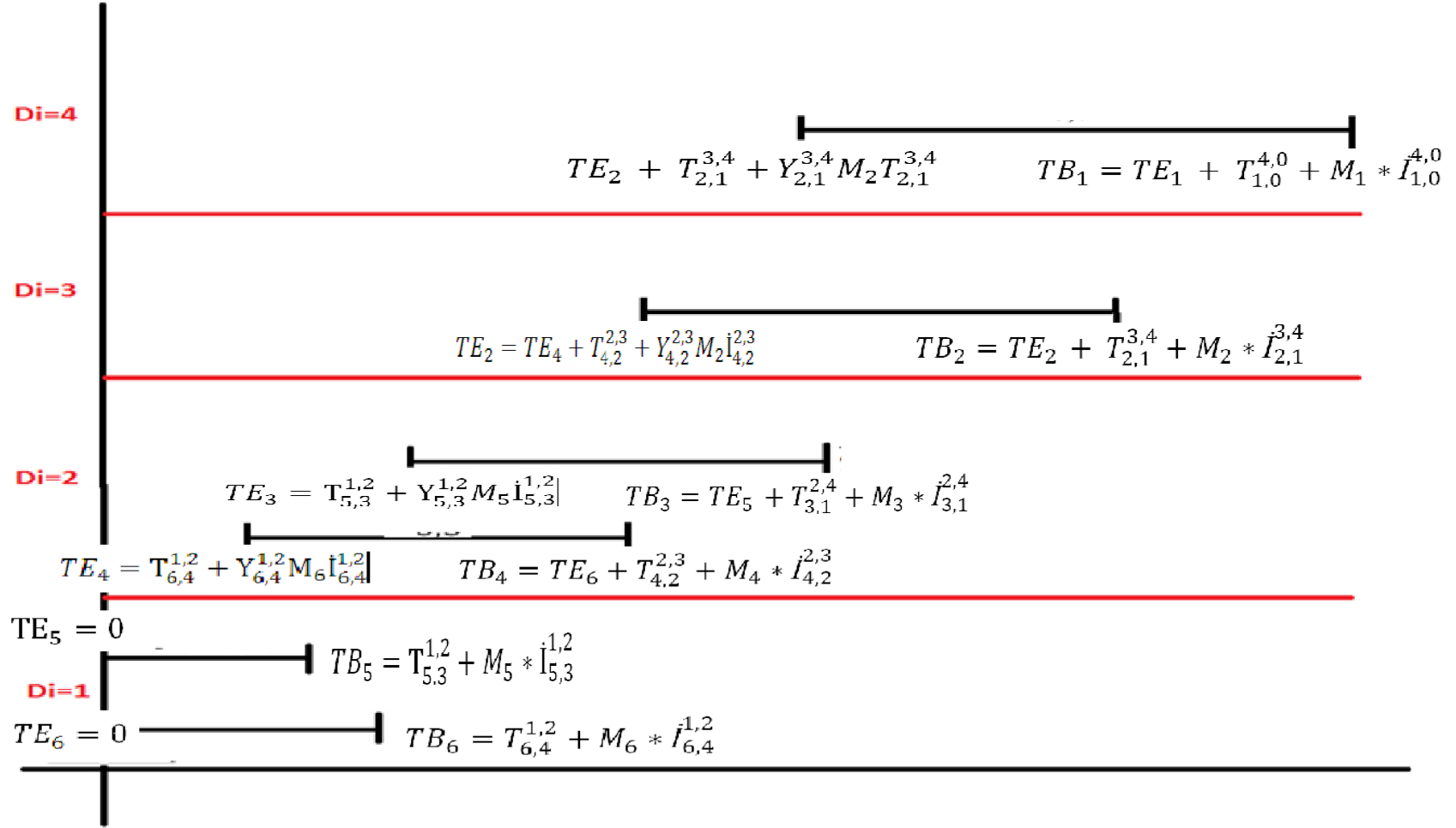
$U_{5,3}^{1,2}$	M_5	-	B	$T_{5,3}^{1,2}$	$i_{5,3}^{1,2}$	$T_{5,3}^{1,2} + M_5 * i_{5,3}^{1,2}$
$U_{4,2}^{2,3}$	M_4	K	C	$T_{4,2}^{2,3}$	$i_{4,2}^{2,3}$	$T_{4,2}^{2,3} + M_4 * i_{4,2}^{2,3}$
$U_{3,1}^{2,4}$	M_3	G	A	$T_{3,1}^{2,4}$	$i_{3,1}^{2,4}$	$T_{3,1}^{2,4} + M_3 * i_{3,1}^{2,4}$
$U_{2,1}^{3,4}$	M_2	F	A	$T_{2,1}^{3,4}$	$i_{2,1}^{3,4}$	$T_{2,1}^{3,4} + M_2 * i_{2,1}^{3,4}$
$U_{1,0}^{4,0}$	M_1	B,C	-	$T_{1,0}^{4,0}$	$i_{1,0}^{4,0}$	$T_{1,0}^{4,0} + M_1 * i_{1,0}^{4,0}$

Yukarıda ki tablo 2.12 ile hesaplanan toplam zamanlar işlemlere ait en geç başlama ve en geç bitme zamanlarının hesaplanmasında kullanılacaktır. Bu hesaplama işlemleri aşağıdaki tablo 2.13 'de verilmiştir.

Tablo 2.13. Başlama ve Bitiş Zaman Tablosu

Notasyon	Bölüm No	Gerekli Eleman Sayısı	En Geç Başlama Zamanı	En Geç Bitirme Zamanı
$U_{6,4}^{1,2}$	$D_1 = 1$	$E_1 = 1$	$TE_6 = 0$	$TB_6 = T_{6,4}^{1,2} + M_6 * i_{6,4}^{1,2}$
$U_{5,3}^{1,2}$	$D_2 = 1$	$E_2 = 1$	$TE_5 = 0$	$TB_5 = T_{5,3}^{1,2} + M_5 * i_{5,3}^{1,2}$
$U_{4,2}^{2,3}$	$D_3 = 2$	$E_3 = 2$	$TE_4 = T_{6,4}^{1,2} + Y_{6,4}^{1,2} M_6 i_{6,4}^{1,2}$	$TB_4 = TE_6 + T_{4,2}^{2,3} + M_4 * i_{4,2}^{2,3}$
$U_{3,1}^{2,4}$	$D_4 = 2$	$E_3 = 2$	$TE_3 = T_{5,3}^{1,2} + Y_{5,3}^{1,2} M_5 i_{5,3}^{1,2}$	$TB_3 = TE_5 + T_{3,1}^{2,4} + M_3 * i_{3,1}^{2,4}$
$U_{2,1}^{3,4}$	$D_5 = 3$	$E_2 = 3$	$TE_2 = TE_4 + T_{4,2}^{2,3} + Y_{4,2}^{2,3} M_2 i_{4,2}^{2,3}$	$TB_2 = TE_2 + T_{2,1}^{3,4} + M_2 * i_{2,1}^{3,4}$
$U_{1,0}^{4,0}$	$D_6 = 4$	$E_6 = 4$	$TE_1 = \text{Max} \begin{cases} TE_3 + T_{3,1}^{2,4} + Y_{3,1}^{2,4} M_3 i_{3,1}^{2,4} \\ TE_2 + T_{2,1}^{3,4} + Y_{2,1}^{3,4} M_2 i_{2,1}^{3,4} \end{cases}$	$TB_1 = TE_1 + T_{1,0}^{4,0} + M_1 * i_{1,0}^{4,0}$

Aşağıdaki şekil 2.4 ile bölümlere ait yapılacak işlemlerin sıralaması verilmiştir. Bölümler içerisinde ki iş sıralaması ÜAİ yoluyla elde edilen iş önceliklerine göre belirlenmiştir. Bu şekilde iş öncelik kuralına göre birbirini izleyen işlerin daha verimli olarak yapılabilmesi ve üretim içerisindeki boş zaman kayıpların azaltılması amaçlanmıştır.



Şekil 2.4. A Ürünü İşlemleri için Üretim Çizelgeme

3. BÖLÜM

VARSAYIMSAL SENARYO VE PROBLEM ÇÖZÜMÜ

3.1.Tek Ürün İmalatı için Problem Oluşturma ve Problem Çözümü

Problem çözüm önerisi olarak ortaya konulan bu çalışmanın doğruluğunu göstermek amaçlı, hayali bir ürünün üretiminin gerçekleştirilmesi işlemlerine dair, iş dökümünün elde edilmesi ve elde edilen iş dökümündeki işlemlerin fasonda mı yoksa üretimde mi gerçekleştirileceğine karar verilecektir. Ayrıca iş dökümünün çizelgelenmesi ve bölüm içerisindeki işlerin sıralanması yapılacaktır. Bu işlemler sırasında, ana amaç daha önceki konularda da değinildiği gibi üretim içindeki bölümlerde boş zamanların azaltılması ve maliyeti üretmekten daha az olan işlerin fasona gönderilmesi amaçlanmaktadır.

3.1.1. Varsayımsal Senaryo

Hayali bir metal firması olan ABC firmasında özel sipariş üzerine oturma bankı protipi üretilmiştir. Müşterinin beğenisi üzerine, seri üretim faaliyetleri gerçekleştirme kararı alınmıştır. 1000 adet üretilecek olan bu ürün için zaman etütleri yapılmamıştır. Üretimin hangi kısımlarının iç kaynak hangilerinin dış kaynak kullanılarak yapılacağına henüz karar verilmemiştir. Üretim birimleri arasında boş zaman bırakmaksızın fason ve üretim maliyetlerini göz önünde bulundurarak, ürüne ait üretim işlemlerinin ve kaynaklarının planlanması gerekmektedir. İlk defa seri üretime alınacak olan bu ürün için daha önce benzer ürünlerdeki tecrübeler kullanılarak ve zaman tahminleri yapılması gerekmektedir. Ayrıca fason ve üretim maliyeti hesaplamaları yapılabilmesi için tedarikçilerden gelecek bilgilere ihtiyaç vardır. Bank ağırlıklı olarak metal profil ve malzemelerin birleşimi olan bir üründür. Üretim yöntemi olarak kesikli üretim tipine uygun bir yapıdadır. Aynı tezgâhlarda yapılacak olan işlerin sıralanması bakımından da oldukça güzel bir örnektir. ÜAİ yönteminin denenmesi için uygun bir yapı vermektedir.

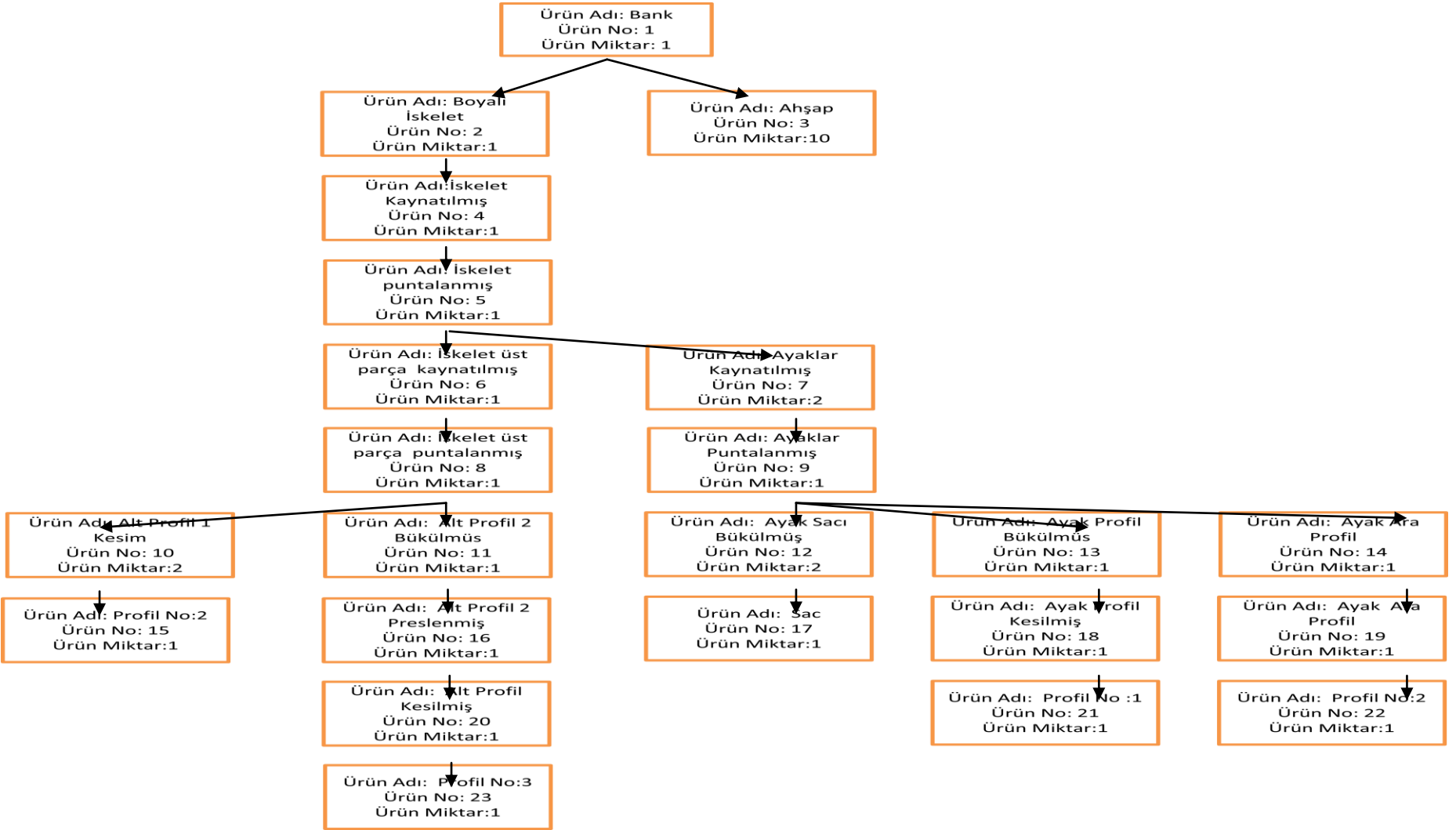
Problemin basitleştirilmesi açısından işlemler tek tezgâhta yapıldığı varsayılacaktır. İşlemlere ait zaman tahminleri, üretimde benzer işleri yapmış kalifiye elemanların tahminleri kullanılarak yapıldığı kurgulanmıştır. Ürünün üretimi esnasında montaj, makine işlemi, fason ve insan gücü gereksinimleri bakımından iş akışının genel yönetimi açısından oldukça iyi bir deneme problemidir. Birden çok kaynağın ve üretim biriminin kullanılarak iş atamalarının yapılması ve bölümler arasındaki boş zamanı yok etmek amaçlı oldukça iyi bir çizelgeleme ve sıralama problemidir. Ürün üretimi hayali bir işletmede gerçekleşeceği için çizelgeleme zaman başlangıcı olarak sıfır anı alındığı ve tüm zaman tahminlerinin dakika olarak ele alındığı varsayılacaktır. Bu şekilde günler ve haftalar süren üretim işlemleri dakika olarak çizelgelenecektir.

Bank üretimi için gerekli olan personel sayısının üretim öncesi belirlenmesi ile kapasite ihtiyaçlarına da göz atılabilecektir. Kaynakların çalışma süreleri daha az maliyetli fason kaynak kullanılarak azaltılması zaman ve sermaye açısından verimli bir üretim yönetimi ortaya koyacaktır.

3.1.2. Ürün Bilgileri

Bank ürünü ilk defa üretime alınacağı için daha önceki prototip üretiminden elde edilen ÜA bilgileri elde bulunmaktadır. Ürün geliştirme süreci içerisinde deneme yanılma yöntemi ile ürüne ait parçaların nasıl verimli üretileceğine dair metot denemeleri yapılmıştır. Fakat sonuçta ilk defa üretilecek bir ürün olduğu için zamanla ilgili kesin verilerin ürün üretimden tam olarak çıkmadan öğrenmek mümkün değildir. Bu sebeple iş akışını ortaya koyabilmek amaçlı ÜAİ yöntemi kullanılacaktır. ÜAİ yönteminin kullanılabilmesi için ÜA' na ihtiyacımız bulunmaktadır. Şekil 3.1 bir adet bank üretimi için gerekli ÜA verilmektedir. Şekil 3.1' deki her ürünün birer düğüm olarak ele alınması ve kendilerinden yukarıda olan düğümlerle birbirlerine bağlantıları da yapılması gereken üretim işleri olarak ele alınması gerekmektedir. Böylece, birbirlerini izleyen düğümler üretimde iş rotalama açısından kolaylık sağlar ve bu düğümlerin ÜAİ yöntemi ile derlenmesi sonucu iş dökümünün ve iş önceliklerinin hesaplanması kolaylaşır.

Şekil 3.1. Bank Üretimi için Ürün Ağacı



Şekil 3.1 deki ÜA’ da verilen bilgilerden Tablo 3.1 elde edilir. Tablo şeklinde sunum ile ÜA daha kolay bir şekilde ÜAİ yöntemi ile iterasyonlara tabi tutulabilir. Tablo 3.1’deki ürün ağaç miktarları 1 adet bank üretimi yapabilmek için gerekli olan ÜA miktarlarıdır. Probleme konu olan bin adet bank üretebilmek için gerekli olan gerçek MİP oluşturmak için ifade 2.15’ in tüm ürünler için hesaplanması gerekmektedir.

Tablo 3.1. Bank Üretimi için Gerekli Ürün Ağaç Miktarları

Düğüm	Ana Düğüm	Ürün Adı	Ürün Ağacı Miktarı
1	0	Bank	1
2	1	Boyalı İskelet	1
3	1	Ahşap	10
4	2	İskelet Kaynatılmış	1
5	4	İskelet Puntalanmış	1
6	5	İskelet Üst Parça kaynatılmış	1
7	4	Ayaklar Kaynatılmış	2
8	6	İskelet üst parça Puntalanmış	1
9	7	Ayaklar Puntalanmış	1
10	8	Alt profil 1 Kesim	2
11	8	Alt profil 2 Bükülmüş	4
12	9	Ayak Sacı bükülmüş	2
13	9	Ayak Profil bükümlü	1
14	9	ayak ara profil presli	1
15	10	Profil No:2	1
16	11	Alt Profil 2 Presleme	1
17	12	Sac No:1	1
18	13	Ayak Profil Kesim	1
19	14	Ayak Ara Profil Kesim	1
20	16	Ayak Profil 2 Kesim	1
21	18	Profil No:1	1
22	19	Profil No:2	1
23	20	Profil No:3	1

Tablo 3.1 ile üretilecek ve tüketilecek mamullerin listelenmesi sağlanmıştır fakat üretimin hangi bölümünde yapılacağına dair bilgiler verilmemiştir. Tablo 3.2 ile bank üretimi için üretilecek mamullerin hangi üretim bölümünde üretileceği bilgisi verilmiştir. Üretimin gerçekleşeceği birimlerin bilgisi de edinildikten sonra kalifiye elemanlardan zaman tahminleri alınması ve fason üretim için tedarikçi firmalardan zaman tahminleri ve maliyetlerin alınması gereklidir.

Tablo 3.2. Bank Üretimi için Üretim Birimleri

Level	Düğüm	Ürün Adı	Bölüm ADI	Bölüm No:
0	1	Bank	Montaj	11
1	2	Boyalı İskelet	Boyahane	10
1	3	Ahşap	Ürün Temin	0
2	4	İskelet kaynatılmış	Kaynakthane6	9
3	5	İskelet puntalanmış	Kaynakthane5	8
4	6	İskelet Üst Parça kaynatılmış	Kaynakthane4	7
4	7	Ayaklar Kaynatılmış	Kaynakthane3	6
5	8	İskelet üst parça puntalanmış	Kaynakthane2	5
5	9	Ayaklar puntalanmış	Kaynakthane1	4
6	10	Alt profil 1 Kesim	Testere Kesim	1
6	11	Alt profil 2 Bükülmüş	Büküm	3
6	12	Ayak Sacı bükülmüş	Press	2
6	13	Ayak Profil bükümlü	Büküm	3
6	14	Ayak ara profil presli	Press	0
7	15	Profil No:2	Ürün Temin	0
7	16	Alt Profil 2 Presleme	Press	2
7	17	Sac No:1	Ürün Temin	0
7	18	Ayak Profil Kesim	Testere Kesim	1
7	19	Ayak Ara Profil Kesim	Testere Kesim	1
8	20	Alt Profil 2 Kesim	Testere Kesim	1
8	21	Profil No:1	Ürün Temin	0
8	22	Profil No:2	Ürün Temin	0
9	23	Profil No:3	Ürün Temin	0

Tablo 3.2’ deki bazı ürünlere ait bölüm numaraları 0 olarak verilmiştir. Bu ürünler dışarıdan temin edilmesi zorunlu olan hammadde lerdir. Bu yüzden bölüm numarası 0 olan ürünleri ÜAİ iterasyonu ile elimine edilecek ve kalan ürünlerin oluşturdukları düğümler notasyonlara çevrilecektir.

3.1.3. Ürüne Ait İş Dökümünün Ürün Ağaç İterasyonu ile Elde Edilmesi

Tablo 3.1 ve 3.2’ deki bilgiler ışığında ÜAİ iterasyonu işlemleri yapılacaktır. İlk öncelikle hammadde iterasyonu için birinci iterasyon ardından, hangi ürünün, üretimde öncelik sahibi olacağına dair iterasyonlar devam edecek. İterasyonlar tablolar halinde yapı lıp, her iterasyon sonucu özet bir tabloda toplanacak ve iş önceliğine göre notasyonlar oluşturulacaktır. ÜAİ yöntemi daha öncede değinilen, formül 2.1 ve 2.5 yardımıyla gerçekleştirilecektir. Birinci iterasyon sonuçları Tablo 3.3 ile verilmiştir.

Tablo 3.3. Birinci İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	2	0	4
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2
Ahşap	3	1	0	1	1
İskelet kaynatılmış	4	2	1	1	2
iskelet puntalanmış	5	4	2	1	3
İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	1	1	2
Ayaklar Kaynatılmış	7	4	1	1	2
İskelet üst parça puntalanmış	8	6	2	1	3
Ayaklar Puntalanmış	9	7	3	1	4
Alt profil 1 Kesim	10	8	1	1	2
Alt profil 2 Bükülmüş	11	8	1	1	2
Ayak Sacı bükülmüş	12	9	1	1	2
Ayak Profil bükümlü	13	9	1	1	2
ayak ara profil presli	14	9	1	1	2
Profil No:2	15	10	0	1	1
Alt Profil 2 Presleme	16	11	1	1	2
Sac No:1	17	12	0	1	1
Ayak Profil Kesim	18	13	1	1	2
Ayak Ara Profil Kesim	19	14	1	1	2
Alt Profil 2 Kesim	20	16	1	1	2
Profil No:1	21	18	0	1	1
Profil No:2	22	19	0	1	1
Profil No:3	23	20	0	1	1

Birinci iterasyon ile 6 tane hammadde kalemi ÜAİ işlemlerinden kaldırılmıştır. Artık hammadde olduğu için bir işlemten geçirilerek üretilmek zorunda olmadığı anlaşılan bu ürünler iterasyon işlemlerinde yer almayacaktır. Formül 2.3 ve 2.4 ile belirtilen X ve Y sayıları aranacak ve birbirleri ile mukayese edilerek öncelik sıralamaları bulunmuştur. X sayısının en az olduğu düğümlerde Y sayısının en fazla olduğu düğümler araştırılarak birinci önceliğin o düğümlere verilmesi gerekmektedir. Söyle ki Tablo 3.3’ de X sayısı 0 olanlar ile Y sayısı 1 olanlar gruplanarak birinci önceliği almışlardır. Kaldırılan bu ÜA kalemleri sonrasında geriye kalan işler için öncelik arayışına başlanılacaktır. Bu yüzden kalan ürünler ÜAİ yöntemi ile ikinci iterasyona tabi tutulacaktır. Formül 2.3 ve 2.4 ile belirtilen X ve Y sayıları aranacak ve birbirleri ile mukayese geriye kalan işler için iş öncelik sıraları bulunmuştur. Tablo 3.4’ de ikinci iterasyon sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.4. İkinci İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	5
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2
İskelet kaynatılmış	4	2	1	1	2
iskelet puntalanmış	5	4	2	1	4
İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	1	1	2
Ayaklar Kaynatılmış	7	4	1	1	2
İskelet üst parça puntalanmış	8	6	2	1	4
Ayaklar Puntalanmış	9	7	3	1	3
Alt profil 1 Kesim	10	8	0	1	1
Alt profil 2 Bükülmüş	11	8	1	1	2
Ayak Sacı bükülmüş	12	9	0	1	1
Ayak Profil bükümlü	13	9	1	1	2
ayak ara profil presli	14	9	1	1	2
Alt Profil 2 Presleme	16	11	1	1	2
Ayak Profil Kesim	18	13	0	1	1
Ayak Ara Profil Kesim	19	14	0	1	1
Alt Profil 2 Kesim	20	16	0	1	1

Tablo 3.4’ de X sayısı 0 olanlar ile Y sayısı 1 olanlar gruplanarak birinci önceliği almışlardır. Kalan düğümler için ise X sayısı sıfıra en yakın olan değer seçilir ve bu satırlarda Y sayısının en yüksek ve aynı olduğu düğümler ikinci önceliği paylaşırlar. Birinci önceliği paylaşan düğümler ÜAİ yönteminden çıkarılarak üçüncü iterasyona geçilir. Bu yüzden kalan ürünler ÜAİ yöntemi ile üçüncü iterasyona tabi tutulacaktır. Aynı işlemler devam ettirilerek bulunan üçüncü iterasyon sonuçları Tablo 3.5’ de verilmiştir.

Tablo 3.5. Üçüncü İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	4
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2

İskelet kaynatılmış	4	2	1	1	2
iskelet puntalanmış	5	4	2	1	3
İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	1	1	2
Ayaklar Kaynatılmış	7	4	1	1	2
İskelet üst parça puntalanmış	8	6	1	1	2
Ayaklar Puntalanmış	9	7	2	1	3
Alt profil 2 Bükülmüş	11	8	1	1	2
Ayak Profil bükümlü	13	9	0	1	1
ayak ara profil presli	14	9	0	1	1
Alt Profil 2 Presleme	16	11	0	1	1

ÜAİ yöntemi sürekli tekrarlanarak tabloda tek bir satır kalana kadar diğer iterasyonlar da yapılmalıdır. Ağacıda verilen Tablo 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 ve 3.11 geriye kalan iterasyon sonuçlarını vermektedir.

Tablo 3.6. Dördüncü İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	3
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2
İskelet kaynatılmış	4	2	1	1	2
iskelet puntalanmış	5	4	1	1	2
İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	1	1	2
Ayaklar Kaynatılmış	7	4	1	1	2
İskelet üst parça puntalanmış	8	6	1	1	2
Ayaklar Puntalanmış	9	7	0	1	1
Alt profil 2 Bükülmüş	11	8	0	1	1

Tablo 3.7. Beşinci İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	3
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2
İskelet kaynatılmış	4	2	1	1	2
iskelet puntalanmış	5	4	1	1	2

İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	1	1	2
Ayaklar Kaynatılmış	7	4	0	1	1
İskelet üst parça puntalanmış	8	6	0	1	1

Tablo 3.8. Altıncı İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	3
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2
İskelet kaynatılmış	4	2	1	1	2
iskelet puntalanmış	5	4	1	1	2
İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	0	1	1

Tablo 3.9. Yedinci İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	3
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2
İskelet kaynatılmış	4	2	1	1	2
iskelet puntalanmış	5	4	0	1	1

Tablo 3.10. Sekizinci İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	3
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2
İskelet kaynatılmış	4	2	0	1	1

Tablo 3.11: Dokuzuncu İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	2
Boyalı İskelet	2	1	0	1	1

Tablo 3.11 de yapılan dokuzuncu iterasyon ile artık sadece tek ürünümüz kalmış olacaktır. Böylece ÜAİ yöntemiyle elde edilen iterasyon birincilerini aşağıdaki tablo 3.12 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.12. İterasyon Birincileri

İterasyon#1	Hammadde Eliminasyonu
İterasyon#2	18, 19, 20, 10, 4
İterasyon#3	13, 14, 16
İterasyon#4	9,11
İterasyon#5	8,7
İterasyon#6	2, 4, 6
İterasyon#7	5
İterasyon#8	4
İterasyon#9	2
İterasyon#10	1

Tablo 3.12 ile, yapılan 9 iterasyonun sonuçları ile birincileri belirlemiş olduk. Şimdi, ikinci iterasyondan başlayarak her iterasyon birincisini öncelik sırasına göre gruplama işlemi yapılacaktır. Bu gruplama işlemi aşağıdaki tablo 3.13 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.13. İterasyon Sonuçlarına Göre Önceliklerin Gruplandırılması

Öncelik No:	Ürün Adı:	Ürün Düğüm No:	Ana Düğüm No:	İş Akışı
1	Ayak Profil Kesim	18	13	18,13
1	Ayak Ara Profil Kesim	19	14	19,14
1	Ayak Profil 2 Kesim	20	16	20,16
1	Alt profil 1 Kesim	10	8	10,8
1	Ayak Sacı bükülmüş	12	9	12,9
2	Ayak Profil bükümlü	13	9	13,9
2	ayak ara profil presli	14	9	14,9
2	Alt Profil 2 Presleme	16	11	16,11
3	Ayaklar Puntalanmış	9	7	9,7
3	Alt profil 2 Bükülmüş	11	8	11,8
4	İskelet üst parça puntalanmış	8	6	8,6
4	Ayaklar Kaynatılmış	7	5	7,5
5	İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	6,5
6	iskelet puntalanmış	5	4	5,4

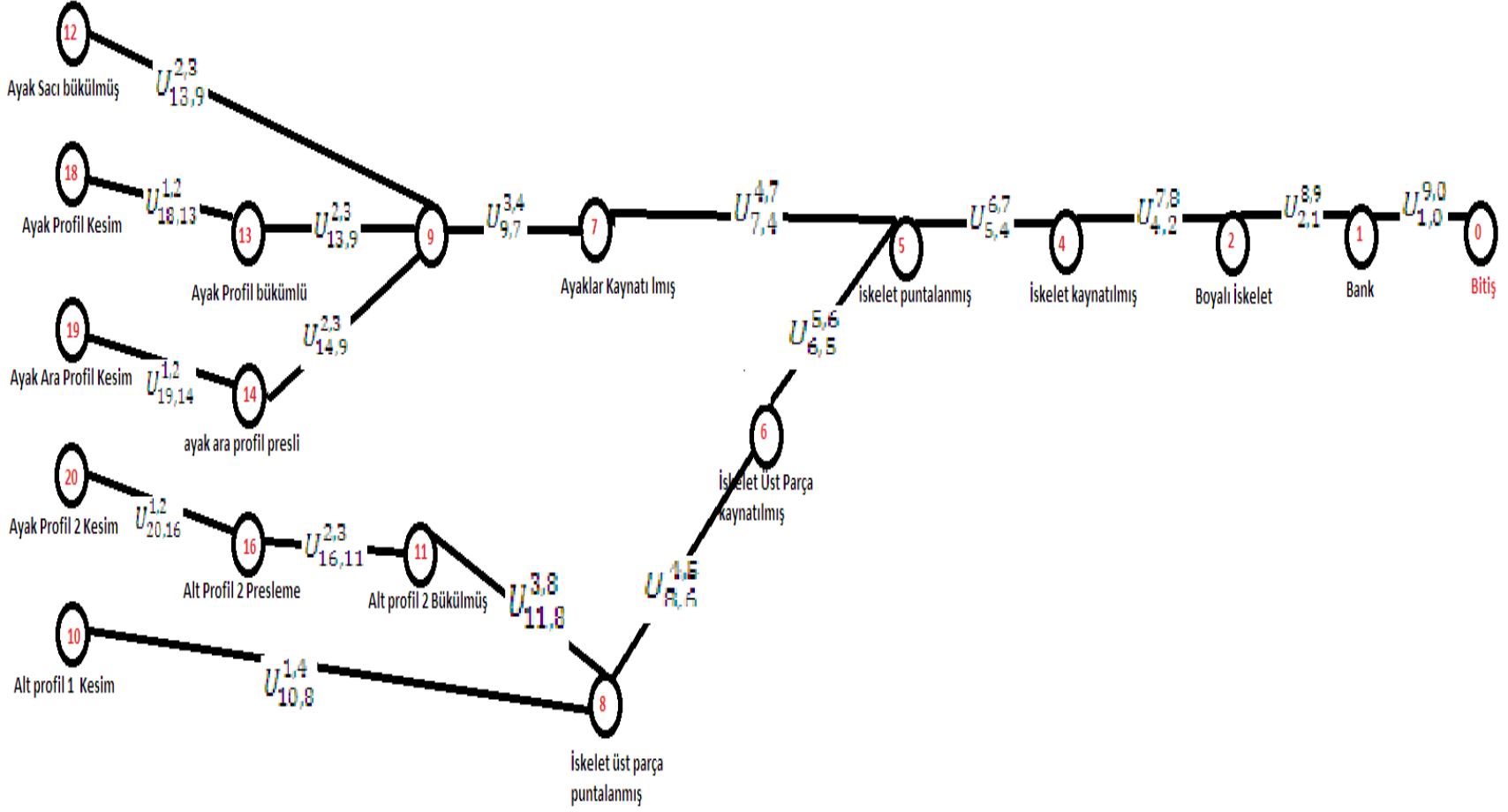
7	İskelet kaynatılmış	4	2	4,2
8	Boyalı İskelet	2	1	2,1
9	Bank	1	0	1,0

Tablo 3.13’ deki düğümlerin önceliklerine göre gruplanması sonrasında, üretim işlemlerinin notasyonlarla ifade edilebilmesi için formül 2.6 ve 2.7’den faydalanılacaktır. Notasyonlara göre sıralandırma işlemi aşağıdaki tablo 3.14’de verilmiştir.

Tablo 3.14. Bank Üretimi için Gerekli Notasyonlar

Öncelik No:	Ürün Adı:	Ürün Düğüm No:	Ana Düğüm No:	İş Akışı	Notasyon
1	Ayak Profil Kesim	18	13	18,13	$U_{18,13}^{1,2}$
1	Ayak Ara Profil Kesim	19	14	19,14	$U_{19,14}^{1,2}$
1	Ayak Profil 2 Kesim	20	16	20,16	$U_{20,16}^{1,2}$
1	Alt profil 1 Kesim	10	8	10,8	$U_{10,8}^{1,4}$
1	Ayak Sacı bükülmüş	12	9	12,9	$U_{12,9}^{1,3}$
2	Ayak Profil bükümlü	13	9	13,9	$U_{13,9}^{2,3}$
2	Ayak ara profil presli	14	9	14,9	$U_{14,9}^{2,3}$
2	Alt Profil 2 Presleme	16	11	16,11	$U_{16,11}^{2,3}$
3	Ayaklar Puntalanmış	9	7	9,7	$U_{9,7}^{3,4}$
3	Alt profil 2 Bükülmüş	11	8	11,8	$U_{11,8}^{3,4}$
4	İskelet üst parça Puntalanmış	8	6	8,6	$U_{8,6}^{4,5}$
4	Ayaklar Kaynatılmış	7	4	7,4	$U_{7,4}^{4,7}$
5	İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	6,5	$U_{6,5}^{5,6}$
6	İskelet Puntalanmış	5	4	5,4	$U_{5,4}^{6,7}$
7	İskelet kaynatılmış	4	2	4,2	$U_{4,2}^{7,8}$
8	Boyalı İskelet	2	1	2,1	$U_{2,1}^{8,9}$
9	Bank	1	0	1,0	$U_{1,0}^{9,0}$

Tablo 3.14’de yer alan notasyonlar bank üretimi için yapılacak işlemleri ifade etmektedir. Her notasyon iki düğüm arasındaki yapılacak işi simgelemektedir. Söyle ki, $U_{18,13}^{1,2}$ notasyonu, ayak profil kesim işleminin 18. Düğüme olduğu ve bu işlemin yapılarak 13. düğüme ayak profil büküm işleminde kullanılacağını belirtmektedir. $U_{18,13}^{1,2}$ notasyonu ayrıca başlangıç düğümündeki işin 1. önceliğe sahip olduğunu ve kendisi tamamlandıktan sonraki işin ise 2. önceliğe sahip olduğunu ifade etmektedir. Notasyonlardaki öncelik sayıları aynı bölüm içerisindeki işlerin sıralanması sırasında, aynı başlangıç önceliğini taşıyan işlerin, kendilerinden sonra ki başlayacak iş önceliğine de bakarak hangi işin daha önce başlaması gerektiğini ortaya koymaktadır. Düğümler arasındaki ilişkiler Şekil 3.2’ de verilmiştir.



Şekil 3.2. Bank Üretimi İş Akışı ve Notasyonlar

Şekil 3.2 ile genel üretim iş akışı oraya çıkmış ve daha önce bulunan işlem öncelikleri ile üretim çizelgeleme işlemine başlamadan önce zaman tahminleri ile üret veya fason kararlarının belirlenmesi gerekmektedir.

3.1.4. Ürün Zaman Tahminleri ile Üret veya Fason Kararları

Yapılacak işlere ait zaman tahminleri için daha önce benzer işlerde tecrübesi olan kalifiyeli üretim personelinin bilgilerine başvurulacaktır. Yapılacak işler sonucu üretilen mamullere ait zaman tahminleri için önce MİP ihtiyacımız bulunmaktadır. İfade 2.15' in tüm ürünler için hesaplanması gerekmektedir. Ardından alınan zaman tahminlerinin ortalaması bize bir birim için ortalama toplam üretim zamanını verecektir. Bu ortalama toplam üretim zamanları, fason üretim zamanları ile mukayese de edilerek üret veya fason kararlarına yardımcı olacaktır. Tablo 3.15 üretim miktarlarını ve uzman tahminlerini içermektedir. İfade 2.15' in tüm ürünler için bulunması için, kısım 2.4' deki MİP algoritması, bank ürünü için başlayarak ÜA' daki en alttaki ürün dâhil hesaplanmalıdır.

Tablo 3.15. Uzman Zaman Tahminleri ve Üretim Miktarları

Notasyon	Toplam Miktar	İşin Yapılacağı Bölüm Adı:	İşin Yapılacağı Bölüm No:	Gerekli Personel Sayısı	1. Uzman Tahmin	2. Uzman Tahmin	3. Uzman Tahmin	4. Uzman Tahmin	5. Uzman Tahmin
$U_{18,13}^{1,2}$	2000	Testere Kesim	1	1	0,5	0,55	0,56	0,45	0,47
$U_{19,14}^{1,2}$	2000	Testere Kesim	1	1	0,6	0,7	0,4	0,6	0,65
$U_{20,16}^{1,2}$	4000	Testere Kesim	1	1	0,2	0,25	0,22	0,25	0,30
$U_{10,8}^{1,4}$	1000	Testere Kesim	1	1	0,6	0,7	0,4	0,6	0,65
$U_{12,9}^{1,3}$	4000	Press	2	1	0,2	0,25	0,22	0,25	0,30
$U_{13,9}^{2,3}$	2000	Büküm	3	1	1	0,85	0,9	1,1	1
$U_{14,9}^{2,3}$	2000	Press	2	1	0,2	0,25	0,22	0,25	0,30
$U_{16,11}^{2,3}$	4000	Press	2	1	1	0,85	0,9	1,1	1
$U_{9,7}^{3,4}$	2000	Kaynakthane1	4	1	1,5	1,6	1,7	1,7	1,5
$U_{11,8}^{3,8}$	4000	Büküm	3	1	1,1	0,95	0,9	1,1	1
$U_{8,6}^{4,5}$	1000	Kaynakthane2	5	1	2,2	2,3	2,6	2,5	2,7

$U_{7,5}^{4,7}$	2000	Kaynakthane3	6	1	2,5	2,3	2,6	2,8	2,7
$U_{6,5}^{5,6}$	1000	Kaynakthane4	7	1	2,3	2,5	2,6	2,7	2,8
$U_{5,4}^{6,7}$	1000	Kaynakthane5	8	1	2	2,1	2,2	2	2
$U_{4,2}^{7,8}$	1000	Kaynakthane6	9	1	2,2	2,7	2,5	2,8	3
$U_{2,1}^{8,9}$	1000	Boyahane	10	2	6	7	6,3	6,7	6
$U_{1,0}^{9,0}$	1000	Montaj	11	3	7	7,2	8	7,5	8

Tablo 3.15 ile elde edilen verilerin tekrar derlenmesi ile üretim içerisindeki işlemlerin ortalama beklenen zamanlarını da hesaplamamız ve sonrasında fason üreticilerden gelen zaman tahminlerini de mukayese etmemiz gerekmektedir. Tablo 3.16 ile üretim içerisindeki ortalama tahmin zamanları, fason tahmin zamanları ve üretmenin ve fasonun zamanında üretme ve üretememe maliyetleri verilmiştir. Tablo 3.16’ daki ortalama bir birim üretim zamanı (t_u), Tablo 3.15’deki uzman tahminlerinin dakika olarak ortalamasıdır. Ortalama bir birim fason üretim zamanı (t_f) fason üreticilerin öngörülerinden oluşan üretim zamanlarının ortalamasıdır. Maliyet hesaplamasında kullanılan M_i , değeri ifade 2.15’in tüm ürünler için hesaplanması sonucu bulunan değerdir. Dakikalık normal üretim birim maliyeti olan X_u değeri 0.14 TL ve dakikalık geç üretim birim maliyeti olan Y_u değeri 0.28 TL olarak hesaba alınmıştır. Dakikalık normal fason birim maliyeti olan X_f değeri 0.20 TL ve dakikalık geç üretim birim maliyeti olan Y_f değeri 0.40 TL olarak hesaba alınmıştır.

Tablo 3.16.Üretme ve Fason Zaman Tahminleri ve Zamanında Üretme ve Üretememe Maliyetleri

Notasyon	Ortalama Bir Birim Üretim Zamanı (Dakika)	Ortalama Bir Birim Fason Üretim Zamanı (Dakika)	$M_i * t_u * X_u$ (TL)	$M_i * t_f * X_f$ (TL)	$M_i * t_u * Y_u$ (TL)	$M_i * t_u * Y_f$ (TL)
$U_{18,13}^{1,2}$	0.506	0.9	141.68	360	283.36	720
$U_{19,14}^{1,2}$	0.59	0.62	165.2	248	330.4	496
$U_{20,16}^{1,2}$	0.244	0.25	136.64	200	273.28	400

$U_{10,8}^{1,4}$	0.59	0.62	82.6	124	165.2	248
$U_{12,9}^{1,3}$	0.244	0.22	136.64	176	273.28	352
$U_{13,9}^{2,3}$	0.97	1.1	271.6	440	543.2	880
$U_{14,9}^{2,3}$	0.244	0.2	68.32	80	136.64	160
$U_{16,11}^{2,3}$	0.97	1.2	543.2	960	1086.4	1920
$U_{9,7}^{3,4}$	1.6	1.5	448	600	896	1200
$U_{11,8}^{3,8}$	1.01	1.1	565.6	880	1131.2	1760
$U_{8,6}^{4,5}$	2.46	2.2	344.4	440	688.8	880
$U_{7,5}^{4,7}$	2.58	2.5	722.4	1000	1444.8	2000
$U_{6,5}^{5,6}$	2.58	2.3	361.2	460	722.4	920
$U_{5,4}^{6,7}$	2.06	2	288.4	400	576.8	800
$U_{4,2}^{7,8}$	2.64	2.2	369.6	440	739.2	880
$U_{2,1}^{8,9}$	6.4	3	1792	1200	3584	2400
$U_{1,0}^{9,0}$	7.54	8.5	3166.8	5100	6333.6	10200

Zamanında üretme ve üretememe maliyetlerinin fason ve üretim için ayrı ayrı hesaplanması tablo 3.16’da verilmiştir. Şimdi yukarıdaki maliyetlerimizle çarpıp beklenen değer hesabı yapabilmek için gerekli olan soncul olasılıklarımızı hesaplayabilmemiz için öncül olasılıklarımızı ve ek bilgi ile gelen olasılıkları bilmemiz gereklidir. İfade 2.18’ den 2.31’ e kadar olan tüm eşitlikler ve tanımlar kullanılarak BT’ ye göre soncul olasılık hesaplarımız Tablo 3.17’ de verilmiştir.

Tablo 3.17. Soncul Olasılıkların Hesabı

Notasyon	P(A)	P(B)	P(u A)	P(f A)	P(u B)	P(f B)	P(A u)	P(B u)	P(A f)	P(B f)
$U_{18,13}^{1,2}$	0.4	0.6	0.2	0.8	0.9	0.1	0.129032	0.870968	0.842105	0.157895
$U_{19,14}^{1,2}$	0.5	0.5	0.7	0.3	0.8	0.2	0.466667	0.533333	0.6	0.4
$U_{20,16}^{1,2}$	0.5	0.5	0.7	0.3	0.8	0.2	0.466667	0.533333	0.6	0.4

$U_{10,8}^{1,4}$	0.5	0.5	0.7	0.3	0.8	0.2	0.466667	0.533333	0.6	0.4
$U_{12,9}^{1,3}$	0.6	0.4	0.2	0.8	0.8	0.2	0.272727	0.727273	0.857143	0.142857
$U_{13,9}^{2,3}$	0.5	0.5	0.7	0.3	0.8	0.2	0.466667	0.533333	0.6	0.4
$U_{14,9}^{2,3}$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.2	0.384615	0.615385	0.714286	0.285714
$U_{16,11}^{2,3}$	0.5	0.5	0.7	0.3	0.8	0.2	0.466667	0.533333	0.6	0.4
$U_{9,7}^{3,4}$	0.4	0.6	0.7	0.3	0.8	0.2	0.368421	0.631579	0.5	0.5
$U_{11,8}^{3,8}$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.454545	0.545455	0.555556	0.444444
$U_{8,6}^{4,5}$	0.5	0.5	0.4	0.6	0.8	0.2	0.333333	0.666667	0.75	0.25
$U_{7,5}^{4,7}$	0.5	0.5	0.7	0.3	0.7	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5
$U_{6,5}^{5,6}$	0.4	0.6	0.4	0.6	0.78	0.22	0.254777	0.745223	0.645161	0.354839
$U_{5,4}^{6,7}$	0.2	0.8	0.7	0.3	0.8	0.2	0.179487	0.820513	0.272727	0.727273
$U_{4,2}^{7,8}$	0.3	0.7	0.5	0.5	0.8	0.2	0.211268	0.788732	0.517241	0.482759
$U_{2,1}^{8,9}$	0.6	0.4	0.2	0.8	0.9	0.1	0.25	0.75	0.923077	0.076923
$U_{1,0}^{9,0}$	0.5	0.5	0.7	0.3	0.8	0.2	0.466667	0.533333	0.6	0.4

Tablo 3.17 ile elde edilen soncul olasılıkların kararlarımızı verdikten sonra bizlere getireceği beklenen maliyet değerlerini belirlememiz ile fason kararı alıp almamız konusunda bizlere yardımcı olacaktır. Aşağıdaki tablo 3.18 deki işlemler, üretme kararının beklenen getirisi ve fason kararının beklenen getirisini vermektedir. Bu değerler ifade 2.33 ve 2.35'ün her ürün için ayrı ayrı hesaplanması ile bulunmuştur. Kararların mukayese edilmesi yani üretici için daha az maliyetli kararın seçimi tablo 3.18 de verilmiştir.

Tablo 3.18. Üret veya Fason Kararları

Notasyon	M_u	M_f	Karar Seçimi
$U_{18,13}^{1,2}$	265.0787	416.8421	Üret
$U_{19,14}^{1,2}$	253.3067	347.2	Üret
$U_{20,16}^{1,2}$	209.5147	280	Üret
$U_{10,8}^{1,4}$	126.6533	173.6	Üret

$U_{12,9}^{1,3}$	236.0145	201.1429	Fason
$U_{13,9}^{2,3}$	416.4533	616	Üret
$U_{14,9}^{2,3}$	110.3631	102.8571	Fason
$U_{16,11}^{2,3}$	832.9067	1344	Üret
$U_{9,7}^{3,4}$	730.9474	900	Üret
$U_{11,8}^{3,8}$	874.1091	1271.111	Üret
$U_{8,6}^{4,5}$	574	550	Fason
$U_{7,5}^{4,7}$	1083.6	1500	Üret
$U_{6,5}^{5,6}$	630.3745	623.2258	Fason
$U_{5,4}^{6,7}$	525.0359	690.9091	Üret
$U_{4,2}^{7,8}$	661.1155	652.4138	Fason
$U_{2,1}^{8,9}$	3136	1292.308	Fason
$U_{1,0}^{9,0}$	4855.76	7140	Üret

Şimdiye kadar ki hesaplarımız ile üretmek ve fasona gönderme ile oluşan beklenen değerleri mukayesede ederek kararlarımızı belirledik. Böylece tüm işlemler için üretim veya fason kararları belirlendi. İşlemin üretimde mi yoksa fasonda mı olacağına dair bilgimiz ile tahmini işlem süresi olarak fason değerini mi yoksa üretim değerini mi kullanacağımız belirlendi. ÜAİ yöntemiyle elde edilen iş dökümündeki işlerin bazıları fasonda bazıları ise üretimde yapılacaktır. Bu işler için özet bir tabloda değerler ve bilgiler tablo 3.19' da gösterilmiştir.

Tablo 3.19. Bank Üretim İşi Özet Tablo

Notasyon	Ürün Adı	Toplam Miktar	İşin Yapılacağı Bölüm Adı:	İşin Yapılacağı Bölüm No:	Karar Seçimi	Birim Zaman
$U_{18,13}^{1,2}$	Ayak Profil Kesim	2000	Testere Kesim	1	Üret	0.506
$U_{19,14}^{1,2}$	Ayak Ara Profil Kesim	2000	Testere Kesim	1	Üret	0.59

$U_{20,16}^{1,2}$	Alt Profil 2 Kesim	4000	Testere Kesim	1	Üret	0.244
$U_{10,8}^{1,4}$	Alt profil 1 Kesim	1000	Testere Kesim	1	Üret	0.59
$U_{12,9}^{1,3}$	Ayak Sacı bükülmüş	4000	Press	2	Fason	0.22
$U_{13,9}^{2,3}$	Ayak Profil bükümlü	2000	Büküm	3	Üret	0.97
$U_{14,9}^{2,3}$	ayak ara profil presli	2000	Press	2	Fason	0.2
$U_{16,11}^{2,3}$	Alt Profil 2 Presleme	4000	Press	2	Üret	0.97
$U_{9,7}^{3,4}$	Ayaklar Puntalanmış	2000	Kaynakhane1	4	Üret	1.6
$U_{11,8}^{3,8}$	Alt profil 2 Bükülmüş	4000	Büküm	3	Üret	1.01
$U_{8,6}^{4,5}$	İskelet üst parça puntalanmış	1000	Kaynakhane2	5	Fason	2.2
$U_{7,5}^{4,7}$	Ayaklar Kaynatılmış	2000	Kaynakhane3	6	Üret	2.58
$U_{6,5}^{5,6}$	İskelet Üst Parça kaynatılmış	1000	Kaynakhane4	7	Fason	2.3
$U_{5,4}^{6,7}$	iskelet puntalanmış	1000	Kaynakhane5	8	Üret	2.06
$U_{4,2}^{7,8}$	İskelet kaynatılmış	1000	Kaynakhane6	9	Fason	2.2
$U_{2,1}^{8,9}$	Boyalı İskelet	1000	Boyahane	10	Fason	3
$U_{1,0}^{9,0}$	Bank	1000	Montaj	11	Üret	7.54

Tablo 3.19 ile üretim için genel hatlar belli oldu, artık üretimde birbirini takip eden işlemlerin sıralanması işlemi gereklidir. Bu sebeple işlemlerin sıralanmasında kendisinden önce başlayan işin başlamış olması ve bu işte istenilen yüzde ilerleme tamamlanması koşulu ile diğer işi başlatmamız gereklidir. Üretimdeki işlerin sıralanması işleminde işlere ait öncelik değerleri ve kendilerinden sonra gelen işleri öncelik değerlerine bakılarak, siparişin üretiminde işin tamamlanmasına yönelik en öncelikli yolların belirlenmesi ile kısa zamanda üretim amaçlanmaktadır.

3.1.5. İş Dökümünün İş Çizelgesine Dönüştürülmesi ve İş Sıralaması

Çizelgeleme işlemine öncelik numarası 1 olan işlemlerden başlanacak ve notasyonlarında belirtilen kendinden sonra başlayacak işe uygun şekilde diğer üretim işlemlerinin sıralanması yapılacaktır. Fakat bazen öncelik numarasının aynı olduğu

birden fazla işlemin aynı bölümde tek makine ile üretilmesi gerekmektedir. Problemimiz için hangi işlemin hangi bölümde yapılacağı Tablo 3.20 ile verilmiştir.

Tablo 3.20. Yapılacak İşlemlerin Bölümlere Göre Sınıflandırılması

İşin Yapılacağı Bölüm Adı:	İşin Yapılacağı Bölüm No:	Notasyon	Ürün Adı	Karar Seçimi
Testere Kesim	1	$U_{18,13}^{1,2}$	Ayak Profil Kesim	Üret
		$U_{19,14}^{1,2}$	Ayak Ara Profil Kesim	Üret
		$U_{20,16}^{1,2}$	Alt Profil 2 Kesim	Üret
		$U_{10,8}^{1,4}$	Alt profil 1 Kesim	Üret
Press	2	$U_{12,9}^{1,3}$	Ayak Sacı bükülmüş	Fason
		$U_{14,9}^{2,3}$	ayak ara profil presli	Fason
		$U_{16,11}^{2,3}$	Alt Profil 2 Presleme	Üret
Büküm	3	$U_{13,9}^{2,3}$	Ayak Profil bükümlü	Üret
		$U_{11,8}^{3,8}$	Alt profil 2 Bükülmüş	Üret
Kaynakthane1	4	$U_{9,7}^{3,4}$	Ayaklar Puntalanmış	Üret
Kaynakthane2	5	$U_{8,6}^{4,5}$	İskelet üst parça puntalanmış	Fason
Kaynakthane3	6	$U_{7,5}^{4,7}$	Ayaklar Kaynatılmış	Üret
Kaynakthane4	7	$U_{6,5}^{5,6}$	İskelet Üst Parça kaynatılmış	Fason
Kaynakthane5	8	$U_{5,4}^{6,7}$	iskelet puntalanmış	Üret
Kaynakthane6	9	$U_{4,2}^{7,8}$	İskelet kaynatılmış	Fason
Boyahane	10	$U_{2,1}^{8,9}$	Boyalı İskelet	Fason
Montaj	11	$U_{1,0}^{9,0}$	Bank	Üret

Tablo 3.20 ‘ de açıkça görüldüğü üzere bazı üretim bölümlerinde birden fazla işlemin yapılması gerekmektedir. Bu durumlarda hangi işe önce başlanacağını belirlenmesi gerekmektedir. ÜAİ yöntemi ile elde edilen işlem notasyonları burada işe yaramaktadır.

Şöyle ki, testere kesim bölümünde üretim önceliği 1 olan 4 tane iş vardır ve bu işlerden 3 tanesinin kendinden sonra başlayacak işleri için öncelik numarası 2’ dir. Aynı bölümde, aynı zaman diliminde yapılabilir olan bu işler için yapılan sıralama, üretim kaynaklarını en verimli şekilde kullanmayı ve en öncelikli iş sırasını vermeyi amaçlamalıdır.

Aynı bölümde yapılmayı bekleyen işler için sıralamanın nasıl yapılacağına dair ilk öncelikle bakılacak gösterge, notasyonun kendi öncelik değeri olan “ni” değeridir. “ni” değeri en düşük olan başka herhangi bir göstergeye bakılmaksızın birinci önceliği alacaktır. Geri kalan notasyonlar “ni” değeri en yüksek olan en son öncelik numarasını alacak şekilde sıralanacaktır. Aynı ”ni” değerine sahip notasyonlar için “nj” değerleri karşılaştırılacak ve “nj” değeri küçük olan iş önce yapılacaktır. Aynı “nj” değerlerinin sıralanmasında ise kendinden sonra gelen ve iş bitimine kadar tek bir hat üzerinde takip ettiği düğüm sayılarına bakılacaktır. Eş sayıda düğüm sayısına sahip “nj” değerleri için bu seferde, kendisinin bağlı olduğu düğümden başlayarak birbirlerine direk bağlı olan ve son ürüne kadar giden, son ürün dahil düğüm sayısına bakılacaktır.

Testere kesim bölümünde yapılması gereken 4 tane işlem vardır, aşağıdaki tablo 3.21 ile bölüm içerisindeki işlerin sıralaması verilmiştir.

Tablo 3.21. Testere Kesim Bölümü İçerisinde İş Sıralaması

Notasyon $U_{ij}^{n_i n_j}$	ni	nj	Kendinden sonra gelen düğüm sayısı	Kendisi ile beraber izlediği öncelik sırası	Kendisi ile beraber bağlandıkları en yakın düğüme kadar taşıdıkları zaman yükü	Sıra
$U_{18,13}^{1,2}$	1	2	7	1,2,3,4,6,7,8,9	11524.9	3
$U_{19,14}^{1,2}$	1	2	7	1,2,3,4,6,7,8,9	10034.8	2
$U_{20,16}^{1,2}$	1	2	8	1,2,3,4,5,6,7,8,9	13483	1
$U_{10,8}^{1,4}$	1	4	6	1,4,5,6,7,8,9	5095.5	4

Tablo 3.21’de aynı “ni” değerine sahip dört notasyon için 4 tane öncelik değeri belirlememiz gerekmektedir. “nj” değerleri 2 olan ilk üç düğümün son düğümden daha öncelikli olması gerekmektedir. Bu şekilde üretime alınacak olan son düğümün $U_{10,8}^{1,4}$

olduğu bulundu. “nj” değeri iki olan üç düğümün kendinin üzerinde gelen düğümlerin sayısına bakıldığında en fazla düğüm sayısına sahip olan $U_{20,16}^{1,2}$ düğümün ilk üç düğüm arasında ilk öncelik sırasını alacağı kararlaştırılır. Geriye kalan son iki düğümden kendisi ile beraber izlediği öncelik sıraları incelendiğinde birbirlerine bir üstünlük sağlayamadıkları görülmektedir. Son olarak kendileri ile beraber bağlandıkları en yakın düğüme kadar taşıdıkları zaman yükü en az olan düğüm $U_{19,14}^{1,2}$ ikinci öncelik değeri atanır. Geriye kalan son düğüm $U_{18,13}^{1,2}$ ise son öncelik değeri atanır.

Press bölümü içerisindeki yapılacak işlemlerden fasona gidecek olan ürünler bölüm içi üretim sıralamasına dâhil edilmeyecek, bu yüzden $U_{16,11}^{2,3}$ bölümde üretilecek olan tek üründür. Tablo 3.22 ile press bölümü içerisindeki işlemlerin sıralaması verilmiştir.

Tablo 3.22. Press Bölümü İçerisinde İş Sıralaması

Notasyon $U_{i,j}^{n_i n_j}$	n_i	n_j	Kendinden sonra gelen düğüm sayısı	Kendisi ile beraber izlediği öncelik sırası	Kendisi ile beraber bağlandıkları en yakın düğüme kadar taşıdıkları zaman yükü	Sıra
$U_{16,11}^{2,3}$ (Üretim)	2	3	6	2,3,4,6,7,8,9	-	1
$U_{14,9}^{2,3}$ (Fason)						
$U_{12,9}^{1,3}$ (Fason)						

Profil büküm işleminin yapıldığı büküm bölümünde yapılmayı beklenen iki tane iş vardır bu işlerin sıralamasında, işlerin öncelik numaralarına baktığımızda öncelik numarası 2 olan $U_{13,9}^{2,3}$ işlemi birinci sırayı, öncelik numarası 3 olan $U_{11,8}^{3,8}$ işi de ikinci sırayı almaktadır. Tablo 3.23 ile büküm bölümü içerisindeki işlemlerin sıralaması verilmiştir.

Tablo 3.23. Büküm Bölümü İçerisinde İş Sıralaması

Notasyon $U_{ij}^{n_i n_j}$	n_i	n_j	Kendinden sonra gelen düğüm sayısı	Kendisi ile beraber izlediği öncelik sırası	Kendisi ile beraber bağlandıkları en yakın düğüme kadar taşıdıkları zaman yükü	Sıra
$U_{13,9}^{2,3}$	2	3	6	2,3,4,6,7,8,9	10402.4	1
$U_{11,8}^{3,8}$	3	8	6	3,4,5,6,7,8,9	8580.4	2

Testere kesim, pres ve büküm haricinde geriye kalan bölümler içinde sadece tek iş olduğu için bölüm içi iş sıralaması yapmaya gerek yoktur. Elde edilen tüm bu bilgiler ışığında, artık üretim planını ortaya çıkartmaya başlayabiliriz. Hesaplamaların daha kolay yapılabilmesi için düğümler arasındaki bağlantıların matris haline getirilmesi gerekir. Şekil 3.2' deki iş akışı ile bir düğümün kendinden sonra başka bir düğüme bağlı olup olmadığı Tablo 3.24'deki matriste verilmiştir. Tablo 3.24'de bir düğüm kendisi haricinde bir düğüme ileri yönde bağlı ise o düğümlerin kesişimi 1 değerini alır eğer bağlı değilse 0 değerini alır.

Tablo 3.24. Düğümler Arası İleri Yönlü Bağlantı Matrisi

		İlerideki Düğümler																	
Gerideki Düğümler		1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	19	20	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	14	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0		

Düğümler arasındaki ilişkinin Tablo 3.24'deki gibi matris olarak ortaya çıkması bize ihtiyacımız olan notasyonlara ait toplam zamanları vermesinde yardımcı olacaktır. Şöyle ki düğüm 2'den düğüm 1'e olan ileri yönlü bağlantı bir ile ifade edilmiştir, bu bize şunu söylemektedir $U_{2,1}^{n_i n_j}$ notasyonu mevcuttur. İşlemlere ait birim zamanların toplam miktarlarla çarpımını yine matris olarak göstermek istersek Tablo 3.25 bize yardımcı olacaktır.

Tablo 3.25. Notasyonların Toplam Çalışma Zaman Hesap Matrisi (Tezgah Kurulum Süreleri Hariç)

İlerideki Düğümler																		
	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	19	20	
Gerideki düğümler	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	2200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	0	0	2060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	0	2300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	0	0	0	5160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8	0	0	0	0	2200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9	0	0	0	0	0	3200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10	0	0	0	0	0	0	590	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	11	0	0	0	0	0	0	4040	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12	0	0	0	0	0	0	0	880	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13	0	0	0	0	0	0	0	1940	0	0	0	0	0	0	0	0	
	14	0	0	0	0	0	0	0	400	0	0	0	0	0	0	0	0	
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3880	0	0	0	0	0	0	
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1012	0	0	0	0	
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1180	0	0	0	
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	976	0	0	

Tablo 3.25' deki değerler ifade 2.15' deki M_i değeri ve ifade 2.37' deki $I_{i,j}^{n_i n_j}$ değerlerinin çarpımlarını vermektedir. Bu değerlere tezgah kurulum sürelerinin de eklenmesi ile önceliği 1 olan üretim işlerinin başladıktan sonra istenilen $Y_{i,j}^{n_i n_j}$ yüzde ilerlemeleri ile kendilerinden sonra gelecek işlerin başlatılması, yani kendilerinden sonra gelen işin optimum en geç başlama zamanları TE_i ortaya çıkarılacaktır. Tezgâh kurulum süreleri fasona gönderilen işler için sıfır olarak alınmıştır. Üretimde yapılan işler için tezgâh kurulum süreleri ise toplam çalışma zamanının yüzde biri kadar hesap edilmiştir. Aşağıdaki tablo 3.26'da notasyonlara ait optimum en geç başlama zamanları

ifade 2.28'den yararlanarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda tüm işlemler için $Y_{i,j}^{n_i n_j} = 0.20$ olarak alınmıştır. Yani kendinden sonraki işin başlayabilmesi için şu anda üretimde yapılan işin % 20'sinin bitmiş olması gerekmektedir.

Tablo 3.26. Optimum En Geç Başlama Zamanları Matrisi

	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	19	20	TE_i
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	985.76	985.76
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1191.8	0	2177.56
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204.96	197.152
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	247.8	0	1233.56
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212.5	0	0	2390.08
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1959.4	0	814.8	0	0	0	4349.48
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1022	0	0	3199.68
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176	407.4	132	0	0	0	0	2797.48
8	0	0	0	0	0	0	0	0	595.9	848.4	0	0	0	0	0	0	0	4349.48
7	0	0	0	0	0	0	0	672	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3469.48
6	0	0	0	0	0	0	440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4789.48
5	0	0	0	0	460	1083.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5873.08
4	0	0	0	432.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6305.68
2	0	0	440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6745.68
1	0	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7745.68

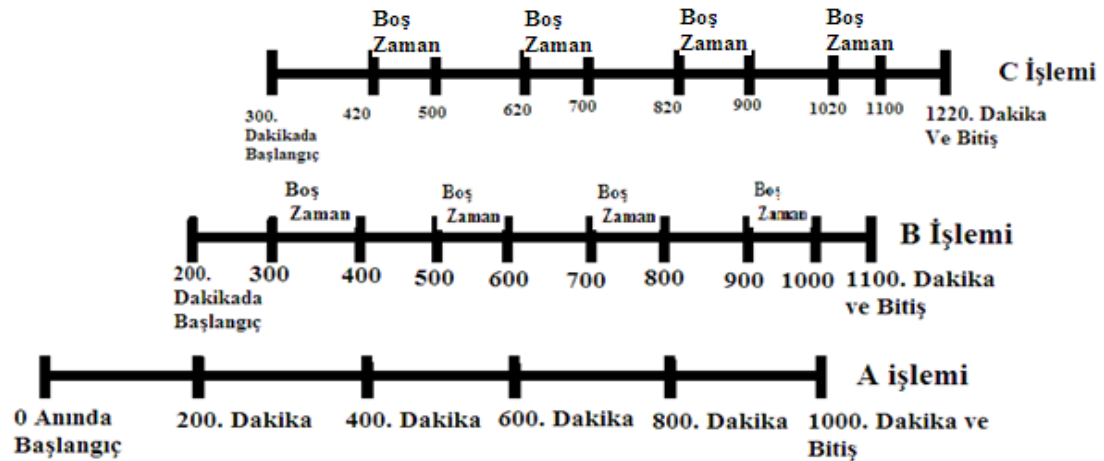
Tablo 3.26' da $TE_{20} = 0$ eşitliği bizlere $U_{20,16}^{1,2}$ işleminin en geç sıfır dakikasında başlayabilir olduğunu söylemektedir. $U_{9,7}^{3,4}$ işine ait en geç başlama zamanı olarak da $TE_9 = 2797.48$ ifadesi de bize, $U_{9,7}^{3,4}$ işinden önce başlayan işlerden $U_{12,9}^{1,3}$, $U_{13,9}^{2,3}$ ve $U_{14,9}^{2,3}$ işlemlerinden başladıktan sonra $Y_{i,j}^{n_i n_j} = 0.20$ olarak toplam işin yüzde 20' sini bitiren işlem $U_{13,9}^{2,3}$ ' dir. Böylece $U_{13,9}^{2,3}$ işlemimin optimum en geç başlama değeri olan $TE_{13} = 2390.08$ değerinin üstüne $U_{13,9}^{2,3}$ işleminin tezgah kurulum süresi ve $U_{13,9}^{2,3}$ işleminin toplam zamanının yüzde 20'si kadar olan zamanı eklendiğinde $U_{9,7}^{3,4}$ işlemi en geç 2797.48 dakikasında başlamış olmalıdır. İşlemlere ait optimum en geç başlama zamanları ortaya çıkarıldıktan sonra, geriye bu işlemlerin ne zaman biteceklerinin hesap edilmesi işlemi kalmaktadır. Aşağıdaki tablo 3.27 ile optimum en geç bitiş zamanları olan TB_i değerlerinin hesaplanması verilmektedir.

Tablo 3.27. Optimum En Geç Bitiş Zamanı Hesabı

Notasyon	TE_i	$M_i * I_{i,j}^{n_{ij}}$	$T_{i,j}^{n_{ij}} + (M_i * I_{i,j}^{n_{ij}})$	$TE_i + T_{i,j}^{n_{ij}} + (M_i * I_{i,j}^{n_{ij}})$	Kendinden Önce Başlayan Düşümlerden En geç Biten	Max TB_{i-1}	TB_i
$U_{20,16}^{1,2}$	0	976	985.76	985.76	-	0	985.76
$U_{19,14}^{1,2}$	985.76	1180	1191.8	2177.56	$U_{20,16}^{1,2}$	985.76	2177.56
$U_{18,13}^{1,2}$	2177.56	1012	1022.12	3199.68	$U_{19,14}^{1,2}$	2177.56	3199.68
$U_{16,11}^{2,3}$	197.152	3880	3918.8	4115.952	$U_{20,16}^{1,2}$	985.76	4115.952
$U_{14,9}^{2,3}$	1233.56	400	400	1633.56	$U_{19,14}^{1,2}$	2177.56	2257.56
$U_{13,9}^{2,3}$	2390.08	1940	1959.4	4349.48	$U_{18,13}^{1,2}$	3199.68	4349.48
$U_{12,9}^{1,3}$	0	880	880	880	-	0	880
$U_{11,8}^{3,8}$	4349.48	4040	4080.4	8429.88	$U_{13,9}^{2,3}$	4349.48	8429.88
$U_{10,8}^{1,4}$	3199.68	590	595.9	3795.58	$U_{18,13}^{1,2}$	3199.68	3795.58
$U_{9,7}^{3,4}$	2797.48	3200	3232	6029.48	$U_{13,9}^{2,3}$	4349.48	6029.48
$U_{8,6}^{4,5}$	4349.48	2200	2200	6549.48	$U_{11,8}^{3,8}$	8429.88	8869.88
$U_{7,5}^{4,7}$	3469.48	5160	5211.6	8681.08	$U_{9,7}^{3,4}$	6029.48	8681.08
$U_{6,5}^{5,6}$	4789.48	2300	2300	7089.48	$U_{8,6}^{4,5}$	6248.08	7089.48
$U_{5,4}^{6,7}$	5873.08	2060	2080.6	7953.68	$U_{7,5}^{4,7}$	8681.08	9093.08
$U_{4,2}^{7,8}$	6305.68	2200	2200	8505.68	$U_{5,4}^{6,7}$	9093.08	9533.08
$U_{2,1}^{8,9}$	6745.68	5000	5000	11745.68	$U_{4,2}^{7,8}$	9533.08	11745.68
$U_{1,0}^{9,0}$	7745.68	7540	7615.4	15361.08	$U_{2,1}^{8,9}$	11444.28	15361.08

Tablo 3.27 ile üretim işlemlerine ait optimum en geç bitiş zamanı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar esnasında bitmesi gereken en kısa sürede işin bitebilmesi için kendisinden önce başlayan işin bitmesi ve üretilen yarı mamullerin hepsinin şu anda üretimin gerçekleştiği bölüme iletilmiş olması gerekmektedir. $U_{9,7}^{3,4}$ işlemine ait optimum en geç bitiş değeri $TB_9 = 6029.48$ olarak bulunmuştur. Bu işleme ait TE_9 değerinin daha önce nasıl bulunduğu tablo 3.26’ da anlatılmıştır. TB_9 değerinin boş zaman içermemesi için kendisinden önce başlayan işlemlerin tezgah kurulumları yapıldıktan sonra $U_{9,7}^{3,4}$ işlemine iş yaptırabilmek için yüzde ilerlemelerinin aksamadan devam etmesi gerekmektedir. Bir işin kendisinden sonra başlayan işi aksatmaması için şimdiye kadar üretmiş olduklarını diğer üretim birimine nizami olarak göndermesi gereklidir. Kendinden sonra başlayan işin yapılması için gereken işlem süresi, şimdiki yapılan işten küçükse, ister istemez üretimde boş zamanlar oluşacaktır. Örnek üzerinden göstermek gerekirse Şekil 3.3’ de birbiri ardına yapılması gereken A, B ve C işleri vardır. A işinin

toplam süresi 1000 dakikadır, B işinin toplam süresi 500 dakikadır ve C işinin toplam süresi 600 dakikadır. A işi yüzde ilerleme yöntemiyle, elindeki işlerin yüzde 20'sini bitirdikten sonra B işinin yapılması için başka bir birime gönderebilir. B işi de yüzde ilerleme yöntemiyle, elindeki işin yüzde 20' bitikten sonra C işinin yapılması için başka bir birime gönderebilir. C işlemi bittikten sonra üretim bitmiş olacaktır. A işi B işinden önce başladığı için ve A işine ait toplam sürenin yüzde 20'si B işinden fazla olduğu için üretimde boş zamanlar oluşacaktır. B işinin aksaması da C işini aksatacaktır. B işi bitmesi için A işinin bitmiş olması gerektiği için A işinin bitiş zamanının üzerine B işinin toplam süresinin yüzde 20'si kadar eklediğimizde B işine ait bitiş zamanını buluruz. Aynı şekilde B işinin bitiş zamanının üzerine C işinin yüzde 20'si kadar eklendiğinde C işinin bitiş zamanı bulunur.



Şekil 3.3. İş Bitiş Zamanlamaları Örneği

Şekil 3.3' de görüldüğü gibi üretim işlemi teoride 1220. dakikada bitmiştir. Yüzde ilerleme mantığı ile yani birimler arasında biten işlerin, diğer birimlere gönderilmesi ile işlemlere devam edilmesi sonucu 2100. dakikada bitecek işlemler 1220. dakikada bitmiştir. ÜAİ yöntemi birbiri sıra devam etmesi gereken işlerin önceliklerini belirler ve matematiksel modelimizde en geç başlama ve bitiş zamanlarını hesaplayarak işlemlerin en kısa sürede bitmesi için gereken zamanları ortaya koyar. Tablo 3.27' deki TB_i zaman hesaplamaları da bu mantıkla yapılmıştır. Bu durumda şunu söylemek yanlış olmayacaktır. Bir işlemin bitiş süresi, kendisinden önce başlayan işlemlerden en geç bitenin zaman değerinin üzerine kendisinin tezgâh kurulum süresi ve yüzde ilerleme miktarının süresini eklediğimizde ortaya çıkacaktır. Bu durumda formül 2.27' de ifade

edilmiştir. Bölümler içerisindeki işçilik maliyetlerini ve kapasite ihtiyacını ortaya koyabilmek için formül 2.25' den yararlanılır. Aşağıdaki tablo 3.28' de maliyet hesapları verilmiştir. İşçilik ücretini dakikalık olarak hesaplayabilmek için sembolik 1500 TL değerinde bir brüt maaş belirlenmiştir. Aylık 180 saatlik çalışma diliminde, fiili olarak bir çalışanın dakika'da ki maaşı 0.14 TL' ye tekabül etmektedir. Fason için saat ücreti olarak değil işin tamamlanması karşılığında ücret olarak anlaşıldığı için fason üretimde oluşan boş zamanların bir mali kaybı yoktur. Gerçekleşmesi planlanan üretim zamanı olarak $T\dot{I}_i$ 'nin de hesaplanması ile işçilik maliyetleri tüm kalemler için belirlenmiş olacaktır. Tablo 3.28 ile üretim işlemlerinin işçilik maliyetleri verilmektedir.

Tablo 3.28. İşlemlerin Üretim Maliyetleri

$U_{i,j}^{ni,n}$	TE_i	TB_i	$T\dot{I}_i$	Boş Zaman DK	Bölüm No	Üretim Şekli	Gerekli Personel	İşçilik Maliyeti DK/TL	Toplam İşçilik Maliyeti TL	Boş Zaman İşçilik Maliyeti TL
$U_{20,1}^{1,2}$	0	985.76	985.76	0	D1	Üret	1	0.14	138.0064	0
$U_{19,1}^{1,2}$	2007.88	3199.68	1191.8	0	D1	Üret	1	0.14	166.852	0
$U_{18,1}^{1,2}$	985.76	2007.88	1022.1	0	D1	Üret	1	0.14	143.0968	0
$U_{16,1}^{2,3}$	204.96	4123.76	3918.8	0	D2	Üret	1	0.14	548.632	0
$U_{14,9}^{2,3}$	2255.68	3279.68	1024	624	D2	Fason	0	-	0	0
$U_{13,9}^{2,3}$	1198.28	3157.68	1959.4	0	D3	Üret	1	0.14	274.316	0
$U_{12,9}^{1,3}$	0	880	880	0	D2	Fason	0	-	0	0
$U_{11,8}^{3,8}$	1019.76	5100.16	4080.4	0	D3	Üret	1	0.14	571.256	0
$U_{10,8}^{1,4}$	3199.68	3795.58	595.9	0	D1	Üret	1	0.14	83.426	0
$U_{9,7}^{3,4}$	2335.68	5567.68	3232	0	D4	Üret	1	0.14	452.48	0
$U_{8,6}^{4,5}$	3323.58	5523.58	2200	0	D5	Fason	0	-	0	0
$U_{7,5}^{4,7}$	3007.68	8219.28	5211.6	0	D6	Üret	1	0.14	729.624	0
$U_{6,5}^{5,6}$	3763.	6063.5	2300	0	D7	Fason	0	0.14	0	0

	58	8								
$U_{5,4}^{6,7}$	4223.58	8631.28	4407.7	2327.1	D8	Üret	1	0.14	617.078	325.794
$U_{4,2}^{7,8}$	4656.18	9071.28	4415.1	2215.1	D9	Fason	0	-	0	0
$U_{2,1}^{8,9}$	5096.18	9671.28	4575.1	1575.1	D10	Fason	0	-	0	0
$U_{1,0}^{9,0}$	5696.18	13311.58	7615.4	0	D11	Üret	3	0.14	3198.468	0

Tablo 3.28 ile elde edilen işçilik maliyetleri bizlere fasona verdiğimiz işlerdeki boş zamanlara maruz kalmadığımız için daha avantajlı olduğumuzu göstermektedir. KA yöntemi ile planlanan ana amaç boş zamanı değerlendirmeksizin maruz kalınacak beklenen maliyetlerden en düşüğü seçmektir fakat KA yöntemiyle fasona göndermeyi seçtiğimiz ürünler bizi boş zaman maliyetlerinden de kurtardı. Bölümler için genel bir kapasite ihtiyacını, aşağıdaki tablo 3.29 ile özetleyebiliriz.

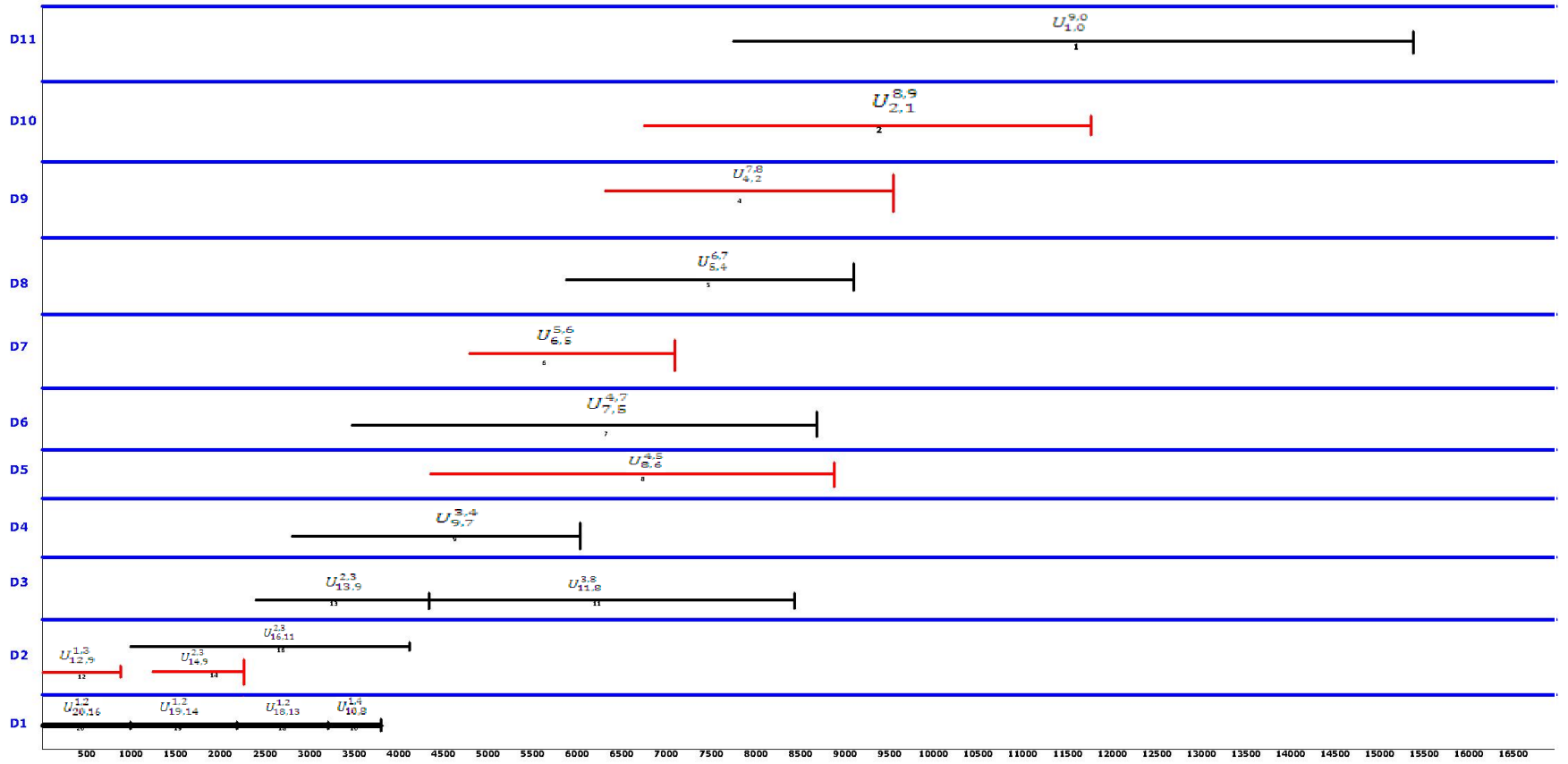
Tablo 3.29. Bölümlerin İş Gücü Kapasite İhtiyaçları

Bölüm Adı:	Bölüm No:	Gerekli Eleman Sayısı	İş Başlangıç Zamanı	İş Bitiş Zamanı	Toplam Çalışma Süresi
Testere Kesim	D1	1	0	3795.58	3795.58
Press	D2	1	197.152	4115.952	3918.8
Büküm	D3	1	2390.08	8429.88	6039.8
Kaynakthane1	D4	1	2797.48	6029.48	3232
Kaynakthane2	D5	0	0	0	0
Kaynakthane3	D6	1	3469.48	8681.08	5211.6
Kaynakthane4	D7	0	0	0	0
Kaynakthane5	D8	1	5873.08	9093.08	3220
Kaynakthane6	D9	0	0	0	0
Boyahane	D10	0	0	0	0
Montaj	D11	3	7745.68	15361.08	7615.4

Tablo 3.29 ile bölümlerin iş gücü ihtiyacı verilmiştir. Yukarıdaki tablodan veriler incelendiğinde testere kesim ve press bölümlerinde işlemler bittikten sonra buradaki iki elemandan biri kaynakthane5'e kaydırılabilir ve kaynakthane5' de yapılacak olan işi

başlatabilirler. Bükümdeki personelin işi bittikten sonra kaynakhane5'deki işe yardım edebilir veya montaj bölümündeki işe yardım edebilir. Kaynakhane1' deki personel işini bitirdikten sonra direk montaj bölümündeki işin başlangıcında yer alabilir. Kaynakhane3'deki personel işini bitirdikten sonra montaja yardım edebilir. Böylece gerekli eleman sayısı da ortaya çıkmaktadır. Toplamda 9 kadar gözüken eleman ihtiyacı, aslında bak üretim işi için 6 elemandır. Bunun sebebi olarak da testere kesim, press ve kaynakhane1' deki personellerin işlerinin montaj bölümündeki işlemin başlangıç süresinden erken bitmesi ile bu elemanların montaj bölümünde değerlendirilmesidir.

Üretimin planlanması ve bölümler içerisindeki işlemlerin sıralanması işi bitti, şimdiye kadar elde ettiğimiz verileri Gantt grafiği üzerinde göstermemiz gerekirse, aşağıdaki şekil 3.4 ile TE_i ve TB_i değerlerine göre işlemlerin her bölüm için ayrı ayrı sıralanışı verilecektir. Fasona gönderilenler ve üretime aldıklarımız ayrı renk çizgiler ile gösterilmiştir.



— Üretilenler
— Fasona Gönderilenler

Şekil 3.4. Bank Üretimi İş Çizelgesi

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1.Tartışma ve Sonuç

Zaman ölçümüne fırsat olmaksızın ve üretimle ilgili kararların net bir şekilde oluşmadığı ürün üretimlerinde, üret veya fasona ver kararlarının alınabilmesi ve sadece ÜA’ dan yola çıkarak iş dökümünün elde edilmesi ve bölümler içerisindeki işlerin sıralanmasını amaçlayan bu çalışmada hayali bir üretim tesisinde hayali bir ürünün ilk defa alınması konu edilmiştir. Üretimi gerçekleştirilecek olan ürün için geliştirilen ÜAİ yöntemi ile bölümlerde yapılacak işlerin iş dökümü elde edilerek, işlerin sıralanması gerçekleştirilmiştir. İşlerin sıralanmasından sonra KA yöntemi ile üret veya fason kararlarının beklenen maliyetleri mukayesede edilerek, hangi işlemlerin üretimde yapılacağına karar verilmiştir. Kararların alınmasından sonra en geç başlama ve bitiş süreleri hesaplanarak, üretim işleminin ne zaman son bulacağı hesaplanmıştır. Ayrıca bölümler içerisindeki iş gücü kapasite ihtiyaçları belirlenerek, personelin verimli kullanılması amaçlanmıştır. Problemin çözümüne yönelik genel amaç üretimdeki boş zamanları en aza indirmek, fasonda daha uygun fiyata üretilmesi düşünülen işlerin fasonda ürettirilmesi ve kapasitenin etkin kullanımına yönelik işlerin sıralanması olmuştur.

Oluşturulan problemin çözümü sonucunda boş zamanların çoğu fasonda gerçekleşmiştir. İşlerin sıralanmasında ÜAİ yöntemiyle oluşturulan öncelik sayıları kullanılmış ve üretimin planlanması verimli tutulmaya çalışılmıştır.

4.2.Öneriler ve Gelecek Çalışmalar

Problemin çözümünün kolay olmasının sağlanması amaçlı tek bir ürün imalatı için bölümlerde sadece bir makine veya tezgâhın olduğu farz edilmiş ve planlama bunun

üzerinden yapılmıştır. İleriki çalışmalarda üretim bölümlerinde birden fazla makine veya tezgâhın olduğu varsayıldığı ve işlerin paralel olarak yapılabilirdiği üretim sistemleri için modeller geliştirilebilir ve problem çözüm yöntemi denenebilir. Ayrıca tek ürün imalatı için olan bu modelde ana ürüne ulaşmak için üretim kaynaklarının verimli olması sağlanmıştır. Yine ileriki çalışmalarda ürünlere öncelik verilerek, birden çok ürün için ÜAİ yöntemi ile iş dökümlerinin elde edilmesi, fason veya üret kararlarının alınması ve kapasite ihtiyaçlarının belirlenmesi işlemleri denenebilir ve problem çözüm yöntemi geliştirilebilir. Bu probleme ait geliştirilen ÜAİ yöntemi üretim planlama problemleri için Bayes ağları ile konu edilerek yeni bir çalışma ortaya konulabilir. ÜAİ yöntemi ile elde edilen düğümlerdeki gerçekleşmesi planlanan zaman tahminlerinin doğruluğuna ait soncul olasılıklarla üretim gerçekleştikçe güncellenen dinamik bir ağ yapısı ve üretim planlaması çalışması ortaya konulabilir. Ayrıca KA analizi bu çalışmada sadece üretmek kararı ve fason kararının beklenen maliyetlerinin üzerinde durmuştur ve bu kararları üretim başlangıcında boş zaman hesapları ortada yok iken almıştır. İleriki çalışmalarda iş dökümü ile elde edilen işlemlere ait boş zaman maliyetlerini de KA analizi içerisinde üretim maliyetlerine dâhil ederek hesaplamalar yapılabilir.

Problemin çözümünde sadece tezgâh kurulum süreleri, yüzde ilerleme miktarları ve kendinden önce başlayan işlerden en geç başlayan ve biten işlerin süreleri dikkate alınmıştır. İleri ki çalışmalarda bu hesaplamalar içerisinde iki birim arasında yüzde ilerleme yöntemi ile gönderilen birimin taşınma süresi ve maliyeti de eklenerek zaman hesaplamaları yapılabilir. Ayrıca, birbirini takip eden işler arada bir zaman farkı olmaksızın aynı dakika içerisinde birinin bitişi diğerinin başlayışı olabilmektedir. Gerçek hayatta bu tarz planların imkânı çok da kolay olmamaktadır. Bu yüzden iki birim arasına taşıma ve makine yükleme zamanları konularak, problemin çözümüne yeni bir kısıt kazandırılabilir. Üretimin aksamadan devam etmesi birbirini takip eden işlerde tamamlanan işlerin zaman kaybetmeksizin diğer üretim birimine aktarılması ile gerçekleşmektedir. Bu sebeple, ara stokların üretildikleri birimden diğer birime aktarımında, diğer makinenin işe başlayabileceği kadar üretilmesi anlamında yüzde ilerleme miktarı sunulmuştur. Her iş için yüzde ilerleme miktarının belirlenmesi için matematiksel modelin genişletilmesi ileriki çalışmalarda gerçekleştirilebilir. Üretim birimlerinin boş kalması sadece iş gücü boş zaman maliyeti olarak ele alınmıştır oysa

makineler ve diğ er ekipmanın boş kalma maliyetleri de eklenerek probleme yeni birer boyut kazandırılabilir

KAYNAKLAR

1. Sharma, J. K., 2010. Fundamentals of Business Statistics, Pearson Education India
2. Wikipedia, Özgür Ansiklopedi, Bayes Teoremi, Haziran 2013, http://tr.wikipedia.org/wiki/Bayes_teoremi (En Son. Erş. Tar: Ocak 2014)
3. Berenson, M.L., Levine, D.M., 1979. Basic Business Statistics, Concepts and Applications, Prentice-Hall, USA
4. Lezki, Ş., Er, F., 2010. Tatil Yeri Kararının Verilmesinde Karar Ağacı ve Etki Diyagramının Uygulanması. **Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi**, 21(2): 233-242.
5. Kobu, B., 2013. Üretim Yönetimi, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., Türkiye
6. Hodson, W.K, 1992, Maynard's Industrial Engineering Handbook, McGraw-Hill, Inc., USA
7. Arnold, J.R.T., Chapman S.N., 2004. Introduction to Material Management, Pearson- Prentice Hall, USA
8. Saadet, N.C., 2012. Üretim Sistemlerinde Otomasyon, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
9. Özkan, M., 2006. Bir Mobilya Fabrikasında Üretim Planlama Sisteminin Geliştirilmesi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bolu
10. Herzog, D.R., 1985. Industrial Engineering Methods and Controls, Reston Publishing Company, USA
11. Waters, C. D. J., 1989. A Practical Introduction to Management Science, Addison Wesley Publishing, England
12. Eroğlu, A., 2002. Deterministik Envanter Modelleri, Fakülte Kitabevi, Isparta
13. Salvendy, G., 2001. Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management, John Wiley & Sons, Inc., USA
14. Pinedo, M., 2002. Scheduling Theory, Algorithms and Systems, Prentice Hall, USA

15. Blazewicz. J., Domschke. W., Pesch. E., 1996. The Job Scheduling Problem: Conventional and new solution techniques. **European Journal of Operational Research**, **93**: 1-31
16. Badiru, A.B., 2006. Handbook of Industrial and Systems Engineering, Taylor & Francis Group is the Academic Division of Informa plc., USA.
17. MIL-HDBK-881A, Work Breakdown Structures For Defense Material Items, Military Standards, 2005
18. Kuo, W.H., Hwang, S.L., 1998. A prototype of a real-time support system in the scheduling of production systems. **International Journal Of Industrial Ergonomics**, **21**: 133- 143
19. Graves, S.C., 1981. A Review of Production Scheduling. **A Journal of The Institute of Operations Research**, **29** (46): 646-675
20. Brucker, P., 2006. Scheduling Algorithms, Springer, Germany
21. Çörekçioğlu, M., 2006 , Dokuma Tezgahlarında Çizelgeleme Yaklaşımının Süreçleri Modelleme Notasyonu İle Gösterimi, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
22. Schmidt, G., 2000. Performance guarantee of two simple priority rules for production scheduling. **Int. J. Production Economics**, **68**: 151- 159.
23. Lu, L., Yuan, J., Zhang, L., 2008. Single machine scheduling with release dates and job delivery to minimize the makespan. **Theoretical Computer Science** **393**: 102–108.
24. Chang , P.C., Chen, S.H., Fan, C.Y., 2009. A hybrid electromagnetism-like algorithm for single machine scheduling problem. **Expert Systems with Applications** **36** : 1259–1267.
25. Tian, Z., Ng, C.T., Chenga, T.C.E., 2009. Preemptive scheduling of jobs with agreeable due dates on a single machine to minimize total tardiness. **Operations Research Letters**, **37** : 368 -374.
26. Wanga, J.B., Wangb, M.Z., 2010. Single machine multiple common due dates scheduling with learning effects, **Computers and Mathematics with Applications**. **60**: 998–3002.

27. Chen, S.H., Chen M.C., Chang, P.C., Zhang, Q., Chen, Y.M., 2010. Guidelines for developing effective Estimation of Distribution Algorithms in solving single machine scheduling problems. **Expert Systems with Applications** **37**: 6441–6451.
28. Gharbi, A., Labidi, M., 2010. Jackson's semi-preemptive scheduling on a single machine. **Computers & Operations Research**, **37**: 2082–2088.
29. Shabtay, D., Itskovich, Y., Yedidsion, L., Oron, D., 2010. Optimal due date assignment and resource allocation in a group technology scheduling environment. **Computers & Operations Research** **37**: 2218–2228.
30. Srirangacharyulu, B., Srinivasan, G., 2010. Completion time variance minimization in single machine and multi-machine systems. **Computers & Operations Research**, **37**: 62–71.
31. Lu, C.C., Lin, S.W., Ying K.C., 2012, Robust scheduling on a single machine to minimize total flow time, **Computers & Operations Research**, **39**: 1682–1691.
32. Tanaka, S., Araki, M., 2013, An exact algorithm for the single-machine total weighted tardiness problem with sequence-dependent setup times, **Computers & Operations Research**, **40**: 344–352.
33. Liu, Z., Yu, W., Cheng T.C.E., 1999. Scheduling groups of unit length jobs on two identical parallel machines. **Information Processing Letters**, **69**: 275–281.
34. Meyr, H., 2002. Simultaneous lotsizing and scheduling on parallel machines. **European Journal of Operational Research**, **139**: 277–292.
35. Kogan, K., 2006. Optimal scheduling of parallel machines with constrained resources. **European Journal of Operational Research** **170** : 771–787.
36. Dourado, M.C., Rodrigues, R.F., Szwarcfiter, J. L., 2010. Scheduling on parallel machines considering job-machine dependency constraints. **Electronic Notes in Discrete Mathematics**, **36**: 431–438.
37. Mazdeh, M.M., Zaerpour, F., Zareei, A., Hajinezhad, A., 2010. Parallel machines scheduling to minimize job tardiness and machine deteriorating cost with deteriorating jobs. **Applied Mathematical Modeling**, **34**: 1498–1510.

38. Genoulaz, V.B., 2000. Hybrid flow shop scheduling with precedence constraints and time lags to minimize maximum lateness. **Int. J. Production Economics**, **64**: 101 – 111.
39. Suliman, S.M.A., 2000. A two-phase heuristic approach to the permutation flow-shop scheduling problem. **Int. J. Production Economics** **64**: 143 – 152.
40. Zandieh, M., Ghomi, S.M.T.F., Husseini, S.M.M., 2006. An immune algorithm approach to hybrid flow shops scheduling with sequence-dependent setup times. **Applied Mathematics and Computation**, **180**: 111–127.
41. Moslehi, G., Mirzaee, M., Vasei, M., Modarres, M., Azaron, A., 2009. Two-machine flow shops scheduling to minimize the sum of maximum earliness and tardiness. **Int. J. Production Economics**, **122** : 763–773.
42. Xu, J., Zhou, X., 2009. A class of multi-objective expected value decision-making model with birandom coefficients and its application to flow shop scheduling problem. **Information Sciences**, **179** : 2997–3017
43. Kuo, W.H., Hsu, C.J., Yang, D.L., 2010. Worst-case and numerical analysis of heuristic algorithms for flow shop scheduling problems with a time-dependent learning effect, *Information Sciences*, **184** : 282–297
44. Sun, L.H., Sun, L.Y., Wang, M.Z., Wang, J.B., 2012., Flow shop makespan minimization scheduling with deteriorating jobs under dominating machines, **Int. J. Production Economics**, **138**: 195–200.
45. Mascis, A., Pacciarelli, D., 2002. Job-shop scheduling with blocking and no-wait constraints, **European Journal of Operational Research**, **143** : 498–517
46. Özgüven, C., Özbakır, L., Yavuz, Y., 2010. Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility. **Applied Mathematical Modelling**, **34**: 1539–1548.
47. Wong, T.C., Chan, F.T.S., Chan, L.Y., 2009. A resource-constrained assembly job shop scheduling problem with Lot Streaming technique. **Computers & Industrial Engineering**, **57**: 983–995.
48. Kima, Y.K., Park, K., Kob, J., 2003. A symbiotic evolutionary algorithm for the integration of process planning and job shop scheduling. **Computers & Operations Research**, **30**: 1151–1171.

49. Torabi, S.A., Karimi, B., Ghomi, S.M.T.F., 2005. The common cycle economic lot scheduling in flexible job shops: The finite horizon case. **Int. J. Production Economics**, **97**: 52–65.
50. Chunga, D., Leeb, K., Shinc, K., Parkd, J., 2005. A new approach to job shop scheduling problems with due date constraints considering operation subcontracts. **Int. J. Production Economics**, **98**: 238–250.
51. Baysal, M.E., Durmaz, T., Sarucan, A., Engin, O., 2012. Açık Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Paralel Kanguru Algoritması İle Çözümü. **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, **27** (4): 855-864.
52. Liaw, C.F., 1998. An iterative improvement approach for the non preemptive open shop scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, **111**: 509-517.
53. Naderi, B, Ghomi, S.M.T.F., Aminnayeri, M., Zandieh, M., 2011. A study on open shop scheduling to minimise total tardiness. **International Journal of Production Research**, **49** (15): 4657–4678.
54. Ou, J., Wein, L.M., 1995. Dynamic Scheduling of a Production/ Inventory System with By-products and Random Yield. **Management Science**, **41**(6): 1000-1017.
55. Zhanga, W., Freiheitb, T., Yangc, H., 2004. Dynamic scheduling in flexible assembly system based on timed Petri nets model. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, **21**: 550–558.
56. Alvarez, E., 2007. Multi-plant production scheduling in SMEs, **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, **23**: 608–613.
57. Hall, N.G., Potts, C.N., Sriskandarajah, C., 2000. Parallel machine scheduling with a common server. **Discrete Applied Mathematics**, **102** :223 -243.
58. Talbi, E.D., Geneste, L., Grabot, B., Pre´vitali, R., Hostachya, P., 2004. Application of optimization techniques to parameter set-up in scheduling. **Computers in Industry**, **55**: 105–124.
59. Ayuso, A.A., Escudero, L.F., Ortuño, M.T., Pizarro, C., 2007. On a stochastic sequencing and scheduling problem. **Computers & Operations Research**, **34**: 2604 – 2624.

60. Cai, X.Q., Chen, J., Xiao, Y.B., Xua, X.L., 2008. Product selection, machine time allocation, and scheduling decisions for manufacturing perishable products subject to a deadline. **Computers & Operations Research**, **35**: 1671 – 1683.
61. Yang, D.L., Kuo, W.H., 2009. A single-machine scheduling problem with learning effects in intermittent batch production, **Computers & Industrial Engineering**, **57**: 762–765.
62. Pandey, P., Kulkarni, M.S., Vrat, P., 2011. A methodology for joint optimization for maintenance planning, process quality and production scheduling. **Computers & Industrial Engineering**, **61**:1098–1106.
63. Ashayeri, J., Selen, W., 2007. A planning and scheduling model for onsertion in printed circuit board assembly. **European Journal of Operational Research**, **183**: 909–925.
64. Marchetti, P.A., Cerdá, J., 2009. An approximate mathematical framework for resource-constrained multi stage batch scheduling, **Chemical Engineering Science**, **64**: 2733-2748.
65. Lagodimos, A.G., Mihiotis, A.N., Kosmidis, V.C., 2003. Scheduling a multi-stage fabrication shop for efficient subsequent assembly operations, **Int. J. Production Economics**, **90**: 345–359.
66. Hertz, A., Mottet, Y., Rochat, Y., 1996. On a scheduling problem in a robotized analytical system. **Discrete Applied Mathematics**, **65**: 285 – 318.
67. Black, G.W., McKay, K.N., Morton, T.E., 2006. Aversion scheduling in the presence of risky jobs. **European Journal of Operational Research**, **175**: 338–361.
68. Oguz, C., Salman, F.S., ve Yalcın, Z.B., 2009. Order acceptance and scheduling decisions in make-to-order systems. **Int. J. Production Economics**, **125**: 200–211.
69. Das, K., Baki, M.F., Li, X., 2009. Optimization of operation and changeover time for production planning and scheduling in a flexible manufacturing system. **Computers & Industrial Engineering**, **56**: 283–293.
70. Matsumoto, K., Miwa, H., Ibaraki, T., 2009. Scheduling of corrugated paper production. **European Journal of Operational Research**, **192**: 782–792.

71. Tang, L., Liu, J., Rong, A., Yang, Z., 2009. A mathematical programming model for scheduling steelmaking-continuous casting production. **European Journal of Operational Research**, **120**: 423-435.
72. Bley, A., Boland, N., Fricke, C., Froyland, G., 2010. A strengthened formulation and cutting planes for the open pit mine production scheduling problem, **Computers & Operations Research**, **37**: 1641–1647.
73. Gaudreault, J., Frayret, J.M., Rousseau, A., Amours, S., 2011. Combined planning and scheduling in a divergent production system with co-production: A case study in the lumber industry. **Computers & Operations Research**, **38**: 1238–1250.
74. Badell, M., Romero, J., Huertas, R., Puigjaner, L., 2004. Planning, scheduling and budgeting value-added chains. **Computers and Chemical Engineering**, **28**: 45 – 61.
75. M'endez, C.A., Cerdá, J., Grossman, I.E., Harjunkski, L., Fahl, M., 2006. State-of-the-art review of optimization methods for short-term scheduling of batch processes. **Computers and Chemical Engineering**, **30** : 913–946.
76. Liu, Y., Karimi, I.A., 2007. Novel continuous-time formulations for scheduling multi-stage batch plants with identical parallel units. **Computers and Chemical Engineering**, **31** : 1671–1693.
77. Yokoyama, M., 2006. Flow-shop scheduling with setup and assembly operations. **European Journal of Operational Research**, **187**: 1184–1195.
78. Velez, S., Maravelias C.T., 2013. A branch-and-bound algorithm for the solution of chemical production scheduling MIP models using parallel computing. **Computers and Chemical Engineering**, **55**: 28– 39.
79. Yokoyama, M., 2004. Scheduling for two-stage production system with setup and assembly operations. **Computers & Operations Research**, **31**: 2063–2078.
80. Yeung, W.K., Choi, T.M., Cheng, T.C.E., 2011. Supply chain scheduling and coordination with dual delivery modes and inventory storage cost. **Int. J. Production Economics**, **132**: 223–229.
81. Li, J., Sun, K., Xu, D., Li, H., 2010. Single machine due date assignment scheduling problem with customer service level in fuzzy environment, **Applied Soft Computing**, **10** : 849–858.

82. Stanfield, P.M., King, R.E., Joines, J.A., 1996. Scheduling arrivals to a production system in a fuzzy environment. **European Journal of Operational Research**, **93**: 75-87.
83. Kuroda, M., Wang, Z., 1996. Fuzzy job shop scheduling. **Int. J. Production Economics**, **44**: 45-51.
84. Petrovic, D., Duenas, A., 2006. A fuzzy logic based production scheduling/rescheduling in the presence of uncertain disruptions. **Fuzzy Sets and Systems**, **157**: 2273 – 2285.
85. Levner, E., Meyzin, L., Ptuskin, A., 1998. Periodic scheduling of a transporting robot under incomplete input data: A fuzzy approach. **Fuzzy Sets and Systems**, **98**: 255-266.
86. Orsoni, A., ve Bandinelli, R., 2007. Improving the remote scheduling of distributed production with process statistics and AI techniques. **Simulation Modelling Practice and Theory**, **15**: 175–184.
87. Xue, D., Sun, J., Norrie, D.H., 2001. An intelligent optimal production scheduling approach using constraint based search and agent based collaboration. **Computers in Industry**, **41**: 209–231.
88. Lee, I., 2001. Artificial intelligence search methods for multi-machine two-stage scheduling with due date penalty, inventory, and machining costs. **Computers & Operations Research**, **28** : 835 – 852.
89. Lawrynowicz, A., 2008. Integration of production planning and scheduling using an expert system and a genetic algorithm. **Journal of the Operational Research Society**, **59**: 455 -463.
90. Moghaddama, R.T., Mehrb, M.D., 2005. A computer simulation model for job shop scheduling problems minimizing makespan. **Computers & Industrial Engineering** ,**48** : 811–823.
91. Everett, J.E., 2001. Iron ore production scheduling to improve product quality. **European Journal of Operational Research**, **129**: 355-361.
92. Vinoda, V., Sridharanb, R., 2008. Scheduling a dynamic job shop production system with sequence-dependent setups: An experimental study. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, **24**: 435–449.

93. Vinod, V., Sridharan, R., 2011. Simulation modeling and analysis of due- date assignment methods and scheduling decision rules in a dynamic job shop production system. **Int. J. Production Economics**, **129**: 127–146.
94. Xiang, W., Lee, H.P., 2008. Ant colony intelligence in multi-agent dynamic manufacturing scheduling. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, **21**: 73–85.
95. Behnamian, J., Zandieh, M., Ghomi, S.M.T.F., 2009. Parallel-machine scheduling problems with sequence-dependent setup times using an ACO, SA and VNS hybrid algorithm. **Expert Systems with Applications**, **36** : 9637–9644.
96. Yagmahan, B., Yenisey, M.M., 2010. A multi-objective ant colony system algorithm for flow shop scheduling problem. **Expert Systems with Applications**, **37**: 1361–1368.
97. Berrichi, A., Yalaoui, F., Amodeo, L., Mezghiche, M., 2010. Bi-Objective Ant Colony Optimization approach to optimize production and maintenance scheduling. **Computers & Operations Research**, **37**: 1584–1596.
98. Marimuthu, S., Ponnambalamb, S.G., Jawahar, N., 2009. Threshold accepting and Ant-colony optimization algorithms for scheduling m-machine flow shops with lot streaming. **Journal of Materials Processing Technology**, **20**(9): 1026–1041
99. Huang, R.H., Yang, C.L., 2008. Overlapping production scheduling planning with multiple objectives: An ant colony approach. **Int. J. Production Economics** **115** : 163– 170.
100. Ullrich, C.A., 2013. Integrated machine scheduling and vehicle routing with time windows. **European Journal of Operational Research**, **227** : 152–165.
101. Mattfeld, D.C., Bierwirth, C., 2004. An efficient genetic algorithm for job shop scheduling with tardiness objectives. **European Journal of Operational Research**, **155** : 616–630.
102. Liu, C.H., 2011. Using genetic algorithms for the coordinated scheduling problem of a batching machine and two-stage transportation. **Applied Mathematics and Computation**, **217** : 10095–10104.

103. Mönch, L., Balasubramanian, H., Fowler, J.W., Pfund, M.E., 2005. Heuristic scheduling of jobs on parallel batch machines with incompatible job families and unequal ready times. **Computers & Operations Research**, **32**: 2731–2750.
104. Chatfield, D.C., 2007. The economic lot scheduling problem: A pure genetic search approach. **Computers & Operations Research**, **34**: 2865 – 2881.
105. Chen, Y.W., Lu, Y.Z., Ge, M., Yang G.K., Pan, C.C., 2012. Development of hybrid evolutionary algorithms for production scheduling of hot strip mill. **Computers & Operations Research**, **39** : 339–349.
106. Agnetis, A., Alferi, A., Brandimarte, P., and Prinsecchi, P., 1997. Joint job/tool scheduling in a flexible manufacturing cell with no on-board. **Computer Integrated Manufacturing Systems**, **10** (1) : 61 – 68.
107. Wauters, T., Verbeeck, K., Verstraete, P., Berghe, G.V., Deausmaecker, P. 2012. Real-world production scheduling for the food industry: An integrated approach. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, **25**: 222–228.
108. Lobo, B.A., Oliveira, J.F., Carravilla, M.A., 2008. Production planning and scheduling in the glass container industry: A VNS approach. **Int. J. Production Economics**, **114** : 363– 375.
109. Ekşioğlu, A., Ekşioğlu, S.D., Jain, P., 2008. A tabu search algorithm for the flowshop scheduling problem with changing neighborhoods. **Computers & Industrial Engineering**, **54** : 1–11.
110. Zhang, G., Shao, X., Li, P., Gao, L., 2009. An effective hybrid particle swarm optimization algorithm for multi-objective flexible job-shop scheduling problem. **Computers & Industrial Engineering**, **56**: 1309–1318.
111. Tang, L., Wang, X., 2009. Simultaneously scheduling multiple turns for steel color-coating production. *European Journal of Operational Research*, **198** : 715–725.
112. Venditti, L., Pacciarelli, D., Meloni, C., 2010. A tabu search algorithm for scheduling pharmaceutical packaging operations. **European Journal of Operational Research**, **202** : 538–546.

113. Wang, C., Li, C., Wang, Q., 2010. Accelerated tabu search for no-wait flowshop scheduling problem with maximum lateness criterion. **European Journal of Operational Research**, **206** : 64–72.
114. Kumral, M., Dowd, P.A. 2005. A simulated annealing approach to mine production scheduling. **Journal of the Operational Research Society**. **56**: 922 -930.
115. Zegordi, S.H., Itoh, K., Enkawa, T., 1995. Minimizing makespan for flow shop scheduling by combining simulated annealing with sequencing knowledge. **European Journal of Operational Research**, **85**: 15-531.
116. Nearchou, A.C., 2004, A novel metaheuristic approach for the flow shop scheduling problem, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 17 : 289–300
117. Liua, B., Wanga, L., Liud, Y., Qiane, B., Jin, Y.H., 2010. An effective hybrid particle swarm optimization for batch scheduling of polypropylene processes. **Computers and Chemical Engineering**, **34** : 518–528.
118. Mujawar, S., Huang, S., Nagi, R., 2012. Scheduling to minimize stringer utilization for continuous annealing operations, **Omega**, **40**: 437–444.
119. Peres, S.D., Lasserre, J.B., 2002. On the importance of sequencing decisions in production planning and scheduling. **Intl. Trans. in Op. Res.**, **9**: 779-793.
120. Wanga, S., Yu, J., 2010. An effective heuristic for flexible job-shop scheduling problem with maintenance activities. **Computers & Industrial Engineering**, **59**: 436–447.
121. Ramazan, S. 2007. The new Fundamental Tree Algorithm for production scheduling of open pit mines. **European Journal of Operational Research**, **177**: 1153–1166.
122. Jina, G., ve Thomson, V., 2003. A newframework for MRP systems to be effective in engineered-to-order environments. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, **19**: 533–541.
123. Koyuncu, E., 2011. Yeni Ürün Geliştirme Projelerinde Çoklu Faaliyet Çakıştırmalı Durum İçin Çizelgeleme, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana
124. Qi, X., 2011. Outsourcing and production scheduling for a two-stage flow shop. **Int. J. Production Economics**, **129**: 43–50.

125. Sungbin, C., 2009. A linear Bayesian Stokhastic approximation to update Project duration estimates. **European Journal of Operation Research**, **196**: 585–593.
126. Britney, R.R. 1976. Bayesian point estimation and the pert scheduling of stokhastic activities. **Management Sience**, **Vol.22** (9), 938 – 948.
127. Aha, D.W and Chang L.W.1996, Cooperative Bayesian and Case Based Reasoning for Solving Multiagent Planning Tasks, NCARAI Technical Report AIC–96–005
128. Stavrulaki, E.,Fang, H.K.D. and Lin, D.K.J., 2003. Two-Resource Stokhastic Capacity Planning Employing a Bayesian Methodology. **The Journal of Operation Research Society**, **54**(11): 1198 – 1208.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Oğuzhan Ahmet ARIK

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 21 Ağustos 1986, Kayseri

Medeni Durumu: Bekâr

Tel: +90 530 877 93 59

email: oguzhanahmetarik@hotmail.com

Yazışma Adresi: Mimarsinan Mah. Fuzuli Cad. Ekin Ap. No:54/B Kocasinan / Kayseri

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Bahçeşehir Ü. Müh. Fak. End. Müh. Bölümü, İstanbul	2009
Lise	Kocasinan Sümer Lisesi, Kayseri	2003

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2013- Halen	-	İş Güvenlik Uzmanlığı Hizmetleri
2013- Halen	EndüstriNET Sektörel Çözümler Yazılım Evi	Kurucu
2012–2012	Asteksan Mak.ve Mad. Eşya San.Tic. Ltd. Şti	Üretim Planlama Sorumlusu
2011–2012	Sayıl Dayanıklı Tüketim Mobilya İnşaat ve Gıda Mad. San. Tic. Ltd. Şti.	Üretim Planlama Sorumlusu
2009-2011	-	Serbest Meslek

YABANCI DİL

İngilizce

İÇİNDEKİLER

BİR ÜRÜNÜN BAYES KARAR AĞACI YÖNTEMİ İLE ÜRETİM KARARININ ALINMASI

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iv
ÖNSÖZ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER	xii
TABLolar LİSTESİ	xvi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xix
 GİRİŞ	 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Genel Bilgiler	4
1.1.1. İstatistiksel Kavramlar	4
1.1.1.1.Koşullu Olasılık.....	4
1.1.1.2.Bayes Teoremi.....	5
1.1.2. Karar Ağaçları.....	7
1.1.3. Üretim Planlama ve Kontrol	15
1.1.3.1.Üretim	15
1.1.3.2.Üretim Planlama.....	16

1.1.3.3.Üretim Planlama Amaçları.....	18
1.1.3.4.Üretim Kontrol.....	19
1.1.3.5.Üretim Kontrol Amaçları.....	20
1.1.3.6.Üretim Sistemleri	20
1.1.3.6.1. Geleneksel Üretim Sistemleri.....	22
1.1.3.6.1.1. Stok Yönetimlerine Göre Üretim Sistemleri.....	22
1.1.3.6.1.1.1. Stok İçin Üretim	22
1.1.3.6.1.1.2. Sipariş İçin Üretim	23
1.1.3.6.1.1.3. Sipariş İçin Montaj ve Son İşlemler.....	23
1.1.3.6.1.1.4. Sipariş İçin Mühendislik ve Üretim.....	23
1.1.3.6.1.2. Ürün Çeşitliliği ve Üretim Miktarına Göre Üretim Sistemleri.....	23
1.1.3.6.1.2.1.Proje Tipi Üretim.....	23
1.1.3.6.1.2.2.Parti Tipi Üretim	24
1.1.3.6.1.2.3.Kitle Tipi Üretim.....	24
1.1.3.6.1.2.4.Process Tipi Üretim	24
1.1.3.6.1.3. Üretim Sürecine Göre Üretim Sistemleri.....	25
1.1.3.6.1.3.1.Sipariş Tipi Atölye	25
1.1.3.6.1.3.2.Akış Tipi Atölye	25
1.1.3.6.1.3.3.Sabit Konumlu Atölye	25
1.1.3.6.2. Modern Üretim Sistemleri	25
1.1.3.6.2.1. Hücreli Üretim Sistemi	25
1.1.3.6.2.2. Yalın Üretim Sistemi.....	26
1.1.3.6.2.3. Esnek Üretim Sistemi.....	27
1.1.3.7. Üretim Planlama Yaklaşımları.....	28
1.1.3.7.1. Ana Üretim Programı.....	28
1.1.3.7.2. Stok Yönetimi ve Envanter Kontrol Modelleri	30
1.1.3.7.3. Malzeme İhtiyaç Planlaması	32
1.1.3.7.4. Kapasite İhtiyaç Planlama	35
1.1.3.7.5. İmalat Kaynak Planlama	35
1.1.3.7.6. Kurumsal Kaynak Planlama	36
1.1.4. Üretim Çizelgeleme ve Üretim İşlerinin Sıralanması.....	38
1.1.4.6. Üretim Çizelgeleme Karmaşıklığı.....	39
1.1.4.7. Üretim Çizelgeleme Öncelik Kuralları.....	40

1.1.4.8. Üretim Çizelgeleme Amaçları	42
1.1.4.9. Üretim Çizelgeleme Problemleri	43
1.1.4.10. Üretim Çizelgeleme Problemleri Çözüm Yöntemleri ve Literatür Taraması.....	45
1.1.4.10.1. Tek Makine Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri.....	45
1.1.4.10.2. Paralel Makine Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri .	48
1.1.4.10.3. Akış Tipi Atölye Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri	49
1.1.4.10.4. İş Tipi Atölye Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri	50
1.1.4.10.5. Açık Atölye Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri	51
1.1.4.10.6. Çizelgeleme Problemlerine Yönelik Son Yıllardaki Çalışmalar ..	52
1.2. Tez Konusunun Literatürdeki Benzerleri	55

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Problemin Tanımı	59
2.2. Problem Çözüm Yöntemi	59
2.3. Ürün Ağaç İterasyonu.....	61
2.4. Gerekli Yarı Mamul Miktarlarının Hesaplanması	66
2.5. Karar Ağacı Yöntemi ile Üretim veya Fason Kararları.....	69
2.6. Deneysel Üretim Planlama Matematiksel Modeli.....	72
2.6.1. Çizelgeleme Yöntemi.....	73

3. BÖLÜM

VARSAYIMSAL SENARYO VE PROBLEM ÇÖZÜMÜ

3.1. Tek Ürün İmalatı İçin Problem Oluşturma ve Problem Çözümü.....	76
3.1.1. Varsayımsal Senaryo.....	76
3.1.2. Ürün Bilgileri	77
3.1.3. Ürüne Ait İş Dökümünün Ürün Ağaç İterasyonu İle Elde Edilmesi.....	80
3.1.4. Ürün Zaman Tahminleri İle Üret veya Fason Kararları	88
3.1.5. İş Dökümünün İş Çizelgesine Dönüştürülmesi ve İş Sıralaması.....	94

4. BÖLÜM**TARTIŞMA SONUÇ VE ÖNERİLER**

4.1. Tartışma ve Sonuç	106
4.2 Öneriler ve Gelecek Çalışmalar	106
 KAYNAKLAR.....	 109
ÖZGEÇMİŞ	121

KISALTMALAR VE SİMGELER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>
BT	Bayes Teoremi
BKT	Bayes Karar Teoremi
GT	Grup Teknoloji
HÜS	Hücresele Üretim Sistemi
YÜ	Yalın Üretim
TKY	Toplam Kalite Yönetimi
TVB	Toplam Verimli Bakım
AÜP	Ana Üretim Programı
MİP	Malzeme İhtiyaç Planlaması
KİP	Kapasite İhtiyaç Planlaması
İKP	İmalat Kaynak Planlaması
KKP	Kurumsal Kaynak Planlaması
P	Polinom Zamanda Çözülebilir
NP	Polinom Zamanda Çözilemeyen
SOT	En Kısa Çalışma Süresi
LOT	En Uzun Çalışma Süresi
LRPT	En Uzun Kalan İşlem Süresi
SRPT	En Kısa Kalan İşlem Süresi
LORPT	En Uzun Çalışma Kalan İşlem Süresi
FCFS	İlk Gelen İlk Çıkar
SPT	En Kısa İşlem Süresi
LPT	En Uzun İşlem Süresi
LOS	Kendisinden Sonra Gelen En Uzun Çalışma Zamanı
SNRO	Kalan Çalışma Sayısı En Az Olan
LNRO	Kalan Çalışma Sayısı En Fazla Olan
EDD	En Erken Teslim Tarihi
α	Atölyenin Makine Ortamı
β	İşleme Özellikleri ve Kısıtları
γ	En Küçüklenecek Performans Ölçütü
1	Tek Makine

P_m	Özdeş Paralel Makineler
Q_m	Farklı Hızlara Sahip Paralel Makineler
R_m	İlişkisiz Paralel Makineler
F_m	Akış Tipi Atölye
FF_c	Esnek Akış Tipi Atölye
J_m	İş Tipi Atölye
FJ_c	Esnek İş Tipi Atölye
O_m	Açık Atölye
r_j	Geliş Zamanı
S_{jk}	Sıralama Bağımlı Kurulum Süresi
$prmp$	Bölünebilme
$Prec$	Öncelik kısıtları
$Brkdwn$	Arızalanma
M_j	Makine Uygunluk Kısıtlamaları
$prmu$	Permütasyon
$Block$	Bloklama
nwt	Bekleme Yok
$rcrc$	Yeniden dolaşım
C_{max}	İş tamamlanma süresi
L_{max}	Maksimum Geç Kalma
$\sum w_j C_j$	Toplam Ağırlıklı Tamamlanma Süresi
$\sum w_j (1 - e^{-rc_j})$	İndirimli Toplam Ağırlıklı Bitirme Süresi
$\sum w_j T_j$	Toplam Ağırlıklı Gecikme
$\sum w_j U_j$	Ağırlıklı Geç Kalınmış İş Sayısı
$\bar{O}$	İş öncelik sırası
X	Kendisine Bağlı Olan düğüm sayısı
Y	Kendisinin Bağlı Düğüm Sayısı
$U_{i,j}^{n_i n_j}$	İş Dökümünde Yer Alan İşlerin Birbirleri Arasındaki İlişkiyi

Gösteren Notasyon

i	Başlangıç ürününün düğüm numarası, $i = i \in N^+ (1, 2, 3, \dots, N)$
j	Bağlanılan ürününün düğüm numarası, $j = j \in N^+ (0, 1, 2, 3, \dots, N)$
N	Başlangıç için gerekli tüm ürünlerin düğüm sayısı
$N + 1$	Bitiş için gerekli tüm ürünlerin düğüm sayısı
A_{ij}	i . düğümdeki üretilerek j . düğümünde kullanılacak ürününün bağlan katsayısı
B_{ij}	i . düğümdeki üretilecek ürünün bağlı olduğu j . düğümdeki Ürün ağacındaki miktarı
M_i	i . düğümdeki üründen üretilmesi gereken toplam miktar
M_{ij}	i . düğümdeki üründen j . düğümü için üretilmesi gereken miktar
M_j	j . düğümdeki üründen üretilmesi gereken toplam miktar
$P(A)$	Zamanında veya evvel iç kaynak ve fason kaynak kullanılarak üretimin gerçekleşmesi olayı
$P(B)$	İç kaynak ve fason kaynak kullanılarak planlanandan geç üretimin gerçekleşmemesi olayı
$P(u)$	Geçmişte benzer işlerin iç kaynak kullanılarak üretilme olayı
$P(f)$	Geçmişte benzer işlerin fason kaynak kullanılarak üretilme olayı
t_u	İç kaynak kullanarak tahmini bir birim üretim süresi
t_f	Dış kaynak kullanarak tahmini bir birim üretim süresi
X_u	İç kaynak kullanarak normal üretim zamanı birim maliyetleri (TL)
X_f	Dış kaynak kullanarak normal üretim zamanı birim maliyetleri (TL)
Y_u	İç kaynak kullanarak zamanında üretilmemesi birim maliyeti (TL)
Y_f	Dış kaynak kullanarak normal üretim zamanı birim maliyetleri (TL)
$P(u A)$	Zamanında gerçekleştiği bilindiğinde bunun üretimde yapılma olasılığı
$P(f A)$	Zamanında gerçekleştiği bilindiğinde bunun fasonda yapılma olasılığı
$P(u B)$	Zamanında gerçekleşmediğinde bunun üretimde yapılma olasılığı
$P(f B)$	Zamanında gerçekleşmediğinde bunun fasonda yapılma olasılığı
$P(A u)$	Üretimde gerçekleştiğinde zamanında ve evvel gerçekleşme olasılığı
$P(B u)$	Üretimde gerçekleştiğinde zamanından geç gerçekleşme olasılığı
$P(A f)$	Fasonda gerçekleştiğinde zamanında ve evvel gerçekleşme olasılığı
$P(B f)$	Fasonda gerçekleştiğinde zamanından geç gerçekleşme olasılığı

M_u	Üretme kararının beklenen maliyeti
M_f	Fasona gönderme kararının beklenen maliyeti
$T_{i,j}^{n_i n_j}$	$U_{i,j}^{n_i n_j}$ işine ait tezgah kurulum süresi
$\bar{I}_{i,j}^{n_i n_j}$	$U_{i,j}^{n_i n_j}$ işine ait birim başına işlem süresi
$Y_{i,j}^{n_i n_j}$	$U_{i,j}^{n_i n_j}$ işine ait yüzde ilerleme
D_a	$U_{i,j}^{n_i n_j}$ işinin yapılacağı üretim bölümü
E_i	$U_{i,j}^{n_i n_j}$ işinde çalıştırılacak eleman sayısı
P_a	D_a bölümünde eleman çalıştırma saatlik ücreti
TE_i	En geç başlama zamanı
TB_i	En geç bitiş zamanı
$T\bar{I}_i$	Gerçekleşmesi planlanan işlem süresi
$Maliyet_a$	D_a bölümünde yapılacak işlerin işçilik maliyeti

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Ek Bilgi ile Gelen İhtimaller.....	11
Tablo 1.2. Öncül Olasılıklar.....	12
Tablo 1.3. Düzeltilmiş Soncul Olasılıklar.....	13
Tablo 1.4. Ana Üretim Planlama İşlemleri	29
Tablo 1.5. <i>P1</i> Ürünü için MİP.....	34
Tablo 1.6. Öncelik Kuralları	40
Tablo 1.7. α ve β Parametreleri	44
Tablo 1.8. γ Değeri Amaç Fonksiyonları	44
Tablo 2.1. A Ürünü için ÜAİ Birinci İterasyon.....	62
Tablo 2.2. A Ürünü için ÜAİ İkinci İterasyonu	63
Tablo 2.3. A Ürünü için ÜAİ Üçüncü İterasyon	63
Tablo 2.4. A Ürünü için ÜAİ Dördüncü İterasyon	64
Tablo 2.5. A ürünü için ÜAİ İterasyon Değerlendirmeleri.....	64
Tablo 2.6. A Ürünü Üretimi İçin İş Döküm Yapısı	65
Tablo 2.7. A Ürünü için Notasyonlu İş Döküm Yapısı	65
Tablo 2.8. A Ürünü Üretimi İçin İş Dökümü Notasyon Açıklaması	66
Tablo 2.9. A ürünü için Üretilecek Miktar Hesaplama.....	67
Tablo 2.10: Olayların Tanımı ve Öncül Olasılıkları	69
Tablo 2.11: Kararların Maliyetine İlişkin İfadeler	69
Tablo 2.12. Toplam Gerekli Zaman Hesaplama Tablosu	73
Tablo 2.13. Başlama ve Bitiş Zaman Tablosu	74
Tablo 3.1. Bank Üretimi için Gerekli Ürün Ağaç Miktarları.....	79

Tablo 3.2. Bank Üretimi için Üretim Birimleri	80
Tablo 3.3. Birinci İterasyon	81
Tablo 3.4. İkinci İterasyon	82
Tablo 3.5. Üçüncü İterasyon	82
Tablo 3.6. Dördüncü İterasyon.....	83
Tablo 3.7. Beşinci İterasyon.....	83
Tablo 3.8. Altıncı İterasyon	84
Tablo 3.9. Yedinci İterasyon.....	84
Tablo 3.10. Sekizinci İterasyon.....	84
Tablo 3.11. Dokuzuncu İterasyon	84
Tablo 3.12. İterasyon Birincileri	85
Tablo 3.13. İterasyon Sonuçlarına Göre Önceliklerin Gruplandırılması	85
Tablo 3.14. Bank Üretimi İçin Gerekli Notasyonlar.....	86
Tablo 3.15. Uzman Zaman Tahminleri ve Üretim Miktarları.....	88
Tablo 3.16. Üretme ve Fason Zaman Tahminleri ve Zamanında Üretme ve Üretememe Maliyetleri.....	89
Tablo 3.17. Soncul Olasılıkların Hesabı	90
Tablo 3.18. Üret veya Fason Kararları.....	91
Tablo 3.19. Bank Üretim İşi Özet Tablo.....	92
Tablo 3.20. Yapılacak İşlemlerin Bölümlere Göre Sınıflandırılması	94
Tablo 3.21. Testere Kesim Bölümü İçerisinde İş Sıralaması.....	95
Tablo 3.22. Press Bölümü İçerisinde İş Sıralaması	96
Tablo 3.23. Büküm Bölümü İçerisinde İş Sıralaması	97
Tablo 3.24. Düğümler Arası İleri Yönlü Bağlantı Matrisi.....	97

Tablo 3.25. Notasyonların Toplam Çalışma Zaman Hesap Matrisi (Tezgâh Kurulum Süreleri Hariç).....	98
Tablo 3.26. Optimum En Geç Başlama Zamanları Matrisi	99
Tablo 3.27. Optimum En Geç Bitiş Zamanı Hesabı	100
Tablo 3.28. İşlemlerin Üretim Maliyetleri	102
Tablo 3.29. Bölümlerin İş Gücü Kapasite İhtiyaçları	103

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Koşullu Olasılık.....	5
Şekil 1.2. Profil Fiyatları Satın Alma veya Almama Birincil Karar Ağacı.....	9
Şekil 1.3. Yenilenmiş Karar Ağacı	15
Şekil 1.4. Planlama Sistemi	17
Şekil 1.5. Üretim Kontrol Çemberi	19
Şekil 1.6. Bir Üretim Sisteminin Temel Elemanları.....	21
Şekil 1.7. Stok Yönetimine Göre Şekillenen Üretim Sistemleri ve Teslimat Zamanları ..	22
Şekil 1.8. Stokların Sınıflandırılması	31
Şekil 1.9. Talebin Yapısına Göre Stok Kontrol Modelleri.....	32
Şekil 1.10. Örnek Ürün Ağacı	33
Şekil 1.11. Gantt Grafiği ve Faaliyetler Arası Kurallar.....	39
Şekil 1.12. Üretim Çizelgeleme Problemleri.....	43
Şekil 1.13. Üretim Çizelgeleme Problemleri İle İlgili Son Yıllarda Yapılan Çalışmalar .	54
Şekil 1.14. Mühendislik ve üretim aktiviteleri için birleşik bir işlem planı.....	57
Şekil 2.1. A Ürünü için Ürün Ağacı ve İş Önceliklerinin Sıralanması	60
Şekil 2.2. A Ürünü için İş Dökümü Yapısı ve Notasyonlar.....	66
Şekil 2.3. A Ürününe Ait Herhangi Bir İşlemin Üretileceğine mi? Yoksa Fason Kaynak Kullanılarak mı? Elde Edileceğine Yönelik Karar Ağacı.....	71
Şekil 2.4. A Ürünü İşlemleri için Üretim Çizelgeme.....	75
Şekil 3.1. Bank Üretimi için Ürün Ağacı	78

Şekil 3.2. Bank Üretimi İş Akışı ve Notasyonlar	87
Şekil 3.3. İş Bitiş Zamanlamaları Örneği	101
Şekil 3.4. Bank Üretimi İş Çizelgesi	105

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1.Genel Bilgiler

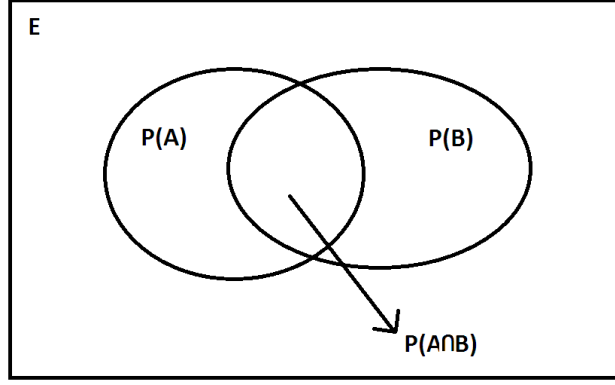
Bu bölümde ikinci ve üçüncü bölümde kullanılacak olan istatistiksel bilgiler, karar analizi (KA) metodu ve genel üretim planlama yöntemleri ile çizelgeleme yöntemlerine değinilecektir. Genel bilgiler verilerek sonraki bölümlerin anlaşılabilirliği kolaylaştırılmaya çalışılacaktır.

1.1.1. İstatistiksel Kavramlar

Bu bölümde KA metodu içerisinde kullanılan Bayes teoreminin (BT) temeli olan koşullu olasılığa değinilecek örneklerle açıklanacaktır. Ardından BT kısaca açıklanarak, KA metodu içerisinde kullanımına değinilecektir.

1.1.1.1. Koşullu Olasılık

Bir deneyin tüm olası sonuçlarının örnek uzayı olarak E içerisinde yer aldığını ve ayrıca sonuçlara ait olan tüm ihtimallerinde bu E uzayı içerisinde belirlendiğini varsayalım. E uzayı içerisinde bir veya birden çok olaya ait sonuçlar yer alır. Örnek verecek olursak, üretimden çıkan mamulün istenilen özelliklerde olup olmadığının testi bizim deneyimizdir. Kalite kontrol sonucu ürünün kusurlu veya kusursuz olma olayları mevcuttur. Bu iki olayın toplamı E uzayını oluşturur. Olayların gerçekleşme sıklığı yani frekansı ise E uzayı içerisinde gerçekleşen tüm olaylarla kıyaslandığında bizim ihtimalimizi oluşturmaktadır. Tek bir örnek uzayda tanımlı olan A ve B olayları için, A olayının gerçekleştiği varsayıldığında, B olayının ortaya çıkma olasılığına koşullu olasılık adı verilir. Şekil 1.1’de koşullu olasılık anlatılmaya çalışılmıştır.



Şekil 1.1. Koşullu Olasılık

Yukarıdaki şekil 1.1’ de açıkça görüldüğü gibi A olayının B olayının gerçekleşmesi varsayımı ile oluşan koşullu olasılığının gösterimi $P(A|B)$ şeklindedir ve hesaplanışı aşağıdaki formül 1.1’de gösterilmiştir.

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (1.1)$$

1.1.1.2. Bayes Teoremi

18. yüzyılda yaşayan İngiliz kilisesi yönetim kurulu bakanı olan rahip Thomas Bayes, Tanrı gerçekten var mı? sorusunu yöneltti. Bu soruyu cevaplamak için, Tanrının gerçekten var olduğu ihtimalini, dünya üzerinde kendisine sunulan kanıtlara dayandırarak belirtmek üzere bir formül geliştirme girişiminde bulundu. Literatürde, Bayes Teoremini oluşturan çalışmalarının kim tarafından derlenerek sunulduğuna dair çeşitli söylentiler bulunmaktadır. Bunlardan birincisi ölümünden birkaç yıl sonra Bayes’e ait çalışmalarının başka bir rahip arkadaşı tarafından derlendiğidir, ikincisi ise daha sonraları 19. yüzyılın başlarında Pierre-Simon Laplace isimli matematikçi Bayes’in çalışmalarını düzenleyerek BT olarak adlandırdığıdır.

BT çıktıları hakkında yeni bilgiler elde edildiğinde, bilinen çıktıların orijinal ihtimallerinin revize etmede faydalıdır. Gelen yeni bilgiler ışığında önceki ihtimaller artık revize edilmiş veya sonraki ihtimaller olarak adlandırılırlar [1].

BT bir stokastik süreç sırasında ortaya çıkan bir rastgele olay A ile bir diğer rastgele olay B (eğer B için kaybolmamış olasılık varsa) için koşullu olasılıkları ve marjinal olasılıkları arasındaki ilişkidir, yani

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{P(B|A) * P(A)}{P(B)} \quad (1.2)$$

BT formülü içinde bulunan her bir terime özel isimler verilmektedir [2]:

- $P(A)$ terimine A için önsel olasılık veya marjinal olasılık adı verilir
- $P(A|B)$ terimi verilmiş B için A'nın koşullu olasılığı adını alır.
- $P(B|A)$ terimi verilmiş A için B'nin koşullu olasılığı adını taşır.
- $P(B)$ terimi B olayı için 'önsel' olasılıktır veya B'nin marjinal olasılığıdır ve matematiksel rolü normalize eden bir sabittir.

Bu şekildeki BT, fazla matematiksel olmadan, sezgiye dayanarak şöyle açıklayabiliriz: BT eğer B gözlemlenmiş ise, A gözlemi hakkındaki inançların ne şekilde güncelleştirilebileceğini ortaya çıkartır.

Örnek: Bir üretim tesisinde aynı mamulü üreten 3 ayrı makine olan X, Y ve Z makineleri bulunmaktadır. Bu makinelerin kapasiteleri ve çalışma zamanları aynıdır. Üretim sonucu oluşan makinelerden çıkan ürünlerdeki kusurlu parça olma oranları sırasıyla X, Y ve Z makineleri için %2, %7 ve %12 'dir. Üretim sonucu tüm ürünler tek bir alanda toplanmaktadır. Seçilen ürünün kusurlu olduğu gözlemlendiğinde bu kusurlu ürünün Y makinesinde üretilmiş olma ihtimali nedir? [1]

Çözüm : $P(X) = 1/3$, $P(Y) = 1/3$, $P(Z) = 1/3$,

$P(H | X) = 0.02$, $P(H | Y) = 0.07$, $P(H | Z) = 0.12$,

$P(Y | H) = ?$

$$P(Y|H) = \frac{P(H|Y) * P(Y)}{P(H)}$$

$$P(H) = P(H|X) * P(X) + P(H|Y) * P(Y) + P(H|Z) * P(Z)$$

$$P(Y|H) = \frac{P(H|Y) * P(Y)}{P(H|X) * P(X) + P(H|Y) * P(Y) + P(H|Z) * P(Z)}$$

$$P(Y|H) = \frac{0.07 * 0.33}{0.02 * 0.33 + 0.07 * 0.33 + 0.12 * 0.33}$$

$$P(Y|H) = 0.33$$

Kutudan seçilen hatalı ürünün Y makinesinden üretilmiş olma ihtimali 0.33'dür.

1.1.2. Karar Ağaçları

Karar ağacı, yukarıda bahsedilen BT' ye dayanan istatistiksel bir karar analiz yöntemidir. Alternatif kararların, karar verici tarafından analiz edilmesine ve karar vericinin kendi kişisel bilgi, görüş ve deneyimlerine dayandırarak kararların sonuçlarına ait kar ve zararların hesaplanmasına olanak tanır. Bir kararın ardından doğacak sonuçlar ve o sonuçları izleyen daha çok karar verme zorunluluğu ve son olarak da alınan yeni kararlarında sonuçlarının da irdelendiği bir karar analiz yöntemidir. KA, öncelikle karar vericinin kendi kişisel bilgi, tecrübe, görüşlerine ve durumun gerçek mevcut bilgilerine dayanarak tahmin edilmek istenilen durumlara ait başlangıç dağılımlarını oluşturur. Oluşturulan bu dağılımların ardından, durumların sonrasında ek bilgi ve durumlar ile elde edilen hareket biçimleri ve bu hareketlere ait kar veya zararların hesaplanması sonucu kararların alınması işlemi ile KA işlemleri sona erer. Klasik yaklaşımlarda direk olarak özneliği veya diğer bir deyişle çeşitli olayların öncelik olasılıklarını hesaba almaz, fakat karar vermede bayesgil yaklaşımı hazırdaki herhangi bir ilk bilgiyi revize ederek toplanmış olan örnek veriler içerisinde hesaba katar [3].

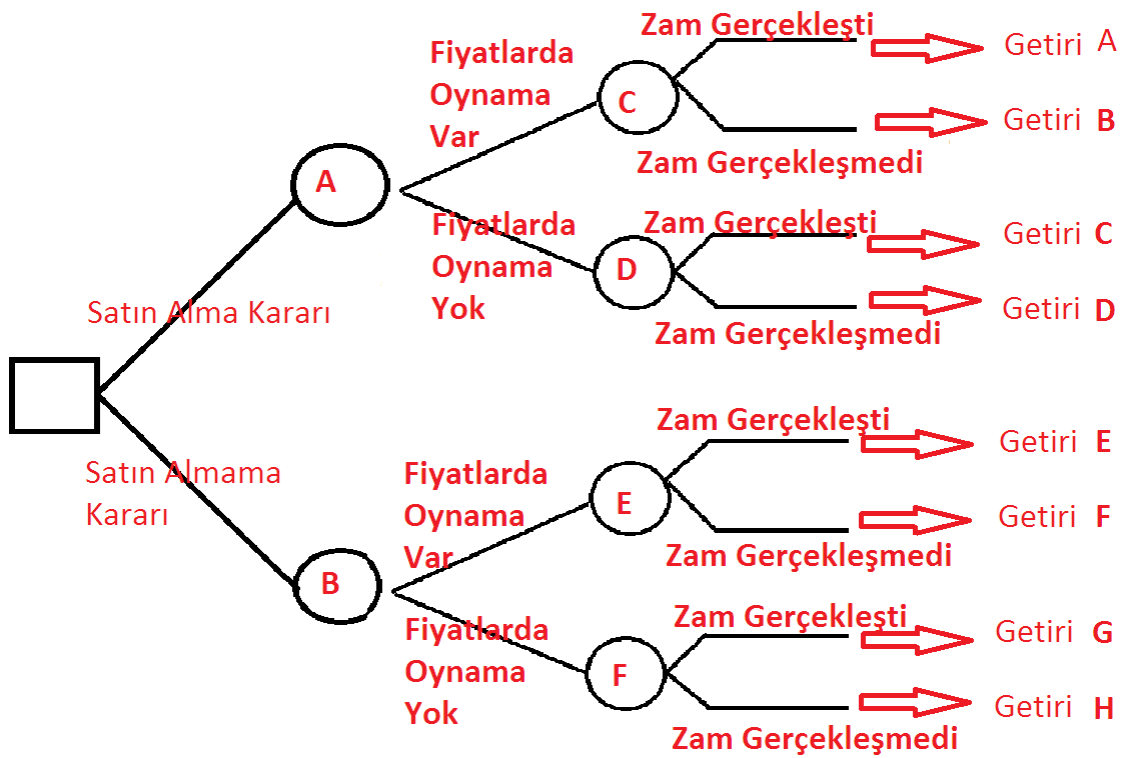
KA kullanım alanı bakımından oldukça geniş bir alana sahiptir. Alınabilecek en küçük ekonomik ölçekli karardan en yüksek ekonomik ölçekli kararda dahi kullanılabilir. İmar planlarının oluşturulmasında, gelecek yılın ev fiyatlarının tahminine yönelik şu anda ev satın alınıp alınmayacağı kararında, ürününü hangi donanım veya makine ile üretileceği kararına, tesis yerleşim problemlerinde ve daha birçok alanda KA kullanılabilir.

KA' nı daha iyi anlamak için gerçek hayat problemlerinin modellenmesi aydınlatıcı olacaktır. Metal sektöründe olan A firmasına gelecek ay sonrasında demir profil fiyatlarının % 20 oranda zamlanacağı bilgisi ulaşmıştır. Bu haber karşısında şimdiden ürün stok yapmak konusunda kararsız kalmışlardır. Bazı durumlarda bu tarz haberler asılsız çıkan spekülasyonlardan başka bir şey olmamaktadır. Geçmiş deneyimlerine dayanarak satın alma uzmanı bu haberin % 70 gerçek % 30 ise asılsız olduğuna inanmaktadır. Fakat profil fiyatları zamlandığında mevcut ürünlerine de zam yapmaları gerekebilmektedir ve bu durum A firmasının yapmış olduğu antlaşmalar sebebiyle,

rakiplerinin fiyat politikasına uyması zorunluluğundan kaynaklanmaktadır. Şimdiki zamsız fiyattan stok yaparak, daha çok kar elde edebilecekleri gibi, bu haberin asılsız olduğuna inanarak stoklarını normal seviyede tutmaya da karar verebileceklerdir. Firmanın alması gereken iki karar bulunmaktadır. Bunlar, satın alma işlemini başlatarak stok bulundurmak veya stok bulundurmamaktır. Firma aynı zamanda gelecek ay sonrası için ana malzemesi profilden olan 1000 adet ürün siparişi bulunmaktadır. Kesinleşmiş olan bu sipariş için firma ihtiyacı olan profilleri şimdiden satın alabileceği gibi, üretim öncesinde de satın alma işlemini gerçekleştirebilir. Bu 1000 adet ürün için gerekli olan profil miktarının şimdiden stoklanıp stoklanmamasının kararlaştırılması gerekmektedir. Profil fiyatlarına zam gelmesi durumunda, sektördeki rakiplerin ürünlerine zam yapması olasılığı % 55'dir. Rakipler genellikle hammadde zammını ürüne yansıtmak için ürünlerine % 25 zam uygulamaktadırlar. Böylece, profil fiyatlarına zam gelmesini izleyen iki durum oluşmaktadır, bunlar: ürünlere zam yapılacak (fiyatlarda oynama olacak) ve ürün fiyatlarında değişme olmayacak olaylardır. Profil fiyatlarına yapılan zamdan sonra, ürün fiyatlarına zam yapılmaz ise yaklaşık % 30 daha fazla sipariş alınacağı düşünülmektedir. Bu durumda bulundurulması gereken profil miktarı da daha fazla olmaktadır. Profil fiyatlarına zam gelmemesi durumunda ise üreticiyi bekleyen iki durum oluşmaktadır. Rakipleri ürün fiyatlarında oynama yaparak % 10 indirim yapmayı ve daha çok satış yapmayı planlamaktadırlar. Bu olayın ihtimali % 40 olarak düşünülmüştür ve indirim gerçekleştiğinde mevcut siparişlere ek % 40 daha fazla siparişin alınabileceğidir. Ürünlerde indirim gerçekleşmezse sipariş miktarında bir değişiklik olmayacaktır. Rakipler ürün fiyatlarında indirim yapacak (fiyatlarda oynama olacak) ve fiyatlar normal seviyede kalacak şeklinde, görüntü fiyatlarına zam gelmemesi durumunu izleyen iki olay bulunmaktadır. Ürünün şu anda normal satış bedeli 150 TL tutarındadır ve bir ürün için 4 adet profil kullanılmaktadır. Profilin şu anki fiyatı ise 20 TL tutarındadır. Eğer firma stoklarını şimdiden temin eder ve zam gelmez ise bunun kendisine maliyetinin profil başına 3 TL olduğuna karar vermiştir. Yine firma stoklarını şimdiden temin etmez ve profil fiyatlarına zam gelirse, profil başına 2 TL gibi ek stoksuzluk maliyetine maruz kalacağını düşünerek, karar analizinde

zam gelmesi durumunda uygun fiyattan stok alamamasının maliyetini abartılı bir şekilde görmek istemektedir.

Bu durumu daha iyi inceleyebilmek için ise şekil 1,2'deki karar ağacı yapısına bakmakta fayda vardır. Karar Ağacı istatistiksel karar problemlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Özellikle, Bayesgil karar verme problemlerinde çözüme büyük katkılar sağlamaktadır [4].



Şekil 1.2. Profil Fiyatları Satın Alma veya Almama Birincil Karar Ağacı

Şekil 1.2 'de ifade edilen getirilerin ve olay olasılıklarının hesaplanması ve ardından kararlara ait beklenen getirilerin belirlenmesi gerekmektedir. problem içerisindeki bilgiler kullanılmıştır. Getiriyi hesaplamak ise toplam satış miktarından toplam maliyeti çıkarmak ile mümkündür. Şekli 1.2' de ifade edilen tüm getirilerin hesaplanması aşağıdaki gibidir.

Getiri A, satın alma kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmesinden kaynaklanması, oluşan yeni zamlı fiyattan yapılan satışlardan elde edilen getiriyi simgelemektedir.

$$\text{Getiri A} = (1000 * 187,50 \text{ TL}) - (4000 * 20,00 \text{ TL}) = 107.500,00 \text{ TL}$$

Getiri B, satın alma kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmemesinden kaynaklanması ve % 40 artan sipariş miktarı ile yapılan satışlardan elde edilen getiriyi ifade etmektedir. İlk başta alınan profiller için zam olmaması durumu kaynaklı, stok bulundurma maliyeti oluşmuştur.

$$\text{Getiri B} = (1400 * 135,00 \text{ TL}) - (4000 * 23,00 \text{ TL}) - (1600 * 20,00 \text{ TL}) = 65.000,00 \text{ TL}$$

Getiri C, satın alma kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynamaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmesinden kaynaklanması ve normal fiyattan yapılan satışlara % 30 daha eklenmesi ile elde edilen getiriyi simgelemektedir. İlk başta alınan 4000 profil haricinde alınan profiller yeni fiyattan satın alınacaklardır.

$$\text{Getiri C} = (1300 * 150,00 \text{ TL}) - (4000 * 20,00 \text{ TL}) - (1200 * 24,00 \text{ TL}) = 86.200,00 \text{ TL}$$

Getiri D, satın alma kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynamaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmemesinden kaynaklanması ve normal fiyattan yapılan satışlardan elde edilen getiriyi simgelemektedir. İlk başta alınan profiller için zam olmaması durumu kaynaklı, stok bulundurma maliyeti oluşmuştur.

$$\text{Getiri D} = (1000 * 150,00 \text{ TL}) - (4000 * 23,00 \text{ TL}) = 58.000,00 \text{ TL}$$

Getiri E, satın almama kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmesinden kaynaklanması ve oluşan yeni zamlı fiyattan yapılan satışlardan elde edilen getiriyi simgelemektedir. Profili daha önceden almamış olmanın maliyeti olan 2 TL' de eklenmiştir.

$$\text{Getiri E} = (1000 * 187,50 \text{ TL}) - (4000 * 26,00 \text{ TL}) = 83.500,00 \text{ TL}$$

Getiri F, satın almama kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmemesinden kaynaklanması ve % 40 artan sipariş miktarı ile yapılan satışlardan elde edilen getiriye ifade etmektedir.

$$\text{Getiri F} = (1400 * 135,00 \text{ TL}) - (5600 * 20,00 \text{ TL}) = 77.000,00 \text{ TL}$$

Getiri G, satın almama kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynamaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmesinden kaynaklanması ve normal fiyattan yapılan satışlara % 30 daha eklenmesi ile elde edilen getiriye simgelemektedir. İlk başta alınan 4000 profil haricinde alınan profiller yeni fiyattan satın alınacaklardır.

$$\text{Getiri G} = (1300 * 150,00 \text{ TL}) - (4000 * 26,00 \text{ TL}) - (1200 * 24,00 \text{ TL}) = 62.200,00 \text{ TL}$$

Getiri H, satın almama kararından sonra, rakiplerin fiyatlardaki oynamaması durumunun profil fiyatlarına zam gelmemesinden kaynaklanması ve normal fiyattan yapılan satışlardan elde edilen getiriye simgelemektedir.

$$\text{Getiri H} = (1000 * 150,00 \text{ TL}) - (4000 * 20,00 \text{ TL}) = 70.000,00 \text{ TL}$$

Elimizdeki bu getiri bilgileri KA yöntemi için yeterli değildir. Her kararın beklenen getirisinin belirlenebilmesi için bize daha önce sunulan öncül olasılıkların, zammın olup olmayacağına yönelik bilgiler ışığında soncul olasılıklarının belirlenmesi gerekmektedir. KA yöntemiyle doğru kararın seçimi ile en fazla kar elde etmek için belirlenecek soncul olasılıklar için gerekli, öncül ihtimallerimizi tablo 1.1 'de ve ek bilgi ışığında gelen ihtimallerimiz tablo 1.2'de bulunmaktadır.

Tablo 1.1. Öncül Olasılıklar

Olay	İhtimal
Zam Olacak	$P(ZV)=0.7$
Zam Haberi Asılsız	$P(ZY)= 0.3$

Tablo 1.2. Ek Bilgi İle Gelen İhtimaller

	Fiyatlarda Oynama Var P(A)	Fiyatlarda Oynama Yok P(B)	Toplam
Profil Fiyatlarına Zam	0.55	0.45	1.0
Profil Fiyatlarına Zam Yok	0.40	0.60	1.0

Bu durumda ilk olasılıklarımızı bir araya toplarsak aşağıdaki gibi sıralamamız mümkün olacaktır.

$$\begin{aligned}
 P(ZV) &= 0.70 & P(A \mid ZV) &= 0.55 & P(A \mid ZY) &= 0.40 \\
 P(ZY) &= 0.30 & P(B \mid ZV) &= 0.45 & P(B \mid ZY) &= 0.60
 \end{aligned}$$

Öncül olasılıklarımızdan oluşturacağımız soncul olasılıklar için BT kullanılacaktır. Formül 1.2 ‘deki gibi tüm olasılık değerlerimiz için yapılacak hesaplamalar aşağıdadır.

$$P(ZV|A) = \frac{P(A|ZV) * P(ZV)}{P(A)}$$

$$P(ZV|A) = \frac{0.55 * 0.7}{0.55 * 0.7 + 0.4 * 0.3}$$

$$P(ZV|A) = 0,76238 \text{ Fiyatlarda Oynama Yapılmış Olduğunda Profil Fiyatlarına}$$

Zam Gelmiş Olma Olasılığı

$$P(ZV|B) = \frac{P(B|ZV) * P(ZV)}{P(B)}$$

$$P(ZV|B) = \frac{0.45 * 0.7}{0.45 * 0.7 + 0.6 * 0.3}$$

$$P(ZV|B) = 0,63664 \text{ Normal Fiyat İle Satışlarda Profil Fiyatlarına Zam Gelmiş}$$

Olma Olasılığı

$$P(ZY|A) = \frac{P(A|ZY) * P(ZY)}{P(A)}$$

$$P(ZY|A) = \frac{0.4 * 0.3}{0.4 * 0.3 + 0.55 * 0.7}$$

$P(ZY|A) = 0,23762$ Fiyatlarla Oynama Yapıldığında Profil Fiyatlarına Zam Gelmiş

Olma Olasılığı

$$P(ZY|B) = \frac{P(B|ZY) * P(B)}{P(ZY)}$$

$$P(ZY|B) = \frac{0.6 * 0.3}{0.6 * 0.3 + 0.7 * 0.45}$$

$P(ZY|B) = 0,36336$ Normal Satış Durumunda Profil Fiyatlarına Zam Gelmemiş

Olma Olasılığı

Tüm bu yeni soncul olasılıklarımızı aşağıdaki tablo 1.3 ile gösterirsek, başlangıçtaki değerlerimizin ciddi manada değiştiğini gözlemleriz.

Tablo 1.3. Düzeltilmiş Soncul Olasılıklar

	Soncul Olasılıklar	Profil Fiyatlarına Zam P(ZV)	Profil Fiyatlarına Zam Yok P(ZY)	Toplam
Fiyatlarda Oynama P(A)	0.505	$P(ZV A) = 0.76238$	$P(ZY A) = 0.23762$	1.0
Normal Satış P(B)	0.495	$P(ZV B) = 0.63664$	$P(ZY B) = 0.36336$	1.0
Toplam	1.0			

Tablo 1.3'deki ikincil olasılıklar kullanılarak, problemin çözümü için kararların beklenen getirilerinin hesaplanması gerekmektedir. Problem içerisinde sunulan bilgiler ışığında her eylemin beklenen getirisini hesaplanmalı ve ikincil olasılık değerleri ile çarpılarak geriye doğru kararların beklenen getirileri mukayesede edilmeli ve en fazla getirisi olan karar ise karar verici tarafından seçime en uygun olan karar olarak algılanmalıdır. Karar analizini gerçekleştirmek için, probleme yönelik karar ağacı ek

bilgiler ışığında yenilenmelidir. Düzgün bir karar analizi için karar ağacının da sistemli ve anlaşılır bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Şekil 1.2 'de verilen karar ağacı problem içerisinde ki verilerin sistemli olarak gösterilmesine olanak sağlamıştır. Şekil 1.3' deki karar ağacı hesaplanan ikincil olasılıkların yerlerine konularak, kararlara ait beklenen değerlerin hesaplanması işlemi gerçekleştirilecektir. Beklenen değerlerin bulunması ile en uygun kararın seçiminde karar vericiye kolaylık sağlayacaktır. Beklenen değerlerin hesaplanması işlemim şekil 1.2' deki her düğüm için ayrı ayrı hesaplanacak ve düğümlerin birleştiği karara kadar bu işlem devam edecektir. *A* düğümü, satın alma kararsın beklenen getirisini simgelemektedir. *A* düğümündeki beklenen getiri $E(A)$ ' yı hesaplayabilmek için kendisine bağlı olan *C* ve *D* düğümlerine ait beklenen değerlerin $P(A)$ ve $P(B)$ olasılıkları ile çarpımlarının toplamını hesaplamak gereklidir. *C* ve *D* düğümlerinin beklenen değerlerinin hesaplanması da bağlı olduğu olaylara ait tablo 1.3' deki soncul olasılık değerlerinin olayların sonucuna ait getiri değerleri ile çarpımlarının toplamı şeklinde ortaya çıkacaktır. Şekil 1.2'deki *B* düğümü satın almama kararının beklenen getirisi $E(B)$ ' yı hesaplamak içinde kendisine bağlı olan düğümlerin beklenen getirilerinin $P(A)$ ve $P(B)$ olasılıkları ile çarpımlarının toplamını hesaplamak gereklidir.

$$E(A) = (P(A)*E(C)) + (P(B)*E(D))$$

$$E(A) = [0.505 * ((0.76238 * 107.500,00\text{TL}) + (0.23762 * 65.000,00 \text{ TL}))] + [0.495 * ((0.63664 * 86.200,00 \text{ TL}) + (0.36336 * 58.000,00 \text{ TL}))]$$

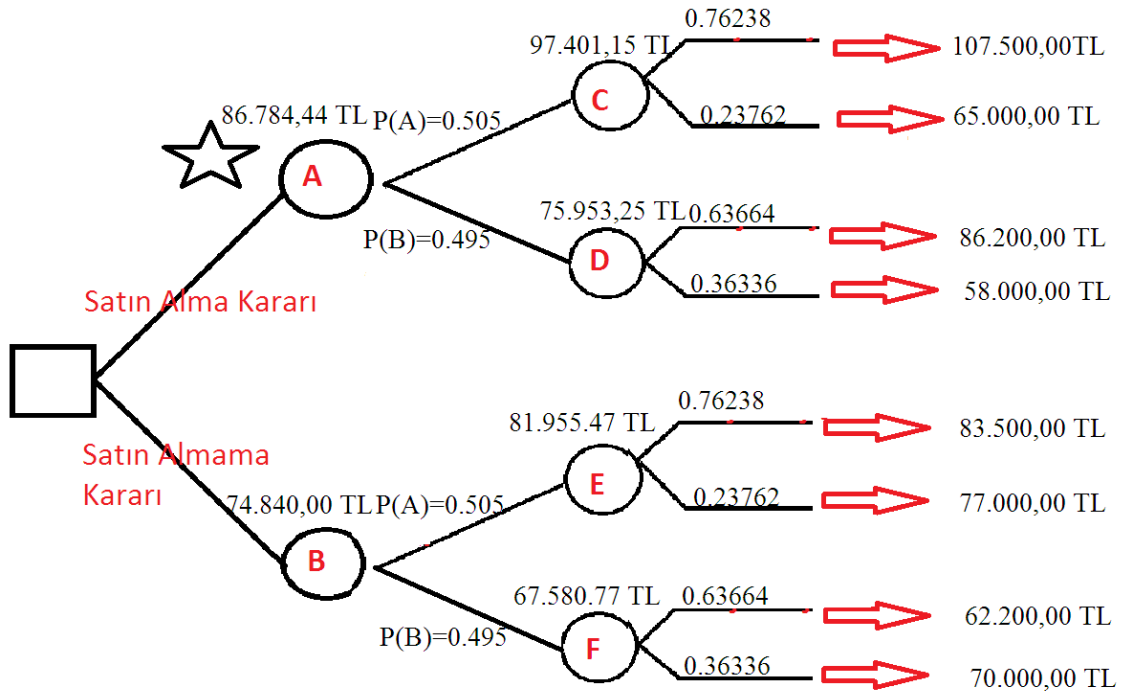
$E(A) = 86.784,44 \text{ TL}$ satın alma kararının beklenen değeri yukarıdaki hesaplamalardan bulunmaktadır.

$$E(B) = (P(A)*E(E)) + (P(B)*E(F))$$

$$E(B) = [0.505 * ((0.76238 * 83.500,00 \text{ TL}) + (0.23762 * 77.000,00 \text{ TL}))] + [0.495 * ((0.63664 * 62.200,00 \text{ TL}) + (0.36336 * 70.000,00 \text{ TL}))]$$

$E(B) = 74.840,00 \text{ TL}$ satın almama kararının beklenen değeri yukarıdaki hesaplamalardan bulunmaktadır.

Yukarıdaki beklenen değer hesapları yapıldıktan sonra tüm verilerimizi karar ağacı üzerinde görmek için şekil 1.3 ‘ deki yenilenmiş karar ağacına bakıldığında karar verici için en iyi kararın ihtiyacı olan tüm profilleri şimdiden satın alması gerektiği yönündedir.



Şekil 1.3. Yenilenmiş Karar Ağacı

Şekil 1.3’ de açıkça gözüktüğü üzere, karar verici için ihtiyacı olan profilleri şimdiden almak kendisine daha karlı bir durum oluşturacaktır. Profil fiyatlarına zam olup olmayacağının veya sektördeki rakiplerinin zam sonrası ürünlerine zam yapıp yapmayacağının belirsizliği karşısında kendisi için izlenmesi gereken en iyi olay zinciri satın alma kararının ardından gerçekleşen profil zammı ve rakiplerinin satış fiyatlarına zam politikasıdır.

1.1.3. Üretim Planlama ve Kontrolü

1.1.3.1. Üretim

Ekonomistler üretimi fayda yaratmak şeklinde tanımlar. Mühendisler ise, bir fiziksel varlık üzerinde onun değerini artıracak bir değişiklik yapmayı veya hammadde veya yarı mamulleri kullanılabilir bir mamule dönüştürmeyi üretim sayarlar [4].

Üretimi genel tek bir süreç olarak ele alırsak, üretim süreci içerisinde birden çok faaliyetin ve sürecin yer aldığını anlamış oluruz. Üretimi doğrudan veya dolaylı olarak etkinleştirmek, verimli kılmak, verilen iç ve dış taahhütleri yerine getirmek amaçlı yürütülen faaliyetler de dâhil olmak üzere, bu faaliyetlerin yönetimi, planlanması, kontrolü ve diğer süreçlerle olan etkileşimini ortaya koyan tüm faktörleri üretim yönetimi adı altında ele almamız yanlış olmayacaktır.

Küreselleşen dünyada rekabetin artması ve sürekli olarak pazarlara yeni oyuncuların girmesi ile birlikte, rekabet edebilmenin en önemli koşulu olarak ihtiyaca yönelik, istenilen kalitede ve düşük maliyetli ürünlerin üretiminde kullanılan kaynakların verimli kullanılması olmuştur. Kaynakların verimli kullanımı etkin planlama ve kontrol faaliyetlerinin bir bileşkesi olarak algılanmalıdır. Üretim kaynakları olarak değerlendirilenler arasında, iş gücü, hammadde kaynakları, makine ve ekipmanlar ve sermaye ile birlikte günümüzde asla telafisi olmayan en önemli kaynak olan zamanda bulunmaktadır. Üretim süreçlerinde kaynak yönetimine ait yapılması gereken faaliyetlerin tanıtımı aşağıda tek tek yer almaktadır.

1.1.3.2.Üretim Planlama

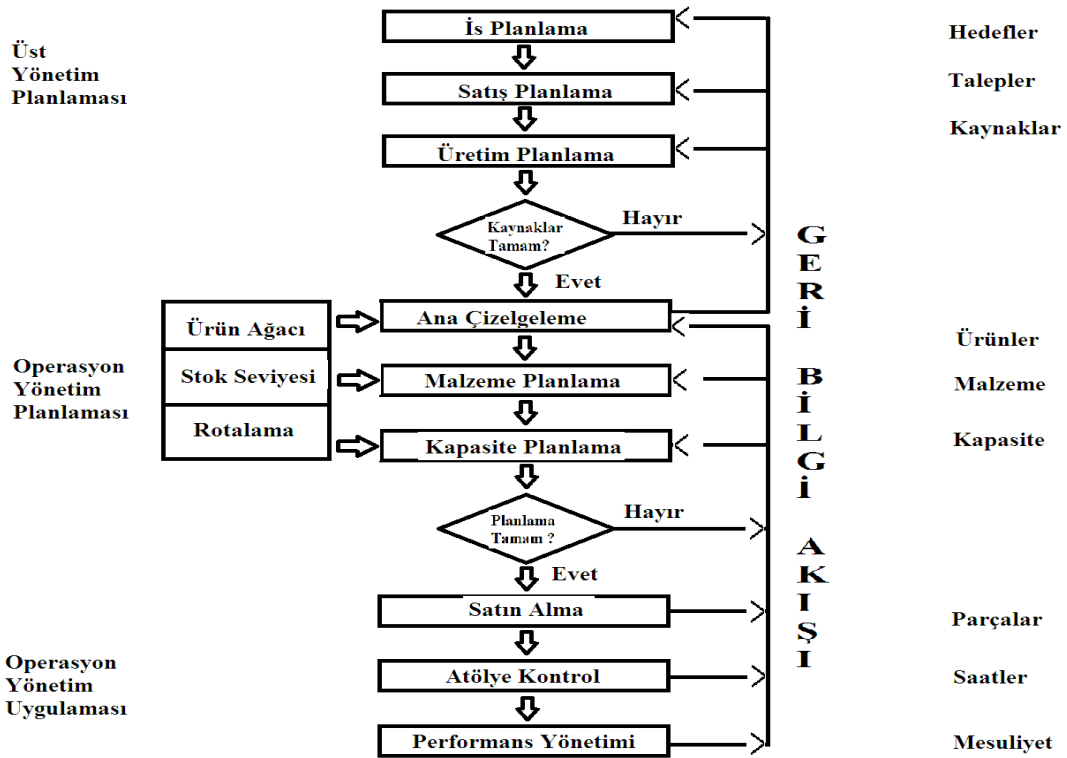
Üretimin söz konusu olduğu her ölçekten üretim tesisinde üretim planlama hangi ürünün ne kadar üretileceğini, stoklarda ne kadar ürün bulundurulacağını, üretilmesi planlanan ürünün üretim içerisinde hangi aşamalardan geçeceğini, hammadde ve yarı mamul stoklarının takibini, iş çizelgelemeyi, gerekli insan gücü, makine ve ekipmanı yönetmeyi amaçlayan sistematik bir yaklaşımdır.

Gerçek dünya problemlerinde üretim planlama yöntemleri firmalar arasında süreç, ürün ve ürüne bağlı olan diğer faktörlerin farklılıklarından dolayı farklılık göstermektedir. Küçük bir işletmede, üretim planlama işlemi tek bir kişi tarafından ifa edilebilirken, işletme büyüdükçe, ürün sayısı artıkça, tedarikçi sayısı ve üretim hattında ki eleman sayısı artıkça kaynakların planlanması daha büyük önem arz etmektedir. Bu gibi durumlarda üretim planlama işlemi sistematik bir yaklaşım içerisinde talep tahmini veya talep toplama yoluyla, üretim içerisinde kullanılacak stokların seviyelerinin sürekli kontrol altında tutularak, üretim hattı içerisindeki iş istasyonlarına ve üretim elemanlarına iş atayarak ifa edilmektedir.

Üretim planlama gereklilikleri sebebiyle stok yönetimi, satış, pazarlama, insan kaynakları ve stratejik planlama yönetimiyle büyük oranda iç içedir. Bunun sebebiyle günümüzde üretim planlamadan bahsederken, sadece üretimin planlanması olarak bahsetmek yanlış olacaktır. Bütünleşik bir sistem mimarisinin büyük bir parçası olan üretim planlama, firmanın kısa veya uzun vadeli hedeflerine yönelik, satışlarından kar elde edebilmesi için üretim içi kaynaklarının (insan gücü, makine, zaman, stok) etkin olarak planlanmasını amaçlamaktadır.

Üretimin planlanmasında rol oynayan en büyük faktör zaman ve insan faktörüdür. Zamana karşı yarış olan üretim planlama süreci, aynı standartlarda ürünü, istenilen zamanda, istenilen kalitede ve istenilen maliyette üretmeyi amaçlayan bir yöntemdir. Üretim planlama işlemi devamlılık arz eden ve sürekli tekrarı olan bir süreçtir. Bu yüzden her plan kendinden önceki planın bilgi birikimini de taşır.

Aşağıdaki şekil 1.4 ile üretim planlamanın üst düzey yönetiminden başlayarak operasyonel yönetim kararlarının icra edilmesine kadar olan hiyerarşik yapısı içerisinde ki yeri gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Planlama Sistemi [6]

1.1.3.3.Üretim Planlama Amaçları

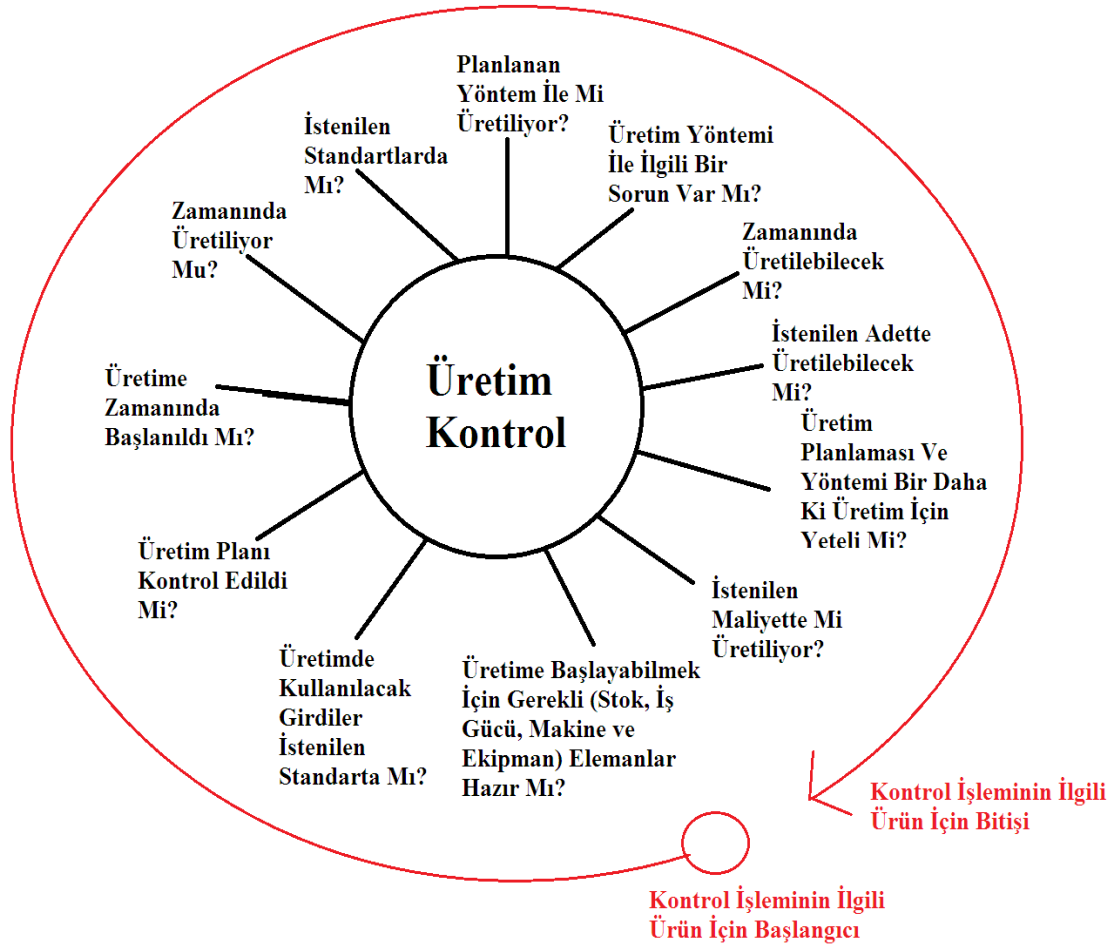
Üretimi planlamak ciddi bir süreçtir ve bir defaya mahsus olmayan, sürekli tekrarı gerektiren, dış etkenlere ve firmanın uzun ve kısa dönem stratejilerine bağlı olan bir yöntemdir. Üretim planlamada ki ana amaç, pazardan gelen talepleri veya gelmesi beklenen talepleri en uygun kalite, gerekli stok seviyesinde ve az maliyet ile zamanında teslim etmektir. Bu nedenle üretim planlama firmanın üst düzey stratejilerine hizmet eder ve sürekli olarak kısa vadeli hedefler doğrultunda değişebilen dinamik bir yapıya sahiptir. İşletmelerin en büyük amacı kar etmek ve devamlılıklarını sağlamak olduğu için planlama sistemleri de bu amaca hizmet etmeli ve kısa dönemli hedefleri gerçekleştirirken firmanın karlılığını ve devamlılığına katkıda bulunmalıdır. Firmanın ana amacına hizmet etmek için planlamanın hedeflemesi gereken yegâne amaçları aşağıdaki maddelere açıklayabiliriz.

- a) Stokların etkin kontrolü ve gerekli ekonomik seviyelerde stok miktarlarının yeterliliği sağlanarak, ürün imalatına ve taleplere karşılık verebilmek
- b) Üretim içi faaliyetleri ve bu faaliyetlerde kullanılacak olan makine, ekipman ve iş gücünün sınıflandırılarak standartlaştırılması
- c) Ürünlere ait iş akış bilgilerinin ve teknik dokümanların oluşturulması, arşivlenmesi ve standartlaştırılması
- d) Verimlilik ve karlılık esaslı düşüncenin benimsenmesi ve faaliyetlerin bu yönde düzenlenmesi
- e) Diğer departmanlarla tam işbirliği ile çalışarak firmanın ana strateji için gerekli ürün imalatlarına öncelik verilmesi
- f) Etkin planlama ile üretim içi harici giderleri (boş zamanlar, fireler, fazla stok miktarları, tezgâhlar ve makineler arası stok birikmesi vb...) yok etmek
- g) Sürekli geliştirme mantığına sahip olmak ve üretim süreci içerisindeki faaliyetlerde iyileştirme çalışmalarında bulunmak.

Yukarıda sıralanan bu maddeler üretim planlama süreci içerisinde amaçlanması gereken ana maddelerdir. Planlama işlemi sadece kendi başına etkinliğini koruyamaz, planlamanın ardından yapılması gereken planlanan işlerin istenilen şekilde yapılıp yapılmadığının kontrolüdür. Üretim kontrol olarak adlandırılan bu yöntem, planlama gibi sistematik bir şekilde yürütülmesi gereken bir ögedir. Üretim planlamayı izleyen üretim kontrol yöntemi de sürekli devam etmesi gereken bir süreçtir.

1.1.3.4. Üretim Kontrol

Üretim kontrol ve alt faaliyetleri, üretim planlama ile planlanan ve bir sıra ile yapılması beklenen işlemlerin, girdilerini ve çıktılarını kontrol eder. Bu kontroller içerisinde, üretim planlama işlemi ile belirlenen adet, zaman ve iş standartlarına uygunluğu denetler ve uygunsuzlukların giderilmesi için gerekli önlemler alınır. Kontrolsüz gerçekleşen bir üretim planlama işleminin başarıya ulaşması oldukça zordur. Bu yüzden planlama faaliyetleri içerisinde yapılması planlanan ve ulaşılması hedeflenen planlama kalemlerinin devamlı olarak kontrol edilmesi önem arz etmektedir. Şekil 1.5 ile üretim kontrol işlemlerinin her üretilen ürün için izlediği yol gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Üretim Kontrol Çemberi

Şekil 1.5 ‘deki üretim kontrol çemberi üretim işletmelerinde sistemli veya sistemsiz olarak sorulan sorular ve alınan cevaplara göre yapılan kontrol işlemleri özetlemeye çalışılmıştır.

1.1.3.5.Üretim Kontrol Amaçları

Üretim kontrolün ne olduğu daha önce açıklanmıştı, neyi amaçladığı ise üretim planlamada olduğu gibi firmanın ana hedefi olan, karlılık ve devamlılığın gerçekleşmesinde, kaynakların verimli kullanılmasını denetlemek ve gerekli düzenlemeleri gerçekleştirmek olduğundan bahsedebiliriz. Üretim kontrol, planlama verilerinin ışığında gerçekleşen veya gerçekleşecek faaliyetlerin uygunluğunu denetleyen bir yöntemdir. Yönteme ait amaçları ise aşağıdaki maddeler ile açıklamak mümkündür.

- a) Üretimde kullanılacak malzemenin uygunluğunu denetleyerek, üretim sırasında veya sonrasında oluşacak aksaklıklarla beraber ek maliyetlerden kaçınmak
- b) İş çizelgesine göre işlerin planlanan zamanlarda başlatılması ve bitirilmesi ile ürünün stoklara zamanında dâhil olması, müşteriye zamanında teslim edilmesi
- c) Üretilen ürünün planlanan standartlarda ve istenilen kalitede olup olmadığının denetlenmesi ile malzeme israfını zamanında engellemek
- d) Sürekli iyileştirme yöntemi ile yapılan işin sürekli sorgulanması ve daha iyi üretim planları ve yöntemleri geliştirmeye katkı sağlamak
- e) Üretim girdilerinin (malzeme, ekipman, iş gücü, makine) yeterliliğini sürekli olarak kontrol ederek, proaktif bir yaklaşımla zaman ve mali kayıpları yok etmek
- f) Üretim birimleri içerisindeki koordinasyonda rol oynamak ve doğru iletişim ile ürün rotalarında sapmaları ve gereksiz beklmeleri engellemek
- g) Ürünün ekonomik olarak üretilmesi için gerekli yöntemleri (kalite kontrol, kalite güvence, stok kontrol, malzeme yönetimi) kullanmak

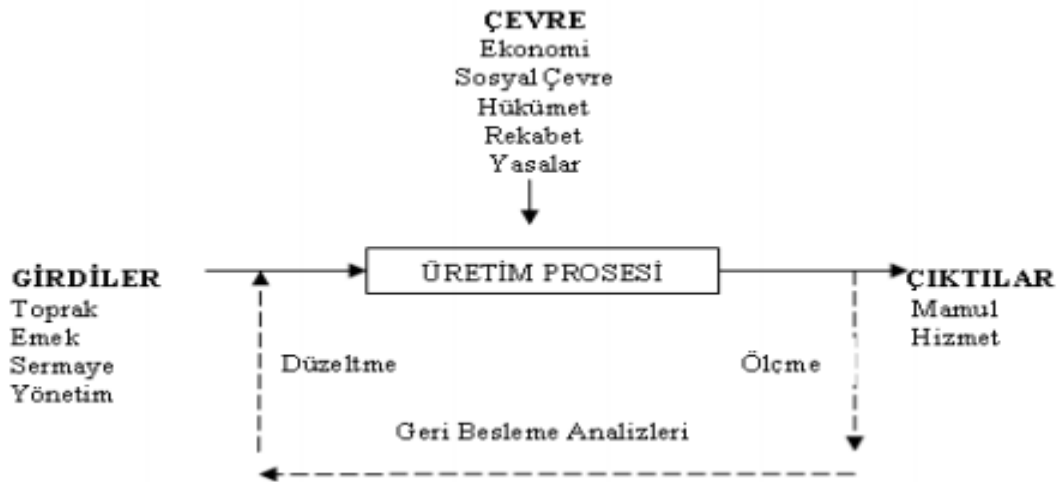
Yukarıda sıralanan bu maddeler üretim kontrol süreci içerisinde amaçlanması gereken ana maddelerdir. Nasıl planlama işlemi kontrol işlemi olmaksızın sadece kendi başına etkinliğini koruyamayacağı gibi kontrol işlemi de planlama olmadan etkisiz kalacaktır. Plansız ve standartlaştırılmamış işlemlerin kontrol edilmesi sadece kişilerin inisiyatifine kalabilir.

1.1.3.6.Üretim Sistemleri

Üretim sistemleri genel olarak kaynakların etkin bir şekilde üretimde değerlendirilmesini ve verimliliği göz önünde bulundurarak, firmanın kısa ve uzun

vadeli hedefleri doğrultusunda çalışan sistemlerdir. Ürünün özellikleri, siparişin miktarı, müşterinin talepleri, ürün üretiminin gerektirdikleri, üretimin amacı, toplam ürün sayısı ve daha birçok özelliğe bağlı olarak sınıflandırılabilirler. Fakat bu çalışmada üretim sistemleri incelenirken geleneksel üretim sistemleri ve modern üretim sistemleri olarak incelenecektir. Modern üretim sistemi olarak tabir edilen kavramlar çok da yeni tarihlerde gerçek hayat problemleri içerisine girmiş olmasalar da birçok insan için halen yeniliklerini korumakta ve araştırmacılar için geniş çalışma alanları sunmaktadırlar. Etkili üretim sistemi kullanımının getireceği faydalara verilebilecek en iyi örneklerden biri Ford otomobil fabrikası sahibi Henry Ford'un üretimde nakil bantları kullanarak, verimliliğini ve kapasitesini artırması ile maliyetlerini düşürmesi, araç fiyatlarını 850 \$'dan 300 \$'a indirmesi ve işçi ücretlerini günde 2 \$'dan 5 \$'a çıkarmasıdır.

Üretim sistemlerinin temel mahareti maliyet kalemi olan girdileri (iş gücü, makine, ekipman, envanter, zaman vb...) satış ve kar kalemi olan çıktılara çevirebilmektir. Aşağıdaki şekil 1.6 ile bir üretim sisteminin temel elemanları tanıtılmıştır.



Şekil 1.6. Bir Üretim Sisteminin Temel Elemanları [5]

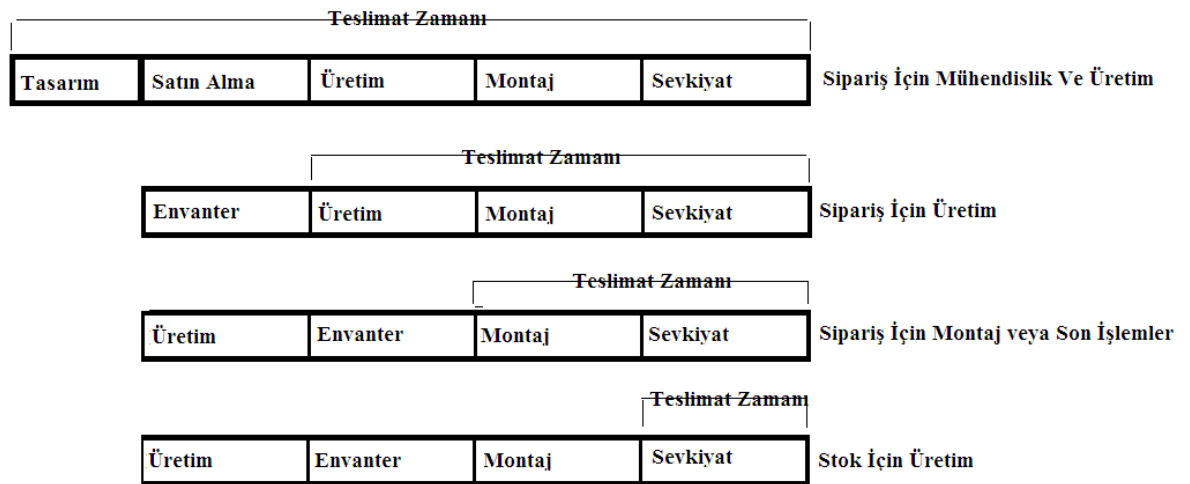
Bu çalışmada üretim sistemlerini daha rahat inceleyebilmek için geleneksel ve modern sistemler olarak iki gruba ayırdığından bahsedildi. Bu gruplar ise kendi alt gruplarına ve terminolojilerine sahiptir.

1.1.3.6.1. Geleneksel Üretim Sistemleri

Geleneksel üretim sistemlerini stok yönetimlerine göre, ürün çeşitlilikleri ve üretim miktarlarına göre ve üretim süreçlerine göre üç alt başlıkta incelemek gerekmektedir. Bunun sebebi bu üç konunun da firmalar arasında farklılıklar göstermesidir.

1.1.3.6.1.1. Stok Yönetimlerine Göre Üretim Sistemleri

Ürünlere ait stok yönetimlerinin üretim stratejileri üzerinde etkisi müşteri siparişlerine teslimat sürelerinin zamanları ile ölçümlenebilir bir kavramdır. Ürünlerin stoklarda hazır olarak bulunarak mı müşteri siparişi ile anında teslim edilmesi mi? yoksa müşteri siparişi ile başlayan başka süreçlerinde olup olmamasına bağlı olan üretim sistemleri sınıflandırılmasıdır. Şekil 1.7 ' da stok yönetim sistemlerine göre üretim sistemleri ve teslimat zamanı şekli ile daha anlaşılır bir görünüm elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1.7. Stok Yönetimine Göre Şekillenen Üretim Sistemleri ve Teslimat Zamanları [7]

1.1.3.6.1.1.1. Stok İçin Üretim

Stok için üretim sistemlerinde üretici ürünlerinin üretim işlemlerini tamamlanmış halde stoklarına dahil eder ve gelen müşteri siparişlerini stoklarından karşılamaya çalışmaktadır. Bu üretim sisteminde ürünler herhangi bir bekleme süresine sahip olmaksızın müşteriye sunulduğu için teslimat zamanı oldukça kısadır. Ürünler sabit tasarımlara ve standartlara sahiptirler. Bu üretim sistemleri için verilebilecek en iyi

örnekler, gıda üretim işletmeleri, ilaç üretim işletmeleri ve tütün mamulleri üretim işletmeleri olabilir.

1.1.3.6.1.1.2. Sipariş İçin Üretim

Sipariş için üretim sistemleri, müşteri siparişi gelene kadar üretim işlemine başlamamaktadır. Stoklarda bulunan hammadde ve yarı mamulün üretime alınması, üretilmesi ve sevkiyat edilip, müşteriye ulaşana kadar ki zaman teslimat zamanı olarak hesap edilir. Bu üretim sisteminde ürünler çoğunluk olarak ortak stok kalemlerinden üretilmektedirler. Bitmiş mamul stokları elde tutulmaksızın, müşteri siparişine göre üretim gerçekleştirilir ve müşteriye sunulur. Stok için üretim yapan işletmeleri konfeksiyoncuya benzetirsek, sipariş için üretim yapan işletmeleri de terziye benzetmemiz yanlış olmayacaktır.

1.1.3.6.1.1.3. Sipariş İçin Montaj ve Son İşlemler

Sipariş için montaj ve son işlemler üretim sistemlerinde ürünler üretilerek yarı mamul olarak stoklara konulur ve gelen çeşitli müşteri taleplerini karşılamak için montaj ve son üretim işlemleri tamamlanarak müşteriye teslim edilir. Ürünlere ait alt stokların ve yarı mamullerin standartlaştırıldığı, ortak kullanıldığı ve ürünler arasında küçük farklılıkların olduğu üretimlerde kullanımı elverişlidir.

1.1.3.6.1.1.4. Sipariş İçin Mühendislik ve Üretim

Ürüne ait tüm hammadde ihtiyacının, yarı mamul ihtiyacının ve tasarımın müşterinin ihtiyacına göre sıfırdan şekillendiği ve tasarım sürecinin ardından satın alma işleminin başlayarak gerekli stok kalemlerinin sadece üretim öncesinde temin edildiği üretim sistemidir. Bu üretimde sisteminde, stoklarda bulunan hazır stok kalemlerinin kullanımı oldukça azdır. Bunun yerine müşterinin kendisi için üretilmesini istediği ürünün üretimine yönelik mühendislik çalışmaları ilk defa yapılır ve bu çalışmaların ardından satın alma ve üretim işlemleri geçekleşerek müşteriye ürün temini gerçekleştirilir.

1.1.3.6.1.2.Ürün Çeşitliliği ve Üretim Miktarlarına Göre Üretim Sistemleri

1.1.3.6.1.2.1. Proje Tipi Üretim

Proje tipi üretimde üretilecek olan ürün yer değiştirmez. Bu tip üretim sistemlerinin çıktısı olan ürünler, genellikle tamamen müşteri isteğine özel olarak üretilen ve fiziksel

olarak ürünün istasyonlar arasında taşınması mümkün olmayan ürünlerdir. Ürün hareket edemediğinden tüm üretim faktörleri üretim alanına getirilir [8].

1.1.3.6.1.2.2. Parti Tipi Üretim

Çok çeşitli miktardaki ürün kısıtlı sayıda üretildiği sistemlerdir. Üretilen ürünler aynı çeşidin farklı tipleri olabileceği gibi benzer özelliklere sahip farklı ürünlerde olabilir. Her partide farklı bir ürün üretilir. Kullanılan makine ve teçhizat genel amaçlıdır. Sürekli değişen ürüne adapte olabilecek kalifiye personel kullanımını gerektirmektedir. Sürekli bir üretim olmadığından bir üretim hattı kurulması söz konusu değildir. Satın alma ve üretim planlama koordineli olarak çalışmalı ve makinelere iş yükü dağıtımı dikkatli yapılmalıdır. Bu tip üretimde her ürün değiştiğinde makinelerin tekrar ayarlanması ve malzeme taşıma miktarının fazla olması sebebi ile verimsizdir, kalifiye işçi kullanımı ise üretim maliyetlerini arttırır [8]. Ayrıca parti tipi üretim sistemleri literatürde kesikli üretim sistemlerinin bir alt sınıfı olarak da sınıflandırılır.

1.1.3.6.1.2.3. Kitle Tipi Üretim

Benzer özelliklere sahip ürünlerin büyük miktarlarda üretildiği sistemlerdir. Bu sistemlerde ürünler tamamlanmak için aynı üretim bandını takip ederler. Makineler özel amaçlı ve pahalı olmakla beraber kalifiye işçilik gerektirmezler. Talebi belli miktarların üzerinde olan ürünler için kullanılırlar. Büyük miktarlarda üretim ve kalifiye olmayan işgücü kullanımı maliyetleri düşürür. Esneklik düşüktür[8]. Ayrıca kitle tipi üretim sistemleri literatürde sürekli üretim sistemlerinin bir alt sınıfı olarak da sınıflandırılır.

1.1.3.6.1.2.4. Proses Tipi Üretim

İmalatı gerçekleştirilen ürünün genelde akışkan, ürün çeşidinin az ve üretilme miktarının yüksek olduğu üretim şekli (Talep miktarları çok yüksek olan standart ürünler olduğu için sürekli olarak yüksek miktarlarda ve stok için üretilirler. Bu üretim şekli, makinelerin ürünün iş akışına göre bütünleştirildiği tesislerde gerçekleştirilir. Örneğin deterjanlar, meşrubat, şeker, süt vb.) [8]. Kitle tipi üretim sistemleri gibi proses tipi üretim sistemleri de literatürde sürekli üretim sistemlerinin bir alt sınıfı olarak da sınıflandırılır.

1.1.3.6.1.3.Üretim Sürecine Göre Sistemleri

1.1.3.6.1.3.1. Sipariş Tipi Atölye

Bu tip üretim sistemlerinde, birden çok amaca hizmet edebilecek ve birbirlerinin yerine geçebilecek genel amaçlı tezgâhlar kullanılır ve kalifiye işçilik gerektirir. Üretilen parçalar üretim için sipariş geldiğinde ilgili makinelerin boş olmasına göre hareket eder eğer makine dolu ise ara depolama yolu ile bekletilir. Sipariş tipi atölyelerde iş akışı üretim alanı içinde oldukça karışık olup yüksek miktarda taşıma gerektirir. Bu da sistemin verimliliğini düşürür [8]. Ayrıca sipariş tipi atölye üretim sistemleri literatürde kesikli üretim sistemlerinin bir alt sınıfı olarak da sınıflandırılır.

1.1.3.6.1.3.2. Akış Tipi Atölye

Akış tipi atölyelerde gelen siparişler birbiri ardına aynı işlemlerden geçerler. Kullanılan tezgâhlar pahallı ve kısıtlı yeteneklere sahiptir, sürekli benzer işler yapıldığından kalifiye işçilik gerektirmez. Bu açıdan maliyetleri düşürür. Ara stoklar olabildiğince azaltılmış ve her istasyondaki üretim süreci ürünün sadece bir kısmının tamamlanması ile hızlandırılmıştır. Üretim hattı birbirini takip eden istasyonlardan oluştuğundan ürünün bir istasyondan diğerine geçişindeki her türlü gecikmeler üretimin aksamasına sebep olur. Bu sebeple üretim planlama ve ara stok bölgelerinin belirlenmesi önem taşır [8]. Ayrıca akış tipi atölye üretim sistemleri literatürde kesikli üretim sistemlerinin bir alt sınıfı olarak da sınıflandırılır.

1.1.3.6.1.3.3. Sabit Konumlu Atölye

Bu tip sistemlerde ürün fiziksel ölçüleri yüzünden hareket ettirmesi zor ya da imkânsız olduğundan üretim bileşenleri ürünün etrafında toplanır. Gemi ve köprü inşaatları bunlara örnek gösterilebilir [8]. Ayrıca sabit konumlu atölye üretim sistemleri literatürde proje tipi üretim sistemleri ile aynı kategoride sınıflandırılır.

1.1.3.6.2. Modern Üretim Sistemleri

1.1.3.6.2.1.Hücreli Üretim Sistemi

Grup Teknolojisi (GT), orta çeşitlilik ve hacimdeki parçaların diğer üretim sistemlerine göre daha ekonomik olarak üretilebildiği bir üretim sistemi ve bilinen bir görevi gerçekleştirmek için, verilen durum ya da nesnelerin özellikleri arasındaki yakınlıktan istifade eden bir felsefedir. GT ‘nin bir felsefe olarak anılmasının sebebi, bir görev ya da

işin tasarım ya da gerçekleştirme aşamalarının her ikisini de içermesidir. GT ‘nin bir felsefe olarak anılmasının nedeni, bir görev ya da işin tasarım ya da gerçekleştirme aşamalarının her ikisini de içermesidir. GT ’nin uygulanması, bir fabrikada kullanılan otomasyonun derecesine bağlı değildir; tamamen otomasyona dayanan bir fabrikada olduğu kadar elle üretim sistemine dayanan bir işyerine de uygulanabilir.

Hücreyel Üretim Sistemi(HÜS), GT ‘nin atölye düzenine uygulanmasıdır. Hücreyel üretim, bir ya da daha çok makinenin bir hücre olacak biçimde gruplandığı üretim tipidir ve gruplamalar, benzer süreçleri gerektiren parça aileleri için çalışma yapmak amacıyla gereksinim duyulan işler aracılığıyla belirlenmektedir. Bu tekniğin kullanılması için, benzer süreçleme özelliklerine sahip olan parça grupları olması, dahası; bu parça gruplarının benzerliklerinin belirlenmesi gerekir.

1.1.3.6.2.2.Yalın Üretim Sistemi

Birinci dünya savaşı sonrasında ortaya çıkan kitle tipi üretim sistemi ile batı devletlerindeki büyük üreticiler dünya pazarında büyük oranda sahip oldular. İkinci dünya savaşından sonra esir alınan Japonya’da üretim firmaları büyük başarısızlıklar göstermekte ve inanılmaz kalite problemleri yaşamaktaydılar. Öyle ki Japon ürünleri kalitesizlik ve yüksek maliyetle anılır olmuşlardır. Toyota firması yetkilisi olan Eiji Toyata, Ford otomobil fabrikasında kitle tipi üretim sistemlerini ve montaj hatlarını inceleyerek kendi üretim tesisinde yeni bir üretim sisteminin temellerini ortaya atmıştır. Daha sonraları bu çalışmalara Taiichi Ohno’ da katılarak, daha sonraları adı yalın üretim (YÜ) sistemi olarak adlandırılan, üretim sistemi doğmuştur. Bu üretim sistemi diğer endüstrilerdeki Japon üreticiler tarafından da benimsenerek Japon ürünlerindeki kara leke temizlenmiştir. YÜ özüne kaliteyi alan ve bunu sadece tek bir departmana ait bir iş olarak görmek yerine tüm departmanların, üst düzey ve diğer yöneticilerin, beyaz yaka personelin, çalışanların ve hatta tedarikçilerinin üstlenmesi gereken en önemli görev olduğunu vurgulayan bir üretim sistemidir.

YÜ yapısında hiçbir gereksiz unsura yer olmayan üretim sistemidir. Mühendislik ve sürekli iyileştirmeye dayanan yapısı sebebiyle, hata, maliyet, stok, işçilik, geliştirme faaliyetleri, üretim alanının hacmi, fire miktarları, müşteri memnuniyetsizliği gibi unsurların en aza indirilmesi için geçen faaliyetlerin tamamını kapsamaktadır.

YÜ birden fazla sistematik yaklaşımın tek çatıda toplanmasıdır. Bu yaklaşımları aşağıda maddeler halinde inceleyebiliriz.

1. Toplam Kalite Yönetimi (TKY)
2. Yalın Organizasyon ve Süreç İyileştirme
3. Kaizen
4. Üretim Talep Dengeleme
5. Kanban
6. Jidoka
7. Smed
8. Poka – Yoke
9. Toplam Verimli Bakım (TVB)
10. Görsel Yönetim
11. Tek Parça Akışı
12. Kalite Çemberleri
13. Eş Zamanlı Mühendislik

YÜ ve teknikleri hepsi kendi başlarına derinlemesine incelenmesi gereken konulardır. YÜ ve tekniklerinin hepsinin özünde çok sıkı disiplin ve uzun vadeli çalışmalar gerektirmektedirler.

1.1.3.6.2.3.Esnek Üretim Sistemi

Esnek üretim sistemi, bilgisayar ve teknoloji destekli bir üretim sistemidir. Üretimde ki robotlar, taşıyıcı araçlar ve akıllı makineler sayesinde, üretim klasik yöntemlere göre daha hızlı, güvenilir, kalite odaklı ve ekonomiktir. Esnek üretim sistemleri, daha verimli bir üretim sistemi sunarlar. Ürün çeşidinin fazla olması, ürünlerde kullanılan malzemelerin fazlalığı ve sürekli olarak, üretimde kullanılan malzemelerin sürekli değişmesi üretimde esnekliği gerektirmiştir. Bilgisayarların etkin bir şekilde kullanıldıkları bir üretim sistemidir. Otomasyon teknolojilerinin uygulanabilirliği açısından oldukça faydalıdır. Ürün çeşitliliği sebebiyle üretimdeki aynı hammadde ve yarı mamullerin işlenmesi sonucu birbirinden farklı ad ve sınıfta mamul ve yarı mamulün üretilmesi sonucu üretilen ve üretilecek ürünlerin takibi, kontrolü ve planlanması açısından üretimde verimliliği artıracak yönde bir üretim sistemidir.

1.1.3.7.Üretim Planlama Yaklaşımları

Üretim planlama işlemi devamlılığı olan bir süreçtir ve her üretim kararından sonra tekrarı gerçekleşir. Üretim kararı aldıktan sonra hangi üründen ne kadar üretileceğinin, başlangıçta ne kadar stok olduğunun ve üretim bitişinde ne kadar stok tüketileceğinin ve ne kadar üretileceğinin belirlenmesi, stok tüketimi için plan oluşturulması ve ihtiyaçların belirlenerek tedarikçilerden temini, üretim içerisinde kullanılacak olan diğer girdilerin (iş gücü, zaman, makine, sermaye) planlanması ve etkin kullanılması, ürünün oluşumunda izlenecek yöntemin belirlenmesi ve gerekli birimlere iş bildiriminin yapılması gerekmektedir. Tek bir çatı olarak üretim planlama şemsiyesi altında birleşen genel yaklaşımlar tek tek aşağıdaki konu başlıklarında sıralanmışlardır.

1.1.3.7.1. Ana Üretim Programı

Ana üretim planı (AÜP) üretime hangi ürünlerden ne kadar alınacağını belirten bir ana çizelgedir. Bu üretim planı ile dönemsel olarak üretime alınacak ve üretimi tamamlanacak ürünler bir ana başlık altında toplanır. Ana üretim planı kısa vadeli planlama aralığında her bir dönem için tamamlanacak ürünlerin miktarını belirler. AÜP gerçekte tüm çizelgelerin anası olarak kabul edilir [9].

AÜP basit işlemlerin yapıldığı küçük atölyelerde tek başına oldukça yeterli olsa bile işlemlerin artışı, ürün çeşitliliğinin, stok çeşidi ve miktarının artışı ve planlama ihtiyacının daha çok olduğu üretim işletmelerinde tek başına yeterli olmamaktadır. AÜP ne üretileceğine dair ana başlıkları taşır fakat kimin hangi işi yapacağını ve ne kadar stok tüketileceğini belirtmez. Ayrıca AÜP içerisinde uzun dönemli satış hedefleri, satış sonrası elde kalan stok ve üretilecek olanın da sayısal değerleri gelecek dönemler için kullanılabilmektedir.

Daha iyi anlaşılabilmesi için mobilya sektöründe ki A firması B ürünü için gelecek 12 hafta boyunca sırasıyla, 60, 70, 50, 40, 50, 65, 25, 45, 95, 50, 35 ve 60 adet satış yapabileceklerini tahmin etmektedirler. B ürünü için şu anda ellerindeki stok miktarı 40 adettir ve ekonomik olarak bu ürün için belirlenen üretim miktarı 50 adet olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu ürün için belirlenen güvenlik stok miktarı da 25 olarak belirlenmiştir. Haftalar ilerledikçe tahmin edilen satış miktarı ile gelen satış miktarları arasında farklar oluşmaktadır. Fakat üretim kararı alırken önceki satış taleplerine göre

almak zorundadırlar. Ekonomik parti büyüklüğü olarak 150 adet üretimin üretimi 1 hafta sürmektedir. Buna göre ana üretim programının oluşturulması işlemi için her hafta başlangıcında eldeki stok gelen taleplerden çıkarılır ve gelecek hafta için beklenen satış tahminine göre üretip üretmeme kararı alınır. Bu işlemlerin yapıış işlemleri aşağıdaki tablo 1.4 ana üretim planlama işlemleri tablosunda gösterilmektedir.

Tablo 1.4. Ana Üretim Planlama İşlemleri

Ana Üretim Planı 12 Haftalık												
Parti Büyüklüğü: 150 Adet							Üretim Zamanı: 1 Hafta					
Eldeki Stok Miktarı = Stoklardaki Mevcut - Emniyet Stoku = 40 – 25 = 15 Adet												
Haftalar												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yapılması Planlanan Satış Tahmini	60	70	50	40	50	65	25	45	95	50	35	60
Gerçekleşen Satış Talebi	60	50	60	40	35	45	50	60	70	30	40	60
Eldeki Stok Miktarı = 15	105	55	95	55	5	90	40	130	35	135	95	35
Ana Üretim Planı Miktarı	150	-	150	-	-	150	-	150	-	150	-	-
Söz Verilebilir Miktar	20	-	10	-	-	60	-	10	-	5	-	-

Yukarıda ki tablo 1.4’ deki gerçekleşen satış talebi sonradan planın başlangıç devresinde haftalara ait olan toplam gelen taleplerdir. Gerçekleşmesi planlanan satışlarda bir değişiklik olması durumunda AÜP tekrar hesaplanmalıdır. Diğer hücrelerin nasıl hesaplandığına aşağıda matematiksel model üzerinden örnekler verilmiştir.

$$I_0 = \text{Başlangıç Stok Miktarı}$$

$$I_i = i. \text{ci haftada eldeki stok miktarı}$$

$$F_i = i. \text{ci haftada yapılması planlanan stok miktarı}$$

$$O_i = i. \text{ci haftada gerçekleşen satış talebi}$$

$$Q_i = i. \text{ci haftada ana üretim planı miktarı}$$

$$S_i = i. \text{ci haftada söz verilebilir stok miktarı}$$

$$I_i = \max(0, I_{i-1}) - \max(F_i, O_i) \quad (1.3)$$

$$Q_i = \begin{cases} 0, & \text{eğer } I_i > 0 \\ 150, & \text{eğer } I_i < 0 \end{cases} \quad (1.4)$$

$$S_i = Q_i - \text{Gelecek AÜP'ye kadar olan tüm taleplerin toplamı} \quad (1.5)$$

Formül 1.3 ile birinci döneme ait eldeki stok miktarının hesabı için $I_1 = \max(0, 15) - \max(60, 60)$ eşitliği çözüldüğünde $I_1 = -45$ adet stoklarımız eksidedir. Formül 1.4 deki eşitlik ile $Q_i = 150$ adet üretim yapmadan 1. hafta için eldeki stok miktarı sıfırın altına indiği için, üretim gerçekleştirilmesi ve o hafta için siparişleri teslim etmemiz gereklidir. Böylece yeni üretilen ürünlerimizle beraber elimizdeki stok miktarının hesabı için $I_1 = 150 + \max(0, 15) - \max(60, 60)$ eşitliği çözüldüğünde $I_1 = 105$ adet ile elimizde ki stok miktarı güncellenmiş olacaktır. Bu işlem sırası her dönem için devam ettiğinde hafta 1, 3, 6, 8 ve 10 için AÜP miktarları 150'şer olarak belirlenmiştir. Her üretim gerçekleştikten sonra o haftaya ait eldeki stoklar ve gelecek üretim dönemine kadar ki, tüm taleplerin toplamının çıkarılması ile boşta kalan ve söz verilebilir stok miktarlarını ortaya çıkartılır. Söz verilebilir stok miktarı, gelecek üretim miktarına kadar elimizde fazladan olan miktarlardır. Formül 1.5 deki eşitlik 1. hafta için gerçekleşen üretimde kullanırlığında $S_1 = 150 - (60 + 70)$ eşitliği elde edilir ve $S_1 = 20$ adet söz verilebilir ürün miktarı olarak belirlenir. Bu işlem tüm üretim gerçekleşen haftalar için gerçekleştiğinde 1. hafta için 20 adet, 3. hafta için 10 adet, 6. hafta için 60 adet, 8. hafta için 10 adet ve 10. hafta için 5 adet söz verilebilir ürün bulunmaktadır.

AÜP' nin kolay anlaşılır olması için verilen bu örnekte kullanılan teknik ekonomik parti büyüklüğünü ve söz verilebilir ürün miktarları dikkate alarak üretim zamanlarını belirlemek oldu. Bu teknik haricinde AÜP' nin amacına ve stok yönetim sistemine göre farklı teknikler de bulunmaktadır.

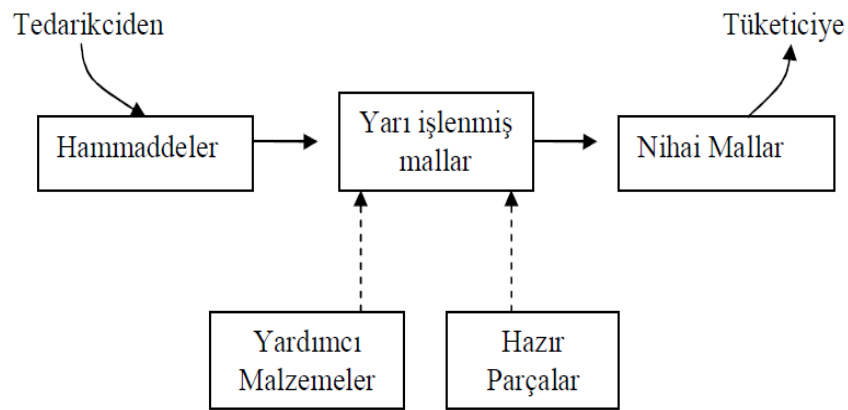
1.1.3.7.2. Stok Kontrol Yönetimi ve Envanter Kontrol Modelleri

Stok yönetimi işletmeler için hayati önem arz etmektedir. Stokların etkin yönetimi ile işletmeler mali kaynaklarını ve üretimlerini daha belirleyici bir şekilde yönetebilirler. Stoklar paraya ve ürüne çevrilebilir kaynaklardır. Bu yüzden üretim faaliyetleri olan bir

işletmede stokların sınıflandırılması, kontrolü için erişebilir ve anlaşılır olması ve ürüne veya mali kaynağa çevrimlerinde sistemli bir yapıya sahip olmaları gerekmektedir.

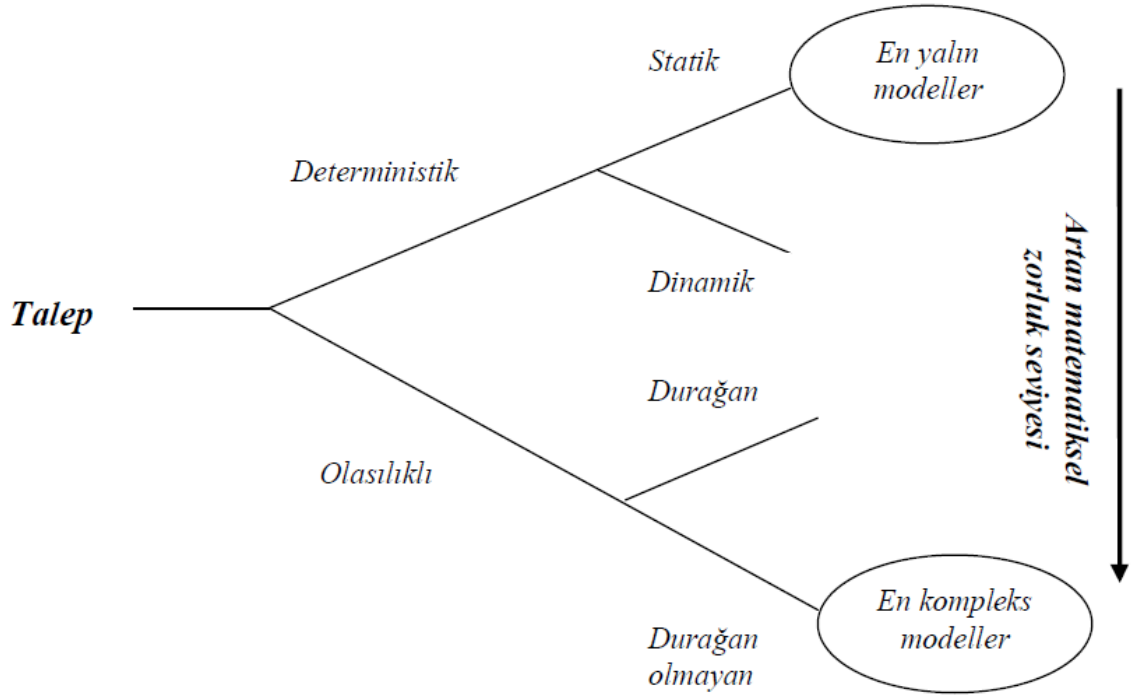
Bir stok problemi sürekli olarak kendisine Ne sipariş edilecek? Ne kadar sipariş edilecek? ve Ne zaman sipariş tekrarlanacak? sorularını sorar ve alınan cevaplar ise stok politikasını oluşturur [10].

Üretim yapısına bağlı olarak stoklar; en genel sınıflama ile 3 grupta toplanmaktadır. Bunlar: Hammaddeler, yarı işlenmiş mallar ve nihai mallardır. Üretime doğrudan katılmayan ve nihai mal içinde yer almayan bazı stok kalemleri ise doğrudan bu üç stok çeşidinin içinde sayılmazlar. Bunlar hazır parçalar ve yardımcı maddelerdir [11]. Stokların bu şekilde sınıflandırılması Şekil 1.8’de görülmektedir.



Şekil 1.8. Stokların Sınıflandırılması [11]

Envanter Kontrol Modelleri: Her ne kadar stoksuz üretim sistemleri ve yalın üretim teknikleri popülaritesini artırmaya devam etse de, günümüz işletmelerinin birçoğu için stok bulundurmaktan kaçmak yerine yarın karşılaştıkları ekonomik belirsizlikler ve talebe zamanında cevap verememe endişesi ile stok bulundurmaya ve etkin yönetimlerine daha sıkı sarılmaktadırlar. Stok kontrolünde en temel modeller talebin belirsizliği üzerinedir. Aşağıdaki şekil 1.9 ile talebin yapısına göre stok kontrol modelleri verilmektedir.



Şekil 1.9. Talebin Yapısına Göre Stok Kontrol Modelleri [12]

Şekil 1.9 ile stok kontrol modellerini deterministik ve olasılıklı modellerler olarak iki grupta inceleyebiliriz.

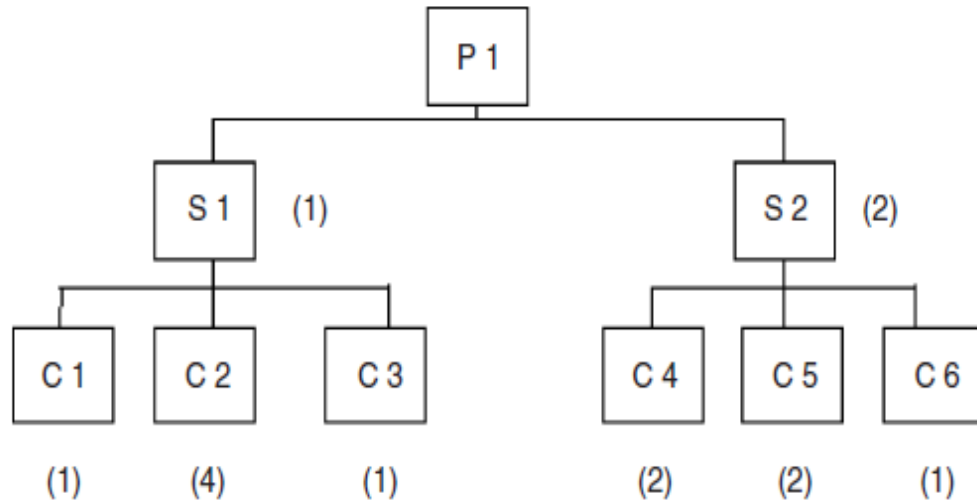
- a) **Deterministik Envanter Modelleri:** Talebin dönemler içerisindeki miktarının sabit olduğu ve ne zaman ne kadar talep geleceğinin kesin olarak bilindiği deterministik modeller deterministik statik modeller olarak adlandırılır. Talep oranının bir dönemden diğerine değişken olması durumunu ele alan modeller ise deterministik dinamik modeller olarak nitelendirilmektedir.
- b) **Olasılıklı Envanter Modelleri:** Olasılıklı talep durumunda ise; talebin olasılık yoğunluk fonksiyonu zamanla değişmiyorsa durağan modeller, olasılık yoğunluk fonksiyonu zamanla değişiyorsa durağan olmayan modeller karşımıza çıkmaktadır[12].

1.1.3.7.3. Malzeme İhtiyaç Planlama

Malzeme ihtiyaç planlaması (MİP) AÜP' da ki ürünleri oluşturmada kullanılan bileşenlerinin üretimleri ve satın alınması için bir plandır [7]. AÜP' den aldığı ürün miktarlarını kullanarak, ürünlerin üretilmesinde ihtiyaç duyulan yarı mamul ve hammadde miktarlarının ne zaman üretimde kullanılacağını gösteren bir planlama

yöntemidir. MİP üç temel girdisi vardır. Bunlar; AÜP, ürün ağaçları (ÜA) ve stok kayıtlarıdır. AÜP planından üretilecek mamul bilgilerini alır ve o ürünlerin üretimi için ÜA'larında ki toplam ihtiyaç olan malzeme tiplerini ve miktarlarını stok kayıtlarından kontrol eder. Ayrıca MİP planlarında malzeme tedarik ve üretim zamanları büyük önem arz etmektedir. MİP planları itme özelliğindeki planlama yaklaşımlarıdır. Şöyle ki, eldeki malzeme ve stoklar sipariş edilen ürünün imal edilip üretimden çıkabilmesi için hedefe doğru itilir.

ÜA İngilizce karşılığı “product tree” olmasına rağmen İngilizce kaynaklarda “Bill of Material” olarak adlandırılır. ÜA ürüne ait gereken alt ürün miktarlarını ve hiyerarşik bir şekilde de ürünler arasındaki ilişkiyi verir. Şekil 1.10 ile örnek bir ÜA verilmiştir.



Şekil 1.10. Örnek Ürün Ağacı [13]

Şekil 1.9'daki P1 ürününe ait ÜA, bize 1 adet P1 için 1 adet S1 ve 2 adet S2 ürününe ihtiyacımız olduğunu söylemektedir. Yine S1 ürünü için 1 adet C1, 4 adet C2 ve 1 adet C3 ürününe ihtiyaç vardır. 1 adet S2 ürünü için ise 2 adet C4, 2 adet C5 ve 1 adet C6 ürününe ihtiyaç vardır. MİP listesinin daha iyi anlaşılması için şekil 1.9' daki ÜA kullanılarak 5. haftanın sonunda 100 adet P1 ürünü üretilmesi gerektiğini farz ederek aşağıdaki tablo 1.5'de MİP listesi oluşturulmuştur. P1 teslim zamanı 2 haftadır ve diğer tüm ürünlerin teslim zamanları birer haftadır. Buna göre 5. haftada P1 ürünü teslim edebilmek için diğer ürünlerin en geç 5. haftanın başında hazır bulunmaları gerekmektedir. C4, C5 ,C6 ve C2 ürünlerinden elimizde 200 adet olduğunu, C1 ve C3

ürünleri için elimizde ürün bulunmadığını farz edelim. Buna göre tablo 1.5’ deki MİP doldurulması aşağıdaki gibidir.

Tablo 1.5. P1 Ürünü İçin MİP

Parça Adı:		Haftalar				
		1	2	3	4	5
P1	Brüt İhtiyaç	100				
	Elimizde Hazır Olan Miktar (0)	0				
	Net İhtiyaç	100				
	Planlanmış Gelecek Miktar	100				
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	100				
S1	Brüt İhtiyaç	100				
	Elimizde Hazır Olan Miktar (0)	0				
	Net İhtiyaç	100				
	Planlanmış Gelecek Miktar	100				
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	100				
S2	Brüt İhtiyaç	100				
	Elimizde Hazır Olan Miktar (0)	0				
	Net İhtiyaç	100				
	Planlanmış Gelecek Miktar	100				
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	100				
C1	Brüt İhtiyaç	100				
	Elimizde Hazır Olan Miktar (0)	0				
	Net İhtiyaç	100				
	Planlanmış Gelecek Miktar	100				
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	100				
C2	Brüt İhtiyaç	400				
	Elimizde Hazır Olan Miktar (200)	200	0			
	Net İhtiyaç	200				
	Planlanmış Gelecek Miktar	200				
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	200				
C3	Brüt İhtiyaç	100				
	Elimizde Hazır Olan Miktar (0)	0				
	Net İhtiyaç	100				
	Planlanmış Gelecek Miktar	100				
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	100				
C4	Brüt İhtiyaç	400				
	Elimizde Hazır Olan Miktar (200)	200	0			
	Net İhtiyaç	200				
	Planlanmış Gelecek Miktar	200				
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	200				

C5	Brüt İhtiyaç	400
	Elimizde Hazır Olan Miktar (200)	200 0
	Net İhtiyaç	200
	Planlanmış Gelecek Miktar	200
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	200
C6	Brüt İhtiyaç	100
	Elimizde Hazır Olan Miktar (200)	200 100
	Net İhtiyaç	0
	Planlanmış Gelecek Miktar	0
	Planlanmış Sipariş Edilen Miktar	0

1.1.3.7.4. Kapasite İhtiyaç Planlama

Kapasite ihtiyaç planlaması (KİP), AÜP ‘da üretilmesi gerektiği belirtilen ürünler, mevcut kaynakların yeterliliğini sorgulayan bir yaklaşımdır. Şöyle ki, üretim için sipariş gelir, eldeki malzemenin, iş gücünün ve makine/ ekipmanın siparişi üretmek için yeterli olup olmadığı kontrol edilir. Ardından, MİP verileri ve iş rotaları kullanılarak gelen üretim siparişi üretimi gerçekleştirilebilmek için alt işlemlere bölünür ve gerekli üretim birimlerine iş emri olarak dağıtılır. Zaman faktörü KİP içerisinde oldukça önemli bir yapıya sahiptir. Bu yüzden tüm KİP işlemleri zamanlara bölünerek ve genellikle de haftalık yapılmaktadır. KİP yönetimi içerisinde yapılacak işlerin üretim birimleri içerisinde dağıtımı ve ardından üretim birimlerinde gerçekleşecek işleri yürütecek personelin ve ihtiyaç duyulan malzemenin yönetimini ve yönlendirilmesini planlayan çalışmalar bütünüdür.

1.1.3.7.5. İmalat Kaynak Planlama

MİP’ leri ürün rota bilgilerini, üretim miktarlarını ve stok kayıtlarını düzenli bir şekilde tutmaya yarayan ve ana amacı siparişin gerçekleşmesine yönelik tüm girdileri çıktı olmaya iten bir üretim planlama sistemidir. Fakat işletmeler büyüdükçe, ürün çeşitliği artıkça ve kontrol edilmesi gereken stok kalemleri artıkça, MİP’ leri üretim ve diğer birimler arasındaki tam koordinasyonu sağlayamamaktadır. Daha bütünleşik bir yapı olarak 1980’lerde karşımıza çıkan imalat kaynak planlaması (İKP) yöntemi, üretim birimlerinin ve diğer birimlerin birbirleri ile koordineli olarak çalışabilmesine olanak sağlamaya başlamıştır. Aslında ortak bir veri tabanını paylaşan İKP yönetimi bir paketleştirilmiş yazılım ürünüdür. Bu yönetim biçimi, üst yönetiminin tam desteği alınamadan ve birimlerin birbiri ile aynı dili konuşmadığı işletmelerde başarılı olamaz.

Günümüz kurumsal kaynak planlama (KKP) yazılımlarının temelini oluşturan İKP yazılımları İngilizce olarak manufacturing resources planning olarak adlandırılmakta ve literatürde de MRP 2 olarak adlandırılmaktadır. Muhasebe, finansman, depo yönetimi, üretim yönetimi ve müşteri ilişkileri yönetimini tek çatıda toplayan İKP sistemleri, temelini MİP' ten alan bir itme sistemidir.

1.1.3.7.6. Kurumsal Kaynak Planlama

KKP yazılımlarının genel amacı işletmeye ait hemen hemen tüm faaliyetlerin bilişim teknolojileri ve bilgisayar bilimleri yardımıyla tek bir veri tabanından kontrolü ve yönetimidir. KKP yönetim sistemi de, İKP gibi paketleştirilmiş bir yazılım ürünüdür. Günümüzde yerli ve yabancı birçok firma için ciddi bir sektör olan, on binlerce insanın çalıştığı, temel prensiplerinin üniversitelerin ana bilim dallarında ders olarak verildiği çok ciddi bir sektördür. İngilizcesi enterprise resource planning olan ve İngilizce kısaltması ERP olan KKP yazılımları işletmeye ait birçok yönetim alanını tek çatıda barındıran bir yönetim sistemi yazılımıdır. 1990' lı yıllardan itibaren hayatımızda olan KKP yazılımları temelinde MİP ve İKP prensiplerini alarak onların üzerine etkin bir muhasebe ve finansman, personel ve insan kaynakları yönetimi, performans ve verimlilik yönetimi, müşteri ilişkileri yönetimi ve depo ve stok yönetimi daha birçok yönetim biçiminde içerisine alan gelen bir kavramdır. Bu yönetim sistemi otomasyon teknolojilerini ve bilişim teknolojilerini içerisinde barındırarak kontrol işlemini kolaylaştırır. Yüksek maliyetleri nedeniyle günümüzde birçok firma henüz KKP yazılımları kullanmaya başlayamamıştır. KKP yazılımları işletmenin bir bütün olarak yönetilebilmesi için bir araçtır. Bütünleşik bir şekilde çalışan işletmelerde KKP yazılımlarının entegrasyonu oldukça kolaydır. Fakat işletmede KKP yönetim sistemi, üst yönetimin tam desteğini almaz ve alt yönetim birimleri tarafından yeniliğe karşı dirençle karşılaşması durumunda, entegrasyon süreci başarısız olur ve işletme sonucunda yatırımından ve harcanan emekten geri dönüşü oldukça zor olan başarısız bir yatırımının kurbanı olur. Bu tarz başarısızlıklar işletmenin ileride kararlaştırdığı yenilikler ve atılımlar içinde olumsuz bir görüş oluşturur. KKP yazılımlarından bahsederken birden çok yönetim biçiminden bahsettik, bu yüzden bu yönetim biçimlerinin modüller halinde sunulmaktadır. Günümüzde KKP modülleri adları firmalar arasında pazarlama kaynaklı farklılıklara göstermekle beraber genel bir çatıda incelenmesi gerektiğinde aşağıdaki gibi maddeler halinde sıralayabiliriz.

- a) Envanter ve Depo Yönetim Modülü
- b) Üretim Planlama Modülü
- c) Satış ve Dağıtım Modülü
- d) Kalite Yönetim Modülü
- e) Fabrika Bakım Modülü
- f) Servis Yönetim Modülü
- g) Satın alma ve Tedarik Zinciri Modülü
- h) Muhasebe Modülleri
 - Mali Muhasebe
 - Duran Varlık Yönetimi
 - Kurumsal Kontrol
 - Maliyet Muhasebesi
- i) İnsan Kaynakları Yönetim Modülü
- j) Proje Yönetimi
- k) Yatırım Yönetimi
- l) Elektronik Bankacılık ve Nakit Yönetimi
- m) E-Ticaret Yönetimi (B2B, B2C)
- n) Müşteri İlişkileri Yönetimi

KKP yazılımlarının ana özellikleri arasında ileri iş zekâsı, analiz ve raporlama yeteneklerinin çok güçlü olmasıdır. Ayrıca, sosyal hayatlarımızda gittikçe artan büyüklükte yer tutan akıllı cep telefonları, mobil cihazlar ve tablet bilgisayarların yakın tarihimizde iş hayatlarımıza da katkıları yadsınamayacak derece önemlidir. Bu teknolojik cihazların hayatımızdaki rollerini iş hayatlarımızın vazgeçilemez önemlilikteki ortak bilgi paylaşımı sağlayan, veri depolayan ve süreçlerin etkin yönetiminde kullanılan KKP yazılımlarında kullanarak, artık yazılım firmaları kullanıcılara daha etkin ve özgür iş yönetim şekli sağlamayı hedeflemektedirler.

KKP yazılımları ağırlıklı olarak sunucu-istemci mimarisi ile çalışan prensiptedirler. Günümüzde bulut teknolojisinin gelişmesi, web ve mobil teknolojilerinin yaygınlaşması sebebiyle KKP yazılımları da değişen işletme enformatiği içerisinde yapısal ve kavram olarak gelişmektedirler.

1.1.4. Üretim Çizelgeleme ve Üretim İşlerinin Sıralanması

Çizelgeleme ve sıralama, imalat ve hizmet sektöründe kritik rol oynayan bir karar verme biçimidir. Günümüz rekabet ortamında etkili sıralama ve zamanlama pazarda hayatta kalmak için bir zorunluluk haline gelmiştir. Şirketler müşterilerine taahhüt ettikleri tarihlerde sevkiyatlarını gerçekleştirmek zorundadırlar, aksi takdirde iyi niyet karinesinde önemli bir kayba sebebiyet vermektedir. Ayrıca, şirketler mevcut kaynaklarını verimli bir yolda kullanmak üzere faaliyetlerini planlamak zorundadırlar [14].

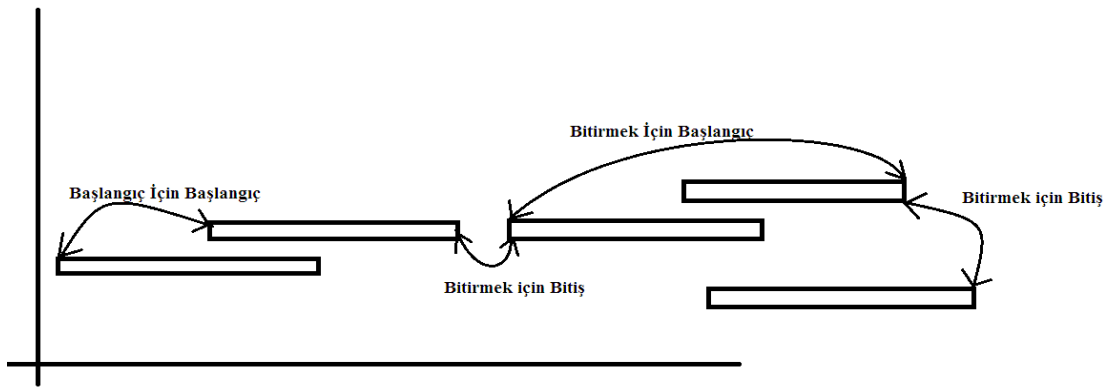
Üretim çizelgeleme zaman içerisindeki üretim kaynaklarının bir dizi kriteri en iyi şekilde karşılamak için tahsis edilmesi olarak tanımlanabilir. Tipik olarak, üretim çizelgeleme problemleri, yapılması gereken bir dizi görevi ve göreve ait erken ve geç bitirmelerin ödünleştirildiğinin ve ayrıca görevlerin tamamlanması için stok bulundurma ve sık üretim geçişleri arasındaki kriterleri içerir [19].

Üretim sistemleri amaçları gereği bir veya birden çok ürünün üretimi için gerekli olan girdilerini en verimli yoldan üretmek üzere tasarlanmışlardır. Üretimin kesikli veya sürekli olması, ürünün stok veya müşteri için üretilmesi veya üretilecek ürünün teknik özelliklerinin değişmesi çizelgelemenin firma için önemini belirlemede oldukça önemlidir. Örneğin, süt ve süt ürünleri üreten bir işletme üretim sistemi olarak proses tipi üretim sistemidir. Bu tip üretim tesislerinde ürün çeşitliği oldukça azdır ve üretilen ürünler süt ürününün yağ miktarına bağlıdır. Üretim çizelgeleme ve işlem sıralama işi için 3 tip sütün üretime sipariş edilen miktarı ve yağ filtreleme için gereken tezgâh kurulumları, işlem süreleri ve müşteriye söz verilen sevkiyat tarihleri önemlidir. Bu girdiler ile hangi tip sütün üretimine öncelik verileceğinin belirlenmesi işlemi gerçekleşecektir.

Çizelgeleme problemlerinin çözümünde büyük yere sahip olan Gannt grafikleri, görsel olarak, doğrusal bir zaman eksenini üzerinde planlanan işlerin hangi sırayla yapılacağını gösterir. Çizelgelemeyi sunmak için yaygın bir yol olan Gannt grafiği, temelde zaman içerisinde faaliyetler arasındaki ilişkiyi ve kilometre taşlarını gösteren bir çizgi grafiğidir [16]. Gannt grafikleri 1919 yılında çizelgeleme problemlerinde kullanılmak üzere bir endüstri mühendisi olan Henry Gannt tarafından tasarlanmıştır. Faaliyetlerin birbiriyle olan ilişkilerini grafik üzerinde göstermek için kullanılan dört kural

bulunmaktadır. Aşağıda maddeler halinde bu kurallar açıklanmıştır. Ayrıca Şekil 1.11’deki Gantt grafiği ile temel kurallar ifade edilmiştir.

- **Başlatmak için başlangıç:** Kendinden sonraki işin başlayabilmesi için ilk işin başlangıcından sonra belli bir sürenin geçmesidir.
- **Bitirmek için başlat:** Kendinden sonraki işin bitebilmesi için ilk işin başlangıcından sonra belli bir sürenin geçmesidir.
- **Başlatmak için bitir:** Kendinden sonraki işin başlayabilmesi için ilk işin bitişinden diğer işin başlangıcına kadar bir sürenin geçmesidir.
- **Bitirmek için bitir:** Kendinden sonraki işin bitebilmesi için ilk işin bitişinden diğer işin bitişine kadar bir sürenin geçmesidir.



Şekil 1.11. Gantt Grafiği ve Faaliyetler Arası Kurallar

Çizelgelemeye konu olacak işler ve işlemler için iş dökümü yapısına ihtiyaç duyulmaktadır. İş döküm yapısı geliştirilecek ve/ veya üretilecek ürünleri tanımlar ve gösterir. İş döküm yapısı çalışma elemanlarının birbirlerini ve son ürünleri tamamlayabilmesi ile alakalıdır [17].

1.1.4.1. Üretim Çizelgeme Karmaşıklığı

Çizelgeleme problemleri genellikle hesaplama karmaşıklığı olan problemlerdir. Pratik deneyimler, bazı hesaplama problemlerini çözmenin diğerlerinden daha kolay olduğunu göstermiştir. Karmaşıklık teorisi işlemlerin çözümlerine yönelik kolay ve zor olmak üzere matematiksel bir çerçeve sağlar [20].

Çizelgeleme problemleri, işlerin hangi sırayla yapılacağına dair karar vermek üzere çözümleri bulmayı amaçlar. Birden çok sıralama ihtimali olduğu için bu sıralama

yöntemlerinden en iyi olanı bulmaya çalışır. Matematiksel olarak, çizelgeleme problemleri en iyi sıralamayı aradığı için kombinatorial en iyileme problemleri olarak sınıflandırılır. Kombinatorial kelimesi; nesnelerin sıralanması ve seçilmesi ile ilgilenen matematiğin bir dalı olan combinatorics kelimesinden türetilmiştir. Kombinatorial optimizasyon ile nesnelerin en iyi şekilde seçilmesi ve sıralanması için aramalar yapılır veya bulunur. Sezgisel yöntemlerin optimizasyon tekniği olarak kullanıldığı bu dalda problemlerin karmaşıklık teorisine göre zorluk sınıflandırılması mevcuttur. Karmaşıklık teorisine göre problemlerin sınıflandırılması P ve NP olarak ikiye ayrılmaktadır. Polinom zamanda çözülebilir tüm karar problemlerinin sınıfı P' dir [20]. Polinom zamanda çözülemeyen ve üstel bir zamanda çözümü gerçekleştirilebilir problemler de NP sınıfında yer almaktadır. Kombinatorial optimizasyon P sınıfı problemlerin optimum çözümü için algoritmalar geliştirmiştir fakat NP sınıfı problemler için optimal çözüm yoktur. NP problemlerinin optimum çözümü olmamasının ana sebebi günümüz bilgisayarları ile çözümlerinin oldukça zor olmasıdır. Fakat gelişen teknoloji sayesinde bilgisayarların hızları ve işlem kapasiteleri artmaktadır. NP problemlerin çözümü için optimuma en yakın kabul edilen çözümleri bulmak üzere sezgisel arama yöntemleri kullanılır. NP problemlerini genel bir çatı olarak kabul edildiğinde kendi içerisinde de zorluk derecelerine göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma NP-Zor, NP-Tam, NP-Kolay ve NP-Eşitlik olarak 4'e ayrılır. Çizelgeleme problemleri çoğunlukla NP-Zor sınıftadırlar ve bazen de NP-Tam sınıfında olmaktadır.

1.1.4.2. Üretim Çizelgeleme Öncelik Kuralları

Blazewicz ve arkadaşları [15] işlerin çizelgelenmesinde ve sıralanmasında kullanılan öncelik belirleme yöntemleri ile alakalı literatürdeki çalışmaları derleyerek bir tablo olarak sunmuşlardır. Tablo 1.6'daki öncelik kuralları Blazewicz ve arkadaşları [15] tarafından literatür taraması sonucu elde edilmiştir.

Tablo 1.6. Öncelik Kuralları

NO	KURAL	AÇIKLAMA
1	SOT (En Kısa Çalışma Süresi)	Makinedeki En Kısa İşlem Süresine Sahip Olan İşlemin Öncelikli Olarak Yapılması
2	LOT (En Uzun Çalışma Süresi)	Makinedeki En Uzun İşlem Süresine Sahip Olan İşlemin Öncelikli Olarak Yapılması

3	LRPT (En Uzun Kalan İşlem Süresi)	Makinede Yapılan İşlerden Kalan İşlem Süresi En Fazla Olanın Yapılması
4	SRPT (En Kısa Kalan İşlem Süresi)	Makinede Yapılan İşlerden Kalan İşlem Süresi En Az Olanın Yapılması
5	LORPT (En Uzun Çalışma Kalan İşlem Süresi)	Kuyruğundaki iş toplamı ve işlem süresi en fazla olan operasyonun yapılması
6	Random (Rastgele)	Rastgele Bir İşin Seçilmesi
7	FCFS (İlk Gelen İlk Çıkar)	Aynı Makine İçin Kuyrukta Bekleyen İşlerden İlk Gelenin İşlenmesi
8	SPT (En Kısa İşlem Süresi)	Toplam İşlem Süresinin En Az Olanının Seçilmesi
9	LPT (En Uzun İşlem Süresi)	Toplam İşlem Süresinin En Çok Olanının Seçilmesi
10	LOS (Kendisinden Sonra Gelen En Uzun Çalışma Zamanı)	Makinede Bekleyen İşlerin Arasında Ardından Gelecek İşin İşlem Süresi En Fazla Olan İşin Seçilmesi
11	SNRO (Kalan Çalışma Sayısı En Az Olan)	Makinede Bekleyen İşlerin Arasında Ardından Gelecek İş Sayısı En Az Olan İşin Seçilmesi
12	LNRO (Kalan Çalışma Sayısı En Fazla Olan)	Makinede Bekleyen İşlerin Arasında Ardından Gelecek İş Sayısı En Fazla Olan İşin Seçilmesi

Blazewicz ve arkadaşlarının [15] yapmış olduğu öncelik kuralları sınıflandırmasının haricinde, gevşek zaman (Slack Time), Moore kanunu, en erken teslim zamanı (Earliest Due Date - EDD) ve kritik oran yöntemlerinde öncelik belirlemede kullanılan kurallardır.

Schmidt [22], keyif öncelikli çizelgeleme öncelik kuralı ile EDD yöntemini modifiye etmiştir. Schmidt' nin öncelik kuralına göre algoritma maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır.

- İşleri keyfi olarak mevcut haliyle sırala
- Bir makine bazı işler için işlem yapmaya hazır olduğu zaman, listenin ilk işini makineye yükle
- Yüklenen işi listeden sil

Öncelik kuralları herhangi bir teori veya matematiksel model kullanmadan sadece tecrübe, sağduyu veya işletme politikasına dayanarak oluşturulur. Bu kurallar yardımı

ile yapılacak sıralamalar optimal değildir. Bir kuralın diğerlerinden daha iyi veya kötü olduğunu söyleyerek genelleme yapma olanağı da yoktur. Belirli bir iş grubu için en uygun sıralama yöntemi her kural için hesaplanan karakteristik ölçüleri kıyaslama yolu ile seçilir [5].

1.1.4.3. Üretim Çizelgeleme Amaçları

Bir üretim sisteminin başarısı atölyedeki etkin üretim çizelgeleme ve kontrolüne bağlıdır [18]. Üretim çizelgeme üretim sisteminin başarısına hizmet etmektedir. Makro olarak üretim sistemlerinin amaçladığı her şeye hizmet ederler. Mikro düzeyde ise üretim çizelgelemenin başarılı olabilmesi için amaçlaması gerekenler ise şunlardır;

- ürüne ait çevrim zamanının azaltılması,
- toplam gecikme sürelerinin azaltılması,
- ve toplam akış zamanının azaltılmasıdır.

Çevrim süresi: Bir işlem devrini tamamlamak için ya da baştan sonra bir işlev, iş veya görevi tamamlamak için kullanılan süre.

Toplam Akış Zamanı: Belirli bir işi ya da belirli bir miktarda çalışmanın tamamlanması için gerekli dönem.

Toplam Gecikme Süresi: İşlere ait üretim sırasında gecikme sürelerinin toplamı.

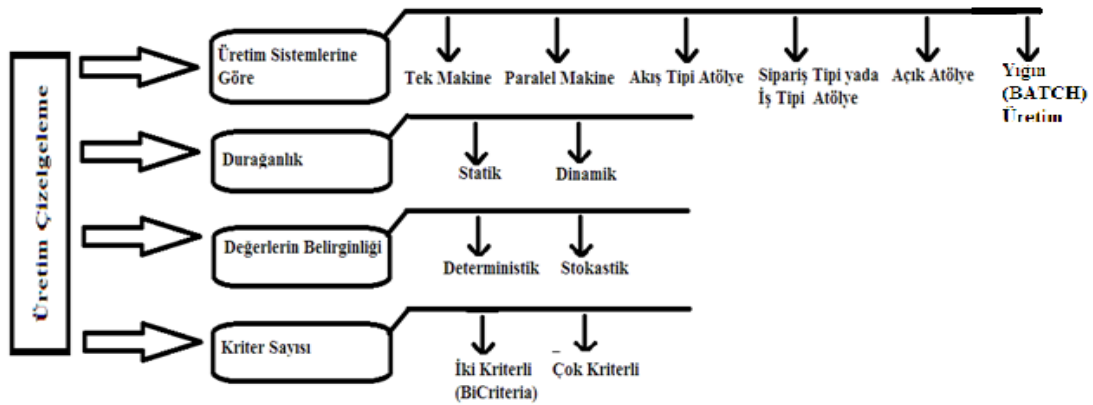
Üretimdeki çizelgeleme çalışmaları aşağıda belirtilen amaçlara ulaşmak için gerçekleştirilir [21]:

- a) Kaynakların etkin biçimde kullanılması,
- b) Müşteri taleplerinin zamanında cevaplanması,
- c) İşlerin, teslim tarihlerinde gecikmeye neden olunmadan tamamlanması,
- d) Stok seviyelerinin azaltılması,
- e) Fazla mesai çalışmalarının azaltılması,
- f) Ortalama akış süresinin azaltılması,
- g) Hazırlık sürelerinin azaltılması,

h) Üretim ve işçilik maliyetlerinin azaltılmasıdır.

1.1.4.4. Üretim Çizelgeme Problemleri

Üretim çizelgeleme problemleri oldukça zengin bir uygulama alanına sahiptirler. Üretim sisteminin yapısına, kriter sayısına, talebin veya işlerle ilgili zaman tahminlerinin stokastik veya deterministik olmasına, üretime alınacak işlerin geliş zamanlarının belirgin yani statik olmasına yahut geliş zamanlarının belirsiz olması yani dinamik olmasına göre sınıflandırılma yapılabilir. Bir sınıfı diğer bir sınıfın altında değerlendirmek ve hiyerarşik bir yapı ile sunmak oldukça zordur. Şekil 1.12 ile üretim çizelgeleme problemleri sınıflandırılmaya çalışılmıştır.



Şekil 1.12. Üretim Çizelgeleme Problemleri

Şekil 1.11’de ifade edildiği gibi üretim çizelgeleme problemleri oldukça geniş bir alana yayılmaktadır. Bir tek makine üretim çizelgeleme problemi içerisinde dinamik bir iş girdisi ve stokastik işlem sürelerini bulunduran çok kriterli bir çizelgeleme problemi olabilmektedir. Fakat kolaylık olması amaçlı üretim çizelgeleme problemleri genellikle üretim sistemi ile alakalı olarak sınıflandırılır.

Çizelgeleme problemleri $\alpha/\beta/\gamma$ şeklinde üçlü parametre yapısı ile gösterilir. α parametresi, atölyenin makine ortamını gösterir ve tek bir girdiye sahiptir. β parametresi, işleme özellikleri ve kısıtlarıyla ilgili bilgi verir ve bir veya birden fazla girdiye sahip olabilir. γ parametresi ise tek girdiye sahip olup problemdeki en küçüklenecek performans ölçütünü genellikle tek girdiyle ifade eder [14]. α ve β parametreleri için olabilecek değerleri Pinedo’nun [14] çalışmasından derleyerek aşağıdaki tablo 1.7’ de verilmiştir.

Tablo 1.7. α ve β Parametreleri

α Parametresi	Notasyon	β Parametresi	Notasyon
Tek Makine	(1)	Geliş Zamanı	(r_j)
Özdeş Paralel Makineler	(Pm)	Sıralama Bağımlı Kurulum Süresi	(S_{jk})
Farklı Hızlara Sahip Paralel Makineler	(Qm)	Bölünebilme	(prmp)
İlişkisiz Paralel Makineler	(Rm)	Öncelik kısıtları	(prec)
Akış Tipi Atölye	(Fm)	Arızalanma	(brkdwn)
Esnek Akış Tipi Atölye	(FFc)	Makine Uygunluk Kısıtlamaları	(M_j)
İş Tipi Atölye	(Jm)	Permütasyon	(prmu)
Esnek İş Tipi Atölye	(FJc)	Bloklama	(block)
Açık Atölye	(Om)	Bekleme Yok	(nwt)
		Yeniden dolaşım	(rcrc)

Çizelgeleme problemlerinde γ değeri amaç fonksiyonunu belirtmektedir. Bu amaç fonksiyonları genellikle minimizasyon amaçlıdır. Pinedo'nun [14] çalışmasından derleyerek γ değeri amaç minimizasyon fonksiyonunlar aşağıdaki tablo 1.8' de verilmiştir.

Tablo 1.8. γ Değeri Amaç Fonksiyonları

γ Parametresi	Notasyon
İş tamamlanma süresi	C_{max}
Maksimum Geç Kalma	L_{max}
Toplam Ağırlıklı Tamamlanma Süresi	$\sum w_j C_j$
İndirimli Toplam Ağırlıklı Bitirme Süresi	$\sum w_j (1 - e^{-r C_j})$
Toplam Ağırlıklı Gecikme	$\sum w_j T_j$
Ağırlıklı Geç Kalınmış İş Sayısı	$\sum w_j U_j$

1.1.4.5. Üretim Çizelgeleme Problemleri Çözüm Yöntemleri ve Literatür Taraması

Üretim çizelgeleme problemlerinin çok geniş bir alana yayıldığından bahsetmiştik. Bu sebeple çizelgeleme problemlerinin çözüm yöntemleri de oldukça geniş bir alana yayılmaktadır. Mümkün olduğu kadar sınıflara ayrılarak çözüm yöntemleri de literatürdeki örnekleri ile açıklanmaya çalışılacaktır. Çizelgeleme problemleri NP sınıfında oldukları için, optimum çözümü aramaya yönelik çalışmalar oldukça fazladır. Çoğu akademisyen ve araştırmacı kendi oluşturdukları veya literatürdeki problemlere uygun değer çözümü bulmak için yöneylem araştırması tekniklerini, geliştirdikleri sezgisel metotları ve üst sezgisel metotları kullanmışlardır.

1.1.4.5.1. Tek Makine Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri

Bu tip çizelgeleme problemleri, tek bir makine için işlerin sıraya konulması amaçlıdır. Çizelgeleme problemleri arasında en basit olanıdır. Makineye yüklenecek işler vardır ve bu işlerin sıralanması için gereken öncelik kuralları ve amaç fonksiyonları vardır. Tek makine çizelgeleme problemleri, tablo 1,8’deki γ değerlerini ve tablo 1,7’deki değerleri β değerlerini alarak çok farklı sınıflara ayrılabilir. Şöyle ifade etmek gerekirse tek makine problemleri için literatürdeki bazı gösterim şekilleri; $(1 \mid \mid L_{max})$, $(1 \mid \mid C_{max})$, $(1 \mid \text{prec} \mid \sum w_j C_j)$, $(1 \mid \mid \sum w_j C_j)$, $(1 \mid \mid \sum w_j U_j)$ ve benzeri gibidir.

Tek makine çizelgeleme problemleri için birçok metot geliştirilmiştir. Ağırlıklı olarak tek makine problemlerinin çözümünde öncelik kurallarından faydalanılarak işlerin bir sıraya konulması konusu işlenmiştir. Örnek olarak bir makinede işlem görmesi gereken 5 tane parçamız olsun yani yapılması gereken 5 tane işimiz olsun. Bu beş iş için işlem süreleri sırasıyla 10, 9, 4, 5 ve 6 dakikadır. Makinede işlerin tamamlanma süresi 34 dakikadır. Bu süre değişmeyecektir. Fakat işlerin hangi sırayla yapılacağını belirlememiz gerekmektedir. Bu durumda, makinedeki işler için 120 adet değişik sıralama oluşacaktır. Hangi sıralamayı seçeceğimizi belirlemek için kullanabileceğimiz kurallar tablo 1.6’da verilmiştir. SPT kuralı seçildiğinde, sırasıyla 4, 5, 6, 9 ve 10 dakika işlem süresine sahip işlemler yapılacaktır. Eğer, LPT kuralı seçilseydi, 10, 9, 6, 5 ve 4 dakika işlem sürelerine sahip olan işler sıralanacaktı.

Çizelgeleme problemleri için birçok kişi problem tanıtımı yapmış ve çözüm önerilerini sunmuşlardır. Sayısız kaynak içerisinde son beş yıl içerisinde yapılmış bazı çalışmalar tek makine çizelgeleme problemleri için literatür çalışması olarak aşağıda verilmiştir.

Lu ve diğerlerinin [23] çalışmalarında, iş geliş zamanlarının belirli olduğu ve iş dağıtımlarının belli bir kapasiteye sahip bir araçla gerçekleştiği, tek makine çizelgeleme problemlerinin çözümüne yönelik bir yakınlık algoritması kurmuşlardır. Bu algorithmada makineye gelen işlerin geliş zamanlarından sonra işlenerek biten ürünlerin taşınarak aktarıldığı bir ortamda kısıtlı kapasiteye sahip bir taşıma aracı kullanılmıştır. İşin bitmiş olması için taşıma işleminde bitmesi gerekmektedir. Bu problem için bölünebilir serbest bırakılmıştır. Yani makinede işlem devam ederken, iş yarıda kesilip başka bir iş yapılabilir. İş tamamlama süresinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Chang ve arkadaşları [24] çalışmalarında, tek makine çizelgeleme problemleri için Elektromagnetizma benzeri algoritması adlı yeni bir üst sezgisel yöntem bu çalışmada çözüm yöntemi olarak sunulmuştur. Genetik algoritma ve yerel arama algoritması ile beraber kullanılan bu yeni üst sezgisel metodun karışımı ortaya yeni bir hibrit algoritma çıkarmıştır. Bu yeni algoritma iteratif bir yaklaşımla optimal çizelgelemeyi aramaktadır. Literatürdeki bazı sayısal veri setleri ile denenen algoritmanın sonuçları klasik genetik algoritma çözüm sonuçlarından daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tian ve diğerleri [25] çalışmalarında, sahte polinom algoritması ile bölünebilir işlerin tek makine çizelgelemesi probleminde toplam geç kalma zamanlarının en aza indirilmesini amaçlamışlardır. İşlerin bölünerek yapılabilir olması işin makineye yüklenme zamanlarında dinamiklik oluşturmuştur. Böylece, dinamik programla yöntemi ile toplam geç kalma zamanları en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Wanga ve Wangb [26] çalışmalarında, birden fazla ortak teslim zamanlı işlerin tek makine çizelgeleme probleminde, optimum çizelgeleme ve optimum ortak teslim tarihleri belirlenmesi amaçlı çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. İşlerin erken veya geç bitmesinin cezasının doğrusal bir fonksiyon yardımıyla hesaplanabileceği ve toplam ceza miktarının en aza indirildiği bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Ayrıca, yapılan işlerde öğrenme eğrisinin polinom zamanda hesaplanabilir ve çözülebilir olduğu vurgulanmıştır.

Chen ve arkadaşları [27], dağılım tahmini algoritmalarının tek makine çizelgeleme problemlerinde etkili olarak kullanılması önermişlerdir. Tam zamanında üretim çizelgelemesi için işlerin erken ve geç bitmesinin maliyetlerini en aza indirmek üzere çözüm yöntemi sunmuşlardır.

Gharbi ve Labidi [28], literatürde iyi bilenen Jackson'un yarı bölünebilir çizelgeleme yöntemini tek makine üzerinde kullanmışlardır. İşin geliş zamanının, başka bir işin bölünebilir olmasından kaynaklı dinamik bir yapıya dönüşmesi sonucu problem dinamikleşmiştir. Dinamik programlama yöntemlerinden dal - sınır algoritmasının kullanıldığı problemin alt sınırların en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Shabtay ve arkadaşları [29], grup teknolojisi ile benzer ürünleri gruplayarak üreten bir işletmede, benzer ürünler için ortak bir teslimat zamanı belirlemek üzere tek makine çizelgeleme problemi için ürün aileleri için son tarih atama metodu geliştirilmiştir. Bu metotla işlere ait erken ve geç bitiş zamanlarından oluşacak maliyetler en aza indirilmeye çalışılmıştır. İşlere ait işlem zamanları kaynak tahsisi ile doğru orantılıdır. Bu yüzden kaynaklarında kullanımı ile oluşacak iş tamamlama zamanları da en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Srirangacharyulu [30], dağılım tahmini algoritmalarının tek makine çizelgeleme problemlerinde etkili olarak kullanılması önermişlerdir. Tam zamanında üretim çizelgelemesi için işlerin erken ve geç bitmesinin maliyetlerini en aza indirmek üzere çözüm yöntemi sunmuşlardır.

Lu ve arkadaşları [31], ürün ailelerine göre sıralama bağımlı kurulum zamanlarının ortaklaştığı ve işlem sürelerinin belirsiz olduğu tek makine çizelgeleme problemlerinde, en kötü senaryoda toplam akış zamanın, en aza indirilmesi ve ürün aileleri için güçlü iş sıralamasının bulunması amaçlamışlardır.

Tanaka ve Araki [32], tek makine çizelgeleme problemlerinde, sıra bağımlı kurulum süreleri ile toplam ağırlıklı gecikme sürelerinin minimize edilmesinde kesin bir algoritma sunmuşlardır. Ardışık subliminasyon dinamik programlama ile Lagrange rahatlama metodu kullanılmıştır. Ağ indirgeme yöntemleri ile alt ve üst sınırlar bulunmuştur.

1.1.4.5.2. Paralel Makine Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri

Paralel makine çizelgeleme problemleri, işlerin aynı anda paralel olarak benzer işleri yapabilme kapasitesine sahip makinelerde yapılmasında toplam tamamlanma zamanını ve işe ait tamamlanma zamanını en aza indirmek ve maliyetleri en aza çekmektir. Paralel makineler tablo 1.7’ de gösterildiği gibi 3 farklı sınıfa ayrılır. Bunlar: özdeş paralel makineler, farklı hızlara sahip paralel makineler ve ilişkisiz paralel makinelerdir. Tek makine çizelgeleme problemlerinden daha karmaşık bir yapıya sahiplerdir. Çok sayıda problem tanıtımı ve tanıtılan problemlerin çözümüne yönelik oldukça fazla çözüm yöntemi sunulmuştur. Literatürdeki sayısız çalışmalardan son yıllarda gerçekleşen çalışmalar aşağıda tanıtılmıştır.

Liu ve diğerleri [33] çalışmalarında, grup teknolojisi ile üretim yapan iki paralel makinede ürünlerin gruplanarak üretildiği, üretim tesislerinde, toplam tamamlanma süresinin azaltılması amaçlı sahte polinom zamanlı algoritma kullanılmıştır.

Meyr [34], çalışmasında, özdeş olmayan, heterojen makine çizelgeleme problemlerinde birden fazla ürün için eş zamanlı üretim parti büyüklüklerine yönelik problem çözüm tekniği kullanmıştır. Sıra bağımlı hazırlık sürelerinin azaltılmasının üretim hattı kapasitesinin artırılmasına sebep olduğunu vurgulamıştır. Çözüm yöntemi olarak problemi tek makine çizelgeleme problemine indirgemiş ve üst sezgisel yöntemlerden benzetim tavlama ve yerel arama tekniklerinin karışımı olan bir ikili tekrar optimizasyonu kullanmışlardır.

Kogan [35], çalışmasında sürekli bölünebilir ve zaman bağımlı kaynaklara bağımlı bir üretim sisteminde bulunan paralel makinelerin, bir ürün tipini üretmedeki teslim zamanına bağlı kalması, stok miktarlarını en aza indirmesi ve üretim maliyetlerinin azaltılması amaçlamaktadır. Sürekli zaman çizelgesinin, kesikli sıralama ve zamanlamaya indirgenerek, analitik kurallarla polinom zamanda çözülebilir bir algoritma geliştirmiştir.

Dourado [36], Özdeş paralel ve çok amaçlı makine çizelgeleme problemlerinde toplam ağırlıklı geciken iş sayısını en aza indirmeyi amaçlayan bir algoritma kurmuşlardır. Algoritmanın ilk bölümünde Jackson'un EDD kuralını kullanmışlar ve ikinci bölümde

EDD kullanımı sonucu oluşan geciken iş sayısına göre tekrar iş sıralamasında düzeltme yapmışlardır.

Mazdeh [37], iki kriterli paralel makine çizelgeleme problemlerinde, makine ve iş bozulma oranlarını inceleyerek, toplam iş gecikme süresini, iş tamamlama sürelerini ve bozulma kaynaklı maliyetleri minimize etmek üzere çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Çözüm yöntemi tabu arama yöntemi tabanlı, çok amaçlı ve karma bir tamsayı programlama yöntemidir.

1.1.4.5.3. Akış Tipi Atölye Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri

Akış tipi atölye çizelgeleme problemleri, bir ürünün üretim işleminin tamamlanabilmesi için birden çok makinenin bulunduğu üretim alanlarında birbiri sıra yapılması gereken bir dizi işin makine tekrarı olmaksızın yapılmasıdır. Her makinede yapılan iş bir operasyonu ifade etmektedir. Makinede gerçekleşen ürün işleme veya operasyon gerçekleşikten sonra aynı makinede tekrar işlem görmez ve başka bir makineye gider. Bu tarz çizelgeleme problemlerinde genellikle toplam akış zamanının en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Akış tipi çizelgeleme problemlerinin esnek ve hibrit tipleri de literatürde karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda gerçekleşen bazı problem tanımları ve çözümleri aşağıdadır.

Genoulaz [38], V şeklinde paralel makinelerden oluşan hibrit akış çizelgeleme problemlerinde, iş öncelikleri, zaman gecikmeleri ve teslim tarihlerini kısıt olarak tezgâh kurulum sürelerinden, makine hareketlerinden ve taşımadan oluşan toplam gecikmeyi en aza indirmek üzere 6 adet sezgisel metot geliştirmiştir. Metodun çözüm kalitesinin sonuçların belirginliği ile belli olduğunu savunmuştur.

Suliman [39], permutasyon akış çizelgeleme problemlerinde, tek makine çizelgeleme problemlerinde kullanılan sezgisel bir yöntem geliştirilerek, iki aşamalı bir çözüm yöntemi ile en uygun iş sıralaması elde etmeye çalışmıştır.

Zendieh ve diğerleri [40], hibrit akış tipi çizelgeleme problemlerinde, sıralamaya bağlı kurulum süreleri kullanan yeni bir sezgisel yöntem olan bağışıklık algoritması kullanmışlardır. Bu algoritma ile elde ettikleri sonuçları genetik algoritma tabanlı olup rastsal bir anahtarla optimum çözümü elde etmeye yarayan daha önceki çalışmaları ile mukayesede etmişlerdir.

Moslehi ve arkadaşları [41], iki makine akış tipi atölye üretim sisteminde, tam zamanında üretim yaklaşımları ile optimal çizelgeleme için, işlerin geç ve erken bitme maliyetlerinin en aza indirilmesi üzerine çalışmışlardır. Çözüm yöntemi olarak dal-sınır algoritması kullanmışlardır. 380 problemi oluşturdukları algoritma ile çözüp, % 82 oranında optimal çözüm elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Xu ve Zhou [42], genetik algoritma tabanlı bir simülasyon uygulaması ile örnek uzay içerisinde birandom değerlerin beklenen değerlerinin hesaplanmasından oluşan değerleri optimum çizelgelemeyi bulmak amaçlı kullanmışlardır.

Kuo, Hsu, ve Yang [43] zamana bağımlı öğrenme etkisini akış tipi çizelgeleme problemlerinde incelemişlerdir. Öğrenme etkisinin iş başlamadan hesaplanabilen bir fonksiyon olduğunu farz etmişlerdir. Çözüm yöntemi için birçok sezgisel yöntemi kullanmışlar ve oluşturdukları çözüm metodu, toplam gecikmeyi, toplam iş akış zamanını ve toplam ağırlıklı tamamlanma sürelerini en aza indirmeye çalışmıştır.

Sun ve diğerleri [44], bekleme ve boş zamanların olmadığı, üretim işlerinin doğrusal olarak bozulabildiği akış tipi çizelgeleme problemlerinde, iş tamamlama zamanlarının en aza indirildiği problem çözüm yöntemi önermişlerdir.

1.1.4.5.4. İş Atölyesi Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri

İş atölyesi çizelgeleme problemleri bir ürünün üretim işleminin tamamlanabilmesi için birden çok makinenin bulunduğu üretim alanlarında, birbiri sıra yapılması gereken bir dizi işin makinelerde yapılmasıdır. Bu tip çizelgeleme problemlerinde, işler makinelerde tekrarlanabilir ve her ürün için rota aynı olmayabilir. Bu şekilde ürünler için çizelgeleme problemleri oldukça zorlaşmaktadır. İş atölyesi tipi çizelgeleme problemlerinin esnek ve hibrit tipleri de literatürde karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda gerçekleşen bazı problem tanımları ve çözümleri aşağıdadır.

Mascis ve Pacciarelli [45], iş tipi çizelgeleme problemlerinde, bloklama ve beklemezlik kısıtları ile problemin çözümüne yönelik dal sınır algoritması yöntemiyle birden çok alt ve üst sınırlar elde etmişlerdir. Daha sonra çözüm kümesinden en iyi çözümü bulabilmek için sezgisel yöntemler kullanmışlar ve kesin çözüm önerisini sunmuşlardır.

Özgüven, Özbakır ve Yavuz [46], Esnek iş atölyesi çizelgeleme problemlerinde, optimum rota ve iş sıralaması için karma tamsayı modelleme yaklaşımını kullanmışlardır. İki aşamalı olan çözüm yönteminde geliştirdikleri varsayımsal senaryonun çözümü için öncelikle karma tamsayı programlama ve ardından sonuçları geliştirdikleri modifiye edilmiş karma tamsayı programlama ile irdelenmişlerdir.

Wonga, Chan ve Chan [47], montaj işlerinin yapıldığı atölye tipi çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Kaynak kullanımının kısıtlı olduğu, işlerin sıralanması sırasında parti büyüklüklerinin gruplandırılmıştır. Problem çözümünde genel amaç toplam gecikmeyi en aza indirmektir. Çözüm metodu olarak genetik algorithmadan faydalanılmış ve parçacık sürüsü optimizasyonunun çözümü ile kıyaslanarak çözümün etkinliği belirtilmiştir.

Kima, Parka ve Kob [48], iş sıralama ve süreç planlama birleşiminde Simbiyotik evrimsel algoritma adı verilen bir yöntemle esnek iş atölyesi çizelgeleme problemlerine çözüm önerisi getirmişlerdir. İş sıralamasının optimallığı için süreçlerin etkin planlanmasının öneminden bahsedip, iki konuyu da tek problem içerisinde çözmeye çalışmışlardır.

Torabi, Karimi ve Ghomi [49], esnek iş atölyesi problemlerinde çok ürünlü parti büyüklüğü çizelgeleme döngüsü problemi irdelenmiştir. Kısıtlı bir planlama zamanında, makine tahsisi, parti büyüklüğü belirleme ve iş sıralamada yeni bir karma tam sayı programlama modeli kurmuşlardır.

Chunga ve diğerleri [50], iş atölyesi tipi çizelgeleme problemlerinde, makine darboğazlarını aşmak için dış kaynak kullanımı ve işlerin optimal olarak sıralanabilmesi için sezgisel bir çözüm önerisi geliştirmişlerdir. Ayrıca, kısıt olarak teslim tarihleri ve makine kapasitelerini kullanmışlardır.

1.1.4.5.5. Açık Atölye Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yöntemleri

Açık atölye tipi çizelgeleme problemlerinde, işler için yapılacağı birimler veya makineler arasında sıra bağımsız olarak yapılabilir. Bir işin yada işlemin herhangi bir makinede önce yapılıp yapılmayacağına dair bir öncelik kuralı yoktur. Açık atölye çizelgeleme problemlerinde ağırlıklı olarak işlem tamamlanma süreleri en aza

indirilmeye çalışılır. Literatürdeki bazı açık atölye çizelgeleme yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Baysal ve diğerlerinin [51] çalışmasında, açık atölye çizelgeleme problemleri toplam tamamlanma zamanının en aza indirilmesine yönelik, rastsal zıplama tekniği ile işleyen Paralel Kanguru Algoritması ile çözülmüştür. Paralel kanguru algoritması, sürekli daha iyi çözümlere ulaşmaya çalışan meta-sezgisel bir yöntemdir. Paralel kanguru algoritmasının bu tip problemlerinin çözümünde etkin bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

Liaw [52], bölünemez işlerin çizelgelemesinde tamamlanma sürelerini en aza indirmeyi amaçlayan, iteratif bir çözüm arama yöntemi sunmuşlardır.

Naderi ve diğerleri [53] çalışmalarında, açık atölye üretim çizelgeleme problemleri için toplam gecikme miktarını en aza indirmek amaçlı matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu model, genetik algoritma, komşu arama tekniği ve Taguchi metodu ile kullanılan karma bir doğrusal tamsayı programlama modelidir.

1.1.4.5.6. Çizelgeleme Problemlerine Yönelik Son Yıllardaki Çalışmalar

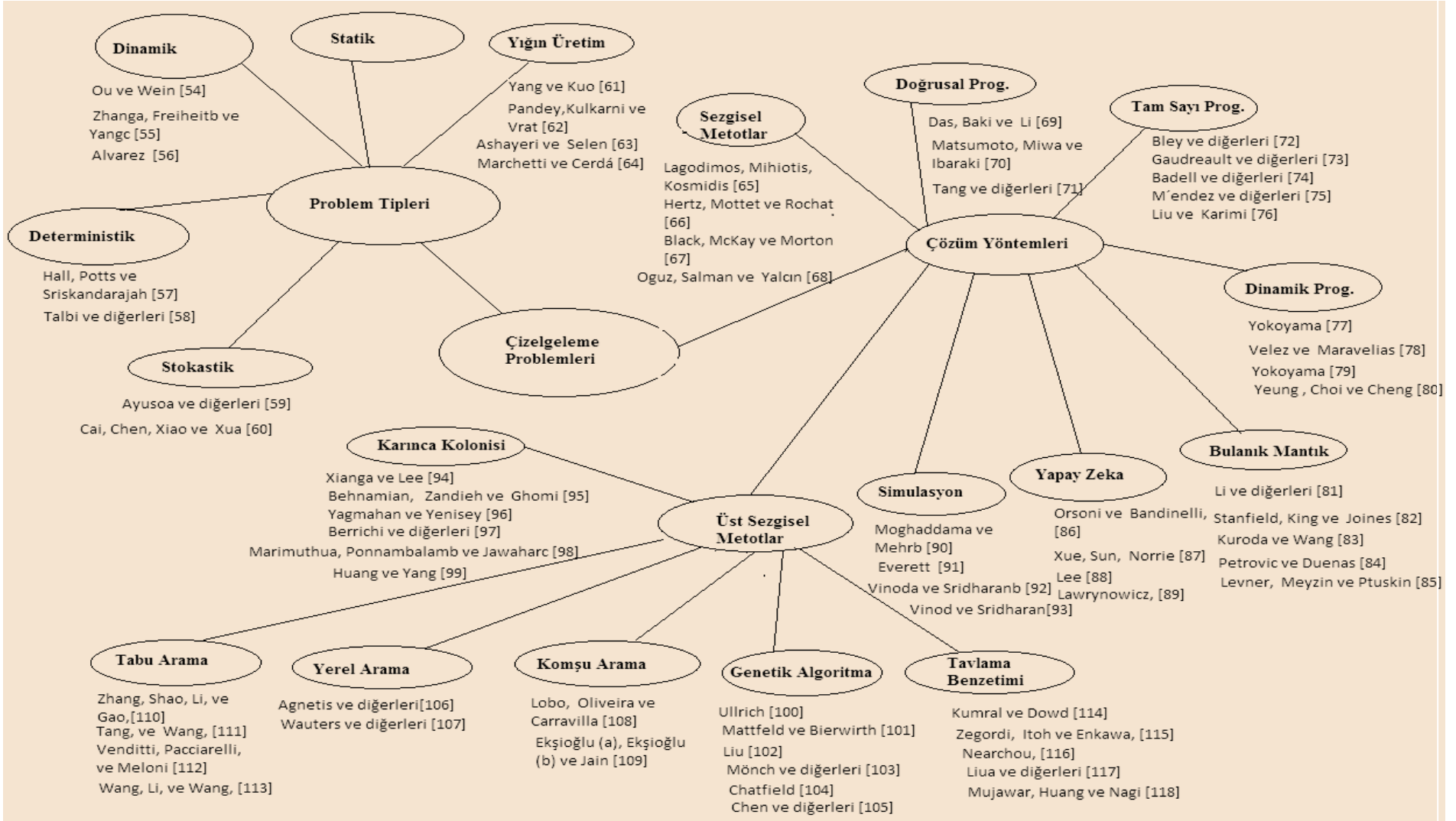
Teknolojik gelişmeler ve yeni yaklaşımlar sebebiyle günümüz dünyasında üretim sistemlerinde ağırlıklı olarak bilgisayar otomasyonları, robotlar, karmaşık taşıma sistemleri, üretimden direk e-ticaret vasıtasıyla satış yapmak ve bu satışlardan üretim planlama ve benzeri daha birçok yenilik sebebiyle çizelgeleme problemlerinin çözümleri içinde yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Yöneylem araştırmasının birçok alt başlığı çizelgeleme problemleri için kullanılmaktaydı. Bunlar: doğrusal programlama, tam sayı programlama, karma tam sayı programlama, dinamik programlama, dal sınır algoritmaları, gezgin satıcı çözüm yöntemleri ve daha birçok yöntemden oluşmaktadır.

Çizelgeleme problemlerinde bulanık mantık, yapay zeka ve simülasyon teknikleri de kullanılmaktadır. Bazı çalışmalarda optimum çözümü bulabilmeyi kolaylaştırmak için, yazarlar melez algoritmalar üretmişlerdir. Şöyle ki, amaç fonksiyonu bir tam sayı programlama olan bir modelin simülasyon ve tabu arama teknikleri ile beraber kullanılarak optimum çözüme ulaşmayı hedefleyebilmektedir. Bazen de, araştırmacılar çalışmalarında konu olan probleme en uygun çözümü kendi oluşturdukları sezgisel çözüm arama metotları ile bulmaya çalışır ve sonuçlarını da bilinen çözüm yöntemleri ile mukayesede ederek, kendi yönteminin verimliliğini vurgulamaktadır. NP sınıfındaki

izelgeme problemlerinin çözüm yöntemi olarak genellikle üst sezgisel metotlar kullanılmıştır. Üst sezgisel metotlar genellikle, en iyi sonuca yönelik arama yaparlar ve buldukları sonucun optimum olduğunu iddia edemezler. Çoğunlukla kullanılan üst sezgisel metotlar iteratiftirler. Buldukları sonucu bir veya birden fazla kısıtı tekrar göz önünde bulundurarak yinelerler ve en iyi sonucu aramaya çalışırlar. Çizelgeleme problemlerinde kullanılan bazı üst sezgisel metotlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Karınca kolonisi optimizasyon tekniğı
- Yerel arama optimizasyon tekniğı
- Tabu arama optimizasyon tekniğı
- Komşu arama optimizasyon tekniğı
- Genetik algoritma optimizasyon tekniğı
- Tavlama benzetimi optimizasyon tekniğı

Gerek çizelgeleme problem tiplerinin geniş bir alana yayılması gerek çözüm yöntemlerinin belirli bir alanda değil de sürekli olarak interaktif olarak birbirleri ile bağlantılı olarak genişlemesi sebebiyle, çizelgeleme problemlerinin çözüm tekniklerini sınıflandırmak oldukça güçtür. Aşağıdaki şekil 1.13 ile çizelgeleme problemlerine yönelik son yıllardaki çalışmalar verilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1.13. Üretim Çizelgeleme Problemleri İle İlgili Son Yıllarda Yapılan Çalışmalar

1.2. Tez Konusunun Literatürdeki Benzerlikleri

Tez çalışması bir istatistiksel karar analizi neticesinde yapılacak bir dizi işin arasından hangilerinin üretimde hangilerinin fasonda gerçekleşeceğine dair bir karar problemini temel alan akış tipi üretim çizelgeleme problemidir. Varsayımsal bir senrayo ile bir ürünün ilk defa seri üretimi gerçekleşeceği ve elde ürüne ait ÜA'dan başka bir şeyin olmadığı vurgulanmıştır. ÜA' dan elde edilecek iş dökümü ve iş rotası için ÜAİ yöntemi bu çalışmada sunulmuş ve iş sırlamada öncelik belirlemede kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen iş dökümü ile hangi işlerin üretimde hangilerinin fasonda yapılacağına KA yöntemi ile kararların maliyet analizleri yapılarak karar verilmeye çalışılmıştır. Amaç olarak sadece iş tamamlanma sürelerinin birim işçilik ücretleri ile çarpımı sonucu oluşan değerin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Problem işin nerede yapılacağına karar verilmesi açısından ilk başta dinamik gibi gözükmektedir. Fakat, üret veya fason kararını, çizelgeleme içerisinde kullanılan kısıtlardan kaynaklanan amaç fonksiyonuna hizmetinden değil de, sadece oluşacak fason ve üretim maliyetinin beklenen değerlerinin istatistiksel olarak hesaplanması sonucu ortaya çıkmasından dolayı problemin yapısı problem çözümüne başlamadan önce statiktir. Kararların alınmasından sonra ortaya çıkan statik bir akış tipi çizelgeleme problemi için işlerin hangi sırayla yapılacağını ÜA' dan elde eden ÜAİ yöntemi geliştirilmiştir. ÜAİ yöntemi işlerin makinelerde hangi sırayla yapılacağını belirlemeye çalıştığı anda problem dinamikleşir. ÜAİ yöntemi en iyi çözümü arayan bir iteratif yöntem değildir. ÜAİ, zaten belli olan ve makul bir sıralamayla yapılabilecek işlerin birbiriyle olan ilişkilerinde başlangıçtaki işin kendinden sonra hangi işe bağlı olduğunu iki işe ait öncelik sayıları ile gösterir. Öncelik sayısı düşük olan işler daha önce yapılması gereken işleri ifade ederler. Öncelik sayılarının aynı olduğu iş düğümlerinde, ardından başlaması gereken işin öncelik sayısına bakılır. İkinci işlerinin öncelik sayılarında aynı olan işlerde, hangi işin daha önce başlanılıcağına ardından gelecek işleri takip eden tüm işlerin öncelik sayıları sıraya dizilir ve matematiksel olarak en doğrusal ifadeyi sunan öncelik başlangıçına sahip iş seçilir. Aynı matematiksel doğrusallığı gösteren işlerde ise kendisi ile beraber ardından yapılması gereken tüm işler tek bir hatta incelenir ve en fazla zaman yüküne sahip iş seçilir. MİP' nin ve KİP'in de üretim çizelgeleme problemi içerisinde değerlendirilebileceği varsayılmıştır. Tez konusuna paralel nitelikte yapılan çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

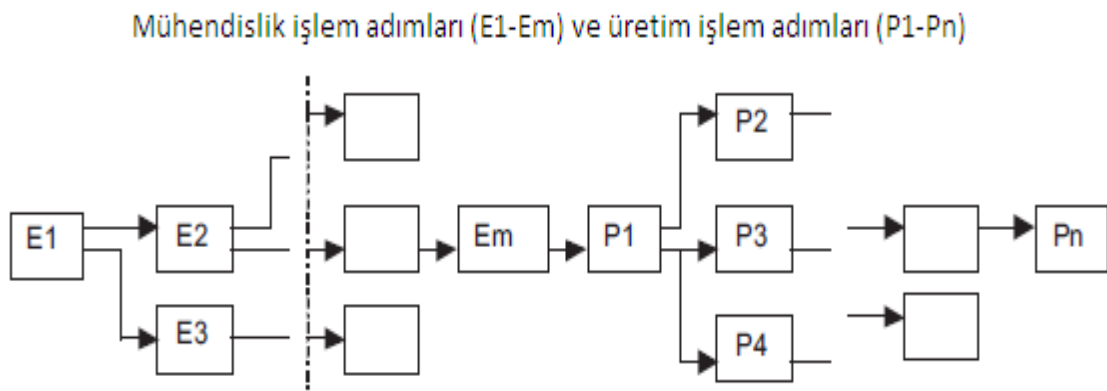
Peres ve Lares [119], sıralama kararlarının, üretim planlama ve çizelgeleme üzerindeki önemi üzerinde durmuşlardır. Klasik hiyerarşik üretim planlama yaklaşımlarında sonsuz kapasiteli MİP ve İKP yaklaşımlarının çizelgeleme de yetersiz olduğunu literatürdeki bir çok çalışmanın yazarının görüşlerine ve kendi görüşlerine dayandırarak belirtmişlerdir. Çizelgeleme problemleri için parti büyüklükleri ve kapasite sınırının önemini belirtmişlerdir. Önemi vurguladıkları kısıtların üzerine yoğunlaşarak, stok fazlalığı maliyeti, stok yetersizliği maliyeti, üretim maliyeti ve ürün ağaçlarının birbirinin halefi olan ürünlerin üretiminde, parti büyüklüğü gereksinimini göz önünde bulundurmuşlar. Planlama ardından çizelgeleme ve sonrasında tekrar planlama yaparak en iyi zaman çizelgesini bulmak için iteratif bir yöntem kullanmışlardır.

Wang ve Jianbo [120], esnek iş tipi atölye çizelgeleme problemlerinde, işlerin birbirlerine bağımlılıklarını ana ve yavru düğüm ilişkisi ile incelemişler ve işlerin birbirleri ile olan bağlantılarını, iş endeksleri olarak notasyonlar ile ifade etmişlerdir. Düğümler ile ifade edilen işlerin birbirleri ile ilişkisi iş numaraları ile endeksenerek, hangi işin hangi makinede önce başlanacağını ve iş sıralamasının nasıl olması gerektiğini arayan filtreli ışın tarama metodunu kullanmışlardır. Filtreli ışın tarama metodu dal – sınır algoritmasını örnek alan hiyerarşik düğüm yapısında her seviyede hangi işlerin öncelikli olduğunu arayarak kısmi çözümleri çözüm uzayında atan bir yöntemdir. Kısmi çözümlerden oluşan çözüm uzayı tüm düğümler arasındaki ilişki son seviyeye kadar geldiğinde irdelenerek en iyi olan çözüm oraya konulmuştur. Problemi bakım zamanlarının da olduğu bir atölye problemi olarak değerlendirmişler ve bu bakım zamanları ile alakalı çeşitli kısıtlar koyarak, birden fazla sayısal örnek çözerek, zaman çizelgeleri sunmuşlardır.

Ramazan [121], açık madenlerde çizelgeleme için temel ağaç algoritması adlı yeni bir metot kullanmıştır. Bu yöntemin ana amacı büyük ölçekli optimizasyon problemlerinde karma tam sayı problemleri kullanılmasıyla oluşan kısıt sayısını, toplam malzeme bloklarını ve tam sayı kısıt sayısını daha aza indirmek için doğrusal programla ve segizel bir yöntemin kullanılmasıdır. Bir cevher kütlelerinde üç temel blok vardır. Bu bloklardaki cevherin değeri matkap yardımıyla alınan numunelerden ölçülebilir. Her bloğa ait beklenen getiri o bloğa ulaşmada aşılacak bloklara yapılan kazı işlemlerinin maliyetlerinin toplam kardan çıkarılarak elde edilir. Birbirine bağlı yapılan kazı işleri hiyerarşik bir ağaç yapısı verir. Böylece, her blok için karma tamsayı

programlama çalıştırılacağı yerde ağaçlar için program çalıştırılır ve daha az kısıtla, daha az tam sayı ile hızlı sonuç alınmaya çalışılır.

Jin ve Thompson [122], MİP sistemlerinin sipariş için mühendislik çevresinde etkili olabilmesi için yeni çerçeve sunmuştur. Bu ortamlarda kısıtlı kapasite çizelgeleme problemlerini önermektedirler. Ürün geliştirme için mühendislik işlerinin ve üretimi gerçekleştirmek içinde üretim işlerinin birbiri ardı sıra yapılmasını aşağıdaki şekil 1.14 ile ifade etmişlerdir.



Şekil 1.14. Mühendislik ve üretim aktiviteleri için birleşik bir işlem planı [122]

Jin ve Thompson [122], ürünün çizelgeleme yönteminde dinamik çizelgelemenin olması gerektiğine karar verip buna göre model kurmuşlardır. Dinamik çizelgeleme kullanmalarındaki amaç mühendislik üretimi ve ürün üretimi için kapasite kısıtlarının, kaynak mevcudiyetinin ve işlem sürelerinin belirsiz olmasıdır. Rastgele bir işin terminal seçilerek, geç tamamlama durumuna göre kaynakların hangi ağırlık oranında o iş için ayrılacağı, geriye kalan işler boyunca en geç ne zaman başlayabileceği ve en geç ne zaman bitebileceği bulunmaya çalışılmıştır.

Chung ve diğerleri [50] İş atölyesi tipi çizelgeleme problemlerinde, makine darboğazlarını aşmak için dış kaynak kullanımı ve işlerin optimal olarak sıralanabilmesi için sezgisel bir çözüm önerisi geliştirmişlerdir. Ayrıca, kısıt olarak teslim tarihleri ve makine kapasitelerini kullanmışlardır. Sadece makine darboğazından kurtulmak amaçlı bir çalışma yapmamışlardır, ayrıca dış kaynak kullanmanın ve üretiminde maliyetlerini kullanarak, teslim zamanına en az maliyeti veren üret – dış kaynak kullan problemi çözmüşlerdir.

Koyuncu [123], çalışmasında yeni ürün geliştirme projelerinde çoklu faaliyet çakıştırılmalı durum için çizelgeleme problemini incelemiştir. Yeni ürünün müşteriye çabuk sunula bilmesi ve pazardan hızlı bir şekilde siparişlerin toplanabilmesi amaçlı, ürünün ilk üretiminin gerçekleşebilmesi için yapılacak projede faaliyet çakıştırılmalı durum çizelgelemesi yöntemi kullanmıştır. Farklı öncelik kurallarına, faaliyetlerin birbiri ile olan ilişkisini göz önünde bulundurarak, en kısa sürede biten proje yöntemini bulmada parçacık sürüsü optimizasyon tekniğini kullanmıştır.

Qi [124], iki aşamalı akış tipi atölye çizelgeleme problemlerinde, iç üretim veya dışarıda üretim sonucu oluşan tamamlanma sürelerine dış üretimden kaynaklanan lojistik süreleri de eklenerek bir toplam iş tamamlanma zamanı minimizasyonunu çalışmıştır. Hangi işin üretimde yapılacağı hangisinin dışarıda yapılacağı konusu sebebiyle problem dinamik bir yapıya sahiptir. Bu yüzden Qi [124], tüm işlerde üretimin veya fasonun maliyetleri ve toplam tamamlanma zamanına olan etkilerini incelemiştir.

Yapılan literatür aramaları sırasında KA yönteminin direk üret veya fason kararları olarak çalışılmış olduğuna dair çalışmaya rastlanmadı. Fakat BT'nin bayes ağları konusuna temel olarak, proje çizelgeleme ve proje teslim zamanı tahmini gibi konularda kullanıldığı saptanmıştır. Sunghin [125], 2009 yılınca yayınladığı çalışmada bir projenin tahmini süresini sürekli olarak güncellemek için Bayes stokastik yaklaşımı denemiştir. Bu yaklaşımda, projenin kritik yolundaki tüm aktiviteler için sonraki beklenen süre değerlerini belirleyip bir bayes ağı kurmuştur. Bu ağ ve değerler kullanarak projenin toplam süresinin ilk planlana göre güncelleyerek proje yöneticilerine daha sağlıklı bir veri sunmuştur. Britney [126], 1976 yılında PERT çizelgesindeki stokastik aktiviteler için bayes nokta tahmin yönetimi kullanmıştır. Bu çalışmanın Sunghin [125] tarafından yapılan çalışmaya temel olduğunu söyleyebilirim. Aha ve Chang [127], 1996 yılında “çoklu planlama görevlerini çözmek için olay tabanlı mantık yürütme ve kooperatif bayes” adlı çalışmasında gerçekleşen olayları bir bayes ağında işleyerek, öğrenen ve öğrendiklerini tekrar kullanan bir algoritma kurmuştur. Stavoulaki, Fong ve Lin [128], 2003 yılında iki kaynaklı bir stokastik kapasite planlamayı, bayes metodu ile incelemiştir.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE METERYAL

2.1.Problemin Tanımı

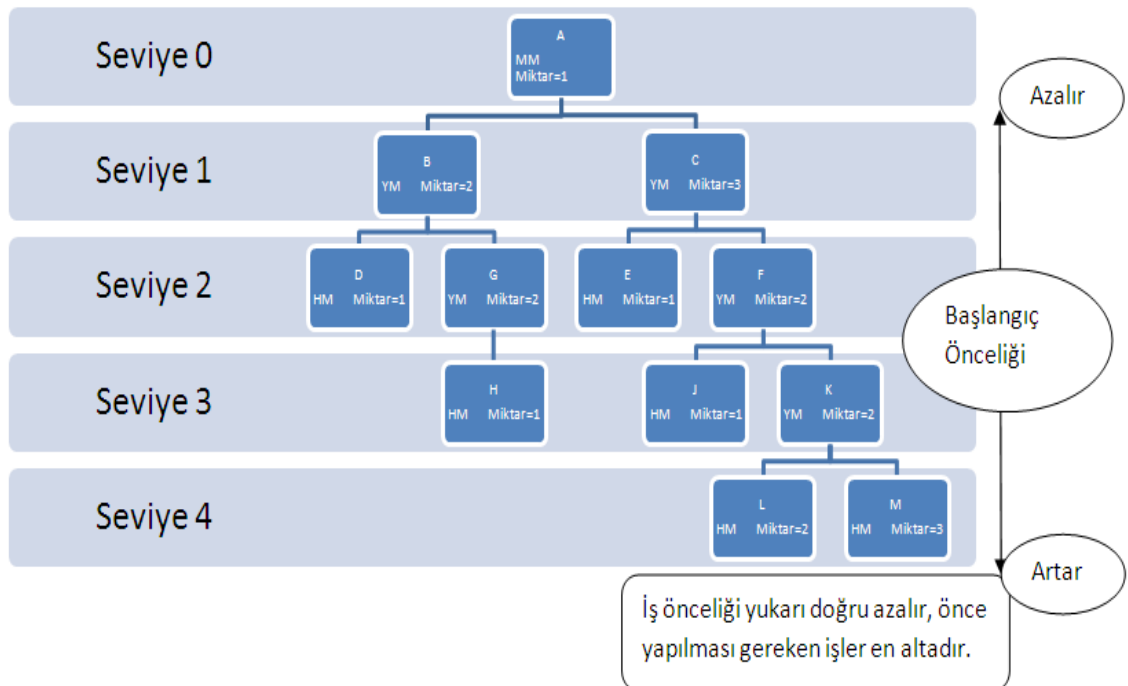
Tez çalışmasına konu olan problem için senaryo şöyledir; üretimi ilk defa gerçekleştirilecek olan bir ürün için ürün-geliştirme departmanı sorumluları ürün ağacını oluşturmuş ve ilk protipi üretmişlerdir. Fakat ilk seri üretim için bu ürüne ait işlerin rotası belirlenmemiş ve zaman etütleri yapılmamıştır. Üretimi gerçekleştirecek olan ürün için üretim içi kaynakların planlanması gerekmektedir ve hangi aşamalarda ürüne ait işlemlerin devam etmesi için fasona gönderileceğine de karar vermeleri gerekmektedir. Ayrıca zaman etütleri henüz daha yapılmadığı için işlemlere ait zamanların belirlenmesi gerekmektedir. Problemin çözümü için birinci adımda, ürün ağacı oluşturulacak ve ürün ağacından, bu çalışma için geliştirilen ÜAİ yöntemi ile iş öncelikleri belirlenecektir. İkinci adımda, KA yöntemi kullanılarak, hangi işlerin fasona gideceği belirlenecektir. Üçüncü adımda ise matematiksel model yardımıyla işlerin en geç başlama ve en geç bitiş zamanları belirlenecektir.

2.2.Problem Çözüm Yöntemi

Ürün geliştirme çalışması tamamlanarak, prototip üretiminden sonra ilk defa seri üretimi yapılacak “A” ürünü için iş istasyonlarında zaman ölçümü yapılmamış ve iş rotası hazırlanmamıştır. Üretim planlamasını genel olarak malzeme ihtiyaçları giderildikten sonra plansız olarak üretim personelinin inisiyatifine bırakılan “X” firmasında “A” ve benzeri diğer ürünlerin üretim planlaması ve çizelgelemesi işlemi için sırasıyla yapılacak işlemler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Ürün ağacı oluşturularak, iş dökümünü ve iş öncelik sıralarını belirleyebilmek amaçlı ÜAİ yönteminin kullanılması,
- İstenilen son ürünü sipariş miktarınca üretmek için gerekli alt yarı mamul ve hammaddelerin miktarlarının belirlenmesi,
- Üretimdeki uzmanlardan zaman tahminlerinin alınarak ortalama zamanın bulunması ve fason kaynaklardan zaman tahminlerinin alınarak tahmini fason süresinin bulunması,
- KA yöntemi ile üret ve fason kararlarının beklenen maliyetlerinin kıyaslanarak, fasona gönderilecek işlerin seçilmesi,
- Matematiksel bir model yardımıyla birbirinin bitişi ile başlayabilir olan işler için tezgah boş kalma sürelerinin en aza indirilmesine olanak tanıyacak şekilde işlerin en geç optimum başlama ve en geç optimum bitiş zamanlarının çizelgelemede kullanılması.

Alınan zaman tahminlerinin ortalamaları ile fason firmalardan alınan zaman ve maliyet tahminleri bir araya getirilerek, KA yönteminde kullanılacaktır. KA yöntemi ile üretmek ve fason üretim yaptırmanın maliyetleri mukayese edilerek en az maliyetli karar alınacaktır. Probleme konu edilen hayali A ürününe ait ÜA ve ÜAİ’ nda iş önceliğinin nasıl değiştiği Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. “A” Ürünü İçin Ürün Ağacı ve İş Önceliklerinin Sıralanması

Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi A ürünü için önce başlaması gereken işler en alt ağaç dallarındadırlar. Yalnız çoğu zaman bu en alttaki dallar birer hammadde olmaktadır. Hammaddelerin kullanılarak yarı mamullere ve yarı mamullerin de kullanılarak diğer yarı mamullere veya direk olarak ürüne dönüşmesi gerekmektedir. Bu süreç ister sürekli üretim sisteminin veya kesikli üretim sisteminin veya montaj hattının bir parçası olsun, ürünün oluşması için birbirinden farklı yarı mamul ve hammaddelerin farklı rotalardan gelmiş olduğunu değiştirmez. Üretim sisteminin stok için üretim mi yoksa sipariş için üretim mi olduğu durumu da bahsedilen bu durumu değiştirmeyecektir. A ürününe ait işlemlerin önceliklerini belirlemek için bu çalışma içerisinde oluşturulan ÜAİ yöntemi kullanılacaktır. Ardından, zaman tahminleri ile KA kullanılarak üret veya fason anlaşma yap kararları alınacaktır. Üretim içerisindeki bölümlerin ve bu bölümlere ait kaynakların planlanabilmesi içinde proje yönetimlerinde kullanılan gantt grafikleri kullanılacaktır. Deneyisel bir matematiksel model ile de gantt grafiği üzerinde ÜAİ verileri derlenerek yerleştirilecektir.

2.3.Ürün Ağaç İterasyonu

ÜAİ yöntemi şekil 2.1’ deki ÜA için her bir hammadde ve yarı mamulü birer düğüm olarak ele almaktadır. Bu düğümler üretmek istediğimiz A ürünü için birer yol haritası oluşturmaktadırlar. Bu yüzden izlenmesi gereken yegâne yolu bize ÜA’ nın kendisi vermektedir. ÜAİ yöntemi her düğümün kendinden bir alt seviyede bağlı olduğu düğüm ve kendinden bir üst seviyede bağlı olduğu düğüm sayıları ile ilgilenir. Düğümün bir alt seviyesinde kendisine bağlı olan düğüm sayısı X ve bir üst seviyesinde kendisinin bağlı olduğu düğüm sayısı Y ile mukayese edilerek tüm düğümlere ait önceliklerin belirlenmesi sağlanır. Her düğüm için iş öncelik sırası olarak $\bar{O}$ değeri hesaplanır. Öncelik değeri ile kast edilen uygun olan ilk zamanda hangi işin ilk olarak üretim sürecine dâhil edileceğidir. $\bar{O}$ değeri $\bar{O} = i, i \in N^+ (1, 2, 3, \dots, \infty)$ şeklinde sonsuza kadar uzanabilen sayıları temsil eder. Bu mukayese işlemi için düğümün Y sayısı en büyük olanlar ve X sayısı en az olanlar ilk önceliği alarak yani $\bar{O} = 1$ olarak, öncelik verme işlemine başlanır. Birinci öncelikleri alan düğümlerden sonra öncelik sırasının azalması için yani $\bar{O}$ değerinin artması için Y ve X sayılarının aynı şekilde mukayesede edilmesi ile tüm düğümlere birer öncelik sayısı atanır. En büyük öncelik sayısını alacak olan ve en son yapılacak işlem olarak adlandırılacak düğümler için Y sayısının en küçük ve X sayısının en büyük olduğu düğümlere bakılır. İlk başta yapılan bu işlem birinci

iterasyon olarak adlandırılır ve $\ddot{O}$ değeri 1 olarak belirlenen değerler $\ddot{U}A$ 'ndan çıkarılırlar. Bunun sebebi olarak hammadde eliminasyonu ile sadece üretilecek olan yarı mamullerin yapılacağı işlemlere odaklanmaktır. Hammadde eliminasyonu yapıldıktan sonra kalan düğümlerle aynı işlemlere devam edilir ve düğümlerin hepsine ait öncelik sırası belirlendikten sonra birinci öncelik değerini alanlar elimine edilerek bu işleme devam edilir. En son sadece bir düğüm kalana kadar yapılan bu işleme $\ddot{U}A$ kullanıldığı için $\ddot{U}A\ddot{I}$ adı verilmiştir. Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse aşağıdaki formüller $\ddot{O}$ değerinin her düğüm için nasıl hesaplandığını göstermektedir.

$$\ddot{O} = \text{İş öncelik sırası} \quad (2.1)$$

$$X = \text{Kendisine Bağlı Olan düğüm sayısı} \quad (2.2)$$

$$Y = \text{Kendisinin Bağlı Olduğu Düğüm Sayısı} \quad (2.3)$$

$$\ddot{O} = i, i \in N^+ (1, 2, 3, \dots, \infty) \quad (2.4)$$

$$i = \begin{cases} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ N^+ \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \forall \text{ Min } X \text{ Max } Y \downarrow \\ \forall \text{ Max } X \text{ Min } Y \uparrow \end{cases} \quad (2.5)$$

Yukarıda ki formüllerin daha anlaşılır olması için A ürününe ait $\ddot{U}A$ 'nın $\ddot{U}A\ddot{I}$ yöntemi ile çözümlenmesi gerekmektedir. Birinci iterasyondaki amacın hammadde eliminasyonu yapmak olduğu belirtilmiştir.

Birinci İterasyon: Şekil 2.1' de gösterildiği gibi ürün ağaçlarında tepedeki ürüne ulaşmak için öncelik sırası en altta yer alan ürünleri tamamlamak gerekmektedir. Aşağıdaki Tablo 2.1' de birinci iterasyon ile hammadde eliminasyonu yapılmıştır.

Tablo 2.1. A Ürünü için $\ddot{U}A\ddot{I}$ Birinci İterasyon

Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Düğüm Sayısı (x)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Düğüm Sayısı (y)	İş Öncelik Sırası
A	-	2	0	3
B	A	2	1	2
C	A	2	1	2
D	B	0	1	1
E	C	0	1	1
F	C	2	1	2
G	B	1	1	2
H	G	0	1	1
J	F	0	1	1

K	F	2	1	2
L	K	0	1	1
M	K	0	1	1

Tablo 2.1'deki hesaplamalar formül 2.5 ve 2.4 yardımıyla yapılmıştır. Birinci iterasyon sonucunda hammaddeleri elemek amaçlı gerçekleştirilmiştir. Tablo 2.1'de görüldüğü gibi D, E, H, J, L ve M ürünleri iterasyon işlemlerinden çıkarılır ve geri kalan ürünler tek ürün kalana kadar iterasyona tabi tutulur.

İkinci İterasyon: Tablo 2.2'de 2.5 ve 2.4 numaralı formüller kullanılarak, üretimde öncelik sırası K ve G ürünleri için 1 olarak hesaplanmıştır, şimdi bu ürünleri tablodan kaldırarak diğer ürünler için tekrar öncelik sırası hesaplanacaktır. Bu işlem artık iterasyon yapılacak ürün kalmayana dek devam edecektir.

Tablo 2.2. A Ürünü için ÜAİ İkinci İterasyonu

Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Düğüm Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Düğüm Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
A	-	2	0	3
B	A	1	1	2
C	A	1	1	2
F	C	1	1	2
G	B	0	1	1
K	F	0	1	1

Üçüncü İterasyon: Tablo 2.3'den de görüldüğü gibi, B ve F ürünleri için öncelik sayısı 1 olarak belirlenmiştir. Bu ürünlerin tablodan kaldırımı ile kalan ürünler için dördüncü bir iterasyon daha yapılmalıdır.

Tablo 2.3. A Ürünü için ÜAİ Üçüncü İterasyon

Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Düğüm Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Düğüm Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
A	-	2	0	3
B	A	0	1	1
C	A	1	1	2
F	C	0	1	1

Dördüncü İterasyon: Tablo 2.4 'den de görüldüğü gibi, C ürünü için öncelik sayısı 1 olarak belirlenmiştir. Bu ürünün tablodan kaldırımı ile kalan tek ürün olan A için yapılacak beşinci iterasyonda öncelik sayısı 1 olacağı için yeni iterasyonu tablo ile

göstermeye gerek yoktur. İlk iterasyon haricindi kalan tüm iterasyonları aşağıdaki Tablo 2.5' den inceleyebiliriz.

Tablo 2.4. A Ürünü için ÜAİ Dördüncü İterasyon

Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Düğüm Sayısı (x)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Düğüm Sayısı (y)	İş Öncelik Sırası
A	-	1	0	2
C	A	0	1	1

Tablo 2.5. A ürünü için ÜAİ İterasyon Değerlendirmeleri

İterasyon No	Öncelik No	Düğüm
İterasyon#2	1	K, G
İterasyon#2	2	B,C,F
İterasyon#2	3	A
İterasyon#3	1	B,F
İterasyon#3	2	C
İterasyon#3	3	A
İterasyon#4	1	C
İterasyon#4	2	A
İterasyon#5	1	A

İş önceliği olarak K ve G ürünlerinin en üstün ürünler olduğu ortaya çıkmıştır. K ve G ürünlerinin ardından ikincil öncelik değerine sahip ürünler olarak B ve F ürünleri bulunmuştur. C ürünü ise B ve F ürünleri ile aynı zamanda yapılması gerektiğinde daha sonra yapılması gerektiği sahip olduğu öncelik sırası ile ortaya çıkmaktadır. Tablo 2.5'den yola çıkarak yapılacak iş dökümünü aşağıdaki Tablo 2.6 ile ifade edebiliriz.

Tablo 2.6. A Ürünü Üretimi için İş Döküm Yapısı

Öncelik	Düğüm	Düğüm No	Ana Düğüm	Ana Düğüm No	İş Akışı	İş Akışı No
1	K	6	F	4	$K \rightarrow F$	64
1	G	5	B	3	$G \rightarrow B$	53
2	F	4	C	2	$F \rightarrow C$	42
2	B	3	A	1	$B \rightarrow A$	31
3	C	2	A	1	$C \rightarrow A$	21
4	A	1	-	0	$A \rightarrow$	10

Bu verilerin matematiksel notasyonları, ifade 2.6' dan yararlanılarak Tablo 2.7'de verilmiştir.

$U_{i,j}^{nin}$ iş dökümünde A ürünü oluşturmak için yapılacak işlerin notasyonu (2.6)

$$U_{i,j}^{nin} \text{ için } \begin{cases} n = \text{öncelik sırası no, } n \in N^+(1,2,3, \dots, N) \\ i = \text{başlangıç çizge no, } i \in N^+(1,2,3, \dots, N) \\ j = \text{hedef çizge no, } j \in N^+(0,1,2,3, \dots, N) \end{cases} \quad (2.7)$$

Tablo 2.6' daki iş önceliklerini yeni tablomuz olan aşağıdaki tablo 2.7' de notasyonlar ile ifade edebiliriz.

Tablo 2.7. A Ürünü için Notasyonlu İş Döküm Yapısı

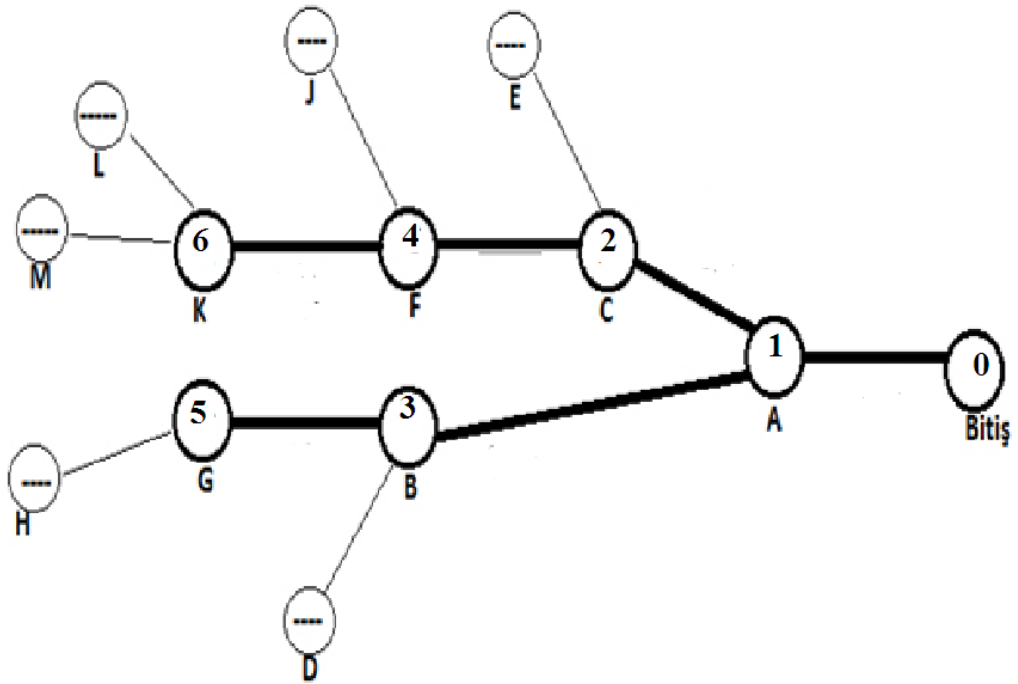
Öncelik	Düğüm	Düğüm No	Ana Düğüm	Ana Düğüm No	İş Akışı	İş Akışı No	Notasyon
1	K	6	F	4	$K \rightarrow F$	64	$U_{6,4}^{1,2}$
1	G	5	B	3	$G \rightarrow B$	53	$U_{5,3}^{1,2}$
2	F	4	C	2	$F \rightarrow C$	42	$U_{4,2}^{2,3}$
2	B	3	A	1	$B \rightarrow A$	31	$U_{3,1}^{2,4}$
3	C	2	A	1	$C \rightarrow A$	21	$U_{2,1}^{3,4}$
4	A	1	-	0	$A \rightarrow$	10	$U_{1,0}^{4,0}$

Daha önceki iterasyonlarda öncelikleri ve üretim yolumuzu belirlemiştik, $U_{i,j}^{nin}$ ifadesi üretim planlama ve çizelgeleme yaparken hangi işi, hangi işi yapabilmek için yapıyoruz sorusunun cevabını verecektir ayrıca aynı başlangıç düğümünden yada aynı öncelik sayısından başlayarak birden çok işe gireceğimizde kendinden sonra gelen öncelik sayısı küçük olanı seçerek daha optimal bir planlama yapabileceğiz. Aşağıdaki Tablo 2.8 ile notasyonlar açıklanmıştır.

Tablo 2.8. A Ürünü Üretimi için İş Dökümü Notasyon Açıklaması

Notasyon	Açıklama
$U_{6,4}^{1,2}$	K ürününün üretim işi
$U_{5,3}^{1,2}$	G ürününün üretim işi
$U_{4,2}^{2,3}$	F ürününün üretim işi
$U_{3,1}^{2,4}$	B ürününün üretim işi
$U_{2,1}^{3,4}$	C ürününün üretim işi
$U_{1,0}^{4,0}$	A ürününün üretim işi

Şekil 2.2 bizlere ulaşılmak istenilen A ürünü için öncesinde ulaşılabilecek ürünleri göstermektedir.



Şekil 2.2. A Ürünü için İş Dökümü Yapısı Ve Notasyonlar

2.4.Gerekli Yarı Mamul Miktarlarının Hesaplanması

Elde edilen iş dökümü ve öncelik notasyonu ile artık üretim planlamasını ve çizelgelemesini oluşturmak için modelimizi kurmaya başlayabiliriz. Model kurulması için her işin yapılacağı tezgahı ve üretim kaynaklarını belirlememiz gerekli. Tablo 2.9 ile Q adet üretime alınacak A ürünü için ÜA bilgisinden de faydalanarak hangi işin toplamda ne kadar yapılacağını hesaplayacağız.

Tablo 2.9. A ürünü için Üretilecek Miktar Hesaplama

Notasyon	Açıklama	ÜA Miktarı	Bağlı Olduğu Düğüm	İstenilen Adet
$U_{1,0}^{4,0}$	A ürününün üretim işi	1	-	$1*Q$
$U_{2,1}^{3,4}$	C ürününün üretim işi	3	A	$3*Q$
$U_{3,1}^{2,4}$	B ürününün üretim işi	2	A	$2*Q$
$U_{4,2}^{2,3}$	F ürününün üretim işi	2	C	$3*2*Q$
$U_{5,3}^{1,2}$	G ürününün üretim işi	2	B	$2*2*Q$
$U_{6,4}^{1,2}$	K ürününün üretim işi	2	F	$3*2*2*Q$

Tablo 2.9’ da hesaplanan üretim miktarlarını bulmak için sırasıyla aşağıdaki ifadeler, matematiksel formüller ve MİP algoritması kullanıldı.

$$i: \text{Başlangıç ürününün düğüm numarası, } i = i \in N^+(1,2,3, \dots, N) \quad (2.8)$$

j : Bağlanılan ürünün düğüm numarası,

$$j = i \in N^+(0,1,2,3, \dots, N) \quad (2.9)$$

$$N: \text{Başlangıç için gerekli tüm ürünlerin düğüm sayısı} \quad (2.10)$$

N

$$+ 1: \text{Bitiş için gerekli tüm ürünlerin düğüm sayısı} \quad (2.11)$$

A_{ij} : i . düğümdeki üretilerek j . düğümünde kullanılacak ürününün bağlantı

$$\text{katsayısı} \quad (2.12)$$

$$A_{ij} = \begin{cases} 0, & i. \text{ düğüm} \text{ den } j. \text{ düğüme bağlantı yoksa} \\ 1, & i. \text{ düğüm} \text{ den } j. \text{ düğüme bağlantı varsa} \end{cases}$$

$$(2.13)$$

B_{ij} i . düğümdeki üretilecek ürünün bağlı olduğu j . düğümdeki Ürün ağacındaki

$$\text{miktarı} \quad (2.14)$$

$$M_i: i. \text{ düğüm} \text{ den } j. \text{ düğüme üretilmesi gereken toplam miktar} \quad (2.15)$$

$$M_{ij}: i. \text{ düğüm} \text{ den } j. \text{ düğüme üretilmesi gereken miktar} \quad (2.16)$$

M_j : j . düğümdeki üründen üretilmesi gereken toplam miktar (2.17)

Algorithms MIP

Input A_{ij}, B_{ij}

Given $M_0 = Q$

Begin

For $i = 1$ to N step by step do,

For $j = 0$ to N step by step do,

If $A_{ij} = 0$ then,

$M_j := 0$,

Else

$M_j := M_j$

End If

$M_{ij} = A_{ij} * B_{ij} * M_j$

$M_i += M_{ij}$

Next j ,

Display M_i ,

Next i ,

Display all M_i

End

Yukarıdaki MIP algoritması ile Q adet üretilmesi gereken “A” ürünü için gereken yarı mamul miktarlarının belirlenmesi işlemi gerçekleştirildi. Q adet ihtiyaç duyulan “A” ürününe bir alt seviyede bağlı olan ürünlerin üretim miktarı ürün ağacındaki miktarlar ve “A” ürününün üretim miktarı ile çarpılarak bulundu. Bu işlem her düğüm için kendisinin bir altındaki ürünün ürün ağaç miktarı ile kendisinin üretim miktarı çarpılarak en alttaki düğümün üretim miktarı bulunarak devam ettirildi ve Tablo 2.9 elde edildi.

İş öncelik sıraları ve üretim için gerekli yarı mamul miktarları belirlendikten sonra hangi işin iç kaynak kullanılarak, hangi işin fasonda yapılacağı belirlenmesi KA yöntemi ile aşağıda gerçekleşecektir.

2.5. Karar Ağacı Yöntemi ile Üretim veya Fason Kararları

Üretici iş dökümündeki işleri kendisi iç kaynaklarını kullanarak yapabileceği gibi fason kaynak kullanarak ta yaptırabilir. Bu yüzden üreticinin vereceği en iyi kararının alınmasına yönelik BT ile koşullu olasılıkların hesaplanması sonucu her iki kaynak kullanım şeklinin beklenen maliyetleri hesaplanır ve beklenen maliyeti düşük olan karar seçilir. İki kaynak kullanımına yönelik öncül olaylarımız ve bu öncül olaylara ait olasılıklar mevcuttur. Öncül olaylardaki olasılıkların ek bilgi ile gelen yeni durumlar için soncul olasılığa çevrilmesi ve kararların maliyetleri ile çarpılarak beklenen maliyet değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Kararlara ait hesaplanan beklenen maliyetlerin mukayese edilmesi ile üretici kendisi için uygun kararı verebilecektir. Tablo 2.10’ da olayların tanımı ve öncül olasılıkları yer almaktadır. Ayrıca Tablo 2.11’de kararların maliyetine ilişkin hesap kalemleri bulunmaktadır.

Tablo 2.10: Olayların Tanımı ve Öncül Olasılıkları

Olay	Öncül Olasılıklar
Zamanında veya evvel iç kaynak ve fason kaynak kullanılarak üretimin gerçekleşmesi olayı - A	P(A)
İç kaynak ve fason kaynak kullanılarak planlanandan geç üretimin gerçekleşmesi olayı- B	P(B)
Geçmişte benzer işlerin iç kaynak kullanılarak üretilme olayı - u	P(u)
Geçmişte benzer işlerin fason kaynak kullanılarak üretilme olayı - f	P(f)

Tablo 2.11: Kararların Maliyetine İlişkin İfadeler

Karar	Tahmini bir birim üretim süresi	Normal üretim zamanı birim maliyetleri TL	Zamanında üretememe birim maliyeti TL
Üret	t_u	X_u	Y_u
Fason	t_f	X_f	Y_f

Tablo 2.11’ deki maliyet kalemlerinden t_u değeri üretim içi uzmanların verdikleri iş yapılış sürelerinin ortalamasıdır. Yukarıdaki tablo 2.11’de t_f değeri ise fason kaynaklardan alınan üretim zamanlarının ortalamasıdır. X_u değeri üretimde gerçekleşecek olan iş için yapılacak iş miktarı ile normal çalışma ücretinin çarpılarak bulunmasında ki normal işçilik birim ücretidir. Y_u değeri ise üretimde gerçekleşecek iş için ne kadar süre geç kalınacağı bilinmediği için iş miktarın normal çalışma ücretinin 2 katı ile çarpılması ile oluşan geç kalma maliyetinin bulunmasındaki normal ücretin 2 katı olan değerdir. X_f değeri fasonda gerçekleşecek olan iş için yapılacak iş miktarı ile normal çalışma ücretinin çarpılarak bulunmasında ki normal işçilik birim ücretidir. Y_f değeri ise fasonda gerçekleşecek iş için ne kadar süre geç kalınacağı bilinmediği için iş miktarın normal çalışma ücretinin 2 katı ile çarpılması ile oluşan geç kalma maliyetinin bulunmasındaki normal ücretin 2 katı olan değerdir. Karar ağacımızı oluşturabilmek için soncul olasılıkların hesaplanmasında formül 1.2’ den yararlanılır ve karar ağacı üzerinde ifade edilmek istenildiğinde, aşağıdaki şekil 2.3 elde edilir. Aşağıdaki soncul olasılık hesaplamaları ise beklenen maliyet hesaplarında kullanılacaktır.

$$P(u | A): \text{Zamanında gerçekleştiği bilindiğinde bunun üretimde yapılma olasılığı} \quad (2.18)$$

$$P(f | A): \text{Zamanında gerçekleştiği bilindiğinde bunun fasonda yapılma olasılığı} \quad (2.19)$$

$$P(u | B): \text{Zamanında gerçekleşmediğinde bunun üretimde yapılma olasılığı} \quad (2.20)$$

$$P(f | B): \text{Zamanında gerçekleşmediğinde bunun fasonda yapılma olasılığı} \quad (2.21)$$

$$P(A | u): \text{Üretimde gerçekleştiğinde zamanında ve evvel gerçekleşme olasılığı} \quad (2.22)$$

$$P(B | u): \text{Üretimde gerçekleştiğinde zamanından geç gerçekleşme olasılığı} \quad (2.23)$$

$$P(A | f): \text{Fasonda gerçekleştiğinde zamanında ve evvel gerçekleşme olasılığı} \quad (2.24)$$

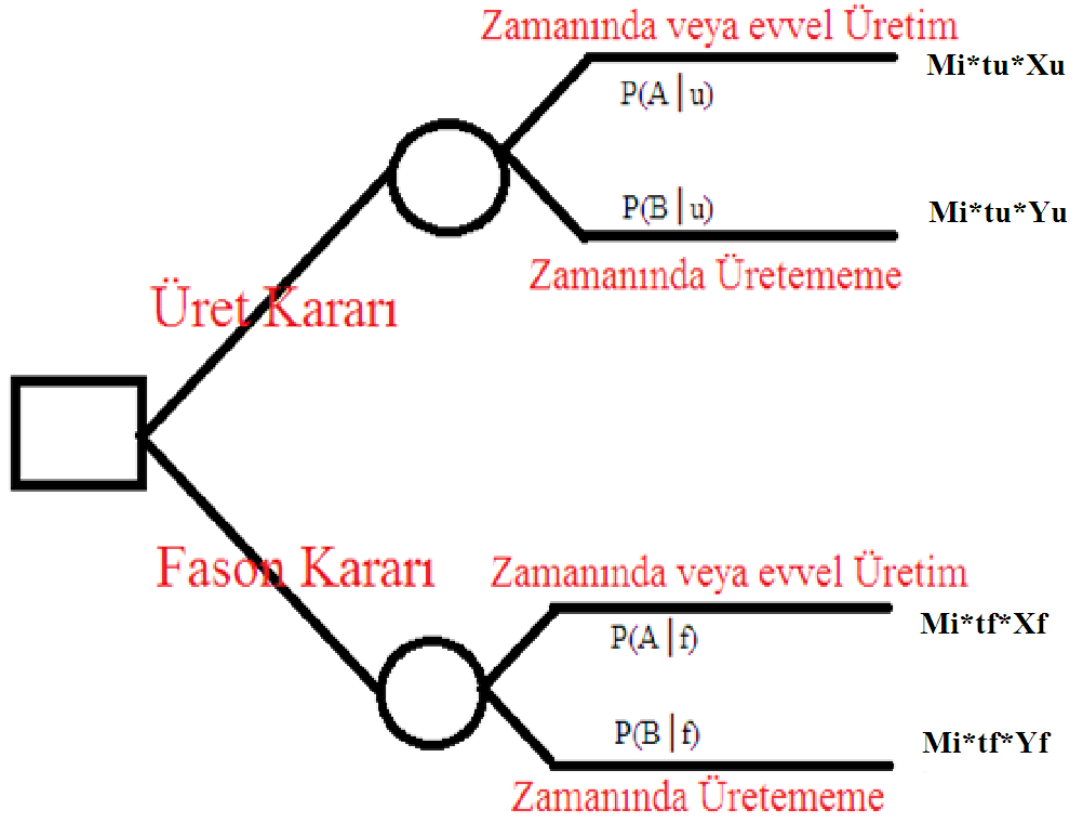
$$P(B | f): \text{Fasonda gerçekleştiğinde zamanından geç gerçekleşme olasılığı} \quad (2.25)$$

$$P(A | u) = \frac{P(A) \cdot P(u | A)}{P(A) \cdot P(u | A) + P(B) \cdot P(u | B)} \quad (2.26)$$

$$P(B | u) = \frac{P(B) \cdot P(u | B)}{P(B) \cdot P(u | B) + P(A) \cdot P(u | A)} \quad (2.27)$$

$$P(A | f) = \frac{P(A) * P(f | A)}{P(A) * P(f|A) + P(B) * P(f | B)} \quad (2.28)$$

$$P(B | f) = \frac{P(B) * P(f | B)}{P(B) * P(f|B) + P(A) * P(f|A)} \quad (2.29)$$



Şekil 2.3. Üret veya Fasona Gönder Karar Ağacı

Şekil 2.3 ile herhangi bir işlemin üretimde mi yapılacağı yoksa fason kaynak kullanılarak mı yapılacağı sorusuna cevap bulmak amaçlı geriye doğru üret ve fason kararlarının beklenen maliyetlerinin toplamı bulunması gerekmektedir. Aşağıdaki formüller ile bu kararlara ait mukayese işlemi gerçekleştirilir.

$$\text{Üretme kararının beklenen maliyeti: } M_u \quad (2.30)$$

$$M_u = (P(A|u) * M_i * t_u * X_u) + (P(B|u) * M_i * t_u * Y_u) \quad (2.31)$$

$$\text{Fasona gönderme kararının beklenen maliyeti: } M_f \quad (2.32)$$

$$M_f = (P(A|f) * M_i * t_f * X_f) + (P(B|f) * M_i * t_f * Y_f) \quad (2.33)$$

Eğer $M_u \leq M_f$ ise üretim kararı alınması gerekmektedir. Aksi durumda ise fason karanın alınması gerekmektedir.

2.6.Model Kurulumu ve Üretim Planlama

Çizelgeleme matematiksel modelinde tezgahlar arasında birbiri sıra yapılacak işlerde, herhangi bir tezgahın diğer bir tezgahdaki yarı mamul beklemesinden kaynaklanan boş sürelerin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Şimdiye kadar üretimde hangi işleri önce yaparak daha optimum planlama yapabileceğimize yönelik ifade 2.6' ı ve bu işten ne kadar üretileceğine dair ifade 2.15'i bulduk. Bundan sonra geliştirilecek ifadeler üretim planlamayı yapmamız için gerekli olan tezgâh kurulum süresi, parça işlem süresi, tezgâhlar arası yüzde ilerleme ile kendinden sonraki başlayacak iş için başlangıç zamanını daha erkene almak gibi ifadeler tanımlanacaktır. Ayrıca bölümler için gerekli kapasite ihtiyaçları ve gerekli eleman ihtiyaçları belirlenerek çizelgeleme yapılacaktır.

Matematiksel Model

$$T_{i,j}^{n_i n_j} : U_{i,j}^{n_i n_j} \text{ işine ait tezgah kurulum süresi} \quad (2.34)$$

$$I_{i,j}^{n_i n_j} : U_{i,j}^{n_i n_j} \text{ işine ait birim başına işlem süresi} \quad (2.35)$$

$$Y_{i,j}^{n_i n_j} : U_{i,j}^{n_i n_j} \text{ işine ait yüzde ilerleme} \quad (2.36)$$

$$D_a : U_{i,j}^{n_i n_j} \text{ işinin yapılacağı üretim bölümü} \quad (2.37)$$

$$E_i : U_{i,j}^{n_i n_j} \text{ işinde çalıştırılacak eleman sayısı} \quad (2.38)$$

$$P_a : D_a \text{ bölümünde eleman çalıştırma saatlik ücreti} \quad (2.39)$$

$$TE_i : \text{En geç başlama zamanı} \quad (2.40)$$

$$TB_i : \text{En geç bitiş zamanı} \quad (2.41)$$

$$TI_i : \text{Gerçekleşmesi planlanan işlem süresi} \quad (2.42)$$

Tüm Da' lar için ayrı ayrı bölüm çalışma maliyetleri

$$Maliyet_a = \sum_i^S TI_i * E_i * P_a \quad i = i \in N^+(1,2,3, \dots, S) \text{ ve } i = (a \text{ bölümünde yapılacak işlemlerin kümesi}) \quad (2.43)$$

$$TI_i = TB_i - TE_i \quad (2.44)$$

$$k, i. \text{ ci düğüme direk bağlı işlerdir ve } k \in N^+(1,2,3, \dots, K) \quad (2.45)$$

$$TB_i = \text{Max} \begin{cases} TB_k + Y_{k,j}^{ni,nj} M_k I_{k,j}^{ni,nj} \\ \vdots \\ TB_1 + Y_{1,j}^{ni,nj} M_1 I_{1,j}^{ni,nj} \\ TE_i + T_{i,j}^{ni,nj} + M_i I_{i,j}^{ni,nj} \end{cases} \quad (2.46)$$

$$TE_i = \text{Max} \begin{cases} TE_k + T_{k,j}^{ni,nj} + Y_{k,j}^{ni,nj} M_k I_{k,j}^{ni,nj} \\ \vdots \\ TE_1 + T_{1,j}^{ni,nj} + Y_{1,j}^{ni,nj} M_1 I_{1,j}^{ni,nj} \end{cases} \quad (2.47)$$

İfade 2.46 ve 2.47 ile düğümden yapılacak iş için en geç optimum başlama süresi ve en geç optimum bitiş süreleri hesaplanmıştır. Yüzde ilerlememe yardımı ile bir kendinden önce ki işin bitmesini beklemeden ,önceki başlayan işin toplam miktarının istenilen yüzde ilerlemesi tamamlandıktan düğümden iş başlayabilir, bu şekilde tezgahlar arasındaki bekleme oranı azaltılmaya ve işlerin daha hızlı bitmesi amaçlanmaktadır.

2.6.1. Çizelgeleme Yöntemi

ÜAİ yöntemi ile iş dökümünü elde ettikten sonra, iş dökümündeki her iş için fason mu yoksa üretim mi? kararlarının alınması işlemi ile artık çizelgeleme işlemi için verilerimizi derleyebiliriz. Yukarıda ki matematiksel model ile işlemlere ait notasyonları kullanarak her işlemin toplam süresini, tezgâh kurulum süresini de işin içerisine katarak hesaplanması aşağıdaki tablo 2.12 de gösterilmiştir.

Tablo 2.12. Toplam Gerekli Zaman Hesaplama Tablosu

Notasyon	İstenilen Adet	Anası Olduğu Düğüm	Bağlı Olduğu Düğüm	Tezgah Kurulum Süresi	Birim Başına İşlem Süresi	Toplam Zaman
$U_{6,4}^{1,2}$	M_6	-	F	$T_{6,4}^{1,2}$	$i_{6,4}^{1,2}$	$T_{6,4}^{1,2} + M_6 * i_{6,4}^{1,2}$

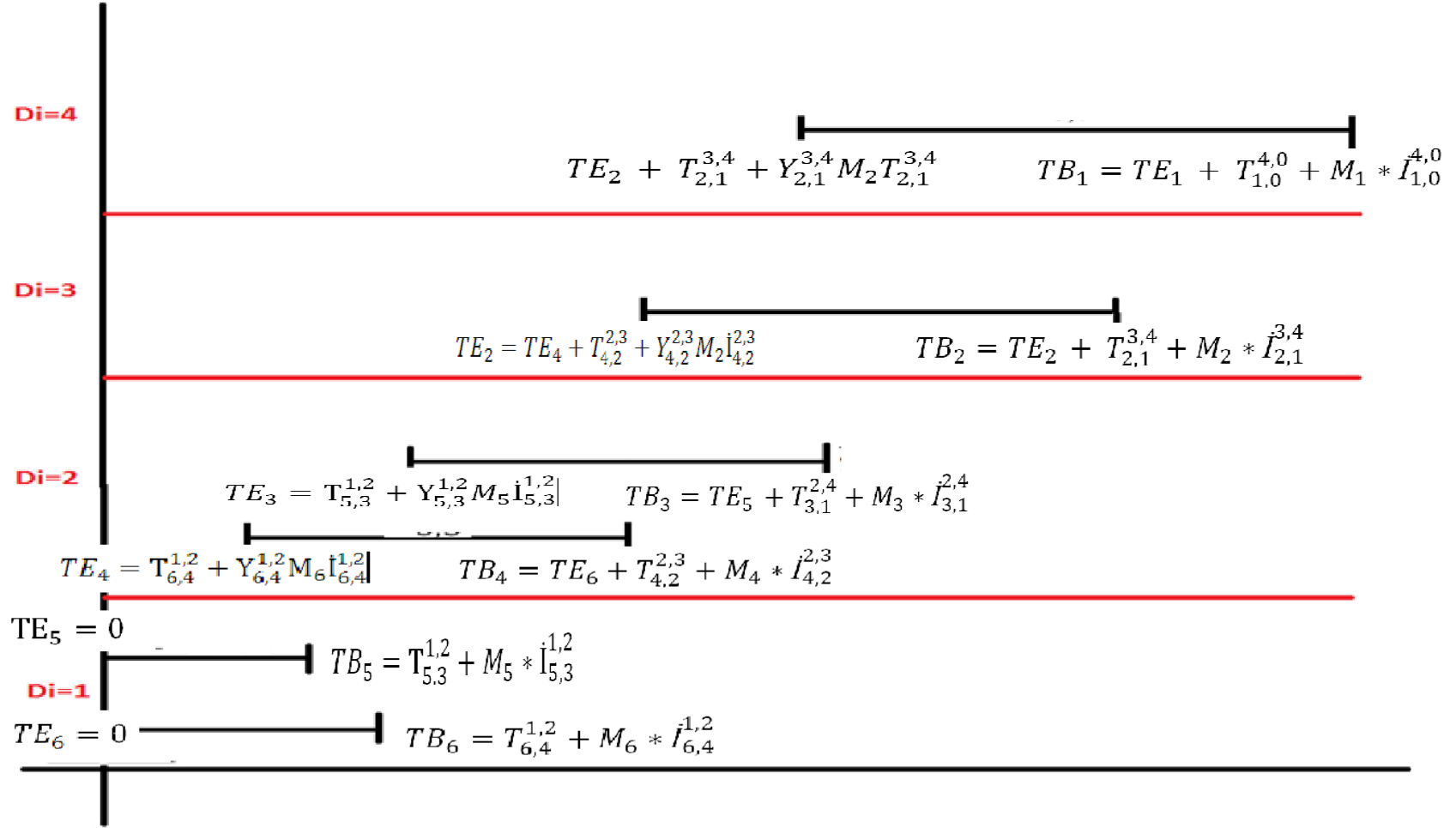
$U_{5,3}^{1,2}$	M_5	-	B	$T_{5,3}^{1,2}$	$i_{5,3}^{1,2}$	$T_{5,3}^{1,2} + M_5 * i_{5,3}^{1,2}$
$U_{4,2}^{2,3}$	M_4	K	C	$T_{4,2}^{2,3}$	$i_{4,2}^{2,3}$	$T_{4,2}^{2,3} + M_4 * i_{4,2}^{2,3}$
$U_{3,1}^{2,4}$	M_3	G	A	$T_{3,1}^{2,4}$	$i_{3,1}^{2,4}$	$T_{3,1}^{2,4} + M_3 * i_{3,1}^{2,4}$
$U_{2,1}^{3,4}$	M_2	F	A	$T_{2,1}^{3,4}$	$i_{2,1}^{3,4}$	$T_{2,1}^{3,4} + M_2 * i_{2,1}^{3,4}$
$U_{1,0}^{4,0}$	M_1	B,C	-	$T_{1,0}^{4,0}$	$i_{1,0}^{4,0}$	$T_{1,0}^{4,0} + M_1 * i_{1,0}^{4,0}$

Yukarıda ki tablo 2.12 ile hesaplanan toplam zamanlar işlemlere ait en geç başlama ve en geç bitme zamanlarının hesaplanmasında kullanılacaktır. Bu hesaplama işlemleri aşağıdaki tablo 2.13 'de verilmiştir.

Tablo 2.13. Başlama ve Bitiş Zaman Tablosu

Notasyon	Bölüm No	Gerekli Eleman Sayısı	En Geç Başlama Zamanı	En Geç Bitirme Zamanı
$U_{6,4}^{1,2}$	$D_1 = 1$	$E_1 = 1$	$TE_6 = 0$	$TB_6 = T_{6,4}^{1,2} + M_6 * i_{6,4}^{1,2}$
$U_{5,3}^{1,2}$	$D_2 = 1$	$E_2 = 1$	$TE_5 = 0$	$TB_5 = T_{5,3}^{1,2} + M_5 * i_{5,3}^{1,2}$
$U_{4,2}^{2,3}$	$D_3 = 2$	$E_3 = 2$	$TE_4 = T_{6,4}^{1,2} + Y_{6,4}^{1,2} M_6 i_{6,4}^{1,2}$	$TB_4 = TE_6 + T_{4,2}^{2,3} + M_4 * i_{4,2}^{2,3}$
$U_{3,1}^{2,4}$	$D_4 = 2$	$E_3 = 2$	$TE_3 = T_{5,3}^{1,2} + Y_{5,3}^{1,2} M_5 i_{5,3}^{1,2}$	$TB_3 = TE_5 + T_{3,1}^{2,4} + M_3 * i_{3,1}^{2,4}$
$U_{2,1}^{3,4}$	$D_5 = 3$	$E_2 = 3$	$TE_2 = TE_4 + T_{4,2}^{2,3} + Y_{4,2}^{2,3} M_2 i_{4,2}^{2,3}$	$TB_2 = TE_2 + T_{2,1}^{3,4} + M_2 * i_{2,1}^{3,4}$
$U_{1,0}^{4,0}$	$D_6 = 4$	$E_6 = 4$	$TE_1 = \text{Max} \begin{cases} TE_3 + T_{3,1}^{2,4} + Y_{3,1}^{2,4} M_3 i_{3,1}^{2,4} \\ TE_2 + T_{2,1}^{3,4} + Y_{2,1}^{3,4} M_2 i_{2,1}^{3,4} \end{cases}$	$TB_1 = TE_1 + T_{1,0}^{4,0} + M_1 * i_{1,0}^{4,0}$

Aşağıdaki şekil 2.4 ile bölümlere ait yapılacak işlemlerin sıralaması verilmiştir. Bölümler içerisinde ki iş sıralaması ÜAİ yoluyla elde edilen iş önceliklerine göre belirlenmiştir. Bu şekilde iş öncelik kuralına göre birbirini izleyen işlerin daha verimli olarak yapılabilmesi ve üretim içerisindeki boş zaman kayıpların azaltılması amaçlanmıştır.



Şekil 2.4. A Ürünü İşlemleri için Üretim Çizelgeme

3. BÖLÜM

VARSAYIMSAL SENARYO VE PROBLEM ÇÖZÜMÜ

3.1.Tek Ürün İmalatı için Problem Oluşturma ve Problem Çözümü

Problem çözüm önerisi olarak ortaya konulan bu çalışmanın doğruluğunu göstermek amaçlı, hayali bir ürünün üretiminin gerçekleştirilmesi işlemlerine dair, iş dökümünün elde edilmesi ve elde edilen iş dökümündeki işlemlerin fasonda mı yoksa üretimde mi gerçekleştirileceğine karar verilecektir. Ayrıca iş dökümünün çizelgelenmesi ve bölüm içerisindeki işlerin sıralanması yapılacaktır. Bu işlemler sırasında, ana amaç daha önceki konularda da değinildiği gibi üretim içindeki bölümlerde boş zamanların azaltılması ve maliyeti üretmekten daha az olan işlerin fasona gönderilmesi amaçlanmaktadır.

3.1.1. Varsayımsal Senaryo

Hayali bir metal firması olan ABC firmasında özel sipariş üzerine oturma bankı protipi üretilmiştir. Müşterinin beğenisi üzerine, seri üretim faaliyetleri gerçekleştirme kararı alınmıştır. 1000 adet üretilecek olan bu ürün için zaman etütleri yapılmamıştır. Üretimin hangi kısımlarının iç kaynak hangilerinin dış kaynak kullanılarak yapılacağına henüz karar verilmemiştir. Üretim birimleri arasında boş zaman bırakmaksızın fason ve üretim maliyetlerini göz önünde bulundurarak, ürüne ait üretim işlemlerinin ve kaynaklarının planlanması gerekmektedir. İlk defa seri üretime alınacak olan bu ürün için daha önce benzer ürünlerdeki tecrübeler kullanılarak ve zaman tahminleri yapılması gerekmektedir. Ayrıca fason ve üretim maliyeti hesaplamaları yapılabilmesi için tedarikçilerden gelecek bilgilere ihtiyaç vardır. Bank ağırlıklı olarak metal profil ve malzemelerin birleşimi olan bir üründür. Üretim yöntemi olarak kesikli üretim tipine uygun bir yapıdadır. Aynı tezgâhlarda yapılacak olan işlerin sıralanması bakımından da oldukça güzel bir örnektir. ÜAİ yönteminin denenmesi için uygun bir yapı vermektedir.

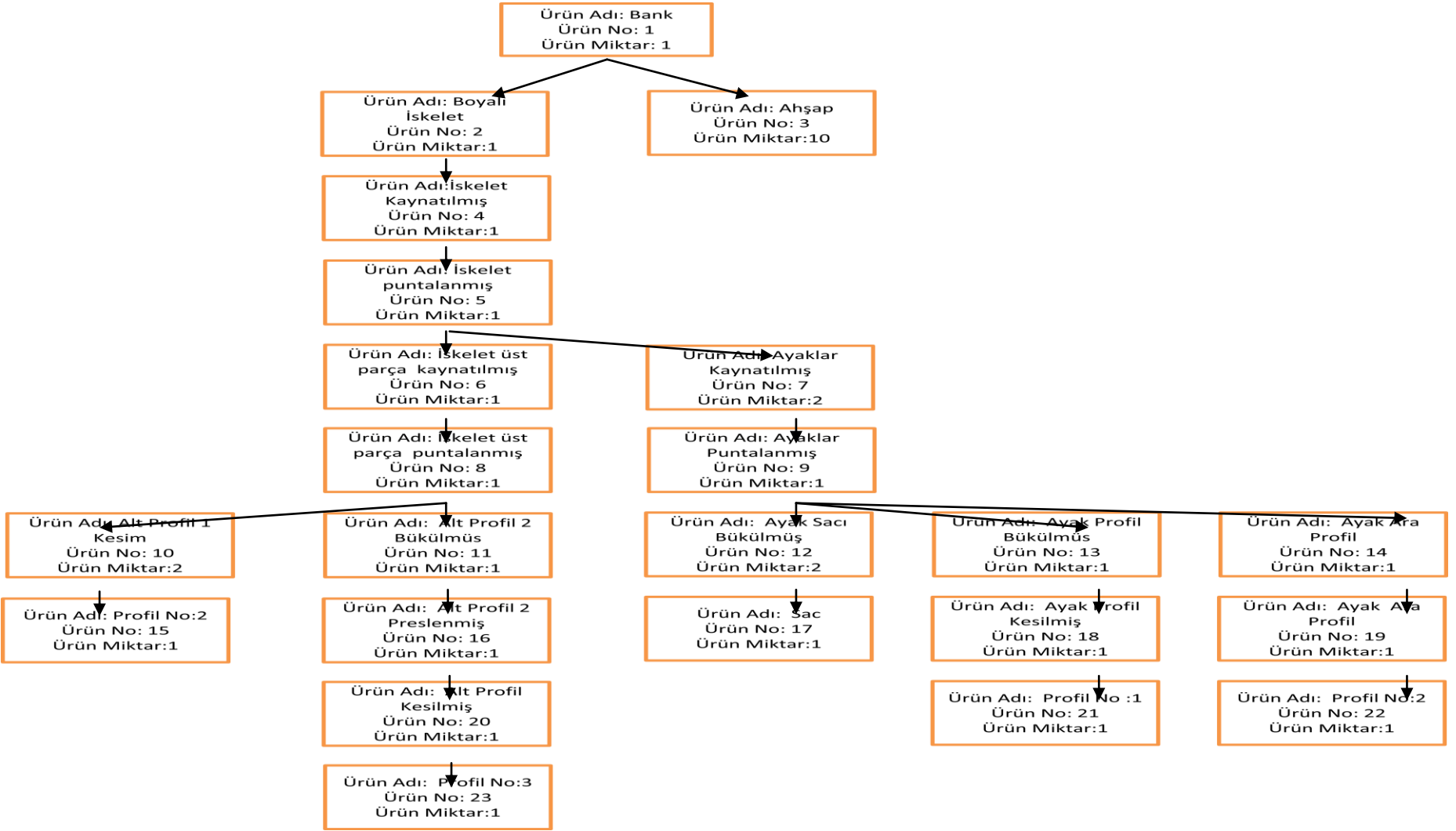
Problemin basitleştirilmesi açısından işlemler tek tezgâhta yapıldığı varsayılacaktır. İşlemlere ait zaman tahminleri, üretimde benzer işleri yapmış kalifiye elemanların tahminleri kullanılarak yapıldığı kurgulanmıştır. Ürünün üretimi esnasında montaj, makine işlemi, fason ve insan gücü gereksinimleri bakımından iş akışının genel yönetimi açısından oldukça iyi bir deneme problemidir. Birden çok kaynağın ve üretim biriminin kullanılarak iş atamalarının yapılması ve bölümler arasındaki boş zamanı yok etmek amaçlı oldukça iyi bir çizelgeleme ve sıralama problemidir. Ürün üretimi hayali bir işletmede gerçekleşeceği için çizelgeleme zaman başlangıcı olarak sıfır anı alındığı ve tüm zaman tahminlerinin dakika olarak ele alındığı varsayılacaktır. Bu şekilde günler ve haftalar süren üretim işlemleri dakika olarak çizelgelenecektir.

Bank üretimi için gerekli olan personel sayısının üretim öncesi belirlenmesi ile kapasite ihtiyaçlarına da göz atılabilecektir. Kaynakların çalışma süreleri daha az maliyetli fason kaynak kullanılarak azaltılması zaman ve sermaye açısından verimli bir üretim yönetimi ortaya koyacaktır.

3.1.2. Ürün Bilgileri

Bank ürünü ilk defa üretime alınacağı için daha önceki prototip üretiminden elde edilen ÜA bilgileri elde bulunmaktadır. Ürün geliştirme süreci içerisinde deneme yanılma yöntemi ile ürüne ait parçaların nasıl verimli üretileceğine dair metot denemeleri yapılmıştır. Fakat sonuçta ilk defa üretilecek bir ürün olduğu için zamanla ilgili kesin verilerin ürün üretimden tam olarak çıkmadan öğrenmek mümkün değildir. Bu sebeple iş akışını ortaya koyabilmek amaçlı ÜAİ yöntemi kullanılacaktır. ÜAİ yönteminin kullanılabilmesi için ÜA' na ihtiyacımız bulunmaktadır. Şekil 3.1 bir adet bank üretimi için gerekli ÜA verilmektedir. Şekil 3.1' deki her ürünün birer düğüm olarak ele alınması ve kendilerinden yukarıda olan düğümlerle birbirlerine bağlantıları da yapılması gereken üretim işleri olarak ele alınması gerekmektedir. Böylece, birbirlerini izleyen düğümler üretimde iş rotalama açısından kolaylık sağlar ve bu düğümlerin ÜAİ yöntemi ile derlenmesi sonucu iş dökümünün ve iş önceliklerinin hesaplanması kolaylaşır.

Şekil 3.1. Bank Üretimi için Ürün Ağacı



Şekil 3.1 deki ÜA’ da verilen bilgilerden Tablo 3.1 elde edilir. Tablo şeklinde sunum ile ÜA daha kolay bir şekilde ÜAİ yöntemi ile iterasyonlara tabi tutulabilir. Tablo 3.1’deki ürün ağaç miktarları 1 adet bank üretimi yapabilmek için gerekli olan ÜA miktarlarıdır. Probleme konu olan bin adet bank üretebilmek için gerekli olan gerçek MİP oluşturmak için ifade 2.15’ in tüm ürünler için hesaplanması gerekmektedir.

Tablo 3.1. Bank Üretimi için Gerekli Ürün Ağaç Miktarları

Düğüm	Ana Düğüm	Ürün Adı	Ürün Ağacı Miktarı
1	0	Bank	1
2	1	Boyalı İskelet	1
3	1	Ahşap	10
4	2	İskelet Kaynatılmış	1
5	4	İskelet Puntalanmış	1
6	5	İskelet Üst Parça kaynatılmış	1
7	4	Ayaklar Kaynatılmış	2
8	6	İskelet üst parça Puntalanmış	1
9	7	Ayaklar Puntalanmış	1
10	8	Alt profil 1 Kesim	2
11	8	Alt profil 2 Bükülmüş	4
12	9	Ayak Sacı bükülmüş	2
13	9	Ayak Profil bükümlü	1
14	9	ayak ara profil presli	1
15	10	Profil No:2	1
16	11	Alt Profil 2 Presleme	1
17	12	Sac No:1	1
18	13	Ayak Profil Kesim	1
19	14	Ayak Ara Profil Kesim	1
20	16	Ayak Profil 2 Kesim	1
21	18	Profil No:1	1
22	19	Profil No:2	1
23	20	Profil No:3	1

Tablo 3.1 ile üretilecek ve tüketilecek mamullerin listelenmesi sağlanmıştır fakat üretimin hangi bölümünde yapılacağına dair bilgiler verilmemiştir. Tablo 3.2 ile bank üretimi için üretilecek mamullerin hangi üretim bölümünde üretileceği bilgisi verilmiştir. Üretimin gerçekleşeceği birimlerin bilgisi de edinildikten sonra kalifiye elemanlardan zaman tahminleri alınması ve fason üretim için tedarikçi firmalardan zaman tahminleri ve maliyetlerin alınması gereklidir.

Tablo 3.2. Bank Üretimi için Üretim Birimleri

Level	Düğüm	Ürün Adı	Bölüm ADI	Bölüm No:
0	1	Bank	Montaj	11
1	2	Boyalı İskelet	Boyahane	10
1	3	Ahşap	Ürün Temin	0
2	4	İskelet kaynatılmış	Kaynakthane6	9
3	5	İskelet puntalanmış	Kaynakthane5	8
4	6	İskelet Üst Parça kaynatılmış	Kaynakthane4	7
4	7	Ayaklar Kaynatılmış	Kaynakthane3	6
5	8	İskelet üst parça puntalanmış	Kaynakthane2	5
5	9	Ayaklar puntalanmış	Kaynakthane1	4
6	10	Alt profil 1 Kesim	Testere Kesim	1
6	11	Alt profil 2 Bükülmüş	Büküm	3
6	12	Ayak Sacı bükülmüş	Press	2
6	13	Ayak Profil bükümlü	Büküm	3
6	14	Ayak ara profil presli	Press	0
7	15	Profil No:2	Ürün Temin	0
7	16	Alt Profil 2 Presleme	Press	2
7	17	Sac No:1	Ürün Temin	0
7	18	Ayak Profil Kesim	Testere Kesim	1
7	19	Ayak Ara Profil Kesim	Testere Kesim	1
8	20	Alt Profil 2 Kesim	Testere Kesim	1
8	21	Profil No:1	Ürün Temin	0
8	22	Profil No:2	Ürün Temin	0
9	23	Profil No:3	Ürün Temin	0

Tablo 3.2' deki bazı ürünlere ait bölüm numaraları 0 olarak verilmiştir. Bu ürünler dışarıdan temin edilmesi zorunlu olan hammadde lerdir. Bu yüzden bölüm numarası 0 olan ürünleri ÜAİ iterasyonu ile elimine edilecek ve kalan ürünlerin oluşturdukları düğümler notasyonlara çevrilecektir.

3.1.3. Ürüne Ait İş Dökümünün Ürün Ağaç İterasyonu ile Elde Edilmesi

Tablo 3.1 ve 3.2' deki bilgiler ışığında ÜAİ iterasyonu işlemleri yapılacaktır. İlk öncelikle hammadde iterasyonu için birinci iterasyon ardından, hangi ürünün, üretimde öncelik sahibi olacağına dair iterasyonlar devam edecek. İterasyonlar tablolar halinde yapı lıp, her iterasyon sonucu özet bir tabloda toplanacak ve iş önceliğine göre notasyonlar oluşturulacaktır. ÜAİ yöntemi daha öncede değinilen, formül 2.1 ve 2.5 yardımıyla gerçekleştirilecektir. Birinci iterasyon sonuçları Tablo 3.3 ile verilmiştir.

Tablo 3.3. Birinci İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	2	0	4
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2
Ahşap	3	1	0	1	1
İskelet kaynatılmış	4	2	1	1	2
iskelet puntalanmış	5	4	2	1	3
İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	1	1	2
Ayaklar Kaynatılmış	7	4	1	1	2
İskelet üst parça puntalanmış	8	6	2	1	3
Ayaklar Puntalanmış	9	7	3	1	4
Alt profil 1 Kesim	10	8	1	1	2
Alt profil 2 Bükülmüş	11	8	1	1	2
Ayak Sacı bükülmüş	12	9	1	1	2
Ayak Profil bükümlü	13	9	1	1	2
ayak ara profil presli	14	9	1	1	2
Profil No:2	15	10	0	1	1
Alt Profil 2 Presleme	16	11	1	1	2
Sac No:1	17	12	0	1	1
Ayak Profil Kesim	18	13	1	1	2
Ayak Ara Profil Kesim	19	14	1	1	2
Alt Profil 2 Kesim	20	16	1	1	2
Profil No:1	21	18	0	1	1
Profil No:2	22	19	0	1	1
Profil No:3	23	20	0	1	1

Birinci iterasyon ile 6 tane hammadde kalemi ÜAİ işlemlerinden kaldırılmıştır. Artık hammadde olduğu için bir işlemten geçirilerek üretilmek zorunda olmadığı anlaşılan bu ürünler iterasyon işlemlerinde yer almayacaktır. Formül 2.3 ve 2.4 ile belirtilen X ve Y sayıları aranacak ve birbirleri ile mukayese edilerek öncelik sıralamaları bulunmuştur. X sayısının en az olduğu düğümlerde Y sayısının en fazla olduğu düğümler araştırılarak birinci önceliğin o düğümlere verilmesi gerekmektedir. Söyle ki Tablo 3.3’ de X sayısı 0 olanlar ile Y sayısı 1 olanlar gruplanarak birinci önceliği almışlardır. Kaldırılan bu ÜA kalemleri sonrasında geriye kalan işler için öncelik arayışına başlanılacaktır. Bu yüzden kalan ürünler ÜAİ yöntemi ile ikinci iterasyona tabi tutulacaktır. Formül 2.3 ve 2.4 ile belirtilen X ve Y sayıları aranacak ve birbirleri ile mukayese geriye kalan işler için iş öncelik sıraları bulunmuştur. Tablo 3.4’ de ikinci iterasyon sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.4. İkinci İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	5
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2
İskelet kaynatılmış	4	2	1	1	2
iskelet puntalanmış	5	4	2	1	4
İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	1	1	2
Ayaklar Kaynatılmış	7	4	1	1	2
İskelet üst parça puntalanmış	8	6	2	1	4
Ayaklar Puntalanmış	9	7	3	1	3
Alt profil 1 Kesim	10	8	0	1	1
Alt profil 2 Bükülmüş	11	8	1	1	2
Ayak Sacı bükülmüş	12	9	0	1	1
Ayak Profil bükümlü	13	9	1	1	2
ayak ara profil presli	14	9	1	1	2
Alt Profil 2 Presleme	16	11	1	1	2
Ayak Profil Kesim	18	13	0	1	1
Ayak Ara Profil Kesim	19	14	0	1	1
Alt Profil 2 Kesim	20	16	0	1	1

Tablo 3.4’ de X sayısı 0 olanlar ile Y sayısı 1 olanlar gruplanarak birinci önceliği almışlardır. Kalan düğümler için ise X sayısı sıfıra en yakın olan değer seçilir ve bu satırlarda Y sayısının en yüksek ve aynı olduğu düğümler ikinci önceliği paylaşırlar. Birinci önceliği paylaşan düğümler ÜAİ yönteminden çıkarılarak üçüncü iterasyona geçilir. Bu yüzden kalan ürünler ÜAİ yöntemi ile üçüncü iterasyona tabi tutulacaktır. Aynı işlemler devam ettirilerek bulunan üçüncü iterasyon sonuçları Tablo 3.5’ de verilmiştir.

Tablo 3.5. Üçüncü İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	4
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2

İskelet kaynatılmış	4	2	1	1	2
iskelet puntalanmış	5	4	2	1	3
İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	1	1	2
Ayaklar Kaynatılmış	7	4	1	1	2
İskelet üst parça puntalanmış	8	6	1	1	2
Ayaklar Puntalanmış	9	7	2	1	3
Alt profil 2 Bükülmüş	11	8	1	1	2
Ayak Profil bükümlü	13	9	0	1	1
ayak ara profil presli	14	9	0	1	1
Alt Profil 2 Presleme	16	11	0	1	1

ÜAİ yöntemi sürekli tekrarlanarak tabloda tek bir satır kalana kadar diğer iterasyonlar da yapılmalıdır. Ağacıda verilen Tablo 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 ve 3.11 geriye kalan iterasyon sonuçlarını vermektedir.

Tablo 3.6. Dördüncü İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	3
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2
İskelet kaynatılmış	4	2	1	1	2
iskelet puntalanmış	5	4	1	1	2
İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	1	1	2
Ayaklar Kaynatılmış	7	4	1	1	2
İskelet üst parça puntalanmış	8	6	1	1	2
Ayaklar Puntalanmış	9	7	0	1	1
Alt profil 2 Bükülmüş	11	8	0	1	1

Tablo 3.7. Beşinci İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	3
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2
İskelet kaynatılmış	4	2	1	1	2
iskelet puntalanmış	5	4	1	1	2

İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	1	1	2
Ayaklar Kaynatılmış	7	4	0	1	1
İskelet üst parça puntalanmış	8	6	0	1	1

Tablo 3.8. Altıncı İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	3
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2
İskelet kaynatılmış	4	2	1	1	2
iskelet puntalanmış	5	4	1	1	2
İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	0	1	1

Tablo 3.9. Yedinci İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	3
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2
İskelet kaynatılmış	4	2	1	1	2
iskelet puntalanmış	5	4	0	1	1

Tablo 3.10. Sekizinci İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	3
Boyalı İskelet	2	1	1	1	2
İskelet kaynatılmış	4	2	0	1	1

Tablo 3.11: Dokuzuncu İterasyon

Ürün Adı	Düğüm	Ana Düğüm	Kendisine Bağlı Olan Bir Alt Çizge Sayısı (X)	Kendisinin Bağlı Olduğu Bir Üst Çizge Sayısı (Y)	İş Öncelik Sırası
Bank	1	0	1	0	2
Boyalı İskelet	2	1	0	1	1

Tablo 3.11 de yapılan dokuzuncu iterasyon ile artık sadece tek ürünümüz kalmış olacaktır. Böylece ÜAİ yöntemiyle elde edilen iterasyon birincilerini aşağıdaki tablo 3.12 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.12. İterasyon Birincileri

İterasyon#1	Hammadde Eliminasyonu
İterasyon#2	18, 19, 20, 10, 4
İterasyon#3	13, 14, 16
İterasyon#4	9,11
İterasyon#5	8,7
İterasyon#6	2, 4, 6
İterasyon#7	5
İterasyon#8	4
İterasyon#9	2
İterasyon#10	1

Tablo 3.12 ile, yapılan 9 iterasyonun sonuçları ile birincileri belirlemiş olduk. Şimdi, ikinci iterasyondan başlayarak her iterasyon birincisini öncelik sırasına göre gruplama işlemi yapılacaktır. Bu gruplama işlemi aşağıdaki tablo 3.13 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.13. İterasyon Sonuçlarına Göre Önceliklerin Gruplandırılması

Öncelik No:	Ürün Adı:	Ürün Düğüm No:	Ana Düğüm No:	İş Akışı
1	Ayak Profil Kesim	18	13	18,13
1	Ayak Ara Profil Kesim	19	14	19,14
1	Ayak Profil 2 Kesim	20	16	20,16
1	Alt profil 1 Kesim	10	8	10,8
1	Ayak Sacı bükülmüş	12	9	12,9
2	Ayak Profil bükümlü	13	9	13,9
2	ayak ara profil presli	14	9	14,9
2	Alt Profil 2 Presleme	16	11	16,11
3	Ayaklar Puntalanmış	9	7	9,7
3	Alt profil 2 Bükülmüş	11	8	11,8
4	İskelet üst parça puntalanmış	8	6	8,6
4	Ayaklar Kaynatılmış	7	5	7,5
5	İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	6,5
6	iskelet puntalanmış	5	4	5,4

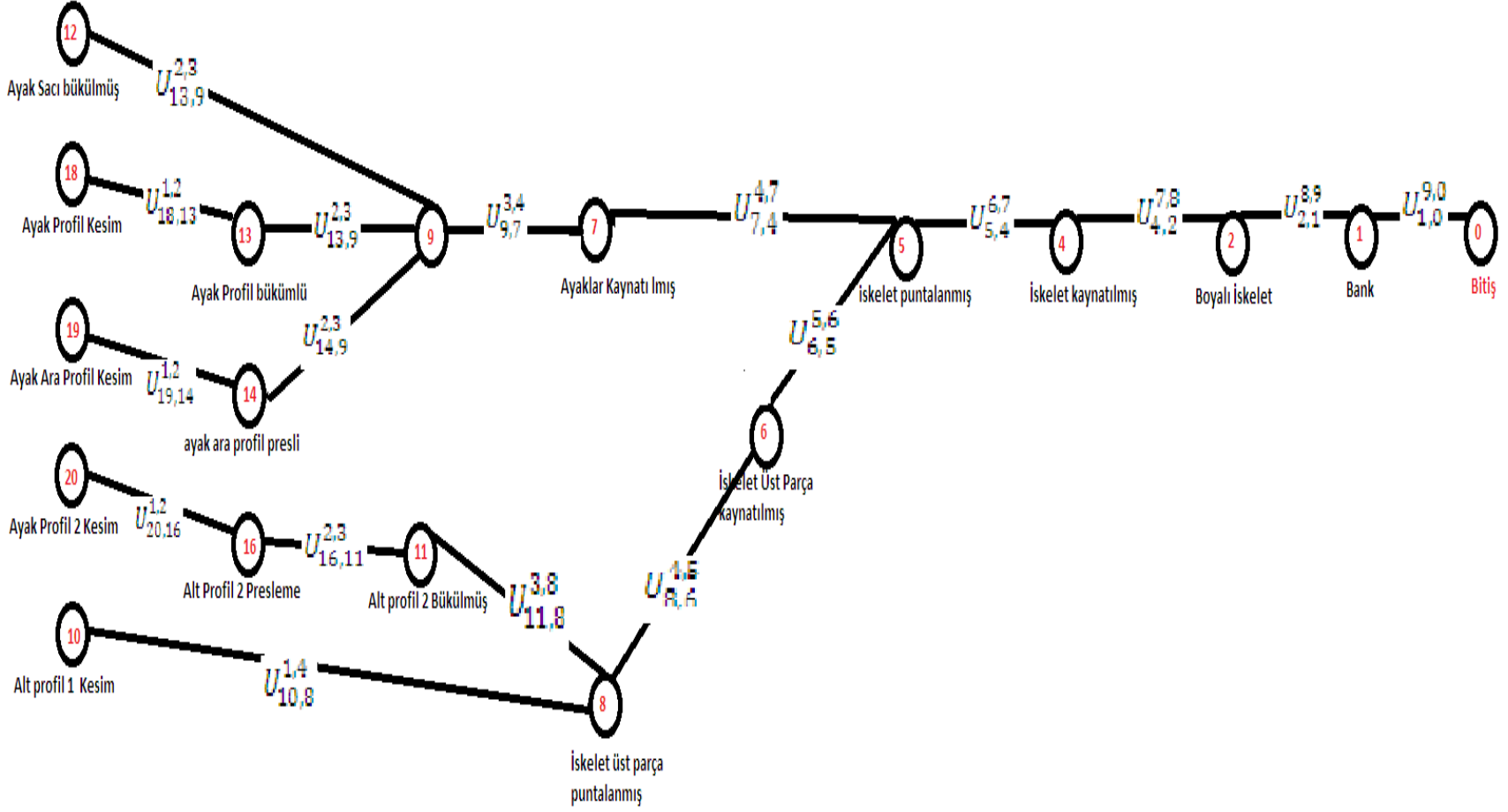
7	İskelet kaynatılmış	4	2	4,2
8	Boyalı İskelet	2	1	2,1
9	Bank	1	0	1,0

Tablo 3.13’ deki düğümlerin önceliklerine göre gruplanması sonrasında, üretim işlemlerinin notasyonlarla ifade edilebilmesi için formül 2.6 ve 2.7’den faydalanılacaktır. Notasyonlara göre sıralandırma işlemi aşağıdaki tablo 3.14’de verilmiştir.

Tablo 3.14. Bank Üretimi için Gerekli Notasyonlar

Öncelik No:	Ürün Adı:	Ürün Düğüm No:	Ana Düğüm No:	İş Akışı	Notasyon
1	Ayak Profil Kesim	18	13	18,13	$U_{18,13}^{1,2}$
1	Ayak Ara Profil Kesim	19	14	19,14	$U_{19,14}^{1,2}$
1	Ayak Profil 2 Kesim	20	16	20,16	$U_{20,16}^{1,2}$
1	Alt profil 1 Kesim	10	8	10,8	$U_{10,8}^{1,4}$
1	Ayak Sacı bükülmüş	12	9	12,9	$U_{12,9}^{1,3}$
2	Ayak Profil bükümlü	13	9	13,9	$U_{13,9}^{2,3}$
2	Ayak ara profil presli	14	9	14,9	$U_{14,9}^{2,3}$
2	Alt Profil 2 Presleme	16	11	16,11	$U_{16,11}^{2,3}$
3	Ayaklar Puntalanmış	9	7	9,7	$U_{9,7}^{3,4}$
3	Alt profil 2 Bükülmüş	11	8	11,8	$U_{11,8}^{3,4}$
4	İskelet üst parça Puntalanmış	8	6	8,6	$U_{8,6}^{4,5}$
4	Ayaklar Kaynatılmış	7	4	7,4	$U_{7,4}^{4,7}$
5	İskelet Üst Parça kaynatılmış	6	5	6,5	$U_{6,5}^{5,6}$
6	İskelet Puntalanmış	5	4	5,4	$U_{5,4}^{6,7}$
7	İskelet kaynatılmış	4	2	4,2	$U_{4,2}^{7,8}$
8	Boyalı İskelet	2	1	2,1	$U_{2,1}^{8,9}$
9	Bank	1	0	1,0	$U_{1,0}^{9,0}$

Tablo 3.14’de yer alan notasyonlar bank üretimi için yapılacak işlemleri ifade etmektedir. Her notasyon iki düğüm arasındaki yapılacak işi simgelemektedir. Söyle ki, $U_{18,13}^{1,2}$ notasyonu, ayak profil kesim işleminin 18. Düğüme olduğu ve bu işlemin yapılarak 13. düğüme ayak profil büküm işleminde kullanılacağını belirtmektedir. $U_{18,13}^{1,2}$ notasyonu ayrıca başlangıç düğümündeki işin 1. önceliğe sahip olduğunu ve kendisi tamamlandıktan sonraki işin ise 2. önceliğe sahip olduğunu ifade etmektedir. Notasyonlardaki öncelik sayıları aynı bölüm içerisindeki işlerin sıralanması sırasında, aynı başlangıç önceliğini taşıyan işlerin, kendilerinden sonra ki başlayacak iş önceliğine de bakarak hangi işin daha önce başlaması gerektiğini ortaya koymaktadır. Düğümler arasındaki ilişkiler Şekil 3.2’ de verilmiştir.



Şekil 3.2. Bank Üretimi İş Akışı ve Notasyonlar

Şekil 3.2 ile genel üretim iş akışı oraya çıkmış ve daha önce bulunan işlem öncelikleri ile üretim çizelgeleme işlemine başlamadan önce zaman tahminleri ile üret veya fason kararlarının belirlenmesi gerekmektedir.

3.1.4. Ürün Zaman Tahminleri ile Üret veya Fason Kararları

Yapılacak işlere ait zaman tahminleri için daha önce benzer işlerde tecrübesi olan kalifiyeli üretim personelinin bilgilerine başvurulacaktır. Yapılacak işler sonucu üretilen mamullere ait zaman tahminleri için önce MİP ihtiyacımız bulunmaktadır. İfade 2.15' in tüm ürünler için hesaplanması gerekmektedir. Ardından alınan zaman tahminlerinin ortalaması bize bir birim için ortalama toplam üretim zamanını verecektir. Bu ortalama toplam üretim zamanları, fason üretim zamanları ile mukayese de edilerek üret veya fason kararlarına yardımcı olacaktır. Tablo 3.15 üretim miktarlarını ve uzman tahminlerini içermektedir. İfade 2.15' in tüm ürünler için bulunması için, kısım 2.4' deki MİP algoritması, bank ürünü için başlayarak ÜA' daki en alttaki ürün dâhil hesaplanmalıdır.

Tablo 3.15. Uzman Zaman Tahminleri ve Üretim Miktarları

Notasyon	Toplam Miktar	İşin Yapılacağı Bölüm Adı:	İşin Yapılacağı Bölüm No:	Gerekli Personel Sayısı	1. Uzman Tahmin	2. Uzman Tahmin	3. Uzman Tahmin	4. Uzman Tahmin	5. Uzman Tahmin
$U_{18,13}^{1,2}$	2000	Testere Kesim	1	1	0,5	0,55	0,56	0,45	0,47
$U_{19,14}^{1,2}$	2000	Testere Kesim	1	1	0,6	0,7	0,4	0,6	0,65
$U_{20,16}^{1,2}$	4000	Testere Kesim	1	1	0,2	0,25	0,22	0,25	0,30
$U_{10,8}^{1,4}$	1000	Testere Kesim	1	1	0,6	0,7	0,4	0,6	0,65
$U_{12,9}^{1,3}$	4000	Press	2	1	0,2	0,25	0,22	0,25	0,30
$U_{13,9}^{2,3}$	2000	Büküm	3	1	1	0,85	0,9	1,1	1
$U_{14,9}^{2,3}$	2000	Press	2	1	0,2	0,25	0,22	0,25	0,30
$U_{16,11}^{2,3}$	4000	Press	2	1	1	0,85	0,9	1,1	1
$U_{9,7}^{3,4}$	2000	Kaynakhane1	4	1	1,5	1,6	1,7	1,7	1,5
$U_{11,8}^{3,8}$	4000	Büküm	3	1	1,1	0,95	0,9	1,1	1
$U_{8,6}^{4,5}$	1000	Kaynakhane2	5	1	2,2	2,3	2,6	2,5	2,7

$U_{7,5}^{4,7}$	2000	Kaynakthane3	6	1	2,5	2,3	2,6	2,8	2,7
$U_{6,5}^{5,6}$	1000	Kaynakthane4	7	1	2,3	2,5	2,6	2,7	2,8
$U_{5,4}^{6,7}$	1000	Kaynakthane5	8	1	2	2,1	2,2	2	2
$U_{4,2}^{7,8}$	1000	Kaynakthane6	9	1	2,2	2,7	2,5	2,8	3
$U_{2,1}^{8,9}$	1000	Boyahane	10	2	6	7	6,3	6,7	6
$U_{1,0}^{9,0}$	1000	Montaj	11	3	7	7,2	8	7,5	8

Tablo 3.15 ile elde edilen verilerin tekrar derlenmesi ile üretim içerisindeki işlemlerin ortalama beklenen zamanlarını da hesaplamamız ve sonrasında fason üreticilerden gelen zaman tahminlerini de mukayese etmemiz gerekmektedir. Tablo 3.16 ile üretim içerisindeki ortalama tahmin zamanları, fason tahmin zamanları ve üretmenin ve fasonun zamanında üretme ve üretememe maliyetleri verilmiştir. Tablo 3.16’ daki ortalama bir birim üretim zamanı (t_u), Tablo 3.15’deki uzman tahminlerinin dakika olarak ortalamasıdır. Ortalama bir birim fason üretim zamanı (t_f) fason üreticilerin öngörülerinden oluşan üretim zamanlarının ortalamasıdır. Maliyet hesaplamasında kullanılan M_i , değeri ifade 2.15’in tüm ürünler için hesaplanması sonucu bulunan değerdir. Dakikalık normal üretim birim maliyeti olan X_u değeri 0.14 TL ve dakikalık geç üretim birim maliyeti olan Y_u değeri 0.28 TL olarak hesaba alınmıştır. Dakikalık normal fason birim maliyeti olan X_f değeri 0.20 TL ve dakikalık geç üretim birim maliyeti olan Y_f değeri 0.40 TL olarak hesaba alınmıştır.

Tablo 3.16.Üretme ve Fason Zaman Tahminleri ve Zamanında Üretme ve Üretememe Maliyetleri

Notasyon	Ortalama Bir Birim Üretim Zamanı (Dakika)	Ortalama Bir Birim Fason Üretim Zamanı (Dakika)	$M_i * t_u * X_u$ (TL)	$M_i * t_f * X_f$ (TL)	$M_i * t_u * Y_u$ (TL)	$M_i * t_u * Y_f$ (TL)
$U_{18,13}^{1,2}$	0.506	0.9	141.68	360	283.36	720
$U_{19,14}^{1,2}$	0.59	0.62	165.2	248	330.4	496
$U_{20,16}^{1,2}$	0.244	0.25	136.64	200	273.28	400

$U_{10,8}^{1,4}$	0.59	0.62	82.6	124	165.2	248
$U_{12,9}^{1,3}$	0.244	0.22	136.64	176	273.28	352
$U_{13,9}^{2,3}$	0.97	1.1	271.6	440	543.2	880
$U_{14,9}^{2,3}$	0.244	0.2	68.32	80	136.64	160
$U_{16,11}^{2,3}$	0.97	1.2	543.2	960	1086.4	1920
$U_{9,7}^{3,4}$	1.6	1.5	448	600	896	1200
$U_{11,8}^{3,8}$	1.01	1.1	565.6	880	1131.2	1760
$U_{8,6}^{4,5}$	2.46	2.2	344.4	440	688.8	880
$U_{7,5}^{4,7}$	2.58	2.5	722.4	1000	1444.8	2000
$U_{6,5}^{5,6}$	2.58	2.3	361.2	460	722.4	920
$U_{5,4}^{6,7}$	2.06	2	288.4	400	576.8	800
$U_{4,2}^{7,8}$	2.64	2.2	369.6	440	739.2	880
$U_{2,1}^{8,9}$	6.4	3	1792	1200	3584	2400
$U_{1,0}^{9,0}$	7.54	8.5	3166.8	5100	6333.6	10200

Zamanında üretme ve üretememe maliyetlerinin fason ve üretim için ayrı ayrı hesaplanması tablo 3.16’da verilmiştir. Şimdi yukarıdaki maliyetlerimizle çarpıp beklenen değer hesabı yapabilmek için gerekli olan soncul olasılıklarımızı hesaplayabilmemiz için öncül olasılıklarımızı ve ek bilgi ile gelen olasılıkları bilmemiz gereklidir. İfade 2.18’ den 2.31’ e kadar olan tüm eşitlikler ve tanımlar kullanılarak BT’ ye göre soncul olasılık hesaplarımız Tablo 3.17’ de verilmiştir.

Tablo 3.17. Soncul Olasılıkların Hesabı

Notasyon	P(A)	P(B)	P(u A)	P(f A)	P(u B)	P(f B)	P(A u)	P(B u)	P(A f)	P(B f)
$U_{18,13}^{1,2}$	0.4	0.6	0.2	0.8	0.9	0.1	0.129032	0.870968	0.842105	0.157895
$U_{19,14}^{1,2}$	0.5	0.5	0.7	0.3	0.8	0.2	0.466667	0.533333	0.6	0.4
$U_{20,16}^{1,2}$	0.5	0.5	0.7	0.3	0.8	0.2	0.466667	0.533333	0.6	0.4

$U_{10,8}^{1,4}$	0.5	0.5	0.7	0.3	0.8	0.2	0.466667	0.533333	0.6	0.4
$U_{12,9}^{1,3}$	0.6	0.4	0.2	0.8	0.8	0.2	0.272727	0.727273	0.857143	0.142857
$U_{13,9}^{2,3}$	0.5	0.5	0.7	0.3	0.8	0.2	0.466667	0.533333	0.6	0.4
$U_{14,9}^{2,3}$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.2	0.384615	0.615385	0.714286	0.285714
$U_{16,11}^{2,3}$	0.5	0.5	0.7	0.3	0.8	0.2	0.466667	0.533333	0.6	0.4
$U_{9,7}^{3,4}$	0.4	0.6	0.7	0.3	0.8	0.2	0.368421	0.631579	0.5	0.5
$U_{11,8}^{3,8}$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.454545	0.545455	0.555556	0.444444
$U_{8,6}^{4,5}$	0.5	0.5	0.4	0.6	0.8	0.2	0.333333	0.666667	0.75	0.25
$U_{7,5}^{4,7}$	0.5	0.5	0.7	0.3	0.7	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5
$U_{6,5}^{5,6}$	0.4	0.6	0.4	0.6	0.78	0.22	0.254777	0.745223	0.645161	0.354839
$U_{5,4}^{6,7}$	0.2	0.8	0.7	0.3	0.8	0.2	0.179487	0.820513	0.272727	0.727273
$U_{4,2}^{7,8}$	0.3	0.7	0.5	0.5	0.8	0.2	0.211268	0.788732	0.517241	0.482759
$U_{2,1}^{8,9}$	0.6	0.4	0.2	0.8	0.9	0.1	0.25	0.75	0.923077	0.076923
$U_{1,0}^{9,0}$	0.5	0.5	0.7	0.3	0.8	0.2	0.466667	0.533333	0.6	0.4

Tablo 3.17 ile elde edilen soncul olasılıkların kararlarımızı verdikten sonra bizlere getireceği beklenen maliyet değerlerini belirlememiz ile fason kararı alıp almamız konusunda bizlere yardımcı olacaktır. Aşağıdaki tablo 3.18 deki işlemler, üretme kararının beklenen getirisi ve fason kararının beklenen getirisini vermektedir. Bu değerler ifade 2.33 ve 2.35'ün her ürün için ayrı ayrı hesaplanması ile bulunmuştur. Kararların mukayese edilmesi yani üretici için daha az maliyetli kararın seçimi tablo 3.18 de verilmiştir.

Tablo 3.18. Üret veya Fason Kararları

Notasyon	M_u	M_f	Karar Seçimi
$U_{18,13}^{1,2}$	265.0787	416.8421	Üret
$U_{19,14}^{1,2}$	253.3067	347.2	Üret
$U_{20,16}^{1,2}$	209.5147	280	Üret
$U_{10,8}^{1,4}$	126.6533	173.6	Üret

$U_{12,9}^{1,3}$	236.0145	201.1429	Fason
$U_{13,9}^{2,3}$	416.4533	616	Üret
$U_{14,9}^{2,3}$	110.3631	102.8571	Fason
$U_{16,11}^{2,3}$	832.9067	1344	Üret
$U_{9,7}^{3,4}$	730.9474	900	Üret
$U_{11,8}^{3,8}$	874.1091	1271.111	Üret
$U_{8,6}^{4,5}$	574	550	Fason
$U_{7,5}^{4,7}$	1083.6	1500	Üret
$U_{6,5}^{5,6}$	630.3745	623.2258	Fason
$U_{5,4}^{6,7}$	525.0359	690.9091	Üret
$U_{4,2}^{7,8}$	661.1155	652.4138	Fason
$U_{2,1}^{8,9}$	3136	1292.308	Fason
$U_{1,0}^{9,0}$	4855.76	7140	Üret

Şimdiye kadar ki hesaplarımız ile üretmek ve fasona gönderme ile oluşan beklenen değerleri mukayesede ederek kararlarımızı belirledik. Böylece tüm işlemler için üretim veya fason kararları belirlendi. İşlemin üretimde mi yoksa fasonda mı olacağına dair bilgimiz ile tahmini işlem süresi olarak fason değerini mi yoksa üretim değerini mi kullanacağımız belirlendi. ÜAİ yöntemiyle elde edilen iş dökümündeki işlerin bazıları fasonda bazıları ise üretimde yapılacaktır. Bu işler için özet bir tabloda değerler ve bilgiler tablo 3.19' da gösterilmiştir.

Tablo 3.19. Bank Üretim İşi Özet Tablo

Notasyon	Ürün Adı	Toplam Miktar	İşin Yapılacağı Bölüm Adı:	İşin Yapılacağı Bölüm No:	Karar Seçimi	Birim Zaman
$U_{18,13}^{1,2}$	Ayak Profil Kesim	2000	Testere Kesim	1	Üret	0.506
$U_{19,14}^{1,2}$	Ayak Ara Profil Kesim	2000	Testere Kesim	1	Üret	0.59

$U_{20,16}^{1,2}$	Alt Profil 2 Kesim	4000	Testere Kesim	1	Üret	0.244
$U_{10,8}^{1,4}$	Alt profil 1 Kesim	1000	Testere Kesim	1	Üret	0.59
$U_{12,9}^{1,3}$	Ayak Sacı bükülmüş	4000	Press	2	Fason	0.22
$U_{13,9}^{2,3}$	Ayak Profil bükümlü	2000	Büküm	3	Üret	0.97
$U_{14,9}^{2,3}$	ayak ara profil presli	2000	Press	2	Fason	0.2
$U_{16,11}^{2,3}$	Alt Profil 2 Presleme	4000	Press	2	Üret	0.97
$U_{9,7}^{3,4}$	Ayaklar Puntalanmış	2000	Kaynakhane1	4	Üret	1.6
$U_{11,8}^{3,8}$	Alt profil 2 Bükülmüş	4000	Büküm	3	Üret	1.01
$U_{8,6}^{4,5}$	İskelet üst parça puntalanmış	1000	Kaynakhane2	5	Fason	2.2
$U_{7,5}^{4,7}$	Ayaklar Kaynatılmış	2000	Kaynakhane3	6	Üret	2.58
$U_{6,5}^{5,6}$	İskelet Üst Parça kaynatılmış	1000	Kaynakhane4	7	Fason	2.3
$U_{5,4}^{6,7}$	iskelet puntalanmış	1000	Kaynakhane5	8	Üret	2.06
$U_{4,2}^{7,8}$	İskelet kaynatılmış	1000	Kaynakhane6	9	Fason	2.2
$U_{2,1}^{8,9}$	Boyalı İskelet	1000	Boyahane	10	Fason	3
$U_{1,0}^{9,0}$	Bank	1000	Montaj	11	Üret	7.54

Tablo 3.19 ile üretim için genel hatlar belli oldu, artık üretimde birbirini takip eden işlemlerin sıralanması işlemi gereklidir. Bu sebeple işlemlerin sıralanmasında kendisinden önce başlayan işin başlamış olması ve bu işte istenilen yüzde ilerleme tamamlanması koşulu ile diğer işi başlatmamız gereklidir. Üretimdeki işlerin sıralanması işleminde işlere ait öncelik değerleri ve kendilerinden sonra gelen işleri öncelik değerlerine bakılarak, siparişin üretiminde işin tamamlanmasına yönelik en öncelikli yolların belirlenmesi ile kısa zamanda üretim amaçlanmaktadır.

3.1.5. İş Dökümünün İş Çizelgesine Dönüştürülmesi ve İş Sıralaması

Çizelgeleme işlemine öncelik numarası 1 olan işlemlerden başlanacak ve notasyonlarında belirtilen kendinden sonra başlayacak işe uygun şekilde diğer üretim işlemlerinin sıralanması yapılacaktır. Fakat bazen öncelik numarasının aynı olduğu

birden fazla işlemin aynı bölümde tek makine ile üretilmesi gerekmektedir. Problemimiz için hangi işlemin hangi bölümde yapılacağı Tablo 3.20 ile verilmiştir.

Tablo 3.20. Yapılacak İşlemlerin Bölümlere Göre Sınıflandırılması

İşin Yapılacağı Bölüm Adı:	İşin Yapılacağı Bölüm No:	Notasyon	Ürün Adı	Karar Seçimi
Testere Kesim	1	$U_{18,13}^{1,2}$	Ayak Profil Kesim	Üret
		$U_{19,14}^{1,2}$	Ayak Ara Profil Kesim	Üret
		$U_{20,16}^{1,2}$	Alt Profil 2 Kesim	Üret
		$U_{10,8}^{1,4}$	Alt profil 1 Kesim	Üret
Press	2	$U_{12,9}^{1,3}$	Ayak Sacı bükülmüş	Fason
		$U_{14,9}^{2,3}$	ayak ara profil presli	Fason
		$U_{16,11}^{2,3}$	Alt Profil 2 Presleme	Üret
Büküm	3	$U_{13,9}^{2,3}$	Ayak Profil bükümlü	Üret
		$U_{11,8}^{3,8}$	Alt profil 2 Bükülmüş	Üret
Kaynakthane1	4	$U_{9,7}^{3,4}$	Ayaklar Puntalanmış	Üret
Kaynakthane2	5	$U_{8,6}^{4,5}$	İskelet üst parça puntalanmış	Fason
Kaynakthane3	6	$U_{7,5}^{4,7}$	Ayaklar Kaynatılmış	Üret
Kaynakthane4	7	$U_{6,5}^{5,6}$	İskelet Üst Parça kaynatılmış	Fason
Kaynakthane5	8	$U_{5,4}^{6,7}$	iskelet puntalanmış	Üret
Kaynakthane6	9	$U_{4,2}^{7,8}$	İskelet kaynatılmış	Fason
Boyahane	10	$U_{2,1}^{8,9}$	Boyalı İskelet	Fason
Montaj	11	$U_{1,0}^{9,0}$	Bank	Üret

Tablo 3.20 ‘ de açıkça görüldüğü üzere bazı üretim bölümlerinde birden fazla işlemin yapılması gerekmektedir. Bu durumlarda hangi işe önce başlanacağını belirlenmesi gerekmektedir. ÜAİ yöntemi ile elde edilen işlem notasyonları burada işe yaramaktadır.

Şöyle ki, testere kesim bölümünde üretim önceliği 1 olan 4 tane iş vardır ve bu işlerden 3 tanesinin kendinden sonra başlayacak işleri için öncelik numarası 2’ dir. Aynı bölümde, aynı zaman diliminde yapılabilir olan bu işler için yapılan sıralama, üretim kaynaklarını en verimli şekilde kullanmayı ve en öncelikli iş sırasını vermeyi amaçlamalıdır.

Aynı bölümde yapılmayı bekleyen işler için sıralamanın nasıl yapılacağına dair ilk öncelikle bakılacak gösterge, notasyonun kendi öncelik değeri olan “ni” değeridir. “ni” değeri en düşük olan başka herhangi bir göstergeye bakılmaksızın birinci önceliği alacaktır. Geri kalan notasyonlar “ni” değeri en yüksek olan en son öncelik numarasını alacak şekilde sıralanacaktır. Aynı ”ni” değerine sahip notasyonlar için “nj” değerleri karşılaştırılacak ve “nj” değeri küçük olan iş önce yapılacaktır. Aynı “nj” değerlerinin sıralanmasında ise kendinden sonra gelen ve iş bitimine kadar tek bir hat üzerinde takip ettiği düğüm sayılarına bakılacaktır. Eş sayıda düğüm sayısına sahip “nj” değerleri için bu seferde, kendisinin bağlı olduğu düğümden başlayarak birbirlerine direkt bağlı olan ve son ürüne kadar giden, son ürün dahil düğüm sayısına bakılacaktır.

Testere kesim bölümünde yapılması gereken 4 tane işlem vardır, aşağıdaki tablo 3.21 ile bölüm içerisindeki işlerin sıralaması verilmiştir.

Tablo 3.21. Testere Kesim Bölümü İçerisinde İş Sıralaması

Notasyon $U_{ij}^{n_i n_j}$	ni	nj	Kendinden sonra gelen düğüm sayısı	Kendisi ile beraber izlediği öncelik sırası	Kendisi ile beraber bağlandıkları en yakın düğüme kadar taşıdıkları zaman yükü	Sıra
$U_{18,13}^{1,2}$	1	2	7	1,2,3,4,6,7,8,9	11524.9	3
$U_{19,14}^{1,2}$	1	2	7	1,2,3,4,6,7,8,9	10034.8	2
$U_{20,16}^{1,2}$	1	2	8	1,2,3,4,5,6,7,8,9	13483	1
$U_{10,8}^{1,4}$	1	4	6	1,4,5,6,7,8,9	5095.5	4

Tablo 3.21’de aynı “ni” değerine sahip dört notasyon için 4 tane öncelik değeri belirlememiz gerekmektedir. “nj” değerleri 2 olan ilk üç düğümün son düğümden daha öncelikli olması gerekmektedir. Bu şekilde üretime alınacak olan son düğümün $U_{10,8}^{1,4}$

olduğu bulundu. “nj” değeri iki olan üç düğümün kendinin üzerinde gelen düğümlerin sayısına bakıldığında en fazla düğüm sayısına sahip olan $U_{20,16}^{1,2}$ düğümün ilk üç düğüm arasında ilk öncelik sırasını alacağı kararlaştırılır. Geriye kalan son iki düğümden kendisi ile beraber izlediği öncelik sıraları incelendiğinde birbirlerine bir üstünlük sağlayamadıkları görülmektedir. Son olarak kendileri ile beraber bağlandıkları en yakın düğüme kadar taşıdıkları zaman yükü en az olan düğüm $U_{19,14}^{1,2}$ ikinci öncelik değeri atanır. Geriye kalan son düğüm $U_{18,13}^{1,2}$ ise son öncelik değeri atanır.

Press bölümü içerisindeki yapılacak işlemlerden fasona gidecek olan ürünler bölüm içi üretim sıralamasına dâhil edilmeyecek, bu yüzden $U_{16,11}^{2,3}$ bölümde üretilecek olan tek üründür. Tablo 3.22 ile press bölümü içerisindeki işlemlerin sıralaması verilmiştir.

Tablo 3.22. Press Bölümü İçerisinde İş Sıralaması

Notasyon $U_{i,j}^{n_i n_j}$	n_i	n_j	Kendinden sonra gelen düğüm sayısı	Kendisi ile beraber izlediği öncelik sırası	Kendisi ile beraber bağlandıkları en yakın düğüme kadar taşıdıkları zaman yükü	Sıra
$U_{16,11}^{2,3}$ (Üretim)	2	3	6	2,3,4,6,7,8,9	-	1
$U_{14,9}^{2,3}$ (Fason)						
$U_{12,9}^{1,3}$ (Fason)						

Profil büküm işleminin yapıldığı büküm bölümünde yapılmayı beklenen iki tane iş vardır bu işlerin sıralamasında, işlerin öncelik numaralarına baktığımızda öncelik numarası 2 olan $U_{13,9}^{2,3}$ işlemi birinci sırayı, öncelik numarası 3 olan $U_{11,8}^{3,8}$ işi de ikinci sırayı almaktadır. Tablo 3.23 ile büküm bölümü içerisindeki işlemlerin sıralaması verilmiştir.

Tablo 3.23. Büküm Bölümü İçerisinde İş Sıralaması

Notasyon $U_{ij}^{n_i n_j}$	n_i	n_j	Kendinden sonra gelen düğüm sayısı	Kendisi ile beraber izlediği öncelik sırası	Kendisi ile beraber bağlandıkları en yakın düğüme kadar taşıdıkları zaman yükü	Sıra
$U_{13,9}^{2,3}$	2	3	6	2,3,4,6,7,8,9	10402.4	1
$U_{11,8}^{3,8}$	3	8	6	3,4,5,6,7,8,9	8580.4	2

Testere kesim, pres ve büküm haricinde geriye kalan bölümler içinde sadece tek iş olduğu için bölüm içi iş sıralaması yapmaya gerek yoktur. Elde edilen tüm bu bilgiler ışığında, artık üretim planını ortaya çıkartmaya başlayabiliriz. Hesaplamaların daha kolay yapılabilmesi için düğümler arasındaki bağlantıların matris haline getirilmesi gerekir. Şekil 3.2' deki iş akışı ile bir düğümün kendinden sonra başka bir düğüme bağlı olup olmadığı Tablo 3.24'deki matriste verilmiştir. Tablo 3.24'de bir düğüm kendisi haricinde bir düğüme ileri yönde bağlı ise o düğümlerin kesişimi 1 değerini alır eğer bağlı değilse 0 değerini alır.

Tablo 3.24. Düğümler Arası İleri Yönlü Bağlantı Matrisi

		İlerideki Düğümler																	
Gerideki Düğümler		1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	19	20	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	

Düğümler arasındaki ilişkinin Tablo 3.24'deki gibi matris olarak ortaya çıkması bize ihtiyacımız olan notasyonlara ait toplam zamanları vermesinde yardımcı olacaktır. Şöyle ki düğüm 2'den düğüm 1'e olan ileri yönlü bağlantı bir ile ifade edilmiştir, bu bize şunu söylemektedir $U_{2,1}^{n_i n_j}$ notasyonu mevcuttur. İşlemlere ait birim zamanların toplam miktarlarla çarpımını yine matris olarak göstermek istersek Tablo 3.25 bize yardımcı olacaktır.

Tablo 3.25. Notasyonların Toplam Çalışma Zaman Hesap Matrisi (Tezgah Kurulum Süreleri Hariç)

İlerideki Düğümler																		
	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	19	20	
Gerideki düğümler	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	2200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	0	0	2060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	0	2300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	0	0	0	5160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8	0	0	0	0	2200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9	0	0	0	0	0	3200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10	0	0	0	0	0	0	590	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	11	0	0	0	0	0	0	4040	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12	0	0	0	0	0	0	0	880	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13	0	0	0	0	0	0	0	1940	0	0	0	0	0	0	0	0	
	14	0	0	0	0	0	0	0	400	0	0	0	0	0	0	0	0	
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3880	0	0	0	0	0	0	
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1012	0	0	0	0	
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1180	0	0	0	
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	976	0	0	

Tablo 3.25' deki değerler ifade 2.15' deki M_i değeri ve ifade 2.37' deki $\hat{I}_{i,j}^{n_i n_j}$ değerlerinin çarpımlarını vermektedir. Bu değerlere tezgah kurulum sürelerinin de eklenmesi ile önceliği 1 olan üretim işlerinin başladıktan sonra istenilen $Y_{i,j}^{n_i n_j}$ yüzde ilerlemeleri ile kendilerinden sonra gelecek işlerin başlatılması, yani kendilerinden sonra gelen işin optimum en geç başlama zamanları TE_i ortaya çıkarılacaktır. Tezgâh kurulum süreleri fasona gönderilen işler için sıfır olarak alınmıştır. Üretimde yapılan işler için tezgâh kurulum süreleri ise toplam çalışma zamanının yüzde biri kadar hesap edilmiştir. Aşağıdaki tablo 3.26'da notasyonlara ait optimum en geç başlama zamanları

ifade 2.28'den yararlanarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda tüm işlemler için $Y_{i,j}^{n_i n_j} = 0.20$ olarak alınmıştır. Yani kendinden sonraki işin başlayabilmesi için şu anda üretimde yapılan işin % 20'sinin bitmiş olması gerekmektedir.

Tablo 3.26. Optimum En Geç Başlama Zamanları Matrisi

	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	19	20	TE_i
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	985.76	985.76
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1191.8	0	2177.56
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204.96	197.152
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	247.8	0	1233.56
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212.5	0	0	2390.08
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1959.4	0	814.8	0	0	0	4349.48
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1022	0	0	3199.68
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176	407.4	132	0	0	0	0	2797.48
8	0	0	0	0	0	0	0	0	595.9	848.4	0	0	0	0	0	0	0	4349.48
7	0	0	0	0	0	0	0	672	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3469.48
6	0	0	0	0	0	0	440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4789.48
5	0	0	0	0	460	1083.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5873.08
4	0	0	0	432.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6305.68
2	0	0	440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6745.68
1	0	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7745.68

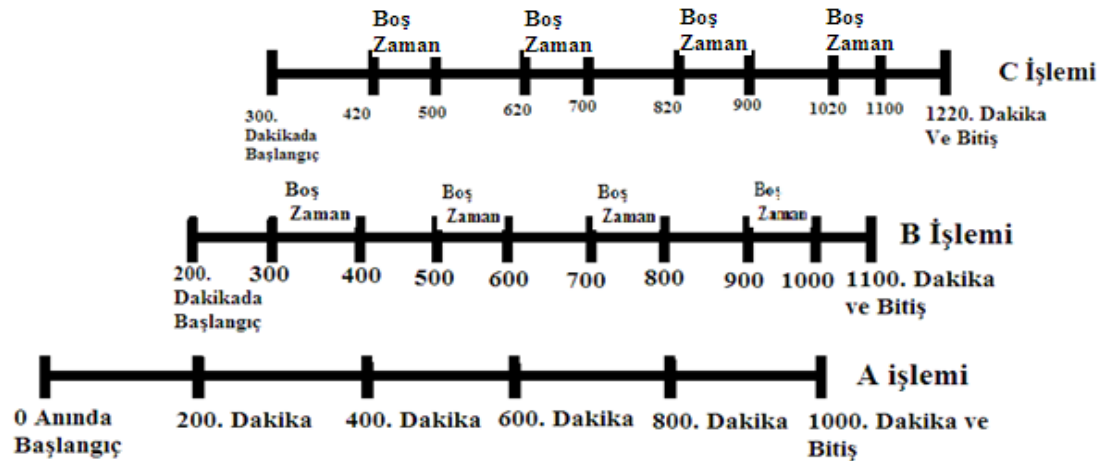
Tablo 3.26' da $TE_{20} = 0$ eşitliği bizlere $U_{20,16}^{1,2}$ işleminin en geç sıfır dakikasında başlayabilir olduğunu söylemektedir. $U_{9,7}^{3,4}$ işine ait en geç başlama zamanı olarak da $TE_9 = 2797.48$ ifadesi de bize, $U_{9,7}^{3,4}$ işinden önce başlayan işlerden $U_{12,9}^{1,3}$, $U_{13,9}^{2,3}$ ve $U_{14,9}^{2,3}$ işlemlerinden başladıktan sonra $Y_{i,j}^{n_i n_j} = 0.20$ olarak toplam işin yüzde 20' sini bitiren işlem $U_{13,9}^{2,3}$ ' dir. Böylece $U_{13,9}^{2,3}$ işlemimin optimum en geç başlama değeri olan $TE_{13} = 2390.08$ değerinin üstüne $U_{13,9}^{2,3}$ işleminin tezgah kurulum süresi ve $U_{13,9}^{2,3}$ işleminin toplam zamanının yüzde 20'si kadar olan zamanı eklendiğinde $U_{9,7}^{3,4}$ işlemi en geç 2797.48 dakikasında başlamış olmalıdır. İşlemlere ait optimum en geç başlama zamanları ortaya çıkarıldıktan sonra, geriye bu işlemlerin ne zaman biteceklerinin hesap edilmesi işlemi kalmaktadır. Aşağıdaki tablo 3.27 ile optimum en geç bitiş zamanları olan TB_i değerlerinin hesaplanması verilmektedir.

Tablo 3.27. Optimum En Geç Bitiş Zamanı Hesabı

Notasyon	TE_i	$M_i * I_{i,j}^{n_{ij}}$	$T_{i,j}^{n_{ij}} + (M_i * I_{i,j}^{n_{ij}})$	$TE_i + T_{i,j}^{n_{ij}} + (M_i * I_{i,j}^{n_{ij}})$	Kendinden Önce Başlayan Düşümlerden En geç Biten	Max TB_{i-1}	TB_i
$U_{20,16}^{1,2}$	0	976	985.76	985.76	-	0	985.76
$U_{19,14}^{1,2}$	985.76	1180	1191.8	2177.56	$U_{20,16}^{1,2}$	985.76	2177.56
$U_{18,13}^{1,2}$	2177.56	1012	1022.12	3199.68	$U_{19,14}^{1,2}$	2177.56	3199.68
$U_{16,11}^{2,3}$	197.152	3880	3918.8	4115.952	$U_{20,16}^{1,2}$	985.76	4115.952
$U_{14,9}^{2,3}$	1233.56	400	400	1633.56	$U_{19,14}^{1,2}$	2177.56	2257.56
$U_{13,9}^{2,3}$	2390.08	1940	1959.4	4349.48	$U_{18,13}^{1,2}$	3199.68	4349.48
$U_{12,9}^{1,3}$	0	880	880	880	-	0	880
$U_{11,8}^{3,8}$	4349.48	4040	4080.4	8429.88	$U_{13,9}^{2,3}$	4349.48	8429.88
$U_{10,8}^{1,4}$	3199.68	590	595.9	3795.58	$U_{18,13}^{1,2}$	3199.68	3795.58
$U_{9,7}^{3,4}$	2797.48	3200	3232	6029.48	$U_{13,9}^{2,3}$	4349.48	6029.48
$U_{8,6}^{4,5}$	4349.48	2200	2200	6549.48	$U_{11,8}^{3,8}$	8429.88	8869.88
$U_{7,5}^{4,7}$	3469.48	5160	5211.6	8681.08	$U_{9,7}^{3,4}$	6029.48	8681.08
$U_{6,5}^{5,6}$	4789.48	2300	2300	7089.48	$U_{8,6}^{4,5}$	6248.08	7089.48
$U_{5,4}^{6,7}$	5873.08	2060	2080.6	7953.68	$U_{7,5}^{4,7}$	8681.08	9093.08
$U_{4,2}^{7,8}$	6305.68	2200	2200	8505.68	$U_{5,4}^{6,7}$	9093.08	9533.08
$U_{2,1}^{8,9}$	6745.68	5000	5000	11745.68	$U_{4,2}^{7,8}$	9533.08	11745.68
$U_{1,0}^{9,0}$	7745.68	7540	7615.4	15361.08	$U_{2,1}^{8,9}$	11444.28	15361.08

Tablo 3.27 ile üretim işlemlerine ait optimum en geç bitiş zamanı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar esnasında bitmesi gereken en kısa sürede işin bitebilmesi için kendisinden önce başlayan işin bitmesi ve üretilen yarı mamullerin hepsinin şu anda üretimin gerçekleştiği bölüme iletilmiş olması gerekmektedir. $U_{9,7}^{3,4}$ işlemine ait optimum en geç bitiş değeri $TB_9 = 6029.48$ olarak bulunmuştur. Bu işleme ait TE_9 değerinin daha önce nasıl bulunduğu tablo 3.26’ da anlatılmıştır. TB_9 değerinin boş zaman içermemesi için kendisinden önce başlayan işlemlerin tezgah kurulumları yapıldıktan sonra $U_{9,7}^{3,4}$ işlemine iş yaptırabilmek için yüzde ilerlemelerinin aksamadan devam etmesi gerekmektedir. Bir işin kendisinden sonra başlayan işi aksatmaması için şimdiye kadar üretmiş olduklarını diğer üretim birimine nizami olarak göndermesi gereklidir. Kendinden sonra başlayan işin yapılması için gereken işlem süresi, şimdiki yapılan işten küçükse, ister istemez üretimde boş zamanlar oluşacaktır. Örnek üzerinden göstermek gerekirse Şekil 3.3’ de birbiri ardına yapılması gereken A, B ve C işleri vardır. A işinin

toplam süresi 1000 dakikadır, B işinin toplam süresi 500 dakikadır ve C işinin toplam süresi 600 dakikadır. A işi yüzde ilerleme yöntemiyle, elindeki işlerin yüzde 20'sini bitirdikten sonra B işinin yapılması için başka bir birime gönderebilir. B işi de yüzde ilerleme yöntemiyle, elindeki işin yüzde 20' bitikten sonra C işinin yapılması için başka bir birime gönderebilir. C işlemi bittikten sonra üretim bitmiş olacaktır. A işi B işinden önce başladığı için ve A işine ait toplam sürenin yüzde 20'si B işinden fazla olduğu için üretimde boş zamanlar oluşacaktır. B işinin aksaması da C işini aksatacaktır. B işi bitmesi için A işinin bitmiş olması gerektiği için A işinin bitiş zamanının üzerine B işinin toplam süresinin yüzde 20'si kadar eklediğimizde B işine ait bitiş zamanını buluruz. Aynı şekilde B işinin bitiş zamanının üzerine C işinin yüzde 20'si kadar eklendiğinde C işinin bitiş zamanı bulunur.



Şekil 3.3. İş Bitiş Zamanlamaları Örneği

Şekil 3.3' de görüldüğü gibi üretim işlemi teoride 1220. dakikada bitmiştir. Yüzde ilerleme mantığı ile yani birimler arasında biten işlerin, diğer birimlere gönderilmesi ile işlemlere devam edilmesi sonucu 2100. dakikada bitecek işlemler 1220. dakikada bitmiştir. ÜAİ yöntemi birbiri sıra devam etmesi gereken işlerin önceliklerini belirler ve matematiksel modelimizde en geç başlama ve bitiş zamanlarını hesaplayarak işlemlerin en kısa sürede bitmesi için gereken zamanları ortaya koyar. Tablo 3.27' deki TB_i zaman hesaplamaları da bu mantıkla yapılmıştır. Bu durumda şunu söylemek yanlış olmayacaktır. Bir işlemin bitiş süresi, kendisinden önce başlayan işlemlerden en geç bitenin zaman değerinin üzerine kendisinin tezgâh kurulum süresi ve yüzde ilerleme miktarının süresini eklediğimizde ortaya çıkacaktır. Bu durumda formül 2.27' de ifade

edilmiştir. Bölümler içerisindeki işçilik maliyetlerini ve kapasite ihtiyacını ortaya koyabilmek için formül 2.25' den yararlanılır. Aşağıdaki tablo 3.28' de maliyet hesapları verilmiştir. İşçilik ücretini dakikalık olarak hesaplayabilmek için sembolik 1500 TL değerinde bir brüt maaş belirlenmiştir. Aylık 180 saatlik çalışma diliminde, fiili olarak bir çalışanın dakika'da ki maaşı 0.14 TL' ye tekabül etmektedir. Fason için saat ücreti olarak değil işin tamamlanması karşılığında ücret olarak anlaşıldığı için fason üretimde oluşan boş zamanların bir mali kaybı yoktur. Gerçekleşmesi planlanan üretim zamanı olarak $T\dot{I}_i$ 'nin de hesaplanması ile işçilik maliyetleri tüm kalemler için belirlenmiş olacaktır. Tablo 3.28 ile üretim işlemlerinin işçilik maliyetleri verilmektedir.

Tablo 3.28. İşlemlerin Üretim Maliyetleri

$U_{i,j}^{ni,n}$	TE_i	TB_i	$T\dot{I}_i$	Boş Zaman DK	Bölüm No	Üretim Şekli	Gerekli Personel	İşçilik Maliyeti DK/TL	Toplam İşçilik Maliyeti TL	Boş Zaman İşçilik Maliyeti TL
$U_{20,1}^{1,2}$	0	985.76	985.76	0	D1	Üret	1	0.14	138.0064	0
$U_{19,1}^{1,2}$	2007.88	3199.68	1191.8	0	D1	Üret	1	0.14	166.852	0
$U_{18,1}^{1,2}$	985.76	2007.88	1022.1	0	D1	Üret	1	0.14	143.0968	0
$U_{16,1}^{2,3}$	204.96	4123.76	3918.8	0	D2	Üret	1	0.14	548.632	0
$U_{14,9}^{2,3}$	2255.68	3279.68	1024	624	D2	Fason	0	-	0	0
$U_{13,9}^{2,3}$	1198.28	3157.68	1959.4	0	D3	Üret	1	0.14	274.316	0
$U_{12,9}^{1,3}$	0	880	880	0	D2	Fason	0	-	0	0
$U_{11,8}^{3,8}$	1019.76	5100.16	4080.4	0	D3	Üret	1	0.14	571.256	0
$U_{10,8}^{1,4}$	3199.68	3795.58	595.9	0	D1	Üret	1	0.14	83.426	0
$U_{9,7}^{3,4}$	2335.68	5567.68	3232	0	D4	Üret	1	0.14	452.48	0
$U_{8,6}^{4,5}$	3323.58	5523.58	2200	0	D5	Fason	0	-	0	0
$U_{7,5}^{4,7}$	3007.68	8219.28	5211.6	0	D6	Üret	1	0.14	729.624	0
$U_{6,5}^{5,6}$	3763.	6063.5	2300	0	D7	Fason	0	0.14	0	0

	58	8								
$U_{5,4}^{6,7}$	4223.58	8631.28	4407.7	2327.1	D8	Üret	1	0.14	617.078	325.794
$U_{4,2}^{7,8}$	4656.18	9071.28	4415.1	2215.1	D9	Fason	0	-	0	0
$U_{2,1}^{8,9}$	5096.18	9671.28	4575.1	1575.1	D10	Fason	0	-	0	0
$U_{1,0}^{9,0}$	5696.18	13311.58	7615.4	0	D11	Üret	3	0.14	3198.468	0

Tablo 3.28 ile elde edilen işçilik maliyetleri bizlere fasona verdiğimiz işlerdeki boş zamanlara maruz kalmadığımız için daha avantajlı olduğumuzu göstermektedir. KA yöntemi ile planlanan ana amaç boş zamanı değerlendirmeksizin maruz kalınacak beklenen maliyetlerden en düşüğü seçmektir fakat KA yöntemiyle fasona göndermeyi seçtiğimiz ürünler bizi boş zaman maliyetlerinden de kurtardı. Bölümler için genel bir kapasite ihtiyacını, aşağıdaki tablo 3.29 ile özetleyebiliriz.

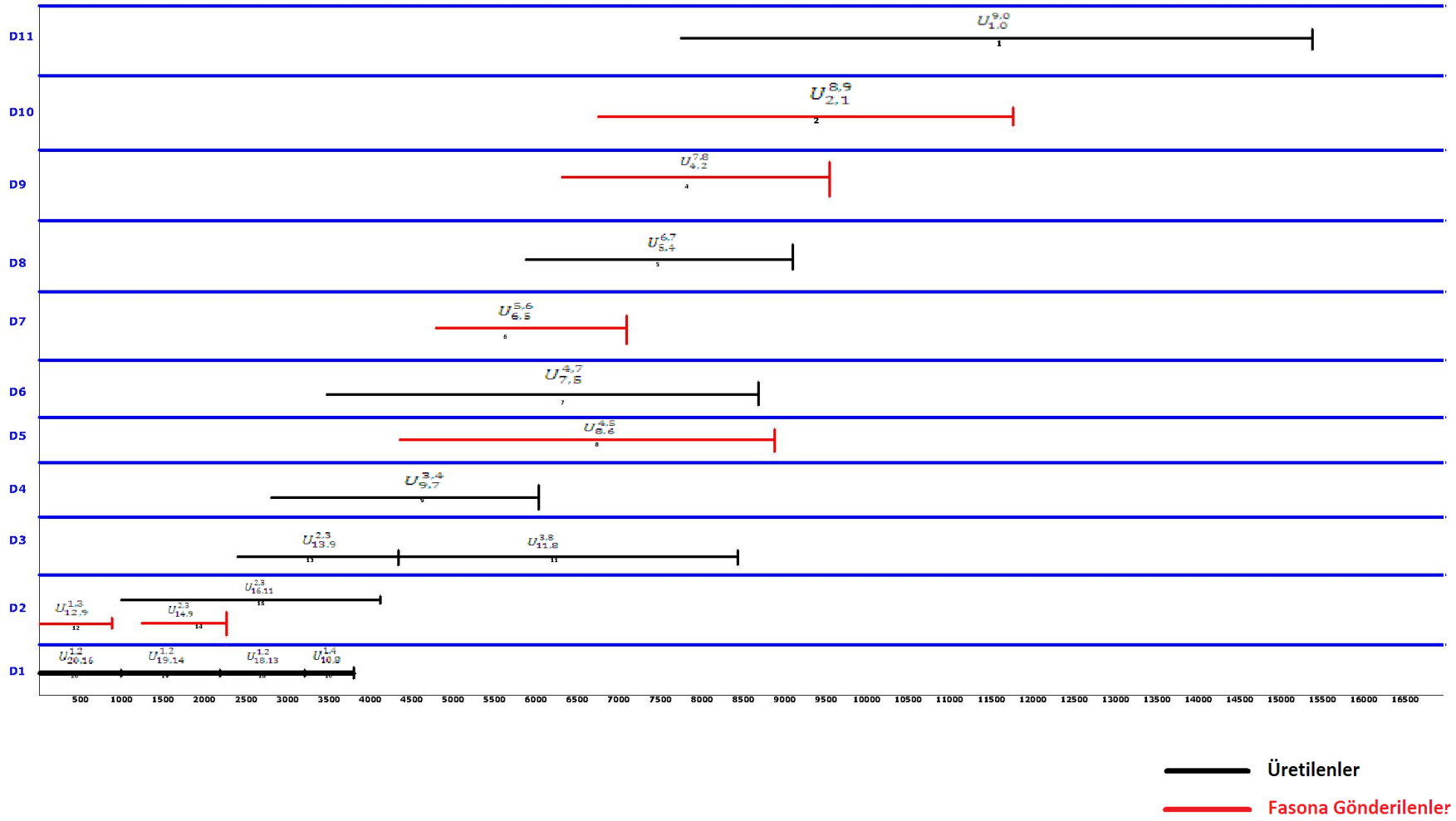
Tablo 3.29. Bölümlerin İş Gücü Kapasite İhtiyaçları

Bölüm Adı:	Bölüm No:	Gerekli Eleman Sayısı	İş Başlangıç Zamanı	İş Bitiş Zamanı	Toplam Çalışma Süresi
Testere Kesim	D1	1	0	3795.58	3795.58
Press	D2	1	197.152	4115.952	3918.8
Büküm	D3	1	2390.08	8429.88	6039.8
Kaynakthane1	D4	1	2797.48	6029.48	3232
Kaynakthane2	D5	0	0	0	0
Kaynakthane3	D6	1	3469.48	8681.08	5211.6
Kaynakthane4	D7	0	0	0	0
Kaynakthane5	D8	1	5873.08	9093.08	3220
Kaynakthane6	D9	0	0	0	0
Boyahane	D10	0	0	0	0
Montaj	D11	3	7745.68	15361.08	7615.4

Tablo 3.29 ile bölümlerin iş gücü ihtiyacı verilmiştir. Yukarıdaki tablodan veriler incelendiğinde testere kesim ve press bölümlerinde işlemler bittikten sonra buradaki iki elemandan biri kaynakthane5'e kaydırılabilir ve kaynakthane5' de yapılacak olan işi

başlatabilirler. Bükümdeki personelin işi bittikten sonra kaynakhane5'deki işe yardım edebilir veya montaj bölümündeki işe yardım edebilir. Kaynakhane1' deki personel işini bitirdikten sonra direk montaj bölümündeki işin başlangıcında yer alabilir. Kaynakhane3'deki personel işini bitirdikten sonra montaja yardım edebilir. Böylece gerekli eleman sayısı da ortaya çıkmaktadır. Toplamda 9 kadar gözüken eleman ihtiyacı, aslında bak üretim işi için 6 elemandır. Bunun sebebi olarak da testere kesim, press ve kaynakhane1' deki personellerin işlerinin montaj bölümündeki işlemin başlangıç süresinden erken bitmesi ile bu elemanların montaj bölümünde değerlendirilmesidir.

Üretimin planlanması ve bölümler içerisindeki işlemlerin sıralanması işi bitti, şimdiye kadar elde ettiğimiz verileri Gantt grafiği üzerinde göstermemiz gerekirse, aşağıdaki şekil 3.4 ile TE_i ve TB_i değerlerine göre işlemlerin her bölüm için ayrı ayrı sıralanışı verilecektir. Fasona gönderilenler ve üretime aldıklarımız ayrı renk çizgiler ile gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Bank Üretimi İş Çizelgesi

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1.Tartışma ve Sonuç

Zaman ölçümüne fırsat olmaksızın ve üretimle ilgili kararların net bir şekilde oluşmadığı ürün üretimlerinde, üret veya fasona ver kararlarının alınabilmesi ve sadece ÜA’ dan yola çıkarak iş dökümünün elde edilmesi ve bölümler içerisindeki işlerin sıralanmasını amaçlayan bu çalışmada hayali bir üretim tesisinde hayali bir ürünün ilk defa alınması konu edilmiştir. Üretimi gerçekleştirecek olan ürün için geliştirilen ÜAİ yöntemi ile bölümlerde yapılacak işlerin iş dökümü elde edilerek, işlerin sıralanması gerçekleştirilmiştir. İşlerin sıralanmasından sonra KA yöntemi ile üret veya fason kararlarının beklenen maliyetleri mukayesede edilerek, hangi işlemlerin üretimde yapılacağına karar verilmiştir. Kararların alınmasından sonra en geç başlama ve bitiş süreleri hesaplanarak, üretim işleminin ne zaman son bulacağı hesaplanmıştır. Ayrıca bölümler içerisindeki iş gücü kapasite ihtiyaçları belirlenerek, personelin verimli kullanılması amaçlanmıştır. Problemin çözümüne yönelik genel amaç üretimdeki boş zamanları en aza indirmek, fasonda daha uygun fiyata üretilmesi düşünülen işlerin fasonda ürettirilmesi ve kapasitenin etkin kullanımına yönelik işlerin sıralanması olmuştur.

Oluşturulan problemin çözümü sonucunda boş zamanların çoğu fasonda gerçekleşmiştir. İşlerin sıralanmasında ÜAİ yöntemiyle oluşturulan öncelik sayıları kullanılmış ve üretimin planlanması verimli tutulmaya çalışılmıştır.

4.2.Öneriler ve Gelecek Çalışmalar

Problemin çözümünün kolay olmasının sağlanması amaçlı tek bir ürün imalatı için bölümlerde sadece bir makine veya tezgâhın olduğu farz edilmiş ve planlama bunun

üzerinden yapılmıştır. İleriki çalışmalarda üretim bölümlerinde birden fazla makine veya tezgâhın olduğu varsayıldığı ve işlerin paralel olarak yapılabilirdiği üretim sistemleri için modeller geliştirilebilir ve problem çözüm yöntemi denenebilir. Ayrıca tek ürün imalatı için olan bu modelde ana ürüne ulaşmak için üretim kaynaklarının verimli olması sağlanmıştır. Yine ileriki çalışmalarda ürünlere öncelik verilerek, birden çok ürün için ÜAİ yöntemi ile iş dökümlerinin elde edilmesi, fason veya üret kararlarının alınması ve kapasite ihtiyaçlarının belirlenmesi işlemleri denenebilir ve problem çözüm yöntemi geliştirilebilir. Bu probleme ait geliştirilen ÜAİ yöntemi üretim planlama problemleri için Bayes ağları ile konu edilerek yeni bir çalışma ortaya konulabilir. ÜAİ yöntemi ile elde edilen düğümlerdeki gerçekleşmesi planlanan zaman tahminlerinin doğruluğuna ait soncul olasılıklarla üretim gerçekleştikçe güncellenen dinamik bir ağ yapısı ve üretim planlaması çalışması ortaya konulabilir. Ayrıca KA analizi bu çalışmada sadece üretmek kararı ve fason kararının beklenen maliyetlerinin üzerinde durmuştur ve bu kararları üretim başlangıcında boş zaman hesapları ortada yok iken almıştır. İleriki çalışmalarda iş dökümü ile elde edilen işlemlere ait boş zaman maliyetlerini de KA analizi içerisinde üretim maliyetlerine dâhil ederek hesaplamalar yapılabilir.

Problemin çözümünde sadece tezgâh kurulum süreleri, yüzde ilerleme miktarları ve kendinden önce başlayan işlerden en geç başlayan ve biten işlerin süreleri dikkate alınmıştır. İleri ki çalışmalarda bu hesaplamalar içerisinde iki birim arasında yüzde ilerleme yöntemi ile gönderilen birimin taşınma süresi ve maliyeti de eklenerek zaman hesaplamaları yapılabilir. Ayrıca, birbirini takip eden işler arada bir zaman farkı olmaksızın aynı dakika içerisinde birinin bitişi diğerinin başlayışı olabilmektedir. Gerçek hayatta bu tarz planların imkânı çok da kolay olmamaktadır. Bu yüzden iki birim arasına taşıma ve makine yükleme zamanları konularak, problemin çözümüne yeni bir kısıt kazandırılabilir. Üretimin aksamadan devam etmesi birbirini takip eden işlerde tamamlanan işlerin zaman kaybetmeksizin diğer üretim birimine aktarılması ile gerçekleşmektedir. Bu sebeple, ara stokların üretildikleri birimden diğer birime aktarımında, diğer makinenin işe başlayabileceği kadar üretilmesi anlamında yüzde ilerleme miktarı sunulmuştur. Her iş için yüzde ilerleme miktarının belirlenmesi için matematiksel modelin genişletilmesi ileriki çalışmalarda gerçekleştirilebilir. Üretim birimlerinin boş kalması sadece iş gücü boş zaman maliyeti olarak ele alınmıştır oysa

makineler ve diğ er ekipmanın boş kalma maliyetleri de eklenerek probleme yeni birer boyut kazandırılabilir

KAYNAKLAR

1. Sharma, J. K., 2010. Fundamentals of Business Statistics, Pearson Education India
2. Wikipedia, Özgür Ansiklopedi, Bayes Teoremi, Haziran 2013, http://tr.wikipedia.org/wiki/Bayes_teoremi (En Son. Erş. Tar: Ocak 2014)
3. Berenson, M.L., Levine, D.M., 1979. Basic Business Statistics, Concepts and Applications, Prentice-Hall, USA
4. Lezki, Ş., Er, F., 2010. Tatil Yeri Kararının Verilmesinde Karar Ağacı ve Etki Diyagramının Uygulanması. **Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi**, 21(2): 233-242.
5. Kobu, B., 2013. Üretim Yönetimi, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., Türkiye
6. Hodson, W.K, 1992, Maynard's Industrial Engineering Handbook, McGraw-Hill, Inc., USA
7. Arnold, J.R.T., Chapman S.N., 2004. Introduction to Material Management, Pearson- Prentice Hall, USA
8. Saadet, N.C., 2012. Üretim Sistemlerinde Otomasyon, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
9. Özkan, M., 2006. Bir Mobilya Fabrikasında Üretim Planlama Sisteminin Geliştirilmesi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bolu
10. Herzog, D.R., 1985. Industrial Engineering Methods and Controls, Reston Publishing Company, USA
11. Waters, C. D. J., 1989. A Practical Introduction to Management Science, Addison Wesley Publishing, England
12. Eroğlu, A., 2002. Deterministik Envanter Modelleri, Fakülte Kitabevi, Isparta
13. Salvendy, G., 2001. Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management, John Wiley & Sons, Inc., USA
14. Pinedo, M., 2002. Scheduling Theory, Algorithms and Systems, Prentice Hall, USA

15. Blazewicz. J., Domschke. W., Pesch. E., 1996. The Job Scheduling Problem: Conventional and new solution techniques. **European Journal of Operational Research**, **93**: 1-31
16. Badiru, A.B., 2006. Handbook of Industrial and Systems Engineering, Taylor & Francis Group is the Academic Division of Informa plc., USA.
17. MIL-HDBK-881A, Work Breakdown Structures For Defense Material Items, Military Standards, 2005
18. Kuo, W.H., Hwang, S.L., 1998. A prototype of a real-time support system in the scheduling of production systems. **International Journal Of Industrial Ergonomics**, **21**: 133- 143
19. Graves, S.C., 1981. A Review of Production Scheduling. **A Journal of The Institute of Operations Research**, **29** (46): 646-675
20. Brucker, P., 2006. Scheduling Algorithms, Springer, Germany
21. Çörekçioğlu, M., 2006 , Dokuma Tezgahlarında Çizelgeleme Yaklaşımının Süreçleri Modelleme Notasyonu İle Gösterimi, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
22. Schmidt, G., 2000. Performance guarantee of two simple priority rules for production scheduling. **Int. J. Production Economics**, **68**: 151- 159.
23. Lu, L., Yuan, J., Zhang, L., 2008. Single machine scheduling with release dates and job delivery to minimize the makespan. **Theoretical Computer Science** **393**: 102–108.
24. Chang , P.C., Chen, S.H., Fan, C.Y., 2009. A hybrid electromagnetism-like algorithm for single machine scheduling problem. **Expert Systems with Applications** **36** : 1259–1267.
25. Tian, Z., Ng, C.T., Chenga, T.C.E., 2009. Preemptive scheduling of jobs with agreeable due dates on a single machine to minimize total tardiness. **Operations Research Letters**, **37** : 368 -374.
26. Wanga, J.B., Wangb, M.Z., 2010. Single machine multiple common due dates scheduling with learning effects, **Computers and Mathematics with Applications**. **60**: 998–3002.

27. Chen, S.H., Chen M.C., Chang, P.C., Zhang, Q., Chen, Y.M., 2010. Guidelines for developing effective Estimation of Distribution Algorithms in solving single machine scheduling problems. **Expert Systems with Applications** **37**: 6441–6451.
28. Gharbi, A., Labidi, M., 2010. Jackson's semi-preemptive scheduling on a single machine. **Computers & Operations Research**, **37**: 2082–2088.
29. Shabtay, D., Itskovich, Y., Yedidsion, L., Oron, D., 2010. Optimal due date assignment and resource allocation in a group technology scheduling environment. **Computers & Operations Research** **37**: 2218–2228.
30. Srirangacharyulu, B., Srinivasan, G., 2010. Completion time variance minimization in single machine and multi-machine systems. **Computers & Operations Research**, **37**: 62–71.
31. Lu, C.C., Lin, S.W., Ying K.C., 2012, Robust scheduling on a single machine to minimize total flow time, **Computers & Operations Research**, **39**: 1682–1691.
32. Tanaka, S., Araki, M., 2013, An exact algorithm for the single-machine total weighted tardiness problem with sequence-dependent setup times, **Computers & Operations Research**, **40**: 344–352.
33. Liu, Z., Yu, W., Cheng T.C.E., 1999. Scheduling groups of unit length jobs on two identical parallel machines. **Information Processing Letters**, **69**: 275–281.
34. Meyr, H., 2002. Simultaneous lotsizing and scheduling on parallel machines. **European Journal of Operational Research**, **139**: 277–292.
35. Kogan, K., 2006. Optimal scheduling of parallel machines with constrained resources. **European Journal of Operational Research** **170** : 771–787.
36. Dourado, M.C., Rodrigues, R.F., Szwarcfiter, J. L., 2010. Scheduling on parallel machines considering job-machine dependency constraints. **Electronic Notes in Discrete Mathematics**, **36**: 431–438.
37. Mazdeh, M.M., Zaerpour, F., Zareei, A., Hajinezhad, A., 2010. Parallel machines scheduling to minimize job tardiness and machine deteriorating cost with deteriorating jobs. **Applied Mathematical Modeling**, **34**: 1498–1510.

38. Genoulaz, V.B., 2000. Hybrid flow shop scheduling with precedence constraints and time lags to minimize maximum lateness. **Int. J. Production Economics**, **64**: 101 – 111.
39. Suliman, S.M.A., 2000. A two-phase heuristic approach to the permutation flow-shop scheduling problem. **Int. J. Production Economics** **64**: 143 – 152.
40. Zandieh, M., Ghomi, S.M.T.F., Husseini, S.M.M., 2006. An immune algorithm approach to hybrid flow shops scheduling with sequence-dependent setup times. **Applied Mathematics and Computation**, **180**: 111–127.
41. Moslehi, G., Mirzaee, M., Vasei, M., Modarres, M., Azaron, A., 2009. Two-machine flow shops scheduling to minimize the sum of maximum earliness and tardiness. **Int. J. Production Economics**, **122** : 763–773.
42. Xu, J., Zhou, X., 2009. A class of multi-objective expected value decision-making model with birandom coefficients and its application to flow shop scheduling problem. **Information Sciences**, **179** : 2997–3017
43. Kuo, W.H., Hsu, C.J., Yang, D.L., 2010. Worst-case and numerical analysis of heuristic algorithms for flow shop scheduling problems with a time-dependent learning effect, *Information Sciences*, **184** : 282–297
44. Sun, L.H., Sun, L.Y., Wang, M.Z., Wang, J.B., 2012., Flow shop makespan minimization scheduling with deteriorating jobs under dominating machines, **Int. J. Production Economics**, **138**: 195–200.
45. Mascis, A., Pacciarelli, D., 2002. Job-shop scheduling with blocking and no-wait constraints, **European Journal of Operational Research**, **143** : 498–517
46. Özgüven, C., Özbakır, L., Yavuz, Y., 2010. Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility. **Applied Mathematical Modelling**, **34**: 1539–1548.
47. Wong, T.C., Chan, F.T.S., Chan, L.Y., 2009. A resource-constrained assembly job shop scheduling problem with Lot Streaming technique. **Computers & Industrial Engineering**, **57**: 983–995.
48. Kima, Y.K., Park, K., Kob, J., 2003. A symbiotic evolutionary algorithm for the integration of process planning and job shop scheduling. **Computers & Operations Research**, **30**: 1151–1171.

49. Torabi, S.A., Karimi, B., Ghomi, S.M.T.F., 2005. The common cycle economic lot scheduling in flexible job shops: The finite horizon case. **Int. J. Production Economics**, **97**: 52–65.
50. Chunga, D., Leeb, K., Shinc, K., Parkd, J., 2005. A new approach to job shop scheduling problems with due date constraints considering operation subcontracts. **Int. J. Production Economics**, **98**: 238–250.
51. Baysal, M.E., Durmaz, T., Sarucan, A., Engin, O., 2012. Açık Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Paralel Kanguru Algoritması İle Çözümü. **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, **27** (4): 855-864.
52. Liaw, C.F., 1998. An iterative improvement approach for the non preemptive open shop scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, **111**: 509-517.
53. Naderi, B, Ghomi, S.M.T.F., Aminnayeri, M., Zandieh, M., 2011. A study on open shop scheduling to minimise total tardiness. **International Journal of Production Research**, **49** (15): 4657–4678.
54. Ou, J., Wein, L.M., 1995. Dynamic Scheduling of a Production/ Inventory System with By-products and Random Yield. **Management Science**, **41**(6): 1000-1017.
55. Zhanga, W., Freiheitb, T., Yangc, H., 2004. Dynamic scheduling in flexible assembly system based on timed Petri nets model. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, **21**: 550–558.
56. Alvarez, E., 2007. Multi-plant production scheduling in SMEs, **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, **23**: 608–613.
57. Hall, N.G., Potts, C.N., Sriskandarajah, C., 2000. Parallel machine scheduling with a common server. **Discrete Applied Mathematics**, **102** :223 -243.
58. Talbi, E.D., Geneste, L., Grabot, B., Pre´vitali, R., Hostachya, P., 2004. Application of optimization techniques to parameter set-up in scheduling. **Computers in Industry**, **55**: 105–124.
59. Ayuso, A.A., Escudero, L.F., Ortuño, M.T., Pizarro, C., 2007. On a stochastic sequencing and scheduling problem. **Computers & Operations Research**, **34**: 2604 – 2624.

60. Cai, X.Q., Chen, J., Xiao, Y.B., Xua, X.L., 2008. Product selection, machine time allocation, and scheduling decisions for manufacturing perishable products subject to a deadline. **Computers & Operations Research**, **35**: 1671 – 1683.
61. Yang, D.L., Kuo, W.H., 2009. A single-machine scheduling problem with learning effects in intermittent batch production, **Computers & Industrial Engineering**, **57**: 762–765.
62. Pandey, P., Kulkarni, M.S., Vrat, P., 2011. A methodology for joint optimization for maintenance planning, process quality and production scheduling. **Computers & Industrial Engineering**, **61**:1098–1106.
63. Ashayeri, J., Selen, W., 2007. A planning and scheduling model for onsertion in printed circuit board assembly. **European Journal of Operational Research**, **183**: 909–925.
64. Marchetti, P.A., Cerdá, J., 2009. An approximate mathematical framework for resource-constrained multi stage batch scheduling, **Chemical Engineering Science**, **64**: 2733-2748.
65. Lagodimos, A.G., Mihiotis, A.N., Kosmidis, V.C., 2003. Scheduling a multi-stage fabrication shop for efficient subsequent assembly operations, **Int. J. Production Economics**, **90**: 345–359.
66. Hertz, A., Mottet, Y., Rochat, Y., 1996. On a scheduling problem in a robotized analytical system. **Discrete Applied Mathematics**, **65**: 285 – 318.
67. Black, G.W., McKay, K.N., Morton, T.E., 2006. Aversion scheduling in the presence of risky jobs. **European Journal of Operational Research**, **175**: 338–361.
68. Oguz, C., Salman, F.S., ve Yalcın, Z.B., 2009. Order acceptance and scheduling decisions in make-to-order systems. **Int. J. Production Economics**, **125**: 200–211.
69. Das, K., Baki, M.F., Li, X., 2009. Optimization of operation and changeover time for production planning and scheduling in a flexible manufacturing system. **Computers & Industrial Engineering**, **56**: 283–293.
70. Matsumoto, K., Miwa, H., Ibaraki, T., 2009. Scheduling of corrugated paper production. **European Journal of Operational Research**, **192**: 782–792.

71. Tang, L., Liu, J., Rong, A., Yang, Z., 2009. A mathematical programming model for scheduling steelmaking-continuous casting production. **European Journal of Operational Research**, **120**: 423-435.
72. Bley, A., Boland, N., Fricke, C., Froyland, G., 2010. A strengthened formulation and cutting planes for the open pit mine production scheduling problem, **Computers & Operations Research**, **37**: 1641–1647.
73. Gaudreault, J., Frayret, J.M., Rousseau, A., Amours, S., 2011. Combined planning and scheduling in a divergent production system with co-production: A case study in the lumber industry. **Computers & Operations Research**, **38**: 1238–1250.
74. Badell, M., Romero, J., Huertas, R., Puigjaner, L., 2004. Planning, scheduling and budgeting value-added chains. **Computers and Chemical Engineering**, **28**: 45 – 61.
75. M'endez, C.A., Cerd', J., Grossman, I.E., Harjunkski, L., Fahl, M., 2006. State-of-the-art review of optimization methods for short-term scheduling of batch processes. **Computers and Chemical Engineering**, **30** : 913–946.
76. Liu, Y., Karimi, I.A., 2007. Novel continuous-time formulations for scheduling multi-stage batch plants with identical parallel units. **Computers and Chemical Engineering**, **31** : 1671–1693.
77. Yokoyama, M., 2006. Flow-shop scheduling with setup and assembly operations. **European Journal of Operational Research**, **187**: 1184–1195.
78. Velez, S., Maravelias C.T., 2013. A branch-and-bound algorithm for the solution of chemical production scheduling MIP models using parallel computing. **Computers and Chemical Engineering**, **55**: 28– 39.
79. Yokoyama, M., 2004. Scheduling for two-stage production system with setup and assembly operations. **Computers & Operations Research**, **31**: 2063–2078.
80. Yeung , W.K., Choi, T.M., Cheng, T.C.E., 2011. Supply chain scheduling and coordination with dual delivery modes and inventory storage cost. **Int. J. Production Economics**, **132**: 223–229.
81. Li, J., Sun, K., Xu, D., Li, H., 2010. Single machine due date assignment scheduling problem with customer service level in fuzzy environment, **Applied Soft Computing**, **10** : 849–858.

82. Stanfield, P.M., King, R.E., Joines, J.A., 1996. Scheduling arrivals to a production system in a fuzzy environment. **European Journal of Operational Research**, **93**: 75-87.
83. Kuroda, M., Wang, Z., 1996. Fuzzy job shop scheduling. **Int. J. Production Economics**, **44**: 45-51.
84. Petrovic, D., Duenas, A., 2006. A fuzzy logic based production scheduling/rescheduling in the presence of uncertain disruptions. **Fuzzy Sets and Systems**, **157**: 2273 – 2285.
85. Levner, E., Meyzin, L., Ptuskin, A., 1998. Periodic scheduling of a transporting robot under incomplete input data: A fuzzy approach. **Fuzzy Sets and Systems**, **98**: 255-266.
86. Orsoni, A., ve Bandinelli, R., 2007. Improving the remote scheduling of distributed production with process statistics and AI techniques. **Simulation Modelling Practice and Theory**, **15**: 175–184.
87. Xue, D., Sun, J., Norrie, D.H., 2001. An intelligent optimal production scheduling approach using constraint based search and agent based collaboration. **Computers in Industry**, **41**: 209–231.
88. Lee, I., 2001. Artificial intelligence search methods for multi-machine two-stage scheduling with due date penalty, inventory, and machining costs. **Computers & Operations Research**, **28** : 835 – 852.
89. Lawrynowicz, A., 2008. Integration of production planning and scheduling using an expert system and a genetic algorithm. **Journal of the Operational Research Society**, **59**: 455 -463.
90. Moghaddama, R.T., Mehrb, M.D., 2005. A computer simulation model for job shop scheduling problems minimizing makespan. **Computers & Industrial Engineering** ,**48** : 811–823.
91. Everett, J.E., 2001. Iron ore production scheduling to improve product quality. **European Journal of Operational Research**, **129**: 355-361.
92. Vinoda, V., Sridharanb, R., 2008. Scheduling a dynamic job shop production system with sequence-dependent setups: An experimental study. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, **24**: 435–449.

93. Vinod, V., Sridharan, R., 2011. Simulation modeling and analysis of due- date assignment methods and scheduling decision rules in a dynamic job shop production system. **Int. J. Production Economics**, **129**: 127–146.
94. Xiang, W., Lee, H.P., 2008. Ant colony intelligence in multi-agent dynamic manufacturing scheduling. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, **21**: 73–85.
95. Behnamian, J., Zandieh, M., Ghomi, S.M.T.F., 2009. Parallel-machine scheduling problems with sequence-dependent setup times using an ACO, SA and VNS hybrid algorithm. **Expert Systems with Applications**, **36** : 9637–9644.
96. Yagmahan, B., Yenisey, M.M., 2010. A multi-objective ant colony system algorithm for flow shop scheduling problem. **Expert Systems with Applications**, **37**: 1361–1368.
97. Berrichi, A., Yalaoui, F., Amodeo, L., Mezghiche, M., 2010. Bi-Objective Ant Colony Optimization approach to optimize production and maintenance scheduling. **Computers & Operations Research**, **37**: 1584–1596.
98. Marimuthu, S., Ponnambalamb, S.G., Jawahar, N., 2009. Threshold accepting and Ant-colony optimization algorithms for scheduling m-machine flow shops with lot streaming. **Journal of Materials Processing Technology**, **20**(9): 1026–1041
99. Huang, R.H., Yang, C.L., 2008. Overlapping production scheduling planning with multiple objectives: An ant colony approach. **Int. J. Production Economics** **115** : 163– 170.
100. Ullrich, C.A., 2013. Integrated machine scheduling and vehicle routing with time windows. **European Journal of Operational Research**, **227** : 152–165.
101. Mattfeld, D.C., Bierwirth, C., 2004. An efficient genetic algorithm for job shop scheduling with tardiness objectives. **European Journal of Operational Research**, **155** : 616–630.
102. Liu, C.H., 2011. Using genetic algorithms for the coordinated scheduling problem of a batching machine and two-stage transportation. **Applied Mathematics and Computation**, **217** : 10095–10104.

103. Mönch, L., Balasubramanian, H., Fowler, J.W., Pfund, M.E., 2005. Heuristic scheduling of jobs on parallel batch machines with incompatible job families and unequal ready times. **Computers & Operations Research**, **32**: 2731–2750.
104. Chatfield, D.C., 2007. The economic lot scheduling problem: A pure genetic search approach. **Computers & Operations Research**, **34**: 2865 – 2881.
105. Chen, Y.W., Lu, Y.Z., Ge, M., Yang G.K., Pan, C.C., 2012. Development of hybrid evolutionary algorithms for production scheduling of hot strip mill. **Computers & Operations Research**, **39** : 339–349.
106. Agnetis, A., Alferi, A., Brandimarte, P., and Prinsecchi, P., 1997. Joint job/tool scheduling in a flexible manufacturing cell with no on-board. **Computer Integrated Manufacturing Systems**, **10** (1) : 61 – 68.
107. Wauters, T., Verbeeck, K., Verstraete, P., Berghe, G.V., Deausmaecker, P. 2012. Real-world production scheduling for the food industry: An integrated approach. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, **25**: 222–228.
108. Lobo, B.A., Oliveira, J.F., Carravilla, M.A., 2008. Production planning and scheduling in the glass container industry: A VNS approach. **Int. J. Production Economics**, **114** : 363– 375.
109. Ekşioğlu, A., Ekşioğlu, S.D., Jain, P., 2008. A tabu search algorithm for the flowshop scheduling problem with changing neighborhoods. **Computers & Industrial Engineering**, **54** : 1–11.
110. Zhang, G., Shao, X., Li, P., Gao, L., 2009. An effective hybrid particle swarm optimization algorithm for multi-objective flexible job-shop scheduling problem. **Computers & Industrial Engineering**, **56**: 1309–1318.
111. Tang, L., Wang, X., 2009. Simultaneously scheduling multiple turns for steel color-coating production. *European Journal of Operational Research*, **198** : 715–725.
112. Venditti, L., Pacciarelli, D., Meloni, C., 2010. A tabu search algorithm for scheduling pharmaceutical packaging operations. **European Journal of Operational Research**, **202** : 538–546.

113. Wang, C., Li, C., Wang, Q., 2010. Accelerated tabu search for no-wait flowshop scheduling problem with maximum lateness criterion. **European Journal of Operational Research**, **206** : 64–72.
114. Kumral, M., Dowd, P.A. 2005. A simulated annealing approach to mine production scheduling. **Journal of the Operational Research Society**. **56**: 922 -930.
115. Zegordi, S.H., Itoh, K., Enkawa, T., 1995. Minimizing makespan for flow shop scheduling by combining simulated annealing with sequencing knowledge. **European Journal of Operational Research**, **85**: 15-531.
116. Nearchou, A.C., 2004, A novel metaheuristic approach for the flow shop scheduling problem, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 17 : 289–300
117. Liua, B., Wanga, L., Liud, Y., Qiane, B., Jin, Y.H., 2010. An effective hybrid particle swarm optimization for batch scheduling of polypropylene processes. **Computers and Chemical Engineering**, **34** : 518–528.
118. Mujawar, S., Huang, S., Nagi, R., 2012. Scheduling to minimize stringer utilization for continuous annealing operations, **Omega**, **40**: 437–444.
119. Peres, S.D., Lasserre, J.B., 2002. On the importance of sequencing decisions in production planning and scheduling. **Intl. Trans. in Op. Res.**, **9**: 779-793.
120. Wanga, S., Yu, J., 2010. An effective heuristic for flexible job-shop scheduling problem with maintenance activities. **Computers & Industrial Engineering**, **59**: 436–447.
121. Ramazan, S. 2007. The new Fundamental Tree Algorithm for production scheduling of open pit mines. **European Journal of Operational Research**, **177**: 1153–1166.
122. Jina, G., ve Thomson, V., 2003. A newframework for MRP systems to be effective in engineered-to-order environments. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, **19**: 533–541.
123. Koyuncu, E., 2011. Yeni Ürün Geliştirme Projelerinde Çoklu Faaliyet Çakıştırmalı Durum İçin Çizelgeleme, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana
124. Qi, X., 2011. Outsourcing and production scheduling for a two-stage flow shop. **Int. J.Production Economics**, **129**: 43–50.

125. Sungbin, C., 2009. A linear Bayesian Stokhastic approximation to update Project duration estimates. **European Journal of Operation Research**, **196**: 585–593.
126. Britney, R.R. 1976. Bayesian point estimation and the pert scheduling of stokhastic activities. **Management Sience**, **Vol.22** (9), 938 – 948.
127. Aha, D.W and Chang L.W.1996, Cooperative Bayesian and Case Based Reasoning for Solving Multiagent Planning Tasks, NCARAI Technical Report AIC-96-005
128. Stavoulaki, E.,Fang, H.K.D. and Lin, D.K.J., 2003. Two-Resource Stokhastic Capacity Planning Employing a Bayesian Methodology. **The Journal of Operation Research Society**, **54**(11): 1198 – 1208.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Oğuzhan Ahmet ARIK

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 21 Ağustos 1986, Kayseri

Medeni Durumu: Bekâr

Tel: +90 530 877 93 59

email: oguzhanahmetarik@hotmail.com

Yazışma Adresi: Mimarsinan Mah. Fuzuli Cad. Ekin Ap. No:54/B Kocasinan / Kayseri

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Bahçeşehir Ü. Müh. Fak. End. Müh. Bölümü, İstanbul	2009
Lise	Kocasinan Sümer Lisesi, Kayseri	2003

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2013- Halen	-	İş Güvenlik Uzmanlığı Hizmetleri
2013- Halen	EndüstriNET Sektörel Çözümler Yazılım Evi	Kurucu
2012–2012	Asteksan Mak.ve Mad. Eşya San.Tic. Ltd. Şti	Üretim Planlama Sorumlusu
2011–2012	Sayıl Dayanıklı Tüketim Mobilya İnşaat ve Gıda Mad. San. Tic. Ltd. Şti.	Üretim Planlama Sorumlusu
2009-2011	-	Serbest Meslek

YABANCI DİL

İngilizce