

**T.C.  
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İŞLETME ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KISITLAR TEORİSİ  
VE  
BİR İMALAT İŞLETMESİNDE UYGULANMASI**

**İHSANİ ŞAHBAZ**

**DANIŞMAN ÖĞRETİM ÜYESİ  
Yard. Doç. Dr. METİN ÖNER**

**MANİSA**

**2005**

**YÜKSEKOĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ  
TEZ VERİ FORMU**

Tez No:                      Konu:    Üniv.Kodu:

**Not: Bu bölüm merkezimiz tarafından doldurulacaktır.**

**Tezin yazarının**

**Soyadı: ŞAHBAZ**

**Adı: İHSANİ**

**Tezin Türkçe Adı: Kısıtlar Teorisi Ve Bir İmalat İşletmesinde Uygulanması**

**Tezin Yabancı Adı: Theory Of Constraints and a Practice in a Manufacturing Company**

**Tezin yapıldığı**

**Üniversite: CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ Enstitü: SOSYAL BİLİMLER  
ENSTİTÜSÜ                      Yılı: 2005**

**Diğer kuruluşlar:**

**Tezin Türü:**

- 1- Yüksek Lisans
- 2- Doktora
- 3- Tıpta Uzmanlık
- 4- Sanatta yeterlilik

**Dili :                                      Türkçe**  
**Sayfa sayısı:                              XVII + 133**  
**Referans Sayısı:                              49**

**Tez Danışmanlarının**

**Unvanı: Yard. Doç. Dr.**

**Adı: METİN**

**Soyadı: ÖNER**

**Unvanı:**

**Adı:**

**Soyadı:**

**Türkçe anahtar kelimeler**

**İngilizce anahtar kelimeler**

1-Kısıtlar Teorisi

1-Theory of Constraints

2-Kaynak Yönetimi

2- Resources Management

3-Envanter

3-Inventory

4-

4-

5-

5-

**Tarih:**

**İmza:**



## ÖZET

Özellikle 1970’li yıllardan sonra artan rekabet ve piyasa baskısı, yeni pazar arama ve var olan pazarlarda daha karlı üretime yönelme gibi etkenler işletmelerde, üretim yönetimi anlamında yeni arayışları öne çıkarmıştır. Bu arayış bir yandan özellikle Japonya ekonomisindeki çıkışı anlama ve kendi işletmelerine uygulama şeklinde olurken, diğer yandan yeni ve daha önce denenmemiş veya daha geliştirilme aşamasında olan yöntemler üzerine yoğunlaşmıştır. Japonya’nın Toplam Kalite yönelimli yaklaşımları ve Tam Zamanında Üretim (Just in Time, -JIT) , Amerikan ekonomisinin yaklaşımı olan Malzeme İhtiyaç Planlama (Manufacturing Requirement Planning, -MRP) bu dönemde geliştirilmiştir. Diğer taraftan kaynağını optimal üretim yöntemlerinden alan ve İsraili fizikçi Dr. Eliyahu Goldratt tarafından geliştirilen Kısıtlar Teorisi (Theory of Constraints, -TOC) de bu dönemde ortaya çıkan bir yaklaşımdır. Diğer yaklaşımlardan farklı olarak sadece var olan koşulları değerlendirip en iyi sonucu üretmekle kalmayıp aynı zamanda işletme adına sürekli bir dinamizmi hedefleyen, işletmeyi dinamik kılan ve olabilecek her türlü duruma karşılık önceden senaryolar üreten bir yöntemdir. Bu anlamıyla diğer yöntemlerden sıyrılarak bir üretim felsefesi haline gelir. Sadece en iyi çıktıyı vermekle kalmaz, aynı zamanda üretim hattındaki ara ve son stok seviyesini belirler, üretim hızını belirler, üretimi adeta canlı bir organizma gibi yöneterek hızlandırır veya yavaşlatır. Bu çalışmada daha çok kısıtlar teorisinin mekanizmasını anlamaya yönelik bir içeriğe ağırlık verilmiş, ardından diğer üretim yöntemleri ile farkları verilmiş ve bir işletmede örnek bir uygulama ile üretilecek ürün karması belirlenmiş, Kısıtlar Teorisi’nin öngördüğü çözümler işletmede uygulanmaya çalışılmış ve olası senaryolar üzerinde durulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kısıtlar teorisi, kaynak yönetimi, envanter

## ABSTRACT

Specially after 1970's, factors like increased competition and market pressure, new market researches and concentrations on more rentable productions in existing markets forced organizations through new researches on production management. This researches drive organizations to understand the growth of the Japan economy and to adopt it's practices, and besides, to adapt themselves unpracticed or researching methods. Total Quality Development and Just In Time in Japan and Manufacturing Requirement Planning in USA proceeded at this time. Also, the Theory of Constraints, based on optimal production methods and developed by Dr. Eliyahu Goldratt –a Jewish physician,rised at that period. This approach differ from others not just by producing the best result with existing circumstances but also aiming a sustainable dynamism and thinking proactively. By this mean, Theory of Constraints becomes to a production philosophy. It not just give the best output but also set middle and last stock level, the speed of production and accelerate and slow the production by managing it like a living organism. The content of the study is intensified on the understanding of the Theory of Constraints. Afterward, it is given the differences between other production methods. And then determining the product mix by a sample application. Finally the solutions which are predicted by the Theory of Constraints are tried to applicate in the company and stressed on feasible scenarios.

## **YEMİN METNİ**

Yüksel Lisans tezi olarak sunduğum ‘Kısıtlar Teorisi ve Bir İmalat İşletmesinde Uygulanması’ adlı çalışmanı, tarafımdan bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilen eserlerden oluştuğunu, bunlara atıf yaparak yararlanmış olduğumu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

**Tarih**

**28.03.2006**

**İhsani ŞAHBAZ**

## TEZ SAVUNMA SINAV TUTANAĞI

Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü / / tarih ve  
sayılı toplantısında oluşturulan jürimiz tarafından Lisans Üstü Öğretim Yönetmeliği'nin

8. Maddesi gereğince Enstitümüz Anabilim dalı Programı öğrencisi  
Konulu tezi incelenmiş ve aday / /

tarihinde saat 'da/de jüri önünde tez savunmasına alınmıştır.

Adayın kişisel çalışmaya dayanan tezini savunmasından sonra dakikalık süre  
içinde gerek tez konusu gerekse tezin dayanağı olan anabilim dallarından jüri üyerine sorulan  
sorulara verdiği cevaplar değerlendirilerek tezin,

BAŞARILI olduğuna

DÜZELTME yapılmasına  \*

RED edilmesine  \*\*

OY BİRLİĞİ

OYÇOKLUĞU

ile karar verilmiştir.

\* Bu halde 3 ay süre verilir.

\* Bu halde adayın kaydı silinir.

### BAŞKAN

### ÜYE

### ÜYE

#### Evet

#### Hayır

Tez, burs ödül veya Teşvik prog. (Tüba, Fullbright vb. ) aday olabilir

Tez, mutlaka basılmalıdır.

Tez, mevcut haliyle basılmalıdır.

Tez, gözden geçirildikten sonra basılmalıdır.

Tez, basımı gereksizdir.

## ÖNSÖZ

Ülke ekonomileri için üretimin önemi vazgeçilmezdir, her ülke, üretebildiği ve değere çevirebildiği üretimi kadar güçlüdür. Bu anlamıyla üretimde kullanılacak yöntemlerin de önemi açıktır. Bilgi teknolojilerinde ki sınırsız gelişme , üretimin her alanında bilgisayar kullanımı, üretim planlama ve kontrol sistemlerinde de ağırlığını hissettirmeye başlamıştır. Günümüzde kullanılacak üretim yöntem ve planlama tekniklerinin , bilgi teknolojilerindeki bu gelişmenin uzağında kalmak gibi bir seçenekleri yoktur.

Bir taraftan gücünü bu gelişmelerden alan , diğer taraftan işletme karlarını en üst seviyeye çıkaracak yöntemler üretimde kullanılması gereken yöntemlerdir. Bu çalışmada bu yöntemlerden biri olan ve kökenini, üretim yönetimi ve kontrolü için geliştirilmiş bir yazılımdan alan ‘Kısıtlar Teorisi’ incelenmiş ve örnek bir işletmede uygulanması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın hazırlanmasında bilimsel, teknik ve manevi katkılarda bulunan danışmanım Yard. Doç Dr. Metin ÖNER’e, çalışmaya zaman ayırmamda mesai konusunda tanıdığı esneklikten dolayı Celal Bayar Üniversitesi, Bilgi İşlem Daire Başkan Vekili Sayın Erkan UÇAN’a, çalışmanın en başından itibaren, uygulama yaptığım işletmelerinin üretimi ile ilgili her türlü veriyi veren ve desteğini esirgemeyen sayın Mehmet Mecit ÖZ’e, üretimle ilgili açıklayıcı danışmanlığından dolayı sayın Yavuz ERCAN’a, tezin dizgisinde katkısından dolayı Gülper ŞAHİN’e, katkılarından ve çabalarından ötürü teşekkür ederim.

<b>İÇ KAPAK</b> .....	<b>I</b>
<b>TEZ VERİ GİRİŞ FORMU</b> .....	<b>II</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>YEMİN METNİ</b> .....	<b>V</b>
<b>TUTANAK</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>VII</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>VIII</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>XI</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>XII</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>XIII</b>
<b>GİRİŞ</b> .....	<b>XIV</b>
<b>1.BÖLÜM: ÜRETİM KAYNAKLARI PLANLAMASI</b> .....	<b>1</b>
1.1. Malzeme Gerekşinim Planlaması .....	<b>2</b>
1.1.1 MRP II Sistemlerinin Fayda ve Maliyetleri .....	<b>4</b>
1.2 JIT (Tam Zamanında) Üretim Sistemi ve İşleyişı .....	<b>6</b>
1.2.1 JIT (Tam Zamanında) Üretim .....	<b>6</b>
1.2.2 JIT Üretim Sisteminin Bir Alt Sistemi Olarak KANBAN .....	<b>7</b>
1.2.3.Stok Düzeyinin Düşük Tutulması .....	<b>8</b>
1.2.4 JIT Üretim Felsefesinin Gerekleri .....	<b>9</b>
1.2.4.1. Mamul veya Hizmetlerin Değerini Artırmayan Tüm Faaliyetlerin Ortadan Kaldırılması .....	<b>9</b>
1.3 Optimum Üretim Teknolojisi .....	<b>11</b>
<b>2. BÖLÜM : KISITLAR TEORİSİ</b> .....	<b>14</b>
2.1. Kısıt Kavramı.....	<b>15</b>
2.2. Kısıtlar Teorisinin Temel İlkeleri.....	<b>17</b>

2.3. Kısıtlar Teorisinin 5 Adımı .....	21
2.4. Kısıtlar Teorisinin Performans Ölçüleri ve Ana Kavramlar .....	22
2.5. Kısıtlar Teorisi Kavramının Felsefi Anlamı .....	26
2.6. Kısıtlar Teorisinin Kullandığı Yöntemler .....	27
2.7 Üretim Sürecine Kısıtlar Teorisi Yaklaşımı .....	30
2.8. I.V.A.T Analizleri .....	32
2.8.1 I Tipi Tesisler .....	33
2.8.2 V Tipi Tesisler .....	33
2.8.3. A Tipi Tesisler.....	35
2.8.4.T Tipi Tesisler.....	37
2.8.5. Birleşik Yapılar.....	38
2.9. Davul – Tampon -İp .....	39
2.10. V Tipi Tesislerde Tampon Yönetimi .....	44
2.11. A Tipi Tesislerde Tampon Yönetimi.....	46
2.12. T Tipi Tesislerde Tampon Yönetimi .....	48
2.13. Kısıtlar Teorisi ve Düşünme Süreci.....	50
2.13.1. Mevcut Gerçeklik Ağacı.....	51
2.13.2. Beyin Fırtınası.....	52
2.13.3 Çatışma Çözme Diyagramı: "Buharlaşan Bulut" .....	52
2.13.4. Gelecek Gerçeklik Ağacı .....	52
2.13.5 Ön Şart Ağacı .....	53
2.13.6 Geçiş Ağacı .....	54
2.14. Kısıtlar Teorisi ve Doğrusal Programlamanın Karşılaştırılması.....	56
2.15. Kısıtlar Teorisi ve Malzeme İhtiyaç Planlaması Karşılaştırılması .....	57
2.16. Kısıtlar Teorisi ve Tam Zamanında Üretimin Karşılaştırılması .....	61
2.17. Kısıtlar Teorisi ve Toplam Kalite Yönetimi .....	63

2.18. Açıklayıcı Bir Örnek .....	64
<b>3.BÖLÜM: UYGULAMA .....</b>	<b>75</b>
3.1 Firmanın Tanımı .....	75
3.2 Üretim Süreci .....	76
3.3 Kapasiteler ve Hazırlık Süreleri .....	78
3.4 Maliyet Hesabı .....	79
3.5 Piyasa Talebi .....	82
3.6 Her İş İstasyonunun Yükünün Hesaplanması .....	82
3.7 Her Makinanın Toplam Çalışma Sürelerinin Hesaplanması .....	82
3.8 Kısıt veya Kısıtların Tespiti .....	84
3.9 En Karlı Ürün Karmasının Tespiti.....	87
3.10 Üretim Süreci Değerlendirmesi ve Tampon Yönetimi .....	90
3.11 İşletmede Düşünce Süreci ve Çözüm Önerileri .....	92
3.11.1 Süreç İçerisinde Birden Fazla Kısıtlı Kaynak Olduğunda KT çözümü ile DP Çözümünün Karşılaştırılması .....	.99
<b>SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>111</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>112</b>
<b>EK 1 DS For WINDOWS programı çıktıları .....</b>	<b>118</b>



## KISALTMALAR DİZİNİ

<b>CAPPC</b>	<b>Bilgisayar Destekli Üretim Yönetimi ve denetimi</b>
<b>CIM</b>	<b>Computer Integrated Manufacturing</b>
<b><math>C_{iMn}</math></b>	<b>n 'inci iş merkezinin tüm ürünler için harcayacağı toplam zaman</b>
<b><math>D_i</math></b>	<b>i ürününe olan Pazar talebi</b>
<b>DP</b>	<b>Doğrusal Programlama</b>
<b>DTİ</b>	<b>Davul- Tompon-İp</b>
<b>ECE</b>	<b>Effect-Cause-effect</b>
<b>HA</b>	<b>Hümkik Asit</b>
<b>İM</b>	<b>İş Merkezi</b>
<b>JIT</b>	<b>Just in Time</b>
<b>KKK</b>	<b>Kapasite Kısıtlı Kaynak</b>
<b>KT</b>	<b>Kısıtlar Teorisi</b>
<b>MİP</b>	<b>Malzeme İhtiyaç Planlaması</b>
<b>MRP</b>	<b>Manufacturing Requirement Planning</b>
<b>OPT</b>	<b>Optimal Üretim Yöntemleri</b>
<b><math>t_{iMn}</math></b>	<b>Her i ürünü için n'inci iş merkezinin harcadığı zaman</b>
<b>TKY</b>	<b>Toplam Kalite Yönetimi</b>
<b>TOC</b>	<b>Theory of Constraints</b>
<b>TZÜ</b>	<b>Tam Zamanlı Üretim</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: K.T. performans ölçüleri ve aralarındaki ilişki .....	26
Şekil 2.2: Kısıtlar teorisi Yaklaşımının şematik yaklaşımı .....	29
Şekil 2.3: Birleşme, montaj ayrımı ve montaj birleşme noktaları.....	32
Şekil 2.4: Tipik bir I tesisinin ürün akışı .....	33
Şekil 2.5: V tipi ürün şeması .....	35
Şekil 2.6: A tipi ürün şeması .....	36
Şekil 2.7: T tipi ürün şeması.....	37
Şekil 2.8: Üretim hattındaki iş akışı .....	41
Şekil 2.9 : DTİ Yönetimi Sonrasında Durum .....	41
Şekil 2.10: Bitmiş Ürün Tamponu .....	42
Şekil 2.11: Davul-Tampon-İp ilişkileri .....	43
Şekil 2.12: V tipi tesislerde tampon yönetimi .....	45
Şekil 2.13: A tipi tesislerde tampon yönetimi .....	47
Şekil 2.14: T tipi tesislerde tampon yönetimi .....	49
Şekil 2.15: Temel düşünme akış süreci .....	50
Şekil 2.16: Mevcut gerçeklik ağacı.....	51
Şekil 2.17: Çatışma çözme diyagramı: "Buharlaştan Bulut".....	52
Şekil 2.18: Gelecek Gerçeklik Ağacı .....	53
Şekil 2.19: Ön Şart Ağacı.....	54
Şekil 2.20: Geçiş Ağacı .....	55
Şekil 2.21: Üretim akış şeması ve birim zamanlar .....	65
Şekil 3.1: Üretim sürecinde makinaların yerleşimi ve iş akış sırası.....	76
Şekil 3.2: Üretim akış şeması ve maliyetler.....	80
Şekil 3.3: Fabrika Yerleşim Şeması .....	81
Şekil 3.4: Hüyük Asit akış şeması.....	90
Şekil 3.5: HA Üretim Süreci ve Tamponlar .....	91

<b>Şekil 3.6:</b> Üretim Sürecinde Davul-Tampon-İp gösterimi .....	<b>92</b>
<b>Şekil 3.7:</b> İkinci Dekantör alındığında üretim sürecinin yeni görünümü .....	<b>93</b>

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo 2.1:</b> Sorular ve düşünme araçları .....	50
<b>Tablo 2.2:</b> Her iş merkezi (İM) %100 kapasite ile çalışması durumunda gerekli kapasitelerin hesaplanması. ....	66
<b>Tablo 2.3:</b> Kapasite kullanım oranlarına göre iş merkezlerinin üretmeleri gereken miktar .....	67
<b>Tablo 2.4:</b> Kapasite kullanım oranları göz önüne alınarak hesaplanmış. İş merkezleri yükleri ...	67
<b>Tablo 2.5:</b> KKK tarafından üretilen ürünlerin birim karları ve üretim sırası .....	68
<b>Tablo 2.6:</b> Mevcut durumda optimal ürün karışımı. ....	69
<b>Tablo 2.7:</b> Kalite iyileştirmelerinden önce sistemin çıktı durumu .....	70
<b>Tablo 2.8:</b> 1'inci iş merkezinin kapasitesi %100'e çıkartıldığında üretim miktarları ve çıktı miktarları .....	71
<b>Tablo 2.9:</b> 2'inci iş merkezinin kapasitesi %100'e çıkartıldığında üretim miktarları ve çıktı miktarları.....	70
<b>Tablo 2.10:</b> 3'üncü iş merkezinin kapasitesi %100'e çıkartıldığında üretim miktarları ve çıktı miktarları .....	73
<b>Tablo 2.11:</b> 4'üncü iş merkezinin kapasitesi %100'e çıkartıldığında üretim miktarları ve çıktı miktarları .....	74
<b>Tablo 3.1:</b> Her makinanın kapasitesi ve hazırlık süreleri .....	79
<b>Tablo 3.2:</b> Her bir iş merkezinin1 kg ürün için dakika olarak kullandığı zamanlar .....	82
<b>Tablo 3.3.</b> Mevcut kapasitelerin dakika olarak gösterilmesi .....	82
<b>Tablo 3.4:</b> Piyasa talebine göre gerekli kapasitelerin dakika olarak hesaplanması .....	85
<b>Tablo 3.5:</b> Mevcut kapasite ile piyasa talebinin karşılanması için gerekli Kapasitenin karşılaştırılması .....	85
<b>Tablo 3.6:</b> Makinaların kapasite kullanımları .....	86
<b>Tablo 3.7:</b> En karlı ürün karışımın belirlenmesi için Birim Karlılıklar ile KKK harcadığı zamanların oranlanması .....	88
<b>Tablo 3.8:</b> Üretilecek ürün adetlerinin hesaplanması .....	89
<b>Tablo 3.9:</b> DS for Windows programının çözüm satırı .....	90
<b>Tablo 3.10:</b> İkinci Dekantör alımı yapıldığında yeni toplam maliyetler .....	94
<b>Tablo 3.11:</b> İkinci Dekantör alımı yapıldığında yeni birim zamanlar .....	95
<b>Tablo 3.12:</b> Piyasa talebine göre gerekli kapasitelerin dakika olarak yeniden hesaplanması .....	95
<b>Tablo 3.13:</b> Mevcut kapasite ile gerekli kapasitenin karşılaştırılması .....	97
<b>Tablo 3.14:</b> Yeni piyasa talebine göre gerekli kapasitelerin dakika olarak yeniden hesaplanması	98

<b>Tablo 3.15:</b> Mevcut kapasite ile gerekli kapasitenin karşılaştırılması.....	98
<b>Tablo 3.16:</b> Yeni birim zamanlar.....	100
<b>Tablo 3.17:</b> Mevcut kapasiteler ve gerekli kapasitelerin karşılaştırılması.....	100
<b>Tablo 3.18:</b> Kapasite kullanım oranları .....	101
<b>Tablo 3.19:</b> KKK'ya göre ürün karmasının belirlenmesi .....	102
<b>Tablo 3.20:</b> Üretilen ürün adetlerinin hesaplanması ve kapasiteler.....	103
<b>Tablo 3.21:</b> Dekantör kısıtına göre üretilen ürün adetlerinin hesaplanması ve kapasiteler .....	104
<b>Tablo 3.22:</b> Tip2 H.A. üretim miktarının Ambalajlama ünitesine göre belirlenmesi durumunda kullanılan kapasiteler ve üretim miktarları .....	105
<b>Tablo 3.23:</b> DP çözümünde DS for Windows programının çözüm satırı .....	105
<b>Tablo 3.24:</b> KT ve DP çözümleri sonuçlarının karşılaştırılması.....	106
<b>Tablo 3.25:</b> Reaktör'ün kısıt haline getirilmesi ve toplam sürelerin hesaplanması .....	107
<b>Tablo 3.26:</b> Mevcut kapasiteler ve gerekli kapasiteler .....	107
<b>Tablo 3.27:</b> KKK'ya göre yeni ürün karmasının belirlenmesi .....	108
<b>Tablo 3.28:</b> Reaktör kısıtına göre üretilen ürün adetlerinin hesaplanması ve kapasiteler .....	109
<b>Tablo 3.29:</b> DP çözümünde DS for Windows programının çözüm satırı .....	109

## GİRİŞ

Her işletme kazanç sağlamak üzere kurulur. İşletmeler bu amaca ulaşabilmek için sınırlı kaynaklarını olabildiğince iyi bir şekilde kullanmak zorundadırlar. Bu kullanım da belirli bir sistematığı olan bir yaklaşımla olmaktadır.

Geçmişten günümüze kadar hangi yöntemin uygulanacağı bir tartışma ve araştırma konusu olmuştur. Diğer taraftan ülkeler kendi karakteristiklerine göre yöntemler de geliştirmişlerdir.

Japon firmaları, II. Dünya Savaşı'ndan sonra, savaşta yok olan ekonomisini yeniden ayağa kaldırabilmek ve ülkenin kıt kaynaklarını en iyi şekilde kullanabilmek amacıyla kalite ve verimliliği arttıracak değişik imalat yöntemlerine yönelmişlerdir. Sonuçta Taylor'un klasik yönetim anlayışını, Henry Ford'un klasik imalat anlayışını yıkarak Toplam Kalite Yönetimi, Çekme Sistemleri, Sıfır Stok gibi kavramları içeren Yalın Üretim anlayışını kazandırmışlardır.

Günümüzde pek çok firma imalatta itme sistemi anlayışına sahip Malzeme İhtiyaç Planlaması yöntemlerine göre üretim planlama ve kontrol faaliyetlerini gerçekleştirmektedir. Kısaca özetlemek gerekirse üretim planlama ve kontrol literatürünü iki uç kapsamda değerlendirebiliriz. Birincisi itme yaklaşımını kullanan Malzeme İhtiyaç Planlaması kökenli yöntemler, ikincisi ise çekme yaklaşımına dayanan ve sıfır stoğu amaçlayan Tam Zamanında Üretim felsefesidir.

Tezin konusu olan, Kısıtlar Teorisi ise Malzeme İhtiyaç Planlaması sistemlerinden ve Tam Zamanında Üretim sistemlerinden farklı yeni bir yaklaşımı getirmektedir. Kısıtlar Teorisi kaynağını Optimize Edilmiş Üretim Planlamasından (OPT'den) alan ve Goldratt tarafından geliştirilen "Darboğaz Yönetimi" felsefesine dayanan yeni bir üretim planlama ve kontrol yöntemidir. Bu anlayışı ile Tam Zamanında Üretim Planlamadan sonra gelişen bir yönetim felsefesi konumuna dönüşmeye başlamıştır.

Kısıtlar Teorisi'nin incelendiği bu çalışmada ilk olarak temel üretim yöntemleri incelenmiştir. MRP, JIT ve OPT'nin incelendiği birinci bölümde çok ayrıntıya inilmeden genel bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümü, Kısıtlar Teorisi hakkında genel bilgilerin verildiği bölümdür. Bu bölümde Kısıtlar Teorisi tüm yönleri ile incelenmiş, temel yaklaşım ilkeleri ortaya konmuş, bu ilkelerin uygulanması için önerilen yöntemler anlatılmıştır. Yine bu bölümde düşünme ve problem çözme süreci üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde örnek bir uygulama yapılmış , bir işletmedeki üretim sürecinde dar boğazlı kaynak tespit edilerek, işletmeyi en iyi kazanca götürecektür ürün karması belirlenmiştir. Daha sonra bu işletme için bir düşünce süreci geliştirilmiş, üretilen senaryolar ile oluşabilecek yeni koşullarda işletmenin durumu incelenmiştir.

## 1. BÖLÜM : ÜRETİM KAYNAKLARI PLANLAMASI

Üretimin ortaya çıktığı ilk çağlardan günümüze kadar planlama ihtiyacı, verimlilik arayışı hep sürmüştür. Özellikle 18 yüzyıl sanayi devrimin ardından bu arayış daha belirgin hale gelmiştir. Sanayi devriminden günümüze kadar olan süreç incelendiğinde, üretimi etkileyen üç temel ve köklü değişimden bahsedilebilir:

1. 18. yy'da gerçekleşen Endüstri Devrimi buhar makinesinin icadı ile gerçekleşmiş, insan gücünün yerini makineler almıştır. Bu durum üretimin temel karakteristiklerinde köklü değişiklikler yaratmış, toplumların ekonomik ve sosyal yapılarını derinden etkilemiştir..

2. İkinci olarak, 19. yy sonunda elektrik ve elektrikle çalışan motorlar icat edilmiştir. Böylece, bu döneme kadar üretimde ihtiyaç duyulan enerji kaynağı buhar makineleri olmaktan çıkıp elektrik enerjisi olmuştur. Bu dönemde işlemlerin mekanizasyonu ile "Mekanizasyon Çağı" başlamıştır.

3. Üçüncü olarak 1950'lerde başlayan, elektronik veri işlemin icadı ile gerçekleşmiş ve otomasyon çağı başlamıştır. Bu üçüncü gelişme, herşeyin ötesinde bilgi teknolojisinin baş döndürücü gelişmelerinden özelliğini almaktadır. Bu dönemle birlikte üretim sistemleri otomatikleşmiş, daha az insan gücü ile daha fazla üretimin sağlandığı sistemlere doğru bir yönelim başlamıştır. Bu dönem II. Dünya Savaşı'nın yarattığı derin tahribatın ardından başlamıştır. Ülkeler yaralarını hızlı bir biçimde sararken aynı zamanda üretim konusundaki bu değişimlerin sonuçlarını değerlendirerek ve uygulayarak, bilgi teknolojilerinin de verdiği destek ile endüstri alanında kendilerini tekrar var edecek yapısal çalışmaların içine girmişlerdir.

Bilgisayar Destekli Üretim (Computer Integrated Manufacturing, -CIM), modern işletmelerin üstün performansa ulaşabilmeleri için seçeneksiz bir sistem olarak kendini göstermektedir. Bu sistemler, yüzyılın gelişen bilgisayar teknolojisinin, firmaların yönetim amaçlarına uygun olarak kullanılmasına imkan vermektedir. Bilgisayar destekli imalat kavramı içerisinde "Üretim Yönetimi Sistemleri" önemli bir yer işgal eder.

"Bilgisayar Destekli Üretim Planlama ve Kontrolü (Computer Aided Production Planning and Control -CAPP)" sistemleri pazarlama, mühendislik, finansman, imalat ve stok denetimi hizmetlerinin bir arada ortak veri tabanına dayandırılarak yapılmasını sağlayan veri tabanı ile iletişim sistemleridir. Üretim yönetimi sistemlerinde aşağıda belirtilen üç



yaklaşım yaygın olarak kullanılmaktadır(Yetiş, 2005, <http://www.kouemk.com/makale/default.asp?set=makale&id=11>).

1. Malzeme Gereksinim Planlaması (MRP) ve Üretim Kaynakları Planlaması (MRP II) Yaklaşımı,

2. Tam Zamanında Üretim (JIT) Yaklaşımı,

3. En İyileme (Optimizasyon) Yaklaşımı,

### **1.1 Malzeme Gereksinim Planlaması**

Malzeme Gereksinim Planlaması (MRP) Sistemleri, ilk defa 1960'ların başlarında ABD'de geliştirilmiştir. Malzeme edinme ve planlamasına bilgisayar desteğiyle yeni bir anlayış getirilmiştir. İlk çalışmalarda sadece üretilecek olan ürünün, ürün ağacında yer alan çeşitli malzemelerin zaman eksenini üzerinde planlaması ve bu plana göre malzeme edinmenin teminlenmesi şeklinde yapılmıştır. Bu sistemlerde, işlemlere, son ürünün temin tarihi, zaman eksenini üzerinde yerleştirildikten sonra, ürün ağacı listesine uygun olarak gereksinim duyulan malzeme miktarlarının saptanması ile başlanır. Söz konusu imalat için toplam malzeme miktarlarının bulunmasından sonra, bu miktarlardan eldeki mevcut stok miktarları düşürülür. Daha sonra İhtiyaç duyulan miktarlar için satınalma emirleri düzenlenir. Satın alınarak gelen malzemeler sürekli izlenir ve böylelikle imalatın akışını engelleyecek bir aksaklığın oluşması önlenir.

İlk zamanlarda bu sistemler çok büyük boyutlu bilgisayarlar yardımıyla, ancak büyük şirketlerce kullanılabilmekteydi. Zamanla bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler sayesinde, kabiliyeti yüksek, fiyatı makul, yüksek hızlı bilgisayarların piyasaya çıkması ve uygulama program ve yazılımlarının geliştirilmesiyle bu sistemlerin kullanımı yaygınlaşmaya başladı.

MRP sistemlerinin bu kadar yaygınlaşmasının en önemli nedenlerinden biri de, bu sistemlerin işletmelere büyük bir şeffaflık ve açıklık getirmesidir. Bilgisayarların bilgiyi depolama ve istenildiğinde süratle erişime imkan veren yetenekleri sayesinde, işletmelerde mevcut olan verilerin, çeşitli yerlerde, dosyalarda ve depolarda bulunan bilgilerin karar verici ve çalışanlara ulaşımı artmıştır. Bu hızlı erişim sayesinde çalışanların vereceği kararlarda bu bilgileri kullanarak doğru karar verme olasılığı artmaktadır. İşletmelerde ne olup bittiğinin yetkili bütün birimlerce anında izlenebilmesi, karar verici bütün birimlerin birbiri ile

koordinasyonunun, dolayısıyla işletme amaçlarına ulaşılmasında sürekli desteğin sağlanması MRP sistemlerinin popüleritesini arttırmıştır.

MRP'nin başlıca özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

a) MRP esas olarak ürünü baz alır. Ürün ağacından hareketle ihtiyaç duyulan malzeme miktarlarını hesap eder, son ürünü elde edebilmek için gerekli yarı mamulleri ve hammaddeleri tespit eder.

b) MRP hesaplarında, gelecek zamanı dikkate alır. Son ürünün temin tarihi üzerinden hareketle, temin cetveline uygun gerekli malzeme miktarlarını hesaplar.

c) MRP, verilen kapasite ve malzeme limitlerine göre, ana üretim planının aksamaması için ilgili öncelik sırası yapabilir.

d) MRP, üretim denetimini, satınalma sipariş emirleri veya imalat iş emirlerini sürekli denetleyerek gerçekleştirir.

MRP II sistemleri, pazarlama, mühendislik, finansman, imalat ve stok denetimi hizmetlerinin bir arada ve ortak bir veri tabanına dayandırılarak yapılmasını sağlayan veri tabanı ve iletişim sistemleridir. MRPII sistemleri sürekli güncellenen, gerçek zamanlı ortak bir veri tabanına dayandırılan yazılım sistemleridir. Bu yazılım sistemleri verileri oldukça ayrıntılı, iş dünyasının alışık olduğu model ve resimlere dönüştürür. Bu model ve resimler taranarak sistemin, çevresindeki değişimlere uyum sağlamasına yardımcı olunabilir. MRPII sistemleri, imalat sistemlerinin sürekli ve etkin planlanmasını dolayısıyla imalat sürelerinin kısalmasını, stok düzeylerinin düşürülmesini sağlar.

Bu sistemlerin kullanımının etkinleşebilmesi için sistemlerin bilgisayarlarda koşuluş işletilmesi yeterli olmayıp, firma kültürünün bu sistemlerin felsefesine uyarlanması gerekir. Bunun için de herşeyden önce, "olsa olsa veya duruma göre yönetim" anlayışının çok düzenli ve disiplinli bir yönetime terk etmesi gerekir. Bir başka deyişle, bu sistemler informal yönetim sistemlerinden, formal yönetim sistemlerine geçişi zorunlu kılmaktadır (Yetiş, 2004, s. 34-37).

MRP II sistemleri, malzeme gereksinim planlaması sistemlerini tamamlayan,

1. Ana Üretim Programı,

2. Atölye Denetimi,
3. Kaba Kapasite Planlaması,
4. Kapasite Gereksinim Planlaması,
5. Malzeme listesi,
6. Satınalma,
7. Pazarlama,
8. Finans ve Muhasebe

gibi modüllerle, bu modülleri tamamlayıp, bütünleştiren çeşitli arayüz ve yardımcı programlardan meydana gelir(Üreten, 1998, 151).

### **1.1.1 MRP II Sistemlerinin Fayda ve Maliyetleri**

MRP II Sistemlerinden beklenen yararlar aşağıdaki gibi özetlenebilir (Yetiş, 2005, <http://www.kouemk.com/makale/default.asp?set=makale&id=11>).

1. Düşük stok düzeyleri, (stok düzeylerinde ortalama 1/3, 1/4 düzeyinde düşüş),
2. Daha iyi müşteri hizmetleri, (teslim sürelerinde %52'lerden, %90-95'lere doğru yükselme),
3. Daha yüksek doğrudan işçilik verimliliği,
4. Daha düşük satınalma masrafları,
5. Daha düşük nakliye ve malzeme aktarma maliyetleri,
6. Daha az mamul ve malzeme bozulması ve eskimesi,
7. Daha az fazla mesai,

## 8. Yönetim için daha iyi bilgi.

MRP II Sistemlerinden yukarıda sıralanan yararların sağlanabilmesi için herşeyden evvel sistemlerin gerektirdiği donanım ve yazılımın edinilmesi gereklidir. Ancak donanım ve yazılımın sağlanması, kurulması sistemin başarısını garantilemez. Sistemin başarısı, bu sistemlerin gerektirdiği yönetim felsefesinin firma kültürüyle entegrasyonu ile doğru orantılıdır. Ayrıca tepe yönetiminin desteği, kullanıcı sahipliği ve bu sahipliği sağlayacak eğitim yatırımlarının yapılması ile MRP II Sistemlerinden beklenen yararlar sağlanabilir.

MRP II sistemlerinin kurulması ve işletilmesinde katlanılması gereken maliyetler şu şekilde sıralanabilir:

### 1. Teknik maliyetler

- i. Donanım maliyetleri,
- ii. Yazılım maliyetleri,
- iii. Projede çalışan sistem ve veri işlem elemanlarının maliyetleri,

### 2. Veri maliyetleri

- i. Ana program çizelgesi (master schedule) verileri,
- ii. İş merkezleri verileri,
- iii. Maliyet verileri,
- iv. Ürün ağaçları verileri,
- v. Stok verileri,
- vi. Yönelme verileri,

### 3. İnsangücü maliyetleri

- i. Eğitim maliyetleri,
- ii. Danışmanlık maliyetleri

(Yetiş, 2005, <http://www.kouemk.com/makale/default.asp?set=makale&id=11>).

MRP sistemlerinin gelişimi şu şekilde belirtilebilir:

1960'LARDA...

- Malzeme Gereksinim Planlaması (MRP)

1970'LERDE...

- Kapalı Döngü MRP (MRP-I)

1980-90'LARDA...

- Üretim Kaynakları Planlaması (MRP-II)

MRP'İN FONKSİYONLARI

- Sipariş Verme ve Satınalma Sistemi
- Zamana Dayalı Periyodik Gereksinim Planlaması

## **1.2 JIT (Tam Zamanında) Üretim Sistemi ve İşleyişi**

1970'li yıllardan sonra ortaya çıkan ve başlangıçta daha çok Japon kökenli firmaların uyguladıkları bir sistem olan JIT (Just-in-Time) üretim sistemi diğer üretim sistemlerine göre bir çok yönden farklılıklar göstermektedir. Bu üretim sistemine Tam Zamanında Üretim (TZÜ) veya kısaca JIT üretim sistemi de denilmektedir.

### **1.2.1. JIT (Tam Zamanında) Üretim**

Tam zamanında üretim ilk defa Toyota baş mühendisi Taiichi Ohno tarafından geliştirilerek uygulamaya konulmuştur. Japonların II. Dünya Savaşı sonrasında içinde buldukları ekonomik şartlarda ortaya çıkmış bir yöntemdir. Savaştan sonra, zaten sınırlı olan doğal kaynaklara, işgücü ve sermaye kaynaklarının da yetersizliği ilave edilince Japonya, iktisadi varlığını devam ettirebilmek için sınırlı durumdaki kaynakları mümkün olan en düşük maliyetle kullanmayı öğrenmek durumunda kalmıştır. Yalın üretim

yöntemlerine önderlik eden JIT'in ortaya çıkışında gereksiz olarak tutulan stokların israf olarak kabul edilmesi önemli rol oynamaktadır. Bu felsefeye dayalı üretim 1980'lerin başından itibaren Amerika ve Avrupa'da da uygulanmaya başlanmış ve hızla bütün dünyaya yayılmıştır(Acar, 1995, s.4). Bugün dünyaca ünlü General Motors, Apple Computer ve IBM gibi uluslar arası ölçekli firmalar bu yöntemi uygulamaktadırlar.

Japon şirketlerinin başarılı olması, JIT üretim sistemine olan ilgiyi arttırmıştır. Ancak Japonya dışında bu sistem, genellikle bir stok kontrol sistemi olarak tanınmıştır. Gerçekte bu yöntem; stoksuz, yani sıfır stokla üretime karşılık gelmektedir(Üreten, 1998, s.213). Dolayısıyla diğer stok kontrol sistemlerinden ayrılmaktadır. JIT'i, şirketin bütün bölümlerini etkileyen satınalma, mühendislik, pazarlama, personel, kalite-kontrol, müşteri ve satıcı arasındaki ilişkiyi de belirleyerek israfın azaltılması, verimliliğin artırılması olan bir üretim sistemi olarak tanımlamak mümkündür. Görüldüğü üzere JIT bazen bir felsefe, bazen bir üretim sistemi, bazen de bir yönetim tarzı olarak ifade edilmektedir. Ancak gerek felsefe, gerekse yönetim tarzı olarak ifade edilsin, JIT bir üretim sistemine karşılık gelmektedir. Bu üretim sisteminin işleyişi kanban kart sistemiyle gerçekleştirilmektedir. Bu sistemin uygulanması aşağıda açıklanmıştır.

### **1.2.2 JIT Üretim Sisteminin Bir Alt Sistemi Olarak KANBAN**

JIT üretim sisteminin esası, birbirini takip eden üretim faaliyetlerinin koordine edilmesine dayanır. Binlerce parçadan oluşan bir otomobilin üretiminde, çeşitli malzeme ve parçaların tam zamanında üretim hattında bulunmasının organize edilmesi oldukça güç bir işlemdir. JIT üretiminde, bir iş merkezinde çalışan personel, ihtiyaç duyulan malzeme ve parçaları kaynağına giderek alır ve bu parçalarla ilgili işi yerine getirir. JIT üretim sisteminin uygulanabilmesi için planlananların belirli dönemler itibarıyla yapılmış olması gerekir. Bu yöntemde Japonca kart kelimesinin karşılığı olan "kanban" kullanılır.

Kanban, esnek kayıt veya haberci manasına karşılık gelen Japonca bir kelimedir. Fakat üretim kavramı çerçevesinde kullanılan kanban kelimesi malzeme ve parçalar için ihtiyaç duyulduğunda bir işaret olarak kullanılan kart anlamına gelir. Kanban kelimesi "görülebilir kayıt" anlamında da kullanılmaktadır (Acar, 1995, s.16).

Kanban, JIT üretim sisteminin iş istasyonları arasındaki malzeme akışında uygulanır. İki iş istasyonu arasındaki malzeme akışının denetiminde iki kart ve küçük arabalar kullanılır. Sonraki işlemin gerçekleştiği istasyonda araba boşalınca işçi, ihtiyaç kartı ve boş arabayla birlikte dolu arabanın yanına gider. Aynı işçi dolu arabaya asılmış veya yapıştırılmış

bulunan üretim kartını ayırarak boş arabaya ilişitir ve ihtiyaç kartını yapıştırdığı dolu arabayla kendi iş istasyonuna döner ve üretim sürecindeki işine devam eder. Kanban sisteminin önemli avantajlarından birisi görsel denetime yer vermesidir. Üretim sahasında dolaşarak sadece kanban panosuna bakarak işi denetlemek mümkündür. Kartlardaki artma üretimdeki yavaşlamayı; azalma ise, üretimdeki hızlanmayı gösterir. Sadece gerektiği kadar üretim yapmak isteniyorsa, gerektiği kadar malzemeye ihtiyaç duyulur. Daha yüksek stok, daha fazla maliyet anlamına geleceğinden; stoksuz üretim, sistemin esasını teşkil etmektedir.

JIT üretim sisteminin uygulanmasında kanbanların önemli fonksiyonları vardır. Kanbanlar sayesinde sistem itme esasına göre değil, çekme esasına göre yapılmaktadır. Çekme üretim sisteminin bir sonucu olarak üretim hattında malzeme ve yarı mamul halinde stok olmamaktadır. İş istasyonunda herhangi bir malzemeye ihtiyaç duyulduğunda söz konusu malzeme istek fişleriyle (kanban) talep edilmektedir. Üretim daha sonra yapılmaktadır. Oysa itme üretim sisteminde, üretim hattına giren malzeme mamul olarak çıkıncaya kadar birinci iş istasyonundaki işi tamamlanıp, oradan ikinci iş istasyonuna, daha sonra üçüncü iş istasyonuna sevk edilmekte ve böylelikle üretim sürüp gitmektedir. JIT sisteminin stoksuz ya da sıfır stokla üretim felsefesi olmasına istek fişlerinin yani kanbanların önemli katkıda bulunduğu açıktır(Çelikçapa, 2000, s.243).

### **1.2.3.Stok Düzeyinin Düşük Tutulması**

Stokların, bir şirketin başka alanlara yöneltebileceği büyük miktarlardaki parayı bağlayan bir sermaye yatırımı olduğu dikkate alınır, büyük miktarda stok yatırımı yapmayan bir şirket daha iyi ekipmanlar satın alabilir, yeni ürün hatları oluşturabilir. Hatta çalışanlarının ücretlerini artırabilir. Yani gereksiz miktarlardaki stoklar, şirketin çok daha yararlı alanlarda kullanabileceği parayı bir anlamda israf etmektedir(Çelikçapa, 2000, s.246). Malzeme gereksinimi planlaması (MRP) stokları kesinti yapmaya imkan veren yöntemlerden biri olarak ele alındığında " gerektiği anda hazır bulunması" amacıyla depoda sürekli olarak malzeme ve parça bulundurulmasının pek akılcı olmadığı görülür. Bir şirket MRP uygulayarak, ana programını, neyin ve ne zaman gerekeceğinin belirlenmesine yardımcı olacak şekilde parça ve hammadde gereksinimleri haline çevirebilir. Bu şekilde, gereksiz stok düzeyi oluşmasının önüne geçebilir. Ancak MRP, stok düzeyini mümkün olan en düşük seviyeye indirmez. Bu sistemi kullanan şirketler, genellikle bir haftalık ya da daha uzun süreli gereksinimlerini bir defada stok ederler. Böylelikle siparişler, bir haftalık üretimi kapsayacak şekilde planlanır. Bu nedenle, kısa süreli olsa bir miktar fazla stok bulunması

MRP sistemi dahilinde kaçınılmaz hale gelmektedir. MRP anlayışını, ilerideki birkaç haftayı göz önüne almayacak şekilde değiştirdiğimizi düşünün. Bunun yerine, şu anda ne üretilmekte olduğuna bakalım ve bu üretim miktarı için sipariş verelim. JIT'in temel kavramı işte budur. Para ve siparişler, belirli bir anda ihtiyaç duyulacak miktarlarda ve ihtiyaç duyulan o anda elimizde olacak şekilde sipariş edilir. Bir otomobil üreticisi için bunun anlamı, hiç bir suretle otomobil lastiği stoku bulundurmamak olabilir. Bunun yerine her araba için dört adet lastik arabaya tam montaj hatlarından, indirileceği anda takılacak şekil de getirilebilir. genellikle dakikada bir araba çıkarıldığından, imalatçı her dakika için dört adet lastik sipariş programı oluşturabilecektir. Sonuç olarak sıfır lastik stokuyla çalışacaktır. Olayı biraz daha genişlettiğimizde ise, diğer parçalar için de stok bulundurmak gerekmeyebilecektir. Bunun yerine parçalar, arabaya takılacakları anda ve her araba için gerekli olduğu miktarlarda tedarikçilerden ya da imalat kısmından teslim alınabilir. Tüm montaj projesi boyunca gereksiz stok bulundurmanın önü bu şekilde alınmış olur(bir sonraki işleme faaliyetleri için o anda gerekli proses içi stokları hariç).

JIT sistemi ile çalışan işletmelerde elde edilen başlıca kazançlar aşağıda özetlenmiştir(Üreten, 1998, s.242-243):

- Envanter finansmanı için daha az yatırım,
- Envanter maliyetlerinin düşmesi,
- İşletmede yer ihtiyaçlarının azalması,
- İmalat geçiş zamanlarının azaltılması,
- Emek verimliliğinin artması,
- Ürün kalitesinin iyileştirilmesi.

#### **1.2.4 JIT Üretim Felsefesinin Gereklere**

JIT, faaliyetlerin ihtiyaç duyulduğu anda ya da talep edildiği anda gerçekleştirilmesi temeline dayanan bir felsefedir.

##### **1.2.4.1. Mamul veya Hizmetlerin Değerini Artırmayan Tüm Faaliyetlerin Ortadan Kaldırılması**

Mamulün üretilmesinde hammadde girişinden mamul olarak ortaya çıkışına kadar geçen toplam süre beş aşamadan oluşur(Üreten, 1998, s.243):



İşleme süresi

Kontrol süresi (mamulün istenilen kalitede olup olmadığının tespiti veya mamulün istenilen kaliteye ulaştırılması için harcanan süre)

Taşıma süresi (mamulün bir yerden başka bir yere taşınması için gereken süre)

Bekleme süresi (mamulün işlem görme, taşıma veya kontrol edilmesi için beklenen süre)

Depolama süresi (yarı mamul veya mamullerin işlem görme veya sevk edilmesi için depodaki bekleme süresi)

Bütün bu aşamalar içinde, mamulün gerçek değerini artıran süre, sadece işleme süresidir. Diğer süreler mamulün değerine herhangi bir katkı sağlamayıp, sadece maliyeti artıran aşamalardır. Çoğu işletmede işleme süresi, toplam üretim süresinin ve maliyetinin %10'nun altındadır. Bu sebeple işleme süresi dışındaki diğer sürelerin (değer yaratmayan süre) mümkün olduğu ölçüde azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması toplam maliyeti azaltacaktır. Bu felsefe şöyle örneklendirilebilir:

Üretim Süresi 3 saat

Kontrol Süresi 2 saat

Taşıma Süresi 0.5 saat

Bekleme Süresi 5.5 saat

Depolama Süresi 19 saat

Toplam 30 saat

Bir mamulün üretimine başlanmasından tüketiciye ulaştırılmasına kadar geçen süre, geçiş süresidir. Bu süre yukarıdaki beş sürenin toplamından oluşur. Sözkonusu geçiş süresi şu şekilde formüle edilebilir:

Geçiş Süresi = Değer Katılan Süre + Değer Katılmayan Süre veya

Geçiş Süresi = Üretim Süresi + Değer Katılmayan Süre

JIT üretim sisteminin uygulanabilmesi için toplam süre içindeki işleme süresinin artırılması; kontrol, taşıma, bekleme ve depolama sürelerinin kısaltılmaları gerekir.

JIT üretim sisteminin özellikleri şu şekilde sıralanabilir(Acar, 1995, s.55) :

- Operasyon sırasına göre dizilmiş makinalar
- Küçük ve ucuz teçhizat
- Tek parça akış üretimi
- Çok yönlü işgücü
- Kolay devreye alınabilen/çıkartılabilen operasyonlar
- U tipi hücresel yerleşim planları

- Tanımlı standart operasyonlar .

### 1.3 Optimum Üretim Teknolojisi

Optimum Üretim teknolojileri (OPT), kaynakların organizasyondaki akışını en iyilemek amacı ile tasarlanmıştır. Kapasite sınırlarından dolayı ardışık aşamalarında çalışılmayacak proseslerin bazı aşamalarında iş üretmeyerek, üretim prosesinin bilinen kısıtları ile girdilerin kontrolü sayesinde, iş stok miktarını düşürecektir. Buna göre, darboğazlar ara çıktı ve stok seviyelerini belirleyici faktör olarak ortaya çıkacaktır. İşletmeler kapasiteyi değil, malzeme akışlarını dengelemek zorundadırlar. Bunun sonuçlarından biri, kontrol ve yatırım maliyetlerindeki problemler ile stokların azalması olacaktır.

OPT, üretimin her safhasında çıktıları kontrol ederek, en büyük getiriye elde etmeyi amaçlayan imalata yönelik bir darboğaz yönetim sistemidir. OPT'nin ana felsefesi, üretim akışında darboğaz yaratan işlem veya işlemleri tespit etmek, daha sonra darboğaz oluşturan işlem veya işlemler üzerine odaklanmaktır. OPT bu felsefesi ile MRP ve JIT tabanlı üretim yönetimi yaklaşımlarından farklıdır.

OPT yaklaşımının uzun vadeli etkilerinden birisi parti büyüklüklerinin türetilmesinde değişim yaratmasıdır. Geleneksel yaklaşımlar hazırlık zamanlarındaki kayıpları, ya da daha genel olarak işlemdeki en uzun hazırlığın neden olduğu kayıp zamanı dikkate alırken, OPT yalnızca darboğazlarda zaman kaybı olduğunu kabul eder ve buna göre de diğer aşamalarda artık kapasiteler vardır. Böylece parti büyüklükleri aslında darboğaz yaratan işleme göre hesaplanır. Darboğazlardaki optimal parti büyüklükleri prosesteki verimli işleyen diğer yerlere aktarılamayacağından, işin hareketi, büyüklükleri talep ve program sınırlamalarına bağlı olan, genellikle küçük transfer partileri ile yönetilir. Gerçekte, parti büyüklükleri işlem boyunca sabit kalmaz ve stoklar darboğazlardan sonra oluşur.

OPT, özünde darboğazlar üzerinde odaklanan kapsamlı bir bilgi işleme dayalı bir çizelgeleme sistemidir. Darboğazların çizelgelenmesinde en iyiye yaklaşan algoritma Eliyahu Goldratt tarafından ortaya koyulmuştur .

OPT, bir teknik olduğu kadar, bir felsefe olarak da düşünülme zorundadır. OPT, genel olarak üretim prosesindeki darboğazlar üzerine yoğunlaşma felsefesine sahiptir. Bu felsefenin iki ana unsuru vardır. İlki sistemin mantıksal işleyişi, ikincisi ise sistemi destekleyen paket programdır(Hill, 1991, s.67).

Bir felsefe olarak OPT, iş merkezlerindeki darboğazları dikkate alır ve bunları çıktılarını maksimize etmek amacı ile verimli ve sıkı bir şekilde çizelgeler. Bir sistemin çıktısı, sistem içindeki darboğazlarla (kapasite kısıtlarıyla) kısıtlanmış durumdadır. Bu tür bir sistem üzerinde kaynak kullanımını maksimize etmeye çalışan bir politika, sistem içinde bazı aşamaların kaynak kısıtlamaları yüzünden başka aşamalarda işlenemeyecek yarı ürünü üretmesine neden olur. Bunun sonucu da sistem içi stokların (Work In Process-WIP) artışı olacaktır. Belirli bir kaynak kümesinden en fazla faydayı elde etmeyi amaçlayan OPT felsefesi ise, söz konusu kaynakların kullanım oranını değil, sistem içindeki tüm kaynak akışlarını maksimize etmeye çalışır.

Bir teknoloji olarak OPT, çıktıyı maksimize eden ve aynı zamanda müşteri teslim tarihleri, iş akışları, ekonomik parti büyüklükleri, hazırlık zaman ve maliyetleri, sistem içi stok değeri ve iş merkezleri kapasiteleri gibi birden fazla kısıtı da göz önünde bulunduran gelişmiş bir matematiksel programlama algoritması kullanmaktadır. Söz konusu algoritma İsrail’de Eliyahu Goldratt tarafından geliştirmiştir.

OPT, MRP II için gerekli olan veri tabanının benzerini kullanmaktadır; ancak OPT her parçanın iş merkezlerindeki akışı, kapasite bilgileri, hem makine hem de işgücü için hazırlık ve birim akış zamanlarını içeren daha detaylı bir modele ihtiyaç duyar. OPT, verimliliği artırmak amacıyla çeşitli alanlarda kullanılabilir. OPT’yi yalnızca bir üretim planlama aracı olarak değil, üretim işlemlerinin benzetimini, analizini ve optimizasyonunu yapan analitik bir teknik olarak da değerlendirmek mümkündür. Yönetimin OPT’yi kullanma amaçları üç grupta toplanabilir:

1. İş yükünün değiştirilmesinin yaratacağı etkiyi saptayabilmek ve çıktı, stok ve üretim maliyetlerini incelemek
2. Kaynak ekleme ve çıkarma ile üretim kapasitesinin değiştirilmesinin ortaya çıkaracağı sonuçları belirleyebilmek
3. Yönetim politikalarını değiştirerek bunların işlem performansları üzerinde yaratacağı etkileri belirleyebilmek

Genel olarak OPT, uzun üretim zamanları ve yüksek miktarda girdisi bulunan firmalarda iyi sonuçlar vermektedir. OPT’u kurmak için gereken meblağ birkaç yüz bin doları bulmaktadır; ancak doğru uygulandığı takdirde maliyet azaltıcı bir etkiye sahiptir.

OPT'u geliştirenler, onun açıkça MRP II'den üstün olduğunu söylemektedirler; ancak OPT'u MRP'nin yerini alacak bir felsefe olarak değil, sadece bütünleşik MRP II sisteminin kapasite planlama ve iş yükleme modülleri üzerinde yapılan bir geliştirme olarak değerlendirmek gerekir.

Senkronize Üretim Tekniğinin yazılıma dönüştürülmüş hali olarak da adlandırılan OPT hakkında yukarıda anlatılanlar özetlendiğinde:

1. Optimize üretim teknolojisi Dr. Eliyahu Goldratt önderliğinde dört İsrailiden oluşan bir grubun çalışmasına dayalı bir üretim planlama ve denetim sistemidir.

2. Ticari bir yazılım olması nedeniyle OPT hakkındaki bilgi oldukça sınırlıdır. Ancak matematiksel programlama, şebeke teknikleri ve simülasyon kullanıldığı sanılmaktadır(Stevenson, 1986, s. 610)

3. Üretim sistemlerinin amacının para kazanmak olduğu varsayımına dayanır.

4. Üretimde bağımlı olayların ve istatistiksel dalgalanmaların olduğunu kabul eder.

5. Üretim tesislerinde kapasitenin dengesiz olduğunu ve bu nedenle bir takım dar boğazların varlığını kabul eder.

6. Çıktının arttırılmasını amaçlamakta , maliyetleri gözönüne almamaktadır.

7. Sabit bir ürün karması üreten veya önceden belirlenmiş teslim tarihlerine cevap veren , yada her iki şekilde faaliyet gösteren sistemlere uygulanabilir.

8. OPT ile modellenen kaynaklar, işgücü ve makinalardan oluşmaktadır.

9. OPT simülasyon yöntemi bir malzeme ihtiyaç planlaması sistemiyle bütünleştirilebilmektedir(Üreten, 1998, s. 305).

OPT yazılımı gerçekleştirenler, sistemin, kritik kaynakların kullanımının maksimizasyonu, toplam çıktının maksimizasyonu, yarı mamül stoklarının minimizasyonu ve üretim sürelerinin minimizasyonu şeklinde dört amaca aynı anda ulaşmayı hedeflemişlerdir(Aggarwal ve Aggarwal, 1998, s. 30).

## 2.BÖLÜM : KISITLAR TEORİSİ

Kökenini OPT'den alan ve Eliyahu GOLDRATT tarafından geliştirilen ve başlangıçta atölyeler için geliştirilmiş basit bir yazılım olan Kısıtlar Teorisi de bu yaklaşımlardan biridir. Kısıtlar Teorisi, işletmeler için yeni metotlar, ölçümlene ve düşünce süreçleri içeren yeni bir perspektif sunmuştur(Köksal, 2004, s.5010).

Üretim ile ilgili yeni yöntem ve tanımların üretim sürecinde kullanılması ile beraber bir çok tanım, yaklaşım ve metodoloji geliştirilmiştir. Bir süre sonra bu yöntemlerin bir kısmı birer kesin doğru olarak kabul edilmiş ve doğruluğundan şüphe duyulmaz bir şekilde ele alınmaya başlanmıştır. Bu durumda işletmeler üzerinde durmaları gereken veya önem vermeleri gereken birçok yeni tanım ve kavramla tanışmışlardır. Kimi işletmeler için düşük maliyetli alımlar bir amaç iken başka işletmeler için vasıflı insanların istihdam edilmesi, gelişkin teknoloji, üretim, kaliteli malların üretimi, kaliteli malların satışı, pazar payı, müşteri memnuniyeti birer amaç haline gelmiştir. Firmaların bu kadar amacının olması asıl amaçlarının ne olduğu konusunda bir süre sonra çeşitli karışıklıklar yaratmıştır. Diğer taraftan 70'li yıllardan sonra geliştirilen ve kaynağını yukarıda saydığımız yöntemlerden alan ve değiştirilemez olarak görülen yaklaşımların sonucu olarak işletmeler zarar etmeye başlamış ve bu durumun kaynağının ne olduğu ile ilgili ciddi araştırmalar yapılmıştır.

Böyle bir ortamda ortaya çıkan Goldratt klasik olarak kullanılan ve doğruluğu tartışılmayan birçok kavramı karşısına alarak ve tamamen sağduyu üzerine kurulu, üretim sürecinin kontrolünü kolaylaştıran felsefi temeli olan bir yöntem öne sürmüştür(Blackstone ve diğerleri, 1997, s.602). Kısıtlı kaynağın kullanılabilir kapasitesinden ve ürün karışımına göre kullanım oranlarından yaralanan sistematik bir yaklaşım geliştirmiştir(Kirshe ve Srivastava, 2005, s.1687). Bu yöntem temel olarak üç performans ölçüsüne dayanır: Akış, envanter ve işletme giderleri. Goldratt, işletmedeki her türlü etkinliği bu üç ölçüyle açıklayan bir yapı oluşturmuştur. Burada akış sistemin satışlar yoluyla yarattığı veya kazandığı para, envanter sistemin satmak için satın aldıklarına yatırdığı paranın toplamı, işletme giderleri ise sistemin envanteri akışa dönüştürmek için yatırdığı paranın toplamıdır. Amaç, işletme giderleri ve envanteri düşük tutup çıktıyı(Throughput) yükseltmektir (Goldratt, 1986, s. 84).

Kısıtlar Teorisi, temelde doğru olarak kabul edilen maliyet muhasebesi, kapasite dengeleme gibi yöntemleri yeni bir bakış açısı ile tanımlamış ve üretimde kullanılan birçok tanımı yeniden yapmıştır. Örneğin maliyet muhasebesi dönem sonu karlılığı hesaplarken, bitmiş ancak henüz satılmamış ürünleri işletmenin kazancına dahil etmez ve maliyetleri de

etkilemeyecek bir şekilde hesaplar. Stok hesabında kalan bu ürünler sonraki döneme aktarılır. Kısıtlar Teorisi ise bunları envanter olarak değerlendirir ve işletmenin karını yani çıktısını azaltan bir faktör olarak algılar. Yine işletmenin tüm giderlerini birbirinden ayırmaksızın işletme gideri olarak değerlendirir.

İşletmelerde üretim miktarını yani talebi belirleyen pazardır(Umble ve Srikanth, 1990, s.82). Yöneticiler çoğunlukla makinaların kapasitelerini talebe göre dengeleme çabası içindedirler. Oysa böyle bir dengeleme gerçekçi olmaktan uzaktır. Her üretim sürecinde mutlaka bir kısıtlı kaynak vardır. Diğer taraftan, makinalardaki bozulmalar, hazırlık zamanları, çalışanlardan kaynaklı sorunlar vb. bir çok faktör sürecin düzenli akmasını engelleyecektir. Her mekanizmada olduğu gibi üretim süreci de en zayıf halkasına göre çalışır. Üretim miktarı en zayıf kaynağın veya makinanın kapasitesi tarafından belirlenir. Sürecin hızını belirleyen darboğaz oluşturan kaynaktır. Pazar talebini karşılamak için darboğaz oluşturan kaynak yerine tüm makinaların kapasitelerini dengelemek süreç içinde bir çok ara stok birikmesine neden olur. Bunun sonucunda envanter artar ve işletme amacından uzaklaşır.

Kısıtlar teorisinin temel çıkış noktalarının anlatıldığı Goldratt'ın Amaç kitabında firmayı amacına yakınlaştıran eylemler üretken olarak, firmayı amacından uzaklaştıran eylemler üretken olmayan faaliyetler olarak tanımlanmaktadır. Goldratt, işletmenin her aşamasında kısıtlar arayarak, bunları kullanma üzerine yoğunlaşan bir yaklaşım ortaya koymuştur(Gupta ve diğerleri, 2002, s.908).

## 2.1 Kısıt Kavramı

Bir işletme açısından amaçlara ulaşmayı engelleyen her unsur bir kısıttır. Doğal olarak her işletme mutlaka bir veya birden çok kısıta sahiptir. Bu kısıt bazen pazar iken bazen hammadde bazen de yöneticilerin kendi fikirleri veya yaklaşımları olabilir. Çeşitlilik göstermekle birlikte kısıtlar başlıca şu şekilde sınıflandırılabilir:

**a) Pazar kısıtları:** Bu kısıt günümüz işletmelerinin karşılaştıkları en önemli kısıtlardan biridir(Umble ve Srikanth, 1990, s.81). İşletmeler ürettikleri malları satabilmek için onların ürünlerine ihtiyaç duyan bir pazar bulmak zorundadırlar. Zaman içerisinde üreticiler ürettiklerini satmak yerine satabileceklerini üretmek şeklinde işletmelerini yeniden organize etmişlerdir. Bu durum bile tek başına bu kısıtın ne kadar önemli olduğunu göstermektedir(Dettmer, 1997, s.81).

Talebi ve dolayısı ile üretim miktarını belirleyen pazardır. Bunun yanı sıra pazar, firmaların üretim miktarlarını, rekabetçi fiyatlarını, kalite standartlarını ve üretim sürelerini dahi belirlemektedir(Umble ve Srikanth, 1990, s.82).

**b) Kapasite kısıtları:** Bu kısıt, belli bir kaynağın üretim süreci içerisinde piyasadan gelen talebi karşılamada yetersiz kalması durumunda ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, işletmenin üretim süreci bozulmakta, siparişlere yetişememekte ve dolayısıyla satış gelirlerinin azalması yoluyla akış azalmaktadır(Dettmer, 1997, s.83).

Kapasite kısıtının ortaya çıkması başlıca iki şekilde olmaktadır. Birincisi hammadde veya ara ürünlerin kaynağa yeterli derecede ulaşamaması ile ortaya çıkan beslenememe durumudur. İkincisi ise, kaynağın kullanılabilir kapasitesinin düşüklüğünden oluşan yetersiz kapasitedir.

Üretim sürecindeki tüm işlemler Kapasite Kısıtlı Kaynak (KKK) ile kapasite kısıtı olmayan kaynaklar arasında gerçekleşir. Kapasite Kısıtlı Kaynak, kapasitesi var olan piyasa talebinden küçük veya eşit olan kaynaktır. Kapasite kısıtlı olmayan kaynaklar ise kapasitesi pazarın yarattığı talepten büyük olan kaynaklardır(Umble ve Srikanth, 1990, s.83).

**c) Yönetimsel kısıtlar:** Bu kısıt diğer kısıtlara göre düzeltilmesi en zor kısıtlardan biridir. Şirket yöneticilerinin işletmelerle ilgili aldığı olumsuz kararlar ve politikalar bu kısıtı oluşturmaktadır. Çoğu durumda yönetimsel bir kısıt ortadan kaldırılmak istendiğinde şiddetli bir dirençle karşılaşılır. İnsanlar yeni olan her şeye temkinli yaklaşır ve mevcut durumun devamından yana tavır gösterirler(Dettmer, 1997, s.85).

Yöneticilerin değişimden yana tavır almaları da yönetimsel kısıtların olmadığı anlamına gelmez. Alınan yeni kararların etkisi ile bu kısıtın devamı iki şekilde olmaktadır. Birincisi, alınan yeni kararların sistemin çıktısına direk etkide bulunmayan iyileştirmeler şeklinde olmasıdır. Örneğin kısıt olmayan bir kaynaktaki kapasite artışı gibi. İkinci olarak alınan kararlar sistemde yeni bir kısıtın oluşmasına neden olabilmektedir. Örneğin kısıt olmayan bir makinanın kapasitesinin artırılması sonucu, o makinadan çıkan ürünleri işleyen ve önceki durumda kısıt olmayan bir makinanın kısıt haline gelmesi(Umble ve Srikanth, 1990, s.85). Bir çok durumda fiziksel kısıtların (kapasite kısıtları, hammadde kısıtları vb.) sebebinin fiziksel olmayan yönetimsel kısıtlardan kaynaklandığı tespit edilmiştir(Chaudhari ve Mukhopadhyay, 2003, s.799).

**d) Hammadde ve malzeme kısıtları:** İşletmelerin üretim için gereksinim duydukları hammadde ve malzeme ile ilgili bir kısıttır. Kuşkusuz hammadde olmadan üretim devam edemez(Umble ve Srikanth, 1990, s.82). İşletmeler üretim için ihtiyaç duydukları hammaddenin bir kısmını kendileri üretiyor olabilirler. Ancak bir çok işletme hammadde ve malzeme ihtiyacını tedarikçilerinden karşılamaktadırlar. Bu tedarik sırasında ortaya çıkacak sorunlar üretimi engellediği gibi işletmenin üretim akışını ciddi bir şekilde sekteye uğratır(Dettmer, 1997, s.82).

Üretim sürecinde ortaya çıkan malzeme kısıtları eğer işletmenin ürün yelpazesi genişse, birçok zaman, eksikliği duyulan parçaların “çalınması” ile sonuçlanır. Burada çalınma kavramı, ana üretim planında başka bir ürünün üretilmesi için ayrılmış parçanın, ihtiyaç duyulduğunda üretim planından bağımsız olarak başka bir ürünün üretilmesinde kullanılması olarak tanımlanmıştır. Böylece, üretim planında başka bir ürün için ayrılmış olan parçalar kullanılarak üretime devam edilir(Umble ve Srikanth, 1990, s.83).

**e) Lojistik kısıtlar:** İşletmeler ihtiyaç duyulan hammaddeleri üretim sahasına taşırken veya bitmiş son ürünleri pazarlarına ulaştırırken karşılaşılabilecek sorunlar işletmenin üretim akışını bozabileceği gibi teslimatları zamanında yapamamaktan kaynaklı sıkıntılar yaşanabilir. Bu da işletme için ciddi bir ekonomik kayıp ve imaj zedeleyici bir durumdur(Dettmer, 1997, s.84).

Lojistik kısıtlar, imalat işletmelerinin kaçınılmaz olarak karşılaşılabileceği bir kısıttır. Özellikle dağıtım ağı birden fazla bölge yada ülkeyi kapsadığında bu kısıt daha da açık bir şekilde ortaya çıkar. Bu durumda bitmiş ürünlerin pazara ulaşması ile ilgili sıkıntı yaşanacağından işletmenin satışları doğrudan etkilenecek ve çıktı azalacaktır. Benzer şekilde hammaddelerin üretim sahasına ulaşması, üretimin başlaması için en temel koşuldur(Umble ve Srikanth, 1990, s.84).

## **2.2 Kısıtlar Teorisinin Temel İlkeleri**

Goldratt, geleneksel olarak kullanılan, çağdaş imalat ve üretim yöneticileri tarafından doğru olarak kabul edilen işletme kaynakları kapasitelerinin pazarın talebine göre dengelenmesi ilkesinin yanlış olduğunu vurgulayarak akışı pazarın talebine göre dengelenmesi gerektiğini ileri süren 9 ilke ortaya koymuştur. Bu 9 ilke aynı zamanda OPT'yi açıklamakta kullanılan ilkelerdir.



## **1. Kapasiteyi değil akışı dengeleyin(Umble ve Srikanth, 1990, s.64).**

Tesis içindeki akış pazar talebiyle eşit olmalıdır. Sıklıkla yöneticiler makinaların kapasite kullanım oranlarıyla ilgilenirler ve değişkenliklerden doğan bozulmaları görmezlikten gelirler. Kısıt olmayan makinalarda değişkenlikten doğacak aksamalara karşı her zaman aylak bir kapasite vardır. Ancak kısıtlı kaynakların kullanımı direk sistemin akışını belirlediğinden ve kısıtlı kaynakların fazladan kullanılacak bir kapasiteleri olmadığından bu tür kaynakların sürekli aktif kullanılmaları sağlanmalıdır.

Akışın düzenli olarak sağlanabilmesi için kısıtlı kaynağın çalışmamasına neden olabilecek işçi devamsızlığı, hazırlık süreleri, iş için gerekli eğitimin alınmamış olması, bozuk malzemelerin kullanımı, eksik takım veya aletlerin varlığı gibi sorunların çözülmesi gerekir. Kısıtlı makine durduğunda akışın sağlanması için mümkün olan en kısa sürede çalıştırılması gerekir.

Akışın durmasının bir başka sebebi kısıtlı kaynağın beslenememesidir. İşleme zamanlarındaki değişkenlikten dolayı özellikle değişkenliği tamponlayabilmek için çok az miktarda süreç içi envanter varsa kısıt işleyecek parça bulamaz ve bu durumda beslenme ortaya çıkar.

Başka bir durum ise kısıt çalışmaktadır, işleyecek hammadde de vardır ancak işlediklerini koyabileceği bir yer bulamamaktadır. Bu durum kısıtın engellenmesi olarak adlandırılır.

Sonuç olarak, işletmenin üretim hızını yani akışı belirleyen kısıtlı kaynağın performansıdır. Bu performansı engelleyen tüm durumlar ortadan kaldırılmalıdır. Kapasite kullanım oranlarının taleple dengelenmesi, süreç içerisinde birçok ara ürün oluşturacak, bu da envanteri arttıracığından işletme amacından uzaklaşacaktır.

Pazar talebi ile dengelenmesi gereken akıştır, kapasite kullanım oranı değildir.

## **2. Kısıtlar, darboğaz olmayan kaynakların kullanımını belirler(Umble ve Srikanth, 1990, s.73).**

Darboğaz olmayan makinanın kullanım oranı darboğazın kullanım oranı tarafından belirlenir. 7 gün 24 saat boyunca üretim yapan fakat sınırlı pazar talebine sahip olan işletmenin fazladan oluşturduğu bitmiş ürün envanterini depolamak için yeni bir ambar kiralamak zorunda kalması gibi. İşletme giderleri ve envanter artmıştır, çıktıda ise artış olmamıştır. Kısıtlar teorisi

ekipmanın yavaşlatılmasını veya bir süre kapatılmasını tavsiye edecektir. Böylece tesisin çıktısı pazar talebine eşitlenecektir. Bununla beraber, eğer kapama ve açma maliyetleri çok yüksek ise bu ekipmanın tamamıyla kapatılmasını engelleyecektir. Başka bir alternatif ise tesisin çıktısını ve ortalama envanter çevrimini azaltarak köklü değişikliklere daha fazla zaman harcamaktır.

**3. Bir kaynağın harekete geçirilmesi ve kullanılması eş anlamlı değildir**(Umble ve Srikanth, 1990, s.74).

Bir makinanın harekete geçirilmesi, parçaları işlemekte kullanılması iken makinanın kullanılması, o parçaların sadece çıktıya dönüştürülebileceği zaman işlenilmesi anlamına gelmektedir.

Daha başka bir ifadeyle bir makinanın çalışması eğer çıktıda(throughput) bir artışa neden oluyorsa o makine *kullanılıyor*, eğer makinanın çalışması çıktıda herhangi bir artışa neden olmuyorsa o makine sadece *harekete geçirilmiştir*.

Yukarıda anlatılan birinci ilkeye bağlı olarak bir makinanın kullanım oranının, kısıtlı makinanın kullanım oranı kadar olan kısmı verimlidir ve bu üretimi sırasında makine kullanılıyor. Makinanın, kısıtlı işleyebileceği miktarın üzerindeki her kullanımda o makine sadece harekete geçirilmiş olmaktadır.

**4. Darboğazda bir saat kayıp tüm sistem için bir saat kayıp demektir**(Umble ve Srikanth, 1990, s.68).

Bu kural 1. Kuralın paralelindedir, onu genişletir ve yöneticilere darboğazdaki tüm faaliyetlere odaklanmaları konusunda yardımcı olur. Örneğin, operatörler öğle yemeği yerken darboğaz çalışır halde tutmak mümkün müdür? Eğer değilse diğer işçiler darboğaz makineyi kullanabilecek şekilde eğitilmelidir, bu sayede darboğaz makine hiçbir zaman gereksiz biçimde aylak kalmaz. Unutulmamalıdır ki darboğazın her bir birim kaybı , sistemin bir birim kaybı anlamına gelmektedir.

**5. Darboğaz olmayanda bir saat kazanç sadece seraptır**(Umble ve Srikanth, 1990, s.68).

Çıktı, darboğaz olmayanda oluşturulan tasarruflarla arttırılmaz. Bu nedenle yöneticiler iyileştirme çabalarını mutlaka darboğaz olan kaynaklarda yoğunlaştırmalıdır. Darboğazda harcanan zaman hazırlık süresi ve işleme süresinden oluşurken, darboğaz olmayanda harcanan *zaman*, hazırlık süresi, işleme süresi ve aylak zamanı içerir. Bir darboğazda hazırlık *zamanını* azaltmak tüm sistem için zaman kazanmak anlamına gelir.

Diğer yandan bir darboğaz olmayanda zamanı azaltmak sadece aylak zamanı artırır. Tabi ki hazırlık süresi azaltılırsa darboğaz olmayan kaynaktaki parti büyüklükleri ve ortalama envanter çevrimleri azaltılabilir. Fakat darboğazdaki hazırlık sürelerinin azaltılmasından sağlanacak kazanç açıkça daha büyük olacaktır.

**6. Darboğaz, sistemdeki çıktı ve envanteri yönetir**(Umble ve Srikanth, 1990, s.73).

Sistemin çıktısını belirleyen kısıtlı kaynaktır. Kısıtlı kaynağın sürekli aktif olması sağlanmalıdır. Kısıtlı olmayan kaynaklar da envanteri artırmamak için kısıtlı kaynakla senkronize bir biçimde çalışmalıdırlar. Böylece kısıtlı kaynak sadece sistemin çıktısını değil, kısıtlı olmayan kaynaklarında çalışmasını belirler(Goldratt ve Fox, 1986, 108). Bu aynı zaman da sistemin içerisindeki envanter miktarı anlamına gelir. Böylelikle, kısıt sistemin hem çıktısını yani kazandığı parayı hem de sistem içerisindeki envanter miktarını belirlemiş olmaktadır.

**7. Aktarma partisi büyüklüğü mutlaka süreç partisi büyüklüğüne eşit olmak zorunda değildir**(Umble ve Srikanth, 1990, s.116).

Darboğazın önündeki darboğaz olmayan bir kaynakta büyük bir partinin çalışıldığı düşünülün. Eğer bir an darboğaz işlenecek *parçaya* gereksinim duyarsa, darboğaz olmayan, partiyi işlemeye devam ederken, partinin bir parçasının darboğaz tarafından işlenmeye başlanması arzu edilir.

**8. Süreç partisi büyüklüğü sabit değil değişkendir**(Umble ve Srikanth, 1990, s.119).

Genelde darboğazlardaki parti büyüklükleri darboğaz olmayanlardakinden daha büyük olmalıdır. Bu sayede hazırlık sürelerine bağlı olarak oluşan zaman kaybı azalır. Tabi ki darboğaz olmayanlardan gelen küçük partiler, darboğaza, daha büyük bir parti oluşturmak üzere zamanında ulaşmalıdır. En iyi parti büyüklüklerini belirlemek ve onları çizelgelemek karmaşık hesaplamalar gerektirir.

**9. Yerel optimumların toplamı, tüm sistemin optimumuna eşit değildir**(Dettmer, 1997, s.12-14).

Tüm bölümler kendi amaçları doğrultusunda optimizasyon yaparlar. Ustabaşılar ekipmanlarını tam kapasite ile çalıştırmak isterken, satış personeli de satış miktarını artırarak alacakları prim miktarını artırmaya çalışmaktadır. Bu yüzden işletmede problemler doğabilir. Her bölüm kendi amacını değil, işletmenin amacını optimize etmek için çalışmalıdır.

### 2.3. Kısıtlar Teorisinin 5 Adımı

Yukarıda anlatılan 9 ilke ve yapılan tanımların ışığında Kısıtlar Teorisi sürekli iyileşmeyi sağlayan beş adımlık bir algoritma ileri sürer.

#### 1.Adım: Sistemin kısıtlarının belirlenmesi

Sistemin kısıtları belirlenirken öncelikle her kaynağın kapasitesinin hesaplanması gerekir. Daha sonra yapılması gereken kapasitenin üzerindeki yükleri hesaplamaktır. Çünkü kaynağın kısıt olup olmadığı ancak kapasitenin pazar talebi karşısındaki durumu ile ilgilidir. Pazar talebi kaynağın kapasitesinden büyük ise kaynak darboğaz yani kısıttır(Lubbe ve Finch, 1992, s.1473).

*Kısıtlı kaynak*, kapasitesi pazar talebine eşit veya pazar talebinden küçük kaynak, *Kısıt olmayan kaynak*, kapasitesi pazar talebinden büyük kaynaktır(Umble ve Srikanth, 1990, s.65).

#### 2.Adım: Sistemin kısıtlarından nasıl yararlanılabileceğinin kararlaştırılması

Bu aşamada amaç kısıtın en iyi nasıl kullanılabileceğinin belirlenmesidir. Dolayısıyla yapılması gereken, o kısıtı kullanan tüm ürünlerin azami karlılığının hesaplanmasıdır. Böylece hangi ürünlerin o kaynağı daha çok kullanması gerektiğine karar vermek kolaylaşacaktır.

Her Bir Ürün İçin Çıktı = Satış Fiyatı-Hammadde Maliyeti

Bu aşamadan sonra, artık o kaynakta hangi üründen ne kadar üretilmesi gerektiği açığa kavuşur. Karlılığı büyükten küçüğe doğru sıralamak kaydıyla darboğazın kapasitesi dolana kadar üretilecek ürün yüklemesi yapılır. Böylece hangi üründen ne kadar üretileceği belirlenmiş olur. Bu aşama ürün karmasının belirlendiği aşamadır. Bu durumla aslında işletmemizdeki çıktı yani işletmemizin satışlar yoluyla kazanacağı para da belirlenmiş olur. Çünkü tekrarlamak gerekirse Kısıtlar Teorisi'ne göre darboğazlı kaynağın çıktı miktarı sistemin çıktısına eşittir. Bu durumda net kar :

Net kar= Çıktı(Throughput)-İşletme Giderleri(Operating Expence)(Goldratt ve Fox, 1986, s.29-33)

Her ürün için bu değer hesaplandıktan sonra, kısıtlı kaynağın o ürün için harcadığı zamana bakılır.

(Her bir ürün için çıktı) / (Kısıtlı kaynağın o ürün için harcadığı zaman) oranı büyükten küçüğe doğru sıralandığında üretilen ürün karması da belirlenmiş olur(Fredendall ve Lea, 1997, s.1536).

Üretim sürecinde var olan kısıt veya kısıtlar, hangi üründen ne kadar üretmemiz gerektiği ve sonuçta işletmenin ne kadar para kazanacağı bilgilerini vermiştir.

### **3.Adım: Tüm diğer şeylerin 2.Adımda belirlenen karara bağlanması**

Kısıtın kaynakla ilgili bir ve ikinci adımdan sonra artık sistemdeki her türlü durumu verilen karara bağlamak gerekir. Bu anlamda, sistemde kısıt olmayan hiçbir kaynak gereğinden fazla çalışmamalıdır. Diğer taraftan (maliyet muhasebesi ilkelerine uymak adına) kaynakların boş durmasını engellemek için sisteme hammadde veya malzeme verilmemesi gerekir.

Bu adımın temel amacı kısıt dışındaki tüm olayların kısıtın işleyişine bağlı olarak ondan yararlanma eylemini garantiye almaktır. Bu durum, siparişlerin satış merkezlerine ulaştırılması, hammadde satın alımı, diğer tüm iş merkezlerinin ayarlanması vb. kararları içerir. Sadece kısıtı çalışır halde tutmak değil, aynı zamanda doğru kararlar ve doğru eylemlerle diğer iş merkezlerinde çıktının azalması, envanter yığılması ve işlem giderlerini arttıracak durumlardan kaçınılması için gerekli çalışmalar yapılır(Lubbe ve Finch, 1992, s.1475).

### **4.Adım: Sistemin kısıtlarının ortadan kaldırılması**

Sistemdeki kısıt(lar) sonraki bölümlerde de anlatılacak olan yöntemlerle kısıt olmaktan çıkartılır.

### **5.Adım: Eğer önceki adımlarda bir kısıt kalkarsa adım 1'e geri dön. Ataletin kısıt haline gelmesine izin verme**

Eğer sistemdeki kısıt varlığını sürdürüyorsa adım 2'ye dönülüp gerekli çalışmalar yeniden yapılmalıdır. Eğer kısıt ortadan kalkmışsa sistemde yeni kısıtlar aranmalı ataletin bir kısıt olmasına izin verilmemelidir(R. Luebbe ve B. Finch, 1992, s.1476).

## **2.4. Kısıtlar Teorisinin Performans Ölçüleri ve Ana Kavramlar**

Kısıtlar Teorisi tarafından geleneksel maliyet muhasebesi yöntemlerinin yerine bir dizi ek global performans ölçüleri önerilmiştir. Bu ölçüler, net kar, yatırımın geri dönüş oranı ve

nakit akışı olarak başlangıçta tanımlanan performans ölçülerini destekleyerek işletmenin amacını desteklemektedirler.

Kısıtlar Teorisinde bir işletmenin performans ölçüleri aşağıda sıralanmıştır:

1. Çıktı (Throughput)
2. Envanter(Inventory)
3. İşletme Giderleri (Operating Expenses)
4. Gecikme Zamanı (Lead Time)
5. Kalite (Quality)
6. Teslim Tarihi Performansı (Due Date Performance)(Pass ve Ronen, 2003, s.715)

Bu ölçülerin tanımlarını Goldratt ve Fox (1986) şu şekilde yapmışlardır:

**Çıktı (Throughput):** Sistemin satışlar yoluyla ürettiği, kazandığı paradır. Üretim yönetimi yaklaşımlarında genel olarak çıktı üretilen hizmet veya ürün olarak tanımlanır. Ancak kısıtlar teorisinde çıktı, sistemin satışlar yoluyla elde ettiği paradır, ürünün kendisi değildir(Umble ve Srikanth, 1990, s.65). Bu bakış açısıyla, üretilmiş ve depolarda son kullanıcıya satılmayı bekleyen ürünler çıktı değildir envanterdir, ne zaman ki bu ürünler satılıp paraya dönüşürse o zaman çıktı halini alır. İşletmeler üretimle değil satışla para kazanırlar.

Tek Parça İçin Çıktı = Satış Fiyatı - Hammadde Harcaması(Chaudhari ve Mukhopadhyay, 2003, s.800; Souren ve diğerleri, 2005, s.363).

Çıktının maksimum olması işletmenin başarı ölçüleri arasında birinci sıradadır ve bu değer mümkün olduğunca yüksek tutulmalıdır(Goldratt ve Fox, 1986, s.29-31).

**Envanter (Inventory):** Sistemin satmayı tasarladığı şeyleri üretmek için gereksinim duyduğu şeyleri satın almak için harcadığı paranın tümüdür(Goldratt ve Fox, 1986, s.29).

Sistemin satmaya çalıştığı şeylere yatırım yaptığı para miktarıdır. Bunlar yerleşim, bilgi ve malzeme olabilir. Böyle bir tanım işçilik ve genel giderlerin katma değerlerini dışarıda bırakma yönüyle geleneksel tanımlardan farklıdır. Kısıtlar teorisindeki envanter tanımı; yerleşim, araçlar ve satın alınmış malzemeler gibi üretim için kullanılan bütün kaynakları içermektedir. Genel üretim giderleri ve doğrudan işçilik maliyetleri envanter

maliyeti içinde hesaplanmaz. Envanter değeri, sadece dış satıcılardan alınan ve ürünün üretilmesi sırasında kullanılan bileşenlerin maliyetinden oluşur.

**İşletme Gideri (Operating Expense):** Sistemin envanteri çıktıya dönüştürmek için harcadığı paradır(Goldratt ve Fox, 1986, s.29).

Çıktı meydana getirmekle oluşan direkt değişken maliyetler haricinde bütün maliyetleri içermektedir. Fakat envanter satın alınması için harcanan parayı içermemektedir. Envanter satın alınması dışında kalan maliyetler olan direk işçilik maliyeti, envanteri çıktıya dönüştürmekte kullanılan tüm maliyetler işletme gideri olarak adlandırılır(Dettmer, 1997, s.16-17).

***Özete belirtirsek; çıktı sistemden kazanılan para; envanter sistem içerisinde yatırım yapılan para; işlem harcamaları sistem tarafından ödenen paradır.***

Bu tanımları kullanarak Goldratt ve Fox (1986) global performans ölçüleri arasında bir ilişki kurmuşlardır. Eğer çıktı artar, envanter ve işletme gideri azalır net kar, yatırımın geri dönüş oranı ve nakit akışı artar. Bunun tersi olarak eğer çıktı düşer, envanter ve işletme gideri artarsa, net kar, yatırımın geri dönüş oranı ve nakit akışı azalacaktır. Ayrıca, üretim yöneticileri verdikleri kararların çıktı, envanter düzeyleri ve işletme gideri üzerindeki etkisini, net kar, yatırımın geri dönüş oranı ve nakit akışı üzerindeki etkisinden daha kolay görebildiklerinden, bu performans ölçüleri yerel performans ölçüleri olarak da kullanılabilirler. Bu yüzden Kısıtlar Teorisi'nde işletme birimleri tarafından kullanılan global performans ölçüleri ile tek tek bireyler tarafından kullanılan yerel performans ölçüleri arasında bir bağ vardır. Bu bağ sayesinde, işletmenin yerel düzeyinde yapılan faaliyetler eğer önceki paragrafta tartışılan ilişkilerle uyumlu biçimde ise tüm işletmenin amaçlarını destekler.

Goldratt ve Fox'a (1986) göre geleneksel maliyet muhasebesi sisteminin başarısızlığı yerel olarak kullanılacak ve global performans ölçümlerini destekleyecek performans ölçüleri yaratamamasından kaynaklanmaktadır. Kısıtlar Teorisi, performans ölçüm sistemini geleneksel maliyet muhasebesi sistemi ile karşılaştırırken birkaç nokta göz önünde bulundurulmalıdır. Birincisi çıktı, sevkiyatlara veya endüstride yaygın olarak kullanılan ölçümlerden birine eşit olmaktan ziyade, son net satışlara eşittir. İkincisi geleneksel maliyet muhasebesinin aksine, envanter, temel bir maliyet kalemi yerine, hammadde maliyetinin içinde değerlendirilir. Kısıtlar Teorisi geri kalan tüm maliyetleri işletme gideri olarak görür. Örneğin, üretim süreci boyunca hareket ettiği için tüm genel giderler geleneksel olarak envanter biçiminde konumlandırılırken, Kısıtlar Teorisi'nde işletme gideri olarak düşünülür. Doğrudan

işçilik de işletme gideri olarak kabul edilir. Üçüncüsü, envanter ve işletme giderinin özel sonucu olarak çalışan maaşlarının maliyeti ile bilgisayar ya da zemin kaplama malzemesinin maliyeti arasında bir ayırım yoktur. Bu maliyet unsurlarının hepsi işletme gideri olarak görülür.

Örneğin, Kısıtlar Teorisi'nde bir tornalama atölyesinin şefi vereceği kararlarda kriter olarak çıktının artmasını, envanterin düşmesini veya işletme giderinin düşmesini göz önüne alacaktır. Eğer toplam sonuç pozitif ise faaliyete başlanacaktır, eğer toplam sonuç negatif ise o faaliyet gerçekleştirilmeyecektir. Tornalama bölümünde fazla mesai yapılmasına dair bir karar alınacağı varsayılınsın. Bu faaliyetin sonucunda işletme giderlerinin artacağı fakat envanterin etkilenmeyeceği belirlenmiş olsun. Kısıtlar Teorisi yaklaşımı kullanılırsa fazla mesai eğer çıktıyı (son satışlar) arttıırırsa yapılacaktır. Geleneksel maliyet muhasebesi yaklaşımında fazla mesainin yapılması işletme bütçesine bağlıdır.

Ek olarak Kısıtlar Teorisi'nde muhasebe ve performans ölçüleri değişir. Net kar, çıktı eksi işletme gideri olarak tanımlanır.

$$\text{Net Kar(NK)} = \text{Çıktı} - \text{İşletme Gideri}$$

Lockamy ve Spencer (1998) yaptıkları çalışmada envanterin net kar üzerinde doğrudan etkisi olmadığını fakat envanterin, çıktı ve işletme gideri (ek personel, yönetim veya işçilik maliyetleri olarak) üzerindeki etkisi yoluyla net karı etkilediğini belirtmişlerdir. Envanter sadece hammadde maliyeti olarak değerlendirilir ve hiçbir genel gider hesabı yoktur. Bölüme ait işletme giderleri hesaplanması envanteri çıktıya çevirmekle oluşan maliyetlerden oluşur.

Diğer tanımlar ise şu şekilde sıralanabilir:

$$\text{Yatırımın Geriye Dönüş Oranı} = (\text{Çıktı} - \text{İşletme gideri}) / \text{Envanter}$$

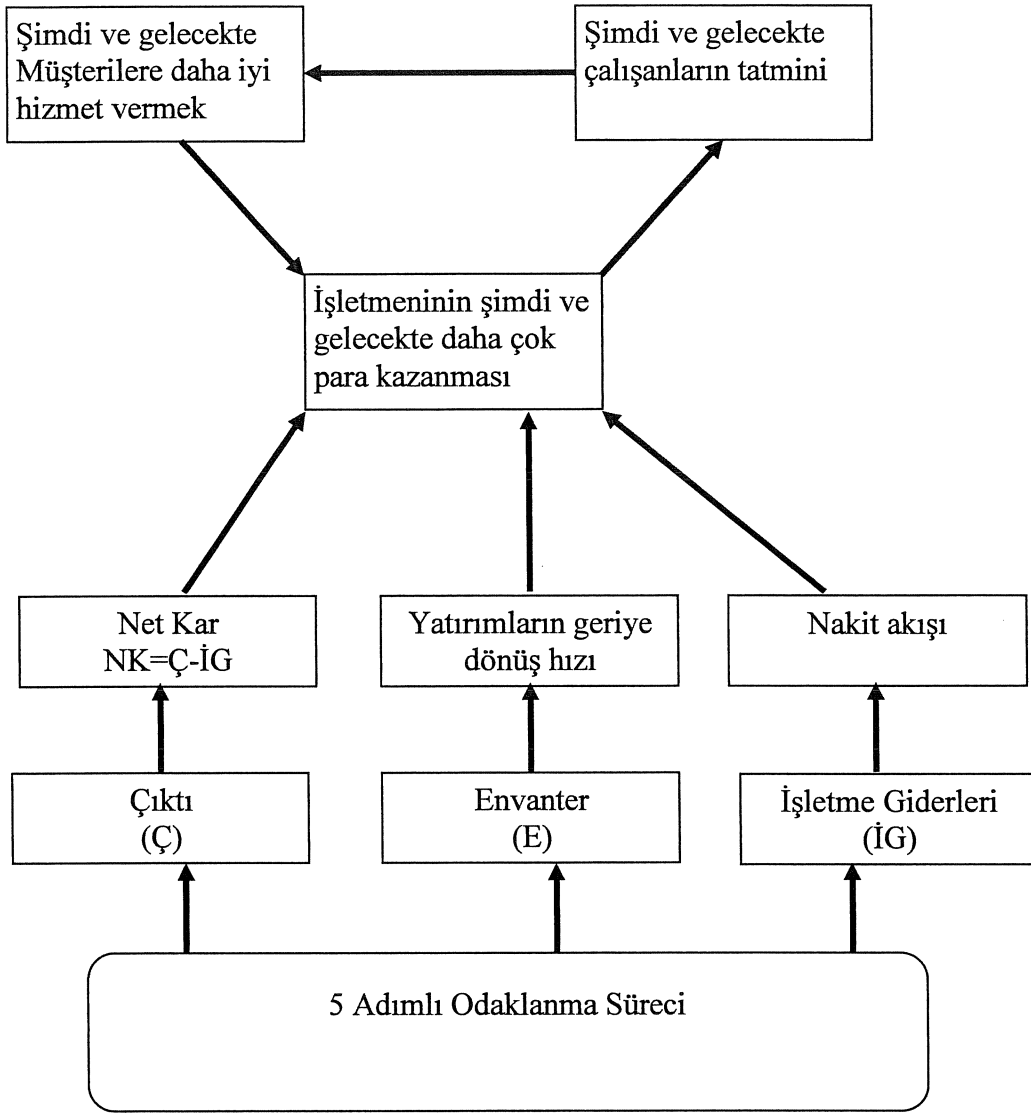
Eğer envanter ve işlem maliyetleri sabitken çıktı artarsa, net kar, yatırımın geri dönüşü ve nakit akışı artar.

$$\text{Verimlilik} = \text{Çıktı} / \text{İşletme Gideri},$$

$$\text{Envanter Devri} = \text{Çıktı} / \text{Envanter}$$

olarak tanımlanır(Gupta, 2003, s.650).





**Şekil 2.1:** Kısıtlar Teorisi'nin performans ölçüleri ve aralarındaki ilişki(Gupta ve diğerleri, 2002, s.909).

Amaç, çok iyi müşteri hizmetleri, geniş pazarlama ağı, düşük fiyat, yüksek kalite yoluyla şimdi ve gelecekte para kazanmaktır(Goldratt ve Fox, 1986, s.19).

## 2.5. Kısıtlar Teorisi Kavramının Felsefi Anlamı

Goldratt ve Cox (1986) OPT'nin 9 kuralını, kaynakların farklı şekilde sıralandığı durumlara uygulamak için Davul Tampon İp -DTİ- (Drum Buffer Rope -DBR-) olarak adlandırılan bir çizelgeler metodu önermişlerdir. Benzetme Amaç (The Goal) kitabında belirtilen bir gezi yürüyüşüne çıkmış izci çocuklardan alınmıştır: Belli bir parkur yürünecektir ama çocuklar arasındaki mesafe bir türlü dengeli olmamaktadır. Ya öndekiler aray çok açıp grupta bölünmelere neden olmakta yada çok yavaş yürünüp belirtilen zamandan önce hedefe

varamamak gibi bir sorun yaşamaktadır. Bu durumu gözlemleyen Bay Rogo sonunda durumu anlar ve “yürüyüşümüz, istatistiki dalgalanmalar gösteren bir bağlı olaylar dizisiydi. Hepimizin hızı dalgalanmaktaydı. Yavaşlıyor yada hızlanıyorduk. Ancak ortalamanın üzerinde hızlı gitmemiz sınırlanmıştı. Bu benim önümdekilere bağlıydı. Bu nedenle saatte belli bir hızla (4 km) yürüyebilecek durumdayken bunu ancak önümdeki çocuk da aynı hızla yürüyorsa gerçekleştirilebilirdim. Önümdeki çocuk da aynı hızla yürüse bile sıranın önünde gidenler de aynı hızla yürümedikleri sürece bu hıza ulaşamazdık. Söz konusu olan hız farklarımızdaki dalgalanmaların ortalaması değil toplamıydı ve bu daha çok yavaşlamaların toplamıydı” şeklinde ifade etmiştir(Goldratt, 2002, s.127).

Bu yürüyüş kolunun hareketlerini bir imalat sürecine uyarlırsak karşımıza şöyle bir tablo çıkar; ilk çocuk ile son çocuk arasındaki mesafe işletmedeki envantere karşılık gelir. İlk çocuk hammaddeyi tüketerek üretim sürecini başlatıyor, ardından gelenler de bir öncekinin son ürününü alıp sonrakine devrediyorlar. Burada işletme giderleri, yürüyüş kolu açısından tüketilen enerjidir. Son kişinin hareketi ise ürünün bittiği anlamına gelir. Yani son kişi de patikayı geçtiğinde ürün “satılabilir” hale gelmiştir. Bu anlamda son kişinin hareketi akışı belirler.

İlk çocuk ve son çocuk arasındaki mesafe artarsa stoklar artıyor anlamına gelir. Ve ortalama dalgalanmalar yerine yavaşlamalar toplanırsa son çocuğa kadar katlamalı bir değer yansır ve akış olabildiğince gecikir ve azalır.

## **2.6. Kısıtlar Teorisinin Kullandığı Yöntemler**

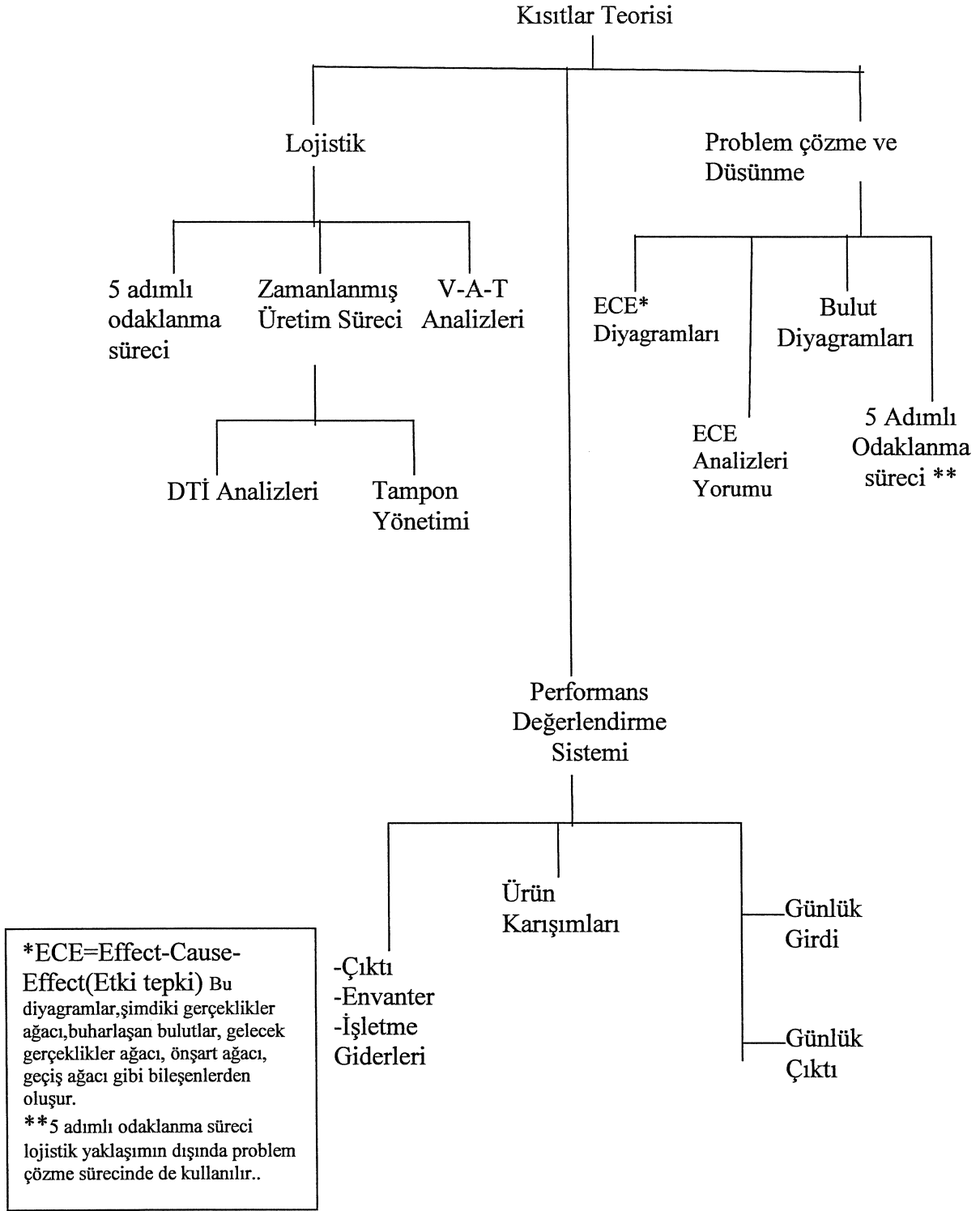
Kısıtlar teorisi yaklaşımı, uygulanması sırasında başlıca üç temel başlık altında sürece yaklaşır. Bunlar lojistik, performans değerlendirme sistemi ve problem çözme ve düşünme sürecidir.

Lojistik başlığı altında, beş adımlı odaklanma süreci, davul-tampon-ip ve Tampon yönetiminden oluşan zamanlanmış üretim süreci ve üretim süreçlerinin incelendiği V-A-T analizleri yer almaktadır.

Performans değerlendirme sistemi ise daha çok işletmelerdeki çıktı, envanter ve işletme gideri ve ürün karışımlarıyla ilgilenir.

Problem düşünme süreci ise, problemlerin çözümü aşamasında kullanılan yöntemleri anlatır. Kısıtlar Teorisi'ne has bu yöntemler bulut diyagramları ve ECE diyagramlarından oluşur.

M.S Spancer ve J.F. Fox (1995)'dan alınan ve kısıtlar teorisinin genel yaklaşımı ve kullandığı yeni kavram ve tanımlar Şekil 2.2' de verilmiştir.



**Şekil 2.2:** Kısıtlar teorisi Yaklaşımının şematik yaklaşımı(Spencer ve Fox, 1995, s.1501)

## 2.7 Üretim Sürecine Kısıtlar Teorisi Yaklaşımı

Önceki konularda bahsedildiği gibi Kısıtlar Teorisi üretim sürecindeki her eylemi akış, envanter, işletme giderleri olgularına göre ele alır ve üretim sistemlerine yaklaşımdaki asıl farkı kapasiteyi pazardan gelen taleple dengelemek değil akışı pazar talebine göre dengelemesinden kaynaklanır.

Kapasitenin pazarla dengelenmesi batıdaki tüm iş dünyasının kabul ettiği ve doğruluğundan şüphe duymadığı bir varsayımdır. Ancak bu durum Goldratt'a göre tamamen yanlıştır. Bu durumun en basit matematiksel açıklaması şöyledir: pazara uyum sağlamak için kapasiteler düzenlenirse stoklar tavana vurur ve akış azalır. Stoklar arttığı için bu stokları taşıma maliyetleri de artar. Böylelikle hem akış azaldığı hem de stoklar arttığı için işletme için düşünülen üç olgunun ikisi (envanter miktarı ve akış) yerine getirilmemiş olur. Bunlar işletme için kazanç kaybı demektir.

Bu durumun sebebi Goldratt (2002) tarafından iki olguyla açıklanmaktadır:

1. **Bağlı olaylar** denilen birinci olguya göre bir olayın gerçekleşmesi ondan önceki bir veya birçok olayın gerçekleşmesine bağlıdır. Birinci işçi A makinesindeki birinci adımı tamamladıktan sonra ancak ikinci işçi B makinesindeki ikinci adıma geçebilir. Tüm işletmeler birer bağlı olaylar zinciridir.

2. **İstatistiksel dalgalanmalar** ikinci olgudur. Üretim sürecinde veya hayatın herhangi bir alanında birçok bilgi yada veri önceden kesin olarak bilinebilir. Örneğin bir işletmede çalışan işçi sayısı, makine sayısı vb. Ancak bazı bilgiler vardır ki bunlar değişkendir. Örneğin bir lehim atölyesindeki telleri lehimlemek işleminin ortalama 4,3 dk. sürdüğü bir işlemde, fiili süre 2,1 ile 6,4 arasında değişir ve hiç kimse bu işlem için “bu işlem 2,1 dk sürecek” diyemez. Bu bilgiyi kimse öngöremez. İstatistiksel dalgalanmalar faaliyetlerin sürelerinin deterministik olmadığını çünkü ortalamadan sapmaların mevcut olduğunu belirtirler. Bunun yanı sıra çalışanlardan kaynaklı, işe mazeret belirtmeden devamsızlık, geç kalma, işi yavaşlatma, kaybolan ve zarar gören parçalar ve makine duruşları gibi aksaklıklar genel olarak istatistiksel dalgalanmaların sebepleridir.

Goldratt (2002) 'ye göre önemli olan bu iki olgunun birlikte gerçekleşmesidir. Eğer birinci iş merkezinde istatistiksel dalgalanmalarla ifade edilen bir gecikme olursa bu olay ikinci iş merkezinde işlemin geç başlamasına neden olur, dolayısıyla burada da iş geç biter ve

bu olay son işlem merkezine kadar yansıyarak ve katlanarak son ürünün teslim tarihinin gecikmesine yol açar.

Bağlı olaylar ve istatistiksel süreçlerin yukarıda bahsedilen etkisini ortadan kaldırmak için Goldratt üretim sistemlerini yeniden tanımlamıştır. Bilindiği gibi geleneksel üretim sistemleri dört grupta incelenir:

1. **Siparişe göre üretim:** Küçük miktarlarda fakat çok sayıda ürün çeşidini kapsayan belirli siparişleri karşılamak için gerçekleştirilen üretimdir. Ürün çeşitliliği ve düşük üretim miktarı, üretim faaliyetindeki işlem tekrarlarını azaltır. Bu tip üretimde birden fazla işlem yapabilen çok amaçlı tezgahlar kullanılır. Talebin yapısındaki değişkenlik sebebi ile siparişe göre üretim yapan bir işletmedeki yöneticiler üretim sürecinin bütün safhalarında büyük sorunlarla karşılaşır.

2. **Parti üretimi:** Bu tip üretim sistemlerinde belirli bir sipariş yada sürekli bir talebi karşılamak için benzer ve aynı cins ürünler partiler halinde üretilir. Bu sistemlerde bir parti bitmeden diğer partinin üretimine geçilmez. Talep sürekli ve siparişe göre üretimde olduğu kadar değişken değildir. Buradaki en büyük sorun üretilecek parti büyüklükleri ve parti adetlerinin tespitidir.

3. **Sürekli üretim:** Büyük miktarlarda fakat az sayıda çeşitlilik gösteren sistemlerde tercih edilen bir üretim sistemidir. Bu tip üretim sistemleri kurulabilmesi için talebin üretim hızından fazla olması gerekir. Aksi halde talep düşüşlerinin maliyetleri çok yüksek olur. (Acar, 1998, s.12).

4. **Proje Üretimi:** Bir projenin hayata geçirilmesi için yapılan üretimdir. Bir santralin inşası, gemi yapımı, çok katlı bir bina inşaatı vb örnek olarak verilebilir. Bu üretim tipinin en önemli özellikleri, mamulün sabit konumda bulunması, makine ve insanların mamul çevresinde veya içinde hareket etmesi ve aynı anda pek çok faaliyetin bir arada yürütülmesidir. Bu tip üretimde bir akış söz konusu değildir. Proje üretiminde birim mamul fiyatı çok yüksektir ve faaliyetlerin planlanıp iş emirlerinin hazırlanması özel yöntemlerin uygulanmasını gerektirecek ölçüde karmaşıktır (Kobu, 1999, s.37).

Goldratt yukarıda açıklanan klasik yaklaşımlar yerine üretim sistemlerinin I.V.A.T. analizi ile sınıflandırmıştır.

## 2.8. I.V.A.T Analizleri

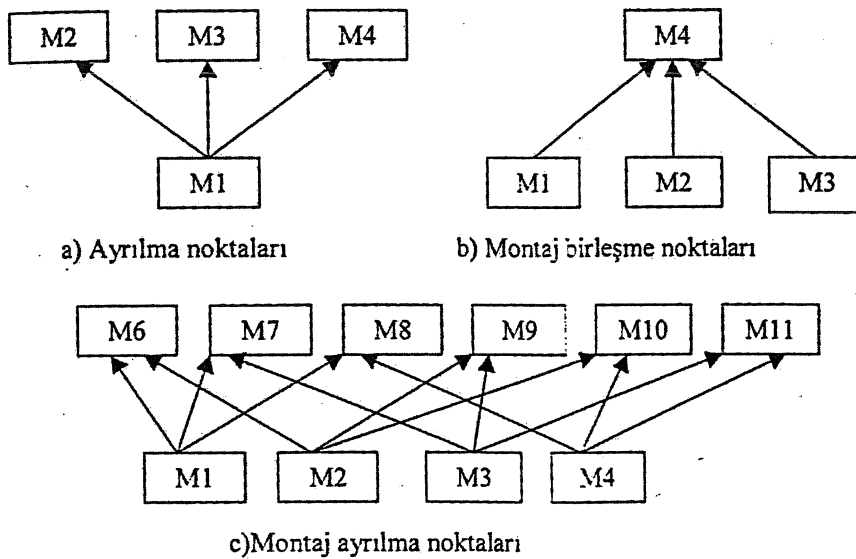
Goldratt, işletmeleri üretim hattındaki birleşme ve ayrılma noktalarına göre:

- I tipi İşletmeler,
- V Tipi İşletmeler,
- A Tipi İşletmeler,
- T Tipi işletmeler

olmak üzere yeniden tanımlamış ve sınıflandırmıştır(Aryanezhad ve Komijan, 2004, s.4221).

Ürünün üretim hattı içindeki taşınma şekline göre sınıflandırıldığı I.V.A.T. analizinde ana amaç sorunlu veya kısıtlı kaynağı bulmak için üretim sürecini anlaşılır hale getirmek ve düzeltmeleri uygun yerlere yerleştirmek açısından yol gösterici olmasıdır.

Malzeme listeleri ve parça rotaları üretim tesislerindeki kaynaklar boyunca mantıklı ürün akışını yansıtmak üzere birleştirilmiştir. Bu analizlerde özellikle ayrılma noktaları, montaj birleşme noktaları ve montaj ayrılma noktaları özel bir öneme sahiptir. Ayrılma noktaları malzemenin ürün akışı sırasında iki veya daha fazla farklı malzemeye ayrıldığı noktalardır. Montaj birleşme noktaları iki veya daha fazla ara stok ürününün tek bir ana ürün oluşturmak üzere montajlandığı noktalardır. Montaj ayrılma noktaları ise bir dizi ortak bileşen parçasını çok sayıda ve çok çeşitli yollarla olası ana ürünleri oluşturmak üzere ayrıldığı noktalardır. Umble (1999), ayrılma ve birleşme noktalarını Şekil 2.2'de gösterildiği şekilde belirtmiştir.



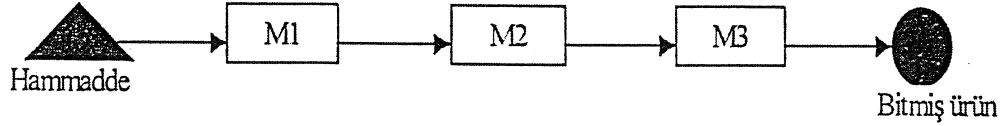
Şekil 2.3: Birleşme, montaj ayrımı ve montaj birleşme noktaları(Umble, 1999, s.25)

### 2.8.1 I Tipi Tesisler

Tipik seri üretimde kullanılan üretim şeklidir. Tüm ürünler aynı sabit sırayı izlerler. Ürünler bir rota doğrultusunda sürekli bir işlemde diğer işleme doğru akarlar. I yapısının başlıca üç karakteristiği şunlardır:

- a. Yüksek hacim
- b. Standart tasarım
- c. Sabit talep

I yapıları sürekli otomatik veya manuel olarak işleyen sürekli süreçler (kesiksiz imalat) veya tekrarlı süreçler (kesikli ürün ve hizmetler) olabilir. I tipi işletmeler üretim süreci Şekil 2.4'deki gibi olur.



Şekil 2.4: Tipik bir I tesisinin ürün akışı

### 2.8.2 V Tipi Tesisler:

V tesisleri için ürün akış diyagramları üretim süreci boyunca ayrılma noktaları ile karakterize olur. V tipinde, çok az hammadde vardır ve bunlar nispeten standart sayılabilecek işlemlere tabi tutularak pek çok sayıda ürüne dönüştürülürler.

V tipinde dağıtım zayıftır ve pek çok tamamlanmış ürün stoğu mevcuttur, bunun sebebi de kaynaklardan etkin yararlanmak için geniş tutulan üretim parti büyüklükleridir.

Tekstil, kağıt, kimya ve metal üretimi gibi süreç üretimine sahip tesislerin çoğu V tesisidir. Ayrıca plastik, tahta ve pamuk elyafı gibi temel hammaddelerinin geniş çeşitlilikte ürünler üreten imalat tesisleri de V tesisidir.

Bu tip tesislerin temel karakteristiği ürün ayrılma noktalarının olmasıdır. Her ayrılma noktasında hangi ürünlerin üretilmesi gerektiği kararı alınmalıdır. V tesisi her biri farklı rotaya sahip fakat aynı hammaddeden üretilen çeşitli ürünlerin olduğu bir dizi I tesisinin toplamı olarak da düşünülebilir.



#### *Özellikleri ;*

- Hammadde miktarına göre bitmiş ürün miktarı fazladır,
- Ürünler aynı işlemler ve aynı sıra ile üretilirler,
- Sermaye yoğun üretim teçhizatı kullanılır,
- Sınırlı sayıda üretim tezgahı mevcuttur,
- Her parça genellikle kaynaklardan sadece bir kez geçer,
- En kısa sürede en fazla üretimi hedefler,
- İşletme içi yerleşim stoğa göre şekillenmiştir,
- Süreç değişiklikleri büyük kaynak yatırımlarını gerektirir(Umble ve Srikanth, 1990, s.212-216).

#### *Sorunlar;*

- Bitmiş ürün stoğu fazladır,
- Müşteri teslimatları zayıftır,
- Üretim bölümü talebin değiştiğinden, pazarlama bölümü de üretimin yavaşlığından yakınır,
- Bölümler arası rekabet vardır,
- Üretim süresini tahmin etmek güçtür,
- Stoklar darboğazlı kaynağın önünde birikirler(Umble ve Srikanth, 1990, s.215).

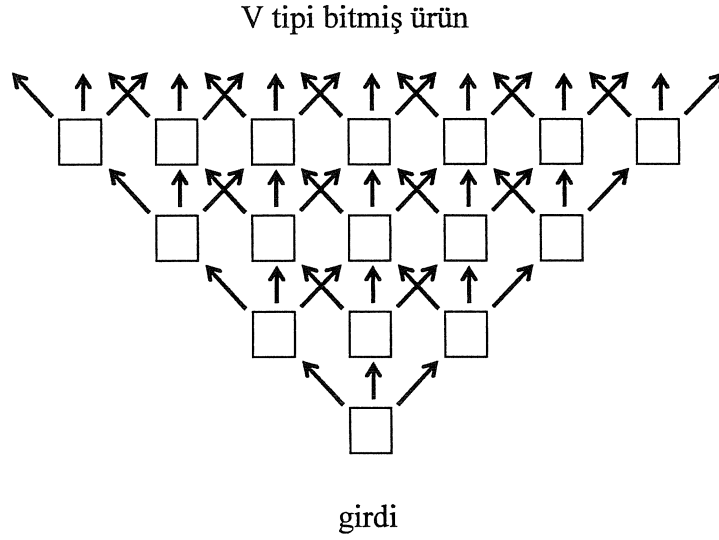
#### *Sorunların Nedenleri;*

- Parti üretim miktarı çok büyük ve makine hazırlık süreleri çok uzundur.
- Yüksek kapasitede üretim yapabilmek için, üretim hattına hammaddeler erken verilir.
- İşler, büyük partiler halinde üretim için bir araya getirilir.

#### *Çözümler;*

- Parti hacmi azaltılmalıdır,
- Üretim süresi kısaltılmalıdır,
- Daha fazla satış yapılabilmesi durumunda stoklar azalır ve kaliteye odaklanılır (Umble ve Srikanth, 1990, s.217-218). V tipi bir yapılanmaya sahip işletmelerde ürün akış şeması Şekil

2.5’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.5:** V tipi ürün şeması(Umble ve Srikanth, 1990, s.211).

### 2.8.3. A Tipi Tesisler :

A tipi firmalar V tipinin tam tersidir. A tesisleri süreç boyunca montaj birleşme noktaları ile karakterize olurlar. Pek çok hammadde vardır ve bunlar az sayıda ürüne dönüştürülürler. Son montaj gerçekleştirilmeden önce tipik olarak çeşitli düzeylerde alt montajlar zorunludur. Bu tip firmalarda hammadde sürümü, fazla mesai gibi konularda kontrolü sağlamaya çalışan siparişi yetiştirmeye yönelik bir yönetimdir. Genel görünümü A harfine benzer ve bir piramidi andırır.

Bu tip tesislerde, birleşme noktalarında parçalara ihtiyaç duyulduğunda, parçaların mevcut olması sağlanmalıdır. Kapasite atamasının yanlış yapılması belirgin bir sorundur. Bu tip tesislere örnek olarak uçak üretimi, otomobil üretimi, konfeksiyon ve çadır üretimi verilebilir.

#### *Özellikleri;*

- Çoğunlukla montaj yapılı,
- Uzun üretim süreleri vardır,
- Montaj noktalarına parçaların eş zamanlı olarak ulaşmaması durumu,
- Genel amaçlı teçhizat kullanılır,
- Kaynaklar üretim hatları arasında ve karşılıklı olarak paylaşılırlar,

- Kaynak verimliliği %100'den düşük olmasına rağmen, fazla mesai vardır,
- Büyük miktarda tamamlanmış parça stoğu varken diğer parçalar için kaynak kıtlığı vardır,
- Darboğazlı kaynak sürekli yer değiştirir,
- Montaj hattı kaynak yetersizliği ve yanlış eşleşmeden yakınmaktadır,
- Aynı makine üretim güzergahında birçok kez kullanılabilir(Umble ve Srikanth, 1990, s.239).

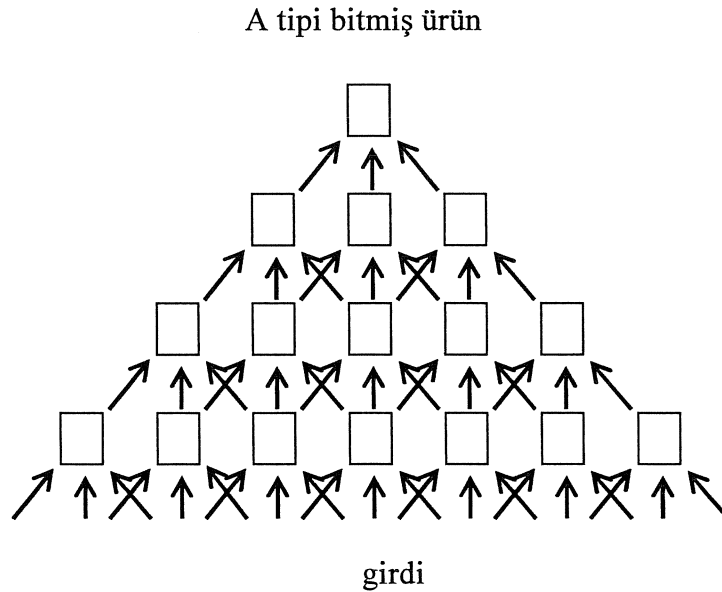
*Geleneksel Önlemler;*

Birim maliyeti azaltmak için fazla mesai kontrol altına alınmaya, süreçlerin otomasyonu sağlanmaya ve işgücü ihtiyaçlarının daha iyi planlanmasına çalışılır.

*Sorunların Nedenleri;*

- Hareketli darboğazlar,
- Düşük kullanım düzeyleri,
- Sık fazla mesai,
- Montaj için gerekli olan parçaların istenilen zamanda, istenilen yerde bulunmaması(Umble ve Srikanth, 1990, s.231).

A tipi işletmelerde ürün akış şeması Şekil 2.6 da gösterilmiştir.



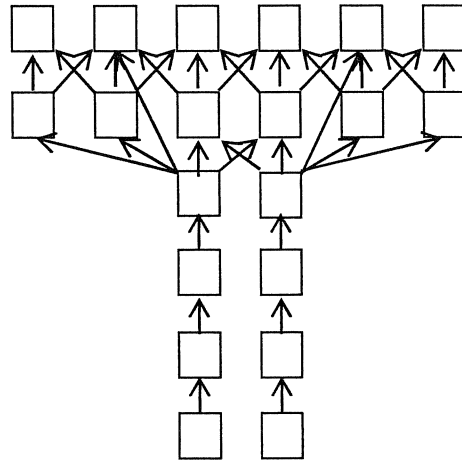
**Şekil 2.6 :** A tipi ürün şeması(Umble ve Srikanth, 1990, s.228).

#### 2.8.4. T Tipi Tesisler :

T tipi firmalarda nihai ürün pek çok parçanın montajıyla elde edilir. Öncelikle temel parçalar üretilir ve depolanır. Daha sonra bunlar montaj hatlarında bir araya getirilir ve nihai ürün elde edilir. Bu tesislerde ürün yapısının çok sayıda son ürün kazanmak için genişlediği son montaj işleminde kritik işlemler ve ürün etkileşimleri meydana gelir. Dar bileşen tabanı son ürünleri temsil eden çok geniş bir tepe kısmı ile ürün akışı T harfini andırır.

T tesislerinin temel karakteristiği parçaların ortaklığıdır. Son montaj planlanırken parçaların başka ürünler tarafından kullanılması sonucu kayıp olması baskın bir problemdir. Bir T tesisinde malzemeler yüzlerce hatta binlerce son ürün tipini sağlamak için ortak temel montajlara akarlar.

Bir T yapısı A ve V yapılarının üzerinde olabilir ve bunların bir kombinasyonudur. Şekil 2.7'de T yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.7 T tipi ürün şeması(Umble ve Srikanth, 1990, s.240).

#### Özellikleri;

- Üretim süresi tam olarak tahmin edilemez,
- Ortak parça kullanımı vardır,
- Montaj süreci içerisinde, parçaların ilgili siparişlere tahsis edilmesi gecikmektedir,
- İmalat büyük partiler halinde yapılmaktadır,
- Montaj hattında yarı mamul stoğu birikmiştir(Umble ve Srikanth, 1990, s.241).

### *Sorunların Nedenleri;*

- Teslimat süresi çok uzundur, ancak yöneticiler yapacak bir şeylerinin olmadığını söylerler.
- Teslimat süresi, tamamlanmış ve yarı tamamlanmış ürün stoklarına miktar ve çeşitlilik olarak bağlıdır.

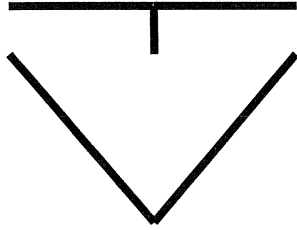
### *Çözümler;*

- İmalat sürecinde, parti hacminin azaltılması gereklidir.
- Son montaj planlaması müşteri siparişine dayalı olarak yapılmalıdır (Umble ve Srikanth, 1990, s.245-246).

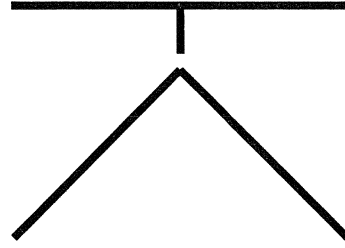
### **2.8.5. Birleşik Yapılar**

Yukarıda anlatılan üretim süreçlerine ait temel karakteristik I.V.A.T. yapılarından oluşmuş yapılar da vardır.

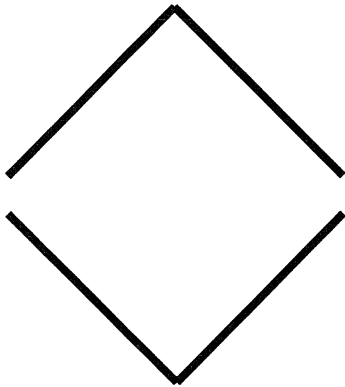
Umble ve Srikanth (1990)'da bu yapılar aşağıdaki gibi tanımlanmışlardır:



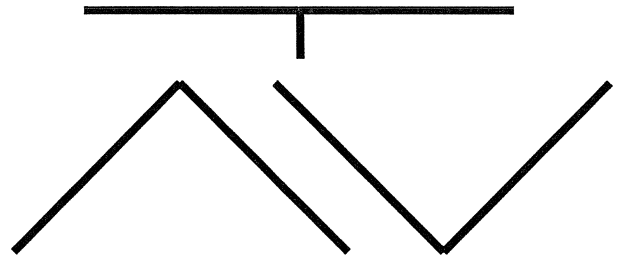
Tabanı V yapılı, baş kısmı T yapılı



Tabanı A yapılı, baş kısmı T yapılı



Tabanı V yapılı, baş kısmı A yapılı



Yan yana A ve V yapılı, baş kısmı T yapılı

Kısıtlar Teorisi üretim sistemlerini yukarıdaki gibi yeniden sınıflandırdıktan sonra varolan sorunlara karşı kendi çözüm önerilerini içeren bir dizi yeni kavram ve yaklaşım

geliştirmiştir(Goldratt ve Fox, 1986, s.96). Bunların en önemlisi davul-tampon-ıp (drum-buffer-robe) ‘tır.

## 2.9. Davul-Tampon-İp

Kısıtlar Teorisi, üretim yönetimi literatüründe kendisine yer edinmiş olan "Davul-Tampon-İp" (DTİ) (Drum – Buffer - Rope) diye adlandırılan bir planlama tekniğini kullanır. Davul-Tampon-İp yöntemi Kısıtlar Teorisinin ilkelerine göre çalışan bir planlama ve envanter kontrol sistemidir.

Bu yöntem diğer imalat tekniklerinden, ürünün düzgün akışını sağlamak için çatışmaları çözmekle, kaynaklar arasındaki ilişkileri belirlemeye odaklanmakla ve tekrarlı, süreç veya iş atölyesi olduklarına bakmadan her tip süreç için uygulanabilir olmakla ayrılır.

DTİ süreci Kısıtlar Teorisi’nin dokuz temel ilkesini, beş adımlı odaklanma sürecini ve işletmelerin üretim tiplerine göre yeniden sınıflandırılmasını uygulamak için ve karlılık perspektifi açısından büyük bir ilerlemeyi sağlamak için tasarlanmıştır.

Her üretim sistemi, ürünün sistemdeki akışını kontrol etmek için bazı kontrol noktalarına ihtiyaç duyar. Her sistemde mutlaka en az bir darboğaz vardır(Goldratt ve Fox, 1986, s.98). Sistemdeki darboğazlar kontrol için en iyi noktalardır. Bu kontrol noktasına "davul" denir. Davul, üretim hattının darboğaza göre hızını belirler. Kısıtın elverişli zamanını en büyükmek için kullanılmaktadır. Üretim hattında ürünlere, süreçlere göre ayarlanmış, tahsis edilmiş birden fazla davul noktası bulunabilir. Askeri bir kıtadaki trampetin vuruşları ile yürüyen askerlerin temposunu belirlediği gibi imalat sürecinde de kısıtlı olan ve olmayan kaynakların senkronize biçimde üretime katılmasını ve üretim hızını belirler.

Davulun yerleştirilebileceği ilk yer darboğazlı kaynakların önüdür(Schragenheim ve Ronen, 1990, s.18). Çünkü darboğazlı kaynak kendisine olan talepten daha düşük kapasiteye sahip olan kaynaktır. Bu nedenle sürekli çalışır haldedir. Davulun buradaki amacı, diğer kaynakların darboğazlı kaynağın işleyebileceğinden fazla ürün üretilmesini önleyerek envanterlerin artmasını engellemektir. Böylelikle diğer taraftan her satış siparişinin teslim tarihinde teslim edilmesini garantiler.

Davul noktalarının, darboğazdan sonra yerleştirilebileceği yerler ise yaklaşık tam kapasite ile çalışan ve yanlış planlanması halinde darboğazlı kaynağa dönüşebilecek olan kapasite kısıtlı kaynaklardır.

Kısıtlar teorisi, darboğazlı kaynaktaki gecikmeleri önlemek için davulun önünde "tampon" diye adlandırılan, bir miktar stoğun bulunması gerektiğini ileri sürer. Tampon sayesinde, üretim hattında bir takım nedenlerden ve istatistiksel dalgalanmalardan dolayı meydana gelebilecek gecikmeler sonucunda darboğaz hiç bir zaman boş kalmayacak ve zamanını etkin kullanabilecektir. Bu anlamıyla tampon işlerin kötüye gitmesini engelleyecek bir zaman mekanizmasıdır(Schragenheim ve Ronen, 1990, s.18). Tampon işletme zamanı, hazırlık zamanı, işletme zamanı ve ürünün ihtiyaç duyulduğunda tamponun orjinine ulaşabileceği koruyucu zamanın toplam miktarının büyüklüğünün tahminine eşittir. Üretim süreci incelendiğinde tampon korumasına ihtiyaç duyulabilecek başlıca üç alan vardır(Gardiner, Blackstone ve Gardiner, 1993, s. 1081-1091) :

1. Müşteri siparişlerinin zamanında ulaştırıldığına garantileyen sevkiyat,
2. Kaynak zamanının en iyi şekilde kullanımını garantileyen kısıt,
3. Bir kolu kısıt tarafından beslenen diğer kolu kısıt olmayan kaynak tarafından beslenen montaj işlemlerinde, kısıtlı olmayan kaynaktan gelen parçaların gelmesini beklememesi gerektiği durumlar(Goldratt ve Fox, 1986, s.111).

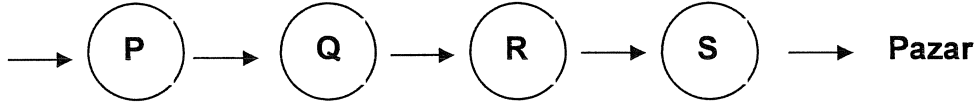
Darboğazlı kaynağı, davul ve tampon sayesinde üretim hattı ile uyumlu hale getirmek için Kısıtlar Teorisi "ip" adını verdiği bir kavramı ileri sürer. İp, kısıttan önce kısıta doğru ve kısıttan sonraki iş merkezlerinden veya kaynaklardan geriye kısıta doğru kurulmuş bir haberleşme ve işaretleşme mekanizmasıdır(Blackstone, 2001, s.1054). Buna göre her kaynak, ip yardımı ile darboğazlı kaynak ile uyumlu olacak şekilde üretimini sürdürmesi için ana üretim programı ile bağlantılandırılır. Bu, envanterlerin artmasını önler.

İp mekanizmasının temel olarak iki görevi vardır; birincisi iş istasyonları ve kaynaklar arasındaki bilgi akışının doğru, anlamlı ve tutarlı olmasını sağlar, ikincisi ise, gelen bu bilgiye dayanarak kaynakların ve iş istasyonlarının bağımsız olarak planlanmasını sağlar(Umble ve Srikanth, 1990, s.160).

Darboğazlı kaynağın, ana üretim planı ile bağlantılandırılması, üretim planlaması gibi resmi olabileceği gibi günlük toplantılar gibi gayri resmi şekilde de gerçekleştirilebilir.

Örneğin Şekil 2.8, bir üretim hattındaki işlemleri göstermektedir. Buna göre; iş istasyonlarının üretim kapasitelerine ait veriler aşağıdaki gibidir(Sivasubramanian ve Rajamramasamy, 2000, s.820-824).

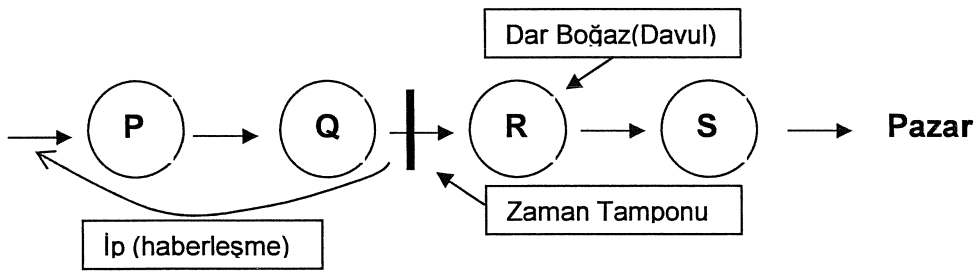
İş İstasyonu	Kapasite
P	550 br./hafta
Q	500 br./hafta
R	350 br./hafta
S	550 br./hafta



**Şekil 2.8:** Üretim hattındaki iş akışı

Verilere göre R kaynağı, darboğazlı kaynaktır. Üretim kapasitesi en düşük olan R kaynağı, davul-tampon-ip yöntemine göre davuldur. Zaman tamponumuzu R kaynağının önüne yerleştiririz. Diğer bütün kaynakların darboğazlı kaynak olan R ile uyumlandırılması için R ile P birbirlerine ip ile bağlanır. Yani aralarında bir haberleşme hattı kurulur. Böylece P ve Q kaynakları haftada 350 birim üretecek şekilde programlanırlar. R kaynağından önce yerleştirdiğimiz zaman tamponu, P ve Q kaynaklarında meydana gelebilecek değişikliklere karşı üretim hattının uyumunu korumak içindir.

S kaynağı da haftada 350 birim üretecek şekilde programlanır. Çünkü S kaynağı, darboğazlı kaynak olan R ile beslenmektedir ve aralarında bir uyum olmalıdır. Davul-Tampon-İp (DTİ) yöntemi sonrasında durum Şekil 2.9'daki gibi olur;

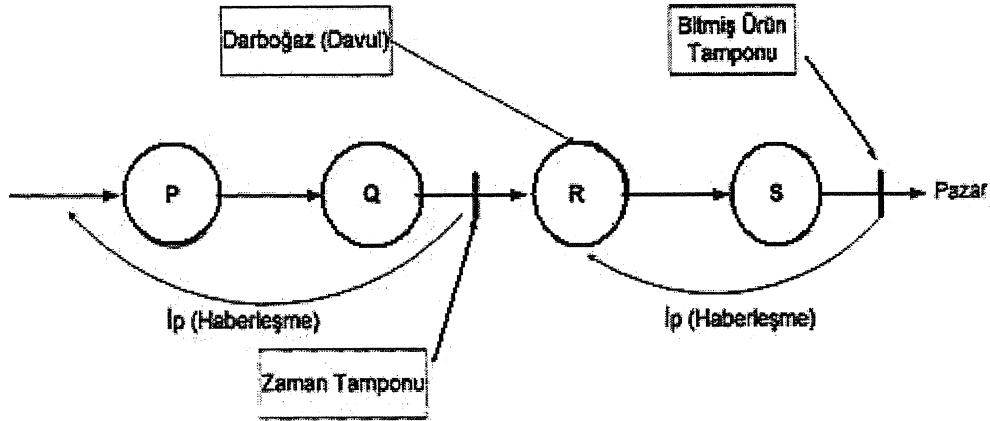


**Şekil 2.9 :** DTİ Yöntemi Sonrasında Durum



İş İstasyonu	Üretim Miktarı	Kapasite
P	350 br./hafta	550 br./hafta
Q	350 br./hafta	500 br./hafta
R	350 br./hafta	350 br./hafta
S	350 br./hafta	550 br./hafta

Üretim hattının ilk işlem aşamalarına ait aksaklıklar, diğer işlem adımlarındaki zaman tamponları sayesinde fazla hissedilmez. Ancak üretim hattının son aşamalarındaki aksaklıklar, taleplerin karşılanamama riskini doğuracaktır. Bu nedenle, üretim hatlarının sonunda tamamlanmış ürünlerden oluşan zaman tamponlarına da ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum Şekil 2.10'da gösterilmiştir;



Şekil 2.10: Bitmiş Ürün Tamponu

Zaman tamponlarını dört gruba ayırabiliriz;

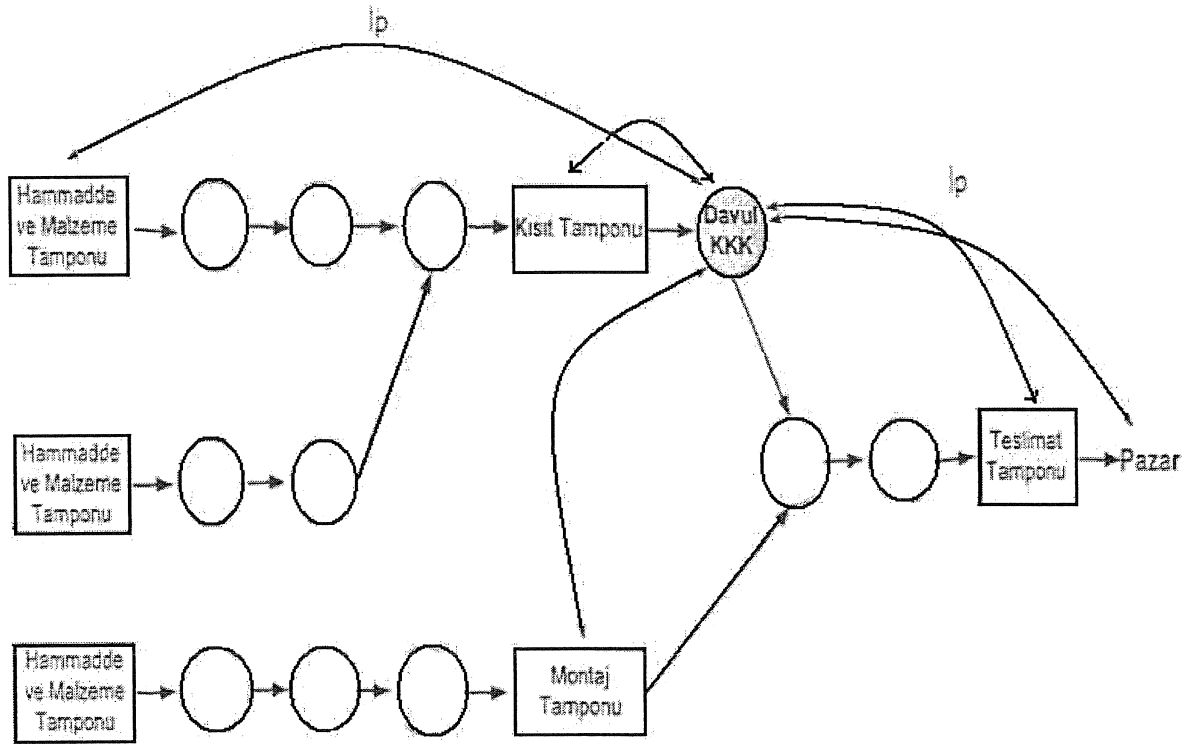
a. *Hammadde ve Malzeme Tamponları*: Bu tampon, hammadde, malzeme ve parça stoklarını kapsamaktadır. Asıl amacı, sistemi, ihtiyaç olduğunda hammadde ve malzeme

yokluğunda korumaktır. Bu tamponun büyüklüğü, tedarikçilerin teslim alışkanlıklarına, tedarik ve üretimin süresine bağlıdır.

b. *Kısıt Tamponları*: Kapasite kısıtlı bir kaynağın önünde belli bir süre beklemesi gereken parçaları kapsar. Bu sayede kısıt oluşturmeyen kaynaklardaki aksaklıklardan kapasite kısıtlı kaynağın çıktısı korunur.

c. *Montaj Tamponları*: Kapasite kısıtlı kaynak tarafından işlenmeyen fakat kapasite kısıtlı kaynak parçaları ile birlikte monte edilen parçaları içerir.

d. *Teslimat Tamponları*: Hedeflenen teslim tarihlerinden daha önce bitirilerek sevkiyata hazır hale gelmesi beklenen ürünleri kapsar. Böylece zamanında teslim performansı da korunmuş olur(Louw ve Page, 2004, s.1208).



Şekil 2.11: Davul-Tampon-İp ilişkileri

Şekil 2.11, tamponların konumlarını göstermektedir. Şekilde de görüldüğü üzere her montaj işleminden önce bir montaj tamponu gerekmemektedir. Sadece kapasite kısıtlı kaynak ve kısıt olmayan kaynak parçalarının beslediği montaj işlemlerinde montaj tamponları gerekmektedir.

Kısıt tamponu, kapasite kısıtlı kaynak önüne, teslimat tamponu sürecin en sonuna ve hammadde ve malzeme tamponu ise, sürecin en başına yerleştirilmiştir. Tampon yönetiminde

zaman tamponlarının, aksaklıkların ortaya çıkma nedenlerine dayalı olarak konumlandırılması esastır.

Üretim yapan işletmelerden talep edilen her ürünün, istenildiği zamanda üretilmesi mümkün değildir. Bu nedenle DTİ yöntemi, kısıtın kapasitesine göre hangi ürün karmasının net geliri en büyükleyeceğini araştırır.

DTİ yönteminin sağlayacağı faydalar şu şekilde belirtilebilir :

- DTİ yöntemi, işletmedeki kısıtların üretimini maksimum yaparak müşteri ihtiyaçlarının zamanında karşılanmasını sağlayacak ürün akışını senkronize etmektedir. Kapasite kısıtlı kaynaktan ileriye ve geriye doğru üretimi planlayarak, işlerin gecikmesi veya fazla mesai yapılmasını önlemektedir.

- Üretim hattındaki kısıtlı kaynak, diğer kaynakların üretim ritmini ayarlamaktadır. Kısıtlı kaynağın önüne konulan zaman tamponu ile kısıtlı kaynağın istatistiksel dalgalanmalardan korunması sağlanır.

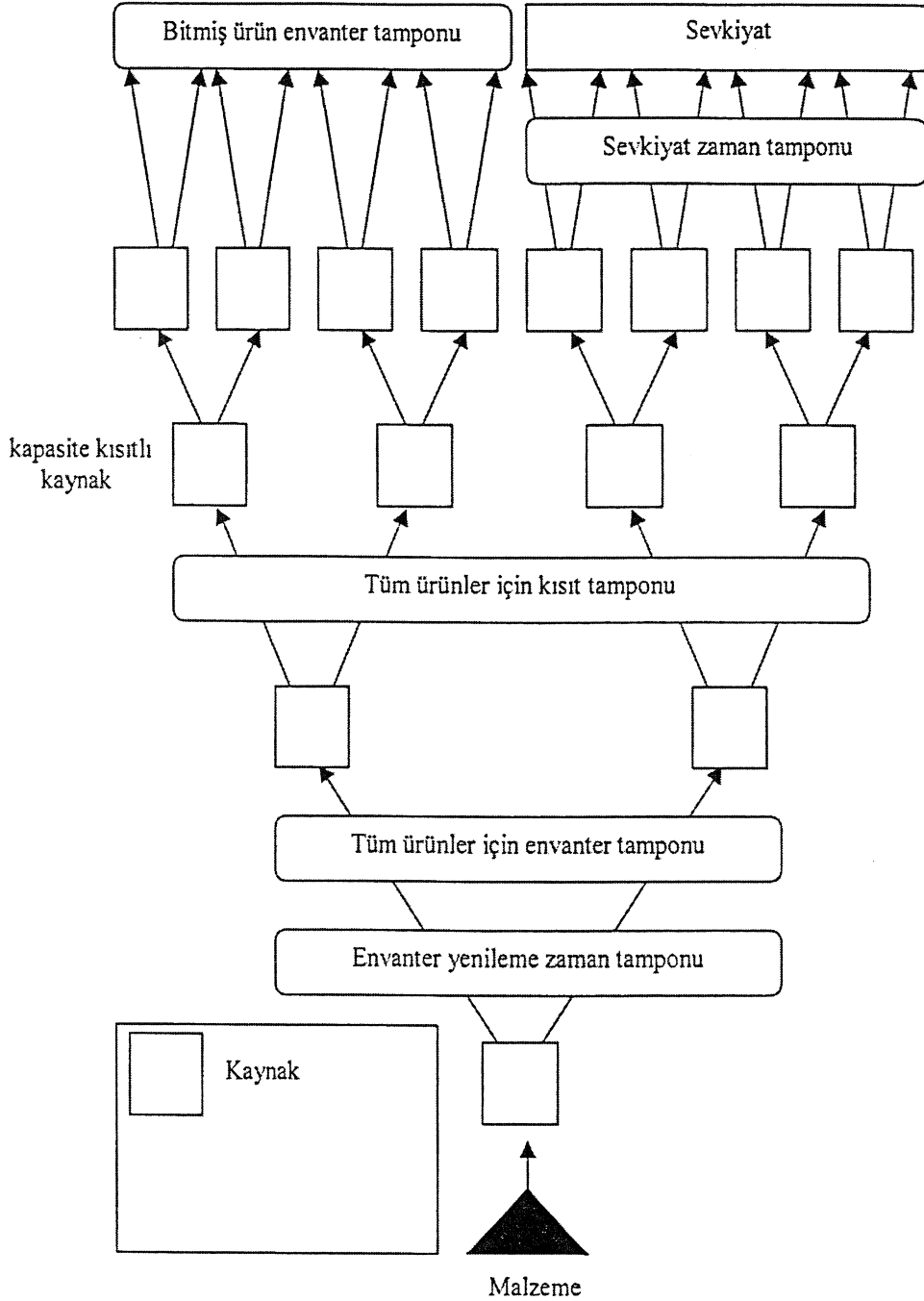
- DTİ yöntemi, çok ürünlü üretimler için oldukça elverişlidir. DTİ yöntemi, kanban sisteminin her kaynakta her ürün için zorunlu tuttuğu stok miktarını sadece darboğazlı kaynakta zorunlu tuttuğu için üretim ortamında daha az stokla aynı çıktı miktarına ulaşabilmektedir(Simons ve Simpson, 1996, s. 2405-2420).

## **2.10. V Tipi Tesislerde Tampon Yönetimi**

V tipi tesislerde temel kontrol noktaları, kısıt oluşturan kaynak süreci başlatan iş merkezi, ayrılma noktalarındaki iş merkezleri ve son ürünün tesliminin yapıldığı teslimat noktalarıdır.

Basit bir ölçümle, bitmiş ürün adedi ile bu bitmiş ürünlerin süreçten çıkıp son ürün olmasına kadar geçen sürede sisteme verilen envanter miktarı hesaplanıp basit bir envanter çevrim oranı bulunabilir. Böylelikle, üretim akışı dallanma şeklinde gittiğinden bir envanter yenileme tamponu sürecin başına konulabilir. Diğer taraftan beslenememeyi engellemek için bu tamponun arkasına bir envanter tamponu konulabilir. Böylelikle birinci tampon hesaplanan oran ölçüsünde sisteme hammadde sağlarken ikinci tampon beslenememeyi ortadan kaldırarak sürecin işlemlerini sağlar. Bunların dışında sistemde dallanmanın herhangi bir aşamasında yine besleme tamponları konulabilir. Ürün teslimlerinin zamanında yapılmasını garantileyen bir sevkiyat zaman tamponununun sürecin sonuna konulması uygundur. Ayrıca müşteriye teslimi söz

konusu olan ve acil sevkiyatta ihtiyaç duyulan bitmiş ürünler için bir bitmiş ürün envanter tamponu da oluşturulabilir. Bu tamponlar arasındaki haberleşme ile (ip) sürecin aksamadan işlemesi sağlanır. Şekil 2.12'de V tipi tesisler için Tampon yerleşimi gösterilmiştir.



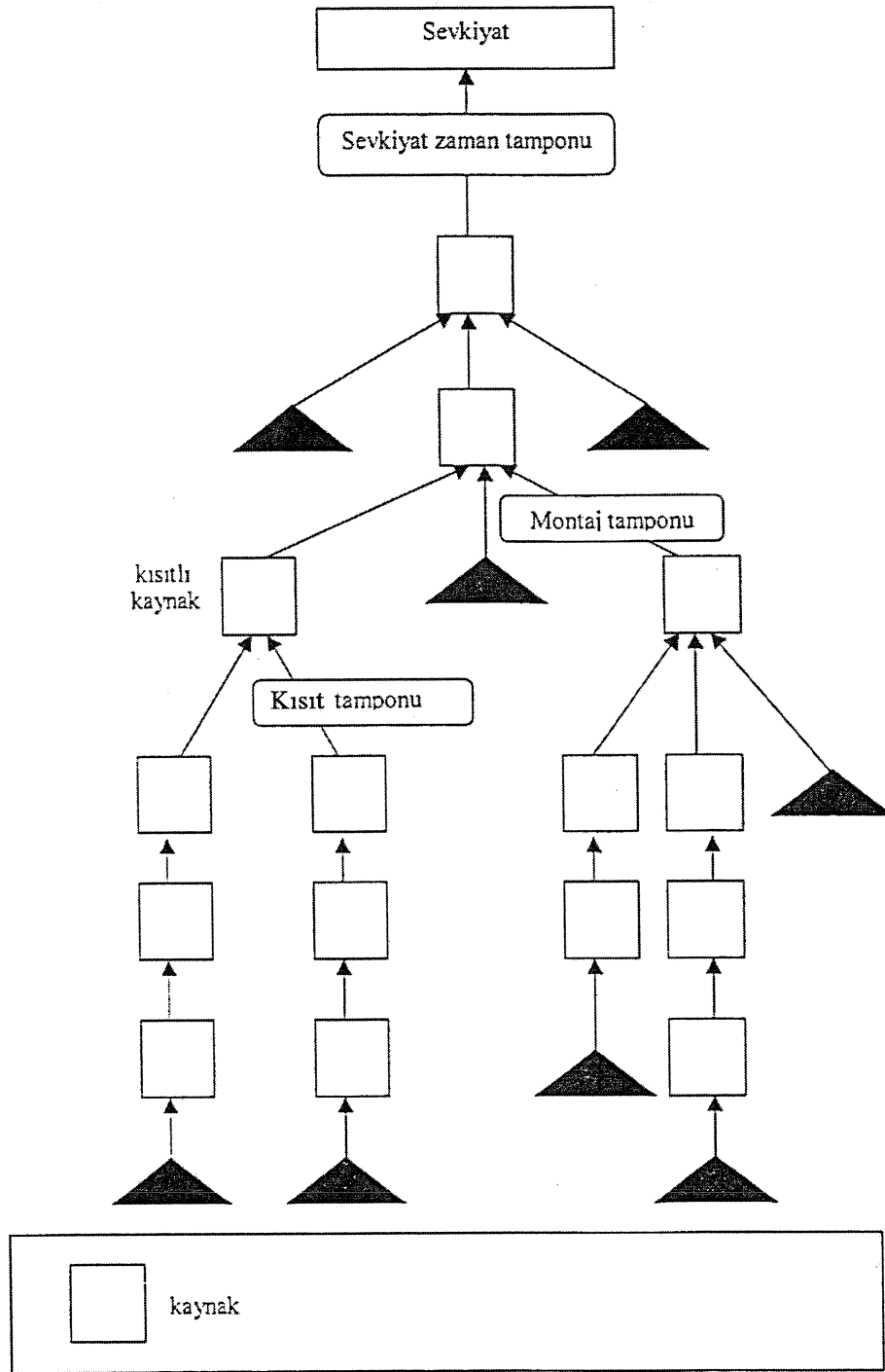
Şekil 2.12: V tipi tesislerde tampon yönetimi(Umble, 1999, s.26).

## 2.11 A Tipi Tesislerde Tampon Yönetimi

A tipi tesisler için temel kontrol noktaları kısıt, süreci başlatan giriş iş merkezi ve birleşme iş merkezleridir. Burada kullanılacak tamponlar kısıt, montaj ve sevkiyat tamponlarıdır.

Birleşme iş merkezleri çizelgelendirilirken, ara ürün veya son ürün haline gelecek iki veya daha fazla temel parçanın aynı anda montaj iş merkezinde bulunmasını sağlamak hedeflenmiştir.

A tipi tesislerde son ürün birçok ara ürünün birleşiminden oluştuğundan V tipi tesislerden farklı olarak bitmiş ürün envanter tamponları genelde kullanılmaz. Özellikle birden fazla ürün üretimi söz konusu olduğunda özel bileşen parçaları ortak olmadığından bu tip tesislerde sıkça kapasite kısıtları ortaya çıkar. Bu tip durumlarda hem kapasite kısıt tamponları hem de montaj zaman tamponları kısıt ve kısıt olmayan kaynaklarda iş gören parçaların zamanında sürece bırakılması ve kontrolün garantiye alınması açısından kullanılırlar. Diğer taraftan sevkiyatın zamanında yapılması için sevkiyat zaman tamponları da kullanılabilir. Şekil 2.13 A tipi tesislerde Tampon yerleşimini göstermektedir.



Şekil 2.13: A tipi tesislerde tampon yönetimi(Umble, 1999, s.27).

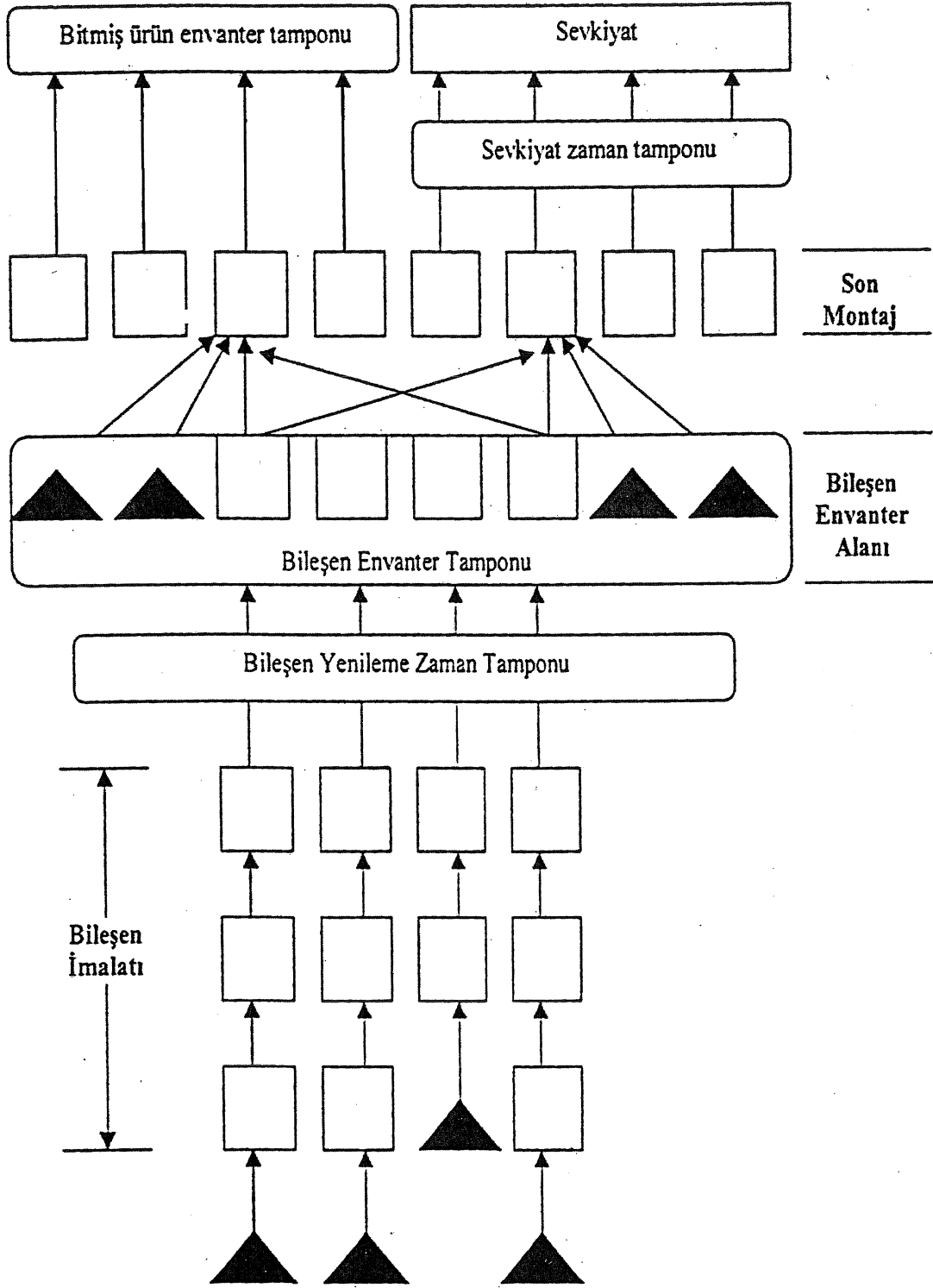
## 2.12.T Tipi Tesislerde Tampon Yönetimi

T tipi tesisler temel kontrol noktaları kısıtlı kaynağa giriş, kısıtlı kaynaktan ayrılma, montaj ve sevkiyat noktalarıdır.

T tipi tesislerde genel sorun montajın yapıldığı bölümlerde ara ürünün başka ürünler tarafından kullanılması ile oluşan parça kayıpları (çalınmalar) dır. Doğal olarak ilk yapılması gereken parça kayıplarının engellenmesidir. Bunun için gerekirse montajda kullanılacak ara ürünlerin bulunduğu odalar kilitlemeli, kontrol üst seviyeye çıkarılarak kayıplar engellenmelidir.

Diğer taraftan bitmiş ürün envanter tamponları tedbirli bir şekilde kullanılmalıdır. Çünkü her tip bitmiş ürün envanterinin elde bulundurma maliyeti oldukça yüksek olabilir.

Sevkiyat tamponları tek tek müşteri siparişlerini karşılarken envanter yenileme zaman tamponlarını bileşen envanter tamponlarını ve bitmiş ürün envanter tamponlarını destekler. T tipi tesislerde tampon yerleşimi Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14: T tipi tesislerde tampon yönetimi(Umble, 1999, s.30).



### 2.13. Kısıtlar Teorisi ve Düşünme Süreci

Kısıtlar teorisi öngördüğü beş aşamalı odaklanma süreci ve arkasından geliştirdiği yöntem ve yaklaşımlarla işletmelerde kısa sürede önemli iyileştirmeler sağlar. “Her gelişme bir değişimdir” felsefesinden yola çıkılarak, süreç üzerinde değişim ile ilgili çalışmalara başlanır(Goldratt, 1990, s.10).

Ancak işletmenin varsayılan kısıtlardan kurtulup daha verimli hale gelmesi, üretim sürecinin tamamındaki çeşitli değişikliklerle mümkündür. Bu değişikliklerin yapılabilmesi ise yönetsel kararlara bağlıdır. Bu anlamda bu durum kısıtlar teorisi tarafından yönetsel bir kısıt olarak algılanır. Yönetsel olarak bu değişikliklere karar verilmesinin ardından bir düşünce süreci başlar. Bu süreç üç temel soruyu içerir (Özer, 2001, s.7-30):

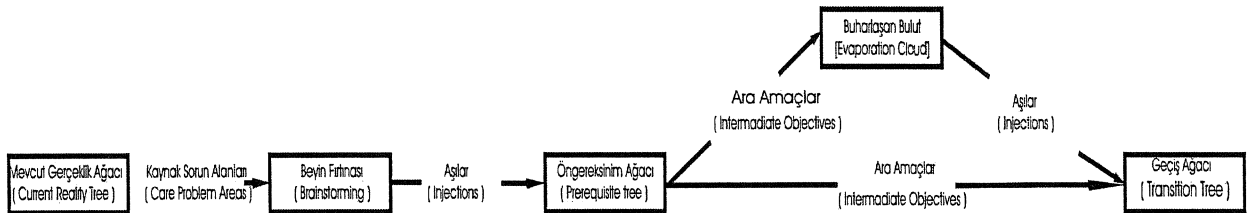
1. Ne değişecek?
2. Neye değişecek?
3. Bu dönüşüm nasıl gerçekleşecek?

Tablo 2.1 de düşünce süreci özetlenmiştir.

**Tablo 2.1:** Sorular ve düşünme araçları(Scoggin ve diğerleri, 2003, s.768).

Genel sorular	Amaç	Düşünme Süreci Araçları
Ne değişecek?	Kök problemleri belirle	Şimdiki gerçeklik ağacı.
Neye doğru değişecek?	Basit, uygulanabilir çözümler geliştir.	Buharlaştan bulut, Gelecek Gerçeklik Ağacı.
Değişim nasıl gerçekleştirilecek?	Çözümleri uygula.	Ön şart ağacı, geçiş ağacı

Neden sonuç diyagramlarına dayanan bu üç soru için kullanılacak temel düşünme süreci akışı aşağıda Şekil 2.15’de verilmiştir:



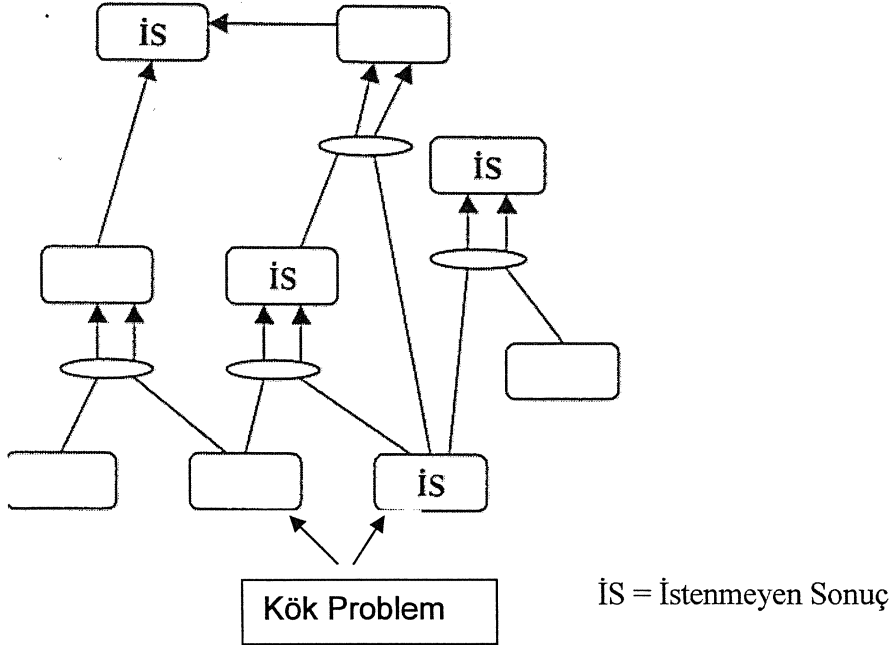
**Şekil 2.15:** Temel düşünme akış süreci(Şen, 2003, s.419).

Düşünce süreçlerinde kullanılan kavramlardan biride aşı(injection) kavramıdır. Süreç üzerinde değişikliğe başlamadan önce, karşı karşıya olan sorunu çözecek veya çözümsüzlüğe götürecek yaklaşımdır. Süreç üzerinde özel değişiklikler yapılmasına karar verildiğinde ne yapılıp ne yapılmayacağı veya nelerin yapılmasının doğru olduğuna ilişkin ortaya atılan çözüm önerileridir. İşletmeyi başarıya götürecek düşünce veya yaklaşımlar varsa fiili olarak değişime başlamadan önce bu kararlar teorik olarak sisteme uygulanır(Dettmer, 1997, s.132).

### 2.13.1. Mevcut Gerçeklik Ağacı

İşletmenin o anda içinde bulunduğu durum, karşı karşıya kaldığı sorunların neden sonuç ilişkisiyle ele alınıp bu sorunların arkasında yatan bir veya birden çok asıl sebebe ulaşmaya çalışan bir analizdir.

Dettmer (1997)'ye göre Mevcut Gerçeklik Ağacı etrafta görülen istenmeyen sonuçlarla başlar ve geriye doğru düşünülerek şu anki istenmeyen sonuçları yaratan birkaç kök sebebin veya tek bir kök problemin teşhis edilmesine yardım eder. Kök problem genelde beş odaklanma adımı sırasında teşhis edilmeye çalışılan kısıttır. Mevcut Gerçeklik Ağacı, ne değişecek? (sistemi en büyük olumlu sonuca ulaştırması için yapılacak en basit değişiklik) sorusuna yanıt verir. Şekil 2.16, Mevcut Gerçeklikler Ağacı'nı göstermektedir.



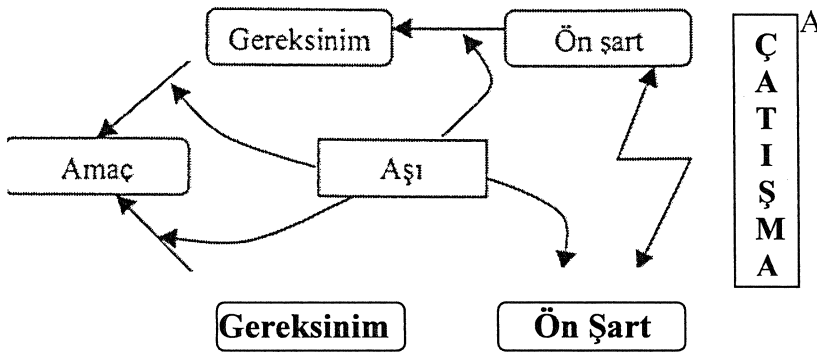
Şekil 2.16: Mevcut gerçeklik ağacı(Dettmer, 1997, s.22).

### 2.13.2. Beyin Fırtınası

Mevcut Gerçeklikler Ağacı'yla varılan sonuçların kapsamlı olarak ele alınıp kaynakları, çıkış noktası çözümleri veya uygulanacak aşilar üzerine bir grup yönetici ve üretimde görev alan kişiler tarafından yapılan çalışmadır.

### 2.13.3 Çatışma Çözme Diyagramı: "Buharlaşan Bulut"

Goldratt çatışma çözme diyagramını (buharlaşan bulut) kronik problemlerin sürmesini sağlayan gizli çatışmaları çözmek için geliştirmiştir. Buharlaşan Bulut, kök problemlerin altında yatan ve devam eden çıkar çatışmalarının onun doğru biçimde çözülmesini engellediğini aksi halde problemin uzun zaman önce çözülmüş olacağı düşüncesine dayanır. Sonuç olarak bu diyagram "neye doğru değişecek" sorusunun ilk kısmına yanıt verir. Çatışan farklı ön şartlara gerekli düzenlemeler yapıp aynı amaç etrafında yeniden organize etmeyi içerir. Dettmer (1997)'den alınan Buharlaşan Bulut Diyagramı Şekil 2.17'de verilmiştir.

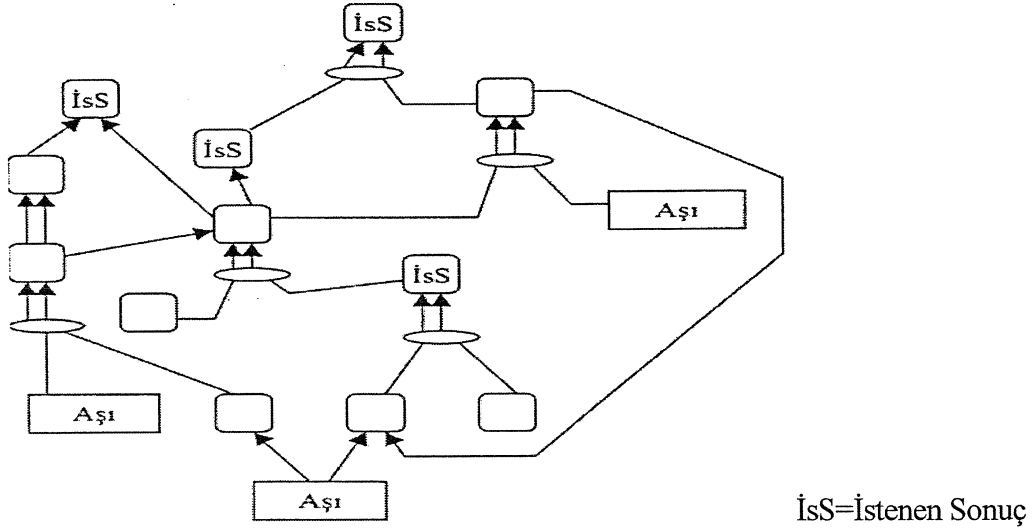


Şekil 2.17: Çatışma çözme diyagramı: "Buharlaşan Bulut" (Dettmer, 1997, s.23).

### 2.13.4. Gelecek Gerçeklik Ağacı

Varolan sorunlara gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra tercih ettiğimiz çözümü istenen sonuçlarını önceden tahmin etmeye yarar. Bu anlamda Gelecek Gerçeklik Ağacı ile Şimdiki Gerçeklik Ağacı arasındaki en önemli fark da açığa çıkmış olur. Mevcut Gerçeklik Ağacı istenilen sonuçları ilişkilendirirken Gelecek Gerçeklik Ağacı tercih ettiğimiz çözümle istenen sonuçları ilişkilendirir.

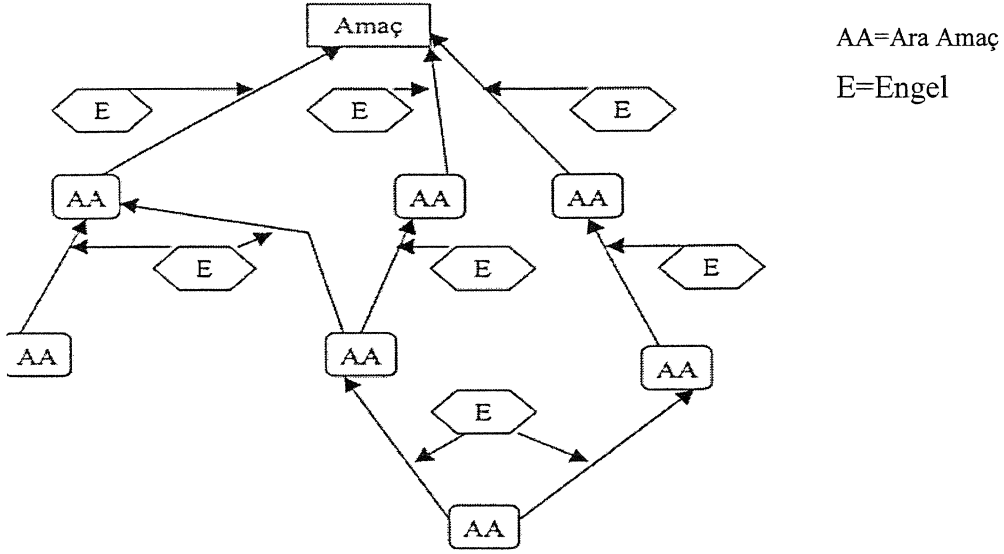
Gelecek Gerçeklik Ağacı, çözümleri uygulamaya koymadan önce gerekli değerlendirme ve iyileştirmelere olanak sağlar. Böylelikle öne sürülen çözümdeki eksik noktalar ortaya çıkmış olur ve bu durumun iki temel avantajı vardır. Birincisi, mantıksal olarak gerçekleştirilecek faaliyetlerin etkinliği zaman, enerji ve kaynaklar harcanmadan test edilmiş olur. İkincisi ise, varolan durumdan daha kötü bir hale gelmesi engellenir. Bu aşama “neye doğru değişecek” sorusunun cevabını üretir. Gelecek Gerçeklik Ağacı Şekil 2.18’de verilmiştir.



Şekil 2.18: Gelecek Gerçeklik Ağacı(Dettmer, 1997, s.194)

### 2.13.5 Ön Şart Ağacı

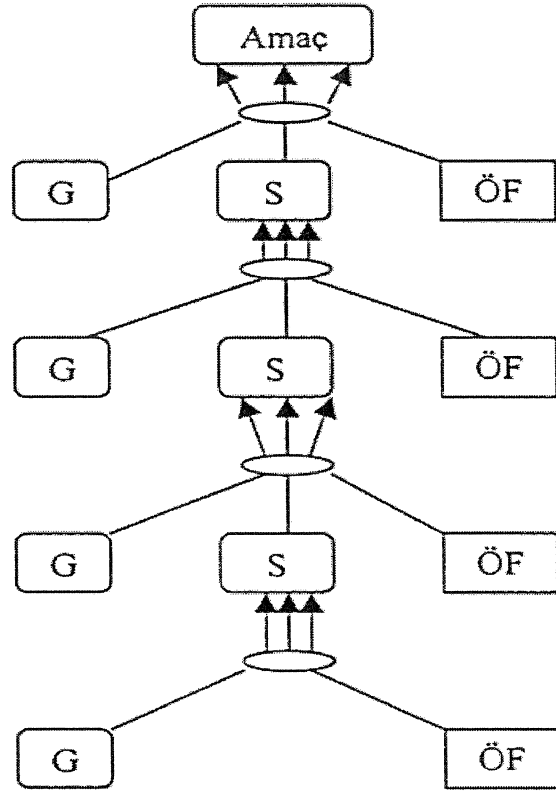
Düşünme sürecinin bu aşamasında işletmenin asıl varmak istediği amacına ulaşmak için gerekli ara amaçlar tanımlanıp sıralanarak bu ara amaçların gerçekleşmesindeki engeller listelenir. Böylelikle değişim “nasıl gerçekleşecek” sorusuna cevap aranır. Ön Şart Ağacı Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.19: Ön Şart Ağacı(Dettmer, 1997, s.265).

### 2.13.6 Geçiş Ağacı

Düşünce sürecinin bu son aşamasında işletmenin uygulayacağı değişim planı ortaya çıkmış olmaktadır. İşletmenin o an içinde bulunduğu durumdan varmak istediği duruma doğru yapılacak her eylem ve her adım açıklığa kavuşmuş olmaktadır. Böylece Geçiş Ağacı gerekli eylemlerin neden gerekli olduğu ve amaca ulaşılması için neden yeterli olduklarını tanımlamış olur. Ön çalışmalarıyla beraber Geçiş Ağacı, geçiş sürecinde gerekli her açıklama ve doğrulama ihtiyacı için otomatik olarak cevap üretmiş olmaktadır. Böylece insanoğlunun en belirgin özelliklerinden biri olan değişikliğe karşı direnç gösterme eğiliminin aşılması kolaylaşmaktadır. Bu son aşama ile beraber “Değişim nasıl gerçekleşecek?” sorusuna cevap bulunmaktadır. Geçiş ağacı akış diyagramı Şekil 2.20’de verilmiştir.



G=Gereksinim ÖF=Özel  
Faaliyet S=Sonuç

Şekil 2.20: Geçiş Ağacı(Dettmer, 1997, s.305)

Goldratt, bir organizasyonda değişikliğin başlatılması için sokratik bir metod kullanmaktadır. Bu metod Yunan Filozof Sokrates'in öğrencilerine uyguladığı bir öğretme stratejisidir. Bu metotta, öğretmen öğrencilerine onları çözüm veya cevaba ulaştıracak sorular sorarak onlardan çözüme ulaşmalarını ister. Bu metod başarılı olduğunda çözümü uygulayacak olan kişi çözümü kendi bulmuş olmaktadır.

## 2.14 Doğrusal Programlama ve Kısıtlar Teorisinin Karşılaştırılması

Goldratt, Amaç kitabını 1984’de yayınladıktan sonra, sunulan düşünceler, imalat ve akademi dünyasının tüm köşelerinden geniş bir dizi tepki almıştır. Belirgin tepkiler özellikle akademi dünyasından gelmiştir. Sonraki süreçte bu kavramlar kayda değer ölçüde genişletilmiş ve Goldratt tarafından Kısıtlar Teorisi olarak ve Umble ve Srikanth tarafından ise eşzamanlı imalat kavramlarını açıklamak için kullanılmışlardır(Gupta ve Finch, 1992, s.1471).

Birçok kimsenin KT’nin yeni birşeyler katmadığına inanmalarının nedeni neredeyse aynı şeyin doğrusal programlama (DP) ile başarılabilir olmasıdır. Bu anlaşılabilir olsa da her ikisi açısından kısıtların önemi göz önüne alındığında, farklılıkları anlamak önemlidir. Tam Zamanında Üretim (TZÜ) veya Toplam Kalite Yönetimi (TKY) nasıl birer imalat felsefesi iseler, KT’de öyle bir imalat felsefesidir. Doğrusal programlama (DP) ise özgün bir tekniktir(Gupta, 2001, s.1164).

Doğrusal programlama, belirli koşullar altında, özgün bir soruya en olumlu çözümü üretmek için kullanılabilen matematiksel bir tekniktir. Chase ve Aquilano (1989) DP kullanılmadan önce yerine getirilmesi gereken koşulları açıklamışlardır. Bu koşullar nesnel bir amacın varlığını, sınırlı kaynakları, amaç fonksiyonu ve sınırlama denklemlerindeki değişkenler arasında doğrusal ilişkileri, homojen ürün ve kaynakları ve son olarak da karar değişkenlerinin bölünebilirliğini ve negatif olmamasını içerir. DP problemlerini çözen bilgisayar programlarının çoğu duyarlılık analizleri de gerçekleştirmektedirler. Duyarlılık analizinin burada en uygun olan ögesi gölge fiyat kavramıdır. Gölge fiyat, amaç fonksiyonunun en yüksek fiyatının her birimindeki değişikliğidir. İçerisinde sıfır düşüşün olduğu bir kısıt, bağlayıcı bir kısıt olarak tanımlanır. Bağlayıcı bir kısıtın gölge fiyatı sıfır değildir, bunun yanında bağlayıcı-olmayan bir kısıtın gölge fiyatı sıfırdır. Birden fazla bağlayıcı kısıtın olduğu durumlarda, bağlayıcı kısıtlardan birinin gölge fiyatının sıfır olması mümkündür.

Duyarlılık analizi yeni bir ürün veya makinenin eklenmesi için, katkı oranını değiştirirken veya herhangi bir makinenin üretim oranını değiştirirken kullanılabilir.

KT ve DP arasında karşılaştırılma yapıldığında, KT, birçok özgün teknikten yararlanan genel bir kuramdır, bunun yanında DP bir verimlileştirme tekniğidir. Hem KT teknikleri hem de DP, verilmiş bir durumda en olumlu ürün karışımını bulmak için kullanılabilirler. Her ikisi de işletme süresinde ya da üretilen ürünlerde yada kullanılan makinelerdeki diğer değişikliklerin etkisini belirleyebilirler. Ancak, DP tarafından gölge fiyatlar aracılığıyla sunulan analiz düzeyi, KT tarafından \$ kazanç/sınırlama birim analiziyle

aracılığıyla sunulan analiz düzeyi kadar ayrıntılı ve aynı düzeyde değildir. Bu biçimdeki KT analizi DP tarafından sağlanmayan bir odaklanma sağlar.

KT ile DP arasındaki başlıca farklardan biri de planlama fonksiyonudur. KT, hem bir stoklama hem de bir sipariş verme ortamı için kullanılabilen ve davul-tampon-ip olarak adlandırılan iyi geliştirilmiş bir mekanizmayı da içerir. Bir diğer fark da DP, KT'nin sağladığı iyileştirmeye yönelik odaklanmayı sağlamaz. KT analizi, kuruluşun para kazanma kabiliyetini sınırlayan parça üzerinde odaklanır. Bu odaklanma, hazırlık süresinin veya önleyici idare kullanımının neresinde iyileştirmelerin en büyük etkiye sahip olacağını gösterir. Tampon envanterlerin verimi korumak için nereye yerleştirilmeleri gerektiğini tespit eder ve işleyiş süresi, işgücü yetiştirilmesi veya üretim hattında varolan ekipmanın yenilenmesinin neresinde iyileştirmelerin gözden geçirilmesi gerektiğini gösterir. Sistemin kısıtları bir kere kırıldı mı yeni bir kısıt belirlenir, yeni sistem kısıtlamalarına dayanan yeni planlar yapılır ve tüm iyileştirme süreci kendini yineler. Sonuçta, KT sistemi bizlere problem çözümünde bir yön verir. Sürekli iyileştirmenin edinilmiş olması beş adımlı odaklanma süreci aracılığıyla olur.

Son olarak, her hangi bir işletmenin en önemli işlevlerinden biri, o kuruluşun kararları uygulayabilme kabiliyetidir. Kararları uygulayabilmenin kayda değer bir bölümü çalışan katılımıdır. Deneyimler, yöneticilerin bazı çalışanların anlamadığı teknikleri kullanmakla ilgili zorlukları ortaya çıkarmıştır. Bir KT tekniğinin karşılaştırırken, \$kazanç/kısıt dakika'yı hesaplamak, DP'den daha kolay anlaşılır, ve büyük bir olasılıkla da daha kolayca kabul görür(Balakrishnan ve Cheng, 200, s.1459). Diğer taraftan mevcut durumlardaki değişimler durumunda KT'de sadece sürece devam edilir, bunun yanında DP'de problem yeniden formüle edilmeli ve yeniden işleme geçirilmelidir (Luebbe ve Finch, 1992, s. 1479-1480).

## **2.15 Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP) ve Kısıtlar Teorisi Karşılaştırılması**

Geleneksel yaklaşım MRP, belirlenmiş kabul edilen bir üretim sistemini planlamada ve kontrol etmede edilgendir. Kurulum zamanları, işleme zamanları, hareket ve kuyruk zamanları, arıza oranları, tamir süresi, ıskarta oranları ve buna benzer birçok şey belirlenmiştir. MRP belirlenen bu çevrenin sabitleriyle birlikte üretim verimini arttırmaya çalışır.



MRP, Kaba Kapasite Planlama, kaynak darboğazını tanımlamak için kullanılır. Darboğaz bir kere tanımlandıktan sonra bu darboğaz için bir plan geliştirilir. Bu plan, bütün son ürünler için kullanılacak olan ana planın tasarlanmasında kullanılır. Ana planda olması gereken ve darboğaz boyunca yönlendirilen bileşenleri içeren son ürünler ile darboğaz operasyonundan beklenen üretimin miktarı ve zamanlamasının planı bir şekilde uyumlu olmalıdır. Tampon bölgeler lojistikte, montajda ve darboğazlarda yer alır. Bu sistemin uygulanması darboğazdaki plana dikkatli ve tam olarak uyulmasını gerektirir.

KT, MRP den farklı olarak, yeterli kapasitenin bulunup bulunmadığı konusunda bir şüpheye düşmez. MRP daha çok orta ve uzun dönemli planlama aracıdır ve atölye düzeyinde üretimin düzenlenmesinde yol gösterici özellik taşımaz. MRP’de kapasitenin dengelenmesine ilişkin güçlük nedeniyle, birçok sistemde kapasite dengesizliklerinin atölye düzeyinde çözülmek üzere bırakılması; hatta, atölye düzeyinde siparişlerin kapasite karşısında dengelenmesi için, sistemde, bir miktar kapasitenin programlanmadan boş bırakılması yoluna gidilmektedir.

KT, darboğaz oluşturmeyen kaynaklar üzerinde küçük ve değişken büyüklükteki partiler halinde üretim yapılmasına izin verir. Üretim süresinin ve yarı mamul stoklarının düşürülmesi için, üretim parti büyüklükleri ve transfer parti büyüklükleri değiştirilebilir, gerektiği takdirde üretim partileri bölünebilir. MRP, böyle bir olanağa sahip değildir, üretim ve transfer parti büyüklükleri birbirine eşittir.

MRP de siparişlerin üretim süreleri sabit kabul edilmiştir. Bir üretim tesisinde üretim süresi, iş emrinin gönderilmesinden parça üretiminin tamamlanmasına kadar geçen süre olarak tanımlanır ve makine hazırlık, işlem ve bekleme sürelerinden oluşur. MRP de, olası değişkenlikler karşısında pay ayrılarak üretim sürelerinin uzun belirlenmesi yoluna gidilir. Kuşkusuz bu durum sistemdeki stok düzeylerinin artmasına neden olur. Gerçekte üretim sürelerinin sabit kabul edilmesi MRP sisteminin önemli bir sakıncasını oluşturur.

Hem KT hem de MRP, üretim sürecine ait verilerin bütünleşmesini sağlayacak sistemlere ihtiyaç duyarlar. MRP ile kıyaslandığında KT, daha ayrıntılı bilgiye ihtiyaç duyan bir sistemdir.

Diğer taraftan hem KT hem MRP, yazılıma dayanan yöntemlerdir. KT’yi geliştiren uzmanlar, KT ‘nin MRP’den 100 kat daha hızlı çalıştığını ileri sürmüşlerdir. Ancak bu durum, KT’nin bir çok modülünün açıklanmamış olması nedeniyle teorisyenler ve uygulamacılar tarafından şüphe ile karşılanmıştır(Üreten, 1998, s.314-321 ).

MRP ve KT’yi içeren melez sistemler üzerine yapılan çeşitli çalışmalar da vardır. Smith, Muhlemann , Oakland ve Locyer tarafından yapılan çalışmalar ile teorik olarak

KT'nin önerdiği darboğazlı işlemlere yönelik programlama ilkelerinin MRP sisteminin ayrıntılı kapasite planlama aşamasına birleştirilmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır(Miltenburg, 1997, s.1149).

Aşağıda, Miltenburg (1997) tarafından önerilen 5 adım ile, KT'nin MRP içine gömülmesi ile ilgili çalışma verilmiştir

**Aşağıdaki 5 adım KY'yi MRP içine gömecektir ;**

**Adım 1 :** *Kısıtı tanımla.* Yönlendirme ve talep bilgisi, her bir departmanda planlanan yüklemeleri hesaplamada kullanılır. Her departmandaki, planlanan yükleme kapasitesi uygun kapasite ile karşılaştırılır. Eğer kapasite aşıyor ve arttırılamıyorsa planlanan talep karşılanamaz ve departman kaynak kısıtlı hale gelir. Ürün karmasını olabilecek en karlı hale getirecek şekilde her ürün için planlanan talep kısıtlanır. Doğrusal programlama bunun için kullanılan araçtır. Her departmanda yeterli kapasite olduğu durumda kaynak kısıtlaması yoktur. Bunun yerine dış pazar kısıtlı hale gelir ve pazar kısıtı olduğu söylenebilir.

**Adım 2 :** *Zaman tamponlarını belirle, yönlendirme ve öncü zamanları revize et.* Zaman (örneğin stok) tamponları kısıtın akışına doğru ve kısıtlarla diğer ürünlerin işlendiği departmanlara ters yönde hemen ayarlanır. Zaman tamponlarını sunmak için MRP'de geçici (Fantom = geçici, sanal) departmanlar hazırlanır. Bu departmanlardaki işlem zamanları, zaman tamponlarına eşit olacak şekilde ayarlanır(tamponlardaki bütün ürünlerin işlem süreleri belirlenir). Tamponlara gelen bütün ürünlerin yönlendirilmeleri geçici departmanlardaki ilave operasyonlara göre revize edilir.

MRP'deki hareket ve bekleme süreleri; bütün departmanlardaki bütün ürünler için uygulanan bütün operasyonlarda sifıra eşitlenir. İşlem zamanları, bir işlem dizisindeki ayarlama ve tanımlama sırasında geçen zamanlara eşitlenir. Bununla birlikte MRP'deki bir işlem dizisinde geçen üretim süresi(hareket, bekleme, ayarlama ve işlem sürelerinin toplamı) KT'deki ile aynıdır.

**Adım 3 :** *Çember planını yap, ana üretim çizelgesini hesapla.* Planlama ve üretim takibinde kullanılan bu prosedür “davul-tampon-ip” olarak adlandırılır. Kısıttaki faydayı en karlı hale getirecek olan plan geliştirilir. Buna çember denir ve kısıt üzerine planlamacılar ve operatörlerin analiz ve karşılıklı fikir alışveriş süreçleri sonucunda ulaşılır. Çember planı,

üretim ana zamanın “ip” uygulaması ile ana üretim çizelgesine bağlanır. Standart MRP hesaplamaları ana üretim çizelgesine, malzemenin faturasına, yönlendirmeye vb. şeylere bütün ürünler, bütün planlar ve departmanlardaki sipariş alım ve teslim tarihleri belirlemek için uygulanır. Üretim siparişleri ilk departmana gönderilir ve diğer departmanlardaki teslim ve tamamlama süreleri ana üretim sürecine göre planlanır.

**Adım 4 :** *Departman planlamaları için MRP planlarını kullan.* Departmanlar siparişlerini zamanında tamamlamak zorundadır. Eğer erken bitirirlerse fazla stok oluşur, geç kalırlarsa da kısıtla karşılaşılabilir ve ara ürün kısıtından dolayı iş akışı durabilir. Departmanların siparişlerini zamanında tamamlaması için Kısıtlar Teorisi iki prosedür kullanır. Birincisi, kısıt olmayan departmanların aldıkları siparişlerin en kısa zamanda uygulanmasını sağlamaktır. İkincisi ise, (tampon yönetimi olarak adlandırılan) tamponlardaki stokların sürekli takip edilmesi ve stok düştüğü anda uygun departmanlarda üretimin hızlandırılmasıdır. Bu iki prosedürü oluşturmak için standart MRP zamanlama kuralları ve özel MRP performans ölçümü kullanılır.

Kullanılan departmanlardan bir tanesi de Lojistik departmanıdır. Burada son işlem yapılır. Eğer kaynak kısıtı yoksa, bu durumda Pazar kısıtlı hale gelir ve stok bu departmanda yer alır.

Stok için üretim ortamında, ileriye dönük talepleri karşılamak için nispeten standart ürünler üretilir ve gelecek müşteri taleplerini karşılamak için bitmiş ürün envanterinde depolanır. Üretim siparişleri ana üretim planına göre fabrikaya bırakılmıştır.

Her ürünün tek olduğu ve müşteriye özel üretildiği Siparişe Göre Üretim ortamında, müşterilere teslimat zamanı verilir. MRP'nin sonlu yükleme kuralları, her departmanda ürünlerin gönderme listesiyle birlikte hazırlanma zamanlarını kolayca hesaplar. Ürünler teslimat zamanına göre en erken teslim edilecek en önce üretilecek şekilde sıralanır. Teslimat tarihleri aynı olduğu zamanlarda ise katma değeri yüksek olan önce üretilir. Kısıtlamalar teslimat süresini karşılayacak yeterli kapasiteye sahiptir. Diğer departmanların çok fazla kapasitesi vardır.

**Adım 5 :** *Üretimi kontrol et, performansı ölç.* Departman performansı, gerçek üretimle planlanan üretim karşılaştırılarak ölçülür. Amaç üretimi tam zamanında tamamlamaktır, ne erken ne de geç. Bu öyle bir orandır ki tamponlanan bölgedeki kısıttan kaynaklanan bir gecikmeye neden olmaz.

Özetlenecek olursa:

- 1.) Kısıtları tanımlayabilmek için kapasite planlamayı kullan,
- 2.) Zaman tamponlarını ayarla, rotaları ve yükleme zamanlarını revize et,
- 3.) “Davul” zamanlamasını ayarlayarak, ana üretim zamanlamasını hesapla,
- 4.) Departmanları zamanlamak, planlamak için MRP kurallarını kullan,
- 5.) Üretimi kontrol et, performansı ölç(Miltenburg, 1997, s.1148-1169).

## **2.16 Tam Zamanında Üretim ve Kısıtlar Teorisi Karşılaştırılması (TZÜ ve KT)**

Tam Zamanında Üretim (Just in Time –JIT) yöntemi, süreci iyileştirecek gelişmeleri aktif bir şekilde araştırmaya dayanır. Bu gelişmeler yapılmazsa üretim hattı üretim planını tamamlayamaz. Amaç, düşük envanter seviyesiyle beklenen üretimi yapabilmek için gerekli her türlü müdahaleyi yapabilmektir.

JIT yöntemi daha çok üretim hattının yönetilmesi ile ilgili bir yaklaşımdır. Dolayısıyla JIT ile KT'nin karşılaştırılması daha çok üretim hattının yönetilmesi ekseninde ele alınabilecek bir konudur. KT, üretim hattını mümkün olan maksimum çıktıyı verecek şekilde sıkıştırır, zorlar. Bunu yaparken üç önemli teknik kullanır ;

- Kısıtların tespiti ve çözümü
- Tampon yönetimi
- Davul-Tampon-İp zamanlaması

Sürece JIT açısından bakılırsa oturmuş bir üretim hattına iyileştirmeler sağlayacak müdahaleler yapmanın maliyeti fazla yüksek olmadığı için JIT uzun süre iyi sonuçlar verir. Çünkü iyileştirmeler envanter seviyesi düşürüldüğünde ortaya çıkan problemleri ortadan kaldırmak için gereklidir. JIT' te, çıktı yüksek, envanter düşük, döngü zamanı hızlıdır. Bütün performans ölçülerinin değişkenliği düşüktür. Rekabet ortamına bakıldığında üretim en hızlı döngü zamanında en fazla çıktıyı sağlamalıdır. Bunun için JIT iyi bir yaklaşımdır.

Sürece KT açısından bakıldığında ise iyileştirmeler yapmanın (kısıtları ortadan kaldırmak) ve üretimi kolaylaştırmanın (tampon yönetimi) maliyeti fazla yüksek olmadığı için KT uzun süre iyi sonuçlar verir. KT, en yüksek çıktı seviyesini sağlar, en düşük beklenen fark değerine sahiptir. Envanter seviyesi JIT 'ten daha yüksektir. Çünkü JIT bütün envanteri ortadan kaldırmaya çalışır. KT ise kısıtlar yönetiminde bir miktar envantere ihtiyaç

duymaktadır. Envanterin olması ise ayrıca döngü zamanının da JIT'e göre KT'de daha uzun olmasına sebep olur. KT'de iyileştirme aktivitelerine daha çok önem verilmektedir ve önem verilen bu aktiviteler JIT'tekilere göre daha az maliyetlidir. Üretimden mümkün olan maksimum çıktıyı almak isteyen organizasyonlar için uygun bir yaklaşımdır.

Diğer taraftan JIT ve KT tekniklerinin karmaşık sistemlere uygulanması esnasında dikkatli olunmalıdır.

JIT de KT gibi, yarı mamul stoklarını azaltmak için tesis içinde üretimin akışını senkronize etmeye çalışır. Ancak iki yöntem arasında bu amacın gerçekleştirilmesinde kullanılan yöntem konusunda farklılıklar vardır. JIT üretim akışını kanban denilen kartlarla denetlerken, KT, üretimde darboğazlı kaynağın hızına uyacak şekilde bir senkronizasyon geliştirilmekte ve bu senkronizasyon Davul-Tampon-İp mekanizması ile kontrol edilmektedir(Lea ve Min, 2003, 2886).

JIT sabit bir ürün karmasının, zaman içerisinde sabit bir hızla üretilmesini gerektiren bir sistemdir. KT'de böyle zorunluluklar yoktur. Çok çeşitli ürün, değişken talep ve karmaşık çevre koşulları karşısında KT kullanılabilmesine karşılık bunlar JIT için ciddi sorunlar yaratır.

JIT tarafından elde edilecek çıktı, son müşterinin yarattığı gerçek talep tarafından belirlenirken, KT'de bu sistem kapasitesini sınırlayan kısıtlı kaynak veya süreç tarafından belirlenir.

JIT'in bir denetim ve işletim tekniği olması, MRP ile karşılaştırıldığında KT'ye daha yakın bir yöntem olduğu sonucuna varılabilir.

JIT'de üretim ve transferin tek birimlik partilere dönüştürülmesi ideali doğrultusunda çalışılır, KT den farklı olarak üretim ve parti transfer büyüklükleri birbirine eşittir.

JIT'de makine hazırlık sürelerinin düşürülmesi ve böylelikle üretimin küçük partiler halinde yapılması yönünde yoğun bir çaba vardır. KT de bu yönlü bir çaba yoktur. Sadece istisna olarak darboğazlı kaynaklar için hazırlık süreleri ile ilgili olarak bir çaba vardır.

JIT ile KT arasındaki en belirgin farklardan biri de KT'nin tüm istasyonlardaki iş yüklerini dengelememesidir. JIT sistemlerinde, işlem sürelerindeki değişkenliğin ortadan kaldırılması suretiyle istasyonlar arasındaki bağımlılık azaltılmaya çalışılmaktadır. KT ise en az bir adet en yavaş istasyona sahip olabilmek için gerekirse üretim hatlarının bilinçli olarak dengelenmemesi yoluna gitmektedir(Üreten, 1998, s.314-321).

Sonuç olarak MRP, JIT ve KT yaklaşımının birçok ortak elemanı bulunmaktadır. Özellikle MRP son derece esnek olduğundan, üreticiler böyle bir sistemi JIT veya KT'ye

dönüştürmekte çok fazla zorlanmazlar. Ancak daha öncelerden büyük hareketler ve kuyruk zamanları, sayısız envanter tamponları olan geleneksel yaklaşım altında çalışan operatör ve müdürlerin, şimdi erken veya geç üretmenin büyük cezalarının, sorumluluklarının olduğu katı üretim çizelgeleri ile işlerini yerine getirmeleri beklenmektedir. KT'ye geçişte personele yardımcı olabilmek için büyük miktarda tecrübe ve eğitim gereklidir.

Diğer taraftan temel mantık olarak JIT ve KT “çekme” tipli bir işlem mantığına sahiptirler. JIT bunu tüm sürece yayarken, KT için durum biraz daha farklıdır. Burada kapasite kısıtlı kaynağa kadar bir çekme, kapasite kısıtlı kaynaktan sonra ise bir itme söz konusudur. Bu anlamda KT kapasite kısıtlı kaynağa kadar JIT, kapasite kısıtlı kaynaktan sonra ise MRP tekniklerini uygulayarak en iyi sonuçlara ve uygulama kolaylıklarını ulaşılmaya çalışır.

### **2.17 Toplam Kalite Yönetimi ve Kısıtlar Teorisi (TKY ve KT)**

Günümüzde, üretim sistemlerinde hatalar için pay ayrılması yaklaşımı terk edilmiş durumdadır. Amaç sıfır hatadır ve işletmenin tamamı bu amaç doğrultusunda çalışır. Üretilen parçaları ‘hatalı’ veya ‘hatasız’ diye ayırmak yerine, hataların nedeni ortaya çıkarılarak giderilmesi yoluna gidilir. Bu anlamda kalite bir denetim değişkeninden çok yönetilmesi gereken bir değişkendir (Üreten, 1998, s.303-304).

Bir MRP sisteminde gerekenden daha büyük partiler oluşturmak suretiyle hatalı parçalar için bir pay ayrılır, bir JIT sisteminde hataya yer yoktur ve sistemin başarısı dengelenmiş kapasitesinden gelmektedir. KT de ise, darboğaz oluşturan kaynak dışındaki makinalarda atıl bir kapasite mevcuttur. Böylece hatalı bir parça veya ara ürün kısıta geldiğinde yenisini üretmek için yeterli süre vardır. Ancak kısıtta kaybedilen her bir dakika veya her süre sistemin tamamını etkilediğinden, kısıtın hatasız parçalar üzerinde çalışması sağlanmalıdır. Bunun için kısıtın önüne bir kalite kontrol noktası kurulması gerekmektedir. Goldratt, kısıtlar teorisini benzetim yoluyla anlattığı Amaç (1986) kitabında da bunu önermektedir.

Kalite başarısının, çalışanların katılımı ile oluşan ve koordinasyon gerektiren bir sorun olduğu açıktır. Birçok işletme çalışanlarının da katılımı ile takımlar veya gruplar kurarak kalite iyileştirmeleri yoluna gitmektedir. Goldratt'ın kısıtlar ve kısıt olmayanlar ayrımı kabul edildiğinde, yöneticilerin, herkesi değişim çabaları içine sokmalarının, sürekli iyileştirmeye yönelik çabaların büyük bölümünün boşa gitmesine neden olmaktadır. Bunun da ötesinde, değişim sürecine katılanların bir çoğu, çabalarının sistem başarısı üzerinde

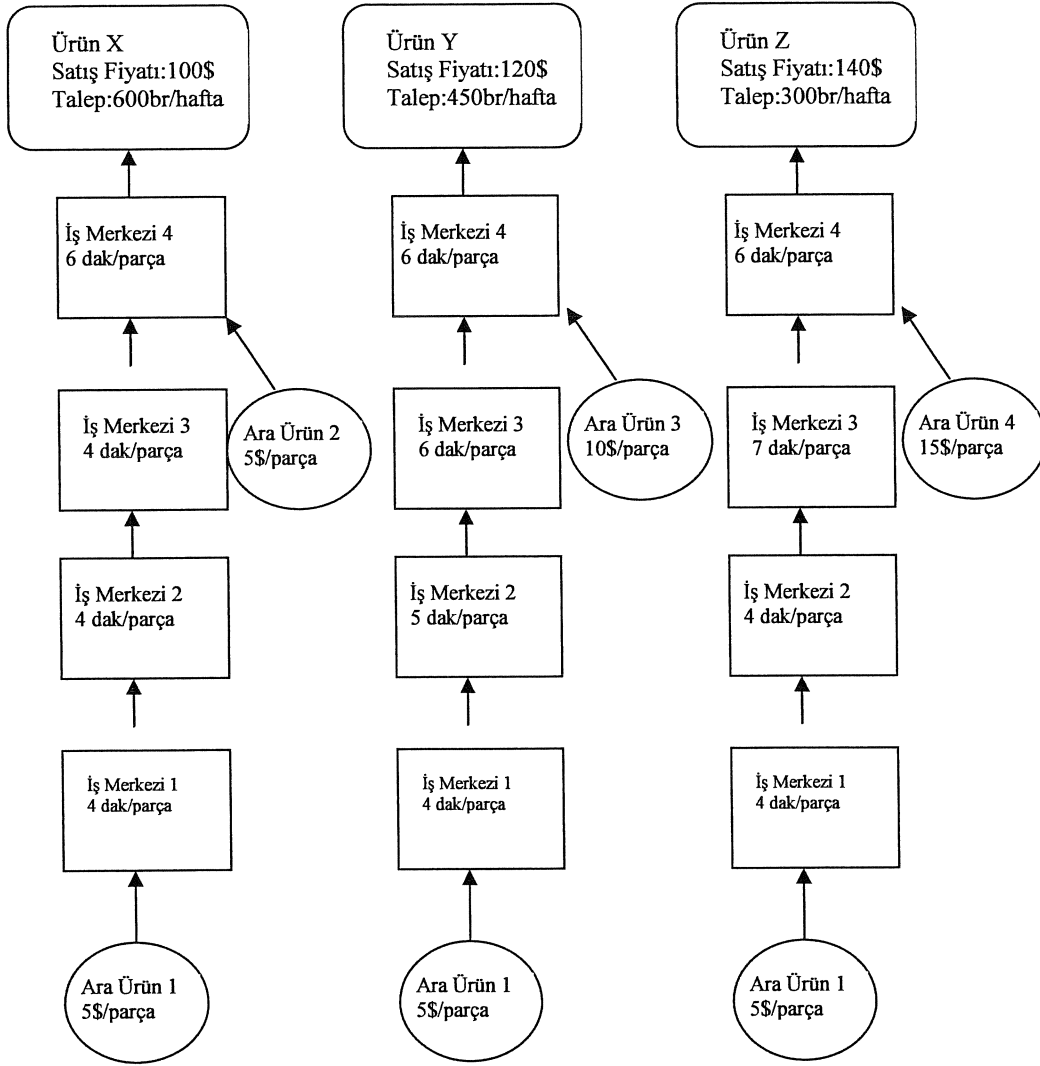
herhangi bir etkisinin olmadığını görecek ve motivasyon anlamında olumsuz etkileneceklerdir. Bu durumdan, kısıtlar teorisinin, TKY'yi reddettiği gibi bir anlam çıkarılmamalıdır. Tam tersine iyileştirmelerin doğru yerlerde yapılması, en iyi sonuca çok hızlı bir şekilde ulaşma sonucunu verecektir. İyileştirme çabalarının gelişigüzel tüm alanlara dağılması yerine sistem başarısını sağlayacak alanlara yöneltilmesi gerekmektedir.

### **2.18 Açıklayıcı Bir Örnek**

Buraya kadar anlatılanları bir örnek ile açıklamaya çalışalım. Söz konusu örnek J.B. Atwater ve Chakravorty (1995)'den alınmıştır.

Bir işletmede X, Y, Z olarak adlandırılan üç ürün üretilmektedir. X ürünü satış fiyatı 100 \$ ve ortalama Pazar talebi 600 adet/hafta, Y ürünü satış fiyatı 120 \$ ve ortalama Pazar talebi 450 adet/hafta, Z ürünü Pazar fiyatı 140 \$ ve ortalama Pazar talebi 300 adet/haftadır. Her ürün için ara ürün gereksinimleri, akış rotaları, kapasite kullanım oranları, her ürün için her iş merkezinin ortalama süreç zamanları aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Her iş merkezinin kapasitesi günde üç vardiya, haftada beş çalışma günü olmak üzere toplam 7200 dakikadır.

Yukarıda anlatılanlar Şekil 2.20 de gösterilmiştir.



**AÇIKLAMALAR:**

1. Üretim Günde 3 vardiya ve haftada 5 gün gerçekleştirilmektedir. Her Çalışma merkezinin kapasitesi maksimum 7200saat/haftadır.
2. Her çalışma merkezi yalnız bir kaynağı kullanmaktadır.
3. Her iş merkezinin kullanım kapasitesi farklıdır:
  1. işmerkezi %90
  2. işmerkezi %92
  3. işmerkezi %95
  4. işmerkezi %97 kapasite ile çalışmaktadır...

**Şekil 2.21:** Üretim akış seması ve birim zamanlar

Böylelikle bir iş merkezinin toplam kapasitesi hesaplanmak istendiğinde

$$C_{IM_n} = \sum_{i=1}^I (D_i * t_{iIM_n}) \text{ formülü ile hesaplanabilir (1).}$$

$C_{imn}$  = n 'inci iş merkezinin tüm ürünler için harcayacağı toplam zaman.

$D_i$  = i ürününe olan Pazar talebi



$t_i IM_n$  = her i ürünü için n'inci iş merkezinin harcadığı zaman.

Böylelikle (1) nolu formül ile hesaplanan iş merkezleri (İM) kapasiteleri Tablo 2.2'de verilmiştir. Örneğimizde her iş istasyonu için;

$$C_{IM_n} \leq 7200 \text{ olmalıdır.}$$

**Tablo 2.2:** Her iş merkezi (İM) %100 kapasite ile çalışması durumunda gerekli kapasitelerin hesaplanması.

(1)Ürün	(2)Talep	(3)Her ürün için İM <sub>1</sub> 'in harcadığı zaman	(4) İM <sub>1</sub> için gereken zaman (2)X(3)	(5)Her ürün için İM <sub>2</sub> 'in harcadığı zaman	(6) İM <sub>2</sub> için gereken zaman (2)X(5)	(7)Her ürün için İM <sub>3</sub> 'in harcadığı zaman	(8)İM <sub>3</sub> için gereken zaman (2)X(7)	(9)Her ürün için İM <sub>4</sub> 'in harcadığı zaman	(10) İM <sub>1</sub> için gereken zaman (2)X(9)
X	600	4	2400	4	2400	4	2400	5	3000
Y	450	4	1800	5	2250	6	2700	5	2250
Z	300	4	1200	4	1200	7	2100	5	1500
Toplam gereken zamanlar			5400		5850		7200		6750

Çalışma merkezlerinin kullanım kapasiteleri hesaba dahil edilmeden yapılan bu hesaplama göre tüm iş merkezlerinin kapasiteleri yeterlidir. Ve kapasite kısıtlı kaynak (KKK) bulunmamaktadır. Ancak örnekte de verildiği üzere :

1. İM % 90,
2. İM % 92,
3. İM % 95,
4. İM % 97,

kapasite ile çalışmaktadır. Bu durumda kullanım kapasitelerine göre hesaplamanın yeniden yapılması gerekir. Bu hesaplamayı yaparken pazar talebi baz alınarak son istasyondan ilk istasyona geriye doğru yapmak gerekir. Şöyle ki örneğin X ürününe olan pazar talebi örnekte 600 olarak verilmiştir. Bu şu anlama gelir; 4. İM'den 600 adet sağlam son ürün çıkmalıdır. Bu

durumda 4. İM %97 kapasite ile çalıştığından  $600/0,97 = 619$  işlenmelidir ki bunların 600'ü son ürün olarak pazarın talebini karşılansın. Benzeri bir şekilde Pazar talebinden geriye doğru yapılan bir hesaplama göre son durum Tablo 2.3'de gösterilmiştir. Çıkan parça sayılarına göre düzenlenmiş yeni tablo ise Tablo 2.4'de verilmiştir.

**Tablo 2.3:** Kapasite kullanım oranlarına göre iş merkezlerinin üretmeleri gereken miktar.

(1)Ürün	(2)Talep	(3) İM <sub>4</sub> 'ün üretmesi gereken parça (2)/(0,97)	(4) İM <sub>3</sub> 'ün üretmesi gereken parça (3)/(0,95)	(5) İM <sub>2</sub> 'ün üretmesi gereken parça (4)/(0,92)	(6) İM <sub>1</sub> 'ün üretmesi gereken parça (5)/(0,90)
X	600	619	652	709	788
Y	450	464	488	530	589
Z	300	309	325	353	392

**Tablo 2.4:** Kapasite kullanım oranları göz önüne alınarak hesaplanmış iş merkezleri yükleri

(1)Ürün	(2) İM <sub>1</sub> 'in üretmesi gereken parça sayısı	(3)Her ürün için İM <sub>1</sub> 'in harcadığı zaman	(4)İM <sub>1</sub> için gereken zaman (2)X(3)	(5)İM <sub>2</sub> 'nin üretmesi gereken parça sayısı	(6)Her ürün için İM <sub>2</sub> 'in harcadığı zaman	(7)İM <sub>2</sub> için gereken zaman (5)X(6)	(8)İM <sub>3</sub> 'ün üretmesi gereken parça sayısı	(9)Her ürün için İM <sub>3</sub> 'in harcadığı zaman	(10)İM <sub>3</sub> için gereken zaman (8)X(9)	(11)İM <sub>4</sub> 'ün üretmesi gereken parça sayısı	(12)Her ürün için İM <sub>4</sub> 'in harcadığı zaman	(13)İM <sub>1</sub> için gereken zaman (11)X(12)
X	788	4	3152	709	4	2836	652	4	2608	619	5	3000
Y	589	4	2356	530	5	2650	488	6	2928	464	5	2250
Z	392	4	1568	353	4	1412	325	7	2275	309	5	1500
Toplam gereken zamanlar			7076			6898			7811			6750

Bu tabloda her iş merkezinin toplam kapasitesine bakıldığında 3 numaralı merkezinin

kapasitesinin 7200'den büyük olduğu görülmektedir (7811>7200).

Bu durum "3 numaralı iş merkezi kapasite kısıtlı kaynak (KKK)'dır" anlamına gelmektedir. Tüm üretim süreci boyunca çıktıyı belirleyen 3 nolu iş merkezidir.

Verilen bu karara göre 3 nolu iş merkezi için ürün maliyetlerinin ve birim karlarının hesaplandığı tablo aşağıda Tablo 2.5'de verilmiştir.

**Tablo 2.5:** KKK tarafından üretilen ürünlerin birim karları ve üretim sırası

(1)Ürün	(2)Satış fiyatı	(3)Toplam hammadde gideri	(4)Net kazanç (2)-(3)	(5)Kısıtın ürün için harcadığı zaman	(6)Kısıtın katkısı	(7)Üretim sırası
X	100	10	90	4	22,5	1
Y	120	15	105	6	17,5	2
Z	140	20	120	7	17,14	3

Bu hesaplamalardan sonra kısıtlar teorisi yaklaşımına göre kısıtın, üretilen her ürün için katkısı ortaya çıkar. Bu oran;

$\frac{T_i}{t_i IM_n}$  formülü ile hesaplanabilir.

$T_i$ =i'inci ürünün sağladığı çıktı.

$t_i IM_n$  = KKK olan n'inci iş merkezinin, i ürününü üretmek için harcadığı zaman.

Böylelikle Tablo 2.5 yardımıyla X ürününün 22,5, Y ürününün 17,5 ve Z ürününün 17,14 olarak hesaplanır. Bu şu anlama gelir: Kapasite kısıtlı kaynak tarafından 1 birim X üretildiğinde işletmenin kazancı 22,5 , 1 birim Y üretildiğinde işletmenin kazancı 17.50, 1 birim Z üretildiğinde işletmenin kazancı 17,14 'tür.

Bu açıklamaya göre 3'üncü iş merkezi yüklenmeye başlandığında ortaya çıkan tablo aşağıda, Tablo 2.6 da verilmiştir.

**Tablo 2.6:** Mevcut durumda optimal ürün karışımı.

(1)Ürün	(2) Talep	(3) Kullanılabilir kapasite	(4) İM <sub>3</sub> 'de işlenen parça sayısı	(5) İşlem süresi	(6) Gerekli kapasite (4)x(5)	(7)Optimal ürün sayısı	(8)Karşılabilen Pazar talebi (7)/(2)*100
X	600	7200	652	4	2608	600	100
Y	450	4592	488	6	2928	450	100
Z	300	1664	238	7	1664	219	73

Yukarıdaki tabloya göre X ürününden 600 adet, Y ürününden 450 adet ve Z ürününden 219 adet üretmek gerekmektedir.

8.Kolona dikkat edilirse kullanılabilir kapasitenin gerekli kapasiteye oranı bulunmaktadır. Bu oran yüzden küçükse Pazar talebi karşılanmamıştır. Buna göre Z ürünü için (73) Pazar talebi karşılanamamıştır

Yani Pazar talebinin %73'ü karşılanmış, %27'si karşılanamamıştır. Bu ürün karışımına göre işletmenin haftalık karı X ürünü için:

$$[(100*600)-(788*5+619*5)]= 52965$$

Benzer şekilde Y ürünü için 46415 ve Z ürünü için 25830 bulunur. Haftalık toplam sistem çıktısı ise:

52965+46415+25830=125210\$ olarak hesaplanır. Sonuç, Tablo 2.7'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.7:** Kalite iyileştirmelerinden önce sistemin çıktı durumu.

Ürün(1)	Kullanılan hammadde veya ara ürün(2)	Hammadde fiyatı(3)	Üretilen son ürün adedi(4)	Satış fiyatı (5)	İM <sub>4</sub> 'ün ürettiği parça sayısı(6) (4)/(0,97)	İM <sub>3</sub> 'ün ürettiği parça sayısı(7) (6)/(0,95)	İM <sub>2</sub> 'ün ürettiği parça sayısı(8) (7)/(0,92)	İM <sub>1</sub> 'ün ürettiği parça sayısı(9) (8)/(0,90)	Hammadde tutarı(10)	Haftalık satış(11) (4)x(5)	Haftalık kazanç(12) (11)-top(10)
X	1	5	600		619	652	709	788	3940		
	2	5	600	100	619	0	0	0	3095	60000	52965
Y	1	5	450		464	488	530	589	2945		
	3	10	450	120	464	0	0	0	4640	54000	46415
Z	1	5	219		226	238	259	288	1440		
	4	15	219	140	226	0	0	0	3390	30660	25830
									19450	144660	125210

Genel durum Tablo 2.7 ile ifade edildikten sonra sistemin çıktısını arttırmak için iş istasyonlarında çeşitli değişiklikler yardımıyla kapasite kullanım oranları değiştirilerek sistemin çıktısı yeniden ölçülmüştür. Birinci iş merkezinde kapasitenin %90'ından %100'e çıkması ile sağlanan artış ve üretim miktarları Tablo 2.8'de verilmiştir.

**Tablo 2.8:** 1'inci iş merkezinin kapasitesi %100'e çıkartıldığında üretim miktarları ve çıktı miktarları.

(1)Ürün	(2)Kullanılan hammadde veya ara ürün	(3)Hammadde fiyatı	(4)Üretilen son ürün adedi	(5)Satış fiyatı	(6)İM <sub>4</sub> 'ün ürettiği parça sayısı (4)/(0,97)	(7) İM <sub>3</sub> 'ün ürettiği parça sayısı (6)/(0,95)	(8)İM <sub>2</sub> 'ün ürettiği parça sayısı (7)/(0,92)	(9)İM <sub>1</sub> 'ün ürettiği parça sayısı (8)/(1)	(10)Hammadde tutarı	(11) Haftalık satış (4)x(5)	(12)Haftalık kazanç (11)-top(10)
X	1	5	600		619	652	709	709	3545		
	2	5	600	100	619	0	0	0	3095	60000	53360
Y	1	5	450		464	488	530	530	2650		
	3	10	450	120	464	0	0	0	4640	54000	46710
Z	1	5	219		226	238	259	259	1295		
	4	15	219	140	226	0	0	0	3390	30660	25975
									<b>18615</b>	<b>144660</b>	<b>126045</b>

2'inci iş merkezinin kapasitesi %100'e çıkartıldığında sistemin yeni durumu Tablo 2.9'da verilmiştir.

**Tablo 2.9:** 2'inci iş merkezinin kapasitesi %100'e çıkartıldığında üretim miktarları ve çıktı miktarları.

(1)Ürün	(2)Kullanılan hammadde veya ara ürün	(3)Hammadde fiyatı	(4)Üretilen son ürün adedi	(5)Satış fiyatı	(6)İM <sub>4</sub> 'ün ürettiği parça sayısı (4)/(0,97)	(7)İM <sub>3</sub> 'ün ürettiği parça sayısı (6)/(0,95)	(8)İM <sub>2</sub> 'ün ürettiği parça sayısı (7)/(1)	(9)İM <sub>1</sub> 'ün ürettiği parça sayısı (8)/(0,90)	(10)Hammadde tutarı	(11) Haftalık satış (4)x(5)	(12)Haftalık kazanç (11)-top(10)
X	1	5	600		619	652	652	724	3620		
	2	5	600	100	619	0	0	0	3095	60000	53285
Y	1	5	450		464	488	542	542	2710		
	3	10	450	120	464	0	0	0	4640	54000	46650
Z	1	5	219		226	238	264	264	1320		
	4	15	219	140	226	0	0	0	3390	30660	25950
									18775	144460	125885

Bu durumda sistemin toplam çıktısı 125885 \$ olmuştur. 3'üncü iş merkezinde yapılan değişiklikler ile kapasitenin %100'e çıkartılması sonucunda ortaya çıkan yeni durum Tablo 2.10'da verilmiştir.

**Tablo 2.10:** 3'üncü iş merkezinin kapasitesi %100'e çıkartıldığında üretim miktarları ve çıktı miktarları.

(1)Ürün	(2)Kullanılan hammadde veya ara ürün	(3)Hammadde fiyatı	(4)Üretilen son ürün adedi	(5)Satış fiyatı	(6)İM <sub>4</sub> 'ün ürettiği parça sayısı (4)/(0,97)	(7)İM <sub>3</sub> 'ün ürettiği parça sayısı (6)/(1)	(8)İM <sub>2</sub> 'ün ürettiği parça sayısı (7)/(0,92)	(9)İM <sub>1</sub> 'ün ürettiği parça sayısı (8)/(0,90)	(10)Hammadde tutarı	(11)Haftalık satış (4)x(5)	(12)Haftalık kazanç (11)-top(10)
X	1	5	600		619	619	673	748	3740		
	2	5	600	100	619	0	0	0	3095	60000	53165
Y	1	5	450		464	464	504	560	2800		
	3	10	450	120	464	0	0	0	4640	54000	46560
Z	1	5	269		277	277	301	334	1670		
	4	15	269	140	277	0	0	0	4155	37660	31835
									20100	151660	131560

Bu iş merkezi kapasite kısıtlı kaynak olduğu için kapasitenin %100'e çıkartılması sistemin çıktısında ciddi bir artışa neden olmuştur ki bu durum kısıtlar teorisi tarafından da öngörülmektedir.

Son olarak 4'üncü iş merkezinin kapasitesinin %100'e çıkartılması durumunda ortaya çıkan yeni durum Tablo 2.11'de verilmiştir.



**Tablo 2.11:** 4'üncü iş merkezinin kapasitesi %100'e çıkartıldığında üretim miktarları ve çıktı miktarları.

(1)Ürün	Kullanılan hammadde (2)veya ara ürün	(3)Hammadde fiyatı	(4)Üretilen son ürün adedi	(5)Satış fiyatı	(6)İM <sub>4</sub> 'ün ürettiği parça sayısı (4)/(1)	(7)İM <sub>3</sub> 'ün ürettiği parça sayısı (6)/(0,95)	(8)İM <sub>2</sub> 'ün ürettiği parça sayısı(7)/(0,92)	(9)İM <sub>1</sub> 'ün ürettiği parça sayısı(8)/(0,90)	(10)Hammadde tutarı	(11) Haftalık satış (4)x(5)	(12)Haftalık kazanç (11)-top(10)
X	1	5	600		600	632	687	763	3815		
	2	5	600	100	600	0	0	0	3000	60000	53185
Y	1	5	450		450	474	515	572	2860		
	3	10	450	120	450	0	0	0	4500	54000	46640
Z	1	5	248		248	261	284	316	1580		
	4	15	248	140	248	0	0	0	3720	34720	29420
									19495	148720	129245

Sonuç olarak bu örnekte iş kısıtlar teorisi yaklaşımına göre üretim sürecine odaklanılmış tüm iş merkezlerinin yükleri hesaplanarak kapasite kısıtlı kaynak bulunmuş, optimum ürün karışımı belirlenmiş ve daha sonrasında tek tek KKK da dahil olma üzere tüm iş merkezlerinin kapasiteleri arttırılarak sistemdeki çıktı gözlemlenmiştir.

### **3. BÖLÜM : UYGULAMA**

#### **3.1 Firmanın Tanımı**

Tam adı ETD Ekolojik Tarım Destek Ürünleri Madencilik San. Ve Tic. A.Ş olan firma, İzmir Kemalpaşa organize sanayi bölgesinde kuruludur. Faaliyet alanı, organik mikrobiyal, organik mineral, mineral gübreler, BGD (Bitki Gelişim Düzenleyicileri), her türlü yem katkı maddeleri ve her türlü tarım destek ürünlerinin üretilmesi, işlenmesi, satılması, ithalat ve ihracatıdır. Geçmiş dönemlerde Diper Kimya A.Ş bünyesinde faaliyet gösterirken, 18/08/2004 tarihinde, Diper Kimya A.Ş. den ayrılarak bağımsız faaliyete başlamıştır.

ETD Ekolojik Tarım Destek A.Ş; organik ve kimyevi gübre ve yem katkı maddeleri üretiminde sektöründe en iyi olmayı hedefleyerek kaliteli ve sağlıklı ürünleri üretmek, müşteri memnuniyetini en üst düzeyde tutmak ve bu bağlamda tarım sektöründe doğru ve kaliteli gübrelerin kullanılmasına katkıda bulunmak amacındadır.

Firma bünyesinde 14 farklı ürün bulunmaktadır. Bu ürünler toz , sıvı , jel gübreler ve yem katkı maddeleri olarak 4 gruba ayrılmaktadır.

#### **TOZ GÜBRELER**

Legant-16  
Pahsa –85  
Heromix  
Calibre  
Seed Power  
Agrograss (Çim Gübresi)

#### **JEL GÜBRE**

K-Gellit

#### **SIVI GÜBRELER**

Niftycrop (humic acid)  
Kibelex  
Tribal Forte  
Cumex  
Colorplas

Evastar

## YEM KATKI MADDELERİ

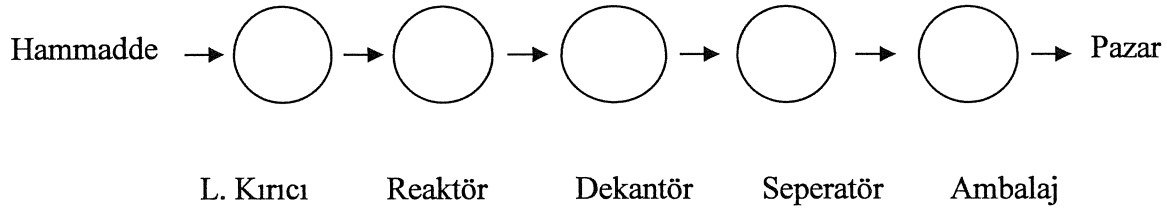
Animalcola

### 3.2 Üretim Süreci

Firmanın başlıca üç ana üretim hattı bulunmaktadır. Birinci üretim hattında sıvı ve toz gübreler, ikinci hatta jel gübreler, üçüncü hatta ise yem katkı maddeleri üretilmektedir. Süreçler incelendiğinde en fazla gecikmelerin ve karmaşanın yaşandığı süreç olarak birinci üretim hattı, yani sıvı ve toz gübrelerin üretildiği hat göze çarpmaktadır. Diğer taraftan bir iş merkezinden diğerine doğru bir hareket olduğundan uygulama için en uygun üretim hattı yine birinci hattır.

Ancak, sürelerin uzunluğu, bugüne kadar net bir maliyet hesabının olmaması, ambalajlama işinin, süreçte çalışan işçiler tarafından elle yapılması gibi birçok etken, birim zaman ve birim maliyet hesaplamalarını, toplam harcanan net sürelerin hesaplamalarını karışık ve içinden çıkılmaz bir hale getirmiştir.

Birinci hattaki iş merkezleri ve akış şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Üretim sürecinde makinaların yerleşimi ve iş akış sırası

Yukarıda gösterilen makinaların özellikleri, yaptıkları iş ve çalışan sayıları aşağıda verilmiştir:

**Leonardit Kırıcı:** Gelen madensel ham maddeyi (Leonardit) kırıp küçük parçalara ayırır. Sadece bu makine proses içinde bağımsız çalışabilme özelliğine sahiptir. Makinenin kontrolü için 1 işçi gerekmektedir. Bu makinenin kapasitesi 1 saatte yaklaşık olarak 200 kg hammaddeyi kırarak (200 kg/saat) ölçüdedir. Üretim sürecinin bir sonraki aşamasında bulunan reaktör en az 2 ton (2000 kg) leonardit ile işleme başlayacağından, sürecin başlaması için kırıcının en az 10 saat çalışması gerekmektedir.

$$10 \text{ saat} * 200\text{kg/saat} = 2000 \text{ kg}$$

Kırıcının 10 saatlik çalışması sonrası Reaktör üretime başlayacak hammaddeyi sağlamış olmaktadır.

Genel olarak işçi başına haftalık ortalama 60-65 saatlik işgücü düşmektedir. Haftalık işgünü sayısı 5'tir ancak üretilen partinin durumuna göre veya talebin attığı dönemlerde haftalık işgünü 6'ya çıkabilmektedir. Kırıcı sürecin başında bulunduğundan haftalık çalışma günlerinde bağımsız olarak çalışabilmektedir.

**Reaktör:** Kırıcıdan çıkan 2000 kg ara ürün Reaktöre alınır. Bu aktarma işlemi yaklaşık 2,5 saat (150 dk) sürer. Reaktör önce 7000 lt su ile doldurulur, ardından 250 lt KOH (Potasyum hidroksit (hydroxy)) ile yüklenir. Böylece kapasitesi 10000 lt olan Reaktör kazanında toplam 9250 lt hammadde toplanmış olur. Geriye kalan 750 lt'lik boş kısım köpürme payı olarak bırakılır. Bu aşamada amaç karışımın ph değerini belli bir seviyeye getirmektir. Her 30 dk. Bir ölçüm yapılarak süreç kontrol edilir. Bu işlem yaklaşık 5 saat (300 dk) sürer. Bu aşamadan sonra ideal karışım Dekantör besleme tankına alınır. Bu aktarma işlemi yaklaşık (45-60) dakika zaman alır. Besleme tankının işlevi, ürünü belli bir sıcaklık seviyesine getirmektir. Çünkü bir sonraki aşamada yer alan Dekantör 70°C- 90°C arası ısıda işlem yapabilmektedir. Bu tank aracılığı ile karışımın ısısı 90°C çıkarılır. Bu işlemler sırasında, gerekli işlemler için bir işçi bulundurulmaktadır.

**Dekantör:** Dekantörün temel işlevi ürün içindeki yabancı maddeleri ve ürünün kalitesini düşüren kirliliği azaltmaktır. Ürün Dekantör'e yollanmaya başladığında kirlilik oranı %35-45 arasındadır. İşlenen hammaddenin (leonardit) saflık derecesine göre kirlilik oranı değişmektedir. Dekantör'ün ürünü işlemeden sonra bu oran %5-8 'ya düşer.

Dekantör besleme tankından karışım, yavaş yavaş Dekantör'e alınarak *dekante* edilir. Bu işlem ortalama 26 saat (1560 dk) zaman alır. Dekantör için 1 işçi görevlidir. Dekantör işlemi sonucu yaklaşık 3250 kg kir yada çamur çıkar.

**Seperatör:** Seperatör, Dekantör'ün temizleyemediği daha küçük partikülleri temizler. %4-6 kirlilik oranı ile alınan ürün buradan %1'in altında bir oranla çıkar. Bu aşamada bir işçi görevlidir. Seperatör işlemleri yaklaşık 9 saat (540 dk) zaman alır. Bu zaman miktarı ile ortalama saatte 500 lt ürün temizlenir.

**Ana Depo:** Bu aşamadan sonra ürün ana depoya alınır. Ana depo ambalajlama öncesi son kontrol ve analizlerin yapıldığı aşamadır. Ürün içeriğine göre demir veya çinko katkısı bu aşamada yapılmaktadır. Bu katkı yaklaşık olarak %4 civarındadır.

**Dolum ve Ambalajlama:** Ortaya çıkan son ürün %15 oranında konsantreye sahip bir üründür. Bu ürün, süreçte çalışan 5 işçi tarafından manuel olarak doldurulur. Bu dolum işlemi için yapılan işlemler ve işgücü dağılımı şöyledir:

1 lt'lik ürün için 1 işçi 3 adet / dakika

5 lt'lik ürün için 1 işçi 1 adet / dakika

20 lt'lik ürün için 1 işçi ½ adet / dakika

### 3.3 Kapasiteler ve Hazırlık Süreleri

Bu aşamada her bir makinanın bir saatte işleyebildiği ürün miktarı verilmiştir. Kırıcı sabit bir çalışma hızı ile saatte 200 kg hammaddeyi kırıp işlenmeye hazır hale getirmektedir.

Reaktör toplam 9250 kg karışımla işlem yapmaktadır ve bu karışımı işlemesi ortalama 5 saat sürmektedir. Bu şekilde hesaplandığında saatte :

$$9250/5 = 1850 \text{ kg}$$

ara ürün işleyebilmektedir.

Dekantör, Reaktör'ün işlediği ve belli bir ph derecesine getirdiği 9250 kg karışımı alarak yaklaşık 26 saatte işlemi bitirmektedir. Böylece, Dekantör saatte;

$$9250/26 = 355,77 \text{ kg}$$

ara ürün işleyebilmektedir.

Dekantör aşamasından sonra 9250 kg olan karışımdan ortalama 3250 kg kir ve çamur süreçten ayrılmakta geriye 6000 kg karışım kalmaktadır. Seperatör bu karışımı 9 saatte işleyebilmektedir. Seperatör için saatte işlem yaptığı miktar :

$$6000/9 = 666,7 \text{ kg}$$

olarak hesaplanmıştır.

Ambalajlama ünitesi ise saatte yaklaşık olarak 45-50 kg ürünü ambalajlayabilmektedir. Bu değer ortalama olarak 48 kg alınmıştır.

Tablo 3.1'de, yukarıda anlatılan üretim sürecinin bir özeti çıkarılmıştır.

**Tablo 3.1:** Her makinanın kapasitesi ve hazırlık süreleri .

<i>Makina</i>	<i>Kapasite</i>	<i>Hazırlık Süreleri</i>
Leonardit Kırıcı	200kg/saat	0
Reaktör	1850 kg/saat	3,5 saat
Dekantör	355,77 kg/saat	0
Seperatör	666,7 kg/saat	0
<i>Ambalaj</i>	48 kg/saat	0

Reaktör aşaması, hem öncesi hem sonrasında bir hazırlık süreci gerektirmektedir. Kırıcıdan çıkan kırılmış leonarditin reaktöre taşınması yaklaşık 150 dakika, Reaktör'den çıkan ara ürünün ise Dekantör için ara besleme tankına alınması 60 dakika zaman almaktadır.

### **3.4 Maliyet Hesabı**

İşletmenin, bu çalışmadan önce net bir maliyet hesabı bulunmamaktadır. İşletme yöneticileri ile yapılan toplantılar sonucunda bazı hesaplamalar yapılmıştır.

İşletme için genel olarak aşağıdaki maliyet hesapları çıkarılmıştır:

**1.İşçilik Maliyeti:** SSK ve diğer maliyetlerle beraber işçinin işletmeye maliyeti 7500000 TL/saat dir.

**2.Hammadde Maliyetleri:** üretim sürecinde kullanılan hammadde ve birim fiyatları aşağıdaki gibidir:

Leonardit: 1000 TL/Kg

Potasyum Hidroksit (KOH): 6300 TL/Kg

Su :2500000 TL/ Ton

FeSO<sub>4</sub> (Demir Sülfat) : 300.000 TL/Kg

ZnSO<sub>4</sub> (Çinko Sülfat) : 550.000 TL/Kg

**3.Nakliye Maliyeti:**

Taşıma ve nakliyat için ürün birim maliyeti yaklaşık olarak 63000 TL/Kg

**4.Enerji Maliyeti:**

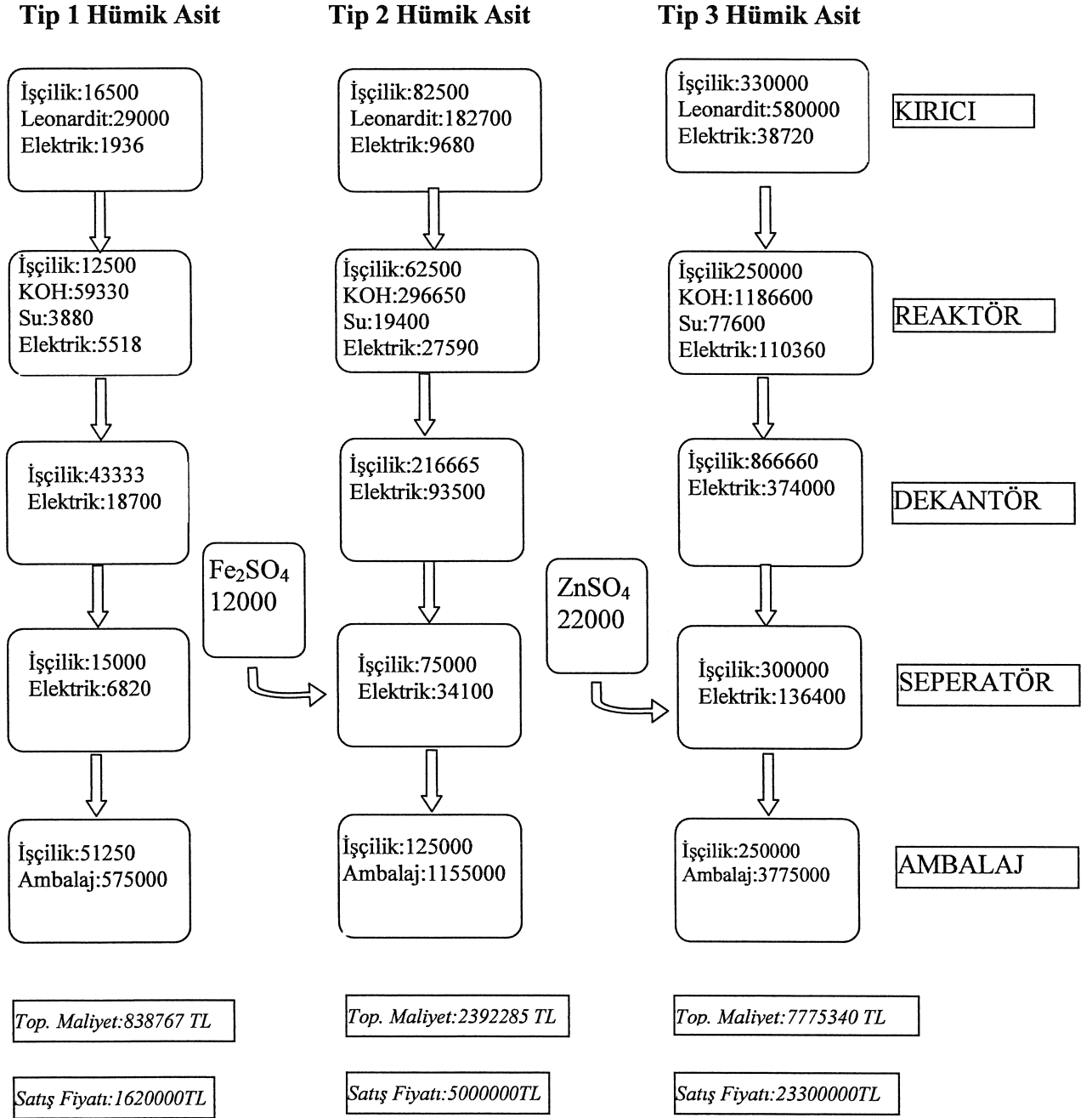
Kullanılan makinalar elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Her makinanın büyüklüğü ve fonksiyonuna göre bir elektrik motoru vardır. Kullanılan elektrik enerjisi için geçerli fiyat:

1 KW : 220.000 TL

dir.

Her bir birim son ürün için kullanılan elektrik enerjisi maliyetleri işletme tarafından daha önceden çıkarılmıştır. Bunun için her makinanın motor kapasitesine göre çeşitli oranlar kullanılmıştır.

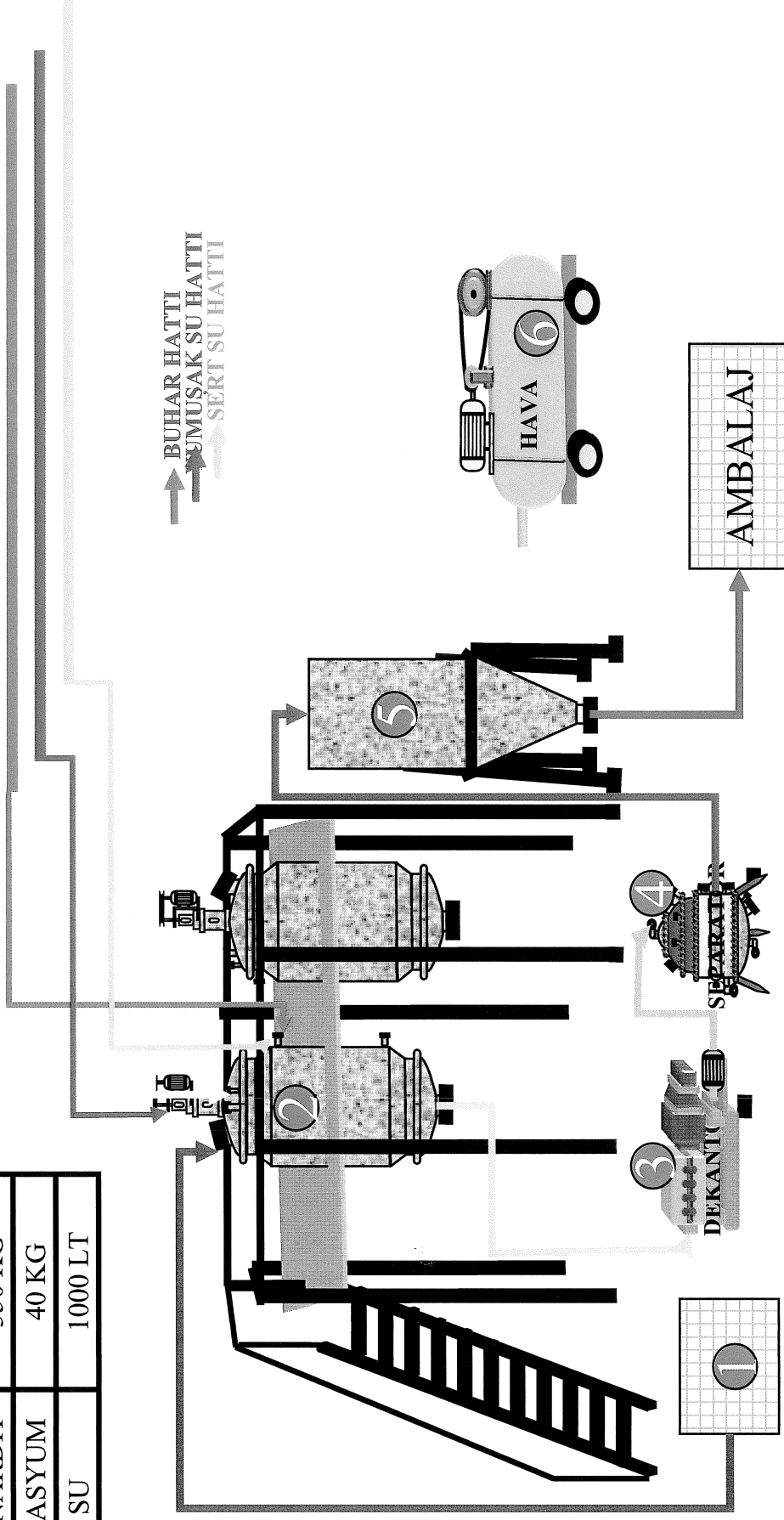
Üretim akış şeması ve maliyetler Şekil 3.2 'de verilmiştir.



Şekil 3.2: Üretim akış şeması ve maliyetler

## %12 HÜMİK ASİT PROSES ŞEMASI

1000 LT	%12 HÜMİK ASİT
LEONARDİT	350 KG
POTASYUM	40 KG
SU	1000 LT



- 1-1. Reaktör yumuşak su ile doldurulur. İçine potasyum hidroksit konur ısı kademeli olarak artırılır ve 60-70 derecede leonardit konur ve prosesin durumuna göre oksidasyon için hava vermeye başlar ve her 30 dakikada bir analiz yapılarak konsantr ölçülür . Konsantr %12 olduğu zaman proses durdurulur.ve hemen reaktörden buharı kapatılarak soğurma işlemi başlar. Soğuyan mamul
- 2- Dekantörden geçirilir ordan
- 3- Separatörden geçirilir ordan
- 4- mamul tanka alınıp ambalajlanır.

1	LEONARDİT
2	1. REAKTÖR
3	DEKANTÖR
4	SEPARATÖR
5	MAMUL TANKI
6	HAVA TANKI



### 3.5 Piyasa Talebi

İşletme tarımsal ilaç ve gübre satışı yapan bir çok ana ve alt bayi ile çalışmaktadır. Üretilen bu üç ürüne ait yaklaşık haftalık talep:

Tip1 HA için 3600 kg ( 1 kg'lık ambalajlarda 3600 Adet)

Tip2 HA için 2400 kg ( 5 kg'lık ambalajlarda 480 adet)

Tip3 HA için 6000 kg dır ( 20 kg'lık ambalajlarda 300 adet).

### 3.6 Her İş İstasyonunun Yükünün Hesaplanması

Bu aşamada, her iş merkezindeki her makinanın, her bir ürünü işlemek için harcadığı zamanlar dakika cinsinden hesaplanmıştır. Sonuç aşağıda Tablo 3.2'de verilmiştir.

**Tablo 3.2:** Her bir iş istasyonunun 1 kg ürün için dakika olarak harcadığı zamanlar.

Makina	Tip 1 Hüyük Asit (dk olarak)	Tip 2 Hüyük Asit (dk olarak)	Tip 3 Hüyük Asit (dk olarak)
Leonardit Kırıcı	0,132	0,66	2,64
Reaktör	0,07	0,35	1,4
Dekantör	0,34	1,73	6,93
Seperatör	0,12	0,6	0,76
Ambalajlama	0,33	1	2

### 3.7 Her Makine için Toplam Çalışma Sürelerinin Hesaplanması

Çalışmanın bu aşamasında her makinanın toplam kapasitesi dakika cinsinden hesaplanacaktır. Böylece mevcut kapasite durumu dakika olarak ortaya çıkarılarak, üretim sürecinde bu kapasitenin ne kadarının kullanıldığı bulunabilecektir. Diğer taraftan var olan piyasa talebine göre yapılan “gerekli kapasite” hesaplaması ile hangi makinanın kapasitesinin hesaplanan kapasitenin altında kaldığı karşılaştırılması ile kısıt veya kısıtlar belirlenebilecektir. Hesaplamalar sırasında yaklaşık değerler kullanılmıştır, bunun sebebi gelen hammaddenin saflık ve temizlik oranına göre, sürecin uzayıp kısılabilmesidir. Örneğin Dekantör'de yapılan işlem bu sebepten dolayı 24 saat ile 36 saat arasında değişebilmektedir.

Ancak hammadde alımı genelde bilinen ve sürekli çalışılan tedarikçilerden yapıldığından yine Dekantör'ün işlem süresi için 26 saat belirlenmiştir.

İşletmenin üretim süreci anlatılırken ilk olarak kırıcıdan bahsedilmiştir. Kırıcı süreci başlatan öğe olduğundan öncesinde herhangi bir makine ve iş merkezi bulunmadığından hammadde (Leoardit) olduğu sürece bağımsız çalışabilmektedir. Kırıcının kapasitesinin saatte 200 kg olduğu çalışmanın önceki kısmında belirtilmiştir.

Haftalık ortalama 60-65 saatlik işgücü, 5 günlük olarak düşünüldüğünde günde yaklaşık 13 saate tekabül etmektedir. 5 iş gününden oluşan bir haftalık bir süreçte Kırıcı'nın toplam çalışabilir olduğu süre dakika cinsinden şu şekilde hesaplanır:

$$13*5*60=3900 \text{ dakika.}$$

İkinci sıradaki Reaktör, hazırlık süreleri de dahil edildiğinde yaklaşık olarak günlük çalışma süresi 8,5-9 saattir. Haftalık toplam süre ise dakika cinsinden:

$$9*5*60=2700 \text{ dakika.}$$

Üretim sürecinde üçüncü sırada bulunan Dekantör için hesaplamalar yapıldığında yaklaşık rakamlarla hareket edilir. Bir parti üretiminde yaklaşık 26 saat kullanılan Dekantör için ortalama haftalık çalışma süresi 60 saattir. Her parti işlenirken temizlik benzeri işlemler için 2,5 saatlik bir süre ayrılmıştır. İki parti işlendiğinde haftalık yaklaşık 5 saatlik bir zaman sözkonusudur. Dakika cinsinden:

$$60*60=3600 \text{ dakika.}$$

Dördüncü sırada bulunan Separatör günlük olarak yaklaşık olarak 12 saat kullanılabilir. Haftalık çalışma süresi dakika cinsinden:

$$12*5*60=3600 \text{ dakika.}$$

Son sıradaki ambalajlama biriminde, süreç içinde çalışan aynı 5 işçi çalışmaktadır. Bir işçi için haftalık çalışma süresi yaklaşık olarak:

$$1*60*5*13=3900 \text{ dakikadır.}$$

İşletmede toplam 5 işçi çalıştığı için 5 işçi için toplam süre:

$$3900*5=19500 \text{ dakikadır.}$$

İşçiler toplam çalışma sürelerinin yaklaşık olarak %20'sini Ambalajlama için harcamaktadırlar.

Bu durumda Ambalajlama için harcanan toplam süre yaklaşık olarak

19500 / 5 =3900 dakikadır.

Yukarıda anlatılan toplam kapasiteler özetlenip Tablo 3.3’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.3.** Mevcut kapasitelerin dakika olarak gösterilmesi.

<b>Makina</b>	<b>Mevcut Kapasite (dk)</b>
Leonardit Kırıcı	3900
Reaktör	2700
Dekantör	3600
Seperatör	3600
Ambalajlama	3900

### **3.8 Kısıt veya Kısıtların Tespiti**

Harcanan birim zamanlar hesaplandıktan sonra hangi makine yada iş merkezinin kısıt olduğunu saptayabilmek için piyasa talebi göz önüne alınarak toplam gerekli kapasite hesaplaması yapılır. Piyasa talebine göre oluşacak kaynak ihtiyacı hangi makine yada iş merkezinde var olan kapasiteden büyükse o kaynak kısıtlı kaynak olarak ilan edilecektir.

Bu hesaplamalar aşağıdaki Tablo 3.4’de verilmiştir.

**Tablo 3.4:** Piyasa talebine göre gerekli kapasitelerin dakika olarak hesaplanması.

(1) Ürün	(2) Talep	(3) Her bir ürün için Kırıcı'nın harcadığı zaman	(4) Kırıcı için gereken toplam zaman (2)*(3)	(5) Her bir ürün için Reaktör'ün harcadığı zaman	(6) Reaktör için gereken toplam zaman (2)*(5)	(7) Her bir ürün için Dekantör'ün harcadığı zaman	(8) Dekantör için gerekli toplam zaman (2)*(7)	(9) Her bir ürün için Seperator'ün harcadığı zaman	(10) Seperator için gereken toplam zaman(2)*(9)	(11) Her bir ürün için Ambalajlama'nın harcadığı zaman	(12) Ambalajlama için gerekli toplam zaman (2)*(11)
Tip1 HA	3600	0,132	475,2	0,07	252	0,34	1224	0,12	432	0,33	1188
Tip2 HA	480	0,66	316,8	0,35	168	1,73	812	0,6	288	1	480
Tip3 HA	300	2,64	792	1,40	420	6,93	2040	0,76	228	2	600
Toplam gereken Zamanlar			1584		840		4080		948		2268

Piyasa talebini karşılanabilmesi için gerekli hesaplamalar Tablo 3.4'de verilmiştir. Artık bu aşamada hangi iş merkezinin veya makinanın kısıt olduğu tespiti yapılabilir. Bu tespit yapılırken piyasa talebine göre hesaplanmış gerekli kapasite ile önceki bölümde hesaplanan mevcut kapasite kıyaslaması yapılır.

Karşılaştırma Tablo 3.5'de verilmiştir.

**Tablo 3.5:** Mevcut kapasite ile piyasa talebinin karşılanması için gerekli kapasitenin karşılaştırılması

Makina	Mevcut Kapasite	Gerekli Kapasite
Leonardit Kırıcı	3900	1584
Reaktör	2700	840
Dekantör	3600	4080
Seperator	3600	948
Ambalajlama	3900	2268

Tablo 3.5 incelendiğinde, sürecin **Dekantör** aşamasında bir yetersizlik olduğu görülmektedir. Piyasa talebini karşılamak için 4080 dakika gerekli iken, dekantörün sadece 3600 dakika kapasitesi olduğu açığa çıkmaktadır.

$$3600 < 4080$$

Üretim süreci için kısıt olan makine belirlenmiştir. Bu durum Kısıtlar Teorisi tarafından kısıt olarak ilan edilir. Dekantör, yarattığı bu darboğazla sürecin çıktısını belirlemektedir. Çünkü diğer tüm iş merkezleri ya da makineler Dekantör'ün hızına göre çalışacaklardır. Aksi takdirde ara stoklar ve gereksiz beklemler oluşacaktır.

Ayrıca bu aşamada her bir makinanın verimliliği de hesaplanabilir:

Kırıcı için :

$$1584/3900 = 0,41 \text{ (%41)}$$

Reaktör için :

$$840/2700 = 0,31 \text{ (%31)}$$

Dekantör için:

$4080/3600 = 1,13$  (Dekantör tam kapasite çalışmalıdır ve var olan iş yükünün de %13'nü yerine getirememektedir. )

Seperatör için:

$$948/3600 = 0,26 \text{ (%26)}$$

Ambalajlama ünitesi için:

$$2268/3900 = 0,58 \text{ (%58)}$$

Makinaların verimliliğine ait sonuçlar özet olarak Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

**Tablo 3.6.**Makinaların kapasite kullanımları

Makina	Kullanılan Kapasite (% olarak)
Leonardit Kırıcı	41
Reaktör	31
Dekantör	100
Seperatör	26
Ambalajlama	58

### 3.9 En Karlı Ürün Karmasının Tespiti

Bu varolan koşullarda üreticinin “hangi üründen ne kadar üretmeliyim ki en çok kazanayım” sorusuna verilecek cevap bulunacaktır. Kısıtlar Teorisi, kapasite kısıtlı kaynağın, her ürün için harcadığı zamana göre karar verir. Her ürünün bu kaynakta harcadığı zamana göre birim karlılığı en fazla olan ürünler üretilecektir.

Bunun için maliyetler de göz önüne alınarak aşağıdaki hesaplamalar yapılır:

#### **Tip 1 (Hümkik asit) için :**

İşgücü, hammadde, elektrik maliyetleri göz önüne alınarak hesaplama yapıldığında toplam maliyet:

838767 TL'dir.

Satış fiyatı: 1620000 TL.

Birim kar:  $1620000 - 838767 = 781233$  TL

Kapasite kısıtlı kaynağın harcadığı zamana oranlanırsa:

$781233 \text{ TL} / 0,34 \text{ dk} = 2297891,17 \text{ TL/dk}$ .

#### **Tip 2 (Hümkik asit) için :**

Toplam maliyet: 2392285 TL.

Satış fiyatı: 5000000 TL.

Birim kar:  $5000000 - 2392285 = 2607715$  TL.

Kapasite kısıtlı kaynağın harcadığı zamana oranlanırsa: ,

$2607715 \text{ TL} / 1,73 \text{ dk} = 1507349,71 \text{ TL/dk}$ .

#### **Tip 3 (Hümkik asit) için :**

Toplam maliyet: 7753340 TL

Satış fiyatı: 23300000 TL

Birim kar:  $23300000 - 7753340 = 15524660$  TL

Kapasite kısıtlı kaynağın harcadığı zamana oranlanırsa: ,

$15524660 \text{ TL} / 6,93 \text{ dk} = 2240210,67 \text{ TL/dk}$ .

Yukarıda yapılan işlemler Tablo 3.7' de özetlenmiştir.

**Tablo 3.7.** En karlı ürün karışımının belirlenmesi için birim karlılıklar ile Kapasite Kısıtlı Kaynağın (KKK) harcadığı zamanların oranlanması

Ürün	(1) KKK tarafından harcanan zaman (dk)	(2) Birim Kar (TL)	(3) Birim Kar / Birim Zaman (2/1)
Tip1 H.A	0,34	781233	2297891,17
Tip2 H.A	1,73	2607715	1507349,71
Tip3 H.A	6,93	15524660	2240210,67

Dikkat edilirse birim zamanda en büyük katkıyı Tip1 yapmaktadır, daha sonra Tip3 ve Tip2 gelmektedir. Bu koşullarda pazar talebine yaklaşabildiği kadar Tip1 üretmeli, geriye kalan kapasiteyi Tip3 için kullanmalı ve geriye kalanı da Tip2 için harcanmalıdır.

Bu durumda, mevcut kapasite ile üretilmesi gereken ürün miktarları ve kapasite kısıtlı kaynağın dağıtımı şu şekilde olur:

Tip1 üretimi en karlı üretim olduğu için piyasa talebi olan 3600 kg tamamı üretilmelidir, bunun içinde toplam kapasitenin harcanacak miktarı:

$$0,34 \cdot 3600 = 1224 \text{ dakikadır.}$$

İkinci en karlı ürün olan Tip3 için harcanacak miktar:

$$6,93 \cdot 300 = 2079 \text{ dakika.}$$

Böylece toplam kapasitenin  $1224 + 2079 = 3303$  dakikalık kısmı kullanılmış olmaktadır.

Geriye  $3600 - 3303 = 297$  dakikalık kapasite kalmıştır ve bu kalan miktar da Tip2 üretimi için harcanacaktır.

Böylece Tip2 üretimi:

$297 / 1,73 = 171,67$  yaklaşık olarak 171 birim olacaktır. Piyasa talebi olan 480 adedin sadece 171 adedi karşılanabilmiş, 309 adet karşılanamamıştır.

Özetlemek gerekirse var olan kapasite ile :

$$\text{Tip1} = 3600 \text{ adet}$$

Tip2 = 171 adet

Tip3 = 300 adet

üretilecektir.

Ürün karışımının belirlenmesi için yapılan hesaplamalar Tablo 3.8’de özetlenmiştir:

**Tablo 3.8** Üretilecek ürün adetlerinin hesaplanması

Ürün	(1) KKK tarafından harcanan zaman (dk)	(2) Üretilecek Adet	(3) Harcanan Toplam Zaman(1)*(2)	Kalan Kapasite (3600-Harcanan Zamanlar Toplamı)
Tip1 H.A	0,34	3600	1224	2376
Tip3 H.A	6,93	300	2079	297
Tip2 H.A	1,73	171.67	297	0

Bu üretim sonunda işletme:

$$3600*781233 + 300*15524660 + 171*2607715 = 7915756065 \text{ TL net kar}$$

sağlayacaktır.

Aynı problemin doğrusal programlama ile çözümü yapılırsa model şu şekilde olur:

Kısıtlar:

$$0,132X_1 + 0,66 X_2 + 2,64 X_3 \leq 3900 \text{ (Kırıcı Kısıtı)}$$

$$0,07X_1 + 0,35 X_2 + 1,4 X_3 \leq 2700 \text{ (Reaktör Kısıtı)}$$

$$0,34X_1 + 1,73 X_2 + 6,93 X_3 \leq 3600 \text{ (Dekantör Kısıtı)}$$

$$0,12X_1 + 0,6 X_2 + 0,76 X_3 \leq 3600 \text{ (Seperatör Kısıtı)}$$

$$0,33X_1 + 1 X_2 + 2 X_3 \leq 3900 \text{ (Ambalaj Kısıtı)}$$

$$X_1 \leq 3600 \text{ ( Tip1 H.A için Talep Kısıtı)}$$

$$X_2 \leq 480 \text{ ( Tip2 H.A için Talep Kısıtı)}$$

$$X_3 \leq 300 \text{ ( Tip3 H.A için Talep Kısıtı)}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{EnBüyük } Z_0 = 781233X_1 + 2607715 X_2 + 15524660 X_3$$



Modelin *DS for Windows* programı ile çözümü yapıldığında çözüm olarak aynı sonucun bulunduğu görülecektir. Program çıktısı ve diğer ayrıntılar çalışmanın sonunda Ek olarak verilmiştir.

Çözüm satırı Tablo 3.9'da verilmiştir.

**Tablo 3.9:** DS for Windows programının çözüm satırı

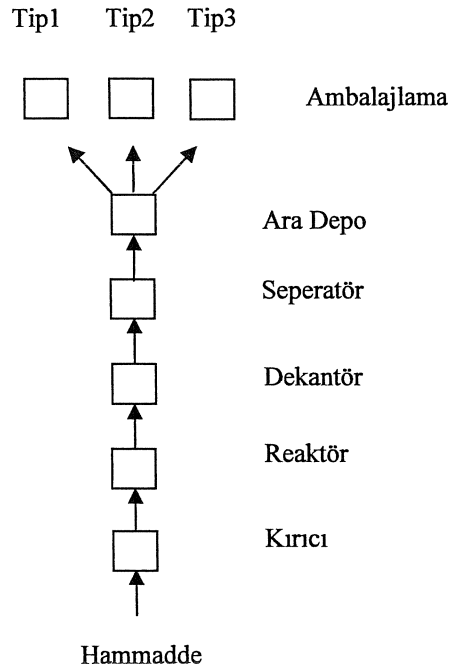
X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Amaç Fonksiyonu Toplam değeri
3600	171,6763	300	7917503234,55

### 3.10 Üretim süreci Değerlendirilmesi ve Tampon Yönetimi

Goldratt tarafından üretim süreçleri klasik sınıflandırmadan farklı olarak

- I tipi,
- V Tipi ,
- A Tipi ,
- T tipi ,

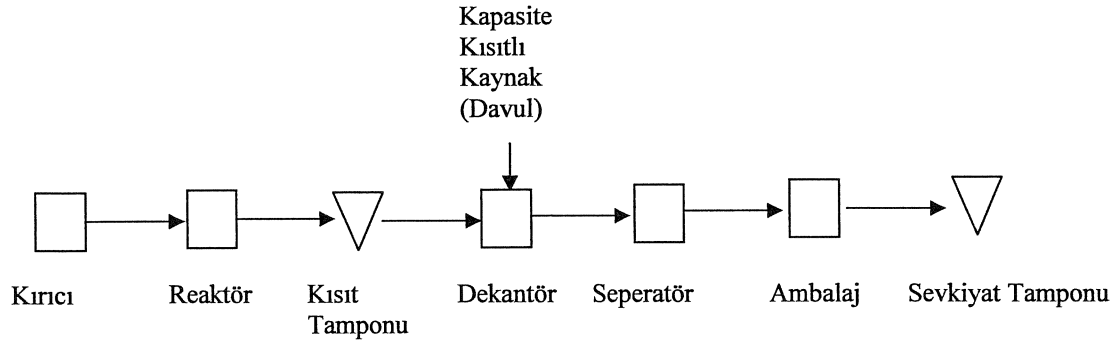
olarak yeniden tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. Örnek uygulamaya konu olan işletmemizde üretim bu sınıflandırmalardan **T tipi** olarak değerlendirilebilir. Üretim belli bir aşamaya kadar aynı ara ürün olarak devam etmekte, son ürün oluşmadan önce eklenen katkı maddeleri ile çeşitlenmektedir. Şekil 3.4'de bu süreç anlatılmıştır.



**Şekil 3.4** Hümik Asit akış şeması

T tipi işletmelerde tampon yönetimi olarak dikkat edilmesi gereken noktalar, kısıtı besleyen kollar, kısıttan ayrılma noktaları ve sevkiyat veya pazar öncesi son ürün depolarıdır. Temel olarak üretimin Dekantör aşaması süreç açısından kısıt oluşturan makinedir (Davul). Varolan piyasa talebinin karşılanmasında Dekantör'ün sürekli çalışması veya hiç boş kalmaması sağlanmalıdır. Bu anlamda Dekantör öncesine konulacak bir ara depo ile bir tampon oluşturulmalı ve gerektiğinde ekipler halinde sadece Dekantör aşaması için vardiya sistemi önerilebilecek çözümlerden biridir. Böylelikle Dekantör sürekli çalışır halde olduğundan sürecin çıktısı aynı zaman diliminde daha fazla olacak ve buda işletme adına piyasa talebi karşılanacağından karlılığı arttıracaktır. Bu anlamda ilk tampon kısıtın önüne yani Dekantör'ün önüne konulabilir.

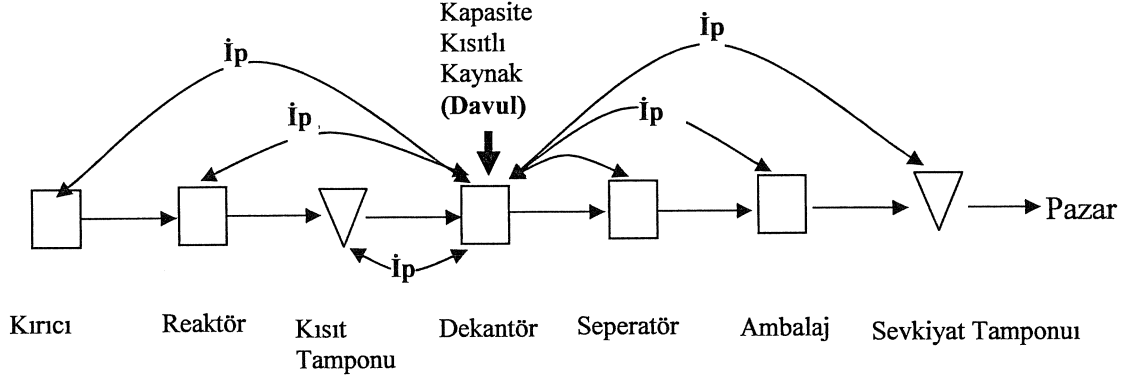
İkinci olarak sevkiyatların zamanında yapılabilmesi için bir sevkiyat zaman tamponu kullanılabilir. Süreç içinde oluşabilecek arızalar veya gecikmelerin talebin karşılanmasını etkilememesi için ambalajlama aşamasından sonra bitmiş ürünlerden oluşan bir tampon kullanılabilir. Böylece piyasa talebinin karşılanmasında karşılaşılabilecek sorun azaltılmış olur. Süreç içine tampon yerleşimi Şekil 3.5 de gösterilmiştir.



**Şekil 3.5** Üretim Süreci ve Tamponlar

Kapasite kısıtlı kaynak olan Dekantör'ün çalışması tüm üretim sürecinin hızını ve sistemin çıktısını belirler. Kısıtlar teorisi tarafından **Davul** olarak ilan edilen makine, tamponlar aracılığı ile sürekli çalışması ve gelen ara ürünü işlemesi şeklinde üretim süreci içinde yerini alır. Geriye kalan tüm makineler ve diğer çalışmalar bu makinenin çalışma ve çıktı üretme hızına bağlanır. Bu durumda sürecin, kısıttan öncesi ve sonrası ile olan senkronizasyonunun sağlanması yani gerekli haberleşmenin yapılması ise, K.T tarafından **İp** denilen haberleşme mekanizması ile yapılır. Böylece, üretim süreci kısıttaki tıkanmaya göre zaman zaman hızlanıp, zaman zaman yavaşlayarak, hem süreç içinde oluşacak envanter seviyesini en az miktarda tutar, hem de belirtilen süre içinde en çok çıktıyı vererek, sistemin

para kazanmasını sağlar. Örnek uygulama için Davul-Tampon-İp gösterimi Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Üretim Sürecinde Davul-Tampon-İp gösterimi

### 3.11. İşletmede Kısıt Sorununun Aşılması ve Çözüm Önerileri

Kısıtlar teorisinin öngördüğü sokratik düşünme tarzının işletmeye uygulanması bu aşamada olmuştur. “Ne değişecek”, “Neye doğru değişecek” ve “Değişim nasıl olacak” sorularına cevabın arandığı bu aşamada yönetici ve üretim sorumlusu görevlilerle ortak bir çalışma yürütülmüştür.

Üretimin Dekantör aşamasında bir kısıt olduğu çalışmanın önceki bölümlerinde belirtilmişti, işletme yöneticileri de bunun farkındadırlar ancak sistemin çıktısını belirleyen aşamanın bu aşama olması işletme tarafından ilgiyle karşılanmıştır. Dekantör kısıtının çözümü için ikinci bir Dekantör daha alındığında oluşacak maliyetlerin hesaplanmasına karar verilmiştir. İkinci Dekantör alındığında üretimde oluşacak durum **1. Senaryo** olarak incelenmiştir. Bu çalışma ile yapılan maliyet hesapları, işletmede bu güne kadar yapılmış en net ve gerçeğe yakın hesaplamalar olduğundan, süreç üzerine daha çok eğilmek gerektiği sonucuna varılmıştır.

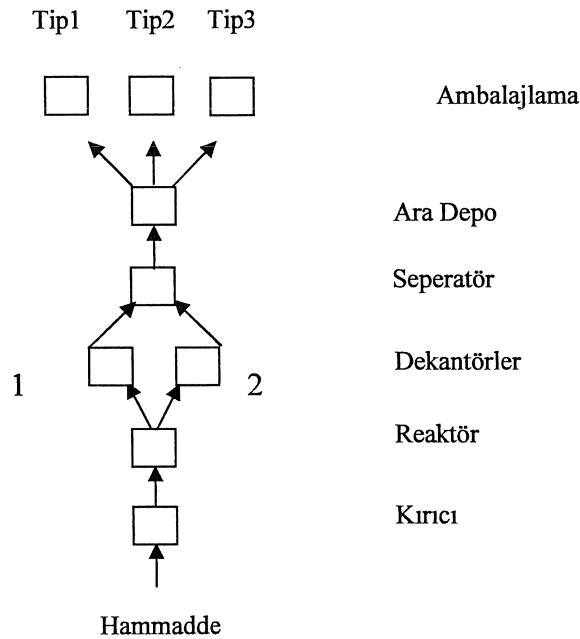
İkinci Dekantör alımı yapıldığında var olan mevcut piyasa talebi ile bir sorun yaşanmayacağı açıktır. Ancak girilebilecek yeni bir pazar veya talepteki artışın dekantör dışında yeni bir kısıt yaratıp yaratmayacağını araştırılması gerekmektedir. Talebin %50 artması durumunda işletmenin durumunun nasıl olacağı **2.Senaryo** olarak incelenmiştir. Gübre satışı yani piyasa talebi mevsimsel dalgalanmalar gösterdiğinden bu çok olası bir durumdur. Bu anlamda işletmede ataletle izin verilmemesi sürecin sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Ambalajlamanın elle yapıldığı üretim süreci anlatılırken açıklanmıştı. Bu

aşamayı makinalar yardımı ile otomatik bir şekilde yapmak için gerekli teknolojinin araştırılmasına, maliyet ve uygulanabilirliğinin ortaya çıkarılması için bir yöneticinin görevlendirilmesi alınan kararlardan bir başkasıdır.

Kaynakların kullanımı açısından bir dengesizliğin olduğu, örneğin kırıcının fazladan bir kapasiteye sahip olduğu açıktır, oluşan bu ara ürün için stok maliyeti üzerine düşünülmesi gereken bir durumdur.

### 1.Senaryo : Eşdeğer Bir Dekantör Alımı

İkinci bir Dekantör alındığında, alım için işletme bütçesinin kullanıldığı varsayılmış ve alım için katlanılan sabit maliyet ve başa baş noktası hesabı yapılmamıştır. İşletmede şu anda kullanılan 40 cm \*140 cm ebatlarındaki yeni bir Dekantör'ün fiyatı yaklaşık olarak 80 milyar TL'dir. Üretilen ürüne maliyet olarak katkısı elektrik ve işgücü maliyeti olarak göz önüne alınmıştır. Çalışmanın önceki bölümlerinde anlatıldığı gibi Dekantör için 1 işçinin görevlendirilmesi gerekmektedir. Bu durumda Dekantör için işlem süresi %50 azalırken, maliyetlerde değişik oranlarda artma olacaktır. İşlem süresi yarıya düşüp, harcanan enerji iki katına çıktığından toplam elektrik maliyeti değişmez. Diğer taraftan bir işçi 2-3 Dekantör ile ilgili işlemleri de yapabileceğinden Dekantör aşaması için işçilik maliyeti de toplam maliyet anlamında değişmez. Ancak bir birim ürünün içindeki işçilik ve elektrik maliyetleri düştüğünden, daha karlı bir üretim ortaya çıkar. Yeni Dekantör alındığında üretim sürecinin yeni görünümü Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 İkinci Dekantör alındığında üretim sürecinin yeni görünümü

1 birim son ürün maliyeti içindeki işçilik maliyetinin yeni değeri şu şekilde hesaplanır:

Bir işçinin 1 saatlik maliyetinin 7500000 TL olduğu ve bir işçinin 2-3 Dekantör ile ilgili işlemleri de yapabileceği çalışmanın önceki bölümlerinde belirtilmişti. İki Dekantör kullanılması durumunda, tek Dekantör kullanıldığında katlanılan maliyetin yarısı kadar bir maliyet ortaya çıkar.

1 kg Tip1 H.A için maliyet:

$$43333/2 = 21666,7 \text{ TL olarak bulunur.}$$

1 kg Tip2 H.A için işçilik maliyeti :

$$216665/2 = 108332,5 \text{ TL}$$

1 kg Tip3 H.A için işçilik maliyeti:

$$866660/2 = 433330 \text{ TL}$$

Diğer makinaların 1 birim son ürün üretmek için oluşturdukları maliyetler değişmezken, Dekantör için, aynı piyasa talebinde yeni maliyet şu şekilde hesaplanır:

**Tip 1 H.A için:**

İşçilik:21666,7 TL

Elektrik:18700 TL

**Tip 2 H.A için:**

İşçilik:108332,5 TL

Elektrik:93500 TL

**Tip3 H.A için:**

İşçilik:433330 TL

Elektrik:374000 TL

Bu durumda oluşan yeni toplam maliyet hesabı Tablo 3.10'da verilmiştir.

**Tablo 3.10** İkinci Dekantör alımı yapıldığında yeni toplam maliyetler

Ürün	Toplam Maliyetler
Tip1 HA	817100,3
Tip2 H.A	2283952,5
Tip3 H.A	7342010

İkinci Dekantör alımı ile, Dekantör'ün harcadığı zaman yarıya düşmüştür. Bu durumda her bir makinanın 1 birim son ürün için harcadığı süreler Tablo 3.11'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.11** İkinci Dekantör alımı yapıldığında yeni birim zamanlar

Makina	Tip 1 Hümik Asit (dk olarak)	Tip 2 Hümik Asit (dk olarak)	Tip 3 Hümik Asit (dk olarak)
Leonardit Kırıcı	0,132	0,66	2,64
Reaktör	0,07	0,35	1,4
Dekantör	0,17	0,87	3,47
Seperatör	0,12	0,6	0,76
Ambalaj	0,33	1	2

Bu durumda aynı piyasa talebi ile gerekli kapasitelerin hesaplanması Tablo 3.12'de verilmiştir.

**Tablo 3.12** Piyasa talebine göre gerekli kapasitelerin dakika olarak yeniden hesaplanması

(1) Ürün	(2) Talep	(3) Her bir ürün için Kırıcı'nın harcadığı zaman	(4) Kırıcı için gereken toplam zaman (2)*(3)	(5) Her bir ürün için Reaktör'ün harcadığı zaman	(6) Reaktör için gereken toplam zaman (2)*(5)	(7) Her bir ürün için Dekantör'ün harcadığı zaman	(8) Dekantör için gerekli toplam zaman (2)*(7)	(9) Her bir ürün için Seperatör'ün harcadığı zaman	(10) Seperatör için gereken toplam zaman(2)*(9)	(11) Her bir ürün için Ambalajlama'nın harcadığı zaman	(12) Ambalajlama için gerekli toplam zaman (2)*(11)
Tip1 HA	3600	0,13	475,2	0,07	252	0,17	612	0,12	432	0,33	1188
Tip2 HA	480	0,66	316,8	0,35	168	0,87	406	0,6	288	1	480
Tip3 HA	300	2,64	792	1,40	420	3,47	1020	0,76	228	2	600
Toplam gereken Zamanlar			1584		840		2040		948		2268

Var olan piyasa talebine göre yapılan hesaplamalardan sonra kısıt veya kısıtların tespiti için, bulunan bu toplam gerekli kapasitenin, işletmenin mevcut kapasitesi ile karşılaştırılması gerekmektedir. Mevcut kapasite ve gerekli kapasite karşılaştırılması Tablo 3.13’de verilmiştir. Tablo 3.12’de Dekantör için hesaplamalar yapılırken birim zamanlar yarıya düşürüldüğünden Dekantör’ün var olan kapasitesi tekrar iki katına çıkarılmamıştır. Atölye tipi bir üretimde her parça için yapılan işlemin süresi sabittir. Örneğin bir montaj atölyesinde, iki parçanın montajı için gerekli süre 10 dakika ise bu her zaman 10 dakikadır, montajı yapacak makinelerin sayısının artması bu süreyi kısaltmaz sadece birim zamanda montajlanan parça sayısını artırır. Makine sayısı 1 adetten 2 adete çıkarıldığında parçanın montaj süresi 10 dakikadan 5 dakikaya düşmez, sadece birim zamanda üretilen ara ürünün sayısını artırır. Oysa örnek uygulamamızda, Dekantör’ün yaptığı iş, bir montaj veya üretim işi değildir, sadece gelen aynı ara ürün üzerinde yapılan bir temizleme işidir. Matematiksel anlamda sonuç değişmemektedir. Bu durum şöyle açıklanabilir:

Eğer 1 birim son ürün için harcanan birim zamanlar sabit tutulup toplam kapasite iki katına çıkarılırsa;

Tablo 3.4 ‘den alınan Dekantör için toplam zaman 4080 dakika, iki dekantör için toplam çalışabilme süresi:

$$3600 * 2 = 7200 \text{ dakikadır}$$

Bu iki ifade birbirine oranlanırsa:

$$4080 / 7200 = 0,57 \dots \dots \dots (I)$$

Eğer birim zamanlar yarıya düşürülüp, toplam kapasite sabit tutulursa;

Tablo 3.11’den alınan Dekantör için toplam zaman :

2040 dakikadır.

Mevcut toplam kapasite ise 3600 dakika olarak alınıp bu değer birbirine oranlanırsa:

$$2040 / 3600 = 0,57 \dots \dots \dots (II)$$

I ve II numaralı oranlar birbirine eşit çıkmıştır. Dekantör’ün yaptığı işin özelliği gereği burada II numaralı yöntem kullanılmıştır. Yani birim zamanlar yarıya düşürülüp, toplam kapasite sabit tutulmuştur. Karşılaştırma Tablo 3.13’de verilmiştir.

**Tablo 3.13:** Mevcut kapasite ile gerekli kapasitenin karşılaştırılması

Makina	Mevcut Kapasite	Gerekli Kapasite
Leonardit Kırıcı	3900	1584
Reaktör	2700	840
Dekantör	3600	2040
Seperatör	3600	948
Ambalaj	3900	2268

Tablo 3.13 incelendiğinde, her makine için mevcut kapasitenin, gerekli kapasiteden büyük olduğu görülmüştür. Bu durumda işletme de üretim açısından bir kısıt kalmamıştır. Bu durumda işletmenin ikinci bir Dekantör alımından sonra var olan piyasa talebini rahatça karşılayabileceği ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmadan sonra sorgulanması gereken, ikinci bir Dekantör'ün 'neden' alınmadığı sorusudur. İşletme yönetiminin bu konuda, yatırım maliyetine katlanmamak için geliştireceği bir savunma yönetsel bir kısıta işaretler. Yönetsel kısıtlar diğer tüm kısıtlara göre aşılması en zor kısıtlardır.

## **2.Senaryo : Eşdeğer bir Dekantör alımı ve piyasa talebinin %50 artması**

Bu durumda haftalık yeni piyasa talebi şu şekilde olur:

Tip1 HA için:  $3600+3600*0,5 = 5400$  kg (1 kg'lık ambalajlarda 5400 adet)

Tip2 HA için:  $2400+2400*0,5 = 3600$  kg (5 kg'lık ambalajlarda 720 adet)

Tip3 HA için:  $6000+6000*0,5 = 9000$  kg (20 kg'lık ambalajlarda 450 adet)

Yeni piyasa talebi ve çift dekantör ile gerekli kapasitenin hesaplanması Tablo 3.14'de hesaplanmıştır.



**Tablo 3.14:** Yeni piyasa talebine göre gerekli kapasitelerin dakika olarak yeniden hesaplanması

(1) Ürün	(2) Talep	(3) Her bir ürün için Kırıcı'nın harcadığı zaman	(4) Kırıcı için gereken toplam zaman (2)*(3)	(5) Her bir ürün için Reaktör'ün harcadığı zaman	(6) Reaktör için gereken toplam zaman (2)*(5)	(7) Her bir ürün için Dekantör'ün harcadığı zaman	(8) Dekantör için gerekli toplam zaman (2)*(7)	(9) Her bir ürün için Seperatör'ün harcadığı zaman	(10) Seperatör için gereken toplam zaman(2)*(9)	(11) Her bir ürün için Ambalajlama'nun harcadığı zaman	(12) Ambalajlama için gerekli toplam zaman (2)*(11)
Tip1 HA	5400	0,13	702	0,07	378	0,17	918	0,12	648	0,33	1782
Tip2 HA	720	0,66	475,2	0,35	252	0,87	626,4	0,6	432	1	720
Tip3 HA	450	2,64	1188	1,40	675	3,47	1561,5	0,76	342	2	900
Toplam gereken Zamanlar			2365,2		1305		3105,9		1422		3402

İkinci bir dekantör alımı yapıldığında ve piyasa talebi %50 arttırıldığında var olan talebi karşılamak için gerekli kapasiteler hesaplanmıştır. Kısıt veya kısıtların tespiti için hesaplanan bu gerekli kapasite ile mevcut kapasitenin karşılaştırılması gerekmektedir. Bu karşılaştırma Tablo 3.15'de verilmiştir.

**Tablo 3.15:** Mevcut kapasite ile gerekli kapasitenin karşılaştırılması

Makina	Mevcut Kapasite	Gerekli Kapasite
Leonardit Kırıcı	3900	2365,2
Reaktör	2700	1305
Dekantör	3600	3105,9
Seperatör	3600	1422
Ambalaj	3900	3402

Gerekli kapasiteler ile mevcut kapasiteler karşılaştırıldığında, talepteki %50 artışa rağmen çift Dekantör kullanıldığında, işletmenin üretiminde bir darboğaz oluşmadığı görülmektedir. Mevcut kapasiteler her makine için gerekli kapasiteden büyük çıkmıştır.

İşletmede darboğazı yaratan Dekantör'ün darboğaz olmaktan çıkarılması ile işletme var olan piyasa talebindeki dalgalanmalara cevap verebilmekte, üretim sürecinde darboğaz kalmamakta, hatta atıl kapasite doğmaktadır.

İşletmenin yeni bir Dekantör alımını yönetimsel bir kısıt olmaktan çıkarıp, biran önce yeni bir Dekantör alması gerekmektedir.

### **3.11.1. Süreç İçerisinde Birden Fazla Kısıtlı Kaynak Olduğunda KT Çözümü ile DP Çözümünün Karşılaştırılması**

KT ile ilgili yapılan çalışmalarda genellikle üretim sürecinde tek bir kısıtın varlığı kabul edilmiş ve işlemler bu varsayıma göre yapılmıştır.

Süreç içerisinde birden çok kapasite kısıtlı kaynak varsa Kısıtlar Teorisi çözümünün nasıl olacağı ve bulunan sonuçların tutarlılığının Doğrusal Programlama çözümü ile karşılaştırılabilmesi, yeni ürün karmasının ve işletmenin kazancının her iki yöntemle bulunması, yapılan çalışmanın başarı ve doğruluğu için gereklidir.

Uygulama yapılan işletmede kapasite kullanım oranlarına bakılarak süreç incelendiğinde, kısıt olan Dekantör'den sonra kısıt olabilecek ünite ambalajlama ünitesidir. Makinaların kullanım oranları Tablo 3.6'da (sayfa 86) gösterilmektedir.

Bu aşamada KT çözümü ile DP çözümünü karşılaştırabilmek için ambalajlama ünitesi birim zamanlarının artması durumunda, gerekli kapasitenin mevcut kapasiteyi aşmasıyla ikinci bir kısıt oluşturulmuştur. Bunun için ambalajlama ünitesi birim zamanları 2 katına çıkarılmıştır. Yeni durum Tablo 3.16'da gösterilmiştir:

**Tablo 3.16:** Yeni birim zamanlar

Makina	Tip 1 Hümik Asit (dk olarak)	Tip 2 Hümik Asit (dk olarak)	Tip 3 Hümik Asit (dk olarak)
Leonardit Kırıcı	0,132	0,66	2,64
Reaktör	0,07	0,35	1,4
Dekantör	0,34	1,73	6,93
Seperatör	0,12	0,6	0,76
<i>Ambalaj</i>	0,66	2	4

← Değiştirilen Satır

Ambalajlama için birim zamanlar iki katına çıkarıldığında, gerekli kapasitede 2 katına çıkmış olur. Bu durumda, kısıtların tespiti için yeni kapasiteler Tablo 3.17’de verilmiştir.

**Tablo 3.17:** Mevcut kapasiteler ve gerekli kapasitelerin karşılaştırılması

Makina	Mevcut Kapasite	Gerekli Kapasite
Leonardit Kırıcı	3900	1584
Reaktör	2700	840
Dekantör	3600	4080
Seperatör	3600	1422
Ambalajlama	3900	4536

Tablo 3.17 incelendiğinde, var olan talep karşısında kapasitesi yetmeyen iki kaynağın olduğu görülür:

1. Kısıt :  $3600 < 4080$ , Dekantör
2. Kısıt :  $3900 < 4536$ , Ambalajlama.

Bu durumda süreç içinde 2 tane kapasite kısıtlı kaynak oluşmuştur. Makinaların kapasite kullanım oranları Tablo 3.18’de verilmiştir.

**Tablo 3.18:** Kapasite kullanım oranları

<b>Makina</b>	<b>Kullanılan Kapasite (% olarak)</b>
Leonardit Kırıcı	$1584/3900 = 41$
Reaktör	$840/2700 = 31$
Dekantör	$4080/3600 = 113$
Seperatör	$1422/3600 = 40$
Ambalajlama	$4536/3900= 116$

Üretim süreçleri zincirlere benzerler ve her süreçte mutlaka en az bir tane zayıf halka vardır(Dettmer, 1997, s.13). Kısıtlar Teorisi, süreçteki en zayıf halkadan yola çıkar. Burada sorulması gereken soru en zayıf halkanın hangi kaynak olduğudur. Gerekli kapasitesi, mevcut kapasiteden büyük iki kaynak vardır: Dekantör ve Ambalajlama. Kapasite kullanım oranı yüksek olan Ambalajlama en zayıf halka olarak düşünülebilir. Çünkü en fazla Ambalajlama ünitesi kapasite yetersizliği yaşamaktadır. Ambalajlama kısıtına göre hesaplama yapılacak ancak verilen kararın doğruluğunun teyidi için diğer KKK olan Dekantör'ün de verilen karara uyumu gözlenecektir. Üretilen ürün miktarlarını belirlemek için, ürünlerin birim karlılıkları ve en zayıf halkanın yani kısıtın her bir birim ürün için ne kadar zaman harcadığı bilgilerine ihtiyaç vardır. Böylece, her ürünün bu kaynakta harcadığı zamana göre birim karlılığı en yüksek olan üründen başlanarak hangi üründen ne kadar üretileceği belirlenmiş olur. Üretilen ürünlerin birim karlılıkları çalışmanın önceki kısımlarında hesaplanmıştı(Sayfa 86-87). En karlı ürün karışımının belirlenmesi için birim karlılıklar ve KKK olan Ambalajlama'nın her bir birim için harcadığı zamana göre ürün karışımının belirlenmesi Tablo 3.19'da verilmiştir:

**Tablo 3.19:** KKK'ya göre ürün karmasının belirlenmesi

Ürün	(1) KKK tarafından harcanan zaman (dk)	(2) Birim Kar (TL)	(3) Birim Kar / Birim Zaman (2/1)
Tip1 H.A	0,66	781233	1183686,37
Tip2 H.A	2	2607715	1303857,5
Tip3 H.A	4	15524660	3881165

Tablo 3.19 incelendiğinde, Kapasite Kısıtlı Kaynak, bir birim Tip3 ürettiğinde, bunun işletmenin kazancına olan etkisi en büyük (3881165) olmakta, Tip2 ürettiğinde bu katkı daha düşük (1303857,5) olmakta ve Tip1 ürettiğinde katkı en alt seviyeye (1183686,37) inmektedir. Böylece işletme KKK yardımıyla ve onu kullanarak üreteceği ürün karışımını da belirlemiş olmaktadır. Pazarın yaratmış olduğu talebe göre öncelikle Tip3 üretilecek, geriye kalan kapasite önce Tip2 ardından Tip1 için kullanılacaktır.

Kısıtlı kaynağın kapasitesi öncelik sırasına göre yüklenerek, üretilecek ürün sayısı ve dolayısı ile işletmenin kazancı da belirlenmiş olur. Üretilecek ürün sayısı Tablo 3.20'de gösterilmiştir. Süreçte ikinci bir kısıt olduğundan üretilen ürün miktarlarına göre bu kısıtın (Dekantör) da kapasite kullanımını yine aynı tabloda verilmiştir.

**Tablo 3.20:** Üretilcek ürün adetlerinin hesaplanması ve kapasiteler

Ürün	(1) KKK (Ambalajlama) tarafından harcanan zaman (dk)	(2) Talep	(3) Üretilcek Adet	(4) Harcanan Toplam Zaman(1)*(3)	Kalan Kapasite (3900-Harcanan Zamanlar Toplamı)	(5) Dekantörün 1 br için harcadığı zaman	(6) Dekantörün Toplam harcadığı zaman
Tip3 H.A	4	300	300	1200	2700	6,93	2079
Tip2 H.A	2	480	480	960	1740	1,73	830,4
Tip1 H.A	0,66	3600	2636,37	1740	0	0,34	1224
Toplam				3900			4133,4

Tablo 3.20 incelendiğinde, kapasite kullanım oranı aracılığı ile kısıt olarak ilan edilmiş ambalajlama ünitesine göre ürün karması ve miktarları belirlenmiştir. Ancak dikkat edilmesi gereken nokta Dekantör'ün hala bir kısıt olarak kaldığıdır.

4133,4 dk. > 3600 dk.

Burada yapılan temel hata, Kapasite Kısıtlı Kaynak, kapasite kullanım oranına göre belirlenmiştir. Oysa kısıtın kapasite kullanım oranına göre değil kullanılabilir kapasiteye göre belirlenmesi gerekir. Çünkü hepsi dakika cinsinden değerlerdir ve en zayıf halka kullanılabilir kapasitesi en küçük olan halkadır. Bu anlamda en zayıf halka yani kısıt;

$3600 < 3900$

olduğundan Dekantör'dür.

Yukarıda anlatılanların ışığında kısıt Ambalajlama olarak değil, Dekantör olarak belirlendiğinde ortaya çıkan durum Tablo 3.21'de verilmiştir. Çalışmanın önceki kısımlarında Dekantör kısıtına göre yapılan hesaplamalar Tablo 3.8'de (Sayfa 88) verilmiştir. Tablo 3.21'de bu tabloya ek olarak ikinci kısıt olan Ambalajlama'nın kapasite durumu gözlenmiştir.

**Tablo 3.21:** Dekantör kısıtına göre üretilecek ürün adetlerinin hesaplanması ve kapasiteler

Ürün	(1) KKK (Dekantör) tarafından harcanan zaman (dk)	(2) Talep	(3) Üretilcek Adet	(4) Harcanan Toplam Zaman(1)*(3)	Kalan Kapasite (3600-Harcanan Zamanlar Toplamı)	(5) Ambalajlamanın 1 br. için harcadığı zaman	(6) Ambalajlamanın Toplam harcadığı zaman(3)*(5)
Tip3 H.A	6,93	300	300	2079	1521	4	1200
Tip1 H.A	0,34	3600	3600	1224	297	0,66	2376
Tip2 H.A	1,73	480	171,67	297	0	2	343,34
Toplam				3600			3919,67

Tablo 3.21 incelendiğinde, kapasitesi en küçük olan Dekantöre göre yapılan hesaplamada, ikinci kısıt olan Ambalajlama ünitesi için de yaklaşık en iyi sonuç elde edilmiştir. Ambalajlamanın kullanılabilir kapasitesi olan 3900 dakikaya çok yakın bir sonuç elde edilmiştir. Ancak buna rağmen Ambalajlama hala bir kısıttır ve iş merkezinin 3900'den fazla bir kapasitesi yoktur.

Bu durumda Kısıtlar Teorisi, ürün karmasını belirlerken, en son sırada üretilmesine karar verilen Tip2 H.A. için yeni bir hesaplama yöntemi ileri sürer. Kapasite kısıtlı kaynak Dekantör'dür ancak bu çözüm yaklaşımında bu sefer Ambalajlama bir kısıt haline gelmektedir. Bunu engellemek için, Tip2 H.A. üretim miktarını Dekantör'e göre değil, Ambalajlama ünitesinin kalan kapasitesine göre belirler. Ambalajlama ünitesinin,

Tip1 H.A. üretimi için kullanılan kapasitesi: 2376,

Tip3 H.A. üretimi için kullanılan kapasitesi: 1200 dakikadır. Toplam kullanılan kapasite  $2376+1200 = 3576$  dakikadır. Geriye kalan kullanılmamış kapasite,

$3900-3576 = 324$  dakikadır.

Tip2 H.A. üretim miktarı belirlenirken dikkate alınacak zaman Ambalajlama ünitesinin kullanılabilir zamanı yani 324 dakikadır. Buna göre hesaplamalar yapıldığında Tip2 H.A. üretim miktarı :

$324 / 2 = 162$  adettir.

Alınan bu karara göre yeni durum Tablo 3.22'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.22:** Tip2 H.A. üretim miktarının Ambalajlama ünitesine göre belirlenmesi durumunda kullanılan kapasiteler ve üretim miktarları

Ürün	(1) KKK (Dekantör) tarafından harcanan zaman (dk)	(2) Talep	(3) Üretilen Adet	(4) Harcanan Toplam Zaman(1)*(3)	Kalan Kapasite (3600-Harcanan Zamanlar Toplamı)	(5) Ambalajlamanın 1 br. için harcadığı zaman	(6) Ambalajlamanın Toplam harcadığı zaman(3)*(5)
Tip3 H.A	6,93	300	300	2079	1521	4	1200
Tip1 H.A	0,34	3600	3600	1224	297	0,66	2376
Tip2 H.A	1,73	480	162	280,86	16,14	2	324
Toplam				3583,86			3900

Tablo 3.22 incelendiğinde, üretim sürecinde mevcut kapasiteyi aşan herhangi bir makine veya iş merkezi kalmamıştır.

Bu durumda işletmenin kazancı :

$$3600*781233 + 162*2607715 + 300*15524660 = 7892286630$$

Problem Doğrusal Programlama ile çözüldüğünde sonuçlar yaklaşık çıkmaktadır, ancak ürün miktarlarında ve işletmenin kazancında çok az bir farkla DP çözümü daha büyük bir kazanç sunmaktadır. Problem son haliyle *DS For Windows* programı ile çözüldüğünde amaç satırı aşağıdaki gibi olmaktadır:

**Tablo 3.23:** DP çözümünde DS for Windows programının çözüm satırı

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Amaç Fonksiyonu Toplam değeri
3527,5	185,92	300	7898036666,55

KT çözümünde, işletmenin kazancı 5750036,55 TL daha fazla çıkmaktadır.



KT ve DP çözümünün sonuçları Tablo 3.24’de beraber verilerek aralarındaki fark hesaplanmıştır.

**Tablo 3.24:** KT ve DP çözümleri sonuçlarının karşılaştırılması

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	<b>Amaç Fonk. Değeri</b>
DP Çözümü	3527,5	185,92	300	7898036666,55
KT Çözümü	3600	162,67	300	7892286630,00
Fark (DP-KT)	-72,5	23,25	0	5750036,55

Çalışmanın bu aşamasında, süreç içerisindeki kısıt sayısını üçe çıkartıp sistemin vereceği tepki incelenecektir.

Çalışmanın önceki bölümünde, kapasitesi 3900 dakika olan Ambalajlama ve kapasitesi 3600 dakika olan Dekantör sistemdeki kısıtlar olarak belirlenmiştir. KT, bunların arasından en zayıf halka olarak kapasitesi en küçük olan Dekantör’e göre çözüm üretmiştir. Bu aşamada kapasitesi Dekantör’den de küçük olan yeni bir kısıt eklenerek sistemin oluşturacağı çözüm incelenecektir. Bu durumda beklenen, KT mantığının, yeni eklenen kapasitesi en düşük olan bu kısıta göre çözüm üretmesidir.

Bu örnek uygulama için Reaktör uygun kaynaktır. Çünkü mevcut kapasitesi 2700 dakika ve gerekli kapasitesi 840 dakikadır. Eğer gerekli kapasitesi 2700’den büyük fakat Dekantör’ün gerekli kapasitesi olan 3600’den küçük bir rakama çıkartılırsa hem sistemde üçüncü kısıt oluşacak hem de kısıtlar içerisinde kapasitesi en düşük kısıt olacaktır. Reaktör’ün işlem sürelerine ait gerçek değerler, değiştirilmiş değerler ve gerekli kapasitenin yeni değerleri Tablo 3.25’de verilmiştir:

**Tablo 3.25:** Reaktör'ün kısıt haline getirilmesi ve toplam sürelerin hesaplanması

(1) Ürün	(2) Talep	(3) Her bir ürün için Reaktör'ün harcadığı gerçek zamanlar	(4) Her bir ürün için Reaktör'ün harcadığı değiştirilmiş zamanlar	(5) Yeni rakamlara göre gerekli toplam zamanlar(2)*(4)
Tip1 HA	3600	0,07	0,35	1260
Tip2 HA	480	0,35	1,2	576
Tip3 HA	300	1,40	4,5	1350
Toplam				3186

Böylelikle sistemde 3 tane kısıt oluşmuş olmaktadır. Mevcut kapasiteler ve gerekli kapasiteler Tablo 3.26'da verilmiştir.

**Tablo 3.26:** Mevcut kapasiteler ve gerekli kapasiteler

Makina	Mevcut Kapasite	Gerekli Kapasite
Leonardit Kırıcı	3900	1584
Reaktör	2700	3186
Dekantör	3600	4080
Seperatör	3600	1440
Ambalajlama	3900	4536

Tablo 3.26 incelendiğinde Reaktör, Dekantör ve Ambalajlama ünitesinin kısıt oldukları görülmektedir. Kısıtlar, mevcut kapasitelerine göre küçükten büyüğe sıralandıklarında:

1. Kısıt :  $(2700 < 3186)$  Reaktör,
2. Kısıt :  $(3600 < 4080)$  Dekantör,

3. Kısıt : (3900 < 4536) Ambalajlama'dır.

Kısıtlar Teorisi, mevcut kullanılabilir kapasiteler arasında en küçüğü olan Reaktör'ü kısıt ilan eder ve üretilecek ürün miktarlarını bu kaynağa göre belirler. Üretilen ürünlerin birim karlılıkları daha önceden hesaplanmıştı. Birim kar / `harcanan zaman` oranı hesabı bizim “hangi üründen ne kadar üreteceğimiz” sorusunun cevabıdır. KKK tarafından harcanan zaman ve birim karlılıklar aşağıda Tablo 3.27’de verilmiştir:

**Tablo 3.27:** KKK’ya göre yeni ürün karmasının belirlenmesi

Ürün	(1) KKK tarafından harcanan zaman (dk)	(2) Birim Kar (TL)	(3) Birim Kar / Birim Zaman (2/1)
Tip1 H.A	0,35	781233	2232094,28
Tip2 H.A	1,2	2607715	2173095,84
Tip3 H.A	4,5	15524660	3449924,45

Tablo 3.27 incelendiğinde işletmenin kazancına en büyük katkıyı Tip3’ün yaptığı görülmekte daha sonra Tip1 ve Tip2 gelmektedir. Böylelikle hangi üründen ne kadar üretmemiz gerektiği sorusu da cevabını bulmuş olmaktadır. Talebe göre üretebileceğimiz kadar Tip3 üretmeli, kalan kapasiteyi Tip1 için kullanmalı ve geriye kalan kapasite de Tip2 için kullanılmalıdır.

Alınan bu kararın uygulanması sonucu oluşan durum Tablo 3.28’de gösterilmiştir. Ayrıca bu tabloda diğer iki kısıt olan Dekantör ve Ambalajlama’nın da alınan yeni karara uyumu izlenmiştir.

**Tablo 3.28:** Reaktör kısıtına göre üretilcek ürün adetlerinin hesaplanması ve kapasiteler

Ürün	(1) KKK (Reaktör) tarafından harcanan zaman (dk)	(2) Talep	(3) Üretilcek Adet	(4) Harcanan Toplam Zaman (1)*(3)	Kalan Kapasite (2700-Harcanan Zamanlar Toplamı)	(5)Ambalajlamanın 1 br. için harcadığı zaman	(6)Ambalajlamanın Toplam harcadığı zaman(3)*(5)	(7)Dekantör'ün 1 br. için harcadığı zaman	(8)Dekantörün Toplam harcadığı zaman(3)*(7)
Tip3 H.A	4,5	300	300	1350	1350	4	1200	6,93	2079
Tip1 H.A	0,35	3600	3600	1260	90	0,66	2376	0,34	1224
Tip2 H.A	1,2	480	75	90	0	2	150	1,73	129,75
Toplam			2700				3726		3432,75

Tablo 3.28 incelendiğinde Reaktör kısıtına göre mevcut kapasiteler aşılmadan ürün karması belirlenmiştir. Hatta Ambalajlama ünitesinde ve Dekantör'de bir miktar atıl kapasite oluşmuştur. Üretilen bu ürün miktarlarına göre işletmenin kazancı :

$$3600*781233 + 75*2607715 + 300*15524660 = 7665415425 \text{ TL'dir.}$$

Aynı sorunun Doğrusal Programlama ile çözümünde aşağıdaki çözüm satırı elde edilmiştir:

**Tablo 3.29:** DP çözümünde DS for Windows programının çözüm satırı

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Amaç Fonksiyonu Toplam değeri
3600	75	300	7665415482,55

DP çözümü ve KT çözümü aynı sonuçları vermişlerdir. Böylelikle sistemde birden çok kısıt bulunduğu da KT, DP kadar iyi sonuçlar vermektedir. Diğer taraftan önemli olan makine veya kaynakların kapasite kullanım oranları değil kullanılabilir kapasitelerinin büyüklükleridir. KT, üretim sürecindeki en zayıf halkayı yani kapasitesi yetersiz olan en

küçük kaynağı bulup ona göre işlem yapmakta, üretilecek ürün miktarını ve işletmenin kazancını bu kaynağa göre hesaplamaktadır.

## SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada Kısıtlar Teorisi anlatılmış, bir üretim işletmesinde uygulaması yapılmaya çalışılmıştır.

Kısıtlar teorisi, kaynağını optimal üretim yöntemlerinden alan ve kendine özgü yöntemlerle üretim sürecine odaklanan, süreci değerlendiren, çözüm önerileri geliştiren, hem var olan durumla hem de gelecekle ilgilenip olası senaryolara hazırlık yapılmasını sağlayan bir üretim felsefesidir. Süreç incelenirken 5 aşamalı odaklanma süreci ile yaklaşımın temeli kurulmaktadır. Bu aşamada kısıtlı kaynak tespit edilmekte, kısıtın ortadan kaldırılması için gerekli çalışmalar yapıldıktan sonra geriye kalan tüm işler ve diğer iş merkezleri bu kısıtlı merkezin hareketine bağlanmaktadır. Sorunun giderilmesi KT için bir son anlamına gelmemekte, süreç sürekli incelenip oluşabilecek yeni kısıtlara karşı tedbirli olmayı gerektirmektedir.

Kısıtlar teorisinin daha çok bir üretim felsefesi olması, anlatımda teorik yapının daha ağırlıklı olarak ele alınmasını gerekli kılmıştır.

Uygulamada ise bir imalat işletmesi ele alınmış, bu işletmeye KT mantığı ile yaklaşılmıştır. Kaynakların yükleri hesaplanmış, kapasite kısıtlı kaynak bulunmuş ve bu kaynağın en karlı ürün bileşimi için kullanılması durumunda sistemin çıktısının ne olacağı ve kazanılabilecek en büyük kar miktarı hesaplanmıştır. İşletmeden alınan süreç ile ilgili rakamlar Doğrusal Programlama yöntemi ile de test edilerek aynı sonucun alınması, yöntemin pratikte hem DP kadar sonuç vermede başarılı, hem de süreci inceleme ve gelişmeleri sürekli kılması açısından da Toplam Kalite Yönetimi gibi süreklilik gerektiren bir üretim felsefesi olduğu sonucunu doğurmuştur. Olası yeni durumlar için senaryolar üretilerek üretim süreci tekrar tekrar gözden geçirilmiştir. Kısıtın ortadan kaldırılması ile işletmenin, talepte oluşabilecek dalgalanmalara ne şekilde cevap vereceği hesaplanarak olası durumlar açıklanmıştır. Ayrıca üretim sürecinde kısıt sayısı artırılarak elde edilen çözümler kıyaslanmıştır.

## KAYNAKÇA

**ACAR, Nesime**, 1995, Tam Zamanında Üretim, MPM Yayınları, Ankara.

**ACAR, Nesime**, 1998, Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları, Ankara.

**AGGARWAL, S.C.**, 1998, "The Managment of Manufacturing Operations: An Apprasial of Recent Developments", International Journal of OperationsManagment, Cilt 5 Sayı 3.

**ARYANEZHAD M.B., KOMIJAN A. R.**, 2004, "An improved algorithm for optimizing product mix under the theory of constraints", INT. J. PROD. RES., Vol.42, No.20, 4221-4223.

**BALAKRISHNAN Jaydep, CHENG, Chun Hung**, 2000, "Theory of constraints and linear programming: a re-examination", INT. J. PROD. RES., Vol.38, No.6, 1459-1463.

**BLACKSTONE, John H.**, 2001, "Theory of constraints – a status report", INT. J. PROD. RES., Vol.39, No.6, 1053-1080.

**CHASE R. B., AQUILANO N.J.**, 1989, Production and Operations Management: A Life Cycle Approach, Fifth Edition (Homewood, IL: Richard D. Irwin).

**CHAUDHARI, C.V., ve MUKHOPADHYAY, S.K.**, 2003, "Application of Theory of Constraints in an integrated poultry industry", INT. J. PROD. RES., Vol.41, No.4, 799-817.

**COX, J.F., BLACKSTONE, J.H.** 1997. Managing by the Theory of Constraints. Production and Inventory Control Handbook. Third Edition, Apics, Edited by James H. Greene, Mc.Graw Hill, p.9.3 – 9.37.

**ÇELİKÇAPA, Feray Odman**, 2000, Üretim Yönetimi ve Teknikleri, Alfa Yayınları, İstanbul

**DETTMER, H. William**, 1997, Goldratt's Theory of Constraints, A System Approach to Continuous Improvement, ASQC Quality Press, Milwaukee, Wisconsin.

**FREDENDALL, L.D., LEA B.R.**, 1997, "Improving the product mix heuristic in the theory of constraints", INT. J. PROD. RES., Vol.35, No.6, 1535-1544.

**GARDINER, C. Stanley, BLACKSTONE, H. John Jr., GARDINER, R. Lorraine**, 1993, "Drum-Buffer-Rope and Buffer Management: Impact On Production Management Study and Practices", International Journal of Operations and Production Management., Vol.13, No:6, 68-78.

**GARDINER, C. Stanley, BLACKSTONE, H. John Jr., GARDINER, R. Lorraine**, 1997, "A framework for the systemic control of organizations ", INT. J. PROD. RES., Vol.35, No.3, 597-609.

**GOLDRATT, Eliyahu M.**, 1990, Theory of Constraints and how should it be implemented?, The North River Press, Great Barrington, Massachusetts.

**GOLDRATT, Eliyahu M.**, 1997, Critical Chain, The North River Press, Great Barrington, Massachusetts.

**GOLDRATT, Eliyahu M.** , 2002, Amaç, Profilo Yayınları.

**GOLDRATT, E., COX ,J F.**, 1986, The Goal : A process of Ongoing Improvement, North River Press, Croton on Hudson, NY. 351 p.



**GOLDRATT, E., COX ,J. F., .1986, The Race, North River Press, Inc., Croton on Hudson, NY.**

**GUPTA, M., 2001, “Activity-Based Throughput Management in a manufacturing company ”, INT. J. PROD. RES., Vol.39, No.6, 1163-1182.**

**GUPTA, M., 2003, “Constraints Management- recent advances and practices”, INT. J. PROD. RES., Vol.41, No.4, 647-659.**

**GUPTA, M., K,O HYUN-JEUNG, MINS, HOKEY, 2002, “TOC-based performance measures and five focusing steps in a job-shop manufacturing environment”, INT. J. PROD. RES., Vol.40, No.4, 907-930.**

**HILL, T., 1991, “Production / Operations Management: Text and Cases”, Prentice.**

**HALL J.V.SIMONS Jr., SIMPSON VV.P., 1996, “Formulation and Solution of The Drum-Buffer-Rope Constraint Scheduling Problem”, International Journal of Production Research., Vol.54, No:9, 2405-2420.**

**KIRCHE, E., SRIVASTAVA, R., 2005, “An ABC-based cost model with inventory and order level costs:a comparison with TOC”, INT. J. PROD. RES., Vol.43, No.8, 1685-1710.**

**KOBU, Bülent, 1999, Üretim Yönetimi, İstanbul.**

**KÖKSAL, G., 2004, “Selecting quality improvement projects and product mix together in manufacturing: an improvement of TOC-based approach by incorporating loss”, INT. J. PROD. RES., Vol.42, No.23, 5009-5029.**

**LEA, Bih-Ru, MIN, Hokey**, 2003, "Selection of management accounting systems in Just-In-Time and Theory of Constraints-based manufacturing", INT. J. PROD. RES., Vol.41, No.13, 2879-2910.

**LOCKAMY, A. , SPENCER , M. S.**, 1998, "Performance Measurement in a Theory of Constraints Environment", Int. J. Prod. Res., Vol. 30, 2045-2060.

**LOUW, L., PAGE, D.C.**, 2004, "Queuing network analysis approach for estimating the sizes of the time buffers in Theory of Constraints-controlled production systems", INT. J. PROD. RES., Vol.42, No.6, 1207-1226.

**LUBBE, R. , FINCH, B.**, 1992, "Theory Of Constraints and Lineer Programming : a Comparision" INT. J. PROD. RES., Vol.30, No.6, 1471-1478.

**LUEBBE, Richard ve FINCH, Byron**, 2000, "Response to `Theory of constraints and linear programming:a re-examination`" INT. J. PROD. RES., Vol.38, No.6, 1465-1466.

**MILTENBURG, J**, 1997, "Comparing JIT, MRP and TOC, and embedding TOC to MRP", International Journal of Production Research", Vol.35, No:4, 1147-1169.

**MUHLEMANN, A.,J.OAKLAND, K. LOCKYER**, 1992, Production and Operation Management, 6. Baskı , London.

**ÖZER, Gökhan**, 2001, Dünya Sınıfı Bir Sistem-Yönetim Yaklaşımı: Kısıtlar Teorisi ve Katkı Muhasebesi, Verimlilik Dergisi, Sayı.2.

**PASS, S., RONEN B.**, 2003, "Management by the market constraint in the Hi-Tech industry" INT. J. PROD. RES., Vol.41, No.4, 767-797.

**.SCOGGIN J. M., SEGELHORST R. J. ve . REID R. A.**, 2003, "Applying the TOC thinking process in manufacturing: a case study", INT. J. PROD. RES., Vol.41, No.4, 767-797.

**SIVASUBRAMANIAN, R., SELLADURAI, N., RAJAMRAMASAMY,N.**, 2000, "The Effect of The Drum-Buffer-Rope Approach on The Performance of a Synchronous Manufacturing System", Production Planning&Control. ,Vol.11, No:8, 820-824.

**SCHRAGENHEIM Eli, RONEN Boaz**, 1990, "Drum-Buffer-Rope Shop Floor Control", Production and Inventory Management Journal, Third Quarter.

**SOUREN, Rainer, AHN, Hainz, SCHMITZ, Christian**, 2005, "Optimal product mix decisions based on the Theory of Constraints? Exposing rarely emphasized premises of Throughput Accounting", INT. J. PROD. RES., Vol.43, No.2, 364-374.

**SPANCER M.S., FOX J.F.**, 1995, "Optimum production technology(OPT) and the Theory of Constraints (TOC): Analysis and genealogy ", INT. J. PROD. RES., Vol.33, No.6, 1495-1504.

**STEVENSON, William**, 1986, Production and Operations Managment ,2. Baskı , R. D.Irvein Inc,.

**ŞEN, Ali**, 2003, 1.Ulusal Kalite Göçerimi Sempozyumu, "Göktepe'de kısıtlar teorisi Uygulamaları ".

**UMBLE, M.Michael:**, 1999, "Drum-Buffer-Rope for Lower Inventory", Industrial Management, September- October:24-33.

**UMBLE, M.M., SRIKANTH, M. L.**, 1990, Synchronous Manufacturing, South-Western Publishing Co., Cincinnati, Ohio.

**ÜRETEN , Sevinç**, 1998, Üretim/İşlemler Yönetimi, Gazi Üniversitesi Basımevi, Ankara.

**V.D.R.GUIDE Jr.**, 1996, "Scheduling Using Drum-Buffer-Rope in a Remanufacturing Environment". International Journal of Production Research", Vol.34, No:4, 1081-1091.

**YETİŞ, Nüket**, <http://www.kouemk.com/makale/default.asp?set=makale&id=11>, Alıntı Tarihi Haziran 2005).

**YETİŞ, Nüket**, 2004, "Üretim Kaynakları Planlaması", Bilişim Dergisi, Sayı: 27.

**EK 1**

**Uygulamalara Ait verilerin DS for WINDOWS Programı ile Çözümü Sonrası  
Elde edilen program Çıktıları**

Module/submodule: Linear Programming  
 Problem title: etd  
 Objective: Maximize

Results -----

	X1	X2	X3		RHS
Maximize	781.233	2.619.715	15.546.660		
Constraint 1	0,132	0,66	2,64	<=	3.900
Constraint 2	0,07	0,35	1,4	<=	2.700
Constraint 3	0,34	1,73	6,93	<=	3.600
Constraint 4	0,12	0,6	0,76	<=	3.600
Constraint 5	0,33	1	2	<=	3.900
Constraint 6	1	0	0	<=	3.600
Constraint 7	0	1	0	<=	480
Constraint 8	0	0	1	<=	300
Solution	3.600	171,6763	300		7.926.179.840

Dual

Maximize  
 Constraint 1 0  
 Constraint 2 0  
 Constraint 3 1.514.286,125  
 Constraint 4 0  
 Constraint 5 0  
 Constraint 6 266.375,7188  
 Constraint 7 0  
 Constraint 8 5.052.657,5

Solution

The optimal solution value is = 7.92618E+09

Solution list -----

Variable	Status	Value
X1	Basic	3.600
X2	Basic	171,6763
X3	Basic	300
slack 1	Basic	2.519,4937
slack 2	Basic	1.967,9133
slack 3	NONBasic	0
slack 4	Basic	2.836,9941
slack 5	Basic	1.940,3236
slack 6	NONBasic	0
slack 7	Basic	308,3237
slack 8	NONBasic	0
Z	Optimal	7.926.179.840

Iterations -----

Iteration 1

Cj-->	781233	2619715	1.554666E+07	0	0
Basic	X1	X2	X3	slack 1	slack 2
slack 1	0,132	0,66	2,64	1	0
slack 2	0,07	0,35	1,4	0	1
slack 3	0,34	1,73	6,93	0	0
slack 4	0,12	0,6	0,76	0	0
slack 5	0,33	1	2	0	0
slack 6	1	0	0	0	0
slack 7	0	1	0	0	0
slack 8	0	0	1	0	0
zj	0	0	0	0	0
cj-zj	781.233	2.619.715	15.546.660	0	0

Basic	slack 3.	slack 4	slack 5	slack 6	slack 7
slack 1	0	0	0	0	0
slack 2	0	0	0	0	0
slack 3	1	0	0	0	0
slack 4	0	1	0	0	0
slack 5	0	0	1	0	0
slack 6	0	0	0	1	0
slack 7	0	0	0	0	1
slack 8	0	0	0	0	0
zj	0	0	0	0	0
cj-zj	0	0	0	0	0

Cj-->	0	
Basic	slack 8	Quantity
slack 1	0	3.900
slack 2	0	2.700
slack 3	0	3.600
slack 4	0	3.600
slack 5	0	3.900
slack 6	0	3.600
slack 7	0	480
slack 8	1	300
zj	0	0
cj-zj	0	0

Iteration 2

Cj-->	781233	2619715	1.554666E+07	0	0
Basic	X1	X2	X3	slack 1	slack 2
slack 1	0,132	0,66	0	1	0
slack 2	0,07	0,35	0	0	1
slack 3	0,34	1,73	0	0	0
slack 4	0,12	0,6	0	0	0
slack 5	0,33	1	0	0	0
slack 6	1	0	0	0	0
slack 7	0	1	0	0	0
X3	0	0	1	0	0
zj	0	0	15.546.660	0	0
cj-zj	781.233	2.619.715	0	0	0

Cj-->	0	0	0	0	0
Basic	slack 3	slack 4	slack 5	slack 6	slack 7
slack 1	0	0	0	0	0
slack 2	0	0	0	0	0
slack 3	1	0	0	0	0
slack 4	0	1	0	0	0
slack 5	0	0	1	0	0
slack 6	0	0	0	1	0
slack 7	0	0	0	0	1
X3	0	0	0	0	0
zj	0	0	0	0	0
cj-zj	0	0	0	0	0

Cj-->	0	
Basic	slack 8	Quantity
slack 1	-2,64	3.108,0
slack 2	-1,4	2.280,0
slack 3	-6,93	1.521,0001
slack 4	-0,76	3.372,0
slack 5	-2	3.300
slack 6	0	3.600
slack 7	0	480
X3	1	300
zj	15.546.660	4.663.998.000
cj-zj	-15.546.660	

Cj-->	0	
Basic	slack 8	Quantity
slack 1	0,0505	2.523,0846
slack 2	0,0268	1.969,8176
X1	-20,3824	2.031,1766
slack 4	1,6859	2.840,2588
slack 5	4,7262	2.149,7117
slack 6	20,3824	1.568,8234
X2	0	480
X3	1	300
zj	-376.7061875	7.508.283.368,2498
cj-zj	376.706,1734	

Iteration 5

Cj-->	781233	2619715	1.554666E+07 0	0
Basic	X1	X2	X3	slack 1
slack 1	0	0	0	1
slack 2	0	0	0	0
X1	1	0	0	0
slack 4	0	0	0	0
slack 5	0	0	0	0
slack 7	0	0	0	0
X2	0	1	0	0
X3	0	0	1	0
zj	781.233	2.619.715	15.546.660	0
cj-zj	0	0	0	0

Cj-->	0	0	0	0	0
Basic	slack 3	slack 4	slack 5	slack 6	slack 7
slack 1	-0,3815	0	0	-0,0023	0
slack 2	-0,2023	0	0	-0,0012	0
X1	0	0	0	1,0	0
slack 4	-0,3468	1	0	-0,0021	0
slack 5	-0,578	0	1	-0,1335	0
slack 7	-0,578	0	0	0,1965	1
X2	0,578	0	0	-0,1965	0
X3	0	0	0	0	0
zj	1.514.286125	0	0	266.375,7188	0
cj-zj	-1.514.28608	0	0	-266.3757267	0

Cj-->	0	
Basic	slack 8	Quantity
slack 1	0,0038	2.519,4936
slack 2	0,002	1.967,9133
X1	0	3.600,0
slack 4	1,6435	2.836,9942
slack 5	2,0058	1.940,3236
slack 7	4,0058	308,3237
X2	-4,0058	171,6763
X3	1	300
zj	5.052.657,5	7.926.179.848,5464
cj-zj	-5.052.65771	



Iteration 3

Cj-->	781233	2619715	1.554666E+07	0	0
Basic	X1	X2	X3	slack 1	slack 2
slack 1	0,132	0	0	1	0
slack 2	0,07	0	0	0	1
slack 3	0,34	0	0	0	0
slack 4	0,12	0	0	0	0
slack 5	0,33	0	0	0	0
slack 6	1	0	0	0	0
X2	0	1	0	0	0
X3	0	0	1	0	0
zj	0	2.619.715	15.546.660	0	0
cj-zj	781.233	0	0	0	0

Cj-->	0	0	0	0	0
Basic	slack 3	slack 4	slack 5	slack 6	slack 7
slack 1	0	0	0	0	-0,66
slack 2	0	0	0	0	-0,35
slack 3	1	0	0	0	-1,73
slack 4	0	1	0	0	-0,6
slack 5	0	0	1	0	-1
slack 6	0	0	0	1	0
X2	0	0	0	0	1
X3	0	0	0	0	0
zj	0	0	0	0	2.619.715
cj-zj	0	0	0	0	-2.619.715

Cj-->	0	Quantity
Basic	slack 8	
slack 1	-2,64	2.791,2
slack 2	-1,4	2.112,0
slack 3	-6,93	690,6
slack 4	-0,76	3.084,0
slack 5	-2	2.820
slack 6	0	3.600
X2	0	480
X3	1	300
zj	15.546.660	5.921.461.200
cj-zj	-15.546.660	

Iteration 4

Cj-->	781233	2619715	1.554666E+07	0	0
Basic	X1	X2	X3	slack 1	slack 2
slack 1	0	0	0	1	0
slack 2	0	0	0	0	1
X1	1	0	0	0	0
slack 4	0	0	0	0	0
slack 5	0	0	0	0	0
slack 6	0	0	0	0	0
X2	0	1	0	0	0
X3	0	0	1	0	0
zj	781.233	2.619.715	15.546.660	0	0
cj-zj	0	0	0	0	0

Cj-->	0	0	0	0	0
Basic	slack 3	slack 4	slack 5	slack 6	slack 7
slack 1	-0,3882	0	0	0	0,0116
slack 2	-0,2059	0	0	0	0,0062
X1	2,9412	0	0	0	-5,0882
slack 4	-0,3529	1	0	0	0,0106
slack 5	-0,9706	0	1	0	0,6791
slack 6	-2,9412	0	0	1	5,0882
X2	0	0	0	0	1
X3	0	0	0	0	0
zi	2.297.744	0	0	0	-1.355.382,375

Module/submodule: Linear Programming  
 Problem title: cift\_kisit  
 Objective: Maximize

**Results -----**

	X1	X2	X3		RHS
Maximize	781.233	2.607.715	15.524.660		
Constraint 1	0,132	0,66	2,64	<=	3.900
Constraint 2	0,07	0,35	1,4	<=	2.700
Constraint 3	0,34	1,73	6,93	<=	3.600
Constraint 4	0,12	0,6	0,76	<=	3.600
Constraint 5	0,66	2	4	<=	3.900
Constraint 6	1	0	0	<=	3.600
Constraint 7	0	1	0	<=	480
Constraint 8	0	0	1	<=	300
<b>Solution</b>	<b>3.527,5005</b>	<b>185,9248</b>	<b>300</b>		<b>7.898.036.736</b>

**Dual**

-----  
 Maximize  
 Constraint 1  
 Constraint 2  
 Constraint 3  
 Constraint 4  
 Constraint 5  
 Constraint 6  
 Constraint 7  
 Constraint 8  
 -----  
 Solution

The optimal solution value is = 7.898037E+09

**Ranging -----**

Variable	Value	Reduced Cost	Original Value	Lower Bound	Upper Bound
X1	3.527,5005	0	781.233	512.498,875	860.546
X2	185,9248	0	2.607.715	2.367.37275	3.917.806
X3	300	0	15.524.660	6.407.357	Infinity
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Value	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	2.519,6597	3.900	1.380,3403	Infinity
Constraint 2	0	1.968,0012	2.700	731,9987	Infinity
Constraint 3	343.4948438	0	3.600	3.583,26	3.805,7637
Constraint 4	0	2.837,145	3.600	762,855	Infinity
Constraint 5	1.006.73443	0	3.900	3.500,5767	3.919,3528
Constraint 6	0	72,4995	3.600	3.527,5005	Infinity
Constraint 7	0	294,0753	480	185,9248	Infinity
Constraint 8	9.117.303	0	300	257,7435	304,8242

**Solution list -----**

Variable	Status	Value
X1	Basic	3.527,5005
X2	Basic	185,9248
X3	Basic	300
slack 1	Basic	2.519,6597
slack 2	Basic	1.968,0013
slack 3	NONBasic	0

slack 4	Basic	2.837,145
slack 5	NONBasic	0
slack 6	Basic	72,4994
slack 7	Basic	294,0752
slack 8	NONBasic	0
Z	Optimal	7.898.036.736

Iterations -----

Iteration 1

Cj-->	781233	2607715	1.552466E+07	0
Basic	X1	X2	X3	slack 1
slack 1	0,132	0,66	2,64	1
slack 2	0,07	0,35	1,4	0
slack 3	0,34	1,73	6,93	0
slack 4	0,12	0,6	0,76	0
slack 5	0,66	2	4	0
slack 6	1	0	0	0
slack 7	0	1	0	0
slack 8	0	0	1	0
zj	0	0	0	0
cj-zj	781.233	2.607.715	15.524.660	0

Cj-->	0	0	0	0
Basic	slack 2	slack 3	slack 4	slack 5
slack 1	0	0	0	0
slack 2	1	0	0	0
slack 3	0	1	0	0
slack 4	0	0	1	0
slack 5	0	0	0	1
slack 6	0	0	0	0
slack 7	0	0	0	0
slack 8	0	0	0	0
zj	0	0	0	0
cj-zj	0	0	0	0

Cj-->	0	0	0	Quantity
Basic	slack 6	slack 7	slack 8	
slack 1	0	0	0	3.900
slack 2	0	0	0	2.700
slack 3	0	0	0	3.600
slack 4	0	0	0	3.600
slack 5	0	0	0	3.900
slack 6	1	0	0	3.600
slack 7	0	1	0	480
slack 8	0	0	1	300
zj	0	0	0	0
cj-zj	0	0	0	

Iteration 2

Cj-->	781233	2607715	1.552466E+07	0
Basic	X1	X2	X3	slack 1
slack 1	0,132	0,66	0	1
slack 2	0,07	0,35	0	0
slack 3	0,34	1,73	0	0
slack 4	0,12	0,6	0	0
slack 5	0,66	2	0	0
slack 6	1	0	0	0
slack 7	0	1	0	0
X3	0	0	1	0

zj	0	0	15.524.660	0
cj-zj	781.233	2.607.715	0	0

Cj-->	0	0	0	0
Basic	slack 2	slack 3	slack 4	slack 5
slack 1	0	0	0	0
slack 2	1	0	0	0
slack 3	0	1	0	0
slack 4	0	0	1	0
slack 5	0	0	0	1
slack 6	0	0	0	0
slack 7	0	0	0	0
X3	0	0	0	0
zj	0	0	0	0
cj-zj	0	0	0	0

Cj-->	0	0	0	
Basic	slack 6	slack 7	slack 8	Quantity
slack 1	0	0	-2,64	3.108,0
slack 2	0	0	-1,4	2.280,0
slack 3	0	0	-6,93	1.521,0001
slack 4	0	0	-0,76	3.372,0
slack 5	0	0	-4	2.700
slack 6	1	0	0	3.600
slack 7	0	1	0	480
X3	0	0	1	300
zj	0	0	15.524.660	4.657.398.000
cj-zj	0	0	-15.524.660	

Iteration 3

Cj-->	781233	2607715	1.552466E+07	0
Basic	X1	X2	X3	slack 1
slack 1	0,132	0	0	1
slack 2	0,07	0	0	0
slack 3	0,34	0	0	0
slack 4	0,12	0	0	0
slack 5	0,66	0	0	0
slack 6	1	0	0	0
X2	0	1	0	0
X3	0	0	1	0
zj	0	2.607.715	15.524.660	0
cj-zj	781.233	0	0	0

Cj-->	0	0	0	0
Basic	slack 2	slack 3	slack 4	slack 5
slack 1	0	0	0	0
slack 2	1	0	0	0
slack 3	0	1	0	0
slack 4	0	0	1	0
slack 5	0	0	0	1
slack 6	0	0	0	0
X2	0	0	0	0
X3	0	0	0	0
zj	0	0	0	0
cj-zj	0	0	0	0

Cj-->	0	0	0	
Basic	slack 6	slack 7	slack 8	Quantity

slack 1	0	-0,66	-2,64	2.791,2
slack 2	0	-0,35	-1,4	2.112,0
slack 3	0	-1,73	-6,93	690,6
slack 4	0	-0,6	-0,76	3.084,0
slack 5	0	-2	-4	1.740
slack 6	1	0	0	3.600
X2	0	1	0	480
X3	0	0	1	300
zj	0	2.607.715	15.524.660	5.909.101.200
cj-zj	0	-2.607.715	-15.524.660	

Iteration 4

Cj-->	781233	2607715	1.552466E+07	0
Basic	X1	X2	X3	slack 1
-----	-----	-----	-----	-----
slack 1	0	0	0	1
slack 2	0	0	0	0
X1	1	0	0	0
slack 4	0	0	0	0
slack 5	0	0	0	0
slack 6	0	0	0	0
X2	0	1	0	0
X3	0	0	1	0
zj	781.233	2.607.715	15.524.660	0
cj-zj	0	0	0	0

Cj-->	0	0	0	0
Basic	slack 2	slack 3	slack 4	slack 5
-----	-----	-----	-----	-----
slack 1	0	-0,3882	0	0
slack 2	1	-0,2059	0	0
X1	0	2,9412	0	0
slack 4	0	-0,3529	1	0
slack 5	0	-1,9412	0	1
slack 6	0	-2,9412	0	0
X2	0	0	0	0
X3	0	0	0	0
zj	0	2.297.744	0	0
cj-zj	0	-2.297.74409	0	0

Cj-->	0	0	0	
Basic	slack 6	slack 7	slack 8	Quantity
-----	-----	-----	-----	-----
slack 1	0	0,0116	0,0505	2.523,0846
slack 2	0	0,0062	0,0268	1.969,8176
X1	0	-5,0882	-20,3824	2.031,1766
slack 4	0	0,0106	1,6859	2.840,2588
slack 5	0	1,3582	9,4524	399,4234
slack 6	1	5,0882	20,3824	1.568,8234
X2	0	1	0	480
X3	0	0	1	300
zj	0	-1.367.38237	-398.7061875	7.495.923.368,2498
cj-zj	0	1.367.382325	398.706,1734	

Iteration 5

Cj-->	781233	2607715	1.552466E+07	0
Basic	X1	X2	X3	slack 1
-----	-----	-----	-----	-----
slack 1	0	0	0	1
slack 2	0	0	0	0
X1	1	0	0	0
slack 4	0	0	0	0
slack 7	0	0	0	0

slack 6	0	0	0	0
X2	0	1	0	0
X3	0	0	1	0
zj	781.233	2.607.715	15.524.660	0
cj-zj	0	0	0	0

Cj-->	0	0	0	0
Basic	slack 2	slack 3	slack 4	slack 5
slack 1	0	-0,3716	0	-0,0086
slack 2	1	-0,1971	0	-0,0045
X1	0	-4,3309	0	3,7462
slack 4	0	-0,3378	1	-0,0078
slack 7	0	-1,4292	0	0,7362
slack 6	0	4,3309	0	-3,7462
X2	0	1,4292	0	-0,7362
X3	0	0	0	0
zj	0	343.494,8438	0	1.006.734,4375
cj-zj	0	-343.4948426	0	-1.006.734,4332

Cj-->	0	0	0	Quantity
Basic	slack 6	slack 7	slack 8	
slack 1	0	0	-0,0306	2.519,6595
slack 2	0	0	-0,0162	1.968,0013
X1	0	0	15,0281	3.527,5006
slack 4	0	0	1,6122	2.837,1451
slack 7	0	1	6,9593	294,0752
slack 6	1	0	-15,0281	72,4994
X2	0	0	-6,9593	185,9248
X3	0	0	1	300
zj	0	0	9.117.303	7.898.036.666,5479
cj-zj	0	0	-9.117.30306	

Module/submodule: Linear Programming  
 Problem title: cift\_kisit  
 Objective: Maximize

**Results -----**

	X1	X2	X3		RHS
Maximize	781.233	2.607.715	15.524.660		
Constraint 1	0,132	0,66	2,64	<=	3.900
Constraint 2	0,35	1,2	4,5	<=	2.700
Constraint 3	0,34	1,73	6,93	<=	3.600
Constraint 4	0,12	0,6	0,76	<=	3.600
Constraint 5	0,66	2	4	<=	3.900
Constraint 6	1	0	0	<=	3.600
Constraint 7	0	1	0	<=	480
Constraint 8	0	0	1	<=	300
<b>Solution</b>	<b>3.600</b>	<b>75,0</b>	<b>300</b>		<b>7.665.415.680</b>

**Dual**

Maximize	
Constraint 1	0
Constraint 2	2.173.095,75
Constraint 3	0
Constraint 4	0
Constraint 5	0
Constraint 6	20.649,5156
Constraint 7	0
Constraint 8	5.745.729,5

Solution

The optimal solution value is = 7.665416E+09

**Ranging -----**

Variable	Value	Reduced Cost	Original Value	Lower Bound	Upper Bound
X1	3.600	0	781.233	760.583,5	Infinity
X2	75,0	0	2.607.715	-0,25	2.678.5132
X3	300	0	15.524.660	9.778.930	Infinity

Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Value	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	2.583,2998	3.900	1.316,7	Infinity
Constraint 2	2.173.09575	0	2.700	2.610	2.804,3999
Constraint 3	0	167,25	3.600	3.432,75	Infinity
Constraint 4	0	2.895	3.600	705	Infinity
Constraint 5	0	174	3.900	3.726,0002	Infinity
Constraint 6	20.649,5156	0	3.600	2.583,7974	3.857,1431
Constraint 7	0	405,0	480	75,0	Infinity
Constraint 8	5.745.729,5	0	300	250,2858	320

**Solution list -----**

Variable	Status	Value
X1	Basic	3.600
X2	Basic	75,0
X3	Basic	300
slack 1	Basic	2.583,3
slack 2	NONBasic	0
slack 3	Basic	167,25

slack 4	Basic	2.895
slack 5	Basic	173,9999
slack 6	NONBasic	0
slack 7	Basic	405,0
slack 8	NONBasic	0
Z	Optimal	7.665.415.680

Iterations -----

Iteration 1

Cj-->	781233	2607715	1.552466E+07	0
Basic	X1	X2	X3	slack 1
slack 1	0,132	0,66	2,64	1
slack 2	0,35	1,2	4,5	0
slack 3	0,34	1,73	6,93	0
slack 4	0,12	0,6	0,76	0
slack 5	0,66	2	4	0
slack 6	1	0	0	0
slack 7	0	1	0	0
slack 8	0	0	1	0
zj	0	0	0	0
cj-zj	781.233	2.607.715	15.524.660	0

Cj-->	0	0	0	0
Basic	slack 2	slack 3	slack 4	slack 5
slack 1	0	0	0	0
slack 2	1	0	0	0
slack 3	0	1	0	0
slack 4	0	0	1	0
slack 5	0	0	0	1
slack 6	0	0	0	0
slack 7	0	0	0	0
slack 8	0	0	0	0
zj	0	0	0	0
cj-zj	0	0	0	0

Cj-->	0	0	0	
Basic	slack 6	slack 7	slack 8	Quantity
slack 1	0	0	0	3.900
slack 2	0	0	0	2.700
slack 3	0	0	0	3.600
slack 4	0	0	0	3.600
slack 5	0	0	0	3.900
slack 6	1	0	0	3.600
slack 7	0	1	0	480
slack 8	0	0	1	300
zj	0	0	0	0
cj-zj	0	0	0	0

Iteration 2

Cj-->	781233	2607715	1.552466E+07	0
Basic	X1	X2	X3	slack 1
slack 1	0,132	0,66	0	1
slack 2	0,35	1,2	0	0
slack 3	0,34	1,73	0	0
slack 4	0,12	0,6	0	0
slack 5	0,66	2	0	0
slack 6	1	0	0	0
slack 7	0	1	0	0
X3	0	0	1	0



zj	0	0	15.524.660	0
cj-zj	781.233	2.607.715	0	0

Cj-->	0	0	0	0
Basic	slack 2	slack 3	slack 4	slack 5
slack 1	0	0	0	0
slack 2	1	0	0	0
slack 3	0	1	0	0
slack 4	0	0	1	0
slack 5	0	0	0	1
slack 6	0	0	0	0
slack 7	0	0	0	0
X3	0	0	0	0
zj	0	0	0	0
cj-zj	0	0	0	0

Cj-->	0	0	0	
Basic	slack 6	slack 7	slack 8	Quantity
slack 1	0	0	-2,64	3.108,0
slack 2	0	0	-4,5	1.350
slack 3	0	0	-6,93	1.521,0001
slack 4	0	0	-0,76	3.372,0
slack 5	0	0	-4	2.700
slack 6	1	0	0	3.600
slack 7	0	1	0	480
X3	0	0	1	300
zj	0	0	15.524.660	4.657.398.000
cj-zj	0	0	-15.524.660	

Iteration 3

Cj-->	781233	2607715	1.552466E+07	0
Basic	X1	X2	X3	slack 1
slack 1	0,132	0	0	1
slack 2	0,35	0	0	0
slack 3	0,34	0	0	0
slack 4	0,12	0	0	0
slack 5	0,66	0	0	0
slack 6	1	0	0	0
X2	0	1	0	0
X3	0	0	1	0
zj	0	2.607.715	15.524.660	0
cj-zj	781.233	0	0	0

Cj-->	0	0	0	0
Basic	slack 2	slack 3	slack 4	slack 5
slack 1	0	0	0	0
slack 2	1	0	0	0
slack 3	0	1	0	0
slack 4	0	0	1	0
slack 5	0	0	0	1
slack 6	0	0	0	0
X2	0	0	0	0
X3	0	0	0	0
zj	0	0	0	0
cj-zj	0	0	0	0

Cj-->	0	0	0	
Basic	slack 6	slack 7	slack 8	Quantity

slack 1	0	-0,66	-2,64	2.791,2
slack 2	0	-1,2	-4,5	774,0
slack 3	0	-1,73	-6,93	690,6
slack 4	0	-0,6	-0,76	3.084,0
slack 5	0	-2	-4	1.740
slack 6	1	0	0	3.600
X2	0	1	0	480
X3	0	0	1	300
zj	0	2.607.715	15.524.660	5.909.101.200
cj-zj	0	-2.607.715	-15.524.660	

Iteration 4

Cj-->	781233	2607715	1.552466E+07 0	
Basic	X1	X2	X3	slack 1
slack 1	0	0	0	1
slack 2	0	0	0	0
X1	1	0	0	0
slack 4	0	0	0	0
slack 5	0	0	0	0
slack 6	0	0	0	0
X2	0	1	0	0
X3	0	0	1	0
zj	781.233	2.607.715	15.524.660	0
cj-zj	0	0	0	0

Cj-->	0	0	0	0
Basic	slack 2	slack 3	slack 4	slack 5
slack 1	0	-0,3882	0	0
slack 2	1	-1,0294	0	0
X1	0	2,9412	0	0
slack 4	0	-0,3529	1	0
slack 5	0	-1,9412	0	1
slack 6	0	-2,9412	0	0
X2	0	0	0	0
X3	0	0	0	0
zj	0	2.297.744	0	0
cj-zj	0	-2.297.74409	0	0

Cj-->	0	0	0	
Basic	slack 6	slack 7	slack 8	Quantity
slack 1	0	0,0116	0,0505	2.523,0846
slack 2	0	0,5809	2,6338	63,0882
X1	0	-5,0882	-20,3824	2.031,1766
slack 4	0	0,0106	1,6859	2.840,2588
slack 5	0	1,3582	9,4524	399,4234
slack 6	1	5,0882	20,3824	1.568,8234
X2	0	1	0	480
X3	0	0	1	300
zj	0	-1.367.38237	-398.7061875	7.495.923.368,2498
cj-zj	0	1.367.382325	398.706,1734	

Iteration 5

Cj-->	781233	2607715	1.552466E+07 0	
Basic	X1	X2	X3	slack 1
slack 1	0	0	0	1
slack 7	0	0	0	0
X1	1	0	0	0
slack 4	0	0	0	0
slack 5	0	0	0	0

slack 6	0	0	0	0
X2	0	1	0	0
X3	0	0	1	0
zj	781.233	2.607.715	15.524.660	0
cj-zj	0	0	0	0

Cj-->	0	0	0	0
Basic	slack 2	slack 3	slack 4	slack 5
-----				
slack 1	-0,0201	-0,3676	0	0
slack 7	1,7215	-1,7722	0	0
X1	8,7595	-6,076	0	0
slack 4	-0,0182	-0,3342	1	0
slack 5	-2,3382	0,4658	0	1
slack 6	-8,7595	6,076	0	0
X2	-1,7215	1,7722	0	0
X3	0	0	0	0
zj	2.353.975	-125.4654297	0	0
cj-zj	-2.353.97503	125.465,4336	0	0

Cj-->	0	0	0	
Basic	slack 6	slack 7	slack 8	Quantity
-----				
slack 1	0	0	-0,0023	2.521,8197
slack 7	0	1	4,5342	108,6075
X1	0	0	2,6886	2.583,7972
slack 4	0	0	1,6379	2.839,1088
slack 5	0	0	3,2939	251,9088
slack 6	1	0	-2,6886	1.016,2028
X2	0	0	-4,5342	371,3925
X3	0	0	1	300
zj	0	0	5.801.248	7.644.431.388,6881
cj-zj	0	0	-5.801.24778	

Iteration 6

Cj-->	781233	2607715	1.552466E+07	0
Basic	X1	X2	X3	slack 1
-----				
slack 1	0	0	0	1
slack 7	0	0	0	0
X1	1	0	0	0
slack 4	0	0	0	0
slack 5	0	0	0	0
slack 3	0	0	0	0
X2	0	1	0	0
X3	0	0	1	0
zj	781.233	2.607.715	15.524.660	0
cj-zj	0	0	0	0

Cj-->	0	0	0	0
Basic	slack 2	slack 3	slack 4	slack 5
-----				
slack 1	-0,55	0	0	0
slack 7	-0,8333	0	0	0
X1	0	0	0	0
slack 4	-0,5	0	1	0
slack 5	-1,6667	0	0	1
slack 3	-1,4417	1	0	0
X2	0,8333	0	0	0
X3	0	0	0	0
zj	2.173.095,75	0	0	0
cj-zj	-2.173.09571	0	0	0

Cj-->	0	0	0	
Basic	slack 6	slack 7	slack 8	Quantity
slack 1	0,0605	0	-0,165	2.583,3
slack 7	0,2917	1	3,75	405,0
X1	1,0	0	0	3.600,0
slack 4	0,055	0	1,49	2.895,0
slack 5	-0,0767	0	3,5	173,9999
slack 3	0,1646	0	-0,4425	167,25
X2	-0,2917	0	-3,75	75,0
X3	0	0	1	300
zj	20.649,5156	0	5.745.729,5	7.665.415.482,5532
cj-zj	-20.649,5148	0	-5.745.72931	