

**KISITLAR TEORİSİ İLE
SENKRONİZE ÜRETİM SİSTEMİ VE
BİR UYGULAMA**

Zühal KARTAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2006

**SYNCHRONOUS MANUFACTURING SYSTEM USING THEORY OF
CONSTRAINTS AND AN APPLICATION**

Zühal KARTAL

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

June 2006

**KISITLAR TEORİSİ İLE
SENKRONİZE ÜRETİM SİSTEMİ VE
BİR UYGULAMA**

Zühal KARTAL

**Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Servet HASGÜL

Haziran 2006

Zühal KARTAL'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “**Kısıtlar Teorisi ile Senkronize Üretim Sistemi ve Bir Uygulama**” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : **Yard.Doç.Dr. Servet HASGÜL**

Üye : **Prof. Dr. Nihat YÜZGÜLLÜ**

Üye : **Yard. Doç. Dr. Nuray GİRGİNER**

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	ix
ABSTRACT	x
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1 GİRİŞ	1
2 KISITLAR TEORİSİ	3
2.1 Kısıtlar Teorisi ve Yapılan Çalışmalar	6
2.2 Kısıtlar Teorisinde Karşılaşılan Kısıt Türleri	11
2.2.1 Davranışsal Kısıtlar	11
2.2.2 Yönetimsel Kısıtlar	12
2.2.3 Kapasite Kısıtları	12
2.2.4 Pazar Kısıtları	13
2.2.5 Lojistik Kısıtları	13
2.2.6 Zorunlu Durumlar	13
2.2.7 Maliyet Yaklaşımı	14
2.3 Kısıtlar Teorisinin İlkeleri	14
2.4 Kısıtlar Teorisi ve Lojistik	16
2.4.1 Beş Adımlı Odaklanma Süreci	17
2.4.1.1 Birinci aşama: Sistem Kısıtlarının Tespit Edilmesi	17
2.4.1.2 İkinci aşama: Kısıtların Nasıl Düzeltileceğine Karar Verilmesi	19
2.4.1.3 Üçüncü aşama: İlgili Her şeyin İkinci Aşamanın Uygulanması İçin Seferber Edilmesi	20
2.4.1.4 Dördüncü aşama: Kısıtların Ortadan Kaldırılması	21
2.4.1.5 Beşinci aşama: Kısıtlar Kaldırıldığında İlk Aşamaya Geri Dönülmesi	21
2.4.1.6 Beş Adımlı Odaklanma Sürecinin Uygulanışı	22

2.4.2	Üretim Süreçlerinin Yerleşim Tiplerine Göre Sınıflandırılması (VAT Analizi).....	24
2.4.2.1	I Tesislerinin Karakteristikleri.....	25
2.4.2.2	V Tesislerinin Karakteristiği	26
2.4.2.3	A Tesislerinin Karakteristikleri	28
2.4.2.4	T Tesislerinin Karakteristikleri.....	29
2.4.2.5	V Tesislerinde Tamponların Stratejik Olarak Yerleştirilmesi.....	31
2.4.2.6	A Tipi Tesislerde Tamponların Stratejik Olarak Yerleştirilmesi.....	33
2.4.2.7	T Tipi Tesislerde Tamponların Stratejik Olarak Yerleştirilmesi.....	34
2.4.2.8	Kombinasyon Tesislerde Tamponların Stratejik Olarak Yerleştirilmesi.....	35
2.5	Kısıtlar Teorisi ve Performans Ölçütleri.....	36
2.5.1	Finansal Ölçüler.....	37
2.5.1.1	Net Kar	37
2.5.1.2	Nakit Akışları	38
2.5.2	Faaliyet Ölçütleri	38
2.5.2.1	Süreç	39
2.5.2.2	Stoklar.....	39
2.5.2.3	Faaliyet Giderleri.....	39
2.5.3	Ürün Karması.....	41
2.6	Kısıtlar Teorisi ve Problem Çözme - Düşünce Süreçleri.....	42
2.6.1	Mevcut Gerçeklik Ağacı (MGA).....	44
2.6.2	Buharlaşan Bulut.....	44
2.6.3	Gelecek Gerçeklik Ağacı (GGA).....	45
2.6.4	Ön Şart Ağacı.....	45
2.6.5	Geçiş Ağacı.....	46
2.6.6	Mantıksal Şüphe Kategorileri	46
3	SENKRONİZE ÜRETİM VE TRAMPET-TAMPON-KORDON ÇİZELGELEME SİSTEMİ.....	47

3.1	Senkronize Üretim	47
3.1.1	Senkronize Üretimde Üretim/Transfer Parti Büyüklüğü Politikaları.....	47
3.1.2	Senkronize Üretim Sisteminin Dayandığı Temel İlkeler.....	52
3.1.3	Senkronize Üretim ve Optimize Üretim Teknolojisi.....	56
3.1.4	Senkronize Üretimde Beş Aşamalı Programlama Süreci	59
3.2	Tramper-Tampon-Kordon Çizelgeleme Sistemi.....	60
3.2.1	Tramper	62
3.2.2	Tampon	63
3.2.3	Kordon	63
3.2.4	Tramper-Tampon-Kordon Sistemlerinde Çizelgelemenin Dört Adımda Uygulanması	64
3.3	Tramper-Tampon-Kordon Sistemlerinde Tamponlar Ve Tampon Yönetimi	66
3.3.1	Tamponların Stratejik Rolü	69
3.3.2	Tampon Yönetimi	70
3.4	Senkronize Üretim-OÜT, Tam Zamanında Üretim ve Malzeme İhtiyaç Planlaması Sistemlerinin Karşılaştırılması	72
4	TRAMPET-TAMPON-KORDON ÇİZELGELEME SİSTEMİNİN BİR ÜRETİM İŞLETMESİNDE UYGULANMASI.....	80
4.1	İşletmenin Tanıtımı.....	80
4.2	Mevcut Durumda Ekstrüder Makinalarının Programlanması.....	83
4.3	İşletmede Mevcut Durumda Karşılaşılan Problemler.....	84
4.4	Kısıtlar Teorisi Kapsamında Sürecin İncelenmesi.....	87
4.4.1	Bir Üretim Sisteminde Fiziksel Kısıtların Yerinin Belirlenmesi.....	87
4.4.2	Zaman Tamponu Miktarının Belirlenmesi	89
4.4.3	Tramper (Çizelgeleme)	89
4.4.4	Malzeme Bırakma Çizelgesinin Planlanması (Kordon)	90
4.5	Benzetim tekniği, Arena Benzetim Yazılımı ve Sistemin Benzetimi.....	96
4.5.1	Arena Modelinin Yapısı.....	97
4.5.2	Modelden Elde Edilen Sonuçlar	101
4.5.3	Modelin Sisteme Uygunluğunun Test Edilmesi	103
5	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	105

KAYNAKLAR DİZİNİ.....	108
EKLER.....	116

ÖZET

Kısıtlar teorisi her sistemde, o sistemin performansını etkileyen en az bir kısıtın olduğunu ve sistemdeki darboğazların bu kısıttan kaynaklandığını savunan bir yönetim felsefesidir. Teorinin genel ilkeleri hem imalat hem de hizmet sistemlerinin performansını geliştirmek için başarılı bir şekilde uygulanabilir. Kısıtlar teorisinin üretim işletmelerinde uygulanması halinde, senkronize üretim olarak isimlendirildiği görülmüştür. Senkronize üretim sistemleri, “trampet, tampon, kordon” olarak adlandırılan bir çizelgeleme yöntemini içerir.

Bu çalışmada bir buzdolabı fabrikasında bulunan plastik atölyesinde karşılaşılan süreç içi stok fazlalığı problemi ele alınmıştır. Problemin çözümüne yönelik olarak kısıtlı ve kısıtsız kapasite kaynakları arasında senkronize üretim sağlamak için Trampet-Tampon-Kordon çizelgeleme sistemine dayalı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yaklaşım kısıtsız makinaların malzeme bırakma çizelgesi için sonlu yükleme felsefesi ile Wagner-Whitin algoritmasının bütünleştirilmesi sonucunda geliştirilen bir metoda dayanmaktadır. Geliştirilen çizelgeleme yaklaşımının uygunluğunun belirlenmesi amacıyla benzetim analizi kullanılmıştır. Ayrıca geliştirilen benzetim modeli aracılığıyla zaman tamponlarının belirlenmesinde deneysel bir çalışmaya yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kısıtlar Teorisi, Senkronize Üretim, Trampet-Tampon-Kordon, Benzetim

ABSTRACT

Theory of constraint (TOC) is a management philosophy that advocate that every system has at least one constraint which limits the system from achieving high level performance. General principles of TOC can be applied successfully to improve performance of manufacturing and service organizations. In the event of TOC's principles are applied in manufacturing firms, it is shown that TOC is called that synchronous manufacturing. Synchronous manufacturing systems include a scheduling method which is referred Drum-Buffer-Rope.

This study was carried out in a plastic workshop of a fridge factory to solve problems of excessive work in process. In order to provide synchronous manufacturing between capacity constrained resources and non-capacity constraint resources, an approach was developed based on the Drum-Buffer-Rope scheduling system, which was intended for solving problems such as this. The approach was based on a method that integrates Wagner-Whitin's algorithm and finite loading philosophy to determine non-capacity constraint resource machine's material release schedule. A simulation was used to analyse whether an improved scheduling approach was appropriate or not. An experimental study was also conducted to determine the time buffers, by means of the developing simulation model.

Key Words: Theory of Constraints, Synchronous Production, Drum-Buffer-Rope, Simulation

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Servet Hasgöl'e, Arçelik Plastik Fabrikası Takım Lideri Sayın Fatih Tümer'e ve Nemci Süloğlu'na en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca her zaman yanımda olan ve sürekli bana destek olduğunu hissettiren aileme çok teşekkürler.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2-1 Goldratt'ın Zincir Gösterimi	5
Şekil 2-2 Beş Adımlı Odaklanma Süreci Adımları	23
Şekil 2-3 Birleşme, Montaj Ayrılma ve Montaj Birleşme Noktaları.....	25
Şekil 2-4 Tipik Bir I Tesis Karakteristiği	26
Şekil 2-5 Tipik bir V Tesisinin Ürün Akışı	27
Şekil 2-6 Tipik Bir A Tesis Ürün Akışı.....	30
Şekil 2-7 Tipik Bir T Tesis Ürün Akışı	31
Şekil 2-8 V Tesislerinde Envanter ve Zaman Tamponlarının Yerleşimi.....	32
Şekil 2-9 A Tesiste Envanter ve Zaman Tamponlarının Tipik Olarak Yerleştirilmesi	34
Şekil 2-10T Tipi Tesislerde Envanter ve Zaman Tamponlarının Tipik Olarak Yerleştirilmesi	36
Şekil 2-11 Performans Ölçütleri Üzerinde Rekabetçi Üstünlük.....	41
Şekil 3-1 Hiçbir Parti Bölünmesi Olmadan İşleme Zamanlarının Gösterimi.....	48
Şekil 3-2 Eşit Alt Partilerle Parti Bölmenin Gösterimi.....	49
Şekil 3-3 Eşit Alt Partilerle Makina Zamanları Ters Çevrildiğinde Parti Bölmenin Gösterimi	50
Şekil 3-4 En İyi Alt Parti Büyüklükleriyle Parti Bölme	51
Şekil 3-5 Alt Parti Sayısını Arttırmanın Yararları	52
Şekil 3-6Üretim Hattında Kapasiteyi Kısıtlayıcı Kaynak Olması Durumunda Senkronize Üretimin TTK Mekanizması.....	61
Şekil 3-7 Basit Bir Üretim Sisteminde Zaman Tamponları.....	68
Şekil 3-8 Kısıta Yakın Kaynaklar	71
Şekil 4-1Ekstrüder-Termoform Süreci Akış Şeması	83
Şekil 4-2 Süreç İçi Stok Miktarı (Gün).....	85
Şekil 4-3 Üretim Çevrim Süreleri.....	86
Şekil 4-4 Kapasite Dengesi.....	88
Şekil 4-5 Darboğazlı Üretim Hattı TTK Mekanizması	88
Şekil 4-6 H Parametre Giriş Ekranı	92
Şekil 4-7 Sonlu Yükleme Algoritması Akış Şeması.....	93

Şekil 4-8 Önerilen Levha Çizelgesi Sisteminin Akış Şeması.....	94
Şekil 4-9 Raf Stokları Başlangıç Değerleri.....	98
Şekil 4-10 Levha Üretim Süreci Modellenmesi	99
Şekil 4-11 Ekstrüder Üretim Sürecinin Modellenmesi.....	99
Şekil 4-12 Levha Modellerinin Bekleme Süreci.....	100
Şekil 4-13 Termoform Üretim Süreci	101
Şekil 4-14 Modellerin Sistemde Geçirdikleri Ortalama Süre	102
Şekil 4-15 Üretim Çevrim Süreleri Karşılaştırılması	102
Şekil 4-16 Model Temelinde Süreç İçi Stok Miktarları (Gün).....	103

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2-1 Geleneksel Net Kar ve Süreç Muhasebe Sistemlerinin Karşılaştırılması	37
Tablo 2-2 Düşünce Süreçlerinde Kullanılan Yöntemler.....	44
Tablo 4-1 Üretim Çevrim Süreleri.....	86
Tablo 4-2 Günlük İş Emirleri.....	95

1 GİRİŞ

Bir zincir en zayıf halkası kadar sağlamdır. Firmalar için de durum buna benzemektedir. Sistemde bir noktada ortaya çıkan kısıt tüm sistemin etkinliğini bozacak bu da firmanın kârlılığını olumsuz etkileyecektir. Bu yüzden firma yönetiminin, sistemde ortaya çıkan kısıtların belirlenip giderilmesine çalışması gerekmektedir. Kısıtların belirlenip giderilmesi ile firmaların üretim süreci daha akıcı hale gelecek, kısıtlardan dolayı ortaya çıkan aşırı yarı mamul stokları azalacak dolayısıyla bu stoklar için katlanılan maliyetler azalacaktır. Bunların sonucu olarak da ürün kalitesi, firma kârlılığı ve verimliliği artacak, bu da firmaların rekabet ortamında müşteri ihtiyaçlarını kaliteli ürünlerle daha çabuk karşılamasıyla rekabet avantajını arttıracaktır.

Üretim sürecinde ortaya çıkan kısıtların giderilmesi ile sürecin daha verimli olmasına, dolayısıyla ürün maliyetlerinin azalmasına ve kârlılığın artmasına yardımcı olabilecek yeni bir yaklaşım olan Kısıtlar Teorisi (Theory of Constraints) 1980’li yıllarda Eliyahu M. Goldratt tarafından geliştirilmiştir. Bu teorinin temel konusu, her firmanın en az bir kısıta sahip olduğu ve firmaların kârlılıklarını arttırabilmesi için tüm sistemin performans ve verimliliğini sınırlayan bu kısıtların tespit edilip ortadan kaldırılmasına yönelik düzenlemeler yapması gerektiğidir (Küçüksavaş vd., 2005).

Goldratt’a göre, hızlı gelişen süreç içinde, işletmelerdeki esas sınırlamalar, makina, işgücü, tesis, pazar gibi fiziksel kısıtlardan ziyade, politika kısıtları (kurallar; fason üretimi, fazla mesaiyi sınırlandıran politikalar; dağıtım kanallarını veya pazarları sınırlandıran politikalar; eğitim sistemi vb.) olarak ortaya çıkmıştır. Goldratt, bu düşüncesini terminolojideki değişikliğe neden olarak göstermiştir. Ona göre bu son gelişme, senkronizasyon konusunu büyük ölçüde bir kenara itmiş, diğer taraftan kısıtlayıcı politikaları ortaya çıkartan süreçlerin merkeze çekilmesi ihtiyacı doğmuştur (Umble and Shrikanth, 1995). Literatürde, kısıtlar teorisinin üretim işletmelerine uygulanması halinde, bunun “senkronize üretim” olarak adlandırıldığı görülmüştür.

Bu çalışmada, zaman içinde kendine has bir yaklaşım halini alan Kısıtlar Teorisi ve üretim işletmelerine uygulanması durumundaki “senkronize üretim” sistemi ilkeleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Kısıtlar Teorisi diğer üretim sistemlerinden farklı olarak birçok yönetime sahiptir. Bunlardan biri de işletmedeki darboğaz oluşturan ve

oluşturmayan kaynakların senkronize olarak çalışmasına dayalı çizelgeleme yaklaşımıdır. Çizelgeleme yaklaşımında önemli olan kısıtlı kaynakların etkin ve sürekli olarak çalışması için kullanılan zaman tamponlarıdır. Zaman tamponları belirlendikten sonra, ilk olarak kısıt oluşturan kaynaktan yani zaman tamponundan başlangıç işlemine doğru bir program, son olarak da kısıt oluşturan kaynaktan diğer iş merkezlerine doğru başka bir program oluşturulur ve iki çizelgeyle birlikte senkronize üretim akışı gerçekleştirilir. Sistemin uygulama kısmında buzdolabı üreten bir imalat fabrikasında darboğaz oluşturan ve oluşturmayan kaynaklar için önerilen çizelgeleme sistemleri ve uygulanabilirlikleri benzetim modeli oluşturularak ele alınmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında Kısıtlar Teorisinin ortaya çıkması ve gelişimiyle ilgili olarak incelenen çalışmaların derlendiği literatür taramasına yer verilmiştir. Ardından Kısıtlar Teorisinin ayrıntılı bir tanımına ve uygulama alanları olan Lojistik, Performans Yönetimi ve Problem Çözme Düşünce Süreçlerine ve alt dallarına yer verilmiştir.

Kısıtlar Teorisinin dallarından olan Lojistik bölümünün alt dalı olarak Trampet-Tampon-Kordon (TTK) çizelgeleme sistemleri ve senkronize üretime çalışmanın üçüncü bölümünde ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Senkronize üretim mantığı ve ilkeleri, senkronize üretimde beş aşamalı programlama süreci bu bölümde açıklanan diğer konulardır. Bu bölümde son olarak senkronize üretim sisteminin diğer üretim sistemleriyle olan benzerlikleri ve farklılıklarından bahsedilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde ise, buzdolabı üreten bir imalat atölyesinde darboğaz oluşturan kaynaktan ilk olarak hammadde girişinin yapıldığı makinalara geriye doğru bir programlama, son olarak da darboğaz oluşturan kaynaktan son ürün çıkışına doğru ileriye doğru bir program önerisi sunulmuştur. Çizelgelerde Wagner-Whitin dinamik programlama yönteminin bir sonlu yükleme algoritmasıyla geliştirilmesi sonucunda günlük üretilmesi gerekli miktarlar önerilmiştir ve bu çizelgelerin uygulanması sırasında kullanılacak en uygun zaman tamponu miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Önerilen çizelgelerin uygulanabilirliği benzetim yoluyla analiz edilmiştir.

2 KISITLAR TEORİSİ

Kısıtlar Teorisi, herhangi bir sistemdeki kısıtların sistemin başarısını belirleyici nitelik taşıdığı önermesine dayanır. Kısıt, bir sistemin sürekli olarak daha yüksek performans düzeylerine ulaşmasını engelleyen bir kaynak yetersizliği olarak tanımlanabilir. İş merkezlerindeki sınırlı kapasiteyi, esnek olmayan iş kurallarını, sınırlı yetenekleri, etkin olmayan yönetim felsefesini bir sistemdeki kısıtlara örnek olarak göstermek mümkündür. Bir tesisin üretim düzeyi üzerine sınırlama getirdiği için, kısıt oluşturan kaynaklar, sistemin çıktısını belirleyici nitelik taşırlar. Kısıt oluşturmeyen kaynaklarda atıl kapasite mevcuttur. Kısıtlar teorisi, üretim sürecinin rekabet gücünü arttırmak için, kısıtların ortaya çıkarılması, dikkatli bir şekilde yönetilmesi, uygun ürün karmasını sağlamak için bunların pazarla bağlantısının kurulması ve kısıt oluşturmeyen kaynakların programlanması konuları üzerinde durmaktadır (Evans, 1997). Bu yaklaşım sistemin çıktısını arttırmanın yanı sıra, stokların ve işlem maliyetlerinin düşürülmesini ve sistemin tepki yeteneğinin yükselmesini sağlar.

Kısıtlar teorisi, geleneksek kuralların, politika ve ölçülerin altında yatan varsayımları gözden geçirmemizi sağlayan bir yaklaşımdır. Verma'ya (1995) göre sürekli iyileştirme felsefesini desteklemekte, bunu yapmak için de üç sorunun cevabını aramaktadır. Bunlar (Üreten, 1998);

- i. **Neyi değiştirmeli?** Tüm işletmelerde yöneticilerin dikkatini gerektiren, çözüm bekleyen çeşitli sorunlar ve değerlendirilmesi gereken bir takım fırsatlar vardır. Ancak, zaman ve kaynak yetersizliği nedeniyle bu sorunların ve fırsatların hepsinin üzerine gidilmesi mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla, yönetici, performansı arttırmak için neyin değiştirilmesi gerektiğini belirlemelidir.
- ii. **Neye değiştirmeli?** En önemli sorunlar belirlendikten sonra, çözüm bulma aşamasına gelinir. Nasıl bir değişiklik yapılacağına karar verilir. Çözüm bulma yönünde bulma yönünde içten bir çaba harcanmadığı takdirde panik oluşur.

iii. Değişikliği nasıl sağlamalı? : Bu üç sorudan belki de en güç olanı, sistemde değişikliğin nasıl uygulanacağıdır. Gerekli zaman, çaba ve sermayeye ilave olarak, çalışanlardan değişikliğe karşı direnç gelebilir. Bu direncin nedeni, değişiklik nedeniyle kendilerini tehdit altında görmeleridir.

Kuşkusuz bu sorulara verilecek cevaplar süreçleri etkileyecektir, ancak, bunlar, çabaların sistemin iyileştirilmesine yöneltilmesi amacıyla tasarlanmışlardır. Süreçler de önemlidir, ancak, işletmeler bir sistem olarak başarılı ya da başarısız olmaktadır. Bu soruları sırasıyla cevaplayarak, sistemi daha ileriye gitme konusunda neyin engel oluşturduğunu, bunun için ne yapılabileceğini ve nasıl yapılması gerektiğini görmek mümkün olacaktır (Dettmer, 1997).

Kısıtlar Teorisi uygulayan işletmelerde, bir kısıt ortadan kaldırıldığında, diğer bir kısıtın ortaya çıktığı görülmüştür. Örneğin, birçok durumda, kısıtın üretimden pazarlamaya kaydığı belirlenmiştir. Ürettiği ürünleri satamayan bir işletmenin pazar kısıtı vardır. Diğer taraftan, işletmenin elindeki kaynakların, üretme yeteneğini kısıtlaması durumunda, bir kaynak kısıtı olduğundan bahsedilebilir. Müşteri siparişlerinin azalması, lojistik sınırlamalar ve malzeme yetersizliği gibi kısıtlardan söz etmek mümkündür. Ancak; kısıtların birçoğu, dünya değişirken işletmenin politikalarını koruması nedeniyle ortaya çıkan politik kısıtlardır (Gardiner, et al., 1994). Deneyimler kısıtları “politik ve fiziksel kısıtlar” olarak iki kategoriye ayırmanın kullanılabilir olduğunu vurgular.

Fiziksel kısıtlar nadir bulunan kaynaklardır; bir gündeki saatler, bir fabrikada üretim yapan tezgahların sayısı, yetenekli işgücü ve hammadde olarak karşımıza çıkabilirler. Bir manav dükkanındaki boş alan o manavın kısıtı, bir hastanedeki hemşire sayısı ya da yatak sayısı o hastanenin fiziksel kısıtı, bir fabrikanın fiziksel kısıtı ise haftanın 7 günü 24 saat çalışıp siparişleri karşılayamayan bir tezgah olabilir.

Politik kısıtlar ise, bir organizasyonda karşılaşılabilecek diğer tüm kısıtlardır. Bu kategori politikaları, davranış örneklerini, tavırları, düşünceleri, bilgi eksikliğini ve fiziksel kısıtların ötesindeki her şeyi içermektedir. Politik kısıtlar bir sisteme genel olarak fiziksel kısıtlardan daha çok zarar vermektedirler. Ayrıca politik kısıtları tanımlamak ve üstesinden gelmek de çoğu zaman daha zordur (McMullen, 1998).

Kısıtlar teorisinin iş sistemlerine bakış açısı, herhangi bir firmanın temel amacının “şimdi ve gelecekte para kazanmak” olduğunu savunur (Goldratt, 1990).

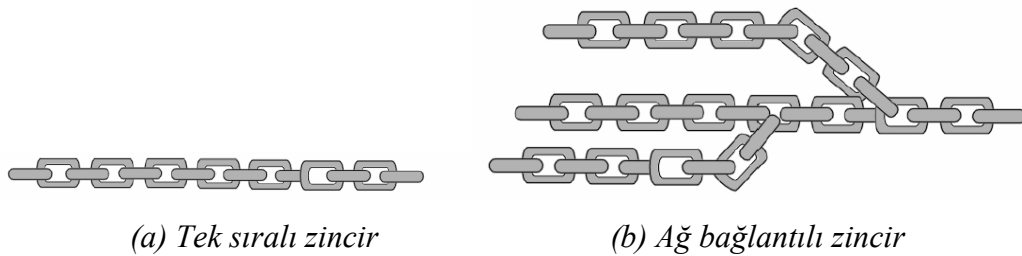
Goldratt'a (1990) göre amaç, gerekli koşulların ve araçların birbirinden ayrılması gerektirir.

Süreç iyileştirmede genel olarak kabul edilen iki varsayım vardır;

- Sistemi küçük parçalara bölerek iyileştirmek ve sonra iyileştirilmiş parçaları birleştirerek sistemin bütünü iyileştirmek mümkündür.
- Sistemin her kademesinin performansını en üstte tutmak, sistemin genel performansını en üst düzeyde tutar.

Goldratt, tüme varım kuralı da denilebilecek bu varsayımların yanlış olduğunu savunur. Goldratt'a göre sadece sistemin parçalarına ilişkin ölçüleri kullanarak kurum geneli için en iyi verim bulunamaz. Eğer verimliliği kurumsal düzeyde tanımlar ve bu verimliliği artırmayı sağlayan değişiklikler operasyonel iyileştirmelerle sağlanırsa daha doğru yapılmış olur. Çünkü sistem birbirine bağlı süreçlerden veya parçalardan oluşan bir bütündür. Goldratt bunu ünlü zincir analogisine benzetir. Sistemin tamamı bir zincir olarak algılanır. Sistemin performansını, zincirin taşıyacağı yükün belirleyeceği söylenir. Bu yük ise, zincirdeki en zayıf halkanın taşıyabileceği en fazla yüküdür. Eğer bu halka güçlendirilebilirse sistemin genel performansı artar. Bu halka güçlendikten sonra bir başka halka zayıf olacak ve iyileştirme süreci bu şekilde devam edecektir (Köksal, 2004) .

Goldratt'ın zincir analogisini Şekil 2-1 üzerinde görmek mümkündür. İlk şekilde yer alan sistemde sıralı, tek bağlı zincir; ikinci şekilde ise şebekeleşmiş bağımlı zincirler görülmektedir.



Şekil 2-1 Goldratt'ın Zincir Gösterimi

Goldratt zincir analogisini en zayıf halka kavramını vurgulamak için kullanmıştır. Tüm zincirin gücü en zayıf halkanın gücü ile sınırlı kalmıştır. Aynı şekilde, ardışık iş istasyonlarının olduğu bir sistemde en az kapasiteli kısım sistemin tüm performansını belirler. En zayıf halka sistemde herhangi bir yerde meydana

gelebilir. Örneğin, kısıtlanmış kapasite bir parça üretim aracının çıktısını sınırlandırabilir ya da satışlar mevcut kapasiteyi dolduramayabilirler. İlk durumda tüm sistemin performansı bir fiziksel kısıt tarafından sınırlandırılmıştır. İkinci durumda ise gereksiz dışsal talep tarafından sınırlandırma durumu söz konusudur. Burada anahtar kelime “sınırlanmış”tır ve kısıt tanımını yapmak gereklidir; bir sistemin amacına ulaşmasını sınırlayan her şey kısıt olarak adlandırılmaktadır (Dettmer, 1998).

2.1 Kısıtlar Teorisi ve Yapılan Çalışmalar

1970’li yılların sonlarında Dr. Eliyahu Goldratt, üretim yöneticilerinin kaynaklarını ve stoklarını programlama ve denetleme konusunda hatalı davrandıklarını ileri sürerek, bu problemi çözmek üzere Optimize Üretim Teknolojisi (Optimized Production Technology-OPT) ismini verdiği bir yazılım geliştirmiştir. Goldratt, bu yazılımı, kapasite sınırlamaları nedeniyle, talebi karşılayamayan bir tesisin çıktısını arttırmak amacıyla geliştirmiştir. Ona göre, darboğazlı kaynaklar, satılabilir ürünlerin üretimini, dolayısıyla satış gelirlerini kısıtlamaktadır.

Siparişlerin üretim süreçlerinden geçişinin programlanmasına yönelik olarak geliştirilmiş bu yazılım, 1979 yılında ABD’de piyasaya sunulduğunda, bir üretim planlama ve programlama aracı olarak büyük ilgi uyandırmıştır. Sistemdeki kısıtlayıcı faktörleri göz önüne alması, yazılımı diğer programlama tekniklerinden ayıran bir özelliktir. Yazılımın kullanılmasıyla elde edilen programlar uygulanabilir nitelikte ve doğrudur.

1980’li yılların ortalarına gelindiğinde, Optimize Üretim Teknolojisi yazılımının yaklaşık 100 büyük işletmede kullanılmaya başlamasına rağmen, mülkiyet altında olması nedeniyle, mantığının tam olarak anlaşılamadığı görülmüştür. Bu durum, birçok akademisyenin Goldratt’ın yaklaşımı karşısında ilgisiz kalarak, çalışmalarını geleneksel yaklaşımlar üzerinde sürdürmelerine neden olmuştur (Üreten, 1998).

OPT’yi pazarlamada kullanılan araç Dr.Eliyahu Goldratt ve Jeff Cox tarafından yazılan “The Goal” (1984) isimli bir romandır. Roman kahramanı Al Rogo ABD’de üç ay içinde kapanma tehlikesi olan bir fabrikanın yöneticisidir ve önceleri bir fizikçi olup daha sonra üretim uzmanı haline gelen Jonah adlı kişinin fikirlerini uygulayarak fabrikayı kurtarmakta ve sonunda bölge yöneticisi olmaktadır.

“The Goal” felsefi bir tarzda üretimin o zamanlar bilinen geleneksel ilkelerini anlatmaktaydı. Optimize üretim teknolojisine kitabın herhangi bir yerinde rastlanmamaktadır. Kitapta darboğazların önemine ve geleneksel maliyet performans ölçüm sistemleri ile bir üretim işletmesinin gerçek amacı arasındaki çelişkiye yer ayrılmıştır. Bununla birlikte çizelgeleme metodu üzerinde daha az durulmuştur. Örneğin tampon yönetimi gibi kavramlar kitapta geçmemektedir. Şaşırtıcı bir biçimde bazı firmalar kitaptaki bilgileri yazılım paketini almadan uygulamayı başaramışlardır. Goldratt’a göre (1988) bunların ulaştığı sonuçlar birçok durumda konu hakkında hem eğitim hem de yazılımı satın almış olanlara göre daha iyidir ve birçok durumda başarı çok daha az yatırım ve çok daha az zamanla sağlanmıştır (Spencer and Cox, 1995).

Optimize Üretim Teknolojisi yazılımının temelinde uzun süre gizli tutulan algoritmasının yattığı düşünülmektedir. Çeşitli çevrelerce ileri sürüldüğüne göre 1979 yılında Kchaian tarafından Sovyetler Birliğinde bir doğrusal programlama modeli ile matematiksel sonuçların yayınlanmasından önce bu model Goldratt tarafından bulunmuş olup, 1972’de bir çizelgeleme algoritmasına çevrilmiştir. Fakat Goldratt bunu bilimsel bir yayında kullanmak yerine ticari bir yazılım olarak kullanmayı tercih etmiştir. Bu doğrulanamayan hikayeyi ortaya atan çevreler aslında algoritmanın değil asıl önemli olanın felsefesinin anlaşılması olduğunu belirtmişlerdir.

Algoritmanın yayınlanmaması gereksiz bir şüphenin oluşmasını sağlamasının yanı sıra pratik sonuçlara da neden olmuştur. Algoritmanın eniyilediği ekonomik fonksiyonda gizlidir. Bu yüzden kullanıcılar hangi anlamda çizelgelerin en iyi olduğunu bilememekte ve en basit durumlarda bile ne olacağını önceden sezememektedirler (Baudin, 1990).

Fry ve arkadaşları 1992 yılında OPT kullanan 60’a yakın işletmede yaptıkları ankette yazılımın zayıf ve güçlü yanlarını ortaya çıkarmaya çalışmışlardır. Sonuçlara göre yazılımın zayıf yanları;

- Yazılımı kullanmak zordur.
- Yazılım atölyeden son derecede doğru ve zamanında geri besleme yapılmasını gerektiriyordu.
- Yazılım aşırı karmaşıktır.
- Bakım masrafları pahalıdır.

- Çizelgeleme sonuçlarının kullanıcı tarafından anlaşılması güçtür.

Yazılımın güçlü tarafları ise;

- Yazılım darboğazın kritikliğini fark edebilmektedir.
- Çalışanlar için kusursuz bir eğitim aracıdır.
- Süreç içi envanter ve çevrim zamanlarında bir azalma vardır.

Yazılımdaki iyileştirmeler felsefesinin altında yatan imalat kavramlarının daha iyi anlaşılmasıyla devam etmiştir. Envanter ve zamanın aslında iki farklı koruma mekanizması olmadığı ve bunların birbirinin yerine kullanılabileceği ancak 1985 yılında anlaşılabilmiştir. Daha önemlisi çizelgenin atölye performansı üzerindeki etkisinin, bir bilgisayar çıktısı olarak doğru görünmesinden daha önemli olduğu gerçeği ortaya çıkmıştır. Bunu sağlamak için OPT'nin Version 56 ismiyle yenilenen hali 1985'lerin sonuna doğru piyasaya sürülmüştür. Bu aşamada gösterilen çabaların sadece küçük bir oranı atölye çizelgelemeye ayrılabilmiştir ama önemli bir kısmı maliyet prosedürlerinin çıktı-envanter ve işletme gideri gibi prosedürlerinin kullanımı ile yer değiştirilmesine gitmiştir (Tezcan, 2001).

Goldratt'ın ikinci kitabı olan "The Race" (Goldratt and Fox), Version 56 OPT yazılımında yapılan değişiklikleri açığa kavuşturmak için bir çaba olarak gelmiştir (Goldratt, 1988). Kitapta daha önce "The Goal" de bileşenleri bulunan fakat tutarlı bir sistem olarak anlatılmamış olan Drum-Buffer-Rope (Tramper-Tampon-Kordon) isminde bir lojistik sistemi önerilmekte ve daha önceleri üretim alanı ile sınırlı kalınırken yavaş yavaş iş yaşamının diğer yönleriyle de ilgilenilmeye başlanmıştır.

Goldratt "The Goal"de tartışılan kavramları uygulayıp başarıya ulaşan firmalar arasında yaptığı araştırma sonucu üç sonuca varmıştır. Birincisi "The Goal" de anlatılan süreci işletmeler temelinde sürekli iyileştirme sürecine çevirmek için bir yola ihtiyaç vardı. İkincisi bir organizasyonu işletebilmek için genel bir teorinin formülasyonu gerekmektedir. Sonuncusu ise birçok fabrikada "tramper" bir darboğaz değil kapasite kısıtlı kaynaktır. Dolayısıyla itici güç zaman değil kısıtın işletilmesi olmalıdır (Goldratt, 1988).

Goldratt, 1984 yılında Optimize Üretim Teknolojisinin temel mantığını Senkronize Üretim ismi altında tanıtmaya başlamış, 1987 yılında ise ilk kez Kısıtlar Teorisi (Theory of Constraints-TOC) kavramını kullanmış, Optimize Üretim

Teknolojisi'nin mantığını ve temel ilkelerini bu isim altında literatüre yerleştirmiştir. Kısıtlar teorisi yaklaşımı, sistemin kısıtlarını ortaya çıkarmak ve yönetmek için 5 adımlı odaklanma süreci çerçevesinde tanımlanmakta ve geleneksel maliyet muhasebesinden farklı tanımlanmış birtakım başarı ölçülerini kabul etmektedir. İleri konularda ayrıntılı olarak bahsedilecek olan 5 adımlı süreç ise şu şekildedir (Üreten, 1998);

- Sistem kısıtlarının belirlenmesi
- Bu sistem kısıtlarından en iyi ne şekilde yararlanılacağına karar verilmesi
- Diğer görev veya faaliyetlerin 2. adımda verilen karar çerçevesinde kısıtlayıcı kaynağı destekleyecek, yani onun en etkin ve verimli çalışmasını sağlayacak şekilde yönlendirilmesi
- Kısıtın kaldırılması
- 1. adıma geri dönülmesi, ancak ataletin yeni bir sistem kısıtı yaratmasına izin verilmemesi

Kısıtlar Teorisi genel olarak üç daldan oluşur. Bunlar Lojistik, Performans Ölçümü ve Problem Çözme/Düşünme Süreçleridir. Kısıtlar Teorisi organizasyonların çoğunda fiziksel kısıt bulunmayacağını bunun yerine politik kısıtlar bulunabileceğini belirtmektedir. Politik kısıtları bularak süreci analiz etmek ve önerilen çözümleri denemek için Goldratt Düşünme Süreci (Thinking Process) ismini verdiği genel bir yaklaşım geliştirmiştir (Rahman, 1998). Düşünme Süreçleri için kullanılan bir takım araçlar mevcuttur. Bunlar; mevcut gerçeklik ağacı, buharlaşan bulut, gelecek gerçeklik ağacı, öncelik ağacı ve geçiş ağacı olarak sıralanabilir. Bu konu üzerinde yapılan en kapsamlı çalışma William Dettmer'e aittir (1997). Ayrıca Rahman (1998), Goldratt (1994) ve Blackstone (2001) tarafından konu ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. Teorinin ilgi çeken diğer bir konusu ise, geleneksel maliyet muhasebesine getirdiği eleştiri ve önerdiği ürün karması bulma yaklaşımıdır. Çıktı, envanter ve işletme giderleri kavramlarını kendine özgü bir şekilde yeniden tanımlamıştır (Goldratt and Fox, 1986). Kısıtlar Teorisinin bu yöntemi çeşitli araştırmacılar tarafından ele alınmıştır (Luebbe and Finch, 1992; Fredandall and Lee, 1997).

Kısıtlar teorisinin kavram ve prensipleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Jacobs (1983) ve Zmiran (1994) Optimize Üretim Teknolojisi'nin çizelgeleme kavramı ve üretim planlamada kullanılışını, Cook (1994), Optimize Üretim Teknolojisi'nin

stokları azalttığını, harcama masraflarını düşürdüğünü ve çıktı miktarını arttırdığını, Schragenheim ve Ronen (1990) ise, Trampet-Tampon-Kordon lojistik sisteminin çalışma prensiplerini ayrıntılı olarak tanımlamışlardır.

Kısıtlar teorisi prensiplerinin ana üretim çizelgesi, V-A-T analizi, hazırlık zamanı yönetimi gibi teorik problemlerde çalışma alanı bulduğu görülmektedir (Spencer and Cox, 1995). Toplam kalite yönetimi ve Kısıtlar Teorisinin karşılaştırılması alanlarında Dettmer (1995) ve Köksal (2004) çalışma yapmıştır.

Kısıtlar teorisinin Malzeme İhtiyaç Planlaması ve Tam Zamanında Üretim gibi sistemlerle karşılaştırılmasına dair birçok çalışma olduğu görülür. Bu çalışmalar benzetim yoluyla desteklenmiştir (Ramsay, et al., 1990; Steele, et al., 2005). Tam Zamanlı Üretim Sistemleri ile Kısıtlar Teorisinin karşılaştırılmasına yönelik olarak Spencer and Cox (1995), Cook (1994), Thorne ve Smith (1997)'de çalışmalar yapılmıştır.

Tek makina çizelgeleme probleminde tek kısıt problemi Simons ve diğerleri (1999) tarafından ele alınmıştır. Spencer ve Cox (1995) Kısıtlar Teorisi çizelgeleme sistemini 4 adımda önermişlerdir.

Koruma kapasitesi birçok çalışmanın odağı olmuştur. Fry ve diğerleri (1997) bir fabrikada yüksek bir koruma kapasitesiyle sağladıkları faydayı çalışmalarında göstermişlerdir. Akış süresi ve süreç içi stokta gözlemlenen azalma Atwater ve Chakravorty (1995), Blackstone ve Fox (2002) tarafından incelenmiştir.

Kısıtlar teorisi çizelgeleme yaklaşımı Trampet-Tampon-Kordon sisteminde genellikle İlk-Giren-İlk-Çıkar ilkesi önerilmektedir (Goldratt and Fox, 1986)

Süreç partisi kaydırma sadece Russell ve Fry (1997) tarafından incelenmiş olup akış süreleri ve gecikmelerde önemli gelişmeler sağlandığı görülmüştür. Literatürde kısıtlar teorisinin, üretim parti büyüklüğü belirlenmesi konusunda yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Kısıtlar teorisinde, Trampet-Tampon-Kordon ile çizelgeleme yaklaşımı Schragenheim ve Ronen (1990), Simons ve diğerleri (1996), Wu ve diğerleri (1998), Cook (1994), Guide (1996), Schaeffers ve diğerleri (2004), Trampet-Tampon-Kordon ve stok yönetimi Gardiner ve diğerleri (1992), bakım yönetimi ve tampon büyüklüğü kavramlarının birleştirilerek zaman tamponu kullanılışı Qassim ve diğerleri (2004),

Tramper-Tampon-Kordon tamponlama yaklaşımı Riezebos ve diğerleri (2003) tarafından incelenmiş olup bu alanda çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Kısıtlar Teorisi ve Dağıtım Gereksinimi Planlanması karşılaştırması ve çoklu ürün karmalarının performanslarının finansal yönden incelenmesi Watson ve Polito, (2003) tarafından, Kısıtlar Teorisi ve süreç muhasebesi incelenmesi Küçüksavaş ve diğerleri (2005), performans ölçütleri ve 5 adımlı odaklanma sürecinin ele alınması Gupta ve diğerleri (2002) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Kısıtlar teorisi literatürüne göre, zaman tamponu uzunluğunun tanımlanması ilk olarak deneysel yolla deneme yanılma yaklaşımına göre tahmin edilmiştir (Tu and Li, 1998). Tampon uzunlukları daha sonra stok yönetimi diye bilinen bir süreç boyunca ayarlanır ve görüntülenir.

Louw ve Page (2004) kısıtlar teorisi kontrollü üretim sisteminde bir analitik model geliştirerek zaman tamponu tahminin benzetim modeline aktararak çeşitli senaryolarını değerlendirmiştir. Ürün karmasıyla çalışan sistemler için bu modeli önermektedirler.

2.2 Kısıtlar Teorisinde Karşılaşılan Kısıt Türleri

2.2.1 Davranışsal Kısıtlar

Davranış, çevreye ve oluşan çeşitli durumlara karşı, mantıksal bir şekilde yapılmaya kalkışılan eylemler ve tepkilerin sonucudur. Doğrudan ilgili insanların yetiştirme, eğitim, ölçüm sistemleri, deneyimleri, eğilimleri ve zihinsel durumlarından etkilenir. Ne zaman bir davranış gerçekleşir çatışma halindeyse ve işletmenin küresel ölçümleri üzerinde negatif bir etkiyle sonuçlanırsa, buna davranışsal kısıt denilebilir. Davranışsal kısıtlar bir dizi farklı sebepten kaynaklanır. Belki de en yaygın sebep ölçüm sistemidir. “Bana beni nasıl ölçeceğini söyle, ben de sana nasıl davranacağımı söyleyeyim.” (Goldratt, 1990). Dolaylı ya da dolaysız olarak ölçüm sistemi insanlara nasıl davranması gerektiğini dikte eder. Bunun en güzel örneği sürekli meşgul olmaktır.

Değiştirilmesi en zor davranışlardan biri, belki de en zararlısı, kaynakların sürekli meşgul tutulması yaklaşımıdır. Bu varsayım işçileri her zaman meşgul tutmanın üretkenlik sayılmasından kaynaklanmaktadır. Bu varsayım tüm kaynaklar yüksek oranlarda kullanılmalıdır, aksi halde zarar ederiz fikrinden doğan kullanım yüzdesi

ölçümlerince de takviye edilmektedir. Bu kavram aynı sebeplerden olmasa da hem yönetim hem de çalışanlar tarafından kabul görür. Bu davranışın sonucunun bir uzantısı olarak stok miktarları artar, ürün karmaları dengesiz hale gelir, çizelgeler kayar ve malzeme açıkları meydana gelir.

Davranışsal kısıtın bir başka örneği ise hazırlık aşamasında ayrıntılı sonuçlarını değerlendirmeden en çok tasarrufu gerçekleştirme eğilimidir. Hazırlıkları bu şekilde, çıktı, stok ve işlem giderleri üzerindeki ayrıntılı etkisinden soyutlayarak planlamak, karlılıkta bir azalma ile sonuçlanabilir. Küresel bir perspektiften bakınca bu yaklaşım neredeyse akıl dışı gözükür ve karlılık üzerindeki etkisi sıklıkla tahmin edilebilir

2.2.2 Yönetimsel Kısıtlar

Kötü yönetim politikaları; fiziksel kaynakların kullanımını en büyükleme yeteneğini sınırlar veya kısıt olmayan kaynakların, çıktının yaratılmasını korumakta düzenli kullanımını önlerler. Örneğin pazara sürülecek ürünleri belirlemek için faaliyet tabanlı muhasebe kullanan satış temsilcileri için komisyon çizelgeleri oluşturulması politikası karlılığı en büyükleme için kaynakların kötü işletilmesine sebebiyet verebilir veya iyileştirmeye odaklanmak için kalite maliyetini kurma politikası firmanın tümünde karlılığı arttırmayacak bir alana para yatırılması ile sonuçlanabilir. Bunu değiştirmenin tek yolu yöneticilerin fikrini değiştirmesidir.

2.2.3 Kapasite Kısıtları

Bir kapasite kısıtı, bir kaynağa olan talep onun elverişli kapasitesinden fazla olduğu zamanlarda oluşur. Kapasite kısıtları makinaları veya insanları içerebilir ve çıktının yaratılmasını sınırlar. Birincil kısıtlar tüm işletmenin çıktı üretimini sınırlayan kısıtlardır. İkincil kısıtlar, birincil kısıta uygun şekilde tabi olmayı engelleyen kısıtlardır. Diğer bir deyişle birincil kısıtı istenen düzeyde besleyememe olasılığı oluşacak noktaya kadar kaynaklara yüklenen talep artış gösterirse, bu problem ikincil kısıt olarak adlandırılabilir.

2.2.4 Pazar Kısıtları

Dikkate alınması gereken en önemli kısıtlar belki de pazar tarafından yaratılanlardır. Pazar ürünü, fiyat mekanizmasını, üretim süresini, talep edilen malların ve hizmetlerin kalite ve miktarını kontrol eder ve çıktıyı yaratmak için gerekli koşulları oluşturur. Pazar talebi, işletme kaynaklarıyla yapılabilecek miktardan daha az olduğu zaman bir pazar kısıtı oluşur. Pazar kısıtlarının birçok sebebi olsa da çoğu yönetim politikalarına bağlı olarak var olurlar.

2.2.5 Lojistik Kısıtları

İşletmenin planlama ve kontrol sisteminden kaynaklanan problemler meydana geldiğinde bir lojistik kısıtı olduğu söylenebilir. Kapasiteye duyarsız malzeme ihtiyaç planlama sistemleri kaynakların düzgün senkronizasyonu açısından problemler yaratabilir ve mevcut olan stok ve üretim ile ilgili problemlerin miktarlarını arttırabilir. Örneğin her satın alma için üç farklı tedarikçiden, üç farklı alternatif içinden en ucuzunun seçilmesinin gerekli olduğu bir durumda hantal bir satın alma süreci çıktının yaratılmasını engelleyebilir.

2.2.6 Zorunlu Durumlar

Artan sayıda işletme, müşteri tarafından istatistiksel süreç kontrolünü uygulama konusunda zorlanmaktadır. Eğer bu talepler karşılanmazsa, bunlar ciddiye alınmayan tedarikçiler haline geleceklerdir. Zorunlu koşullar, faaliyeti düzenlemek için içten ve dıştan kaynaklı işletmelere, bölümlere ve kişilere konulmuş sınırlar veya talep edilenlerdir. Bunlar zehirli atıkları arıtılması gibi çevreyle ilgili kanuni düzenlemeleri, müşterileri veya dürüstlük gibi ahlaki konuları içerebilir. Yönetim çalışanlara uyulması gereken zorunlu koşullar getirebilirler. Hissedarlar, mal almasıyla ilgili olarak işletmelere zorunlu koşullar getirebilirler. Zorunlu koşullardan biri karşılanmadığı zaman genelde ciddi karışıklıklar meydana gelir. Eğer istihdamın zorunlu koşullarından biri dürüstlükse ve bir çalışan hırsızlık yaparken yakalanırsa, büyük olasılıkla işten çıkarılacaktır. Eğer işin getirdiği zorunlu koşullardan biri sürekli nakit akışı ise ve bu koşul gerçekleşmiyorsa işletme büyük ihtimalle iflas edecektir. Zorunlu koşullar

kısıtlardan ayrılmalıdır. Zorunlu bir koşul tatmin edilmezse kısıt halini alacaktır. Bir kere karşılanınca, bu koşuldaki herhangi bir iyileştirme işletmenin karlılık pozisyonunda bir iyileştirme ile sonuçlanmayacaktır. Buna rağmen zorunlu koşulların sürekli olarak tatmin edilmesi gerekmektedir.

2.2.7 Maliyet Yaklaşımı

Goldratt’a (1990) göre, işletmelerde meydana gelen irrasyonel davranışların çoğu “Maliyet Yaklaşımı”ndan kaynaklanır. Maliyet yaklaşımı küresel amaçlar pahasına, yerel amaçların en iyilenmesi eğilimiyle sonuçlanmaktadır. İşletmelerin çoğunda, organizasyonu bölümlere ayırmak ve yerel düzeyde sonuçları eniyilemek biçiminde sonuçlanan ölçümler geliştirmek konusunda neredeyse doğal bir eğilim gözlenmektedir. Yerel ölçümlerin kullanımı okullarda on yıllardır öğretilmekte, ayrıca iş dünyasında da desteklenmektedir. Buna rağmen, olumlu küresel bir etkiyle sonuçlanmayan yerel ölçümler haricinde, yerel ölçüm sistemleri geçersiz olarak görülmelidir. Maliyet yaklaşımı çoğu kısıtın çıkış noktasını oluşturmaktadır ve belki de işletmeler için en büyük düşmandır (Stein, 1997)

2.3 Kısıtlar Teorisinin İlkeleri

Teoriler genelde tanımlayıcı ve kural koyucu olarak sınıflandırılırlar. Yerçekimi Kanunu gibi tanımlayıcı teoriler olayların neden meydana geldiğini açıklarlar, fakat ortaya çıkan durum karşısında ne yapılması gerektiğini önermezler. Kural koyucu teoriler ise hem nedeni açıklar hem de ne yapılması gerektiği konusunda rehberlik ederler. Kısıtlar teorisi kural koyucu bir teoridir.

Goldratt, teorinin kural koyucu bölümü için ortamı verimli bir hale getirmekte kullanılan çeşitli ilkeler getirmiştir. Bu ilkeler şöyledir;

- Sistemler zincire benzer. Her sistemde, sistemin bir bütün olarak başarısını kısıtlayan bir “en zayıf halka” (kısıt) bulunur. Zincir, en zayıf halkası kadar güçlüdür, dolayısıyla bir sistemin iyileştirilmesi için zincirdeki en zayıf halkanın bulunarak, güçlendirilmesi gerekir.
- Bir sistem parçalarından daha iyi başarı gösteremez. Sistemi oluşturan parçalardan birçoğunun mümkün olan en iyi başarıyı göstermesi halinde bile,

sistemin bir bütün olarak bu başarı düzeyine ulaşması mümkün değildir. Yerel en uygunların toplamı sistem en uygununa eşit değildir.

- Zincirin en zayıf halkasının dışında bir halkanın güçlendirilmesi zincirin gücünü arttırmayacak, sadece işlem maliyetini yükseltecektir.
- Zincirin en zayıf halkası güçlendirildikten sonra, bir başka halka “en zayıf” konumuna gelecektir.
- Değişimin yönetiminde ve sorunların çözümünde sistem düşüncesi analitik düşünceye tercih edilir.
- En iyi çözüm, sistemin çevresi değiştikçe zaman içinde değişir. Belli koşullar için geliştirilmiş bir politika, koşullar değiştirildiğinde değiştirilmelidir.
- Neyin değiştirilmesi gerektiğini belirleyebilmek için sistemin mevcut gerçeklerinin, amacının ve bu ikisi arasındaki farkın büyüklüğünün ve yönünün araştırılması gerekir.
- Bir sistemdeki istenmeyen etkilerin büyük bir kısmı birkaç temel sorundan kaynaklanır.
- Temel sorunlar her zaman görünür durumda değildirler. Bu sorunlar kendilerini, bazı istenmeyen etkiler şeklinde gösterirler. Birçok durumda bu istenmeyen etkiler, birbirlerine bir etki-tepki şebekesiyle bağlanmış durumdadırlar.
- Gerçek sorun ihmal edilerek, sorundan kaynaklanan istenmeyen etkilerin giderilmesi aldatıcı bir güvenlik duygusu yaratır. Bu tür çözümler kısa sürelidir. Ancak temel bir sorunu çözerek, tüm istenmeyen etkiler ortadan kaldırılabilir.
- Sistem kısıtları genellikle fiziki kısıtlar veya politika kısıtları şeklinde olabilir. Politika kısıtları, genellikle belirlenmesi ve ortadan kaldırılması en güç olan kısıtlardır, ancak normal olarak fiziki bir kısıtın ortadan kaldırılmasına kıyasla çok daha büyük bir iyileştirme sağlar.
- İşletmenin gelirlerini sınırlayan en az bir kısıt vardır. Bu kısıt üretim kapasitesi sınırlaması gibi içsel bir kısıt olabileceği gibi, müşteri siparişlerinin olmaması, lojistik sınırlama gibi dışsal bir kısıt şeklinde de olabilir.
- Atalet, sürekli iyileştirme sürecinin en büyük düşmanıdır.
- Fikirler, çözümler değildir (Dettmer, 1997).

Birçok işletmede, işletme bütünüün başarısı üzerindeki etkisine bakılmaksızın çeşitli düzeylerde verimliliğin arttırılmasına yönelik tedbirler alındığını görmekteyiz. Bu nedenle, Kısıtlar Teorisinin “bir zincirin en zayıf halkası kadar güçlü olabileceği” kuralının günümüz iş dünyasına uygulanması halinde bir devrim yaratılmış olacaktır (Üreten, 1998).

2.4 Kısıtlar Teorisi ve Lojistik

Üretim işletmelerinde kullanılan herhangi bir kaynağın kullanabileceği zaman üç şekildedir. Bunlar üretim zamanı, hazırlık zamanı ve aylak zamandır. Ayrıca tüm işletmelerin kısıtlı ve kısıtsız kaynakları mevcuttur.

Kısıt kaynaklar yani darboğazlar: Kendisine duyulan talepten daha düşük kapasiteye sahip kaynaklar darboğazlı olarak anılırlar. Bir üretim sisteminin çıktı kapasitesinin, en düşük kapasiteye süreçler tarafından denetlendiği herkes tarafından bilinen bir gerçektir. Önünde işlenmek üzere bekleyen parçaların olduğu bir makina sürekli çalışır durumda ise, bu makina sistemde darboğaz oluşturmaktadır (Aquilano and Chase, 1991). Bir sistemde darboğazların belirlenmesinin iki yolu bulunmaktadır. Bunlardan biri, kapasite profili çıkarmak ve diğeri ise tesis hakkında bilinenlerden yararlanmak, sistemi çalışırken gözlemek ve ustabaşı ve iş görenlerden bilgi almak şeklindedir (Chase and Aquilano, 1998).

Kısıt olmayan kaynaklar: Kendisine duyulan talep, kapasitesinden daha düşük olan kaynaklardır.

Kapasiteyi Kısıtlayıcı Kaynaklar: Kullanımı kapasitesine yakın ve dikkatli bir şekilde programlanmadığı takdirde, darboğazlı hale gelebilecek bir kaynaktır. Örneğin, birkaç makinadan çıkan parçalar monte edilmek üzere belli bir makinaya gelebilir. Diğer makinalardan gelecek parçaların geciktiğini düşünelim. Bu durum kapasiteyi sınırlayıcı makina üzerinde, bu makinanın kullanılmayan zaman kapasitesinin üzerinde bir atıl zaman oluşmasına yol açabilir. Sonuçta bu kaynak darboğazlı hale dönüşecektir (Chase and Aquilano, 1998). Kapasiteyi sınırlayıcı makina üzerinde makina hazırlık sayısının yüksek tutulması ve bu makinadan önceki işlemlerde büyük partiler halinde üretim yapılması, anılan kaynağın darboğazlı kaynak haline dönüşmesine neden olabilecektir (Üreten, 1998).

Tramper-Tampon-Kordon yöntemi, tampon yönetimi ve VAT analizi gibi lojistikte uygulanan Kısıtlar Teorisi yaklaşımları, tüm lojistik sistemini yönetmeyi sağlayan bir yöntem önerirler. Goldratt, lojistik sisteminin iki önemli özelliğini tanımlamıştır. Bunlar bağımlı olaylar ve istatistiksel dalgalanmalardır. Kısıtlar Teorisi lojistik dalı yaklaşımları bu özelliklerin giderilmesi için önerilmişlerdir. Bu iki olay bir sistemdeki akışın tam olarak dengelenmesini imkânsız kılmaktadır. Bağımlı olaylar terimi süreç sırasına karşılık gelir. Eğer A'dan, B'ye, C'ye, D'ye bir süreç akışı varsa ve her süreç bir önceki bitmeden diğer adıma geçemiyorsa; B, C ve D bağımlı olaylardır. Bir sonraki sürecin yeteneği bir öncekine bağımlıdır. İstatistiksel dalgalanmalar iş istasyonları arasında stok olmadan birbirine bağımlı bir sırada oluyorsa; ortalama çıktıyı arttırmak için herhangi bir fırsat yoktur. Bir süreç ortalamadan daha uzun sürdüğünde, gelecek süreçlerde işleri zamanında tamamlayamayacaklardır (Chase et al., 1998). İşe devamsızlık, geç kalma, malzeme veya hammadde yokluğu, makina arızaları istatistiksel dalgalanmalara örnek olarak gösterilebilir.

Bir hattaki bağımlı kaynaklar arasındaki ilişki kimi zaman istatistiksel dalgalanmalar ve buna bağlı olarak istenmeyen durumlar oluşturabilir. Goldratt, Kısıtlar Teorisinin tüm alt dallarında olduğu gibi Lojistik dalı için de bir takım kavramlar ve teknikler kullanmıştır.

2.4.1 Beş Adımlı Odaklanma Süreci

Goldratt, amacı sistemin performansını bir bütün olarak iyileştirmek olan kısıtlar teorisini beş adımda açıklamıştır. Beş adımlı bu sürecin amacı, sistemin kısıtlarını ortaya çıkarmak ve yönetmek suretiyle sürekli olarak iyileştirilmesini sağlamaktır (Üreten, 1998). Bu süreç ayrıca yöneticilere tüm birimleri hakkında plan yapmalarını ve kaynakları üzerinde odaklanarak birtakım değişikliklerle sistemin performansını büyük oranda etkilemeyi hedefler. Bu adımlar kısaca incelenecek olursa;

2.4.1.1 Birinci aşama: Sistem Kısıtlarının Tespit Edilmesi

Üretim faaliyetlerinin daha uyumlu olması yani üretim sürecinin daha etkin ve kalıcı hale getirilmesi için ilk yapılması gereken, üretim ortamındaki kısıtların tanımlanması ve belirlenmesidir (Umble and Srikanth, 1995). Kısıtların tanımlanıp,

yönetilmesi de şirketler için verimliliklerinin ve kaynaklarını kullanım oranlarının artırılmasını sağlayacaktır.

Kısıt olmayan kaynaklar üzerinde çıktıyı arttırmak sistem çıktısı üzerinde herhangi olumlu bir etki yaratmayacaktır. Sistem üzerindeki süreç içi stokların azaltılması ya da yok edilmesi gibi yerel amaçlar, sistemin toplamı üzerinde etkisiz kalacaktır. Bir sistemdeki çıktının artırılabilmesi için, kısıt kaynağın akışının mutlaka artırılması gerekmektedir.

Bir şirketin kısıtı daima içsel bir kısıt olmayabilir. Kısıt birçok durumda pazar kısıtı olarak da karşımıza çıkabilir. Bir şirket için kısıt bazı durumlarda da sistemin çıktısını azaltan bir politik kısıt ya da prosedürler olabilmektedir. Goldratt'a göre bir organizasyonlardaki kısıtların %99'u politik kısıtlardır (Goldratt, 1988). Politik kısıtlara örnek olarak bir firmadaki ürünleri sadece kredi kartıyla alabilen müşteri kütlesine sahip olan bir yerde, kredi kartı olmayan kimselerin o firmadan alışveriş yapamaması bir kısıt olarak verilebilir (Swain and Bell, 1999).

Bir kısıtın herhangi bir hesaplama yapmadan nerede bulunduğunu gösterecek en kolay yollardan biri, bir sistemdeki süreç içi stokların yerleşimini incelemektir. Kısıt, süreç içi stoktaki en yüksek yığındır.

Bir operasyonda var olan kısıtları tanımlamak için 4 farklı senaryo vardır (Goldratt and Fox, 1986). Senaryolar, bir sistemdeki aşırı stokların nerelerde biriktiğini gösterir (Goldratt and Cox, 1992).

- Kısıtın fazla kapasiteli kaynakla beslendiği durum
- Fazla kapasiteli kaynak ile kısıt kaynağın montaj hattını beslediği durum
- Kısıt kaynağın pazarı beslediği durum
- Pazarın kısıt olduğu durumda fazla kapasiteli kaynak tarafından beslenmesi

Üretimle uğraşanlar için kısıtın tanımlanmasındaki soru “daha fazla çıktı üretmememizi sağlayan fiziksel çıktı nedir?” olabilir. Bu kısıt üç şekilde yerleşmiştir:

- 1) Pazar (sadece satışlar yeterli değildir)
- 2) Satıcılar (sadece malzemeler yeterli değildir) ya da
- 3) İçsel bir kaynak (sadece kaynak kapasitesi yeterli değildir)

2.4.1.2 İkinci aşama: Kısıtların Nasıl Düzeltileceğine Karar Verilmesi

Temel kısıtlar belirlendikten sonra bütün çalışmalar, tüm sistemin performansını arttırabilmek için kısıtların tamamen kullanılmasını sağlamak yönünde olmalıdır (Atwater and Gagne, 1997). Ruhl'a (1997) göre, Kısıtlar Teorisinin ikinci aşamasında amaç sistemin temel kısıtlarının sürecini en yüksek düzeye çıkarmaktır, yani kısıtlardan en büyük süreci elde etmeye çalışmaktır (Küçüksavaş vd., 2005). Kısıtlar süreç hızının bir fonksiyonu olarak kabul edildiğinde; cevaplanması gereken soru şöyledir: “ Şimdi ve gelecekte sürecin çıktısını en büyükmek için kısıtla ne yapmak istiyoruz?” Bu adımla ilgili olarak aşağıdaki aktiviteler ve süreçler izlenmektedir:

Kısıt içsel bir kısıt olduğunda:

1. Kaynak çok değerli olarak düşünülmelidir.
2. Kayıp faaliyetler kısıt tarafından yok edilmektedir.
3. Genel yaklaşım faaliyetlere katkısı büyük olan kaynaklarda çalışmak yönündedir. Bu yaklaşımla kısıt kaynakların kısıt olmayan kaynaklara göre daha az işle yüklendiğini gösterir. Hazırlık sürelerine olan dikkat arttırılır ve kısıt kaynak üzerindeki hazırlık süreleri azaltılmaya çalışılır.
4. Kısıt çıktısı ve kullanım oranı ölçülür. Kısıt kaynağın bozulma durumları analiz edilir ve yok edilmeye çalışılır. Kısıt kaynak süreç ve imalat mühendisliğinde bakıma ilk alınan kaynak olmalıdır.
5. Kısıt kaynağın önüne süreçte hammaddeyi iyi olan kaynakların konulduğundan emin olmak için bir denetim adımı konulabilir. Böylece üretilen ürünlerdeki fire miktarlarının en aza indirgenmesi sağlanır.
6. Genellikle kısıt kaynakta daha hızlı bir sürecin sağlanması için, hazırlık, temizlik gibi görevlerde ekstra yardım sağlanabilir.

Yukarıda sayılan adımlar kısıt kaynağın saatlik üretiminin arttırılmasını sağlayarak satıştan elde edilen para miktarını arttırabilirler.

Kısıt bir hammadde olduğunda;

1. Hammaddeye bir altın gibi davranılmalıdır.
2. Iskartaları azaltmak çok önemlidir.
3. Satılmamış bitmiş ürün stokları ve süreç içi stoklar elimine edilmelidir.

4. Satışların arttırılması hammadde sağlayan tedarikçilerle ilişkilerin kuvvetlendirilmesine bağlıdır.

Kısıt pazarda olduğunda;

1. Müşterilere çok değerli oldukları hissettirilmeli ve öyle davranılmalıdır.
2. Şirket en önemli rekabetçi faktörlerini anlamayı amaç edinmeli ve bu faktörlerin üstesinden en iyi şekilde gelmek için çaba sarf etmelidir. Üretim perspektifinden, bu durum:
 - a. %100 teslim performansı,
 - b. Daima daha hızlı çevrim süreleri,
 - c. Yüksek kalite,
 - d. Müşteri ihtiyaçlarına ek özellikler eklemek şeklinde olabilir.
3. Kısıt içsel bir kısıt olduğunda “malzeme akışı kontrol noktası” kısıt kaynak olarak seçilmelidir.
4. Kısıtın, kontrol noktasının nasıl düzeltileceğine karar verilmesi için çizelgenin çıktıyı en büyükmek için sonlu olarak yüklenmesi ve aşırı yüklenmemesi gerekmektedir.

2.4.1.3 Üçüncü aşama: İlgili Her şeyin İkinci Aşamanın Uygulanması İçin Seferber Edilmesi

Kısıtların nasıl düzeltileceğine karar verirken ihtiyaç duyulan hammaddenin daima zamanında hazır bulunamayacağı gerçeği göz önüne alınmalıdır. Çünkü bu maddeler kısıtsız kaynak kuyruğunda bekliyor olabilirler ki kısıt kaynak bu malzemelere henüz ihtiyaç duymamıştır. Bu aşama bahsedilen olaydan korunmak için gereklidir. Amaç kısıtlı kaynağın hiçbir zaman boş kalmamasına dikkat ederek kısıtsız kaynakla birlikte bir çizelgenin hazırlanmasıdır. Böyle bir çizelge için kısıt olmayan kaynak bir üretim partisinin yarısında durdurulabilir ya da fazladan hazırlık maliyetine katlanılabilir. Kısıtsız kaynak kısıtlar teorisinde bahsedilen fazladan kapasite gerektirir. Kısıt olmayan bir kaynağın kısıt kaynaktan sonra yerleştirildiğini düşünelim. Eğer bu kaynak bozulursa ya da herhangi bir nedenden dolayı kısıt olan kaynağın üretimini durdurmasına sebep olacak bir gecikme yaşarsa, bu kapasiteye ihtiyaç duyulmaktadır.

Süreç içinde kısıtlı kaynaklar yok edildikten sonra hala daha kısıtlar bulunabilir. Bu kaynaklara kapasite kısıtlı kaynak adı verilir. Kapasite kısıtlı kaynak bir çizelge yada politika kısıtından dolayı ortaya çıkıyor olabilir.

Bazı durumlarda kısıt tamamıyla farklı bir çizelge uygulanarak yok edilebilir. Bu yüzden kısıt yok edilse de edilmese de tüm sürecin sürekli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Eğer kısıt sonlandırılmamış fakat sistem performansı memnun edici bir düzeydeyse 2. adıma geri dönülür eğer performans iyi değilse kısıtlar teorisinin 5 adımlı odaklanma sürecinden dördüncüsüne geçilir (Macmillan, 2004)

2.4.1.4 Dördüncü aşama: Kısıtların Ortadan Kaldırılması

Kısıtların ortadan kaldırılması, kısıtlı kaynağı, kısıtlı olmayan kaynağa dönüştürme çabasıdır. Bu aşamaya gelinmişse, bundan önceki iki aşamada yapılanlar yetersiz bulunmuş demektir. Bu adımda kısıtın kaldırılması, yani kısıtlayıcı görev veya faaliyetlerin bir bütün olarak çıktısının artırılması amacıyla önlem alınır (Üreten, 1998). Kısıtların ortadan kaldırılması birkaç şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Örneğin kısıtlı kaynak ile aynı fonksiyonlara sahip yeni bir makina almak, fazla mesaiden yararlanmak, vardiya sayılarını arttırmak, o makinanın ürettiği parçayı, yarı mamulü dışarıdan satın almak gibi yollarla giderilebilir. Eğer kısıtlı kaynak işgücü ise o işçinin yaptığı işleri yapabilecek şekilde eğitilmesi, o işçinin daha hızlı çalışması için eğitilmesi yollarıyla kısıt giderilebilir (Küçüksavaş vd., 2005).

2.4.1.5 Beşinci aşama: Kısıtlar Kaldırıldığında İlk Aşamaya Geri Dönülmesi

Kısıt ortadan kaldırıldığında, ilk aşamaya geri dönülmesi ve sürece yeniden başlanması gerekmektedir (Chase, et al., 1998). Ruhl'a (1997) göre, kısıt kaldırıldıktan sonra sürekli gelişme süreci durmayacak, çünkü başka bir kısıt ortaya çıkacaktır. Yönetim, bir önceki kısıtın ortadan kaldırılmasıyla rahatlamamalı ve sürekli olarak yeni kısıt arayışını sürdürmelidir. Unutulmamalıdır ki, sistem problemlerinin birçoğu, yaratıldıklarında doğru olan politikalardan kaynaklanmaktadır. Birçok sistemde aksaklıkların giderilmesine çok az zaman ayrılırken, o aksaklıklar nedeniyle ortaya çıkan sorunların çözülmesine çok fazla zaman ayrılmaktadır. Başka bir deyişle, esas sorun ihmal edilerek istenmeyen etkilerin ortadan kaldırılmasına çalışılmaktadır. Nasıl bir yaranın üzerine bant yapıştırılması, yaranın iyileştirilmesine yönelik bir tedavi

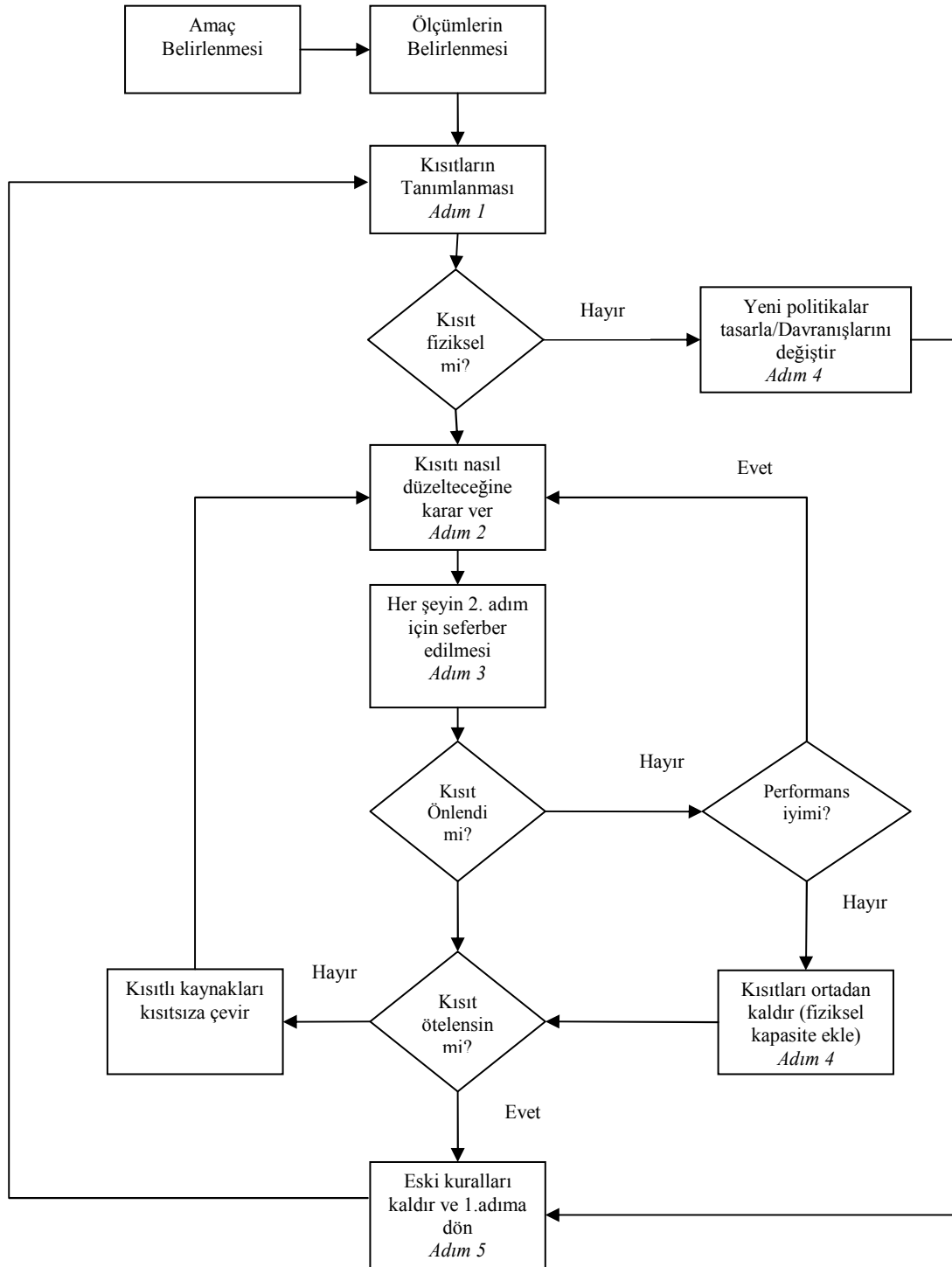
biçimi değilse, istenmeyen etkilerin ortadan kaldırılması da sorunun çözümüne yönelik bir önlem değildir (Üreten, 1998).

2.4.1.6 Beş Adımlı Odaklanma Sürecinin Uygulanışı

Bir işletmenin beş adımlı odaklanma sürecini uygulamak için öncelikle amacını tanımlaması gerekmektedir. İşletmelerin şimdiki ve gelecekteki amacı para kazanmaktır. Eğer bir organizasyonda kısıtlar tanımlanıp yönetilmezse, o organizasyon amacını asla gerçekleştiremez. Ayrıca kısıtlar eğer ölçülemezse, yönetilemezler. Ölçümler, organizasyonların amaçlarına ne kadar yaklaştıkları göstermeleri açısından önemlidirler.

Bir takım şirket organizasyonlarında kısıtlarını tanımlamış ve herhangi bir ölçüm yapmadan ve süreç ya da politikalarını yönetmeden kısıtlarından kurtulmuş olabilirler. Bu durumun tam tersi bir durumda söz konusudur. Yani şirket kısıtlarını tanımlamadan performansını en büyükmüş de olabilir. Ancak bu iki olay da şirketleri amaçlarına yaklaştıramaz. Bu iki olay birbirinden ayrılmayacak niteliktedir.

Şekil 2-2’de beş adımlı odaklanma sürecinin adımları gösterilmiştir (PJ Pretorius, Personal Communication, 2001).



Şekil 2-2 Beş Adımlı Odaklanma Süreci Adımları

Eğer sistem kısıtları fiziksel bir kısıt değilse, örnek olarak politikalar ya da prosedürler ise, süreç 4. adıma geçmelidir. Yeni bir politika tasarlanmalı ve değiştirilen

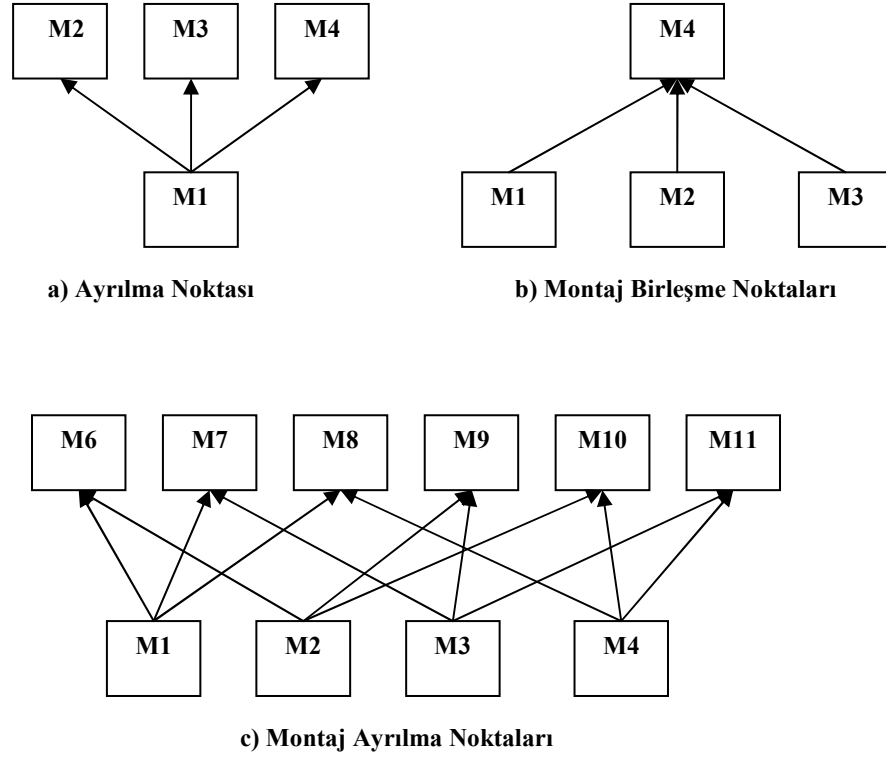
davranışın yerine geçirilmelidir. Bu politikaları yerine getirebilmek için düşünce süreçleri geliştirilmiştir ve izleyen bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

2.4.2 Üretim Süreçlerinin Yerleşim Tiplerine Göre Sınıflandırılması (VAT Analizi)

Kısıtlar Teorisinin birinci adımı organizasyondaki kısıt kaynakların belirlenmesidir. Üretim süreçlerinin geleneksel sınıflandırılmasına göre üretim yapıları sürekli, kesikli ve proje tipi üretimdir. Kısıtlar Teorisi geleneksel yöntemi terk etmiş ve üretim sürecini I, V, A, T şekillerine göre sınıflandırmıştır. Başlangıçta V, A ve T olarak tanımlanan yerleşim tiplerine daha sonra I yerleşim tipi de eklenmiştir. Ancak bu aşamadaki çalışmalar literatürde VAT Analizi olarak adlandırılmaktadır. Bu tesis tipleri ürün ailelerinin, hammaddeyi başlatarak çeşitli iş merkezlerini geçerek son ürünlere dönüşmesi boyunca akışını tamamlamaktadırlar. Bu kendilerine değer eklemek için kullanılan kaynaklarla, parçalar arasındaki ilişkiyi sağlar. Her tesis tipi kısıt kaynaklarının bulunması için kendine özgü farklı teknikler gerektiren karakteristiklere sahiptir (Tersine, 1994).

Bir tesisin yapısını belirlemek için ürün akış diyagramları kullanılır. Ürün akış diyagramlarında üç önemli nokta bulunmaktadır. Bu noktalar: Ayrılma noktaları, Montaj Birleşme Noktaları ve Montaj Ayrılma Noktalarıdır. Ayrılma noktaları malzemenin ürün akışı sırasında iki veya daha fazla malzemeye ayrıldığı adımlardır. Birleşme noktaları iki veya daha fazla farklı parçanın tek bir ürün oluşturmak üzere montajlandığı noktalardır. Montaj ayrılma noktaları bir dizi ortak bileşen parçasının çok sayıda ve çok çeşitli yollarla olası ana ürünleri oluşturmak üzere birleştiğinde ya da montajlandığında meydana gelir. Bu noktalar Şekil 2-3’de gösterilmiştir (Umble and Umble, 1999).

Belli imalat ortamlarında, ürün akış diyagramları ayrılma, montaj birleşme ve montaj ayrılma noktalarını içerebilir. Bununla birlikte, genelde bu üç kategoriden biri baskın çıkar. Bu gözlem temel tesis yapılarının V, A ve T olarak biçimlendirilmesine olanak sağlamıştır.



Şekil 2-3 Birleşme, Montaj Ayrılma ve Montaj Birleşme Noktaları

2.4.2.1 I Tesislerinin Karakteristikleri

I akış hattının yapısı Şekil 2-4’te gösterilmiştir. Akış hattı çok miktarda standart ürünü üretmek için temel metottur. Bu yapı belli birinci işlemden sonra ikinci, ikinci işlemden sonra üçüncünün geldiği şekilde devam eden belli bir sıraya sahip işlemlerden oluşur. Tüm ürünler aynı sabit sırayı izlerler. Süreç içi stok miktarı azdır ve parçalar ürünün tamamlanması için bir rota doğrultusunda sürekli olarak bir işlemden diğerine doğru akarlar. I yapısına verilebilecek klasik örnek Henry Ford tarafından tasarlanmış olan montaj hattıdır. Sloganı şudur “ Herhangi bir renkte Model T alabilirsiniz siyah olması koşuluyla” çünkü en hızlı siyah boya kurumaktadır. İdeal I hattı üretim çeşitliliğini desteklemek için ya hiç ya da sadece önemsiz birkaç tane ekipman hazırlık süresine sahip olandır.

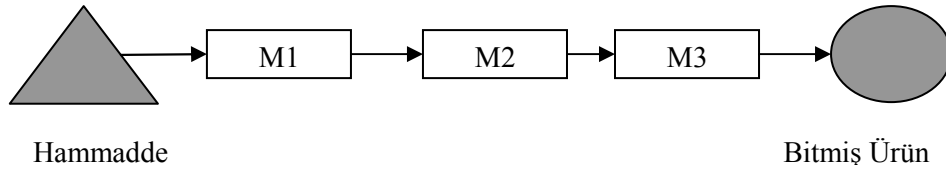
I yapısı için temel kontrol noktaları kısıt, giriş iş merkezi, kısıt ve yükleme tamponlarıdır. Tampon büyüklükleri tesis içindeki süreç içi stok miktarını belirler ve

üretim süresini doğrudan etkiler. Kısıt olmayanlarda akış ölçümleri (çizelge için performans) önemli iken kısıtta verimlilik ve kullanım oranı ölçümü önemlidir.

I yapısının genel üç karakteristiği şunlardır:

1. Yüksek Hacim
2. Standart Tasarım
3. Sabit Talep

I yapıları sürekli otomatik veya manüel olarak işleyen sürekli süreçler (kesikli imalat) veya tekrarlı süreçler (kesikli ürün ve hizmetler) olabilir. Bu durumların her birinde farklı konular vurgulanmalıdır. Bir I yapısı ile ilişkili bazı konular; bağımlı sıralamaların çıktı üzerindeki ve istatistiksel dalgalanmaların ters etkisi, yüksek sermaye yatırımı, hazırlık süreleri, işçiliğin uzmanlaşması, hattaki görevlere göre ücret farklılaştırmaları ve esneklikten yoksundur (Blackstone, 1997).



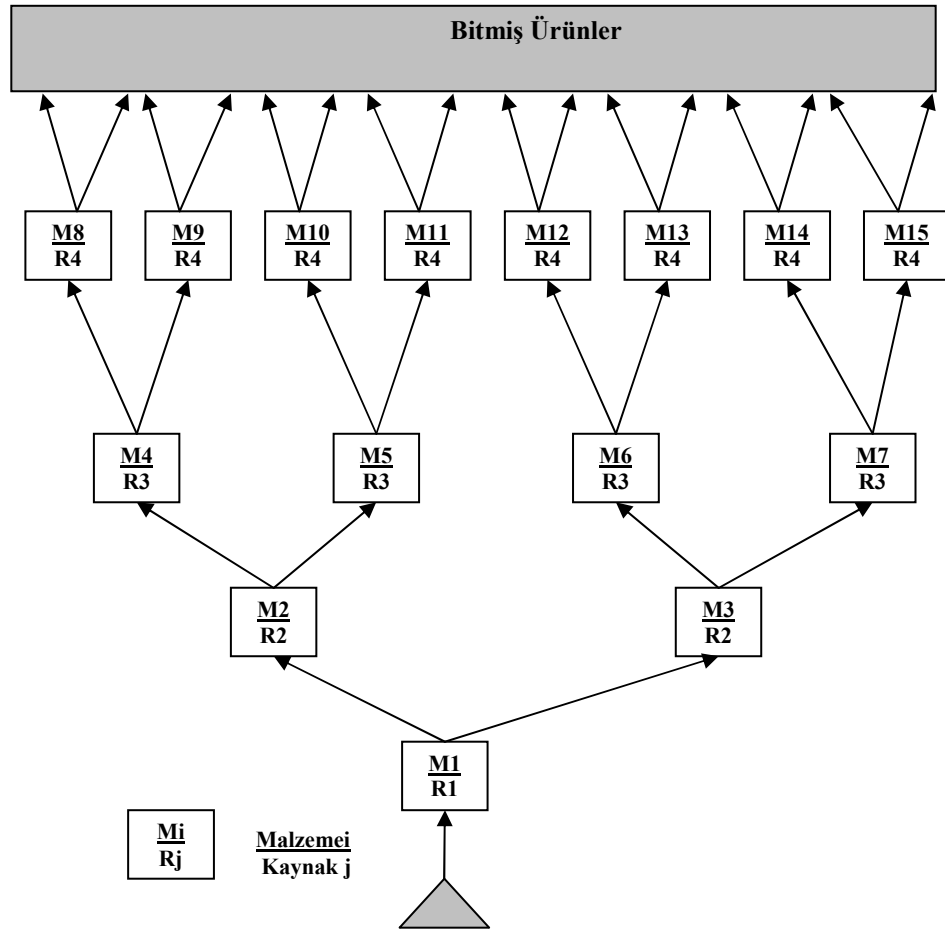
Şekil 2-4 Tipik Bir I Tesisi Karakteristiği

2.4.2.2 V Tesislerinin Karakteristiği

V tesisleri için ürün akış diyagramları üretim süreci boyunca ayrılma noktalarıyla karakterize olur. Bu tip tesislerde tek bir hammadde her ayrılma noktasında değişime uğratılarak birçok farklı son ürüne dönüştürülür. V tesislerinde ürün akışının genel şekli “V” harfini andırır. Şekil 2-5’te tipik bir V tesisinin ürün akış şekli görülmektedir. Bu şekil tek bir hammaddenin 4 farklı (R1-R4) kaynaktan 8 ürüne (M8-M15) dönüştürülmesini göstermektedir.

Tekstil, kağıt, kimya ve metal üretimi gibi süreç üretimine sahip tesislerin çoğu V tesisidir. Ayrıca metal, plastik, tahta ve pamuk elyafı gibi temel hammaddelerden geniş çeşitlilikte ürünler üreten imalat tesisleri de V tesisidir. Örneğin, bir tekstil tesisindeki temel üretim akışlarının şekli bir çelik şekillendirme tesisininkine çok benzemektedir (Umble and Umble, 1999).

V tesislerinin temel karakteristiği ürün ayrılma noktalarının olmasıdır. Her ayrılma noktasında hangi üründen üretilmesi gerektiği kararı alınmalıdır. V tesislerindeki en büyük problem ayrılma noktalarında malzemelerin yanlış atanmasıdır. V tesisi her biri farklı rotaya sahip fakat aynı hammaddeden üretilen çeşitli ürünlerin olduğu bir dizi I tesisinin toplamı olarak düşünülebilir. Bir V tesisi bir veya birkaç hammadde ile başlar sırayla işlemlerden geçtikçe ürünlere ayrılır.



Şekil 2-5 Tipik bir V Tesisinin Ürün Akışı

V tesislerinde temel kontrol noktaları kısıt ve girişteki iş merkezi, ayrılma noktalarındaki iş merkezleri, kısıt tamponları ve sevkiyat tamponlarıdır. Ayrılma noktalarındaki iş merkezleri malzemelerin yanlış atanmasını önlemek için çizelgelenmelidir. Tampon büyüklükleri atölyedeki süreç içi stok miktarını belirler ve

üretim süresini doğrudan etkiler. Kısıtta verimlilik ve kullanım oranının ölçümü önemli iken kısıt olmayanlarda akışların ölçümü önemlidir. Çoğu V tesisindeki genel karakteristikler şöyledir;

- Birkaç hammaddenin çok sayıda ürünü oluşturmak üzere ayrılması
- Sabit rotalama
- Sermaye yoğun ekipman
- Maliyet rekabeti yapılamıyor olması
- Düşük kar payına sahip olması
- Kapasitesinin çok fazla olması
- Ayrılma noktalarında malzemenin yanlış biçimde ayrılması
- Hammadde ve bitmiş ürün stoklarının çok fazla olması
- Genelde geç ulaşamayacak kadar etkin olmayan planlama bilgisi
- Bölüm verimlilikleri ve kullanım oranlarında düşük performans (Cox and Blackstone, 1997).

2.4.2.3 A Tesislerinin Karakteristikleri

A tesisleri süreç boyunca montaj birleştirme noktaları tarafından karakterize edilmiştir. Bu tip tesislerde, çok sayıda satın alınmış veya imal edilmiş bileşen parçası veya malzeme tek bir son ürün oluşturmak üzere alt montajlar şeklinde birleştirilir. Son montaj işlemine geçilmeden önce çeşitli sayıdaki alt montaj işlemi gereklidir. Bir tesisteki ürün akış diyagramı temel birleştirme süreci temelinde bir piramidi andırır. Bu yüzden tasarımda A tesisi denmiştir.

Şekil 2-6'da tipik bir A tesisi ürün akış diyagramını göstermektedir. Toplamda 8 farklı ürün veya bileşen parçası tek bir ürünün montajı ya da üretilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca farklı kaynaklar tüm alt montajlar R 99'daki son montaja ulaşana kadar çeşitli parçaları işlemeye ve alt montajını yapmaya devam ederler.

A tesisleri tipik olarak 4 baskın özellik göstermektedirler.

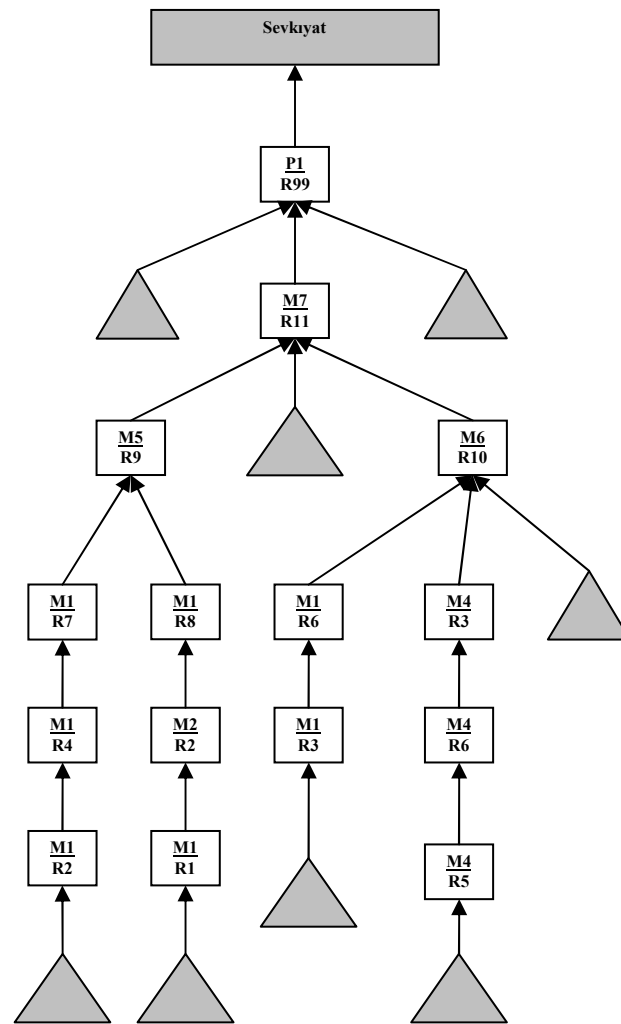
1. Tesiste çok sayıda üretilmiş parça az sayıdaki son ürüne dönüşmek üzere montajlanır.
2. Bileşen parçaları çoğunlukla özel tek bir son ürüne dönüşür.

3. Bileşen parçaları için üretim rotaları bir son ürün için yüksek oranda benzer değildir.
4. Üretim sürecinde kullanılan makina ve parçalar genel amaçlı olarak kullanılmaya eğilimlidirler ve sıklıkla farklı işlerde kullanılırlar.

A tesislerinde parçalar genellikle tek bir son ürün olarak işlendiğinden ve böylece malzemelerin yanlış tahsisine çok az imkan olduğundan montaj birleştirme noktalarında baskındırlar. Bunun yerine, A tesislerinde kaynakların yanlış tahsisinden kaynaklanan problemler doğmaktadır. Bireysel olarak kaynakların çok farklı malzemelerle süreç görmesinden dolayı, yanlış kaynak tahsisine çok rastlanılmaktadır. Yüksek verimliliği sağlamak için oldukça büyük parti miktarlarıyla çalışılır ve bu durum hazırlık zamanlarında önemli azalışlar içermektedir. Süreçte büyük partiler halinde çalışma işlemi kararsız bir dalga akışına benzetilebilir ve bu da düşük kaynak kullanımının çizelgede bol ya da kıt işlerine sebep olur. Fazla zamanla yok edinilmesine uğraşılmasına rağmen, siparişler çizelgenin gerisinde kalabilmektedir. Stok yığınları tesiste sabit olarak yer değiştirmesinden dolayı, yanlış görünümlü “sapmaya uğramış” darboğazlar vardır. Bol ya da kıt çevreler montaj hattında özellikle parçaların çizelgelenmesinde bir kararsızlık durumu yaratırlar. Kaynak kullanımı ve çizelge arasındaki anlaşılır zıtlasmalar, yüksek bileşen parça stok düzeyleri ve parça yoklukları ile iki katına çıkmaktadır ve bu durumda yöneticileri uzlaşma sağlama konusunda zor bir duruma düşürmektedir (Umble and Umble, 1999).

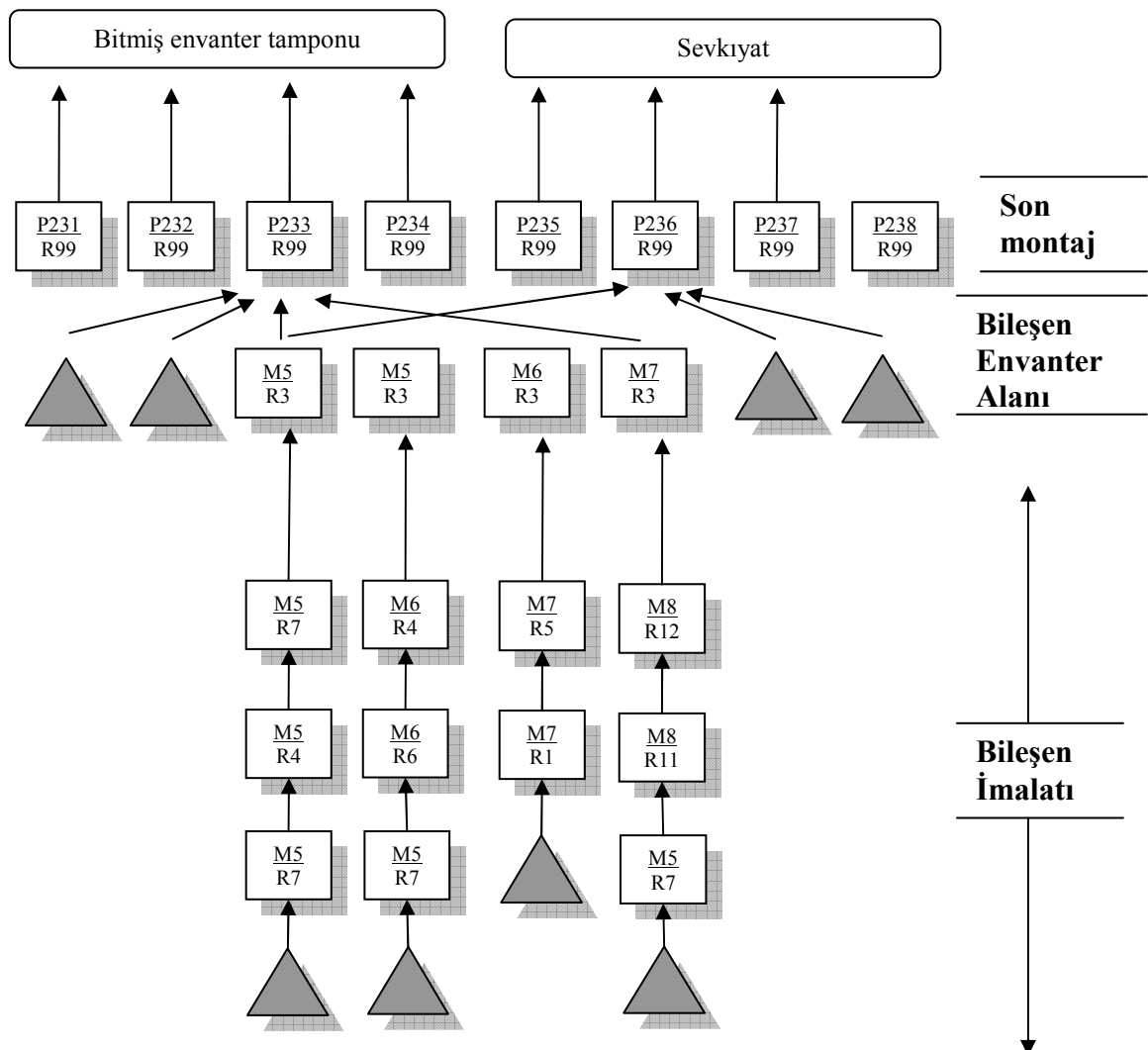
2.4.2.4 T Tesislerinin Karakteristikleri

T tesisleri, birçoğu çok sayıda son üründe ortak olan göreceli olarak sınırlı sayıda bileşen parçasından farklı son ürünlerin montajlandığı temel birleşme noktalarının egemenliğindedir. T tesislerinde, ürün yapısının çok sayıda montaj ürün kazanmak için genişlediği son montaj işleminde kritik kaynak ve ürün etkileşimleri meydana gelir. Dar bileşen tabanı, son ürünleri temsil eden çok geniş bir tepe kısım ile ürün akışı “T” harfini andırır.



Şekil 2-6 Tipik Bir A Tesisi Ürün Akışı

Şekil 2-7’de bir T tesisinde tipik olarak akışın nasıl olduğu gösterilmektedir. Şekilde az sayıda olası son ürün şekilleri vardır. Ayrıca çok sayıda ürünün montajlandığı sekiz adet bileşende görülmektedir. Son montaj işleminden önceki bileşen ambarlarının bulunduğunu vurgulamakta yarar vardır.



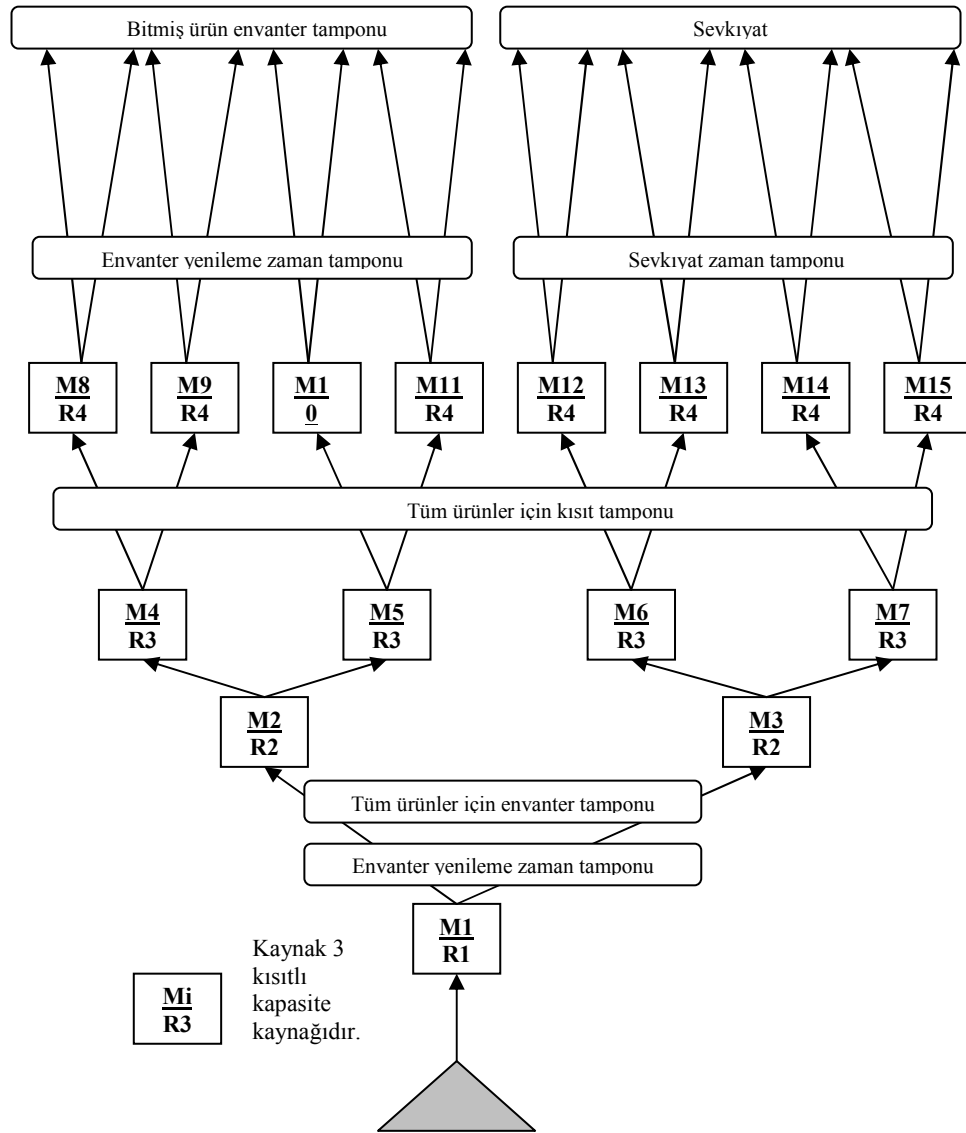
Şekil 2-7 Tipik Bir T Tesisi Ürün Akışı

2.4.2.5 V Tesislerinde Tamponların Stratejik Olarak Yerleştirilmesi

Eğer talep edilen teslim süreleri ürün imalat sürelerinden daha kısa ise bitmiş ürün ve süreç içi stok tamponları uygundur. Stok tamponlarının zaman dikkate alınarak sürekli biçimde yenilenmesini garantilemek için stok yenileme tamponları oluşturulur. Bitmiş ürün stok tamponlarında bulundurulmayan herhangi bir ürünün, müşteri siparişlerinin çizelgedeki biçimde sevk edildiğinden emin olmak için bir sevkıyat zaman tamponu ile korunması gereklidir. Son olarak V tesisleri sık sık bir kısıt zaman tamponu ile korunması gereken bir kapasite kısıtına sahiptir.

Şekil 2-8’de bir V tesiste stok ve zaman tamponlarının tipik olarak yerleştirilmesi görülmektedir. Şekilde bir stok yenileme zaman tamponu tarafından

desteklenen bir bitmiş ürün vardır. Ayrıca özel müşteri siparişlerini karşılamak için üretilen birmiş ürünler için bir sevkiyat zaman tamponu görülmektedir. Bu zaman tamponlarının tümü de üçüncü kaynakta (R3) konumlandırılmış olan bir önceki zaman tamponundan akarak için malzemelere izin verilen ek süreç zamanını temsil etmektedir. R3'te bir kısıt zaman tamponu R2'de konumlandırılan envanter tamponundan akan malzemelerin, R3'e çizelgesinin birleşmesini sağlamak için ulaşmasında yeterli zamanı olmasını sağlamak için oluşturulmuştur.



Şekil 2-8 V Tesislerinde Envanter ve Zaman Tamponlarının Yerleşimi

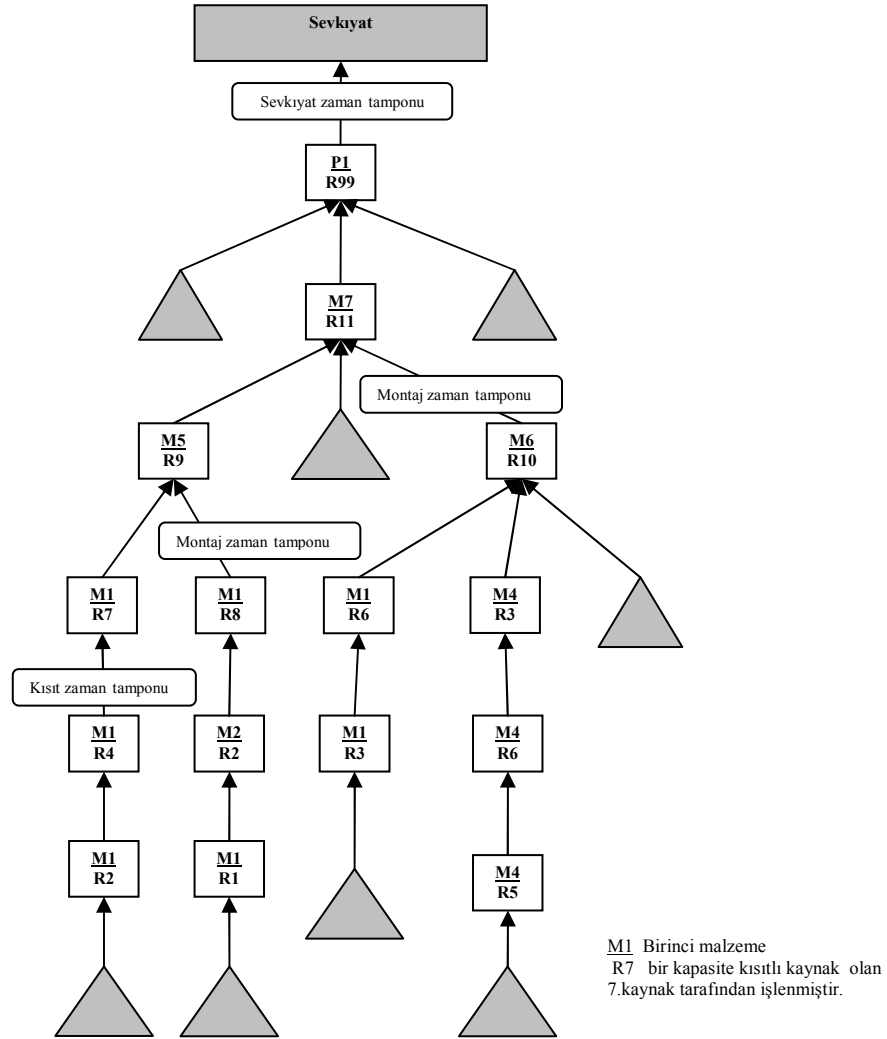
Son olarak bir stok yenileme zaman tamponu tarafından desteklenen süreç içi stok tamponu R2'den önce yerleştirilmiştir. Bu diyagramda gösterilmemesine rağmen, hammadde stok tamponları gereksinim duyulan satın alınan bileşenler ve malzemelerin elverişliliğini garantilemeye yardımcı olmak için kullanılabilirler.

2.4.2.6 A Tipi Tesislerde Tamponların Stratejik Olarak Yerleştirilmesi

Özel ürünlere karşı yüksek talep dışında kalan durumlarda, A tesisler için bitmiş ürün stok tamponları genelde uygun değildir. Süreç içi bileşen stok tamponları genelde pazara karşılık verebilme gücünü iyileştirmek için kullanılmaz çünkü son ürünlerin her birini üretmek için çok fazla sayıda parçaya gereksinim vardır.

Birden fazla ürün için özel bileşen parçaları ortak değildir ve ihtiyaç duyulan parçaları talebin hacmi ayarlamaz. Bu yüzden A tesisler sıkça kapasite kısıtlarına sahip olurlar. Bu tip durumlarda, hem kapasite kısıt zaman tamponları hem de montaj zaman tamponları kısıt ve kısıt olmayan kaynak tarafından işlenen parçaların zamanında salınması ve kontrolünü garantiye almak için zorunludur. Teslim tarihlerine uyabilmek için sevkiyat zaman tamponlarının sürekli olarak kullanılması gereklidir.

Şekil 2-9'da A tesisinde tipik olarak ihtiyaç duyulan zaman tamponlarının yerleştirilmesi gösterilmiştir. Bir kısıt zaman tamponu R7 kısıtından önce yerleştirilmiştir. R9 ve R 11 'deki alt montaj işlemlerinde kısıt olmayan tarafından işlenmiş parçaların zamanında ulaşmasını garantilemek için bir montaj zaman tamponuna ihtiyaç duyulmaktadır. (Not: R99'daki son montaj işleminde bir montaj tamponuna gereksinim duyulmamaktadır. Çünkü tüm işlenen parçalar, kısıt tarafından işlenen bir bileşene sahiptir).



Şekil 2-9 A Tesiste Envanter ve Zaman Tamponlarının Tipik Olarak Yerleştirilmesi

2.4.2.7 T Tipi Tesislerde Tamponların Stratejik Olarak Yerleştirilmesi

T tesislerinde rafta bulunmayan mala olan talep durumu söz konusudur. Ancak bitmiş ürün stok tamponları ihtiyatlı olarak kullanılmalıdır çünkü her tipten büyük bir stoğun taşıma maliyeti çok fazla olacaktır. Bunun yerine fiziksel olarak son montaj bileşen ambarlarında yerleştirilmiş, bileşen stok tamponlarında süreç içi stok korunmalıdır. Bu tamponlar, bitmiş ürün stok tamponlarını yenilemek ve müşteriye tatmin etmek için son montajda ihtiyaç duyulan tüm bileşenleri tutar. Sevkiyat tamponları tek tek müşteri siparişlerini korurken stok yenileme zaman tamponları,

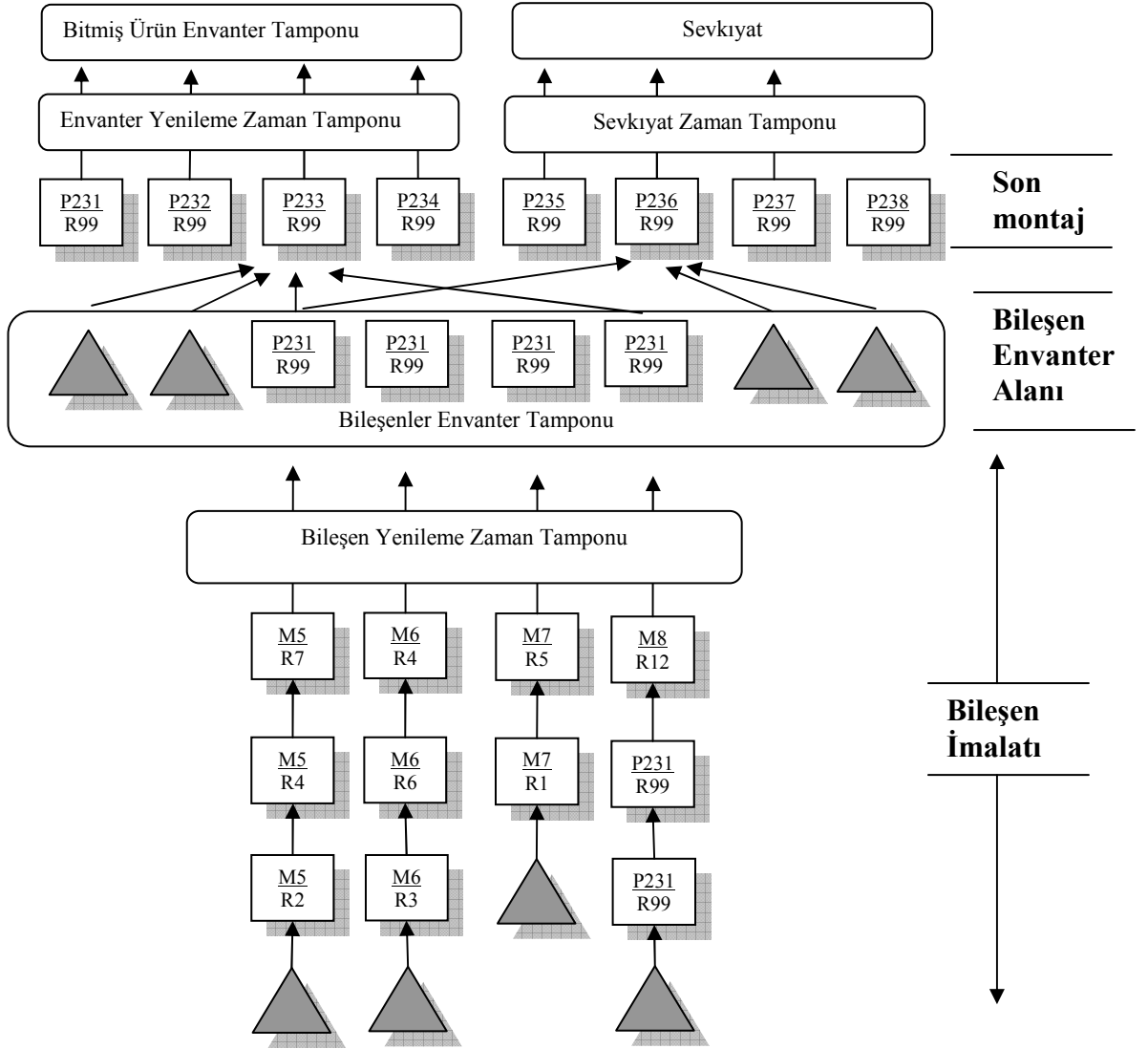
bileşen ve bitmiş ürün stok tamponlarını destekler. T tesislerde tipik olarak gerçek kapasite tamponları bulunmaz bu yüzden kısıt ve montaj tamponlarına genelde ihtiyaç duyulmaz.

Şekil 2–10 ayrıca bir T tesiste tipik olarak ihtiyaç duyulan tamponların yerleştirilmesini göstermektedir. Sevkıyatı hızlı olan ürünler için bir bitmiş ürün stok tamponu, bir bitmiş ürün zaman tamponu tarafından desteklenir. Ayrıca bir sevkıyat tamponu bitmiş ürün stok tamponunda depolanmayan ürünler için oluşturulmuştur. T tesislerde önemli bir tampon, son montajdan önceki bileşen stok tamponudur. Bu stok tamponu çeşitli son ürünlerin montajında gereksinim duyulan tüm bileşenler için yeterli sayıda kaynağı içermelidir. Bu stok tamponu ayrıca bileşen yenileme stok tamponu tarafından zamanında stok tamponunun yenilendiğinden emin olmak için desteklenir.

2.4.2.8 Kombinasyon Tesislerde Tamponların Stratejik Olarak Yerleştirilmesi

Üretim tesislerinin önemli bir kısmı üç temel tesis yapısından birine sahiptirler. Ancak bazıları birden fazla tesis tipinin özelliklerini gösterirler. Dikey olarak bütünleşmiş üretim faaliyetleri sıkça iki veya üç temel tesis yapısının özelliklerini birlikte gösterirler. Fakat bazı yüksek derecede birleşmiş üretim ortamlarında V, A ve T yapılarından birinin özelliğini taşıyan sadece bir faaliyet bulmak mümkündür. Bunun bir örneğini ahşap döşemeli koltuk ve sandalye imalatında görmek mümkündür. Tesisin girişi bir V sürecidir. Bu parçalar çeşitli satın alınmış parçalarla birlikte, çeşitli çerçeveleri oluşturmak üzere bir A sürecinde montajlanır. Tesisin son kısmı ise bir T sürecidir. Burada çeşitli bitmiş çerçeveler alınır ve bitmiş mobilya üretmek üzere seçilmiş farklı malzemeler ve modellerin herhangi biri eklenir daha sonra üretmek üzere seçilmiş farklı malzemeler ve modellerin herhangi biri eklenir daha sonra ise cilalama işlemi yapıp bitirilir.

Bir tesisteki dikey bütünleşme derecesi artıkça, tesisi yönetmek için gerekli olan lojistik sistemde karmaşıklaşır. Böylece saf V, A veya T bölümüne ayrı bir fabrika olarak davranırken geri kalan bölümleri iç müşteriler veya tedarikçiler olarak düşündürmek. Stok ve zaman tamponları daha sonra fabrika olarak düşünülmüş bölümün ihtiyaçları doğrultusunda tasarlanabilir (Umble and Umble, 1999).



Şekil 2-10 T Tipi Tesislerde Envanter ve Zaman Tamponlarının Tipik Olarak Yerleştirilmesi

2.5 Kısıtlar Teorisi ve Performans Ölçütleri

Kısıtlar teorisine göre performans ölçütleri, finansal ölçütler ve faaliyet ölçütleri olarak sınıflandırılmaktadır (Chase, et al., 1998). Finansal ölçütler; net kar, yatırım karlılığı ve nakit akışından oluşmakta, faaliyet ölçütleri ise; süreç (throughput), stok ve

faaliyet giderlerinden oluşmaktadır. Bunlar aşağıdaki şekilde tanımlanabilir (Umble and Srikanth, 1995; Goldratt and Fox, 1986 , Chase, et al.,1998).

2.5.1 Finansal Ölçüler

Genellikle para kazanmak için üç temel ölçüm seviyesinin olduğu düşünülür. Bir şirketin para kazanırken bir kesin bir ölçüme ihtiyacı vardır dolayısıyla “Net kar” sağlanmalıdır. Ek bir ölçümde iş için yatırım yapılan paranın nasıl harcandığının gösterilmesi gerekliliğidir ki bu ölçüm değeri de “yatırım karlılığı”dır. Bu iki ölçüm değeri yeterli gibi görünür ancak diğer ölçüm değeri ise “nakit akışı”larıdır. Bu üç ölçüm değeri bir şirketin para kazanıp kazanmadığını açık olarak gösterir (Goldratt, 1992).

2.5.1.1 Net Kar

Net kar, “firmanın para kazanıp kazanmadığının mutlak bir ölçütüdür” (Küçüksavaş vd., 2005). Tablo 2-1, geleneksel net kar ve süreç muhasebesinde uygulanış farklılıklarını göstermektedir (Noreen, et al., 1995).

Tablo 2-1 Geleneksel Net Kar ve Süreç Muhasebe Sistemlerinin Karşılaştırılması

Geleneksel Değişken Maliyet	Süreç Muhasebesi
$(Gelir) - \left(\begin{matrix} Direkt \\ Hammadde \end{matrix} \right) - \left(\begin{matrix} Direkt \\ İşgücü \end{matrix} \right) - \left(\begin{matrix} Direkt \\ Masraf Giderleri \end{matrix} \right)$ $= \left(\begin{matrix} Katkı \\ Miktarı \end{matrix} \right) - \left(\begin{matrix} Sabit \\ Masraflar \end{matrix} \right)$ $= \left(\begin{matrix} Net \\ Kar \end{matrix} \right)$	$(Gelir) - \left(\begin{matrix} Toplam Degisken \\ Maliyet \end{matrix} \right)$ $= (Süreç) - \left(\begin{matrix} Faaliyet \\ Giderleri \end{matrix} \right)$ $= \left(\begin{matrix} Net \\ Kar \end{matrix} \right)$

Kısıtlar Teorisinde “Net Kar”; “Süreç” değerinden “Faaliyet Giderleri”nin çıkartılmasıyla bulunur. Yatırım karlılığı, ürünlere olan yatırımların geri dönüşlerinin bir toplamı olarak tanımlanabilir. Yatırım karlılığı, yönetimin satışlarla ilgili masraflarını kontrol yeteneğini ölçen bir formüldür. Geri dönüş oranı yatırım merkezinde harcama masrafları için kullanılan paranın satıştan elde edilen miktarının bir ölçüsüdür (Garrison and Noreen, 1994).

Yatırım karlılığı başka bir tanımla “firmanın para kazanma hedefinin oransal bir ölçütüdür” (Küçüksavaş vd., 2005).

$$\begin{aligned} \text{Yatırım Karlılığı} &= (\text{Süreç} - \text{Faaliyet Giderleri}) / \text{Stok} \\ &= \text{Net Kar} / \text{Stok} \end{aligned}$$

2.5.1.2 Nakit Akışları

Nakit akışı, “firmanın finansal yükümlülüklerini karşılayabilmesi için mevcut olan para miktarı” anlamına gelmektedir (Küçüksavaş vd., 2005). Nakit akışları finansal dönem sonunda nakit dengesini hesaplar, bu yüzden Kısıtlar Teorisinde bir firmanın kendini sürdürebilmesi için gerekli olan ölçüm değerleri olarak adlandırılmaktadır. Yukarıda bahsedilen üç ölçüm değeriyle bir firmaya yatırım yapacak olan kimselere veya hissedarlara şirketin performansının ne düzeyde olduğu gösterilebilmektedir.

2.5.2 Faaliyet Ölçütleri

Goldratt, işletmenin temel hedefinin, içinde bulunulan zamanda ve gelecekte para kazanmak olduğunu savunmuştur. Her ne kadar, istihdam olanakları yaratmak, satışları ve pazar payını arttırmak, kaliteli üretim sağlamak gibi işletme amaçlarını kabul etmekteyse de, bunların işletmenin uzun dönemli varlığı açısından yeterli olmadığını düşünmektedir. Goldratt’a göre bütün bunlar hedef değil, hedefe ulaşmak için kullanılması gereken araçlardır.

Kısıtlar teorisi, işletmenin var oluş nedeninin para kazanmak olduğu esasına dayanan bir felsefe olarak kabul edilebilir. Net kar, yatırım üzerinden getiri gibi geleneksel finansal ölçüler üzerinden başarı sağlamaya yönelik faaliyetler sonucunda para kazanmak amacı da gerçekleşecektir. Ancak Kısıtlar Teorisi çerçevesinde, üretim/işlemler sisteminin “para kazanma amacı” doğrultusundaki gelişimini değerlendirmek için üç ölçü geliştirilmiştir. Yerel faaliyetlerle, işletmeler tarafından genellikle kullanılan küresel ölçütler (kar ve yatırım üzerinden getiri gibi), arasında bir köprü niteliğinde olan bu ölçüleri şu şekilde sıralamak mümkündür (Üreten, 1998).

2.5.2.1 Süreç

Süreç (throughput), sistemin satışlardan para yaratma hızıdır (Goldratt and Fox, 1986). Goldratt satışlardan hammadde maliyetlerinin çıkarılması sonucu elde edilen miktarı “süreç” olarak tanımlamıştır. “Throughput” kelimesinin Türkçe karşılığı Tanış (1998) makalesinde “süreç” olarak göstermiştir, çünkü “throughput” bir süreç sonucu ortaya çıkan bir tutardır (Küçüksavaş vd., 2005):

$$\text{Süreç} = (\text{Satışlar} - \text{Toplam değişken maliyet}) / \text{Zaman} = \text{Katki Miktarı}$$

Sistemin satışlardan para yaratma hızı (süreç), sisteme giren para miktarını ifade etmenin yanı sıra, zaman kavramını da içermektedir. Bu tanımlama çerçevesinde sistemin satışlardan para yaratma hızını, satılan mallar olarak tanımlamak mümkündür. Dolayısıyla, mamul stokları satılmadığı sürece, stok kapsamında kalmaya devam edecektir. Tanımın bu şekilde verilmesinden amaç, ürünler *satılabilir* düşüncesiyle üretimin sürdürülmesinin engellenmesidir. Bu tür bir hareket tarzı maliyetlerin yükselmesine, stok oluşmasına ve nakit harcanmasına neden olur (Üreten, 1998).

2.5.2.2 Stoklar

İşletmenin üretim sürecinde dönüştürerek satmak amacıyla satın aldığı unsurlara yatırdığı fonlardır. Stoklar sistemde bağlı kalan para miktarı olarak ifade edilmiştir. “Satılacak unsurlara yatırılan para” şeklindeki tanımdan, hammaddeler, yarı mamuller, satın alınmış parçalar ve müşteriye satılması hedeflenen tüm “katı” unsurlar akla gelmektedir. Ancak, stoklar bir işletmenin tesis ve üretim araçlarına yaptığı yatırımı da içermektedir (Dettmer, 1997). Bunun yanında, işçilik ve genel üretim giderleri dahil edilmemektedir (Küçüksavaş vd.,2005).

2.5.2.3 Faaliyet Giderleri

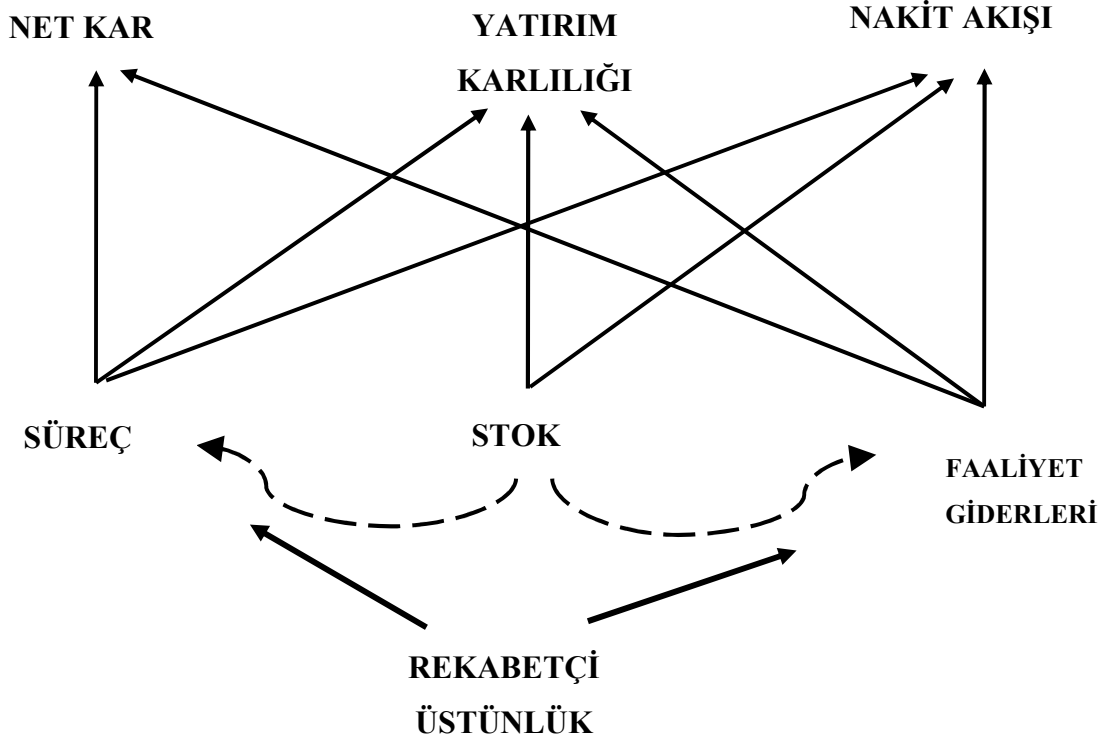
Faaliyet giderleri, firmanın stoğu sürece çevirmek için harcadığı tüm paradır (Goldratt, 1986). Goldratt, satışlardan hammadde maliyetlerinin çıkarılması sonucu elde edilen miktarı süreç olarak tanımlamış ve hammadde maliyetlerini tek değişken gider kabul ederek hammadde maliyetleri dışındaki tüm maliyetleri faaliyet giderleri olarak nitelendirilmiş ve sabit kabul etmiştir.

Goldratt'a göre, herhangi bir yerel faaliyetin, yukarıda açıklanan bu üç boyut üzerindeki etkisini değerlendirmek gerekir. Böylelikle, bir faaliyetin, sistemin hedefine ulaşmasına yönelik katkısı belirlenebilecektir (Dettmer, 1997).

Goldratt ayrıca, yukarıda sıralanan üç boyuttan herhangi birinde meydana gelecek olumlu ya da olumsuz bir değişikliğin, diğer boyutlardan en az birinde, belki de her ikisinde birden değişiklik meydana getireceğini ileri sürmüştür. Örneğin, satışları arttırmak suretiyle satışlardan elde edilen fonlar arttığında, stoklar ve işlem giderleri artacaktır. Bunun nedeni, artan satışları karşılamak için daha fazla stok bulundurulmasından ve daha fazla üretebilmek için daha fazla işlem giderlerinin (işgücü vb.) gündeme gelmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan, stokları düşürücü birtakım önlemler alındığı takdirde, stok bulundurma maliyetleri düşeceğinden işlem maliyetleri de düşecektir.

Net kar satışlardan harcamaların çıkartılması olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla harcamalardaki azalış, net karda artışa sebep olacaktır. Eğer net kar artarsa, yatırım karlılığı artacaktır. Bu ayrıca stokların sabit kalmasına veya artmamasına sebep olacaktır. Faaliyet giderlerinin azalmasıyla, daha az nakit harcanacaktır. Bu durumda yılsonunda nakit akışlarında pozitif bir etki gözlemlenecektir. Şekil 2-11'de yukarıda sayılan rekabetçi üstünlüğün bir gösterimi bulunmaktadır (Goldratt and Fox, 1986).

İşletmenin amacı, satılan ürün miktarını arttırmak, stokları ve işlem maliyetlerini düşürmek şeklinde tanımlanabilir. Böylelikle para yaratma amacı gerçekleşecek ve aynı zamanda geleneksel ölçüler olan kar ve yatırım üzerinden getiri ölçüleri de karşılanmış olacaktır.



Şekil 2-11 Performans Ölçütleri Üzerinde Rekabetçi Üstünlük

2.5.3 Ürün Karması

Üretim sistemlerinde alınan en önemli kararlardan biri çıktıyı en büyükmek için üretilmesi gereken ürün karmasıdır. Kısıtlar Teorisi sistemi altında ürün karmasına karar vermek için bir çok algoritma geliştirilmiştir (Souren, et al., 2005). Hsu ve Chung (1998) baskınlık kuralıyla, Onwubolu'nun (2001) çoklu kaynak kısıtı durumunda önerdiği genetik algoritma yaklaşımıyla tabu araması hürüstiği, bu konuyla ilgili örneklerden sadece bir kaçıdır.

Kısıtlar Teorisinde ürün karmasının belirlenmesi işlemi karlılığı en yüksek olan ürünlerin, ürün karması için ilk sırada gelmesine dayanır. Bu yöntemle oluşturulan ürün karmasıyla bir ana üretim çizelgesi oluşturulur. Kısıtlar teorisinde kullanılan 5 adımlı odaklanma sürecinden ilk ikisi, kısa dönemli ürün karması kararlarını desteklerken, diğer adımlar üretim sistemlerindeki orta yada uzun dönemli kapasite planları oluşturmayı kapsamaktadırlar (Souren, et al., 2005). Fredendal ve Lea (1997) tarafından

revize edilerek önerilen Kısıtlar Teorisinde kullanılan ürün karması algoritması aşağıdaki gibidir:

1.Adım: Sistem Kısıtlarının Tanımlanması

- 1.a. Bir kaynak kapasitesi ve talep arasındaki farkın hesaplanması
- 1.b. Kaynakların üzerine düşen yüklerin hesaplanması
- 1.c. Darboğazın belirlenmesi

2.Adım: Kısıtların nasıl düzeltileceğine karar verilmesi

- 2.a. Ürünün üretim zamanına bağlı olarak ve ilk darboğazdan yararlanarak en büyük katkısını hesapla
- 2.b. Kapasite kısıtlı kaynakta üretilen birim başına çıktıyı hesaplanması
Darboğaz kaynakta ürünün azami karının ürünün darboğaz kaynakta işleme zamanına oranını hesapla
- 2.c. Her üründen ne kadar üretilmesi gerektiğini belirle
- 2.d. Net karı hesapla (Çıktı- İşletme Gideri)

Net kar, her üründen üretilen toplam miktar ile ilgili ürünün çıktısı çarpılıp bu sonuçtan işlem gideri çıkartılarak bulunur. Karlılıklarına göre azalan şekilde darboğazda işlenmesi gerekmeyen ürünlerin (bedava ürünler) hepsinin üretilmesi planlanır.

3.Adım: Geri kalan her şeyi 2. Adım'da verilen kararlara bağla. Kısıt olmayan kaynaklardan hiçbirini gerek duyulandan fazla çalıştırma. Kaynakları meşgul tutmak amacıyla sisteme malzeme bırakma.

Kısıtlar Teorisi ve tamsayılı programlama teknikleriyle karlılığı en büyüleyecek bir ürün karması bulma metodu üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Ancak tamsayılı programlama teknikleriyle en uygun ürün karması bulma işlemi uzmanlık ve çoğu zamanda uzun süreler gerektirmektedir. Kısıtlar Teorisi teknikleri ile ürün karması bulmanın diğer tekniklere göre üstünlüğü Luebbe ve Finch (1992) tarafından belirlenmiştir, ayrıca bu teknik daha kolay, hızlı ve anlaşılırdır.

2.6 Kısıtlar Teorisi ve Problem Çözme - Düşünce Süreçleri

Kısıtlar Teorisi, kısıtların ortadan kaldırılmasına yönelik olarak sistemin ana problemleri üzerine yoğunlaşan, alternatif çözümler sunan çeşitli araçlar

kullanılmaktadırlar. Bu araçlara bütün olarak düşünce süreçleri adı verilmektedir. Düşünce süreçleri (DS), sistemin bütün olarak performansını sınırlandıran kısıtın incelenmesi, çözüm önerilmesi, çözümlerin önkoşullarının bulunması ve uygulanması sırasında karşılaşılabilecek güçlüklerin DS yöntemleri kullanılarak ortadan kaldırılmasını içerir (Köksal ve Karşılıklı, 2000).

Yapılan araştırmalar, organizasyonel değişim sürecinin başarılması en zor süreç olduğunu göstermektedir. Gerekli değişimleri kolaylıkla ve başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmek için “düşünce süreçleri” yaklaşımı geliştirilmiştir. DS’nin amacı, bir organizasyonun mevcut durumunu geliştirmek için gerekli faaliyetleri tanımlamak, belirsiz durumlara çözüm üretmektedir (Stein, 1997). Düşünce süreçlerinin temelinde üç soru bulunmaktadır.

Ne değişecek? Bir organizasyonun/sistemin geliştirilmesi değişimi gerektirir, fakat değişim her zaman gelişmeyle sonuçlanmaz. Bazen kötü sonuçlara neden olabilir. Değişim sadece doğru bileşene odaklandığında gelişme ile sonuçlanır. Bu nedenle neyin değiştirileceğini belirlemek çok önemlidir (Choe and Herman, 2004). Bu soru ile, organizasyonun performansını arttırmayı ya da performansını geliştirmeyi engelleyen, yanlış politikalar ve etkenler tespit edilir. Bunun için sonuç-neden-sonuç tekniği kullanılır. Burada kısıt olarak ifade edilen durumlar, arzu edilmeyen sonuçlardır. Ne değişecek sorusu, kısıtlar teorisi uygulanarak organizasyonel bir kısıtın, yani performansı engelleyen temel problemin tanımlanmasına öncülük eder. Bu amaçla mevcut gerçeklik ağacı yöntemi kullanılır.

Neye dönüşecek? Bu aşamada kök problem için mantıklı, basit ve pratik çözümler araştırılır. Kısıtlar teorisi, gerçek dünyada basit çözümlerin, problemlerin ortadan kaldırma gücüne sahip olduğunu vurgulamaktadır. Bu aşamada amaçlanan, çözüm üretmeyen politikaların neye dönüşmesi gerektiğini belirlemektir. Bunun için, buharlaşan bulut ve gelecek gerçeklik ağacı yöntemleri kullanılır.

Dönüşüm nasıl gerçekleştirilecek? Bu aşamada, çözümün nasıl gerçekleştirileceği sorusunun yanıtı aranır. Bunun için, ön gereksinim ve geçiş ağacı kullanılır (Akman ve Karakoç, 2005).

Bu sorular problem çözme tekniklerinin de esasını oluşturur. Bu soruları cevaplamak için temel olarak neden-sonuç diyagramlarına dayanan araçlar kullanılır.

Düşünce süreçlerinde sorular, amaçlar ve kullanılan yöntemler Tablo 2-2’de gösterilmiştir (Rahman, 1998).

Tablo 2-2 Düşünce Süreçlerinde Kullanılan Yöntemler

JENERİK SORULAR	AMACI	YÖNTEMLER
Ne değişecek?	Temel problemlerin tanımlanması	Mevcut Gerçeklik Ağacı
Neye dönüşecek?	Basit ve pratik çözümler Geliştirmek	Buharlaşan Bulut Gelecek Gerçeklik Ağacı
Dönüşüm nasıl gerçekleşecek?	Çözümlerin uygulanması	Ön Gereksinim Ağacı Geçiş Ağacı

DS araçları değişimi yönetmek amacıyla kullanılırlar. Tablo 2-2’de görüldüğü gibi beş temel araçtan oluşurlar. Bunlar; mevcut gerçeklik ağacı, buharlaşan bulut, gelecek gerçeklik ağacı, ön gereksinim ağacı ve geçiş ağacı olarak sınıflandırılabilir.

2.6.1 Mevcut Gerçeklik Ağacı (MGA)

Düşünce süreçlerinin uygulanmasındaki ilk adım istenmeyen etkilerin listelenmesi ve bunlara göre mevcut gerçeklik ağacının oluşturulmasıdır. MGA bir sistemin mevcut durumunu analiz etmek ve problemleri daha iyi anlamak için oluşturulur ve sistemin performansını azaltan istenmeyen etkilere sahip temel problemleri tanımlar (Pfeifer and Tillmann, 2003). MGA, istenmeyen etkiler ve onların sonuçları arasındaki neden-sonuç ilişkilerini gösteren bir diyagramdır. Amaç, problem yaratan kök nedeni bulmaktır. Öncelikle kök neden bulunur ve ortadan kaldırılır. Böylece istenmeyen etkiler yok olur (Stein, 1997). Özer’e göre (2001) MGA, istenmeyen bir sonuçtan temel nedene ulaşmaya kadar birbirine bağlı nedenlerin ve sonuçların oluşturduğu bir çözüm yöntemidir (Akman ve Karakoç, 2005).

2.6.2 Buharlaşan Bulut

Özer’e (2001) göre buharlaşan bulut, istenmeyen sonucu ortadan kaldırmak için önerilen çözümlerle temel ve ön gereksinimlerin tanımlandığı, çözümler arasındaki çatışmanın ortaya konduğu ve bu çatışmanın yok edilmesi için enjeksiyonun yapıldığı araçtır. Köksal ve Karşılıklı’ya (2000) göre, bu araç, tek bir problemin ayrı olarak ele

alınmasını, karşılaşılan çatışmaların ve varsayımların belirlenmesini ve çözüm amacıyla incelenmesini içerir. Buharlaşan bulut yöntemi problemin yaşandığı mevcut durumdan arzulanan gelecek duruma geçişte, problemlerin ortadan kaldırılmasına katkıda bulunarak etkili bir köprü görevi görmektedir (Davies, et al., 2005).

2.6.3 Gelecek Gerçeklik Ağacı (GGA)

Geleceği hayal ederek canlandırmak ve tahmin etmek için kullanılan bir araçtır. Gelecek gerçeklik ağacı, mevcut sistemde yapılacak değişiklikler ile meydana gelebilecek sonuçlar arasındaki neden sonuç ilişkisini gösterir. GGA, bir organizasyon için strateji, vizyon veya bir planın resminin görülmesini sağlar (Mcmullen, 1998). Önerilen değişimin yararlarını, doğuracağı olumsuz etkileri ve bu etkilerin nasıl ortadan kaldırılacağını belirlemeye çalışır (Akman ve Karakoç, 2005). Gelecek gerçeklik ağacı ile MGA'yı birbirinden ayıran önemli bir nokta vardır. MGA, istenmeyen sonuçları ilişkilendirirken; gelecek gerçeklik ağacı tercih ettiğimiz çözümle istenen sonuçları ilişkilendirir.

Gelecek gerçeklik ağacı, uygulamaya başlamadan önce çözümün değerlendirilmesine ve iyileştirilmesine olanak sağlar. Çözümde eksik olan noktaları tanımlar. İstenen sonuçlar için gerekli ve yeterli tüm koşulları tanımlanamamışsa, gelecek gerçeklik ağacı bu eksiklikleri ortaya çıkartır. Bu fonksiyonlar iki önemli kazanç sağlarlar. Birincisi mantıksal olarak gerçekleştirilecek faaliyetlerin etkinliği zaman, enerji veya kaynaklar harcanmadan test edilebilir. İkincisi ise durumun başlangıçtakinden daha kötü hale gelmesi engellenebilir. Bu araç “ neye doğru değişecek” sorusunu ikinci kısmını sistemimizin yeni şeklini değerlendirerek cevaplar (Dettmer, 1997).

2.6.4 Ön Şart Ağacı

Çözüm fikrinin önündeki tüm engellerin üstesinden gelmek için gerekli olan ikincil çözüm kümelerinin oluşturulması için mantıksal bir yol sunar (Özer, 2001). Rizzo'ya (2001) göre, amacı, büyük bir hedefe ulaşmak için ihtiyaç duyulan ara adımların tümünün tanımlanmasına yardımcı olmaktır.Ön şart ağacının geliştirilmesi arzulanan sonuçlara ulaşmayı engelleyen yerel engelleri, durumları ve ihmalleri

tanımlar ve bu engelleri ve değişime direncin üstesinden gelmeyi sağlayacak yeni hedefleri ve amaçları belirler (Davies, et al., 2005).

2.6.5 Geçiş Ağacı

Geçiş ağacı adım adım uygulanacak plandır. Bu ağaç kullanılarak işletmenin şimdiki durumundan istenen durumuna geçiş yapması sağlanır. Geçiş ağacını oluşturmak için, daha önce ön şart ağacında tanımlanmış olan ara amaçlara ulaşmak için gerekli eylemleri o anda bulundurulmuş ortam dikkate alınarak belirlenir. Eylemlerin bulunan ortam için bir anlam ifade etmesi gerekmektedir.

Planlanan her eylemin nedeni belirtilerek, planın alt kademelere aktarılması aşamasında gerekli açıklama ve doğrulama ihtiyaçları otomatik olarak karşılanmış olmaktadır. Geçiş ağacının bu önemli özelliği insan türünün en belirgin özelliklerinden olan değişikliğe karşı gelme direncinin aşılmasına yardımcı olmaktadır. Bu araç “değişim nasıl gerçekleştirilecek” sorusuna verilecek yanıtın son kısmını oluşturur (Dettmer, 1997).

2.6.6 Mantıksal Şüphe Kategorileri

Mantıksal şüphe kategorileri ağaçları bir arada tutan “mantıksal yapıştırıcı” işlevi görür. Aslında ağaçların yapısını yöneten ve gözden geçiren sekiz mantıksal kural veya test vardır. Bir ağaç, mantıksal bir yapıya kavuşabilmek için bu testlerin hepsinden geçmelidir. Bu sekiz test şu şekildedir;

1. Anlaşılabilirlik
2. Bağımsız olma
3. Nedensel olmak
4. Sebep yeterliliği
5. Ek sebep
6. Sebep sonuç döngüsü
7. Tahmin edilebilir olma
8. Gereksiz tekrar

Bu testler ağaç oluşturulduktan sonra ağaçları bir bütün olarak gözden geçirmek için kullanılır (Dettmer, 1997).

3 SENKRONİZE ÜRETİM VE TRAMPET-TAMPON-KORDON ÇİZELGELEME SİSTEMİ

Bu bölümde Kısıtlar Teorisinin üretim işlemlerine uygulanması halinde ismini aldığı “senkronize üretim” ve teorisinin Lojistik dalının çizelgeleme süreci alt dalının konuları olan Trampet-Tampon-Kordon sistemi ve Tampon Yönetimi konuları ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

3.1 Senkronize Üretim

Senkronize üretim, işletmenin amaçlarına ulaşmak için üretim süreçlerinin bir arada ve uyum içinde çalışması şeklinde tanımlanabilir. Böyle bir senkronize durumda sistemin toplam performansı, sistemde ölçülebilecek yerel performanslardan daha önemlidir (Chase and Aquilano, 1995). Dilworth’a (1992) göre amaç, bağımlı parçaların akış hızlarını, darboğazlı kaynaktaki üretim hızına uyacak şekilde senkronize eden programlar hazırlamaktır. Senkronize üretim mantığı, tüm kaynakları, bir arada ve uyum içinde çalıştıracak bir koordinasyon sağlamaya yönelmiştir. Bu ortamda, işgücü veya kaynak kullanımı gibi kısmi başarı ölçüleri üzerinde değil, toplam sistem başarısı üzerinde yoğunlaşmıştır (Üreten, 1998).

Senkronize üretim mantığının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla izleyen bölümde üretim parti büyüklüğü, transfer parti büyüklüğü ve bu kavramların uygulanmasına ilişkin konulara değinilecektir.

3.1.1 Senkronize Üretimde Üretim/Transfer Parti Büyüklüğü Politikaları

Senkronize üretimde kullanılan bazı temel kavramlar aşağıda açıklanmıştır:

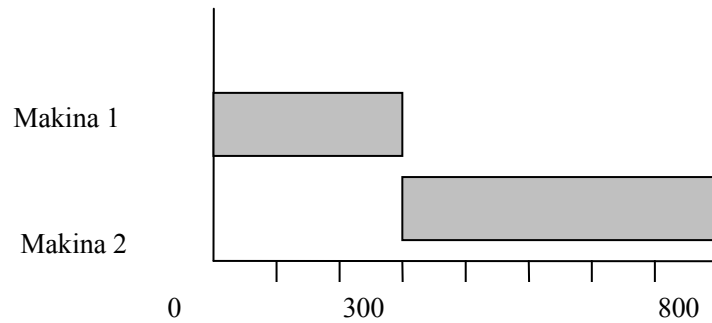
Üretim Parti Büyüklüğü: Bir makinanın belli bir siparişi işlemek üzere hazırlandıktan sonra, o makina üzerinde işlem gören partinin büyüklüğüdür.

Transfer Parti Büyüklüğü: Bir makinada işlem gören bir partinin tamamının üretimini beklemektense, işlemi tamamlanan kısmın küçük partiler halinde, bir sonra işlem göreceği makinaya aktarılması (transferi) ve o makinada işlenmeye başlaması mümkündür. Bu durumda aktarılan partinin miktarı transfer parti büyüklüğü olarak anılmaktadır. Bu tür bir uygulama, toplam üretim süresini kısaltır, bir sonraki

makinanın malzeme yetersizliği nedeniyle atıl kalmasını önler ve yarı mamul stok düzeylerini düşürür. Ancak bu yararları karşısında, malzeme taşıma miktarını yükseltme sakıncası vardır. Dolayısıyla, bir sistemde transfer parti büyüklüğü, üretim sürelerinin kısalması ve stokların azalmasından sağlanan yararlar, malzeme hareketlerinin artması nedeniyle katlanılan maliyetler arasındaki dengeye bağlıdır (Üreten, 1998).

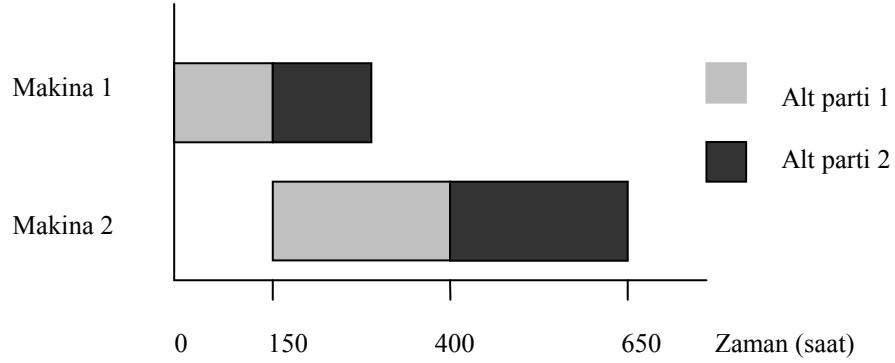
Kısıtlar Teorisinin altında yatan temel prensiplerinden biri transfer parti büyüklükleri ve üretim parti büyüklüklerinin eşit olmaması durumudur. Bir üretim parti büyüklüğünü transfer parti büyüklüklerine bölerek iletim işlemini gerçekleştirmek malzemelerin atölyede daha hızlı akışını sağlar ve operasyonların çakışmasını önler. Üretim parti büyüklüğü transfer parti büyüklüğünün akışıyla belirlendiğinden, kısıt olmayan kaynaklarda üretim parti büyüklüğü genel olarak transfer parti büyüklüğüne eşit olabilmektedir. Bu durum da, kısıt olmayan kaynaklar üzerinde transfer parti büyüklüğünün bölünmemesi durumunda çok fazla hazırlık zamanlarına gerek olduğunu gösterir. Kısıt kaynaklarda, üretim parti büyüklüğü sıklıkla neredeyse sayısız transfer büyüklüğünden oluşmaktadır ki amaç çıktının en büyüklenmesidir (Russell and Fry, 1997).

Basit bir örnekle bu yaklaşım açıklanabilmektedir. Makina 1 bir iş parçasını 3 saatte işlesin ve Makina 2 her birimi beş saatte işlesin. 100 birimlik bir iş partisinin işlenmesi birinci makinada 300 saat sürer. Daha sonra parti diğer makinaya 500 saat boyunca işlenmek için hareket eder. Toplam 800 saate gereksinim duyulur. Bu durum Şekil 3-1’de gösterilmiştir (Silver, et al., 1998).



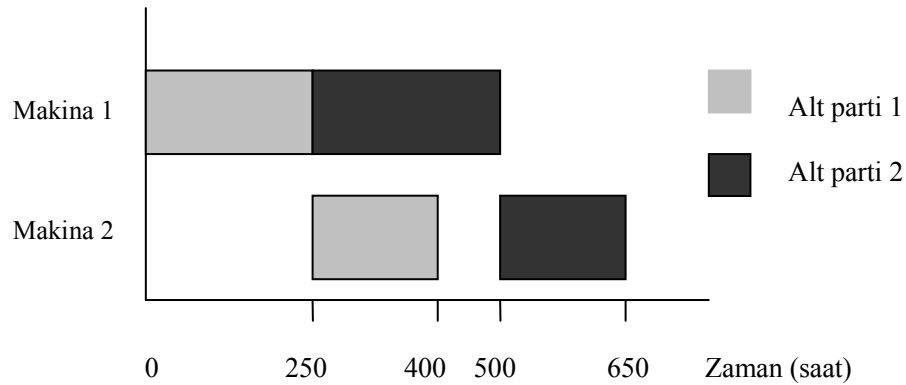
Şekil 3-1 Hiçbir Parti Bölünmesi Olmadan İşleme Zamanlarının Gösterimi

Eğer parti 50 adet iki alt partiye bölünürse ilk alt partinin Makina 1’de işlenmesi biter bitmez, Makina 2’ye hemen hareket ettirilip işlenmeye başlanabilir. Çünkü 150 saat bitiminde birinci partinin birinci makinada işlenmesi biter, bu süre sonunda birinci alt parti Makina 2’de işlenmeye başlanabilir. Böylelikle ikinci parti birinci makinada aynı anda işlenmeye başlanacaktır. Bu durum Şekil 3-2’de gösterilmiştir. Makina 2’nin 400. saatin sonunda ilk partinin işlenmesini bitireceğine dikkat edilmesi gerekmektedir. Daha sonra aynı makina üzerinde ikinci alt parti için 250 saate ihtiyaç vardır. Bu şekilde 100 parçalık tüm parti 650 saat sonunda bitirilmiş olur. Parti bölme işlemi kullanılarak bu şekilde 150 saatlik (%18.75) tasarruf edilmiştir.



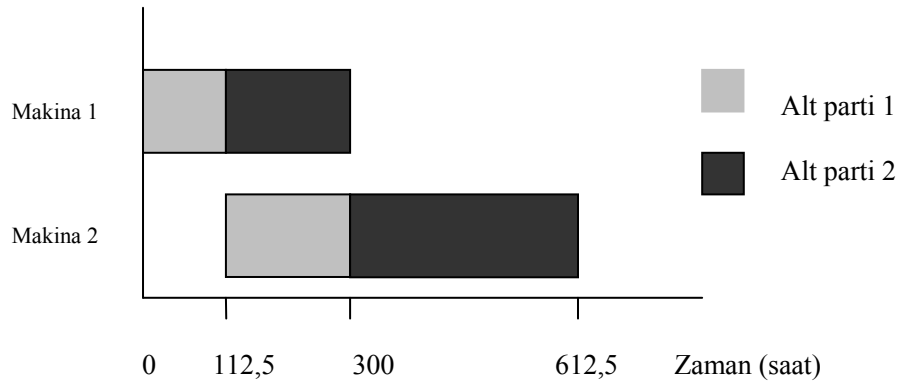
Şekil 3-2 Eşit Alt Partilerle Parti Bölmenin Gösterimi

İkinci alt partinin 2. makinada işlenmek için bekleme zamanının yok edilmesi mümkündür ve bu şekilde daha fazla zaman tasarrufu sağlanabilir. İlk olarak, işlem süreleri ters çevrildiğinde ne olacağına bakılırsa; 1. makinada birim başına 5 saate gereksinim duyulurken 2. makinada bu 3 saat olacaktır. Şekil 3-3’de tamamlanma zamanının yine 650 saat olduğu görülmektedir. Fakat bu durumda ikinci alt parti 2. makinaı beklemes. Makina 2, ikinci alt partinin makina 1’de bitmesini beklemelidir. Makina 2’de aylak zaman vardır. Bu da makina 2 için grafikte gösterilmiştir. Görülmektedir ki, işlem zamanları ters çevrilse bile tamamlanma zamanları hep aynı kalmaktadır (Silver, et al., 1998).



Şekil 3-3 Eşit Alt Partilerle Makina Zamanları Ters Çevrildiğinde Parti Bölmenin Gösterimi

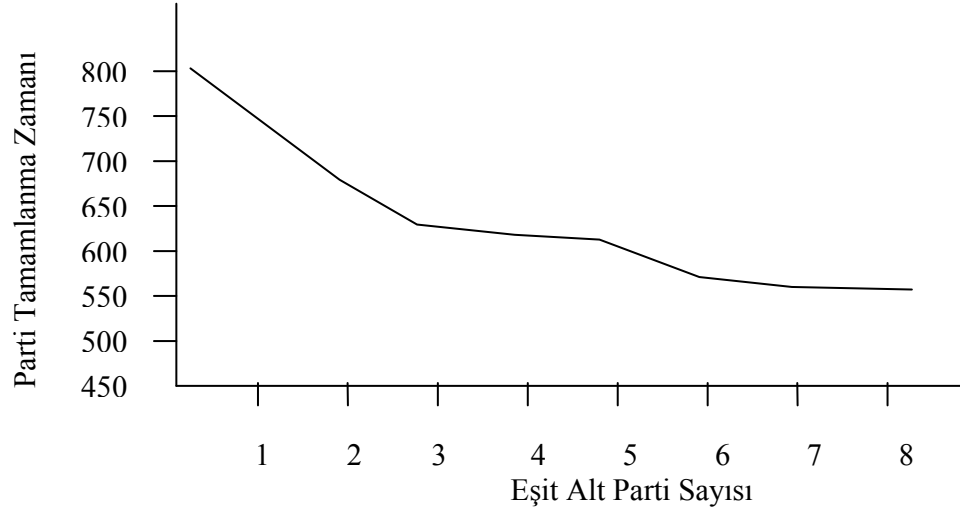
Hem makina aylak zamanını hem de alt parti bekleme zamanını yok etmekte daha iyi bir çözüm bulunabilir. Diğer bir deyişle, makina 2 ve ikinci alt parti tam olarak aynı anda elverişli hale getirilmelidir. X , birinci alt partinin büyüklüğü olarak kabul edilirse ve $(100-X)$ de ikinci alt partinin büyüklüğü olur. İlk örneğe dönülürse makina 1’de birim başına 3 saat ve makina 2’de birim başına 5 saat vardır. 2. alt partinin 1. makinada işlenmesi için $3(100-X)$ saate gereksinim vardır ve birinci alt partinin 2.makinada işlenmesi için $5X$ saate gereksinim vardır. Aylak zaman ve bekleme zamanlarını yok etmek için bu iki değer birbirine eşit olmalıdır. Öyleyse $5X=3(100-X)$ veya $X=37,5$ dur. Tamamlanma zamanı 612,5 saat olmuştur. Parti bölme olmadan önceki duruma göre %23,44’lük bir zaman tasarrufu vardır. Şekil 3-4’e bakılırsa, gerçekte 2. makinaya 37,5 birimi tam olarak taşımak imkansız olacaktır. Birinci alt parti, 38 birimse bu rakam 614 saat, 37 birim olarak düşünüldüğünde ise 615 saattir (Silver, et al., 1998).



Şekil 3-4 En İyi Alt Parti Büyüklükleriyle Parti Bölme

Eğer iki yerine, üç alt parti kullanabilirsek daha fazla tasarruf sağlamak olasıdır. Gerçekte, en iyi tamamlanma zamanını 100 alt parti oluşturmaktadır. Bu durumda her parça 1. makinada işlenir işlenmez 2. makinaya aktarılacaktır. Çok küçük alt partiler kullanmak her üretim ortamı için uygun bir seçim olmayabilir. Tüm alt partileri hareket ettirmenin malzeme sevkıyatına getirdiği ağır yük ve hepsinin kaydını tutmak için veri toplama gereksinimleri çok yüksektir. Diğer yandan, birçok durumda alt partileri izlemek kolaydır. Gerçekte, sadece her aşamada işlenen alt partilerin toplam sayısını izlemek gerekli olacaktır. Yöneticiler, alt partileri izleme maliyetleri ile parti bölmeden gelen kazançları dengeli şekilde tutmalıdırlar.

Parti bölmesi üzerine yapılan araştırmalardan bazı önemli sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin, Baker ve Pyke (1990) belli problemler için, eşit büyüklükte alt partilerin kullanılmasının tipik olarak çizelge uzunluklarında en iyilikten en fazla %5 kadar uzaklaştığını göstermiştir. Literatürdeki bulgular, en büyük göreceli kazancın üretim partisinin ikiye bölünmesinde ortaya çıktığını göstermiştir. En iyi alt parti büyüklüklerini oluştururken, kazancın büyük bir kısmı 4 veya 5 alt partiye bölünmenin gerçekleştirilmesi ile sağlanmaktadır. Eşit alt partilere bölündüğünde belki fazladan birkaç alt parti gerekli olabilir (Şekil 3-5). Göreceli olarak bu problemler için girdi verisi güvenilir ve alt partiler eşit büyüklükte olmadığında karmaşıklık artar, bu durumda beş veya daha az eşit alt partinin kullanılması uygun olacaktır (Silver, et al., 1998).



Şekil 3-5 Alt Parti Sayısını Arttırmanın Yararları

3.1.2 Senkronize Üretim Sisteminin Dayandığı Temel İlkeler

Kısıtlar Teorisinin üretim sistemlerine uygulanışını gösteren senkronize üretimin temel ilkelerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- Bir üretim sisteminde darboğazlar sistemin çıktısını kısıtlarlar. Örneğin, bir makina saatte 50 adet üretmekte ve bunu, işlenmek üzere saatte 10 adet üreten bir makinaya göndermekteyse, iki makinadan oluşan bu sistemin çıktısı sadece 10 birim olacaktır. Makina, işgücü, takımlar darboğaz oluşturabilen kaynaklardır.
- Darboğazların ortadan kaldırılması için üretim teknolojisinin yenilenmesi uygun bir yaklaşımdır.
- Darboğazlı makinanın çıktısının, sistemin çıktısını belirleyici rolü nedeniyle, amaç, sistemdeki akışı ve stok düzeylerini darboğazlı makinanın çalışmasını aksatmayacak şekilde denetlemek olmalıdır.
- Darboğaz oluşturan ve oluşturmayan kaynakların programlanması açısından iki önemli ilke vardır. Bunlar:

- *Bir darboğazlı kaynak üzerinde tasarruf edilen bir saat, tüm üretim sistemine eklenmiş bir saattir.*
 - Darboğazlı kaynak üzerinde kaybedilen bir saatlik üretim, tüm üretim sisteminden bir saatlik çıktının eksilmesine sebep olur. Darboğazlı kaynak üzerinde zamandan tasarruf sağlamanın çeşitli yolları vardır. Daha yetenekli işgücü, daha iyi takımlar kullanılabilir; mümkün olduğu takdirde makina hazırlık süreleri düşürülmeye çalışılır. Üretimin daha büyük partiler halinde gerçekleştirilmesiyle makina hazırlık sürelerinden tasarruf sağlanabilir. Tasarruf edilen bu zamanın çok değerli olduğu unutulmamalıdır. Malzeme yetersizliği vb. nedenlerle bu makinanın atıl kalmaması sağlanmalıdır. Bu nedenle, sistemdeki değişkenliklere karşı bir önlem olarak, darboğazlı kaynağın önünde bir miktar stok bulundurmalı, bu amaca yönelik olanların dışındaki stoklar ise yok edilmelidir.
- *Darboğaz oluşturmayan bir makinaya olan talebin, kapasitesinin altında kalması nedeniyle, bu tür bir makina üzerinde tasarruf edilen bir saatin, atıl zamana bir saat eklemekten başka bir yararı yoktur.*
 - Bu tür bir makinanın atıl kapasiteye sahip olması nedeniyle, makina hazırlık sürelerinden tasarruf sağlamak kaygısıyla büyük partiler halinde üretim yapacak şekilde programlanması gerekmez, çünkü bu makinanın çıktılarının sistemin çıktısını arttırması mümkün değildir. Bu özelliği, senkronize üretimin geleneksel yaklaşıma ters düştüğü noktalardan biridir. Geleneksel yaklaşımda atıl bir makinanın kazanç sağlamadığı, aksine sisteme maliyet yüklediği mantığından hareket edilerek makinaların sürekli çalışır durumda tutulmaları hedeflenmiştir. Oysa darboğazlı bir makinayı besleyen darboğaz oluşturmayan bir makinanın

sürekli çalışır durumda tutulması halinde, ortaya iki durum çıkabilecektir. Bunlar:

- Darboğaz oluşturmeyen kaynağın sürekli kullanılması stokların yükselmesine neden olabilecektir.
- Darboğaz oluşturmeyen bir kaynağın büyük partiler halinde üretim yapması nedeniyle, onu izleyen bir darboğazlı makina, zamanında beslenemeyecek ve atıl kalabilecektir. Dolayısıyla, darboğaz oluşturmeyen makinalar üzerinde zaman kayıpları önemli olmadığından, makina hazırlık sürelerine katlanılarak küçük partiler halinde üretim yapılmalı ve böylelikle darboğazlı makinaya sürekli malzeme akışı sağlanmalıdır. Bunun sistemin çıktısını arttıracığı açıktır. Darboğaz oluşturmeyen bir kaynağın büyük partiler halinde üretim yapması gerektiği takdirde, transfer partileriyle darboğazlı makinanın beslenmesi sağlanabilecektir. Dolayısıyla transfer parti büyüklüklerinin üretim parti büyüklüklerine eşit olması gerekmemektedir.

Sonuçta, ilke olarak, darboğaz oluşturmeyen bir kaynağın darboğazlıyı beslemeye yetecek kadar çok, diğer taraftan yarı mamul oluşmasına neden olmayacak kadar az üretmesi gerektiğini söylemek mümkündür.

Goldratt'ın yaklaşımına göre, bir üretim hattındaki istasyonların kapasitelerinin, aynı çıktı düzeyine ulaşacak şekilde dengelenmesi yerine, ürünün üretim sisteminden akışının dengelenmesine yönelik çaba harcanmalıdır. Birçok işletmede, üretim yöneticileri, kapasiteyi talebe uygun bir şekilde kullanmak amacıyla süreç kapasitelerini dengelemeye çalışmışlardır. Goldratt'a göre bu hatalı bir yaklaşımdır ve dengesiz kapasite, sistem açısından daha avantajlıdır. Önemli olan bu dengesizliği yarar sağlayacak şekilde kullanabilmektedir (Chase and Aquilano, 1995).

Bir örnek olarak, birkaç iş istasyonundan oluşan bir üretim hattını düşünelim. Bu üretim hattının çıktı hızı bir kez belirlendikten sonra, üretim yöneticileri tüm istasyonların kapasitelerini birbirine eşitlemeye çalışır. Bunun sağlanması için, kullanılan makina ve diğer üretim araçlarının, işgücünün, iş yüklerinin, fazla mesai kullanımının düzenlenmesi yoluna gidilir.

Senkronize üretim düşüncesine göre, tüm kapasitelerin birbirine eşitlenmesi hatalı bir karardır. Bu tür bir denge, ancak tüm istasyonların çıktı hızlarının sabit veya çok dar bir dağılım göstermesi halinde mümkün olabilir. Üretim sürelerinde meydana gelebilecek bir değişkenlik, sistemde birtakım olumsuzluklar yaratır. Üretim hattının başındaki işlemlerin beklenenden uzun sürmesi halinde, hattın sonundaki istasyonlarda atıl kapasite oluşur. Bu tür değişkenliğe karşı bir önlem olarak stok bulundurmak mümkündür. Ancak günümüzde stokların azaltılması hedeflendiğine göre, bunun doğru bir yaklaşım olduğunu söylemek mümkün değildir. Değişkenliğe karşı alınabilecek diğer bir önlem ise, hattın başındaki uzun işlem sürelerini telafi etmek üzere sondaki işlemlerin kapasitelerini arttırmak şeklindedir. Öte yandan, hattın başındaki istasyonların, işlemlerini daha kısa sürede tamamlamaları halinde, istasyonlar arasında stok oluşur.

Kısıtlar teorisi yaklaşımına göre, seri bağlı üretim hatları, iş istasyonlarından sadece biri darboğaz oluşturacak şekilde tasarlanmalıdır. Böyle tasarlanmış bir hat üzerinde, sadece tek bir iş istasyonu, bir ürünün üretimi için arzulanan zamana eşit işlem süresine sahip olan işlem, darboğazlı işlemdir. Akışın dengelenmesi halinde kapasiteler dengesiz kalacaktır (Chase and Aquilano, 1998).

Chakravorty and Atwater, üretim hattında tek bir darboğaz olması durumunda, senkronize üretim mantığıyla oluşturulan programın, zamanında teslimatları karşılamada başarılı olduğu, hatta bunu kanban sisteminden bile daha düşük stok düzeyleriyle gerçekleştirdiği sonucunu veren karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır.

Senkronize üretim sisteminin ilkeleri incelendiğinde, bunların geleneksel tesislerdeki uygulamalara ters düştüğü görülecektir. İlk aykırılık, başarı ölçüm sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Günümüz uygulamalarında darboğaz oluşturan kaynaklarla darboğaz oluşturmeyen kaynaklar arasında bir ayırım yapılmamakta, tüm kaynakların %100 kapasite düzeyinde çalıştırılması yönünde bir eğilim görülmektedir. Darboğaz oluşturmeyen makinanın başında çalışan bir iş görenden makinaı tam kapasite çalıştırması ve makina hazırlık sayısını düşürmesi beklenmektedir. Amaç, makina verimliliğinin artırılmasıdır. Oysa senkronize üretim mantığı, iş görenin, çalışma başarısının, yarattığı yarı mamul stoklarıyla değil, denetimi altında bulunan alanda üretilen satışa dönüştürülebilir üretim hacmiyle ölçülmesini gerektirir. Buradan bazı başarı ölçülerinin sistemin bir bütün olarak verimliliğini düşüreceğini görmek

mümkündür. Mevcut makina ve iş gören performansı ölçüleri, üretim sisteminin tüm unsurları arasındaki karşılıklı ilişkileri göz önüne alacak sistem yaklaşımından yoksundurlar. Sonuç olarak, senkronize üretim yaklaşımı, bu geleneksel ilkelerin kaynakların etkinliğini değil, verimliliğini ölçmekte olduğunu iddia etmekte; oysa sistemin bir bütün olarak başarısı açısından kaynakların etkinliği üzerinde durulması gerektiğini ileri sürmektedir (Browne, et al., 1988).

3.1.3 Senkronize Üretim ve Optimize Üretim Teknolojisi

Senkronize üretim sisteminin yazılıma dönüştürülmüş hali “Optimize Üretim Teknolojisi” olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yazılımla, sistemin en iyiye yakın üretim programları oluşturduğunu, günlük ayrıntılı programlamanın yanı sıra, uzun vadeli üretim ve kapasite planlamasında da kullanılabileceğini iddia edilmektedir (Jacobs, 1983). OPT yazılımı genel olarak darboğaz ve darboğaz olmayan kaynakları yönetmeye odaklanmaktadır. Bu yazılımdan geliştirilmiş olan 10 kural aşağıda verilmiştir (Silver, et al., 1998).

1. Bir kaynağın harekete geçirilmesi ve kullanılması eş anlamlı değildir.

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

2. Darboğaz olmayanın kullanım düzeyi kendi potansiyeli tarafından değil ama sistemdeki başka bazı kısıtlar tarafından belirlenir.

Darboğaz olmayan makinanın kullanım oranı, darboğaz olan makinanın 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. OPT ekipmanın yavaşlatılmasını ya da bir süre kapatılmasını tavsiye edecektir. Böylece tesisin çıktısı pazar talebine eşitlenecektir. Bununla beraber, eğer kapama ve açma maliyetleri çok yüksek ise bu ekipmanın tamamen kapatılmasını engelleyecektir. Başka bir alternatif ise tesisin

çıktısını ve ortalama envanter çevrimini azaltarak köklü değişikliklere daha fazla zaman harcamaktır.

3. Darboğazda bir saatlik kayıp tüm sistem için bir saat kayıp demektir.

Bu kural birinci kuralın paralelindedir ve onu genişletir ve yöneticilere darboğazdaki tüm faaliyetlere odaklanmaları konusunda yardımcı olur. Örneğin, operatörler öğle yemeği yerken darboğazı çalışır halde tutmak mümkün müdür? Eğer değilse diğer işçiler darboğaz makinaı kullanabilecek şekilde eğitilmelidir, bu sayede darboğaz makina hiçbir zaman gereksiz biçimde aylak kalmaz.

4. Darboğaz olmayan kaynaktaki bir saat kazanç sadece seraptır.

Çıktı sadece darboğaz olmayan kaynaktaki tasarrufla arttırılamaz. Bu nedenle yöneticiler iyileştirme çabalarına başka bir yerde odaklanmalıdır. 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 arttırır. Tabi ki eğer hazırlık süresi azaltılırsa darboğaz olmayandaki parti büyüklükleri ve ortalama envanter çevrimleri azaltılabilir. Fakat darboğazdaki hazırlık süresinin azaltılmasından sağlanacak kazanç açıkça daha büyük olacaktır.

5. Darboğaz, sistemdeki çıktı ve envanteri yönetir.

Envanter dikkatli bir biçimde kullanılmalıdır bu sayede işlemesi gereken parçaların kendisine ulaşmaması durumu ortadan kalkar.

6. Aktarma partisi büyüklüğü mutlaka süreç partisi büyüklüğüne eşit olmak zorunda değildir.

Darboğazın önündeki darboğaz olmayan bir kaynaktaki büyük bir partinin çalışıldığı düşünölsün. Eğer bir an darboğaz işlenecek parçaya gereksinim duyarsa, darboğaz olmayan partiyi işlemeye devam ederken partinin bir parçasının darboğaz tarafından işlemeye devam ederken partinin bir parçasının darboğaz tarafından işlenmeye başlaması arzu edilir.

7. Süreç partisi büyüklüğü sürecin farklı safhalarında aynı olmamalıdır.

Genelde darboğazlardaki parti büyüklükleri darboğaz olmayanlarınkinden daha büyük olmalıdır, bu sayede hazırlık sürelerine bağılı 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.

8. Kapasite ve öncelik eş zamanlı olarak düşünülmelidir.

Belli bir parti için üretim süresi bir makinada ona verilen önceliğe ve makinanın kapasitesine dayandığından öncelik kuralları makinanın kapasitesiyle bağlantılı olarak düşünülmelidir.

9. Kapasite değil akış dengelenmelidir.

Tesis içindeki akış pazar talebiyle eşit olmalıdır. Sıklıkla yöneticiler makinaların kapasite kullanım oranlarıyla ilgilenirler ve değişkenliklerden doğan bozulmaları görmezlikten gelirler. Her biri saatte ortalama bir parça işleyen seri biçimde yerleştirilmiş üç adet makina düşünölsün. İşleme zamanlarındaki değişkenlikten dolayı özellikle değişkenliği tamponlayabilmek için çok az miktarda süreç içi envanter varsa makinalar engellenme (bitmiş parçaları koyacak yer bulamama) ve beslenememe (işlenecek parça olmaması) sonucu zaman kaybedebilir. Bu sistemde saat başına akışın saatte bir parçadan daha az olacağı açıktır. Pazar talebi ile dengelenmesi gereken akıştır, kapasite kullanım oranı değildir.

10. Yerel en iyilerin toplamı tüm sistemin en iyisine eşit değildir.

Tüm bölümler kendi amaçları doğrultusunda en iyileme yaparlar. Ustabaşılar ekipmanlarını tam kapasite ile çalıştırmak isterken, satış personeli de satış miktarını arttırarak alacakları prim miktarını arttırmaya çalışmaktadır. Bu yüzden işletmede problemler doğabilir. Her bölüm kendi amacını değil, işletmenin amacını en büyükmek için çalışmalıdır.

Browne ve diğerlerine (1988) göre, bu kurallar, izlendikleri takdirde, işletmenin para kazanma amacı doğrultusunda ilerlemesini sağlayan kurallardır. Bunlardan son iki kural, geleneksel başarı ölçüm yöntemlerinin hazırlanan programları engellenmesini önlemek üzere oluşturulmuşlardır, diğerleri ise doğru programların hazırlanmasında yol gösterici nitelik taşırlar.

Optimize üretim teknolojisi sistemine göre, üretim sistemi para kazanmaya yönelik olarak çalışmalı ve yatırım üzerinden makul bir getiri sağlamalıdır. Bu durumda aynı anda gerçekleştirilmesi gereken üç hedeften bahsetmek mümkün olacaktır. Her şeyden önce sisteme, ürünlerin satışıyla para girişi mümkün olacaktır, dolayısıyla üretim hızı yükseltilmelidir; stok bedelleri ödenmiş, ancak henüz satılmamış

varlıklardır, dolayısıyla azaltılmalıdırlar, stokların mamullere dönüştürülmesi için gerekli işlem giderleri düşürülmelidir (Aggarwal and Aggarwal, 1986). Senkronize üretim sisteminin, kritik kaynakların kullanımının en büyüklenmesine, tesisin çıktısının en büyüklenmesine, yarı mamul stoklarının ve üretim çevrim sürelerinin en küçüklenmesine aynı anda ulaşabileceği iddia edilmektedir.

Walley'e (1992) göre, darboğazlı işlemin, sistemin çıktısını belirlemesi nedeniyle, bunların saat başına katkıları cinsinden potansiyel kazanma güçlerinin belirlenmesi yararlı olacaktır. Böylelikle çalışanlar, ustabaşılar ve programlamacılar darboğazlı işlemin durması halinde saat başına X birimlik katkının kaybedileceğinin bilincinde olacaklardır (Üreten, 1998).

3.1.4 Senkronize Üretimde Beş Aşamalı Programlama Süreci

Kısıtların yönetimi çerçevesinde üretim tesislerinin senkronizasyonunu sağlayan beş aşamalı süreç aşağıdaki gibidir (Üreten, 1998):

- Bu sürecin ilk aşamasında işletmenin kısıt oluşturan kaynaklarının belirlenmesi gerekir.
- İkinci aşamada, sistemin çıktısını belli bir düzeyde koruyabilmek için süreç içinde, belli noktalara zaman tamponlarının (bir sistemdeki olası aksaklıkların giderilmesi için gerekli sürede sistemin üretilebileceği miktara eşit bir stok düzeyi) yerleştirilmesi gerekir. Zaman tamponlarının yerleştirilmesi açısından önemli olabilecek noktaları şu şekilde sıralamak mümkündür:
 - Kısıt oluşturan kaynağı sürekli çalışır durumda tutmak için bu kaynağın önü,
 - Zamanlı çıktı sağlanması açısından kısıt oluşturan kaynak üzerinde işlem gören parçaların birleştiği montaj ağırlıkları,
 - Belli müşterilerin siparişlerinin karşılanması için üretim sürecinin sonu.

Senkronizasyon sürecinin bundan sonraki üç aşaması, sistemin kaynakları arasında bağlantı kurmaya yöneliktir. Bu bağlantının kurulmasında iki amaç gözetilir. Bunlar:

- Kısıt oluşturan kaynakların sürekli çalışır durumda tutulması
 - Tüm malzemelerin tesisten düzgün bir şekilde akmasının sağlanması
- Üçüncü aşamada kısıt oluşturan kaynak üzerinde üretimin programlanması söz konusudur. Bu kaynak üzerindeki program, kaynağın sınırlı kapasitesi, pazar talebi ve kısıt oluşturan kaynaktan son ürün teslim noktasındaki tampona kadar geçecek süre göz önüne alınarak hazırlanır.
 - Dördüncü aşamada, kısıt oluşturan kaynağın önündeki kaynaklar zaman tamponundan başlangıç işlemine doğru, yani geriye doğru programlanır. Böylelikle başlangıç işlemi, kısıt oluşturan kaynağı besleyecek malzemenin zamanında sisteme akışını sağlayacak ve gereksiz yarı mamul yaratmayacak şekilde programlanır.
 - Son aşamada, kısıt oluşturan kaynak üzerinde işlemini tamamlamış parçaların hızlı bir şekilde son ürün haline dönüştürülebilmesi için, bu kaynaktan sonraki iş merkezleri ileriye doğru programlanır. Bu aşamada, düzgün malzeme akışının sağlanabilmesi açısından transfer ve üretim parti büyüklüklerinin farklılaştırılmasına izin verilmelidir (Üreten, 1998).

3.2 Trampet-Tampon-Kordon Çizelgeleme Sistemi

Darboğazlı bir makinanın sürekli çalışır durumda tutulması gerekmektedir. 5 adet makinadan oluşan basit bir doğrusal üretim akışı içerisinde 4. makinanın darboğaz oluşturduğunu düşünelim. Bu durumda 4. makinadan önceki ve sonraki makinalar 4. makinadan daha yüksek kapasiteye sahiptir ve sistem denetlenmediği takdirde, 4. makinanın önünde yüksek bir yarı mamul stoku oluşacaktır; buna karşılık sistemin diğer noktalarında yarı mamul stoku oluşmayacaktır. Ayrıca, darboğaz tanımı gereği, üretilen tüm ürünlerin pazar tarafından çekileceği, yani darboğazlı makinadan geçen tüm ürünlerin satılacağını varsaydığından mamul stoku oluşması da beklenmemektedir.

Bu noktada darboğazlı işlem için aşağıdaki önlemleri almak mümkündür (Chase and Aquilano, 1998).

Goldratt, yukarıda özetlenen bu işleyişi trampet, tampon, kordon olarak adlandırmıştır (Üreten, 1998). Trampet-tampon-kordon(TTK) olarak adlandırılan çizelgeleme metodunun analojisi bir gezi yürüyüşüne çıkmış izci çocuklardan alınmıştır. Gruptaki en hızlı çocuktan en yavaş çocuğa kadar olan mesafe sistemdeki envantere eşittir. Eğer hızlı çocuklar (darboğaz olmayanlar) önde yürürlerse hattın sonuna kadarki mesafe (veya envanter) artar. Tabii ki hattın sonunda en yavaş çocuk (darboğaz) gelmektedir. Bu sorun nasıl çözülür? En yavaş çocuk hattın başlangıcına konulabilir ve hızlı çocukların tümü öndeki çocukla aynı hızda gitmek için yavaşlamaya zorlanabilir. Alternatif olarak tüm çocukların bir kordonu tutması sağlanabilir, böylece en yavaş çocuk en önde olmasa bile hızlı çocuklar fazla uzaklaşamaz, kordonun uzunluğu sistemdeki stok miktarına benzetilmektedir. Esnek bir kordona sahip olmak hızlı çocukların, en yavaş çocuğun durmasına sebebiyet vermeden, durup ayakkabılarını bağlamalarına izin verir. Eğer kordon çok uzunsa en yavaş ve en hızlı arasında çok büyük mesafe oluşacaktır. Eğer gerçek bir kordon yoksa en yavaş çocuk adım attıkça trampete vurulur ve diğerlerinin bu sesi dinleyip aynı şekilde adım atmaları ve belli mesafe içinde kalmaları istenir.

Fabrikada trampet vuruşu darboğazdan önceki işlemlerin hepsinin darboğazın oranında adım atmaları sağlamada kullanılır. Diğer bir deyişle darboğazdan önceki kaynaklar darboğazla aynı hızda çalışmalıdır. Darboğazın önüne konulan tampon, trampet vuruşunun sürekliliğini sağlamak için kullanılır. Böylece kendinden önceki bir darboğaz olmayan yavaşlasa bile o etkilenmeyecektir. Darboğaz olmayan işlemler tamponu uygun bir hipotetik kordon kullanarak tutmak için çizelgelenirler.

İşler darboğazın hızında fakat darboğazın önündeki zaman tamponun sürekliliğini sağlayacak zaman kadar önce salınırlar. Envanter zorunlu olmadıkça yükselmez ve darboğaz beslenememe sorunu yaşamaz. İşler böylece üretimin ilk aşamasından darboğaz kadar, darboğaz tarafından çekilirler. Darboğazdan sonra ise işler hattın sonuna olabilecek en çabuk biçimde itilirler (Silver, et al., 1998).

3.2.1 Trampet

Trampet tesisin üretim çıktı hızını ayarlayan ana üretim çizelgesi olarak tanımlanır (Umble and Umble, 1999). Malzeme İhtiyaç Planlaması ve Tam Zamanlı

Üretim sistemlerinde üretim hızını ana üretim programı belirlemektedir. Her ikisinde de ana üretim programının oluşturulmasında darboğazlı kaynaklar kullanılır. Amaç bunların kapasitesinin aşılmamasıdır. Darboğaz oluşturmeyen diğer kaynaklar darboğazlıyı besleyecek şekilde programlanır. Dolayısıyla darboğazlı kaynak trampettir. Bu kaynak, kendi hızına uyduracak şekilde diğerlerinin hızını belirlemektedir. Başka bir deyişle, tüm süreç için “trampet vuruşu” yaratmaktadır.

3.2.2 Tampon

Ana üretim programlarının çok dikkatli bir şekilde hazırlanmış olması halinde bile, öngörülemeyen olaylar nedeniyle birtakım sapmalar meydana gelebilir. Bu olayların çıktıyı engellemesini önlemek için seçilen noktalara tampon stoklar yerleştirilmesi gerekir. Darboğazlı kaynağın önüne yerleştirilen stoğun amacı, ondan önce gelen darboğaz oluşturmeyen kaynakların işlem sürelerindeki istatistiksel dalgalanmalar nedeniyle darboğazlı kaynağın malzemesiz kalmamasını sağlamaktır. Yukarıda da değinildiği gibi zaman tamponları ya da son ürün şeklinde olabilir (Üreten, 1998).

3.2.3 Kordon

Tüm sistem için darboğazlı kaynağın, üretim hızını belirlediğine ya da trampet vuruşu gerçekleştirdiğine değinilmişti. Darboğazlı makinaı izleyen makinalar için üretim hızı darboğazlı makina tarafından sınırlandırılmış durumdadır. Ancak, darboğazlı makinadan öncekiler, darboğazlıdan geçemeyecek kadar fazla üretme potansiyeline sahiptirler. Kuşkusuz, bu da darboğazlı işlem önündeki yarı mamul stoklarının yükselmesine neden olacaktır. Yarı mamul stoklarının kontrolsüz bir şekilde artmasını engellemek için darboğazlı işlem ile, onu besleyen süreçler arasında bir bağlantı kurulmalıdır. Bu bağlantı “kordon” olarak adlandırılmaktadır.

Senkronize üretim sistemlerinde, trampet-tampon-kordon mekanizması, bu sistemlerin atölye düzeyindeki denetim mekanizması olarak kabul edilebilir. Trampet vuruşunun, tampon stokların ve kordonların gerektiği gibi belirlenmesi ve yönetilmesi halinde, arzulanan çıktı düzeyine ulaşabilecek, stok düzeyleri düşerken işlem giderleri de azalabilecektir (Umble and Shrikanth, 1995).

3.2.4 Trampet-Tampon-Kordon Sistemlerinde Çizelgelemenin Dört Adımda Uygulanması

Trampet-Tampon-Kordon lojistik alt dalı çizelgeleme sistemlerinde 4 ana adım vardır (Schragenheim and Ronen, 1990):

- Üretim sistemi içindeki fiziksel kısıtların belirlenmesi
- Zaman tamponu miktarının belirlenmesi
- Üretim temposunun tasarlanması (Drum-Trampet)
- Hammadde gönderimini planlamak (Rope-Kordon)

1. Adım. Üretim sistemi içindeki fiziksel kısıtların yerinin belirlenmesi

Eğer bir fabrika yetersiz üretim kapasitesine sahip bir makineye ya da iş istasyonuna sahipse, bu makine ya da iş istasyonu en az kapasitesiyle bu fabrika için bir fiziksel kısıt oluşturur. Bu tip bir makine ya da iş istasyonu bir kısıtlı kapasite kaynağı ya da darboğaz; diğer makineler kısıtsız kapasite kaynağı ya da darboğaz olmayan kaynak olarak bilinmektedir. Eğer makinelerin tümü kısıtsızsa ve fazla kapasiteye sahipse, fabrikanın fiziksel kısıtı pazar ya da malzemeler olacaktır. TTK çizelgeleme sistemi fiziksel kısıtların gereksinimine dayanan üretim temposuyla başladığından, ilk problem TTK çizelgeleme sisteminin tüm sistem için fiziksel kısıtı nasıl tam olarak tanımlayacağını çözülmesidir. Fiziksel kısıtları çözmek için iki yol vardır:

- Son üretim durumuna dayanarak, yüksek üretim yükü ya da yüksek stok düzeyiyle çalışan kısıtlı kapasite kaynağı(KKK) durumundaki makineler ya da iş merkezleri (Goldratt, 1986), ya da
- Her iş istasyonundaki ürün üretim yüklerinin ve üretim siparişlerinin değerlendirilmesi durumunda, en yüksek üretim yükü ve üretim kapasitesine sahip olan KKK (Stein, 1997).

2. Adım: Zaman Tamponu Miktarının Belirlenmesi

Bazı üretim sistemleri, üretim çıktılarını en büyükmek ya da kısıt içinde kusursuz üretim yapmak için, bir takım koruma mekanizmalarına ya da sistem birleştirmelerine gereksinim duyarlar. Koruma mekanizması sisteminin iki amacı vardır. İlki, ürün dağıtımının gecikmesini engellemek için, Kısıtlı Kapasite Kaynağı iş merkezlerine üretim siparişlerinin zamanında ulaşmasını garanti etmektir. İkinci olarak, sistem koruma mekanizmaları kısıtlı kapasite kaynağı iş merkezinde üretimin ve

hammadde akışının sürekliliğini garantilemek amacındadırlar. Eğer üretim siparişlerinde iş kısıtlı kapasite kaynağı merkezine zamanında ulaşamazsa, tüm üretim siparişleri aksamaya uğrayacaktır ve üretim siparişlerinin gecikme olasılığı artacaktır. Ayrıca, kısıtlı kapasite kaynağı iş merkezinde üretim durursa, sistemin kaybettiği her dakika fabrikanın kazanacağı faydanın kaybedilmesine sebep olacaktır. Bundan dolayı, her üretim siparişinin düzgün üretim akışını sağlamak için kısıtlı kapasite kaynağı iş merkezinin korunması çok önemlidir. Trampet-Tampon-Kordon sistemleri ve Tampon Yönetimi sistemleri kısıtlı kapasite kaynağı iş merkezinde korumayı sağlamak için zaman tamponu kullanırlar. Yine de, zaman tamponlarının etkili bir üretim için bir üretim siparişinin bir alanda koruma sağlamak amacıyla tasarlandığı tek bir üretim merkezinde olmadığının unutulmaması gereklidir.

3.Adım: Kısıtlı Kapasite Kaynağı Çizelgesinin Tasarlanması (Trampet)

Her üretim süreci üretim süreci çizelgesi boyunca bir diğerine bağımlı olduğundan, üretim süreci çizelgesi yüksek öncelikle ele alınmalıdır. Bundan dolayı, sistemdeki tüm üretim süreci sırası ve çizelge belirlenirken, çıktının en büyüklenmesi için kısıtlı kapasite kaynağı iş merkezine karar öncelikleri atamak gereklidir. Başka bir deyişle, çizelgenin ana görevi, en büyük fiziksel kısıt kullanımıyla üretim süreci temposunu belirlemektir. Üretim temposu fiziksel kısıta göre tasarlandığından ve kontrol edildiğinden ve sistemi yönlendirdiğinden süreç Trampet süreci olarak adlandırılmaktadır.

Trampet'in tasarımı iki kısımda olmaktadır. İlk kısım kısıtlı kapasite kaynağı iş merkezindeki işlenecek üretim siparişlerinin kapasite değerlendirmelerini içerir. Ayrıca, ilk kısımda, son dağıtım zamanından taşıma tampon zamanı çıkartılarak kısıtlı kapasite kaynağı iş merkezinde her sipariş için üretim tamamlanma zamanı hesaplanır. Eğer kısıtlı kapasite kaynağı iş merkezinde gerçek işleme zamanından üretim tamamlanma zamanını daha erken çıkarırsak, kısıtlı kapasite kaynağı iş merkezinde her üretim siparişi için başlama zamanını elde edebiliriz. Eğer kapasite eksikliği nedeniyle üretim yükü üst üste geliyorsa, Trampet'in ikinci kısmı başlar. İkinci kısımda, üretim yükü trampet ritmini sağlamak için düzenlenecektir.

Kısıtlı kapasite kaynağı iş merkezinde her siparişin üretim zaman aralığına bağlı olarak, kısıtlı kapasite kaynağı iş merkezindeki üretim yükü uygunluğuna bakmadan ideal bir üretim süreç çizelgesi oluşturulacaktır.

Adım 4. Malzeme Bırakma Çizelgesinin Planlanması (Kordon)

Tramper temposunun uygunluğunu garanti etmek için, koruma ölçüsüne ek olarak üretim sistemlerine birtakım kolaylıklar sağlanmalıdır. En önemli kolaylık da hammadde çıkış zamanının tramper temposu ile karşılaştırılmasıdır. Bundan dolayı, hammadde gönderme temposu, tramper temposuna göre belirlenmelidir. Hammadde çıkış zamanı bir üretim siparişi için üretim siparişinin KKK tampon zamanından tramper çizelgesindeki başlangıç zamanının çıkarılması ile bulunur (Tseng and Wu, 2006).

3.3 Tramper-Tampon-Kordon Sistemlerinde Tamponlar Ve Tampon Yönetimi

Tramper-Tampon-Kordon (TTK) lojistik sistemleri senkronize üretimin kalbidir ve kısıt kaynakların etkili bir biçimde kullanılmasını amaç edinmiştir. TTK sistemleri tesis çıktısını arttırırken en az stok seviyesinde çalışmayı amaç edinmişlerdir ve harcama masraflarını en küçükmek için tasarım olarak desteklenirler. Tramper tesis için ayrıntılı üretim çizelgesinden çıkan ürün hızını, tampon stokların stratejik olarak tasarımı ve sistem çıktısını korumak için kullanılan bir zaman mekanizmasıdır. Kordon ise malzeme çıkışının zamanında sağlanması için gerekli olan bir talimat durumudur.

TTK sistemleri itme ve çekme teorilerini birleştirmiştir. Malzemeler sistemde tramper çizelgesinin ihtiyacı olduğu kadar itilirler. Fakat sistemin içine girdiklerinde, envanter ya da zaman tamponunun amaçladığı kadar küçük transfer partileriyle çekilirler. Envanter ve zaman tamponları sistem performansını en büyükmek için farklı yerlere yerleştirilirler.

Envanter ve Zaman Tamponları: Envanter tamponları müşteri siparişlerini normal teslim zamanında teslim edebilmek için malzeme, parça veya ürün stoklarıdır. Envanter tamponları müşteri ihtiyaçlarına cevap vermede sistemi iyileştirirler. Zaman tamponları, malzemelerin üretim rotasında özel bir noktaya ulaşabilmesi için, gerekli hazırlık ve işleme süreleri ötesinde, izin verilmiş ek üretim süresini göstermektedir.

Zaman tamponları herhangi bir süreçte oluşan içsel bozulmalardan sistemin çıktısını korurlar.

Envanter Tamponları Kategorileri;

En genel envanter tamponu bitmiş ürün envanter tamponudur. Bunlara, perakende envanterleri tükendiğinde veya üretim süresi, kısmi olarak işlenmiş malzemelerde bile müşteri ihtiyaçlarını karşılamak üzere zamanında üretim yapmak için çok zor veya imkansız olduğunda ihtiyaç duyulur.

Hammadde envanter tamponu hammaddelerin ihtiyaç duyulduğunda elverişli olmasını garantilemekte kullanılır. Bu tip tamponlar tedarikçilerin güvenilirliği düşük olduğunda ve tedarikçiye söz verilen teslim tarihlerinde gerekli parçaları sağlamak için yeterli süreye izin vermiyorsa gereklidir.

Süreç içi envanter tamponları üretim süresi müşterinin teslim tarihinden daha uzunsa uygundur ve süreç içi envanterler son işlemler için malzeme sağlamakta kullanılabilir. Bu tip envanterler ayrıca bazı özel durumlarda söz konusudur. Örneğin bir parti maldan kötü kazanç sağlandığı takdirde, güvenilirliği olmayan işlemler, hammadde aşamasından yeni bir partiye başlamaya yeterli zaman bırakmazsa, bu tip bir tampon uygun olabilir. Bir süreç içi envanter kısıt olmayan bir kaynağın çok fazla uzunluktaki değişimlerden kısıt bir kaynağın ters bir biçimde etkilenmesini engellemek için kullanılabilir.

Süreç tesislerinde, ürün envanter tamponları son ürün olabilmek için kısmi olarak işlenmiş malzemelerden oluşmaktadır. Montaj tesislerinde, bileşen envanter tamponları bitmiş son ürün olmak için diğer bileşenlerle montajlanmış kısmi olarak işlenmiş bileşenlerden oluşmaktadır (Umble and Umble, 1999).

Zaman Tamponu Kategorileri;

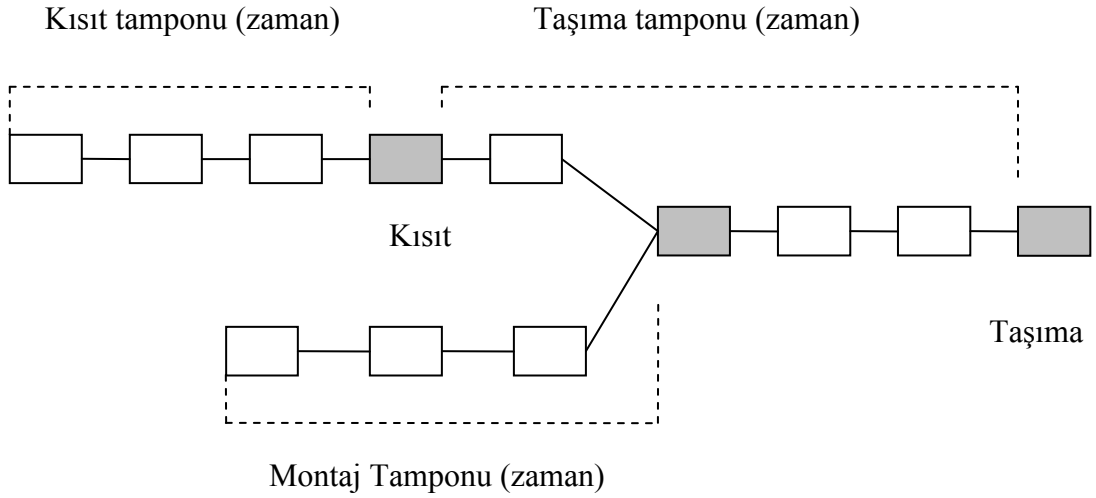
Bir üretim süreci bir kapasite kısıtına sahip olduğunda, bir kısıt zaman tamponuna çizelgenin uyumunu sağlamak ve kısıt kaynağın beslenememesini engellemek için ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca kısıt tamponuna müşterilerin ulaşmasını izlemek yöneticileri bozulmalara karşı bilinçlendirir. Böylece düzeltici faaliyetler sürecin iyileştirilebilmesi için devreye sokulabilir.

Montaj Zaman Tamponu: Kısıt kaynak tarafından işlenmiş parçalar ile kısıt olmayan kaynak tarafından işlenmiş parçaların birleştirilmesi işlemlerinde kullanılır. Bu şekilde kısıt olmayan parçaların bozulmalardan korunması ve kısıtta işlenen parçalar

tamamlanır tamamlanmaz montaj işleminin gerçekleştirilmesi garantilenir. Montaj ve kısıt zaman tamponları montaj işlemlerinin çizelgedeki şekilde sürmesini sağlar (Umble and Umble, 1999).

Kısıt Tamponu: Çizelgeyi kısıttan ve içine dahil olduğu kısıt kaynağından korur. Bu, hammadde çıkışından kısıtın konumlandığı yere kadar üretim çevrim zamanının olumlu bir tahminidir.

Taşıma Tamponu: Siparişlerin dağıtım günlerini (pazar kısıtları) korumak için kullanılır ve bu yüzden sürecin sonuna konumlandırılır. Bu tampon, kısıttan siparişlerin tamamlanma zamanına kadar üretim çevrim zamanının olumlu bir tahminidir (Şekil 3-7, Rahman, 1998).



Şekil 3-7 Basit Bir Üretim Sisteminde Zaman Tamponları

Envanter tamponları iç müşteriler gibi düşünülmelidir, bu şekilde üretim çizelgeleri ve müşteri gereksinimleri sürekli olarak karşılanabilir. Envanter yenileme zaman tamponları malzemenin envanter tamponlarına zamanında gelmesini sağlamak için kullanılır.

Bitmiş ürün envanterine gereksinim duymayan ürünler için sürecin sonunda, zamanında teslimatların garantilenmesi ve sistem performansının izlenmesi için bir sevkiyat zaman tamponuna gereksinim vardır. Bu zaman tamponu montaj, ön hazırlık

ve paketleme işlemlerinde kapasite kısıtlarının dışında meydana gelen sevkiyat teslim tarihlerini korur (Umble and Umble, 1999).

3.3.1 Tamponların Stratejik Rolü

Uygun bir biçimde tasarlanmış envanter ve zaman tamponları kaynakların etkin kullanımını garantilerken diğer tüm planlanmış envanterler ve ek üretim sürelerine gereksinimi yok ederler. Bu durum tesisin müşteri isteklerini daha az envanter, daha kısa çevrim süreleri ve toplam olarak da daha az kapasiteyle karşılamasına izin verir.

Envanter tamponları genelde sadece yüksek talebe sahip veya oldukça standartlaşmış ürünleri içerecek biçimde tasarlanmış envanterlerdir. Bu durum özellikle bitmiş ürün envanter tamponları için doğrudur. Kısmi işlenmiş malzemelerin olduğu durumda envanter tamponunun tutulacağı aşama dikkatle seçilmelidir. İdeal olarak malzeme türünden veya geri dönüşü olmayacak biçimde farklılaştırmadan dolayısıyla imalatın erken aşamalarında bir noktada olmalıdır.

Envanter tamponları geleneksel güvenlik stokları benzeri değildir. Genelde güvenlik stokları talepte veya tedarikte oluşan dalgalanmalara karşı stokta bulundurulması planlanan stok miktarıdır. Fakat bir çok geleneksel güvenlik stoğu bir stratejik bir amaç için ihtiyaç duyulan envanter tamponu gereksinimini karşılamaz. TTK sistemlerinde bu gibi güvenlik stoklarının bazıları zaman tamponları ile değiştirilerek ya azaltılır ya da yok edilir.

Zaman tamponları bir otomobildeki darbe koruyucular ile aynı fonksiyona sahiptirler. Bu tamponlar ekipman bozulmaları, işe devamsızlık, geçici aşırı yük gibi problemlerden dolayı oluşan bozulmaları gidermek için yerleşebilecekleri bir zaman aralığı oluştururlar, aksi halde bu durumlar malzemelerin sistem içinde akışını engellerler. TTK sistemlerinde her işlem için planlanmış üretim süresi sadece çalışma ve hazırlık zamanlarını kapsar. Zaman tamponları rototalamada meydana gelen bozulmaların etkisini gidermek için rotaların belli bölümlerine eklenir böylece imalat sürecinin kritik bileşenleri korunmuş olur. Bu şekilde sistemin tümü en küçük üretim süreleri ve stok ile çizelgede tutulur.

Zaman tamponları, malzemenin rototalamada ulaşması tasarlanmış olduğu noktaya, ulaşması için teorik olarak gereken en az süre kadar önce salınması ile

uygulanır. Örneğin kısıta ulaşmadan önce bir malzemenin altı işleminden geçmesi gerektiğini varsayalım. Eğer altı işlem için çalışma ve hazırlık süreleri toplam 10 saat ise bu malzeme salındıktan sonra en erken 10 saat sonra kısıta ulaşabilecektir. Bir zaman tamponu malzemelerin kısıta işlenmek üzere çizelgelendikleri zaman elverişli olmalarını garantilemeye yardımcı olur. Bu durumda, 15 saatlik bir zaman tamponu malzemelerin kısıtta işlenmek üzere çizelgelendikleri zamandan 25 saat önce salınacakları anlamına gelir. 15 saat beklenen hazırlık ve çalışma süreleri dışında süreç ile ilgili herhangi bir beklenilmeyen gecikmeyi yok etmeye yardımcı olur. Genellikle, zaman tamponlarının büyüklüğü rotalama boyunca potansiyel gecikmelerin sıklık ve büyüklüğü kullanılarak belirlenmelidir.

Lojistik sistemlerin birçoğunda, tek tek kaynakların çizelge performansını korumak için kuyruk ve bekleme zamanı gibi büyüklükler kullanılır. TTK sistemlerinde stratejik olarak tasarlanmış zaman tamponları tüm sistemin performansını korumak için kullanılır. Zaman tamponları için tasarlanmış toplam zaman diğer lojistik sistemleri tarafından izin verilen zaman paylarından belirgin şekilde daha azdır (Umble and Umble, 1999).

3.3.2 Tampon Yönetimi

Stok yönetimi Kısıtlar Teorisi yönetim sisteminin bir parçasıdır. Tampon yönetimi yaklaşımı da kısıt tamponu, taşıma tamponu ve montaj tamponu yaklaşımıyla aynıdır. Kısıtlar Teorisi altında, stok yönetimi atölye kontrolüne dayanmaktadır. Özellikle, kısıtsız kaynakların kısıtlı kaynakların çizelgesini aksatmayacak şekilde ve müşteri dağıtım ihtiyaçlarına göre doğru zamanda, doğru sırada ve doğru üretim parti büyüklükleriyle çizelgelenmesini gerektirir.

Tampon yönetimi erken bir uyarı sistemi olarak düşünülebilir. Tamponların stratejik olarak yerleştirilmesi, aciliyetine göre süreç problemlerinin tanımlanmasında ve trampet çizelgesindeki ve başlangıç çizelgedeki boşlukları kısıt kaynaklar yardımıyla ortaya çıkarmasında kullanılabilir. Bu iki çizelgenin karşılaştırılması tampon yöneticisine ilk çizelgede kaçırılmış sevkıyat zamanlarını tanımayı ve üretimi potansiyel problemlere karşı ayarlamak için yollar bulma fırsatı sunmaktadır.

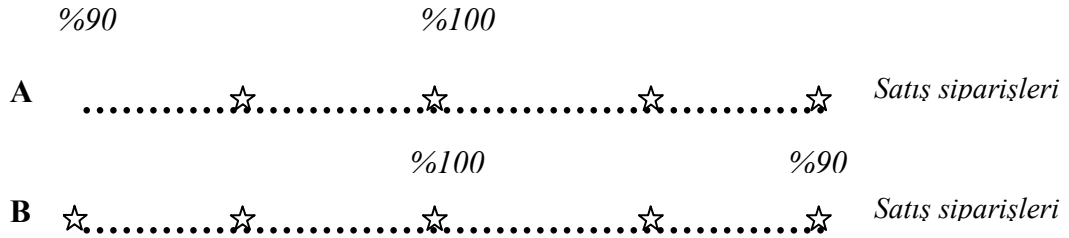
Tampon yöneticileri sevkiyat ve trampet iş merkezi için çizelge yaparken ayarlamalar yaparlar. Bunun nedeni TTK sistemiyle oluşturulan çizelge sistemde üretilebilecek en fazla çıktıyı elde etmeye yöneliktir ve bu durum sevkiyat çizelgesindeki önceliklere dayandırılır. Bir parça tampon orijinine ulaşamadığında öncelikle üretimi tehdit ettiği yerden başlanılarak, gecikmenin yeri ve nedeni kaydedilir. Koruma için gerekli olan miktarın azaltılması için hangi faaliyetin gerçekleştirileceği bilgisi Pareto Analiziyle tespit edilir.

Tampon orijini özel bir kaynakta veya taşıma durumunda tamponun nereye yerleştirileceğini belirtir. Tampon uzunluğu tampon yöneticisine özel bir operasyonda koruma kapasitesinin nereye yerleştirileceği hakkında fikir vermektedir.

Koruma zamanı, süreç içi stok miktarı ve koruma kapasitesi için makinaların ayarlanması dinamik tamponlama adını almaktadır.

Dinamik Tamponlama

Dinamik tamponlama, tamponlama sürecini iyileştirmek için kullanılan bir metottur. Bu sayede tüm tampon büyüklükleri envanter düşürülerek azaltılabilir ve ancak kısıt olmayan bir kaynağın koruyucu kapasitesi, tampon büyüklüğündeki bir artışla tehdit edilirse ve bu da hammaddenin daha erken serbest bırakılmasıyla sonuçlanırsa düşünülmelidir (Stein, 1997). Dinamik tamponlama kısa dönemde kısıtsız kaynağın tamponu aşırı beslediği durumlarda tamponlara yayılım için izin vermektedir (Gadriner and Blackstone, 1998).



Şekil 3-8 Kısıta Yakın Kaynaklar

Şekil 3-8’de A örneğinde, kısıt ve malzeme çıkışı arasındaki bir kaynağın varlığı, kısıt çizelgesinin bir sonucu olarak, gerekli olan koruyucu kapasitenin miktarını sınırlayarak %90 oranında yüklenmesini sağlamıştır. Aynı durum B örneği için de geçerlidir. Üstelik kısıt ve satış siparişi arasında koruyucu kapasiteyle sınırlandırılmış bir kaynak vardır. Bu koşullar koruma miktarındaki bir artışın ek kapasite bulunabilmesi için malzemenin çıkışıyla veya satış siparişlerinin yeniden çizelgelenmesiyle sonuçlandığı durumlardır. Bu durumlar dinamik tamponlama olarak adlandırılır.

Dinamik tamponlamanın uygunluğunu belirlemek için, mevcut kapasite miktarı ile parça işlemler tarafından kullanılan kısıt çizelgesinden önce ve sonra var olan kısıt olmayan her kaynağa yerleştirilen talep arasında bir karşılaştırma yapılmalıdır (Stein, 1997).

3.4 Senkronize Üretim-OÜT, Tam Zamanında Üretim ve Malzeme İhtiyaç Planlaması Sistemlerinin Karşılaştırılması

Senkronize Üretim (SÜ), Tam Zamanında Üretim (TZÜ) ve Malzeme İhtiyaç Planlaması (MİP) arasında önemli bir takım benzerlikler vardır. Örneğin bunların tümü tüketici talebinin karşılanması ve stokların düşürülmesi şeklinde ortak bir amaca sahiptirler. Malzeme ihtiyaç planlaması ve senkronize üretim yazılım desteği gerektiren planlama teknikleridir. Malzeme ihtiyaç planlamasını bir programlama sistemi olarak görmek mümkündür, ancak, gerek tam zamanında üretim sistemi, gerekse senkronize üretim birer yönetim felsefesi olarak değerlendirilebilecek niteliktedir.

Malzeme ihtiyaç planlaması, ana üretim programından yola çıkarak, temin sürelerini göz önüne almak suretiyle satın alınacak malzemeler için siparişleri, işletmede üretilecek parçalar için iş emirlerini oluşturur ve parça ve malzemelerin üretim sürecinin bir aşamasından bir sonraki aşamasına doğru itilmesini gerektirir. Buna karşılık, tam zamanında üretim ve senkronize üretim çekme sistemleridir. Tam zamanında üretimde sürecin sonundan geriye doğru çekme söz konusu iken, senkronize üretimde darboğazlı işleme doğru bir çekme, darboğazlı işlemde sonra bir itme söz konusudur. Smith, senkronize üretim sistemlerinde pazarın kapasiteyi sınırlayıcı bir

kaynak oluşturması durumunda, tüm tesisin bir çekme sistemine dnőeőeėini belirtmektedir. Duclos ve Spencer, senkronize üretimdeki mekanizmayı “sıkıştırma” şeklinde tanımlamışlardır.

Senkronize retim, tam zamanında üretim sisteminde olduğu gibi, yarı mamul stoklarını düşürmek amacıyla tesis içinde üretim akışını senkronize etmeye çalışmaktadır. Ancak, iki sistem arasında bu amacın gerçekleştirilmesinde kullanılan yöntemler arasında farklılıklar vardır. Tam zamanında üretim sisteminde üretim akışı kanbanlarla denetlenirken, senkronize üretimde darboğazlı işlemin hızına uyulacak şekilde bir senkronizasyona gidilmekte; senkronizasyonun sağlanması ise trampet-tampon-kordon mekanizmasından yararlanılmaktadır.

Tam zamanında üretim tersine, senkronize üretim ve malzeme ihtiyaç planlaması sistemleri sabit bir ürün karmasının zaman içinde sabit bir hızla üretilmesini gerektiren sistemler değildirler. Bunlar, rn karmasında ve sipariş miktarlarında meydana gelebilecek dalgalanmalara cevap verebilecek yapıdadırlar.

Tam zamanında üretim sisteminin, senkronize üretim sistemi ve malzeme ihtiyaç planlaması karşısında, üretim sürelerinin kısalığı ve yarı mamul stoklarının düşüklüğü açısından önemli stnlkler taşıdığını yadsımak mümkün değildir. Ancak, çok çeşitli ürün, değişken talep ve karmaşık evre koşulları karşısında, malzeme ihtiyaç planlaması ve optimize üretim sistemleri teknolojilerinin kullanılabilmelerine karşılık, bu koşulların, tam zamanında üretim sistemleri için başa çıkılamayacak güçlükler çıkardığı da kabul edilmelidir.

Tam zamanında üretimden elde edilecek çıktı, son müşterinin yarattığı gerçek talep tarafından belirlenir, senkronize üretim sisteminde ise sistem kapasitesini sınırlayan süreç ya da makine esas alınarak hazırlanan ana üretim programına göre hareket edilir. Malzeme ihtiyaç planlamasında ise talebin yönlendirdiği ana üretim programı esas alınır.

Malzeme ihtiyaç planlamasında trampet vuruşunun, talebin yönlendirdiği ana üretim programından gelmesine karşılık, senkronize üretimde bu vuruş, darboğazlı kaynak esas alınarak hazırlanan ana üretim programından gelir. Malzeme ihtiyaç planlaması sisteminde ilk oluşturulan malzeme ihtiyaç planının getirdiği yükün sistem kapasitesini aşması halinde, ana üretim programında değişiklik yapılması ve planların yeniden hazırlanması gerekebilir. Başka bir deyişle, kapasite kısıtını baştan göz önüne

almaması nedeniyle, bunun ayrı bir sorun olarak yeniden çözülmesi gerekmektedir. Senkronize üretimde de bir ana üretim programı geliştirilmesi söz konusudur, ancak bu program darboğazlı veya kapasiteyi sınırlayıcı kaynağın mevcut kapasitesinden yola çıkılarak hazırlanır. İleriye doğru programlama ve sonlu yükleme, darboğaz oluşturan ve onu izleyen kaynaklar üzerinde kapasitenin aşılmamasını sağlar. Burada Malzeme ihtiyaç planlamasından farklı olarak yeterli kapasitenin bulunup bulunmadığı konusunda şüpheye düşülmez. Tam zamanında üretim sistemi ise, bir çekme sistemi olarak gerçek talep tarafından harekete geçirilen bir sistemdir, dolayısıyla kapasite talep karşısında dengelenmiş durumdadır. Sistemin işleyebilmesi için sabit bir talep hızı koşulunun sağlanmış olması gereği açıktır. Talepteki aşırı dalgalanmalara tahammül edecek bir yapıya sahip değildir.

Optimize üretim teknolojisi, atölye düzeyinde üretimin gerçekleştirilebilmesi için makinalar itibarıyla üretim programını eksiksiz oluşturabilen bir sistemdir. Bu sistemde her bir siparişin her bir makine üzerinde başlama, tamamlanma zamanları, gerekli hammadde miktar ve zamanları, üretim ve transfer parti büyüklükleri gibi atölye düzeyinde denetimle ilgili tüm kararlar üretilmiş durumdadır. Tam zamanında üretim sisteminde bu sorun, kanban sistemince gerçekleştirilen çekme mekanizmasıyla çözülmüş durumdadır. Bu sistemde bir sürecin, bir önceki süreçten tam gerektiği anda parça çekmesi mümkündür. Buna karşılık, malzeme ihtiyaç planlaması, atölye düzeyinde üretimin programlanmasında yol gösterici nitelik taşımaz (Vonderembse and White, 1991). Malzeme ihtiyaç planlamasıyla 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.

Senkronize üretimde saatlik programlar hazırlanabilmesine karşılık, malzeme ihtiyaç planlamasında genellikle haftalık, ancak en iyi olasılıkla günlük programlar hesaplanabilir. Tam zamanında üretim sisteminin bir denetim ve işletim tekniği olması, malzeme ihtiyaç planlaması ile karşılaştırıldığında, senkronize üretime daha yakın bir özelliktir.

Diğer taraftan, her ne kadar senkronize üretim ve tam zamanında üretim, kaynakların kullanımının en iyilemesini amaçlayan sistemler ise de, bir orta ve uzun

dönemli planlama aracı değildirler ve imalat kaynakları planlaması sisteminin oluşturduğu türden planların hazırlanmasında kullanılamazlar.

Malzeme ihtiyaç planlamasının ihtiyaç anında geriye doğru programlama özelliğine karşılık, senkronize üretim yaklaşımı kritik kaynaklar üzerinde ileriye doğru programlama mantığıyla çalışmaktadır. Kritik olmayan (darboğaz) oluşturmeyen kaynakların ise kritik kaynakları destekleyecek ve yarı mamul oluşumunu engelleyecek şekilde geriye doğru programlanmaları yoluna gidilir.

Tam zamanında üretim sisteminde üretim ve transferin tek birimlik partilere dönüştürülmesi ideali doğrultusunda çalışılır; senkronize üretimden farklı olarak, üretimde ve transfer parti büyüklükleri birbirine eşittir. Senkronize üretimde darboğaz olmayan kaynaklar üzerindeki küçük ve değişken büyüklükteki partiler halinde üretim yapılmasına izin verilir. Üretim süresinin ve yarı mamul stoklarının düşürülmesi için, senkronize üretimde üretim parti büyüklükleri ve transfer parti büyüklükleri değiştirilebilir, gerektiği takdirde üretim partileri bölünebilir. Malzeme ihtiyaç planlaması böyle bir olanağa sahip değildir.

Bilindiği gibi, tam zamanında üretim sistemlerinde makine hazırlık sürelerinin düşürülmesi ve böylelikle küçük partiler halinde üretim yapılması yönünde yoğun bir çaba harcanmaktadır. Buna karşılık, malzeme ihtiyaç planlaması sisteminde makine hazırlık sürelerinin düşürülmesi yönünde bir kaygı yoktur. Bunun bir istisnasını darboğaz kaynaklar oluşturmaktadır. Darboğazlı kaynaklar üzerinde makine hazırlık sürelerinin düşürülmesiyle sistemin para kazanma gücü artacağından bu konu üzerine eğinilmektedir.

Malzeme ihtiyaç planlamasında siparişlerin üretim süreleri sabit kabul edilmiştir. Bir üretim tesisinde üretim süresi, iş emrinin gönderilmesinden parça üretiminin tamamlanışına kadar geçen süre olarak tanımlanır ve makine hazırlık, işlem ve bekleme sürelerinden oluşur. Bekleme süreleri ise üretim süresinin önemli bir yüzdesini oluşturur. Üretim sürelerinin, özellikle beklemeyle ilişkin kısmının, atölyedeki iş yüküne göre değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Malzeme ihtiyaç planlamasında, olası değişkenlikler karşısında pay ayrılarak üretim sürelerinin uzun belirlenmesi yoluna gidilir. Kuşkusuz bu önlem, sistemdeki stok düzeylerinin artmasına neden olur. Gerçekte, programın hazırlanmasında üretim sürelerinin sabit kabul edilmesi, malzeme ihtiyaç planlaması sisteminin önemli bir sakıncasını oluşturur. Senkronize üretim

mantığına göre bunlar sabit kabul edilemez, oluşturulan programın sonucunda ortaya çıkarlar, dolayısıyla değışkendirler. Tam zamanında üretim sistemlerinde ise, çekme mekanizması çalıştığından, bekleme süreleri ortadan kaldırılmış durumdadır.

Hem Malzeme ihtiyaç planlaması ve hem de Optimize Üretim Teknolojisi'nin planlama sürecini destekleyecek veri ihtiyacı çoktur ve her iki sistemde bu verilerin bütünleşmesini sağlayacak sistemlere ihtiyaç duyarlar. MİP ile kıyaslandığında, optimize üretim teknolojisi daha ayrıntılı bilgiye ihtiyaç duyan bir sistemdir. Birçokları, bu ayrıntılı bilgilerin derlenmesiyle, bu sistemin önemli bir yararı olarak görmektedirler (Stevenson, 1986).

Senkronize üretimin herhangi bir manüel veya bilgisayara dayalı planlama ve denetim sisteminde uygulanması mümkündür. Ancak uygulamaların çok büyük bir bölümünde bir yazılım kullanılmıştır. Bu özelliği itibariyle malzeme ihtiyaç planlaması ise benzerlik taşımaktadır. Uygulamada optimize üretim teknolojisinin, malzeme ihtiyaç planlamasından daha hızlı ve daha düşük olduğu görülmüştür. Optimize Üretim Teknolojisi sistemini geliştirenler, ayrıntılı programlar oluşturulmasında Optimize Üretim Teknolojisi'nin malzeme ihtiyaç planlamasından 100 kat daha hızlı olduğunu (Aggrawal ve Aggrawal, 1986) iddia etmişlerdir. Yazılımın bazı modüllerinin açıklanmamış olması nedeniyle bu durum teorisyenler ve uygulamacılar tarafından şüpheyile karşılanmıştır. Bir grup araştırmacı, bu denli hızlı sonuç veren bir yazılımın çok basitleştirici varsayımlara dayanma olasılığı üzerinde durmuşlardır.

Tam zamanında üretim ile senkronize üretim arasındaki önemli bir farklılık, senkronize üretimin tüm iş istasyonlarındaki iş yüklerini dengelememesinden kaynaklanmaktadır. Gerçekte, senkronize üretim sistemlerinde bir adet “en yavaş” istasyona sahip olabilmek için üretim hatlarının bilinçli olarak dengelenmemesi yoluna gidilmektedir. Tam zamanında üretim sistemlerinde, işlem süreleri arasındaki değışkenliğin ortadan kaldırılması suretiyle istasyonlar arasındaki bağımlılık azaltılmaya çalışılmaktadır. Her ne kadar optimize üretim yaklaşımının tam zamanında üretim sistemlerinde kanban kullanımının altında yatan temel düşüncelere benzerlikleri bulunmaktaysa da kanban kullanımı manüel bir yaklaşımdır, oysa optimize üretim teknolojisi uygulaması bir yazılımla gerçekleştirilmektedir.

Optimize üretim teknolojisinin siparişleri iş merkezlerine bir program dahilinde ataması nedeniyle, üzerinde çalışılardan fazla yarı mamul stoğuna ihtiyaç

duyulmamaktadır. Darboğazlı makinayı sürekli çalışır durumda tutmak için bu makinanın önünde bulundurulmuş stoklar ve siparişleri karşılamak için bulundurulmuş son ürün stokları bunun istisnasını oluşturmaktadır. Ayrıca, bu sistemde transfer parti büyüklüklerine izin verilmesi ve partilerin bölünerek işlenmesinin olanaklı olması da stokların düşürülmesini sağlayan özelliklerdir. Kuşkusuz stoklar açısından bakıldığında, tam zamanında üretim sisteminin minimum stok düzeyiyle çalışma konusundaki üstünlüğü tartışmasızdır. Diğer taraftan, malzeme ihtiyaç planlamasında partiler halinde üretim yapıyor olması nedeniyle bu sistemde yarı mamul stoklarının, diğer iki sisteme kıyasla oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Diğerlerine kıyasla yüksek stok düzeyleriyle çalışma zorunluluğu nedeniyle, malzeme ihtiyaç planlaması sisteminin değişen ihtiyaçlara hızlı cevap verebilme yeteneğinden yoksun olduğunu söylemek mümkündür. Ürün karmaşasının geniş ve talepteki dalgalanmaları ele alabilme olanağının yüksek olması, esneklik açısından senkronize üretimi tam zamanında üretim sistemlerinin de önüne geçirmektedir.

Sistem içindeki sorunların ortaya çıkarılarak çözülmesine yönelik olarak çalışan tam zamanında üretim sisteminden farklı olarak, senkronize üretim, çeşitli aşamalarda süreç sorunları olabileceğini kabul eden bir sistemdir (Burman, 1995). Tam zamanında üretim sistemlerinde tüm stoklar ortadan kaldırılmış, parti büyüklükleri ortadan kaldırılmış, parti büyüklükleri minimize edilmiş durumdadır. Bunu engelleyecek herhangi bir sorun çıktığı takdirde, bu sorunun ortadan kaldırılmasına çalışılır. Oysa senkronize üretim, sistemdeki olası sorunlar karşısında önlem alacak şekilde tampon stoklarına izin veren bir sistemdir. Ancak, tam zamanında üretim sisteminin sürekli iyileştirme felsefesinin senkronize üretim ile doğru olduğunu söylemek doğru değildir. Burada da sürekli iyileştirmelerle sistem başarısının artırılmasına çalışıldığı görülmektedir. Örneğin kritik kaynaklara parça akışındaki değişkenlik azaltılarak kritik kaynak önündeki güvenlik stoklarının düşürülmesi, darboğazlı kaynaklar üzerinde verimliliği artırıcı çözümler aranması, sürekli iyileştirme felsefesi doğrultusunda yapılan çalışmalardır.

Tam zamanında üretim sisteminin herhangi bir yerindeki aksaklık, izleyen işlemleri etkiler, OÜT’de herhangi bir işlemde sadece darboğazlar etkilenir. Malzeme ihtiyaç planlamasında ise herhangi bir aksaklık karşısında, sistemin yeniden çalıştırılarak yeni planların oluşturulması gerekir.

Ptak, Malzeme İhtiyaç Planlaması, Tam Zamanında Üretim, Optimize Üretim Teknolojisi sistemlerinin uygun durumlarda kullanılması halinde, işletmelerin uzun dönemli başarısı açısından önemli planlama ve işletim sistemi olduğunu ifade etmiştir. Önceleri her üç sistemi karşılaştırmaya yönelik çalışmalara kaymakta olduğu gözlenmiştir. Sistemlerin birbirleriyle uyumsuz olmaları, birleştirmeye yönelinmesine neden olmuştur.

Literatürde, anılan sistemleri birleştirme çabalarının çok büyük bir kısmının ya malzeme ihtiyaç planlaması sistemiyle tam zamanında üretim sistemini, ya da malzeme ihtiyaç planlaması sistemiyle senkronize üretim sistemini birleştirmeye yöneldiği görülmektedir.

Tam zamanında üretim sistemiyle malzeme ihtiyaç planlaması sistemi bir arada ve birbirlerini tamamlayacak şekilde kullanılabilirler. Bu iki sistemi birleştirmeye yönelik çalışmalarda imalat kaynakları planlaması sistemlerine, çekme mekanizmasının unsurlarını eklemek suretiyle bazı değişiklikler yapılmış ve MİP çerçevesinde çalışılan bir sistemde, işlemler düzeyinde TZÜ uygulamasına olanak tanıyan düzenlemelere gidilmiştir.

Literatürde ayrıca, imalat kaynakları planlaması sistemiyle senkronize üretimi birleştirmeye yönelik çalışmalara da rastlanmaktadır. Muhlemann (1992) ve diğerlerine göre, teorik olarak optimize üretim teknolojisinin önerdiği darboğazlı işlemlere yönelik programlama ilkelerinin malzeme ihtiyaç planlaması sisteminin ayrıntılı kapasite planlama aşamasına birleştirilmesi mümkündür. Dolayısıyla, bu çalışmalarda genellikle malzeme ihtiyaç planlarının belirlenmesinde ve siparişlerin açılmasında malzeme ihtiyaç planlaması sistemi kullanılması, ancak ana üretim programının müşteri siparişleri tarafından değil, kapasiteyi sınırlandırıcı kaynak tarafından yönlendirilmesi önerilmektedir.

Vollman'a (1990) göre, gerçekte senkronize üretim sistemi, malzeme ihtiyaç planlaması sistemlerinin veri tabanındaki bilgilerin büyük bir kısmından yararlanmaktadır. Dolayısıyla halihazırda, MİP kullanan bir işletmede optimize üretim teknolojisi kullanılması için gerekli bir çok koşul hazır durumdadır. Malzeme ihtiyaç planlaması yazılımlarına bir sonlu yükleme algoritması eklenmesiyle, senkronize üretim felsefesinin bazı olumlu sonuçlarının adı geçen sistemlerde sağlanması mümkün olabilecektir. Sonlu yükleme algoritmasıyla birlikte, yönetici yargısına ve/veya

siparişlerin gecikmesi sonucu katlanılacak maliyetlere dayalı öncelik programları kullanılmalıdır.

İki yaklaşımı birleştiren modellerde ayrıca, atölye düzeyinde trampet-tampon-kordon mekanizmasının işletilmesi öngörülmektedir. Bu düzenlemenin yapılmasıyla, üretim sürelerinin sabit, partilerin sabit ve bölünmez, kapasitenin sınırsız olduğu varsayımları ortadan kaldırılmış olacaktır.

Muhlemann (1992) ve diğerlerine göre, son zamanlarda, her üç sisteminde en avantajlı yanlarını bir araya getirmeye yönelik çalışmalara da rastlanmaktadır. Örneğin, imalat kaynakları planlamasının kapasite planlaması aşamasında optimize üretim teknolojisi ilkelerini kullanmak, ayrıca işletim ve denetim amacıyla da tam zamanında üretim ilkelerinden yararlanmak suretiyle her üç sistemin birleştirilmesi önerilmiştir.

Son olarak, malzeme ihtiyaç planlaması ve tam zamanında üretim sistemlerine kıyasla, senkronize üretimin, henüz tam olarak duyurulmuş, anlaşılmış ve olgunlaşmış bir yaklaşım olduğunu söylemek mümkün değildir. Yaklaşım, modern anlayış ve sistemlerle uyumlu niteliktedir; mantıklıdır; açık, net, kolay anlaşılabilir ve kolay uygulanabilir özellik taşımaktadır (Üreten, 1998).

4 TRAMPET-TAMPON-KORDON ÇİZELGELEME SİSTEMİNİN BİR ÜRETİM İŞLETMESİNDE UYGULANMASI

4.1 İşletmenin Tanıtımı

Arçelik Eskişehir Buzdolabı İşletmesi'nin temeli, 1973 yılında atılmıştır. İşletme, 1975 yılında 200 bin metre kare toplam açık alan ve 30 bin metre kare kapalı alanda kurulan tesislerde üretime başlamıştır. Buzdolabı İşletmesi, 1987 yılında kapalı alanını 41 bin metre kareye çıkararak faaliyetine devam etmiştir. İşletme, Türkiye buzdolabı pazarındaki liderliğini sürdürmekle kalmamış, aynı zamanda kısa sürede uluslararası pazarda Arçelik isminin yerleşmesini sağlayarak, dünyanın sayılı buzdolabı üreticileri arasında önemli bir yere ulaşmıştır. Ocak 1995' de yapılan, yalın üretimi esas alan tekrar yapılanma ile, tüm işletmelerle birlikte Buzdolabı İşletmesi'nde de ekip, takım ve alan sistemine geçilmiş, süreç odaklı yönetim felsefesi benimsenmiştir.

Arçelik'te buzdolabı tasarımları, endüstriyel tasarımcılar ve Araştırma Bölümü ile birlikte çalışan Ürün Geliştirme Bölümü tarafından, tümüyle bilgisayar destekli tasarım ortamında üç boyutlu olarak modellenir. Bu modeller üzerinde, analiz programlarıyla en uygun performans ve tüketici memnuniyeti sağlamak amacıyla çalışmalar yapılır. Stereo Litografi ve diğer modern teknikler vasıtasıyla prototip modelleri oluşturulan buzdolapları, bilgisayar kontrollü, tüm iklim ve test koşullarını simüle eden performans odalarında test edilir. Böylece yeni ürünler müşterilerin talepleri doğrultusunda, en kısa sürede ve en büyük güvenlikte üretime hazır hale getirilir. Eş zamanlı mühendislik yöntemleri kullanılarak, tasarım aşamasında, üretim için gerekli kalıp, teçhizat gösterimlerinin oluşturulması, temin edilmesi ve devreye alınması sağlanır.

Bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim sistemleri kullanılarak geçmişte ithal edilen kalıp ve üretim teçhizatının önemli kısmının Türkiye'de üretilmesine geçilmiştir. Yerlileştirme ile maliyet, kalite ve zaman avantajları sağlanmaktadır. Üretim aşamasında ilk adım, yardımcı sanayiden temin edilen parçaların tasarım kriterlerinin ve üretim süreçlerinin yardımcı sanayi ile birlikte çalışarak oluşturulmasıdır. Toplam Kalite Yönetimi bilinci Arçelik'le birlikte yardımcı

sanayinde de yerleşmiştir. Yardımcı sanayi ürettiği parçaların kalite sorumluluğunu taşır.

Buzdolabı İşletmesi, ISO 9001 ile tarif edilen uluslararası standartlarda kalite ve üretim sistemini kurmuştur. Ürünlerin tamamı, uluslararası ISO, EN, TSE ürün ve elektriksel güvenilirlik standartlarına uygun olup, TSE, İngiltere bağımsız onay kuruluşu BEAB, Almanya VDE, Amerika AHAM ürün ve komponent onaylarına sahiptir. 2001 yılında gerçekleştirdiği 1.2 milyon adeti aşan rekor üretimle dünyanın sayılı üreticileri arasına girmiş ve Avrupa'da tek kampusta üretim yapan işletmeler arasında 3 üncü sıraya yerleşmiştir. 2001 yılında üretiminin % 64'ü, çoğu Avrupa Birliği üyesi ülkelere olmak üzere, Türkiye dışındaki pazarlara satılmıştır. Sekiz yıl gibi kısa bir sürede, Arçelik'in İngiltere' de buzdolabı pazar payı % 12'ye ulaşmıştır. Buzdolabı İşletmesi enerji tasarrufuna yönelik projesi ile Enerji Bakanlığının, '2000 yılında Sanayide Enerji Tasarrufu ödülüne layık görülmüştür.

Buzdolabı İşletmesi aynı zamanda uluslararası ISO 14001 Çevre Yönetim Standardına göre bağımsız kuruluşlar tarafından belgelendirilmiş olup, çevre yönetim faaliyetleri bu standarda göre yönetilmektedir. İşletme ayrıca uyguladığı çevre yönetim sistemleri ve politikalarında sağladığı başarı nedeniyle Ağustos 2000 tarihinde Çevre Bakanlığı Çevre Beratı ile ödüllendirilmiştir. Üretimin her aşamasında doğaya saygısını sürdüren Eskişehir Buzdolabı İşletmesi, arıtma tesisi ve çevre güzelliğiyle bölgesindeki diğer işletmelere örnek olmaktadır.

Plastik Fabrikası

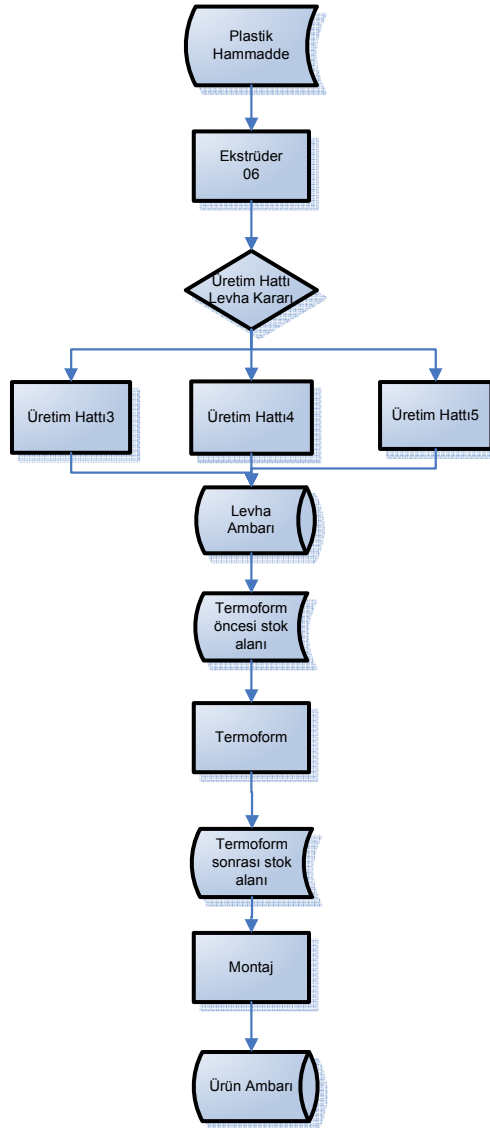
Arçelik Buzdolabı işletmesinde yılda üretilen ortalama 2.000.000 adet buzdolabının plastik ihtiyacının büyük bir bölümü plastik fabrikası tarafından karşılanmaktadır. Plastik fabrikasında 40 adet enjeksiyon pres ve 5 adet ekstrüder makinası bulunmaktadır. Enjeksiyon preslerde buzdolabının plastik malzemeleri olan sebzelik, yumurtalık, buzluk gibi kısımları yapılmaktadır.

Ekstrüder makinalarında üretim her gün plastik hammaddelerin silolara girme işlemiyle başlamaktadır. Hammaddeler silolardan ekstrüder makinalarına iletilmektedir. Ekstrüder makinalarında gerçekleştirilen ekstrüzyon işlemi, plastik hammaddelerin seri bir kalıptan geçirilerek istenilen şekle getirilmesi işlemidir. Hammaddeler bu makinalarda kapı ya da gövde levhası haline getirilerek, diğer bir sürece gönderilmeye uygun ara mamul haline dönüştürülürler.

Ara mamul haline getirilen kapı levhaları termoform sürecindeki makineler tarafından direk olarak çekilirken, gövde levhaları için farklı bir süreç uygulanmaktadır. Gövde levhaları ekstrüzyon işleminden çıktığında homojen bir sıcaklık dağılımına sahip değildirler. Bunun sağlanması için bir süre beklemeleri gerekmektedir ve aynı zamanda bu süre içinde levhalar soğumaktadırlar. Gövde levhalarının her yerinde uygun sıcaklık dağılımının sağlanması için gereken süre 24 saattir ve bu süre işletme çalışanlarının deneyimi yoluyla elde edilmiştir. Bu süreden önce levhalar termoform sürecine gönderilirse, fazla oranda fireyle karşılaşılacaktır.

Ekstrüzyon işlemine tabi tutulacak hammaddelerin boyutları buzdolabı fabrikası üretim planlama bölümünden gelen üretim hatlarının model temelindeki ihtiyaçlarına bağlıdır. Bu bölümden gelen ihtiyaç listesine göre ekstrüder makinaları levha üretimi yapmak üzere çizelgelenmektedir. Plastik fabrikasında bulunan 5 adet ekstrüder makinasının iki adedi sadece gövde, iki adedi sadece kapı ve bir adedi de ihtiyaca göre dönüşümlü olarak hem kapı hem de gövde levhası üretmektedir. Bu makineler ayrıca kapasite olarak birbirlerinden farklıdırlar. Fabrikada bulunan makineler Ex01, Ex02, Ex04, Ex05 ve Ex06 olarak adlandırılmaktadır. Ex01 550 kg/saat, Ex02 600 kg/saat, Ex04 450 kg/saat, Ex05 1300 kg/saat ve Ex06 1550 kg/saat kapasiteye sahiptir. Ex 05 ve Ex 06 makinaları kapasitelerinden dolayı sadece gövde levhası üretimi yapmaktadırlar. Ekstrüder makinalarının ayrıca üretim yaptıkları hatlar belirlenmiştir.

Soğumak üzere ambara gönderilen levhalar termoform sürecinde işlenmek üzere ilk olarak termoform öncesi stok alanına, ardından termoform makinasında ısıtılarak gövde halini alan mamullerin bir kısmı da montajdan önce stok alanında tutulmaktadırlar. Ekstrüder ve termoform makineleri arasındaki sürecin akış şeması Şekil 4-1’de gösterilmiştir. Ekstrüder makinası olarak gövde üretimi yapan Ex 06 ve üretim yapmış olduğu hatlar gösterilmiştir.



Şekil 4-1Ekstrüder-Termoform Süreci Akış Şeması

4.2 Mevcut Durumda Ekstrüder Makinalarının Programlanması

Arçelik Plastik Fabrikasında bulunan 5 adet ekstrüder makinasının günlük levha üretim miktarı Buzdolabı İşletmesi Üretim Planlama bölümünden gelen Ana Üretim Programına göre belirlenmektedir. Levha üretim biriminde her sabah bir çalışan tarafından levha ambarındaki stok miktarları ve termoform öncesi stok alanındaki miktarlar elle sayım yapılarak, günlük ihtiyaçtan çıkartıldıktan sonra, kaba bir hesaplamayla ekstrüder makinalarındaki levha üretimine geçilmektedir. Ancak yinede işletme politikası gereği ihtiyacından fazla üretilen bu üretimleri levha ambarındaki stok

alanına göndermektedir. Bu politikanın bir nedeni de gövde levhalarının soğuma için beklemesi gerektiğidir. Günlük ihtiyaçlar kadar levha termoform makineleri tarafından ambardan çekildikten sonra, bu levhaların yerine üretim yapılmaktadır.

Ekstrüder makineleri programlanırken karşılaşılan temel sorunları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

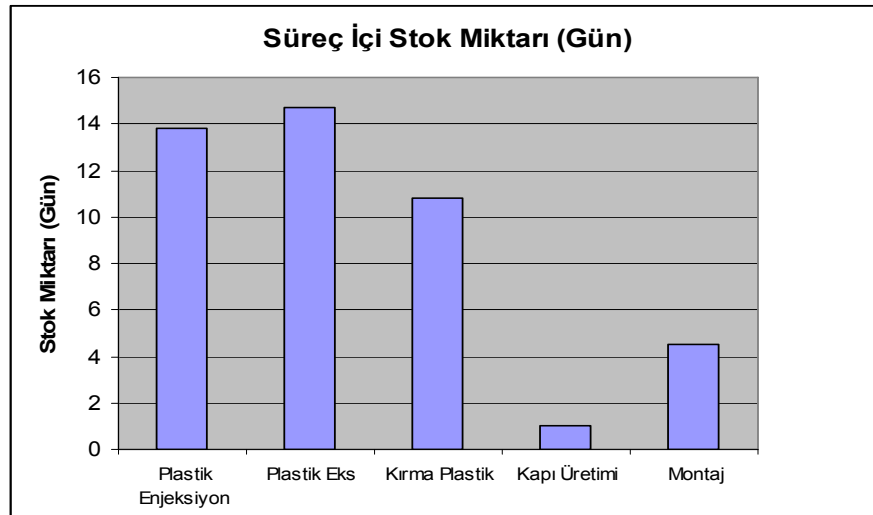
- Levha boyutları büyüklüklerinden dolayı AS/RS konteynırına sığmadığı için AS/RS taşıma sistemine dahil olamamaktadır. Bundan dolayı hangi tarihte, hangi levha modelinden ambarda ne kadar levha bulunduğu bilgisi kayıtlı değildir.
- Sayım operatörler tarafından her sabah raflardaki modeller ve adetleri not edilip toplanarak yapılmaktadır. Hata yapma olasılığının yüksek olması nedeniyle sayımın güvenilirliği çok düşüktür. Bundan dolayı stok dışı kalmamak için gerektiğinden daha fazla üretim yapılmakta ve dolayısıyla da stokların artmasına sebebiyet verilmektedir.
- Her gün sabah vardiyasında bulunan operatörler bir saatlik zamanlarını sayım yapmak için harcamaktadır.

4.3 İşletmede Mevcut Durumda Karşılaşılan Problemler

Ekstrüder makinalarında üretim yapılırken hem gereğinden fazla üretim yapıp stoğa gönderilmesi hem de levha stoklarının görüntüleneceği bir bilgi sisteminin bulunmamasından ötürü, belli bir süreden sonra levha ambarının kapasitesinin üzerinde stokla karşı karşıya kalınmıştır. Aşırı stokla karşılaşmanın en önemli sebebi ise ekstrüder ve termoform makineleri arasında günlük üretim kapasitesi farklılığıdır. Ekstrüder makineleri günlük olarak termoform makinalarının ısıl işleme tabi tutabileceğinden daha fazla levha üretimi yapmaktadır. Hem ekstrüder makinalarında üretimin sınırlandırılmaması hem de ambarda bulunan levhaların miktar ve üretim tarihlerinin belirlenememesinden ötürü ambar kapasitesini aşan miktarlar sürekli olarak bir tür geri işleme kazanım birimi olan Plastik Kırmaya gönderilmektedir. Plastik Kırma sürecinde levhalar kırıldıktan sonra hammaddeleri tekrar kullanılmak üzere geri dönüşüm işlemi gerçekleştirilir. Kırımı yapılan levhalar belirli bir oranda yeni hammadde ile karıştırılarak tekrar işlenebilmektedir. Bundan dolayı işletme

birimlerinde süreç içi stoklar olması gerekenden yukarıda bir seyir izlemektedir. Ancak kırımı yapılan levha miktarının sürekli artışı sonucunda bu levhaların tüketilmesi (eritilmesi) de çözülmesi gereken bir problem olarak ortaya çıkmıştır. Artan levha stoklarının ve buna bağlı olarak kırık levhaların tüketilmesi problemi bu çalışmanın çıkış noktasını oluşturmaktadır. Levha üretimi ile gövde üretim süreci arasında oluşturulacak tampon stok ve senkronize üretimin Trampet-Tampon-Kordon çizelgeleme yaklaşımıyla bu problemin çözülebileceği düşüncesinden hareketle bir yöntem geliştirilmiştir.

Arçelik Buzdolabı İşletmesinde mevcut durumda Plastik Fabrikasında bulunan Ekstrüder Bölümünde, Kırma Plastik Bölümünde, Plastik Enjeksiyon Bölümünde, Kapı Üretimi ve Montaj hattında aylık temelde tutulan ortalama süreç içi stok miktarları (gün) Şekil 4-2’de gösterilmiştir.



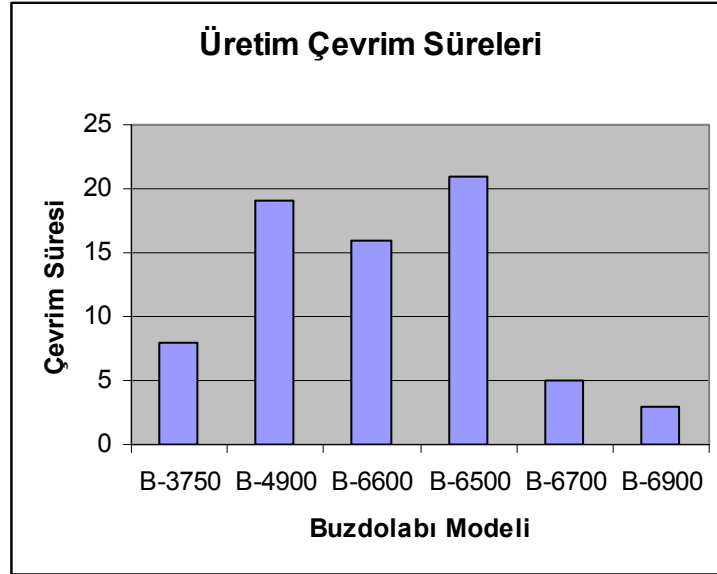
Şekil 4-2 Süreç İçi Stok Miktarı (Gün)

İşletmenin karşı karşıya olduğu diğer önemli bir problem ise üretim çevrim sürelerinin uzunluğudur. Belirtildiği gibi gövde levhaları termoform sürecinde işlenmek üzere en az 24 saat beklemek zorundadır. Ancak bu özel durumun yanı sıra ambara giren levhaların düzensiz şekilde yerleştirilmeleri, levhalara ait özlük bilgilerini içeren herhangi bir veri tabanının olmaması, levhaların ambara giriş kaydının tutulmaması, herhangi bir anda bir modelden stoklarda ne kadar bulunduğunu gösteren bir sistemin olmaması, ekstrüder makineleri ve termoform makineleri arasında iletişimin sağlanamamasından ötürü, iki süreç arasında levha akışı herhangi bir gönderme kuralına göre yapılamamaktadır. Dolayısıyla stok artış temelli bu durum levhaların ekstrüder

makinalarından çıktıktan sonra termoform sürecine işlenmek üzere gönderilme süresini uzatmaktadır. Mevcut durumda ekstrüder makinalarında işlendikten sonra termoform sürecine gönderilen bazı buzdolabı modellerinin çevrim süreleri aşağıda verilmiştir; (Tablo 4-1, Şekil 4-3).

Tablo 4-1 Üretim Çevrim Süreleri

MODEL	Üretim Çevrim Süreleri(Gün)
B-3750	8
B-4900	19
B-6600	16
B-6500	21
B-6700	5
B-6900	3
ORTALAMA	12



Şekil 4-3 Üretim Çevrim Süreleri

İşletmede ekstrüder makinalarında levha üretimi yapılırken dikkat edilmesi gereken diğer özel bir nokta ise üretilecek modellerin levha enlerinin birbirine yakın olması gerektiğidir. Çünkü ekstrüder makinelerinde üretilecek modellerin levha enlerine göre kalıp ayarlaması yapılmaktadır. Enleri birbirine yakın modeller arka arkaya üretilirse hazırlık zamanları azalmaktadır. Ancak işletmede üretilecek modeller için herhangi bir sistematik yapı bulunmadığından, makinelerin hazırlıkları için zaman kayıpları söz konusudur.

4.4 Kısıtlar Teorisi Kapsamında Sürecin İncelenmesi

İşletmede bulunan levha temelli süreç içi stok miktarlarını azaltmak ve üretim çevrim sürelerini kısaltmak için aşağıda önerilen maddeler uygulandığı takdirde olumlu sonuç alınabilecektir;

- İşletmede ekstrüder makineleri ve termoform makineleri arasında senkronizasyonu sağlayacak çizelgeler oluşturulması gerekmektedir.
- Ekstrüder makineleri için oluşturulan çizelgeler günlük üretim miktarlarını hazırlık maliyetlerini ve stok bulundurma maliyetlerini göz önüne alarak oluşturulmalıdır.
- Ekstrüder makinalarının üretiminin darboğaz olan süreçle senkronize olması amacıyla termoform makinalarının üretebileceğinden fazla üretim miktarı gün bazında sınırlandırılmalıdır.
- Levha stoklarının soğuma süreleri, ambar kapasitesi ve stok tutma maliyetleri göz önüne alınarak tutulacak zaman tamponu miktarları belirlenmeli ve sınırlandırmaya gidilmelidir.
- Maliyetleri göz önüne alan çizelgeler hazırlandıktan sonra ekstrüder makinalarında levha enlerine göre üretim sırası belirlenmelidir.
- Levha stok kayıtlarını tutacak bilgi sistemleri oluşturularak levha göndermede İlk-Giren-İlk-Çıkar kuralı uygulanmalıdır. Bu kuralın uygulanması için barkot sistemine geçilmelidir.

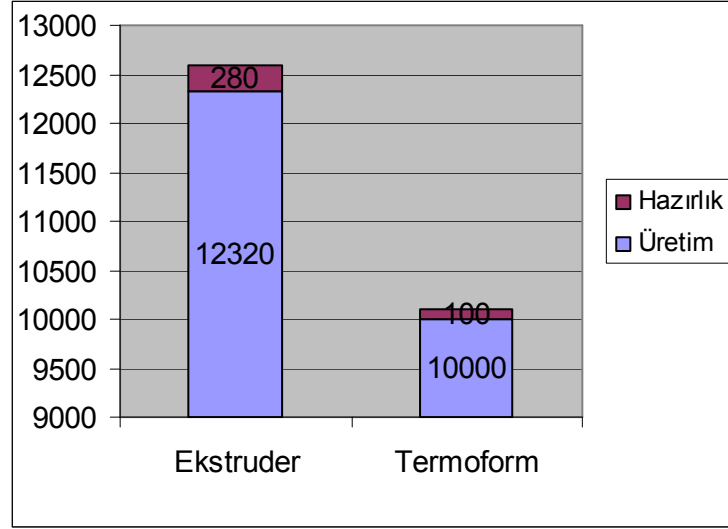
İşletmenin problemlerini çözmek için yukarıda önerilen tüm maddeler Kısıtlar Teorisinin Lojistik alt dalı çizelgeleme sistemi olan Trampet-Tampon-Kordon yöntemiyle bağdaşmaktadır. Problem ve Kısıtlar Teorisinin çözüm için önerileri çizelgeleme sisteminin 4 adımında ele alınmıştır.

4.4.1 Bir Üretim Sisteminde Fiziksel Kısıtların Yerinin Belirlenmesi

Bir fabrikada bir makinanın ya da iş istasyonunun kapasitesi yeterli değilse, en az kapasiteye sahip makine ya da iş istasyonu bu fabrikanın darboğazını oluşturmaktadır.

Arçelik Buzdolabı işletmesi içinde Plastik Fabrikasında bulunan 5 ekstrüder makinasının günlük üretim miktarı toplamda 12.600 levha/adet iken, buzdolabı fabrikası

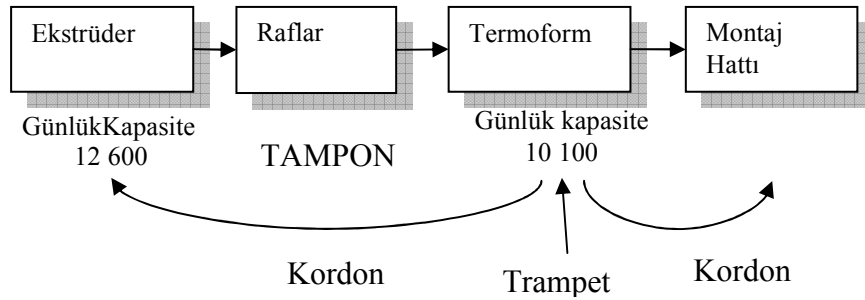
içindeki termoform makinalarının günlük toplam işleyebildiği levha miktarı 10.100 adet ile sınırlı kalmaktadır. Dolayısıyla kısıtlı kapasite kaynağı diğer bir deyişle darboğaz oluşturan süreç termoform makineleridir. Mevcut durumdaki kapasite dengesi, ekstrüder ve termoform makinelerinin günlük üretimleri ve makinelerin hazırlıkları arasındaki karşılaşılan fireli üretim miktarları Şekil 4-4 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4-4 Kapasite Dengesi

Ekstrüder ve termoform makineleri arasında günlük 2500 birimlik bir kapasite farkı söz konusudur.

Kısıtlar Teorisi Trampet-Tampon-Kordon çizelgeleme yaklaşımıyla bütünleşen bu durum Şekil 4-5'te gösterilmiştir. Darboğaz sürecinin üretim temposuna göre hareket edildiğinden trampet Termoform makineleridir. Tampon kısmını levha ambarındaki stoklar, kordon kısmını ise darboğaz olan termoform makineleriyle hammadde girişinin yapıldığı ekstrüderler arasındaki bilgi akışı ve montaj hattıyla olan iletişimi oluşturur.



Şekil 4-5 Darboğazlı Üretim Hattı TTK Mekanizması

4.4.2 Zaman Tamponu Miktarının Belirlenmesi

Arçelik Buzdolabı ve Plastik Fabrikası tesisinde tutulacak zaman tamponları model temelinde ve kısıt kaynakların önünde; kısıt oluşturan kaynakların sürekli çalışır durumda tutulması için ve zamanlı çıktı sağlanması açısından kaynak üzerinde işlem gören parçaların birleştiği montaj noktalarında olmalıdır. Tüm malzemelerin fabrikada akışının düzgün olarak sağlanabilmesi ve kısıt oluşturan kaynak olan termoform makinalarının sürekli çalışır durumda tutulması için makinalar arasında bir bağlantının olması şarttır. Tutulacak zaman tamponu hem termoform makinalarında üretim için levhaların akışını engellemeyecek hem de kısıt olmayan kaynakta üretimin aksamamasını sağlayacak büyüklükte olmalıdır.

Kısıt kaynaktan sonra montaj hattında işlenmek üzere bir miktar tampon tutulmaktadır. Bu tamponların bulundurulma amacı hattı istatistiksel dalgalanmalardan korumaktır. Herhangi bir nedenle ekstrüder ya da termoform makinaları üretim yapamadığında bu tutulan tamponlar devreye girecektir.

Arçelik Buzdolabı İşletmesinde ekstrüder ve termoform makinaları arasına konulacak zaman tamponu miktarı belirlenirken gövde levhalarının ambarlardaki zorunlu soğuma süreleri dikkate alınmıştır. Tutulacak zaman tamponu her hat başına 24 saatlik soğuma zamanını içermektedir. Ele alınan ekstrüder çizelgesinde 24 saatlik zaman tamponunun içinde işletmenin politikası gereği fazladan üretim yaptığı emniyet stokları da bulunmaktadır. Problemin çözümünü zorlaştıran bir diğer unsur da ürün karmasında bulunan model sayısının fazla olmasıdır.

4.4.3 Trampet (Çizelgeleme)

Trampet çizelgesi kapasite kısıtı olan kaynağın çizelgesidir. Bu kaynak üzerindeki çizelge, kaynağın sınırlı kapasitesi, pazar talebi ve son ürün teslim noktasındaki tampona kadar geçecek süre göz önüne alınarak hazırlanır. Bu çizelgenin ana görevi, en büyük fiziksel kısıt kullanımıyla üretim süreci temposunu belirlemektir.

Arçelik Buzdolabı Fabrikasında termoform makinelerinde ısıl işleme oluşturulacak gövde levhaları çizelgelenirken herhangi bir sistematik yapı yoktur. Haftalık olarak programa bakıldıktan sonra eldeki stoklar sayılır ve üretilecek miktarlar belirlenir ancak tam olarak programa uyulduğu söylenemez.

Önerilen sistemde, termoform makinalarında işlenecek gövde çizelgeleri hazırlanırken modeller temelindeki üretim stoklarına, makinelerin model değiştirirken harcanan hazırlık zamanına ve firelere, son olarak da emniyet stoklarına bakılarak bir çizelge hazırlanmıştır. Bu çizelgede buzdolabı modellerinin üretim miktarları; termoform makinalarından hemen sonraki stoklar göz önüne alınarak günlük üretimler temelinde hesaplamayla belirlenmiştir. Buna göre günlük üretimler modellerin ihtiyaç duyulan miktarlarının %15 fazlası kadardır. Isıl işlemde geçecek levhalar her hat için ayrılan 2 adet gövde termoformunda işlem göreceklidir.

Buzdolabı İşletmesindeki üretim hatlarının ve hatlar bazında üretilecek modellerin fazlalığı ve çeşitliliği yüzünden çizelgede en çok sorun yaşayan Üretim Hattı-3 ve Üretim Hattı-4 için üretilen 20 model ele alınmıştır. Termoform makinelerinde model temelinde oluşturulacak gövdeler için hazırlanan aylık üretim programı Ek-1’de verilmiştir.

4.4.4 Malzeme Bırakma Çizelgesinin Planlanması (Kordon)

Tramper çizelgesinin uygunluğunu saptamak için gereken şey hammadde çıkış zamanının tramper çizelgesiyle karşılaştırılmasıdır. Bunun için hammadde gönderme temposu, tramper çizelgesi temposuna göre belirlenmelidir. Hammadde çıkış zamanı bir üretim siparişi için üretim siparişinin kısıtlı kapasite kaynağı tampon zamanından tramper çizelgesindeki başlangıç zamanının çıkarılması ile bulunur (Tseng and Wu, 2006).

Arçelik Buzdolabı İşletmesi Plastik Fabrikasında bulunan ekstrüder makinalarında üretilecek levha miktarlarının ve termoform makinalarında üretilecek gövde miktarlarının uygun bir biçimde çizelgelenmesi işletme içinde karşılaşılan problemlere büyük ölçüde cevap olacak niteliktedir.

Darboğaz oluşturan süreç olan termoform makinalarından kısıtsız kapasite kaynağı ekstrüder makinalarına geriye doğru oluşturulmuş bir program işletmedeki bu iki birimin senkronize olarak çalışmasını sağlayacaktır. Daha öncede belirtildiği gibi Plastik Fabrikasında bulunan ekstrüder makinelerinde üretilecek levhalar çizelgelenirken herhangi bir teknik uygulanmamaktadır. Bu sebeple levha ambarında oluşan stokların sürekli olarak artması işletmenin fazladan maliyete katlanmasına sebep

olmaktadır. Üretilip gövde haline getirelemeyen her levha için, stokta bekleme maliyeti ve fazladan beklemlerden sonra fireli ürünle karşılaşıldığından yeniden işleme maliyetiyle karşılaşılmaktadır. Bu yüzden de işletmenin stok bulundurma maliyeti ve hazırlık maliyetini küçükleyen sistematik bir üretim programına ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Literatürde bilinen stok tutma maliyetini ve hazırlık maliyetini göz önünde bulundurup en küçük maliyetle bir üretim programı hazırlayan yöntem olan Wagner-Whitin yaklaşımı üzerinde bir takım değişiklikler yapılarak, işletmenin kullanması için uygun hale getirilmiştir. Bu yöntem dinamik programlama modeline dayalı matematiksel bir en iyileme işlemidir. Temel olarak Wagner-Whitin yöntemi, planlama döneminin her bir dönemindeki net ihtiyaçları karşılamak için mümkün olan tüm alternatifleri değerlendirir. Yöntemin kullandığı algoritma ise aşağıda verilmiştir;

- N dönem boyunca olası tüm sipariş seçenekleri için toplam değişken maliyet (sipariş + elde tutma maliyeti) matrisini hesapla.

$$Z_{ce} = C + hP \sum_{i=c}^e (Q_{ce} - Q_{ci}), \quad 1 \leq c \leq e \leq N$$

A: sipariş verme maliyeti

H: dönemlik elde tutma maliyet oranı

C: birim satın alma fiyatı

$$Q_{ce} = \sum_{k=c}^e R_k, \quad \text{Rk: k dönemindeki talep hızı}$$

- fe: 1-e dönemleri arasındaki talepleri karşılamamanın en düşük maliyeti (e dönemi sonundaki envanter = 0). Algoritma f0 = 0 ile başlayıp f1, f2, ..., fN hesaplamalarını sıra ile yapar.

fN: en iyi sipariş çizelgesi maliyeti

$$f_{ce} = \min(Z_{ce} + f_{c-1}), \quad c = 1, 2, \dots, e$$

- En iyi çözümü sağlayan sipariş miktarlarının belirlenmesi:

$$f_N = Z_{wN} + f_{w-1},$$

$$f_{w-1} = Z_{v,w-1} + f_{v-1},$$

$$f_{u-1} = Z_{1,u-1} + f_0$$

Yöntemle birlikte en iyi sipariş çizelgesi oluşturulduktan sonra, ele alınan 20 model için ekstrüder makinalarındaki levha üretiminin termoform makinalarındaki gövde üretimini aşmaması amacıyla levha üretim çizelgesine bir sonlu yükleme algoritmasının eklenerek parça akışının senkronizasyonunun sağlanması uygun görülmüştür. Bu amaçla ilk olarak Wagner-Whitin yöntemi uygulanacak olan üretim planlama bölümünden gelen ana üretim programı Excel çalışma sayfasına gün ve model temelinde girilmektedir. İkinci işlem yöntemin kullandığı parametre değerlerinin girilmesidir. Parametre giriş ekranları Excel programına VBA ara yüzü ile kod yazılarak oluşturulmuştur. H stokta bulundurma parametre ekranı aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4-6). Yöntemin kullanacağı tüm değerler girildikten sonra algoritma çalışarak günlük üretim miktarlarını veren bir dosya oluşturmaktadır.

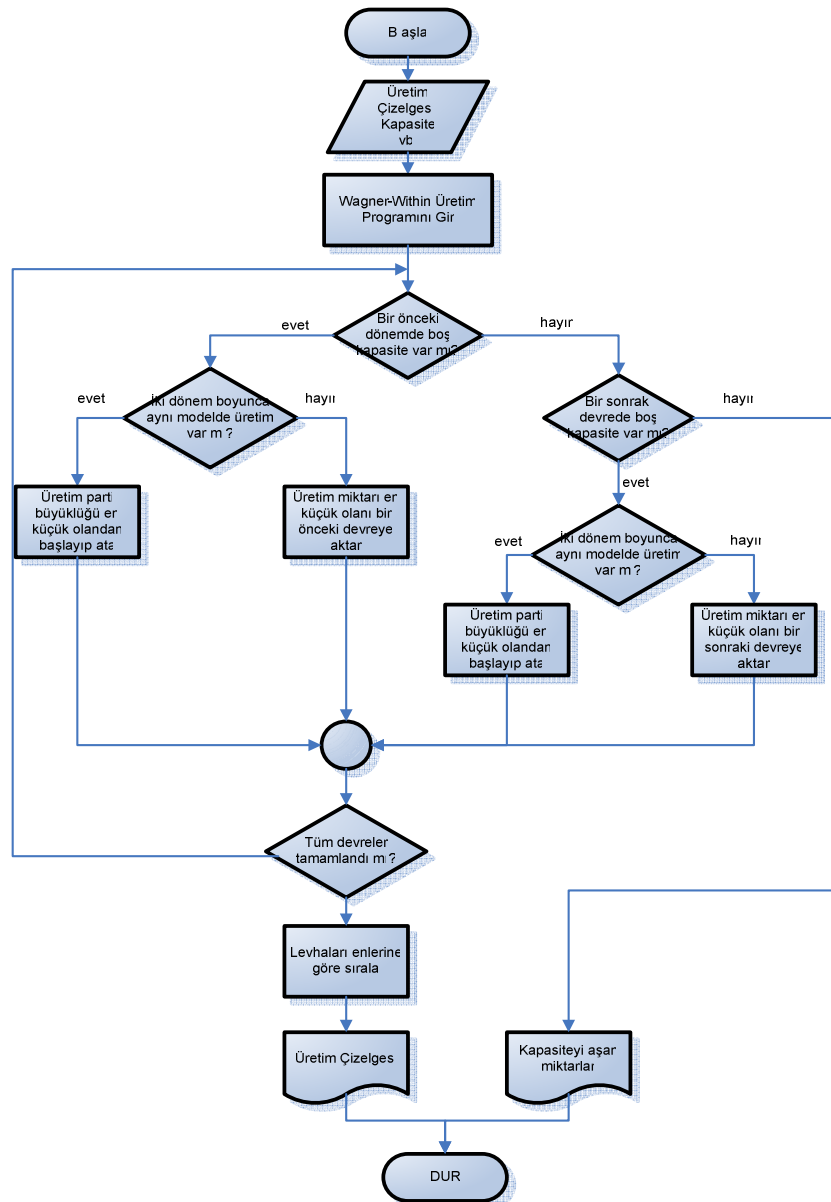
Şekil 4-6 H Parametre Giriş Ekranı

Günlük üretim miktarları hesaplandıktan sonra, eğer levha üretimi oluşturulacak gövde miktarından fazlaysa sonlu yükleme algoritması devreye girer. Algoritmanın çalışması için VBA ile arayüz oluşturulan kapasite kısıtı giriş ekranına günlük aşılmaması gereken üretim miktarı girilmektedir.

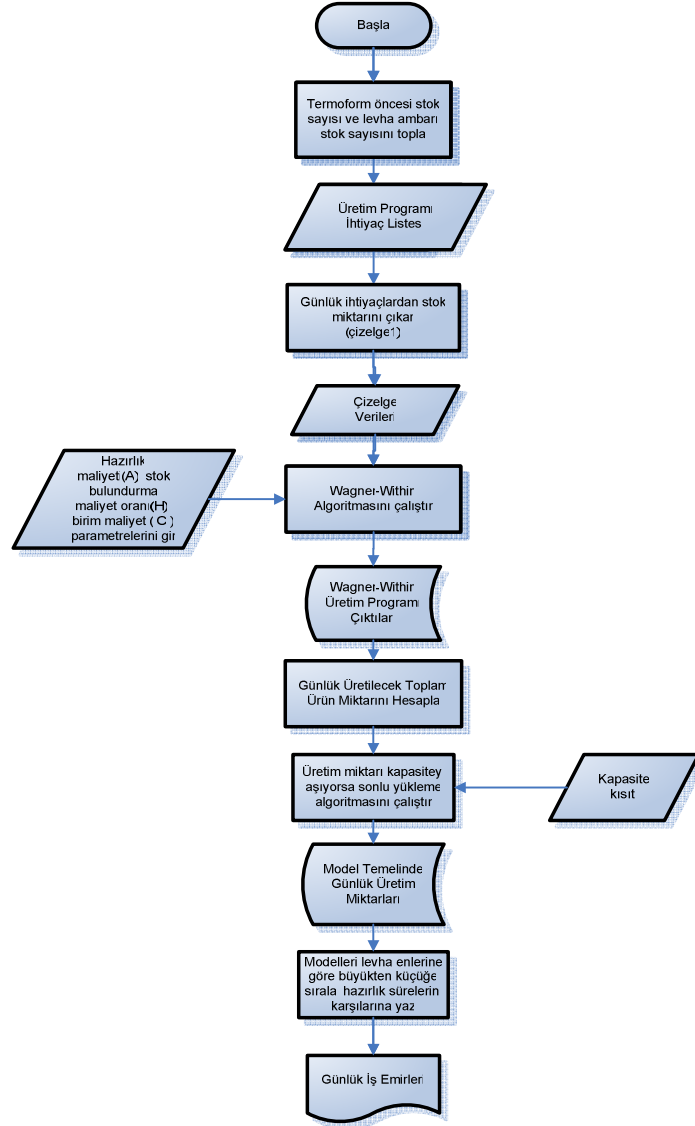
Wagner-Whitin günlük üretim programı çıktılarına uygulanarak yöntemi değiştiren sonlu yükleme algoritmasının akış şeması Şekil 4-7’de verilmiştir. Değiştirilen, sonlu yükleme kapasite kısıtı eklenen yöntemle günlük levha üretim çizelgesiyle gövde çizelgelerinin senkronize olması sağlanmıştır. Wagner-Whitin algoritmasının VBA kodu Ek-2’de, sonlu yükleme algoritmasının VBA kodu ise Ek-3’de gösterilmiştir.

Belirtilmesi gereken diğer önemli bir husus ise, Wagner-Whitin yöntemi uygulanmadan önce işletmede mevcut durumda bulunan stoklar hesaplanıp, üretilmesi

gereken net miktarların gün temelinde belirlenmesidir. Sonlu yükleme algoritması bu çıktı değerlerine uygulanmaktadır. Son olarak yapılan işlem ise ekstrüder makinalarında hazırlık zamanının azaltılması için üretilecek levha modellerinin enlerinin büyükten küçüğe sıralanmasıdır. Önerilen levha çizelge sisteminin akış şeması Şekil 4-8’de verilmiştir.



Şekil 4-7 Sonlu Yükleme Algoritması Akış Şeması



Şekil 4-8 Önerilen Levha Çizelgesi Sisteminin Akış Şeması

Kordon yani iletişim kısmı için belirtilmesi gereken bir diğer nokta, önerilen levha çizelgesinin üretime iki gün önceden başlaması gerekliliğidir. Tutulacak zaman tamponu miktarı hat başına 24 saattir, zaman tamponu miktarlarının üretilmeye çizelgeden erken başlaması gerekliliği hem de gövde levhalarının soğuma sürelerinin dikkate alınması nedeniyle bu durum önem taşımaktadır.

Yukarıda akış şeması gösterilen algoritmalar çalıştıktan sonra her biri yeni bir Excel çalışma sayfası içine kaydedilmektedir. Yapılan her işlemten sonra bir sonraki işlem için sayfaların içeriği temizlenebilmektedir. İşletme tercih ettiği takdirde bu

program tüm modeller için uygulanabilecek niteliktedir. Aşağıda algoritma günlük olarak çalıştırıldıktan sonra elde edilen 2. ve 3. günlerin iş emirleri örnek olması açısından gösterilmiştir (Tablo 4-2). Model üretim süreleri de girilerek hangi modele hangi saatte başlanacağı bilgisiyle atölye temelinde programlama sağlanabilir.

Tablo 4-2 Günlük İş Emirleri

	2				3		
Model	En	Miktar	SETUP	Model	En	Miktar	SETUP
B-9300	630	0		B-9300	630	0	
B-6800	835	737	10	B-6800	835	1160	10
B-6600	750	1304	60	B-6600	750	407	60
B-7450	640	150	10	B-7250	690	400	10
B-9300	630	1809	60	B-9300	630	1591	60

İşletmede levha modellerinin ambardan çıkış gönderme kuralı olarak İlk-Giren-İlk-Çıkar yönteminin uygulanması, levhaların fazla beklemekten ya da erken gönderilmekten dolayı ısıtılma işleminden sonra fireli olmasını engelleyecektir. Ayrıca bu kuralla birlikte ambarda hangi modelden, ne miktarda bulunduğu ve ambara giriş ve çıkışın ne zaman gerçekleştirildiği bilinecektir. Bu sistemin işletmeye getirilmesi için aşağıda sıralanan maddelerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir;

- Kurulacak olan sistem levhalar partiler halinde forkliftlerle taşındığından forklift üzerine monte edilebilen bir bilgisayar ve bu bilgisayara bağlı bir barkot okuyucudan oluşmalıdır.
- Üretimden önce üretilecek miktar için barkotlar basılıp makine operatörlerine verilmelidir. Barkot model, operatör ismi ve levha adedi bilgilerini içermelidir.
- Üretimi tamamlanan paletlerin üzerine operatörler bu barkotları yapıştırmalıdır. Forklift paleti rafa kaldırılırken önce barkot okuyucu ile barkodu okunmalı daha sonra bilgisayara paletin koyulduğu rafın numarasını girilmeli ve böylece sisteme kaydın yapıldığı zamanı da kaydetmelidir.
- Bu sistem sayesinde herhangi bir anda raflarda hangi modelden kaç adet olduğu tam olarak bilinecektir. Ayrıca forklift bilgisayarında bulunan bu bilgi diğer sabit bilgisayarlara aktarılacak özellikte olmalıdır.

- Herhangi bir model üretime götürülmek için arama yapıldığında bilgisayar o modele ait en eski paletin yerini göstermelidir. Bu sayede ilk üretilen modelin ilk üretime gitmesi sağlanacaktır.

Kısıtlar Teorisine özgü Trampet-Tampon-Kordon sistemiyle oluşturulan çizelgelerde dikkat edilen noktaları sıralayacak olursak;

- Darboğaz kaynak kapasitesi ana üretim çizelgesi ile aynıdır.
- Sıralama kuralına göre devreler bir önceki devrenin son levha ürünüyle başlamaktadır (başlangıç hazırlık maliyetlerini yok etmek amaçtır)
- Darboğaz olan ve olmayan kaynaklara ait iki ayrı çizelgede senkronize akış sağlanmaktadır.
- Ekstrüder makinelerinde levha üretim miktarları kaynak kapasitesi fazlalığından dolayı aşırı yüklenmişse sonlu yükleme algoritması çalıştırılır.
- Sonlu yükleme algoritması için Wagner-Whitin üretim programı çıktıları kullanılır.
- Ambara gönderilen levhalar için ilk-giren-ilk-çıkart gönderme kuralı uygulanmaktadır.
- Herhangi bir anda ambarda bulunan stok kaydına önerilen barkot bilgi sistemi ile ulaşılabilir.
- Levha üretimi için önerilen çizelgede tampon stokların üretilmesi için çizelgelemeye erken başlamayla birlikte; levhaların soğuması için geçen sürede dikkate alınmaktadır.

Kısıtlı kaynaktan son ürün noktasına ileriye doğru programlama için önerilen çizelge ve yine kısıtlı kapasite kaynağından hammadde giriş zamanına doğru geriye doğru programlama için önerilen çizelgelerin uygulanabilirliği benzetim modeliyle sınanmıştır.

4.5 Benzetim tekniği, Arena Benzetim Yazılımı ve Sistemin Benzetimi

Endüstri mühendisliği ve yöneylem araştırması disiplinlerinde bilimsel yöntemi uygulayarak problemleri çözmek, böylece de yönetsel kararlara esas göstergeleri elde etmek her zaman mümkün olmayabilir. Matematiksel teknikler, karşılaşılan problemleri formüle etmek veya çözmek için yeterli olmayabilir. Bu durumda eylem seçeneklerinin

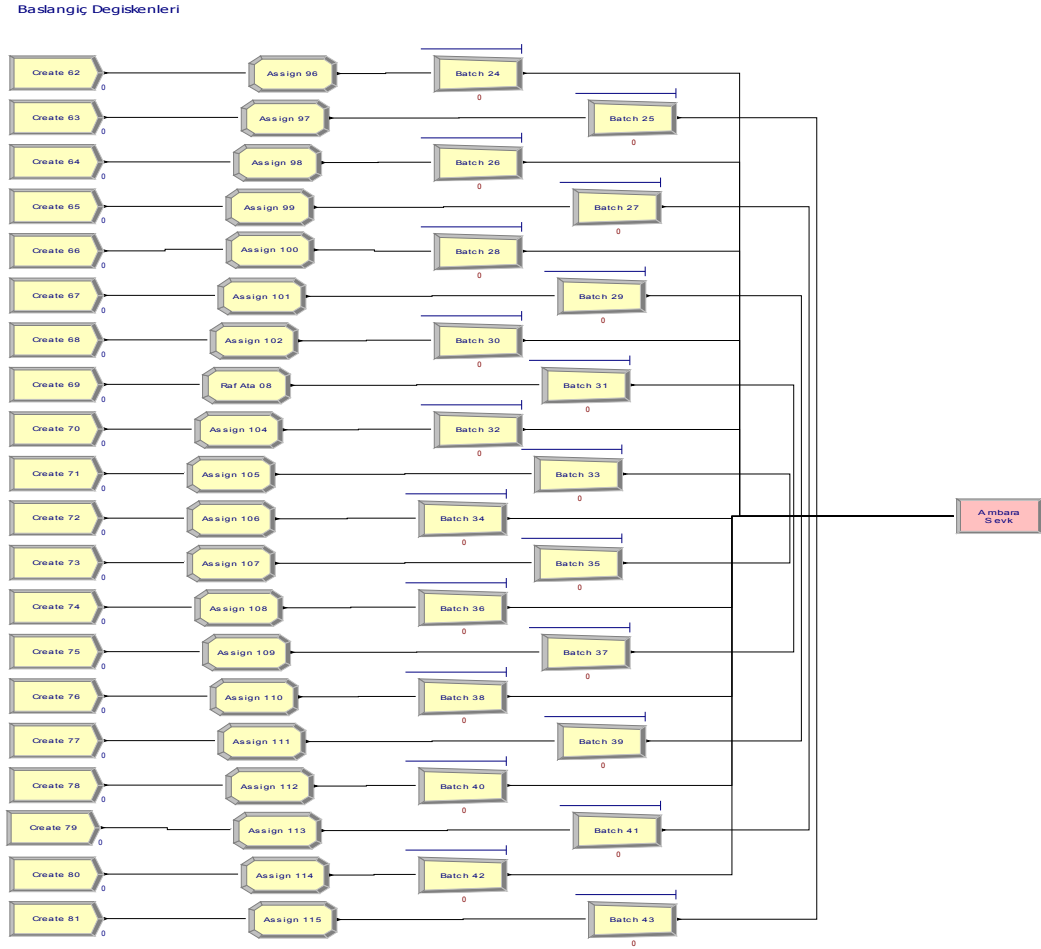
sonuçlarını belirleyebilmek için benzetim modeli yoluyla deneyler yapılması söz konusudur (Özkul, 1998).

Benzetim, gerçek sistemin modelinin tasarlanması ve bu model ile sistemin işletilmesi amacına yönelik olarak, sistemin davranışını anlayabilmek veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi sürecidir (Erkut, 1992). Bu çalışmada benzetim tekniği kullanılmasının nedeni Trampet-Tampon-Kordon sistemi temelinde darboğaz ve kısıtsız kapasite kaynağı için önerilen çizelgelerin uzun dönemli olarak incelenebilmesi, davranış karakteristiklerinin ortaya konulması ve bunların üzerinde denemeler yapmanın tek yol olmasıdır.

Ele alınan atölye ortamı Arena 6.0 paket programı kurularak modellenmiştir. Arena benzetim yazılımı tedarik zincirleri, üretim, süreçler, lojistik, dağıtım, depolama, servis sistemleri ile ilgili önemli, karmaşık tasarımları içeren değişikliklerinin etkilerinin analizi için tasarlanmıştır. Arena 6.0 programı istenen karmaşıklık düzeyinde modelleme yapmak için yüksek derecede esneklik ve genişlik sağlayan bir benzetim yazılımıdır (Büyüksünetçi, 2006).

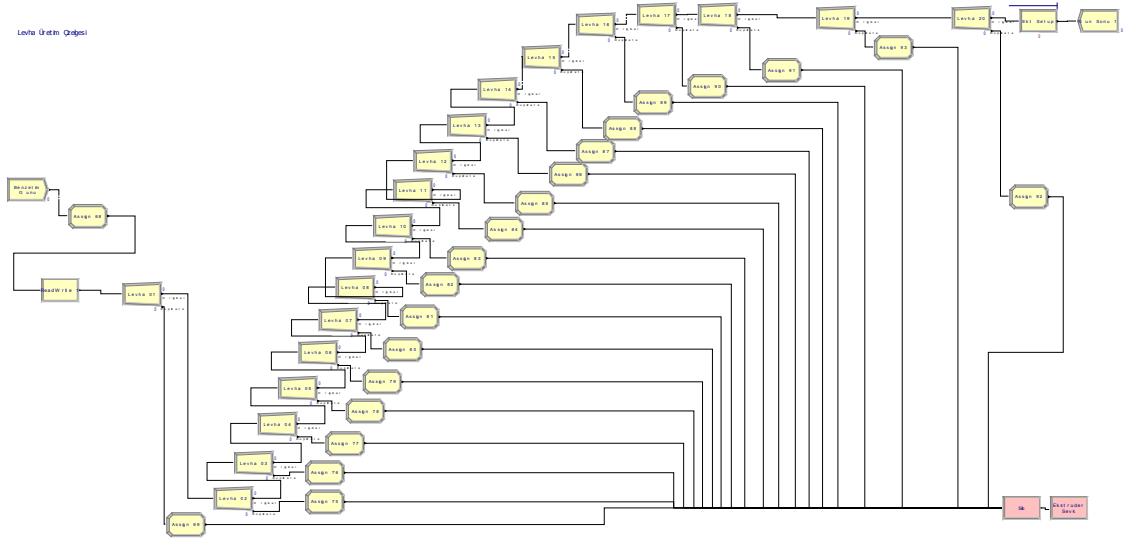
4.5.1 Arena Modelinin Yapısı

Arçelik Plastik Fabrikasında sistemin varlıklarını üretecek buzdolabı modelleri oluşturmaktadır. Modelin ilk aşaması, başlangıç anında raflarda bulunan levha stoklarının sisteme atanmasıdır (Şekil 4-9).



Şekil 4-9 Raf Stokları Başlangıç Değerleri

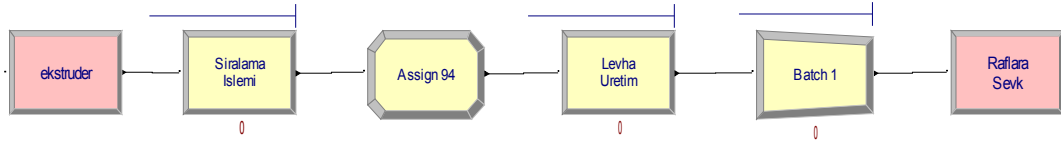
Modelin ikinci aşamasında sisteme gelen buzdolabı modellerinin üretim programı sonlu yüklemeyle bütünleştirilmiş Wagner-Whitin yöntemi çıktıları olan Levha Üretim Çizelgesi'nden alınmaktadır. Üretim çizelgesi bir Excel çalışma sayfasında bulunmaktadır. Excel çalışma sayfasında levha enleri büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır ve bu dosya sayesinde 31 günlük üretim çizelgesi çıktılarına erişilmektedir. Levha üretim çizelgesi ilk olarak ekstrüder makinasına gönderilmektedir (Şekil 4-10). Bu bölümde program çıktıları model temelinde levhalara atanıp, çizelgeye uygun gelişlerle üretim sağlanmıştır.



Şekil 4-10 Levha Üretim Süreci Modellenmesi

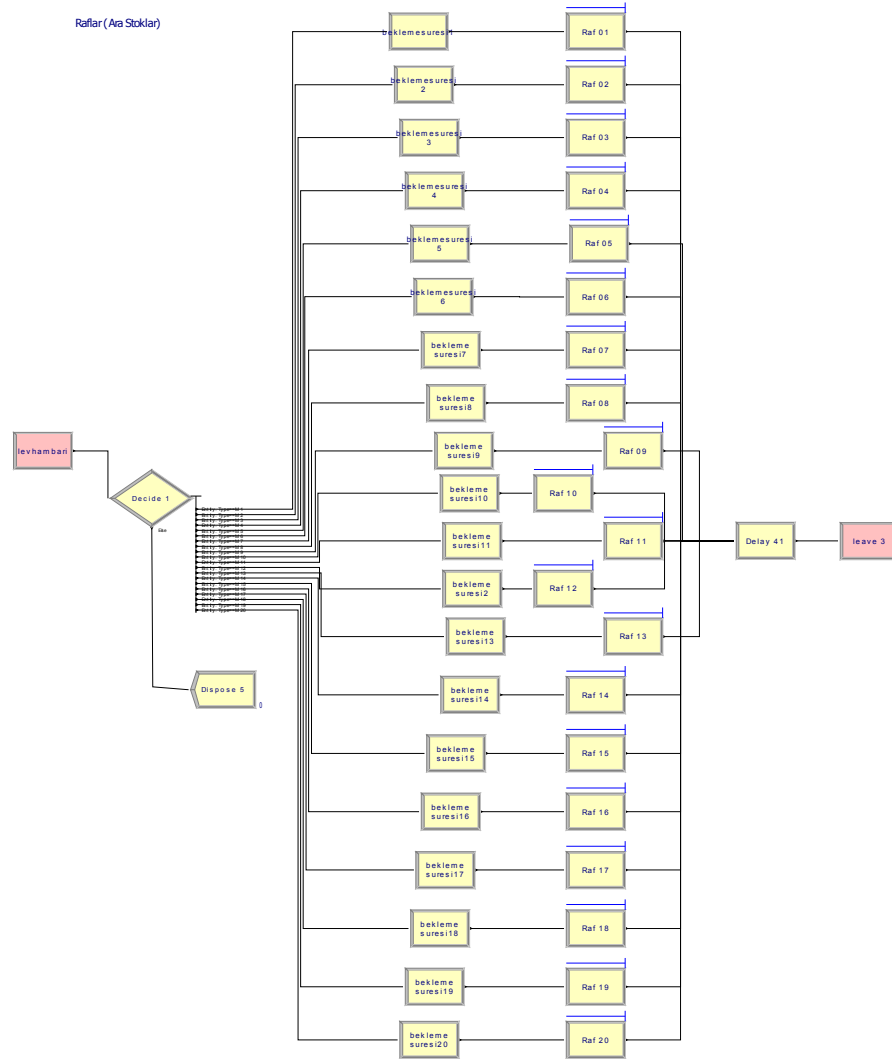
Çizelgeye uygun gelişlerden sonraki aşama ise ekstrüder makinalarındaki üretim sürecidir. Üretim levha enlerinin sıralanışına göre gerçekleştirilmektedir (Şekil 4-11).

Ekstrüder Üretim Süreci



Şekil 4-11 Ekstrüder Üretim Sürecinin Modellenmesi

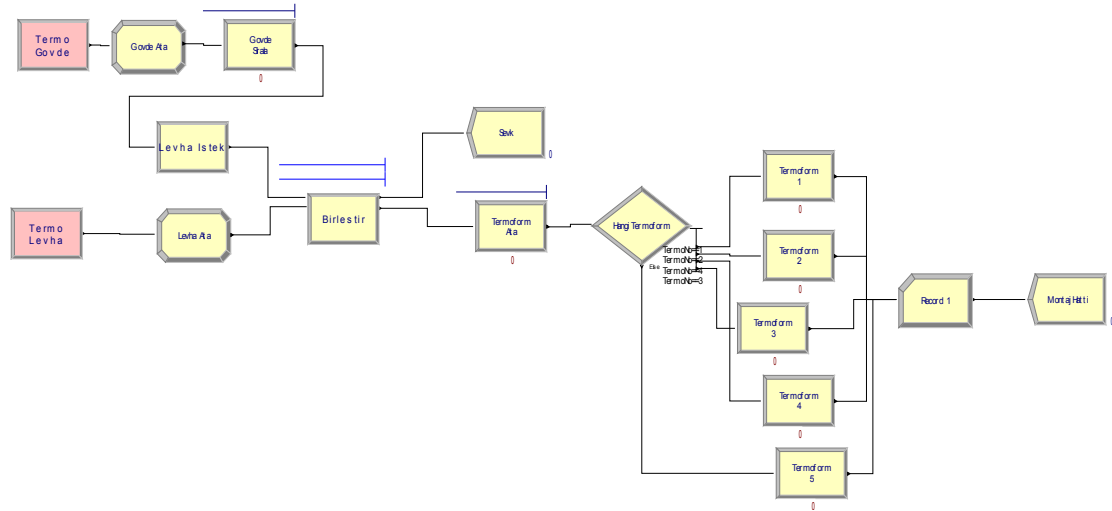
Modelin üçüncü aşamasını ise ekstrüderde üretilen levhaların soğumak üzere raflara gönderilmesi süreci oluşturmaktadır. Burada üretimi biten levhalar birleştirilerek 100'erli gruplar halinde ambara sevk edilmektedir. Levhaların tek tek sevk edilmemesinin nedeni işletmede levhaların taşınması için forkliftlerin kullanılmasıdır. Forklift kapasitesi taşıma başına 100 levha/adettir. Böylelikle kurulan model gerçek taşıma işlemini de yansıtmış olmaktadır (Şekil 4-12).



Şekil 4-12 Levha Modellerinin Bekleme Süreci

Raflarda soğumak üzere bekleyen levha modelleri ve başlangıç anında ambarda bulunan stok modelleri, gövde çizelgesi tarafından üretim zamanları geldiğinde ilk-giren-ilk-çıkar gönderme kuralına göre termoform makineleri tarafından çekilirler. Gövde üretim çizelgesi başlangıcında eğer raflarda levha stoğu varsa gövde üretilmek üzere o levhalar partiler halinde termoform makinalarına gönderilirler. Levha üretim çizelgesinin modellere atanmasına benzer olarak gövde üretim çizelgesi de modellere atanmıştır. Gövde üretim çizelgesine göre levha stoğu çeken termoform makinalarının üretim süreci ise Şekil 4-13’de gösterilmiştir.

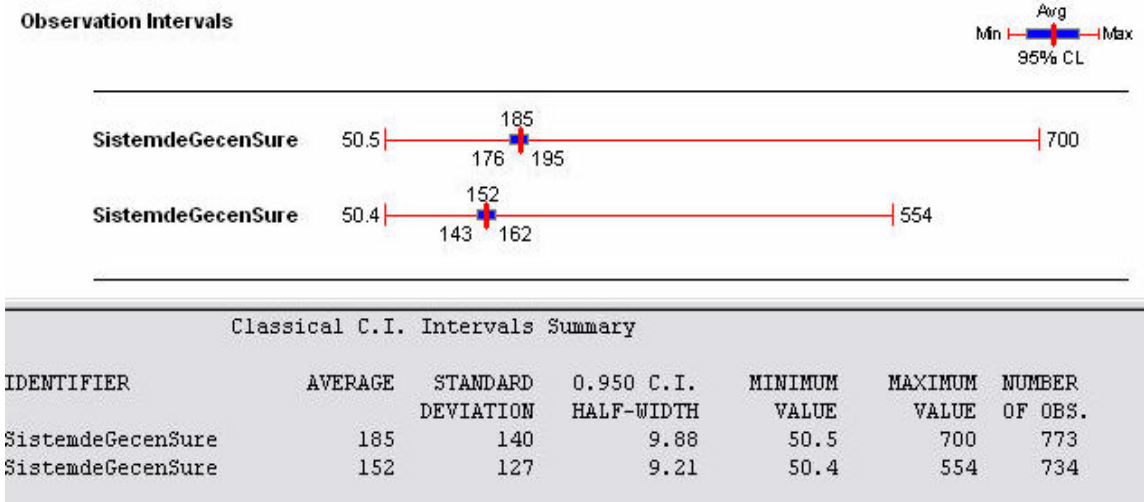
Termoform Üretim Süreci



Şekil 4-13 Termoform Üretim Süreci

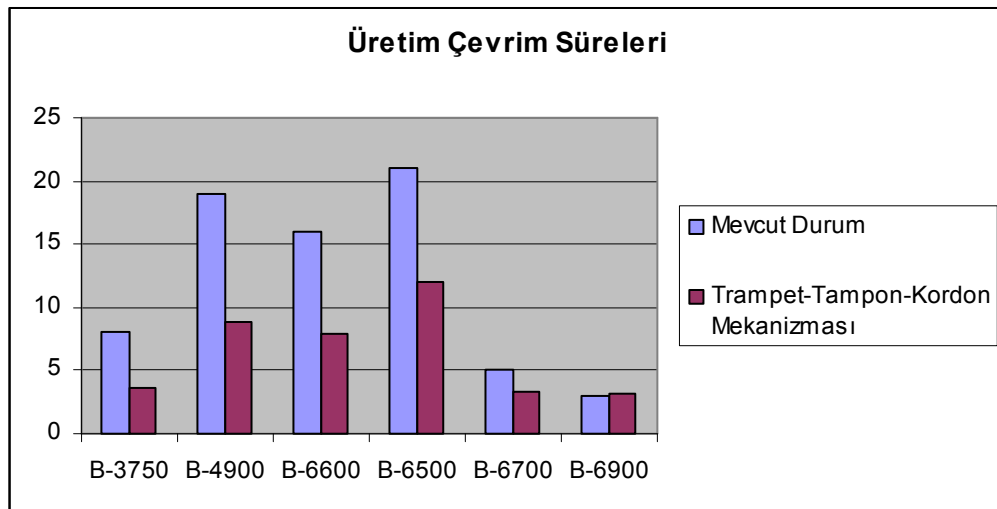
4.5.2 Modelden Elde Edilen Sonuçlar

Levha üretim çizelgesi ve gövde üretim çizelgesinin modellere atanması sonucunda sistemde üretilen buzdolabı modeli sayısı belirlenmiştir ve modellerin sistemde kalma süreleri Arena programının Output Analyzer bileşeni kullanılarak derlenmiştir. Çizelgelenen buzdolabı modellerinin sistemde kalma süreleri %95 güven seviyesinde ortalama olarak 152 saattir. Bu süreye tutulacak zaman tamponu miktarlarının raflardaki stok miktarından çıkarılması ile modellenen benzetim çıktıları sonucunda erişilmiştir. Önerilen bir diğer yaklaşım ise raflarda bulunan stoklara ek olarak zaman tamponlarının üretilmesidir. Bu yaklaşımla üretim çevrim süresi ortalaması %95 güven seviyesinde 185 saate çıkmıştır. (Şekil 4-14). Tutulacak zaman tamponu miktarlarının farklılaştırılmasıyla üretim çevrim sürelerinin çeşitli alternatiflerine erişmek mümkündür.



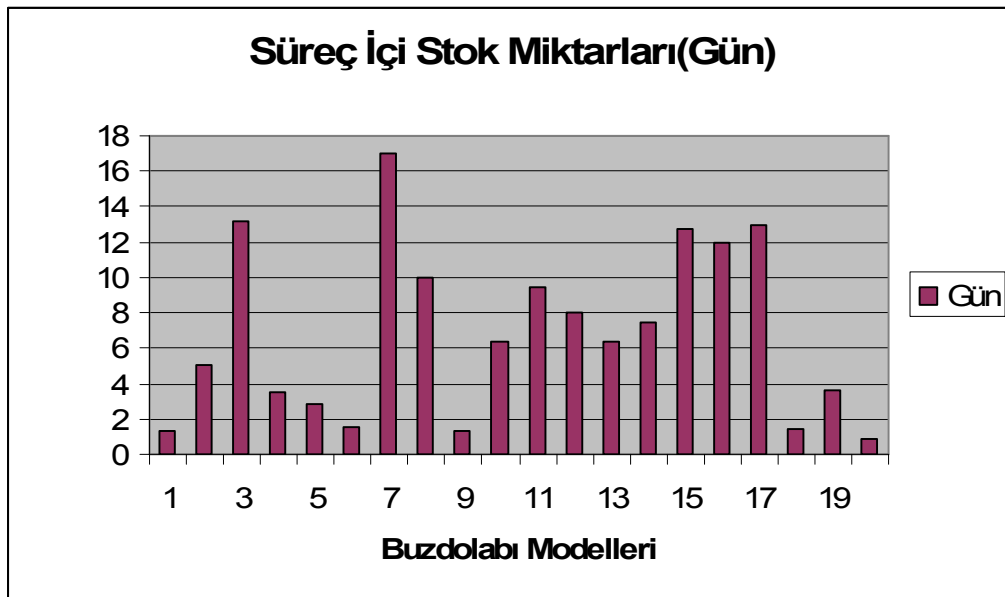
Şekil 4-14 Modellerin Sistemde Geçirdikleri Ortalama Süre

Kısıtlar Teorisi kapsamında Trampet-tampon-kordon çizelgeleme sistemi yoluyla önerilen levha üretim çizelgesinin ve gövde çizelgesinin uygulanması durumunda önceki bölümde verilmiş bazı buzdolabı modelleri için benzetim modeli sonucunda elde edilen üretim çevrim süreleri ile mevcut sürelerin karşılaştırıldığı durum Şekil 4-15’de verilmiştir. Yöntem uygulandığı takdirde incelenen modeller için ortalama 12 gün olan üretim çevrim süresi 6 güne düşmüştür. Benzetim modeli sonucunda incelenen 20 modelin ortalama üretim çevrim süresi ise 7 gün civarındadır. Dolayısıyla işletmede TTK mekanizması uygulandığı takdirde üretim çevrim sürelerinde yaklaşık %45’lik bir azalma sağlanacağı söylenebilir.



Şekil 4-15 Üretim Çevrim Süreleri Karşılaştırılması

Senkronize üretimin işletmede uygulanması ile birlikte iyileşme sağlanacak diğer bir konu ise tutulan ortalama süreç içi stok miktarlarıdır. İşletmede plastik ekstrüder bölümünde mevcut durumda tutulan ortalama süreç içi stok miktarı 15 gün civarındadır. Önerilen çizelgelerin benzetim modeline uygulanması sonucunda model temelinde tutulan ortalama süreç içi stok miktarları (gün) Şekil 4-16'da gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi model temelinde tutulan stoklar en fazla 17 gün beklemektedir. Modellerin ortalama stokta kalma süreleri ise yaklaşık 7 gündür.



Şekil 4-16 Model Temelinde Süreç İçi Stok Miktarları (Gün)

4.5.3 Modelin Sisteme Uygunluğunun Test Edilmesi

Belli amaçlar için geliştirilmiş olan benzetim modellerinin deneylerde amaçlarını ne derece gerçekleştirebileceklerinin değerlendirilmesi gerekir. Böyle bir değerlendirme birbirini tamamlayan iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama olan model doğrulamasının amacı, sistemin kavramsal modelinin bilgisayar modelinde doğru olarak yansıtılıp yansıtılmadığını belirlemektir. Yapılan çalışmada model mantığının doğrulanması için model 20 buzdolabı gelişi için çalıştırılmış, buzdolabı hareketleri animasyon ile de kontrol edilmiştir. Görülen hatalar düzeltilerek, elde edilen sonuçların doğruluğu ispat edilince model mantığının doğruluğu da kabul edilmiştir.

Model değerlendirmenin ikinci aşamasında da model sonuçları ile gerçek sisteme ait sonuçların karşılaştırılması gerekir. İleriye dönük kararlar verilirken model sonuçları kullanılacağı için benzetim modellerinin geçerliliği büyük önem taşımaktadır. Model geçerliliğinin araştırılması, modelin kabul edilebilir bir anlamlılık düzeyinde gerçek sistemin işleyişini doğru olarak tahmin ettiğini belirlemeyi kapsar.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Rekabetin arttığı günümüzde, işletmeler ekonomik koşullarını sürekli olarak iyileştirmek durumundadırlar. Ancak uygulanan yönetim sistemleri politik olarak birçok açıdan eksik kalmaktadır. Kısıtlar Teorisi yönetim sistemi bu ihtiyaçlara cevap verebilme yetisinde olduğunu iddia eden bir sistemdir. Teori temelde sistemdeki zayıf noktalara odaklanmaktadır. Üretim yapan işletmelerde bu zayıf noktalar darboğaz kaynaklardır. Kısıtlar teorisinin darboğaz kaynakların sistemin çıktısını kısıtlamaması için önerdiği sistemde kısıt olan ve olmayan kaynakların arasında senkronize üretimin sağlanması için çizelgeler oluşturulması ve darboğaz kaynakların önüne zaman tamponları yerleştirilmesi kavramları yer almaktadır. Darboğaz kaynakların önüne yerleştirilen zaman tamponları bu kaynakları bozulma ve engellenme gibi istatistiksel dalgalanmalardan korumaktadır. Zaman tamponları sürekli olumsuz bir durumu yansıtan süreç içi stok miktarına da farklı bir yaklaşım getirmiştir ve sistem performansını arttırmak için darboğaz kaynak ihtiyaç duyduğunda kullanılan envanter stoklarıdır. Ancak darboğaz kaynakların önüne konulan zaman tamponları gereğinden fazla olursa süreç içi stok miktarı ve dolayısıyla işletmelerin katlanmış olduğu maliyetler artacaktır. Bu miktarlar genelde deneme-yanılma yoluyla bulunmaktadır. Bu farklı yaklaşımın yanı sıra, ana üretim programı girdilerine bir sonlu yükleme algoritmasının eklenmesiyle birlikte kısıt olan ve olmayan kaynaklar arasında üretim akışının senkronize olarak sağlanması mümkündür. Bu amaçla, teori, kısıt kaynağı üretim programının başlangıç noktası olarak almakta ve bu kaynaktan ürün çıkışına bir de hammadde girişine doğru iki adet çizelgeleme hazırlamasıyla birlikte malzeme ihtiyaç planlaması yönetim sistemlerinin darboğaz kaynak yönetimine getirdiği eksikliği gidermiş olmaktadır.

Bu çalışmada amaç Kısıtlar Teorisinin, alt dallarının ve Kısıtlar Teorisinin üretim işletmelerine uygulanması durumunda ismini aldığı Senkronize Üretimin ve Kısıtlar Teorisi çizelgeleme sistemi olan Trampet-Tampon-Kordon'un ayrıntılı bir şekilde anlatılması ve Trampet-Tampon-Kordon çizelgeleme tekniği ile işletmelerde senkronizasyon çalışmasının nasıl yapılacağını göstermektir.

Yapılan çalışmada buzdolabı üreten bir imalat atölyesinde kısıtlı kapasite kaynağından hammadde girişine geriye doğru programlama temelinde bir çizelge ve kısıtlı kapasite kaynağından son ürün çıkışına doğru ileriye doğru programlama temelinde çizelgeler önerilmiştir. Metot olarak kısıtlı kapasite kaynağından kısıtsız kapasite kaynağına çizelgelemede malzeme ihtiyaç planlaması çıktısı olan ana üretim programına Wagner-Whitin dinamik programlama yöntemi uygulanmıştır. Kısıtlı ve kısıtsız kapasite kaynakları arasında akışın senkronize biçimde olması için Wagner-Whitin yöntemine eklenen bir sonlu yükleme kapasite kısıtı ile bütünleştirilmiş bir algoritma ortaya konmuştur.

Çizelgelemenin diğer önemli konusu olan zaman tamponu belirlenmesi için de gövde levhalarının belirgin özelliği olan soğuma süreleri dikkate alınmıştır ve her hat başına tutulması gereken miktarlar böylelikle belirlenmiştir. Önerilen çizelgelerin ve yaklaşımın uygulanabilirliği benzetim modeliyle gösterilmiştir.

Kısıtlar Teorisiyle ilgili şu ana kadar yapılmış çalışmalarda genellikle uygun zaman tamponu bulunması hedeflenmiş, maliyet unsurunu göz önüne alıp senkronize akışı sağlamak için gerekli üretim parti büyüklükleri hesaplanması yoluna gidilmemiştir. Kitle tipi üretim yapan işletmelerde uygun zaman tamponları belirlenerek çok fazla stok tutmadan Trampet-Tampon-Kordon çizelgeleme sistemleriyle dengede malzeme akışı sağlamak mümkündür.

Çalışmanın yapıldığı işletmede malzeme ihtiyaç planlaması çıktılarına uygulanması önerilen sonlu yükleme algoritmasıyla senkronize üretim ve termoform makinalarının levha ambarından işlemek üzere çekeceği miktarların günlük ihtiyaç kadar olması ile tam zamanında üretim sisteminin ilkeleri sağlanmış olup, böylelikle üç üretim sistem bir anlamda bütünleştirilmiş olmaktadır. Senkronize üretim sistemiyle atölye temelinde daha güçlü yönetim imkanları sağlanacaktır, talep unsuru ana üretim programı sayesinde dikkate alınmış olacaktır ve tam zamanlı üretim sistemi esasına göre yarı mamullerin levha ambarından çekilmesi malzeme taşınması esnasında karşılaşılan sorunları ortadan kaldıracaktır ve İlk-Giren-İlk-Çıkar gönderme kuralı bu sayede uygulanabilecektir.

Bir imalat işletmesinde yapılan araştırma sonucunda Kısıtlar Teorisinin uygulanması düşünüldüğünde, yarı mamul stoklarının azaldığı, çevrim sürelerinin

kısıldığı ve bunların sonucu olarak da siparişlerin tam olarak ve zamanında karşılanabildiği tespit edilmiştir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalar için Kısıtlar Teorisinin ve çizelgeleme sisteminin kullanabileceği diğer potansiyel alanlardan biri, maliyetleri ve hazırlık sürelerini ele alan modeller kurulması ve bunların işletmeye etkilerinin incelenmesi olabilir.

Kısıtlar Teorisinde senkronizasyonun sağlanması amacıyla çizelgelerin uygunluğunu saptamak için benzetim tekniğinin hala en iyi yöntem olduğunu söylemek mümkündür.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akman,G., Karakoç, Ç.,** 2005, Yazılım geliştirme prosesinde kısıtlar teorisinin düşünce süreçlerinin kullanılması, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Yıl 4, Sayı 7, 103-121.
- Aryahanezhad, M.B., Komijan, A.R.,** 2004, An improved algorithm for optimizing product mix under the theory of constraints, International Journal of Production Research, Vol. 42, No.20, 4221-4233.
- Aggrawal, S.C., Aggrawal, S.,** 1986, The management of manufacturing operations: An appraisal of recent developments, International Journal of Operations Management, Vol.5, No.3, 21-38.
- Atwater, J.B., Chakravorthy, S.S. ,**1995, Using the theory of constraints to guide the implementation of quality improvement projects in manufacturing operations, International Journal of Production Research, Vol. 33, No.6, 1737-1760.
- Atwater, J.B., Chakravorthy, S.S.,** 2002, A study of utilization of capacity constrained resources in drum-buffer-rope systems, Production and Operations Management, Vol.11, No.2, 259-273.
- Atwater, J.B., Chakravorthy, S.S.,** 2004, The impact on free goods on the performance of drum-buffer-rope scheduling systems, International Journal of Production Economics, 95 (2005), 347-357.
- Atwater,B., Gagne, M.,** 1997, The Theory of Constraints versus contribution analysis for Product mix decisions, Journal of Cost Management, Vol.11,No.1, 6-15.
- Aquilano, F. J. ve Chase, R. B. ,** 1991, Fundamentals of operations management, Richard D. Irwin Inc., Homewood, Illinois,U.S.A, 732 p.
- Baker, K.R., Pyke,D.F.,** 1990, Solutşon procedures for the lot streaming problem, Decision Sciences, No.21, 475-491.
- Baudin, M.** 1990, Manufacturing systems analysis with application to production scheduling, Prentice Hall Inc, USA., p. 248-272.

- Blackstone, J.R., Cox, J.F.,** 2002, Designing unbalanced lines-understanding protective capacity and protective inventory, *Production Planning and Control*, Vol.13, No.4, 416-423.
- Browne,J.J, Shivan,J.,** 1988, *Production management systems*, Addison-Wesley Publishing Company, Great Britain.
- Burman,R.,** *Manufacturing management principles and systems*, Mcgraw-Hill Book Company, London.
- Büyüksünetçi, A.S.,** 2006, Tepkin Çizelgeleme Yaklaşımının Akış Tipi Atölye Ortamında Etkinliğinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 77s.
- Chakravorty,S.S., Atwater, J.B.,** 1996, A comparative study of line desing approaches for serial production systems, *International Journal of Operations and Production Management Journal*, No.1, 73-78.
- Chase, R.B., Aquilano, N.J.,** 1995, *Production and operations management : manufacturing and services*, 7th revizion, USA, 852 p.
- Chase, R.B., Aquilano, N.J., Jacobs, F.R.,** 1998, *Operations management : manufacturing and services*, McGraw Hill, USA, 889 p.
- Choe, K., Herman, S.,** 2004, Using Theory of Constraints tools to manage organizational change: A case study of euripa labs, *International Journal of Management and Organisational Behaviour*, Vol.8, No.6, 540-558.
- Coman, A., Ronen, B.,** 1995, Information technology in operations management: a theory of constraints approach, *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No.5, 1403-1415.
- Conway, R.,** 1997, Comments on an exposition of multiple constraint scheduling, *Production and Operations Management*, Vol.6, No.1, 23-24.
- Cook, D.P.,** 1994, A simulation comparison of traditional, JIT and TOC manufacturing systems in a flow shop with bottlenecks, *Production and Inventory Management Journal*, No.1, 73-78.
- Cox, J.F., Spencer, M.S.,** 1995, Optimized production technology (opt) and the theory of constraints (toc) : Analysis and Genealogy, *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No.6, 1495-1504.

- 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, McGraw Hill, p.9.3-9.37.
- Davies, J., Mabin, V.J., Balderstone, S.J.,** 2005, The Theory of Constraints: A methodology apart?-A comparison with selected OR/MS methodologies, Omega, Article in Pres, www.sciencedirect.com, 1-19.
- Dettmer, W.H.,** 1994, The theory of constraints a systems approach to continuous improvement, University Bookstore Custom Publishing, Los Angeles, CA, p.1-15.
- Dettmer, W.H.,** 1995, Quality and the theory of constraints, Quality Progress, Vol. 12, 77-81.
- Dettmer, W.H.,** 1996, Theory of constraint: A system-level approach to continuous improvement. www.rog.com/cac/dettmer1.html.
- Dettmer, W.H.,** 1997, Goldratt's theory of constraints: a systems approach to continuous improvement, ASQC Quality Pres, Wiskonsin, p.3-62.
- Dettmer, W.H.,** 1998, Beyond lean manufacturing: Combining lean and the theory of constraints for higher performance, Goal System International Port Angels WA, USA.
- Duclos, L.K., Spencer, M.S.,** 1995, The impact of constraint buffer in a flow shop, International Journal of Production Economics, Vol.42, 175-185.
- Erkut,H.,** 1992, Yönetimde Simulasyon Yaklaşımı, İrfan Yayıncılık ve Ticaret, İstanbul, 211 s.
- Evans, J.R.,** 1997, Production/Operations Management, West Publishing, USA.
- Fredendall, L.D., Lea, B.R.,** 1997, Improving the product mix heuristic in the theory of constraints, International Journal of Production Research, Vol.35, No.6, 1535-1544.
- Fry, T.D., Cox, J.F., Blackstone, J.H.,** 1992, An analysis and discussion of the optimized production technology software and its use, Production and Inventory Management, Vol. 1, No.2, 229-242.
- Gardiner, S.C., Blackstone, J.H., Gardiner, L.R.,** 1992, Drum-Buffer-Rope and buffer management: impact on production management study and practices, International Journal of Production and Operations Management, Vol.13, No.6, 68-78.

- Gardiner, S.C., Blackstone, J.H., Gardiner, L.R.,** 1994, The evolution of the theory of constraints, *Industrial Management*, No.3, 13-16.
- Gardiner, S.C., Blackstone, J.H.,** 1998, Dynamic buffering, *International Journal of Production Research*, Vol. 36, No.2, 332-342.
- Garrison, R., H., Noreen, E., W.,** 1994, *Managerial Accounting-Concepts of Planning, Control, Decision Making*, IRWIN, Seventh Edition, USA.
- Goldratt, E., Fox, R.,** 1986, *The Race*, North River Pres, Croton-on-Hudson, NY., 179p.
- Goldratt, E., Cox, J.,** 1986, *The Goal: A process of ongoing improvement*, North River Pres, Croton-on-Hudson, NY., 351p.
- Goldratt, E.M.,** 1988, Computerized shop floor scheduling, *International Journal and Production Research*, vol.26, No.3, 443-455.
- Goldratt, E.M.,** 1990, *The Haystack Syndrome: Shifting information out of the data ocean*, North River Pres, Croton-on-Hudson, NY., 262p.
- Goldratt, E.M.,** 1990b: What is this thing called theory of constraints and how should it be implemented?, North River Pres, Croton-on-Hudson, NY., 160 p.
- Goldratt, E.M.,** 1994, *It's not luck*, North River Pres, Great Barrington, MA., 283 p.
- Goldratt, E. M.,** 1997, *Critical chain*, North River Pres, Great Barrington, MA., 246 p.
- Guide, V.D.R.,** 1996, Scheduling using drum-buffer-rope in a remanufacturing environment, *International Journal of Production Research*, Vol.34, No.4, 1081-1091.
- Gupta, M.,** 2003, Constraint management-recent advances and practices, *International Journal of Production Research*, Vol.41, No.4, 647-659.
- Hsu, T. CH., Chung, SH. H.,** 1998, TOC-based Algorithm for solving product mix problems, *Production Planning and Control*, Vol.9, No.1, 36-46.
- Jacobs, F.R.,** 1983, The OPT scheduling system: A review of a new production scheduling system, *Production and Inventory Management*, Vol.24, No.3, 47-51.
- Khachian, L.G.,** 1979, Polynomial algorithms in linear programming, *Doklady Akademia Navk SSSR* 224, *Soviet Mathematics Doklady*, Vol.20, 191-194.
- Köksal, G., Karşılıklı, U.K.,** 2000, Kısıtlar Teorisi ve Toplam Kalite Yönetimi yoluyla etkin performans yönetimi, 9.Ulusal Kalite Kongresi.

- Köksal, G.**, 2004, Selecting quality improvement projects and product mix together in manufacturing: an improvement of a theory of constraints-based approach by incorporating quality loss, *International Journal of Production Research*, Vol.42, No.23, 5009-5029.
- Köksal, G.**, 2004, Altı sigmada kısıtların yönetimi, *Altı Sigma Forum* 1, s.36-43.
- Küçüksavaş, N., Tanış, V.N., Ünal, N.E.**, 2005, Kısıtlar teorisi ve bir üretim işletmesinde uygulama, *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt.14, Sayı.2, 433-448.
- Lee, T., Plenert, G.**, 1996, Maximizing product mis profitability-what's the best analysis tool, *Production Planning and Control*, Vol.7, No.6, 547-553.
- Lockamy, A., Spencer, M.S.**, 1998, Performance measurement in an theory of constraints environment, *International Journal of Production Research*, Vol.36, No.8, 2045-2060.
- Louw, L., Page, D.C.**, 2004, Queing network analysis approach for estimating the size of the time buffers in theoryof constraints-controlled production systems, *International Journal of Production Research*, Vol.42, No.6, 1207-1226.
- Luebbe, R., Finch, B.**, 1992, Theory of constraints and linear programming: a comparison, *International Journal of Production Research*, Vol.30, No.6, 1471-1478.
- Mabin, V.J., Gibson, J.**, 1998, Synergies from spreadshet lp used with the theory of constraints-a case study., *Journal of Operational Research Society*, Vol.49, 918-927.
- Macmillan, S.**, 2004, Constraint management of a continuous batch process, Master of Engineering Thesis, Faculty of Engineering, University of Pretoria.
- McMullen, J.R., Thomas, B.**, 1998, Introduction to the theory of constraints management systems, St. Lucie Pres/APICS Series on Constraint Managements, p 293.
- Miltenburg, J.**, 1997, Comparing JIT, MRP, and TOC, and Embedding TOC into MRP, *International Journal of Production Research*, Vol.35, No.4, 1147-1169.
- Noreen, E., Smith D., Mackey J.T.**, 1995, The theory of constraints and its implications for management accounting, North River Pres, Great Barrington, M.A., 187 p.

- Onwubolu, C.G., Mutingi, M.,** 2001, Optimizing the multiple constrained resources product mix problem using genetic algorithms, *International Journal of Production Research*, Vol.39, No.9, 1897-1910.
- Özkul, A.E.,** 1998, Benzetim Ders Notları, Yayınlanmamış.
- Pfeifer, T., Tillmann, M.,** 2003, Innovative process chain optimization-Utilizing the tools of TRIZ and TOC for manufacturing, First presented at the European TRIZ Association TRIZ Futures Conference, Aachen, Germany.
- Pinedo, M.,** 1997, Commentary on 'An exposition of multiple constraint scheduling as implemented in the goal system', *Production and Operations Management*, Vol.6, No.1, 25-27.
- Plenert, G.,** 1993, Optimizing theory of constraints when multiple constrained resources exist, *European Journal of Operational Research*, No.70, 126-133.
- Pretorius, P., J.,** 2001, University of Pretoria.
- Radovilsky, Z.D.,** 1998, A quantitative approach to estimate the size of the time buffer in the theory of constraints, *International Journal of Production Economics*, Vol. 55, No.2, 113-119.
- Rahman, S.,** 1998, Theory of Constraints: a review of the philosophy and its applications, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol.18, No.4, 336-355.
- Ramsay, M.L., Brown, S., Tabibzadeh, K.,** 1990, Push, pull and squeeze shopfloor control with computer simulation, *Industrial Engineering*, No.22, 39-45.
- Riezebos, J., Korte, G.J., Land, M.J.,** 2003, Improving a practical dbr buffering approach using workload control, *International Journal of Production Research*, Vol.41, No.4, 699-712.
- Russell, G.R., Fry, T.D.,** 1997, Order review/release and parti splitting in drum-buffer-rope, *International Journal of Production Research*, Vol.35, No.3, 827-845.
- Ruhl, J. M.,** 1997, The theory of constraints a cost management framework., *Journal of Cost Management* (November/December), 16-24.
- Schaefers, J., Aggoune, R., Becker, F., Fabbri, R.,** 2004, TOC-based planning and scheduling model, *International Journal of Production Research*, Vol.42, No.13, 2639-2649.

- Schrangenheim, E., Ronen, B.,** 1990, Drum-Buffer-Rope shop floor control, *Production and Inventory Management Journal*, Third Quarter.No.31, 18-23.
- Schrangenheim, E., Ronen, B.,** 1991, Buffer management: a diagnostic tool for production control, *Production and Inventory Management Journal*, Second Quarter, 74-79.
- Schrangenheim, J.E., Cox, J., Ronen, B.,** 1994, Process flow industry-scheduling and control using the theory of constraints, *International Journal of Production Research*, Vol.38, No.8, 1867-1877.
- Silver, E.A., Pyke, D.F., Peterson R.,** 1998, *Inventory management and production planning and scheduling*, John Wiley&Sons, USA, p 650-658.
- Simons, J.V., Simpson, W.P., Carlson, B.J., James, S.W., Lettiere, C.A., Mediate, B.A.,** 1996, Formulation and solution of the drum-buffer-rope constraint scheduling problem (DBRCSP)., *International Journal of Production Research*, Vol.34, No.9, 2405-2420.
- Simons, J.V., Simpson, W.P.,** 1997, An exposition of multiple constraint scheduling as implemented in the goal system (Formerly Disaster), *Production and Operations Management*, Vol.6, No.1, 3-22.
- Souren,R., Heinz,A., Schmitz, C.,** 2005, Optimal product mix decisions based on the Theory of Constraints? Exposing rarely emphasized premises of Throughput Accounting, *International Journal of Production Research*, Vol.43, No.2, 361-374.
- Spearman, M.L., Woodruff, D.L., Hopp, W.J.,** 1990, Comwip: A pull alternative to kanban, *International Journal of Production Research*, Vol.28, No.5, 879-894.
- Spearman, M.L.,** 1997, On the Theory of Constraints and the Goal System, *Production and Operations Management*, Vol.6, No.1, 28-33.
- Spencer, M.S.,** 1995, Master production scheduling development in a theory of constraint environment, *Production and Inventory Management Journal*, No.1, 8-14.
- Spencer, M.S., Cox, J.F.,** 1995, The role of MRP in repetitive manufacturing, *International Journal of Production Research*, Vol.33, No.7, 1881-1899.

- Srikanth, M., Umble, M.,** 1997, Synchronous Management: Profit based manufacturing for the 21 st century, Volume I and II (Guilford, CT: The Spectrum Publishing Company).
- Steele, D.C., Philipoom, P.R., Malhotra, M.K., Fry, D.T.,** 2005, Comparison between drum-buffer-rope and material requirements planning: a case study, International Journal of Production Research, Vol.43, No.15, 3181-3208.
- Stein, R.,** 1997, The theory of constraints : application in quality and manufacturing 2nd ed., rev., and expanded, Marcel Dekker, New York., 306 p.
- Tersine, R.J.,** 1994, Principles of inventory and materials management, Printice Hall, USA, 591 p.
- Swain,M., Bell, J.,** 1999, The Theory of Constarints and Throughput Accounting, Irwin, McGraw-Hill, 352p.
- Tezcan, M.Ö.,** 2001, Kısıtlar teorisi yaklaşımı ile darboğaz kaynak yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, 170 s.
- Thorne,K., Smith, M.,** 1997, Synchronous Manufacturing : Back to Basis Management Accounting, 58-60.
- Tseng, M.F., Wu, H.H.,** 2006, The study of an easy-to-use DBR and BM systems, International Journal of Production Research, Vol.44, No.8, 1449-1478.
- Tu, Y.M., Li, R.K.,** 1998, Constraint time buffer determination model, International Journal of Production Research, Vol.36, No.4, 1091-1103.
- Umble M.M., Umble. E.,** 1999, Drum buffer rope for lower inventory, Industrial Management, 24-33.
- Umble, M.M., Srikanth, M.L.,** 1995, Synchronous manufacturing : principles for world-class excellence., Spectrum Publ., Wallingford, Conn, 270 p.
- Watson, K., Polito, T.,** 2003, A comparison of DRP and TOC financial performance within a multi-product, multi-echelon physical distribution environment, International Journal of Production Research, Vol.41, No.4, 741-765.
- Wu, S.Y., Morris, J.S., Gordon, T.M.,** 1994, A simulation analysis of Drum-Buffer-Rope scheduling in furniture manufacturing, Computers and Industrial Engineering Conference, Vol.24, No.4, 757-764.
- Üreten, S.,** 1998, Üretim ve işlemler yönetimi stratejik kararlar ve karar modelleri, Gazi Kitabevi, 523 p.

EKLER

EK-1 : Termoform Makinalarında Üretilcek Gövde Levhası  izelgesi

EK-2 : Wagner-Whitin Algoritması   in Geliştirilen Program Kodu

EK-3 : Sonlu Yükleme Algoritması   in Geliştirilen Program Kodu

Ek-1 Termoform Makineleri İçin Önerilen Çizelge

[illegible]

Ek-2 Wagner Within Algoritması VBA Kodu

```

Sub wagner_whitin(ByVal sat As Integer)
Dim z(31, 31) As Single
Dim c, h, p As Single
c = Worksheets("wagner").Cells(sat, 2).Value
h = Worksheets("parametreler").Cells(2, 2).Value
p = Worksheets("parametreler").Cells(3, 2).Value
For i = 1 To 31
    For j = i To 31
        Qpoz = 0
        QNEG = 0
        For k = i To j
            Qpoz = Qpoz + Worksheets("wagner").Cells(sat, k + 5).Value
            QNEG = QNEG + Worksheets("wagner").Cells(sat, k + 5).Value * (Abs(k - j) + 1)
        Next k
        a = Qpoz * ((j - i) + 1) - QNEG
        z(i, j) = c + h * p * a
    Next j
Next i
Dim f(31) As Single
Dim x(31) As Integer
Dim m(31) As Integer
f(0) = 0
For j = 1 To 31
    minix = 0
    Min = 99999
    For k = 1 To j
        minix = z(k, j) + f(k - 1)
        If (minix < Min) Then
            Min = minix
            x(j) = k
            m(k) = k - 1
        End If
    Next k
    f(j) = Min
Next j
For j = 1 To 31
    mr = Worksheets("wagner").Cells(sat, j + 5).Value
    Worksheets("wagner").Cells(sat, x(j) + 5).Value = Worksheets("wagner").Cells(sat, x(j) + 5).Value
    + mr
    Worksheets("wagner").Cells(sat, j + 5).Value = Worksheets("wagner").Cells(sat, j + 5).Value - mr
Next j
Worksheets("wagner").Cells(sat, j + 5).Value = f(31)
End Sub

```

Ek-3 Sonlu Yükleme İçeren Wagner-Within Algoritması VBA Kodu

```

Sub sonluyukleme_w()
    Const modelsayi = 20
    kapasitesinir = Worksheets("parametreler").Cells(5, 2).Value
    Dim sub_index(modelsayi) As Integer
    Dim modeldevre(20, 30) As Integer
    Dim kapasite(31) As Integer
    For i = 1 To modelsayi
        For j = 6 To 34
            modeldevre(i, j - 5) = Worksheets("wagner").Cells(i + 1, j).Value
        Next j
    Next i
    For i = 1 To 30
        For j = 1 To modelsayi
            kapasite(i) = modeldevre(j, i) + kapasite(i)
        Next j
    Next i
    kapasite(31) = 9999
    For j = 1 To 30
        toti = 1
        If (kapasite(j - 1) > kapasitesinir And kapasite(j + 1) > kapasitesinir) Then GoTo ps
        If (kapasite(j) > kapasitesinir) Then
            For i = 1 To modelsayi
                If (modeldevre(i, j) > 0) Then
                    sub_index(toti) = i
                    toti = toti + 1
                End If
            Next i
            For i = 1 To toti - 1
                For k = 1 To toti
                    If (modeldevre(sub_index(i), j) < modeldevre(sub_index(k), j)) Then
                        temp = sub_index(i)
                        sub_index(i) = sub_index(k)
                        sub_index(k) = temp
                    End If
                Next k
            Next i
        End If

        mincount = 1
        While (kapasite(j) > kapasitesinir And mincount < toti)
            minindex = sub_index(mincount)
            Min = modeldevre(minindex, j)
            If (j < 2) Then GoTo label1
            If (modeldevre(minindex, j - 1) > 0) Then
                If (kapasite(j - 1) + modeldevre(minindex, j) <= kapasitesinir) Then
                    kapasite(j - 1) = kapasite(j - 1) + modeldevre(minindex, j)
                    kapasite(j) = kapasite(j) - modeldevre(minindex, j)
                    modeldevre(minindex, j - 1) = modeldevre(minindex, j - 1) + modeldevre(minindex, j)
                    modeldevre(minindex, j) = 0
                    GoTo tr
                Else
                    If (kapasite(j - 1) <= kapasitesinir) Then
                        fark = kapasitesinir - kapasite(j - 1)
                        kapasite(j - 1) = kapasitesinir
                    End If
                End If
            End If
        End While
    Next j
End Sub

```

```

    kapasite(j) = kapasite(j) - fark
    modeldevre(minindex, j - 1) = modeldevre(minindex, j - 1) + fark
    modeldevre(minindex, j) = modeldevre(minindex, j) - fark
End If
End If
End If
label1:   If (modeldevre(minindex, j + 1) > 0) Then
    If (kapasite(j + 1) + modeldevre(minindex, j) <= kapasitesinir) Then
        kapasite(j + 1) = kapasite(j + 1) + modeldevre(minindex, j)
        kapasite(j) = kapasite(j) - modeldevre(minindex, j)
        modeldevre(minindex, j + 1) = modeldevre(minindex, j + 1) + modeldevre(minindex, j)
        modeldevre(minindex, j) = 0
    Else
        If (kapasite(j + 1) <= kapasitesinir) Then
            fark = kapasitesinir - kapasite(j + 1)
            kapasite(j + 1) = kapasitesinir
            kapasite(j) = kapasite(j) - fark
            modeldevre(minindex, j + 1) = modeldevre(minindex, j + 1) + fark
            modeldevre(minindex, j) = modeldevre(minindex, j) - fark
        End If
    End If
End If
    tr: mincount = mincount + 1 Wend

mincount = 1
While (kapasite(j) > kapasitesinir And mincount < toti)
    minindex = sub_index(mincount)
    Min = modeldevre(minindex, j)
    If (j < 2) Then GoTo label2
        If (kapasite(j - 1) + modeldevre(minindex, j) <= kapasitesinir) Then
            kapasite(j - 1) = kapasite(j - 1) + modeldevre(minindex, j)
            kapasite(j) = kapasite(j) - modeldevre(minindex, j)
            modeldevre(minindex, j - 1) = modeldevre(minindex, j - 1) + modeldevre(minindex, j)
            modeldevre(minindex, j) = 0
            GoTo tr2
        Else
            If (kapasite(j - 1) <= kapasitesinir) Then
                fark = kapasitesinir - kapasite(j - 1)
                kapasite(j - 1) = kapasitesinir
                kapasite(j) = kapasite(j) - fark
                modeldevre(minindex, j - 1) = modeldevre(minindex, j - 1) + fark
                modeldevre(minindex, j) = modeldevre(minindex, j) - fark
            End If
        End If
    End If
    label2:   If (modeldevre(minindex, j + 1) > 0) Then
        If (kapasite(j + 1) + modeldevre(minindex, j) <= kapasitesinir) Then
            kapasite(j + 1) = kapasite(j + 1) + modeldevre(minindex, j)
            kapasite(j) = kapasite(j) - modeldevre(minindex, j)
            modeldevre(minindex, j + 1) = modeldevre(minindex, j + 1) + modeldevre(minindex, j)
            modeldevre(minindex, j) = 0
            GoTo tr2
        Else
            If (kapasite(j + 1) <= kapasitesinir) Then
                fark = kapasitesinir - kapasite(j + 1)
                kapasite(j + 1) = kapasitesinir
                kapasite(j) = kapasite(j) - fark
                modeldevre(minindex, j + 1) = modeldevre(minindex, j + 1) + fark

```

```

        modeldevre(minindex, j) = modeldevre(minindex, j) - fark
    End If
End If
End If
    tr2: mincount = mincount + 1
Wend
ps: Next j
For i = 1 To modelsayi
For j = 1 To 30
    Worksheets("sonluyukle").Cells(i + 1, 1).Value = Worksheets("wagner").Cells(i + 1, 1).Value
    Worksheets("sonluyukle").Cells(i + 1, 2).Value = Worksheets("wagner").Cells(i + 1, 4).Value
    Worksheets("sonluyukle").Cells(i + 1, j + 2).Value = modeldevre(i, j)
Next j
Next i
r = 1
For i = 1 To 30
If (kapasite(i) > kapasitesinir) Then
    r = r + 1
    Worksheets("sonluyukle").Cells(r, 34).Value = i
    Worksheets("sonluyukle").Cells(r, 35).Value = kapasite(i)
End If
Next i
End Sub

```