

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

KISITLAR TEORİSİ

YÜKSEKLİSANS TEZİ

Onur GÜRGEN

Anabilim Dalı: İşletme

Programı: Kalite ve Üretim Yönetimi

NİSAN 2007

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

KISITLAR TEORİSİ

YÜKSEKLİSANS TEZİ

Onur GÜRGEN

(0510100003)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20 Nisan 2007
Tezin Savunulduğu Tarih: 30 Nisan 2007**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Güneş GENÇYILMAZ
Diğer Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Nazan Çağlar
Yrd. Doç. Dr. Rifat Gürcan Özdemir**

NİSAN 2007

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının başlangıcından sonuna kadar geçen süreçte, her anlamda desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen, zahmetten kaçınmayan ve akademik gelişmemde tüm bilgi ve becerilerini paylaşarak yardımcı olan Tez Danışmanı Hocam Sayın Prof. Dr. Güneş Gençyılmaz'a en derin saygılarımı sunar, teşekkürü bir borç bilirim.

Onur Gürgen

Nisan 2007

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
KISA ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. KISITLAR TEORİSİNE GİRİŞ.....	1
1.1. Sistemler ve “Derin Bilgi.....	1
1.2. Sistemin Hedefi.....	2
1.3. Sistem Kısıtları Kavramı.....	3
1.3.1. Kalite İyileştirilmesinde Kısıtlar İlişkisi.....	5
1.3.2. Değişim ve Kısıtlar Teorisi.....	5
2. KISITLAR TEORİSİNİN 5 BASAMAĞI.....	8
2.1. Akış, Envanter, İşletme Gideri.....	9
2.1.1. Akış(A).....	10
2.1.2. Envanter(E).....	10
2.1.3. İşletme Gideri(İE).....	10
3. MANTIKSAL DÜŞÜNME SÜRECİ.....	16
3.1. Mevcut Gerçeklik Ağacı.....	17
3.2. Çelişki Çözüm Diyagramı.....	18
3.3. Gelecek Gerçeklik Ağacı.....	18
3.4. Ön Koşul Ağacı.....	20
3.5. Geçiş Ağacı.....	21
3.6. Mantıksal Ağaçların Doğruluk Testi.....	24
3.6.1. Netlik.....	24
3.6.2. Girdi Varlığı.....	25
3.6.2.1. Bütünlük.....	25
3.6.2.2. Yapı.....	25
3.6.2.3. Doğruluk.....	26
3.6.3. Sebebiyet Varlığı.....	26
3.6.4. Sebep Yetersizliği.....	28
3.6.5. Eklenebilir Sebep.....	29

3.6.6. Neden ile Sonucun Yer Değiştirmesi.....	29
3.6.7. Tahmini Sonuç Varlığı.....	30
3.6.8. Gereksiz Tekrar.....	30
4. LİTERATÜR TARAMASI.....	39
5. KISITLAR TEORİSİNİN ÜRÜN KARMASI PROBLEMLERİNE GETİRDİĞİ ÇÖZÜM KOLAYLIĞI KONUSUNDAKİ UYGULAMALAR.....	45
5.1. Karma Ürün Problemlerinin Çözümü için Kısıtlar Teorisi Tabanlı Algoritma.....	46
5.2. Kısıtlar Teorisi Yaklaşımı ile Optimal Ürün Karması için Geliştirilmiş Algoritma.....	64
6. KISITLAR TEORİSİ YAKLAşIMININ ÇELİK KAPI ÜRETEN FİRMA ÜZERİNDE UYGULANMASI.....	84
7. SONUÇ.....	99
KAYNAKLAR.....	102

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1.	Kısıtlar Teorisi prensipleri ve geleneksel yöntem karşılaştırması.....	13
Tablo 5.1.	Her birim kaynak için yükleme formülü.....	48
Tablo 5.2.	Kapasite miktarları.....	50
Tablo 5.3.	B kısıtına göre gelir katkı oranının hesaplanması.....	50
Tablo 5.4.	Kaynak yüklenmeleri.....	55
Tablo 5.5.	D kaynağı üzerindeki işlem süresi ve katkı miktarı.....	60
Tablo 5.6.	Yeni ürün miktarları için kapasite yüklenmeleri.....	61
Tablo 5.7.	A kaynağı için katkı miktarı ve kısıt süresi.....	61
Tablo 5.8.	Yeni ürün miktarları için kapasite yüklenmeleri.....	62
Tablo 5.9.	Sonuçların özeti.....	63
Tablo 5.10.	Her ürün için haftalık talep, satış fiyatı ve hammadde maliyeti.....	66
Tablo 5.11.	Dakika olarak işlem süreleri, mevcut ve gerekli kapasiteler.....	66
Tablo 5.12.	Geleneksel algoritmanın son AÜÇ ve geliştirilmiş algoritma için başlangıç AÜÇ.....	67
Tablo 5.13.	Baskın darboğazın seçiminin analizi.....	72
Tablo 5.14.	Yeniden düzenlenmiş algoritma için başlangıç AÜÇ.....	73
Tablo 5.15.	X kümesinin oluşturulması.....	74
Tablo 5.16.	Komşuluk araştırması.....	74
Tablo 5.17.	Azaltma ve arttırma süreci.....	81
Tablo 6.1.	Ürünlerin satış fiyatları, talepleri, hammadde maliyetleri ve katkı Payları.....	86
Tablo 6.2.	Kaynakların ihtiyaç duyulan kullanım süreleri.....	90
Tablo 6.3.	Mevcut kapasiteler ve ihtiyaç duyulan kapasiteler.....	90
Tablo 6.4.	Ana üretim çizelgesi.....	92
Tablo 6.5.	Yeni kaynak kullanım süreleri.....	92

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: Temel sistem ortamı.....	1
Şekil 1.2	: Bir üretim örneği.....	4
Şekil 1.3	: Üretim hattının başka durumu.....	4
Şekil 2.1	: Akış, envanter ve işletme gideri.....	9
Şekil 2.2	: Davul-Tampon-İp imalat kontrolü.....	12
Şekil 3.1	: Mevcut Gerçeklik Ağacı.....	17
Şekil 3.2	: Çelişki Çözüm Diyagramı.....	18
Şekil 3.3	: Gelecek Gerçeklik Ağacı.....	19
Şekil 3.4	: Ön Koşul Ağacı.....	20
Şekil 3.5	: Geçiş Ağacı.....	21
Şekil 3.6	: Bütünleşik Düşünce Süreci olarak 5 Mantık Ağacı arasındaki ilişki.....	23
Şekil 3.7	: Girdi varlığı testi ve örneği.....	26
Şekil 3.8	: Sebebiyet Varlığı.....	27
Şekil 3.9	: Somut ve soyut nedenler.....	27
Şekil 3.10	: Sebep yeterliliğinin elips ile gösterilmesi.....	28
Şekil 3.11	: Eklenebilir sebep.....	29
Şekil 3.12	: İş sahibinin işi gözden geçirirken uygulayacağı politikanın akış diyagramı.....	34
Şekil 3.13	: Başkasının işini dinlerken, okurken veya gözden geçirirken uygulanacak politikanın akış diyagramı.....	37
Şekil 5.1	: Karma ürün örneği problemi için veriler.....	47
Şekil 5.2	: Kapasite kısıtlı kaynaklar ile kapasite kısıtı olmayan kaynaklar arasındaki ilişki.....	53
Şekil 6.1	: Ürünlerin kaynak kullanım miktarı ve hammadde maliyeti.....	85
Şekil 6.2	: LINGO programında modelin yazımı.....	95
Şekil 6.3	: LINGO çözüm ekranı.....	96
Şekil 6.4	: Davul-Tampon-İp imalat kontrolü.....	98
Şekil 7.1	: Kısıtlar Teorisinin temel süreci.....	100

Enstitüsü	:	Sosyal Bilimler
Anabilim Dalı	:	İşletme
Programı	:	Kalite ve Üretim Yönetimi
Tez Danışmanı	:	Prof. Dr. Güneş Gençyılmaz
Tez Türü ve Tarihi	:	Yükseklisans – Nisan 2007

KISA ÖZET
KISITLAR TEORİSİ
Onur Gürgen

Bu çalışmada Kısıtlar Teorisi yaklaşımı anlatılmıştır. Bu yaklaşım doğrultusunda yapılan çalışmalar belirtilmiştir. Bu çalışmalardan yararlanılarak Kısıtlar Teorisi yaklaşımı çelik kapı üreten firma üzerinde uygulanmıştır.

Çalışma, Kısıtlar Teorisi'nin özellikle firmalara ürün karması problemlerinde çok yardımcı olduğunu göstermeyi amaçlamaktadır. Yaklaşımın basitliği ve karmaşık matematiksel yöntemlere göre çok daha kolay anlaşılacağı gösterilmek istenmiştir.

Çalışma sonuçları, Kısıtlar Teorisi yaklaşımının artan rekabet koşullarında firmalara, sorunlarını çok daha çabuk ve doğru şekilde çözme imkanı sağladığını göstermiştir.

Anahtar Sözcükler : Kısıtlar Teorisi, Mantıksal Düşünme Süreci, Ürün Karması,
Doğrusal Programlama.

Bilim Dalı Sayısal Kodu :

University : **Istanbul Kültür University**
Institute : **Institute of Social Sciences**
Department : **Business Administration**
Programme : **Quality and Production Management**
Supervisor : **Prof. Dr. Güneş Gençyılmaz**
Degree Awarded and Date : **MA – April 2007**

ABSTRACT
THEORY OF CONSTRAINTS
Onur Gürgen

Theory of Constraints approach has been told in this study. Some studies have been shown which used this approach. By using these studies, Theory of Constraints approach has been applied a firm which produces door made steel.

The aim of the study is telling the benefits of Theory of Constraints at product mix decision problems. It is wanted to show that the approach is more simple than other mathematical methods.

The results have shown that Theory of Constraints provides correct and faster solutions to firms at increasing competition environment.

Key Words : Theory of Constraints, Thinking Process, Product Mix, Lineer Programming.

Science Code :

1. KISITLAR TEORİSİNE GİRİŞ

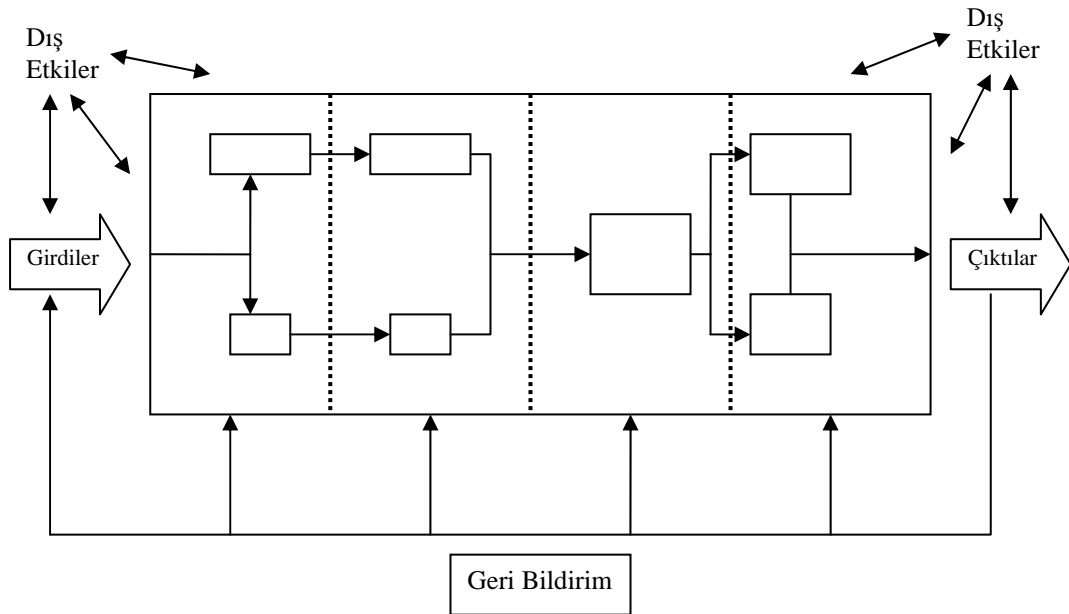
1.1 Sistemler ve “Derin Bilgi”

W. Edwards Deming, derin bilgi(konu üzerinde detaylı bilgi) olmadan gerçek bir kalite iyileştirmesinin mümkün olamayacağını ileri sürmüştür. Deming’e göre, derin bilgi;

- Bilgi teorisini anlama
- Değişim bilgisi
- Psikolojinin anlaşılması
- Sistem için değer kazanma

sonucunda ortaya çıkmaktadır¹.

Bir sistem genel olarak birbiri ile ilgili, birbirine bağlı, girdileri, hedeflenen çıktılara dönüştüren bileşenlerin veya süreçlerin toplamı olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 1.1: Temel sistem ortamı

Kaynak: H.William Dettmer, *Goldratt's Theory of Constraints: A Systems Approach to Continuous Improvement*.(United States of America: ASQC, 1997)4.

¹ W. Edwards Deming, *The New Economics* (Cambridge Mass: MIT Center for Advanced Engineering Study, 1993)94-118.

Sistemin hem dış çevreyi etkilediği hem de dış çevreden etkilendiği belirtilmektedir. Her sistem kalitesi bakımından sorgulanabilir. Sistemin kalite sorgulamasının yapılabilmesi için öncelikle sistemin nasıl çalıştığı hakkında yeterli bilgi edinilmesi gerekir.

1.2 Sistemin Hedefi

İnsanoğlu bir hedefe ulaşmak için sistemler yaratmıştır. Sistemlerin amacının belirlenen hedefleri gerçekleştirmek olduğu görülmektedir. Bir sistemin, hedefinin ne olacağına karar verenler sistemin sahibi veya sahipleri olarak belirtilmektedir. Bu nedenle de firmaların ortaklarına karşı sorumlu oldukları sonucuna varılmıştır. Karmaşık sistemlerde sistem sahibinin hedefini gerçekleştirme sorumluluğunun yöneticilere verildiği görülmektedir. Bu noktada Kısıtlar Teorisinin(KT) genel anlamda yönetimle ilgili olduğu akla gelmektedir. KT'nin, yöneticilerin, organizasyonların gerçek hedefinin ne olduğunu bilen ve bu hedefi başarmaya çalışan kişiler olduğu varsayımına dayandığı belirtilmektedir. Ancak bu durumun her zaman geçerli olmadığı görülmektedir. Yöneticilerin şu üç şeyi bilmeden başarılı olamayacağı ileri sürülmüştür:¹

- Nihai hedefin ne olduğu
- Kişi bu hedefle ilgili nerede duruyor
- Hedefe ulaşmak için gerekli değişiklik hareketinin büyüklüğü ve yönü.

Genellikle sistemin sahipleri veya ortakları sistemin hedefi hakkında çeşitli fikirlere sahiptirler ve ticari işletmelerin hedefinin daha fazla para kazanmak olduğunu düşünürler. Fakat yöneticilerin sistemdeki hedefi biraz daha farklı gördüğü de belirtilmektedir. Sistemin, ortaklarına daha fazla para sağlaması hedefinin yanında başka önemli hedefleri de olduğu ortaya konmaktadır. Bunların da rekabet avantajları, pazar payı, müşteri memnuniyeti, memnun ve güvenli işgücü, ürün ve hizmet kalitesi olduğu belirtilmektedir. Bu hedefler, stratejik veya operasyonel planların hedefleri olarak gözükmektedir. Fakat bunların *gerekli koşullar mı yoksa hedefler mi* olduğu tartışılmaktadır. Hedefin, belirli bir çabanın sonucu veya başarısı

¹ Dettmer 5.

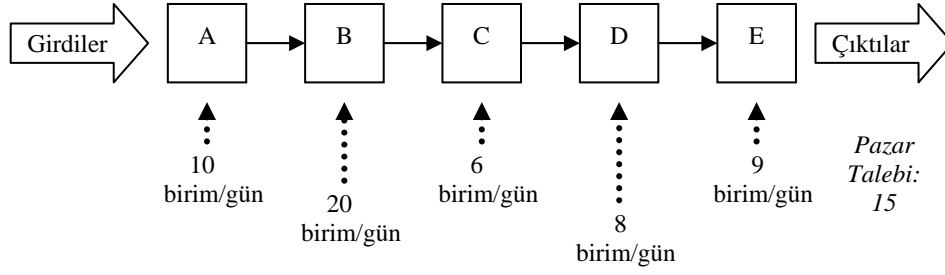
olarak tanımlanması mümkündür. Gerekli koşul ise bazı sonuçlara ulaşmak için zorunlu şartlar olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar sonucunda, *gerekli koşul* ile *hedef* arasında tanım olarak bir bağıllık ilişkisi olduğu görülmektedir. Hedeflere ulaşmak için gerekli koşulların yerine getirilmesi gerektiği bilinmektedir. Eliyahu M. Goldratt, gerekli koşul ile hedefin birbirine bağımlı olduğunu ileri sürmektedir. Bu nedenle de belirlenen hedef dışında yapılacakların, o hedefi gerçekleştirmek için gerekli koşullar olacağını belirtmektedir.¹

Örneğin, hissedarlar karlılık artırımını, işletmenin hedefi olarak belirleyebilirler. Bu durumda müşteri tatmini, teknolojik liderlik, rekabet avantajı ve pazar payı büyütülmesi karlılık artırımını hedefine ulaşmak için gerekli koşullar olmaktadır. Öte yandan, işletme, hedefini müşteri memnuniyeti olarak da belirlemiş olabilir. Bu durumda karlılık müşteri tatminini sağlamak için gerekli koşul olabilmektedir. Çünkü karlı olmadan işletmelerin var olması zordur ve var olamayan işletmelerin müşteri tatminini sağlamaları beklenmemektedir.

1.3 Sistem Kısıtları Kavramı

Goldratt, sistemleri zincire veya zincir ağılarına benzetmiştir. Zincirlerin, bir kuvveti baştan sona kadar ilettikleri bilinmektedir. Bu iletimin bozulmaması için zincirin tüm halkalarının kuvvetli olması gerekmektedir. Ancak bir zinciri oluşturan halkalar aynı kuvvette olmayabilir ve halkalar arasında kopmalar olabilir. Sistemlerde de bu durumun oluştuğu görülür. Örneğin bir üretim sisteminde, üretilen ürün miktarı, o üretim hattındaki en zayıf makinenin ürettiği kadar olduğu bilinmektedir. Burada, diğer makinelerde yapılan iyileştirmeler, sistemin üretim miktarında artış sağlamayacak, sadece ara stoklarda artışa neden olacaktır. Çünkü bir zincir en zayıf halkası kadar güçlüdür ve bu nedenle sistemlerde en zayıf parçalarının iyileştirilmesi ile güçlü hale gelebilirler. Goldratt, belirli bir zamanda sistemde sadece bir kısıtın olacağını ve diğer parçaların kısıt oluşturmayacağını belirtmiştir. Bu nedenle sistemleri iyileştirmek için en zayıf halkalarından başlamak gerektiğini öne sürmüştür.

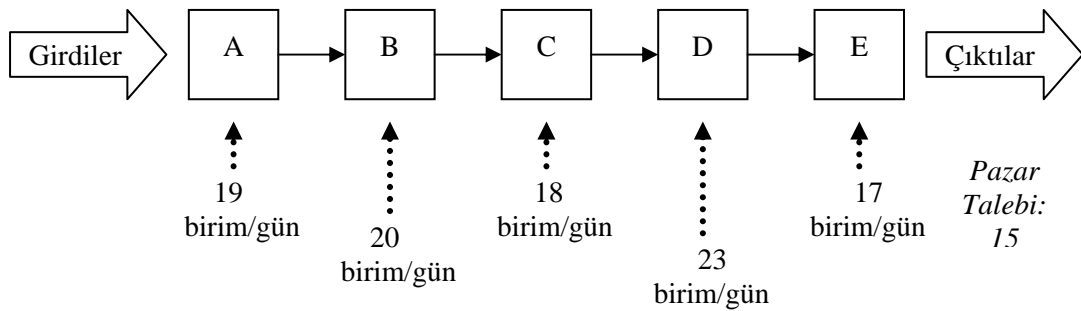
¹ Eliyahu M. Goldratt, *The Goal:2nd ed.* (Great Barrington Mass: North River Pres, 1992)45.



Şekil 1.2: Bir üretim örneği

Kaynak: Dettmer 9.

Yukarıdaki şekil, bir üretim hattındaki girdilerin A, B, C, D ve E işlemlerinden geçerek çıktılara dönüşmesini anlatmaktadır. Bu sistemin üretim kapasitesine baktığımızda sistem günde en fazla 6 birim üretebilmektedir. Çünkü sistemin en zayıf halkası günde 6 birim üreten makinedir. Bu makinenin ürettiği kadar sistem ürün üretebilmektedir. Dolayısı ile bu sistemin üretim kapasitesini arttırmak için bu makinenin iyileştirilmesi gerekmektedir. Diğer makinelerde yapılacak iyileştirmeler bu makinelerin üretim kapasitesini artırmakta fakat sistemin üretim kapasitesini değiştirmemektedir. Sistemin kısıtını C makinesi oluşturmaktadır. C makinesinin üretim kapasitesi günde 18 birime çıkartılırsa bu defa sistemin zayıf halkasını D makinesi oluşturacaktır. Bu makine dışındakiler kısıt olmayan kaynaklardır. İyileştirmeye D, E ve A makineleri ile devam ettiğimiz zaman aşağıdaki şekilde bir sistem oluştuğunu varsayalım.



Şekil 1.3: Üretim hattının başka durumu

Kaynak: Dettmer 9.

Yukarıdaki sistemin kısıtı pazar talebidir. Çünkü sistemden sadece günde 15 birimlik ürüne ihtiyaç vardır. Fakat sistem daha fazla üretebilme kapasitesine sahiptir. Bu

durumda yeni talep imkanları yaratılarak sistemin kısıtında iyileştirme yapılabilir. Burada makinelerin oluşturduğu kısıtlar sistemin iç kısıtları, pazar talebinden kaynaklanan kısıt ise bir dış kısıt olarak tanımlanmaktadır.

1.3.1 Kalite İyileştirilmesinde Kısıtlar İlişkisi

Deming'in geliştirdiği 14 kalite iyileştirme kuralı¹, kalite iyileştirme sürecinde bir çeşit kalite yol haritası olarak sunulmuştur. Deming, organizasyondaki herkesin rol aldığı bir iyileştirmenin gerekli olduğunu belirtmiştir. Deming'in teorisinde tüm çalışanların iyileştirme çalışmalarında görev alması önemli bir etkidir. Bu nedenle bir çok kalite iyileştirme yaklaşımlarında başarının birlikte çalışılarak elde edilecek bir çabanın sonucu olduğu belirtilmiştir. Bir çok işletme, süreçlerde takımlar oluşturarak iyileştirme çalışmaları yapmaktadır.

Goldratt'ın belirttiği kısıt olmayan ve kısıt oluşturan kaynaklar kapsamında oluşturulan takımın ne kadarının kısıt olmayan kaynak üzerinde çalıştığı önemli bir noktadır. Çünkü Goldratt'a göre kısıt olmayan kaynak üzerinde yapılan iyileştirme çalışmaları sistemin performansında bir iyileştirme yapmamaktadır. Bu nedenle kısıt kaynaklara odaklanması gerekmektedir. Toplam Kalite Yönetimi bu noktada sistemin tümünde yapılan bir çalışma olduğundan işletmeler için sabır gerektiren bir çalışma olarak nitelendirilmektedir. Fakat işletmeler sorunlarını hızlı bir şekilde çözmek isteyeceklerinden kısıtlara odaklanmak daha hızlı çözüm üretmektedir. Bu nedenle Goldratt'ın geliştirdiği KT'nin işletmelere hızlı çözüm sunduğu belirtilmektedir.

1.3.2 Değişim ve Kısıtlar Teorisi

KT'nin değişim ile ilgili olduğu vurgulanmaktadır. KT'nin prensiplerini ve araçlarını uygulamak için 3 sorunun cevaplanması gerektiği belirtilir²:

1. Neyi değiştireceğiz?(Kısıt nerede?)
2. Ne ile değiştireceğiz?(Kısıt ile ne yapılmalı?)
3. Değişimi nasıl yapacağız?(Değişikliği sisteme nasıl adapte edeceğiz?)

¹ P.H.Osanna, M.N.Durakbaşa ve A. Afjehi-Sadat, *Quality in Industry*. (Wien, Austria:Grafisches Zentrum(kopi TU), 2004)37-39.

² Lisa J. Scheinkopf, *Thinking for a Change: Putting the TOC Thinking Processes to Use* (United States of America: CRC, 1999)4-6.

Bu sorulara dikkat edildiğinde soruların sistemle ilgili sorular olduğu anlaşılmaktadır. Ancak cevapları süreçlerde de etkili olacaktır. Çünkü amaç, sistemin iyileştirilmesi olduğu için süreçlerin de iyileştirilmesi gerekecektir. Süreçler, sistemin önemli parçaları olarak bilinmektedir ve bu nedenle iyileştirilmeleri gerekir. Çünkü işletmelerin, bütün bir sistem olarak başarılı ve başarısız olabileceği belirtilmektedir.

Bu bilgiler ışığında KT ve Toplam Kalite Yönetiminin(TKY) birbirinden çok ayrı çalışmalar olmadığı görülmektedir. KT, yapılacak iyileştirme çalışmalarının en iyisinin nasıl bulunacağını göstermektedir. TKY'ye ek olarak kullanılan KT uzun zamanda görülebilecek sonuçların daha kısa sürede ortaya çıkmasını sağladığı sonucuna varılmaktadır.

Kısıtlar Teorisi Prensipleri

Teoriler genellikle tanımlayıcı veya tarifsel olarak sınıflandırılmaktadır. Tanımlayıcı teoriler, örneğin kütle kanunu, sadece bazı olayların nedenlerini belirtmekte fakat nedenleri nasıl kullanacağımız hakkında bilgi vermemektedir.

Tarifsel teoriler ise olayın nedenini belirtip aynı zamanda bir tarif vererek ne yapılması konusunda yol göstermektedir. Goldratt, teorisinin tarifsel kısmı kapsamında çevreyi verimli kılmak için birçok prensibin birleştiğini öne sürmüştür¹:

- Yönetim değişimi ve problemlerin çözümü açısından sistemsel düşünce analitiksel düşünceye tercih edilir.
- Zaman içinde sistem ortamındaki değişimlerle, optimal sistem çözümleri bozulabilir. Bir çözümün verimli olması için süreçle ilgili sürekli iyileştirme yapmak gereklidir.
- Eğer bir sistem en iyi şekilde işliyor ise, en fazla bir parçası en iyi işliyordur. Öte yandan tüm parçaların çok iyi işlemesi sistemin iyi işliyor olduğu anlamına gelmez.
- Sistemler zincirlere benzer. Her sistemin onu kısıtlayan bir kısıtı (yani en zayıf halkası) vardır.
- En zayıf halkanın dışında bir halkanın iyileştirilmesi sistemi iyileştirmez.

¹ Dettmer 12.

- Neyin değiştirileceğine karar vermek sistemin tam anlaşılmasını gerektirir. Sistemin gerçekliğinin, amacının, büyüklüğünün ve yönünün bilinmesini gerektirir.
- Bir sistemdeki istenmeyen etkilerin çoğu birkaç ana problemden kaynaklanır.
- Ana problemler yüzeysel değildir. Sistemler neden ve sonuç ilişkilerinden oluşur. Ana problemler de sistemdeki bu ilişkiler içindeki beklenmedik tepkiler sonucunda belirlenir.
- İstenmedik etkilerin ortadan kaldırılması temel problemin belirlenmesi ile mümkündür.
- Ana problemler genellikle gizli kalmış çelişkilerden ortaya çıkar. Bu problemlerin çözümü, bu çelişkilerin olabileceği varsayımının yapılmasını gerektirir.
- Sistem kısıtları fiziksel ya da politik olabilir. Fiziksel kısıtların belirlenmesi kolay ve önlenmesi basittir. Politik kısıtların belirlenmesi ve önlenmesi genellikle daha zordur. Ancak politik kısıtların önlenmesi ile gerçekleştirilen iyileştirme sonuçlarının etkileri fiziksel kısıtlardan daha büyüktür.
- Durağanlık iyileştirmenin en kötü düşmanıdır. Çözümler, olabilecek değişiklikler için öğrenme yeteneği sağlamaktadır.
- Fikirler çözüm değildir.

2. KISITLAR TEORİSİNİN 5 ADIMI¹

KT beş adımda uygulanır:

1. Sistemin kısıtının belirlenmesi: Sistemin kısıtının fiziksel bir kısıttan mı yoksa politik bir kısıttan mı kaynaklandığının belirlenmesidir.
2. Kısıtın nasıl çözüleceğine karar verilmesi: Oluşan kısıtın çözümünde olabilecek tüm çalışmalar yapılmalıdır. Var olan kaynaklar bunun için kullanılır. Çok büyük yatırımlar ve değişiklikler yapmadan kısıtın nasıl önlenebileceğinin belirlenmesidir.
3. Diğer her şeyin kısıta göre belirlenmesi: Kısıt belirlendikten ve ne yapılacağına karar verildikten sonra sistemdeki diğer her şey buna göre tekrar ayarlanır. Böylece kısıtın maksimum performansta çalışması sağlanır. Sistemin bazı parçalarını tekrar ayarlamak gerekebilir. Bundan sonra yapılan çalışmaların sonuçlarının hesaplanması gerekir. Eğer kısıt ortadan kalktı ise 5. adıma geçiş yapılabilir. Kısıt ortadan kalkmadı ise bir sonraki adıma geçilir.
4. Kısıtın önlenmesi: Bu adımda, önceki adımdaki çalışmalar kısıtı çözmedi ise başka çalışmalar yapılır. Bu adıma kadar ki çalışmalar sistemin mevcut durumunun elverdiği ölçüde yapılan iyileştirmelerdir. Bu adımda artık büyük değişikliklerin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Sermaye iyileştirilmesi, sistemin tasfiye edilmesi gibi düzeltmeler yapılarak kısıt önlenmeye çalışılır. Bu nedenle bu adım, zaman, enerji, para veya diğer kaynaklar üzerinde önemli yatırımları gerektirir. Bu yüzden daha önceki adımlarda kısıtın önlenemeyeceğinin kesin olarak belirlenmesi gerekir.
5. 1. adıma geri dönülmesi, durgunluktan kaçınılması: 3. ve 4. adımlarda kısıt çözüldüğü takdirde tekrar 1. adıma geri dönülerek sistem üzerindeki

¹ Goldratt 300-308.

iyileştirme çalışmalarına devam edilmesi gerekir. Böylece sistemin performansını azaltan başka bir kısıt bulunmuş olur.

KT bu 5 adımlı çözümü sayesinde sistemin performansında iyileştirmeler sağlamaktadır. Böylece, kısıtın ne olduğunu belirleyerek *neyi değiştireceğiz?*, kısıtın nasıl çözüleceğine karar verilerek *ne ile değiştirmeliyiz?* ve kısıtın önlenmesi ile *değişimin nasıl gerçekleştirileceği?* soruları cevaplanmış olmaktadır.

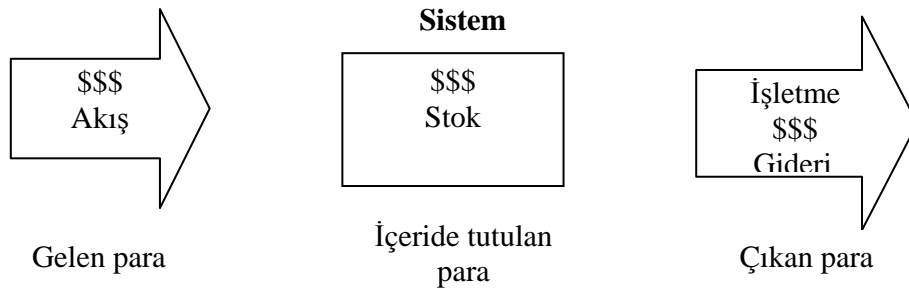
2.1 Akış, Stok, İşletme Gideri

KT'nin sonuçlarının sistem üzerinde iyi bir etki yapıp yapmadığı sorgulanmaktadır. Bunun için yapılan iyileştirmelerin ölçümü gerekmektedir. İşletmelerin uzun yıllar bu ölçümlerle uğraştığı ileri sürülmektedir. KT'nin işletmelere bu alanda yardımcı olduğu görülmüştür. Bu ölçümlerde öncelikle neyin ölçülmesi gerektiği sorusuna KT'nin en zayıf halka yaklaşımı kolaylık sağlamaktadır. Çünkü sistemin öncelikle en zayıf halkasını güçlendirmeye çalışmak, ölçmenin sonucunda nereden iyileştirme yapmaya başlanacağı sorusunu cevaplamaktadır. Birçok etkili laboratuvar araştırmaları etkinin ölçümü için belirli değerleri sabit tutarak ölçüm yapmaktadır. KT de sistemdeki en zayıf halkaya odaklanarak diğer sorunları elemektedir. Bunun için KT, sistemdeki akış, stok ve işletme gideri boyutlarını ele almaktadır.

Akış, var olan sistemin satışlar üzerinden kazandığı para miktarı¹;

Stok, sistemin satmak için tasarladığı şeyler için yaptığı yatırım²;

İşletme gideri, sistemdeki stoğu satışa dönüştürmek için harcanan para³ demektir.



Şekil 2.1: Akış, Stok ve İşletme Gideri tanımları

Kaynak: Dettmer 16.

¹ Eliyahu M. Goldratt ve Jeff Cox, *The Goal: Beating the Competition* (Hants: Blackmore, 1984) 59.

² Goldratt ve Cox 59.

³ Goldratt ve Cox 60.

KT, bu üç boyutu baz alarak sistemin performansındaki etkileşimlere bakmaktadır. Yukarıdaki şekilde de bu boyutların şekil üzerinde gösterimleri verilmiştir.

2.1.1 Akış(A)

Akış, sistemin satışlar üzerinden elde edeceği gelir olarak tanımlanmıştır. Başka bir deyişle, sisteme giren paradır¹. Bu tanım kar amacı güden işletmeler açısından doğru gözükmemektedir. Ancak kar amacı gütmeyen işletmeler de bulunmaktadır. Burada satış kavramından bahsedilememektedir ama bu işletmelerde de akış kavramı kullanılmaktadır. Fakat akış, müşteriye verilen hizmet veya gönderilen ürün olarak belirtilmektedir.

2.1.2 Stok(S)

Stok, sistemin satmak için satın aldıklarına ödediği para olarak tanımlanmıştır. Başka bir deyişle, sistemde bulunan paradır². Hammaddeler, bitmemiş ürünler, satın alınan parçalar ve diğer ağır mallar satış için tasarlanan ürün üzerinde kullanılan kaynaklar olarak belirtilmektedir. Stok aynı zamanda işletmenin teçhizat ve tesis için yaptığı yatırımı da içermektedir. Bu teçhizatlar yıpranmaya başladıktan sonra da satılabilir. Bu nedenle yıpranmış teçhizatlar da stok olarak belirtilmekte ancak yıpranan kısımlar işletme gideri olarak belirtilmektedir.

2.1.3 İşletme Gideri(İG)

İşletme Gideri, sistemin stoğunu satışa dönüştürmek için harcadığı para olarak tanımlanmıştır. Diğer deyişle, sistemden çıkan paradır³. Direkt işçilik, hizmetler, tüketilebilir ürünler işletme giderleri olarak belirlenmektedir. Varlıkların yıpranma maliyeti de işletme gideri olarak alınmaktadır. Goldratt bu üç boyutun birbiri ile bağlı olduğunu öne sürmüştür. Birinde olabilecek bir değişikliğin otomatik olarak diğerini veya diğer ikisini etkilediğini belirtmiştir. Örneğin, akışı arttırmak için satışları arttırmak gerekir. Satışlar artınca stok ve işletme giderleri de artmaktadır. Çünkü satışları karşılamak için stoğu arttırmak gerekecektir. Stoğu arttırmak satmak

¹ Goldratt ve Cox 59, 72.

² Goldratt ve Cox 59, 72.

³ Goldratt ve Cox 60, 72.

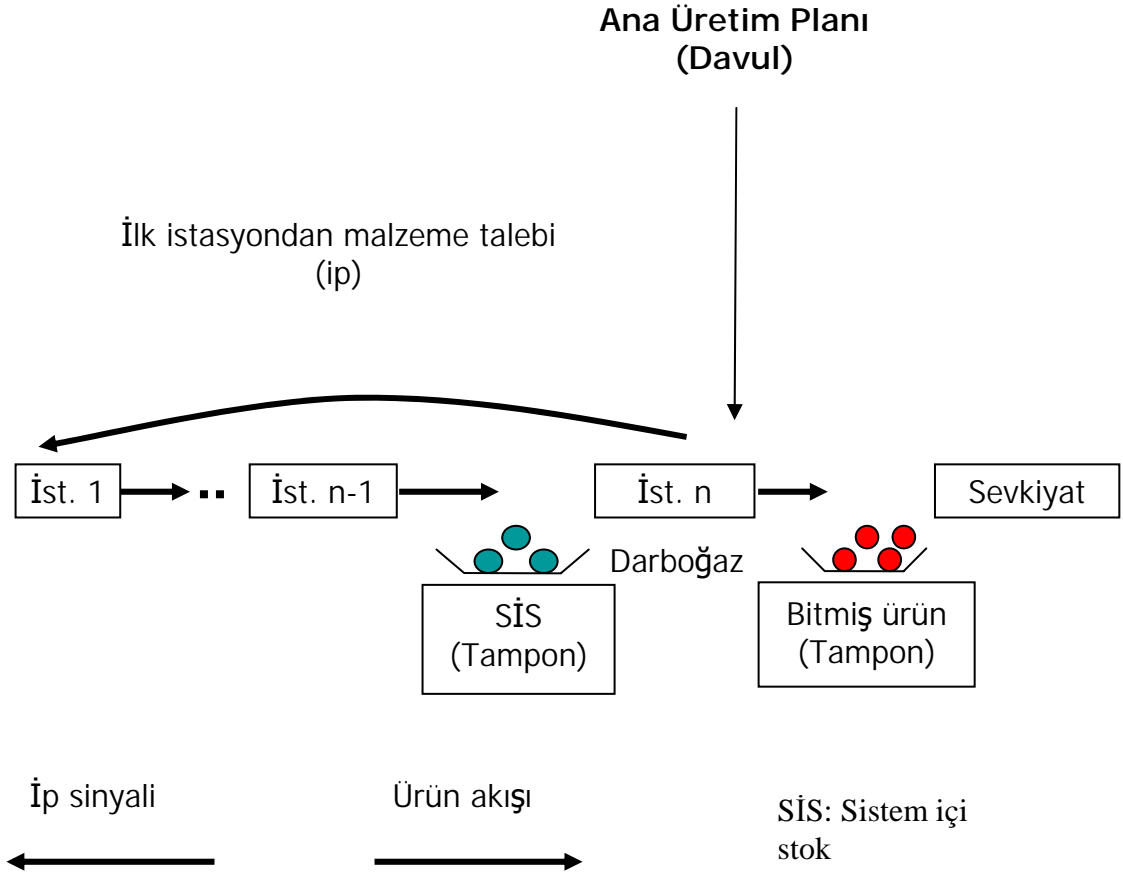
için kullanacağınız varlıkların miktarını ve kullanımını arttıracaktır. Bu nedenle işletme giderleri de artacaktır. Ancak satışları arttırmadan da daha fazla para kazanılabildiği görülmektedir. Eğer daha az stok ve işletme gideri ile aynı satış gelirine ulaşırsa bu durumda daha fazla para kazanılmış olur. Böylece işletmeye daha fazla para gelmiş ve akış artmış olur. Ancak sistemi iyileştirmek için akışı arttırırken stoğu ve işletme giderini de arttırmak gerekebilir. Burada önemli olan bu işlemin nasıl yapılabileceğidir. Yapılan iyileştirmelerin yerinde olması önemli bir çalışmadır.

Sistemi iyileştirmek için akış, stok ve işletme gideri boyutlarından hangisine öncelik verilmesi gerektiğine karar verilmelidir. Genellikle işletmeler akışı arttırırken işletme gideri ve stoğu azaltmayı hedeflemektedirler. Çünkü artan rekabet koşullarında maliyetleri azaltmak işletmelere önemli avantaj sağlamaktadır.

KT sadece bir teori değil aynı zamanda araçları ve uygulamaları olan bir model olarak da görülmektedir. Goldratt'ın hayali bir firmanın belirli bir bölümünde uyguladığı üretim kontrol yönetimi daha sonra başka endüstrilerde de geniş uygulama alanı bulmuştur. Bu yöntem Davul-Tampon-İp uygulamasıdır. Bu uygulama KT'nin bir uygulama aracı haline gelmiştir.

Sistem içi koordinasyonun sağlanması için Davul-Tampon-İp uygulaması kullanılmaktadır. Sistemin gerçek çıktısını ve ürün akışını sistemdeki kapasite kısıtı olan kaynaklar belirlemektedir. Bu nedenle diğer kaynakların çalışma hızı bu kısıtlı kaynaklara göre ayarlanırsa sistemde bir koordinasyon sağlanmış olacaktır. Sistemin bu hıza uyarlanması, sistemdeki ana üretim planının, sistemin kısıt oluşturan kaynağına göre belirlenmesi ile olmaktadır. Bu işlem davul olarak nitelendirilmektedir. Daha sonra bu davul etkisi üretim miktarlarının malzeme merkezine bildirilmesini gerektirmektedir. Bu işlem de kısıtın üretim çizelgesinin ipe malzeme merkezine bildirilmesi gibi düşünülmektedir. Daha sonra farklı hızda olan kaynaklar arasına tamponlar konularak yani ara stoklar için zaman sağlayarak sistemdeki akış dengelenmiş olmaktadır. Böylece kapasite kısıtı olan kaynak etkin kullanılmıştır. Çünkü kapasite kısıtı olan kaynağı besleyen kaynaklarda da herhangi bir arıza olabilir ve bu durum sistemde aksaklığa neden olabilir. Bu durumun önlenmesi için sistemde tampon bölgeler oluşturulmaktadır. Arızalanan kaynak düzeltilindiğinde, bu kaynaklar kapasite kısıtı olan kaynaktan daha hızlı çalıştığı için ara stoklar tekrar düşmeye başlayacaktır.

Davul-Tampon-İp uygulaması imalat kontrolü olarak da kullanılmaktadır. Bunun için sistemdeki akışın dengelenmesi, üretim planının kapasite kısıtı olan kaynağa göre oluşturulması gerekmektedir. Bu durumu aşağıdaki şekilde gösterebiliriz:



Şekil 2.2: Davul-Tampon-İp imalat kontrolü.

Kaynak: John S.W., Fargher, Jr., "Three Shops, Three Strategies: Using MRP-II, JIT and TOC in Remanufacturing Cells", *National Productivity Review*, John Willey & Sons, Inc., 1997.

Kullanılan başka bir uygulama da Akış Muhasebesidir. Akış Muhasebesi, akış, stok ve işletme gideri yönetiminin bir çıktısı olarak belirtilmektedir. Klasik maliyet muhasebesinden farklı olarak direkt ilk madde ve malzeme dışındaki giderleri sabit giderler olarak almaktadır. Bu nedenle Akış Muhasebesi de fiyat politikalarına yön veren karar çalışmalarında kullanılan bir uygulama haline gelmiştir.

Kısıtlar Teorisi, önce en zayıf halka üzerinde durulması gerektiğini ve bu halkanın düzeltilmesi gerektiğini belirtmektedir. Çünkü bir zincir en zayıf halkası kadar güçlüdür. Kısıtlar Teorisi üretim çizelgelerini de sistemdeki en zayıf kaynağa

göre yapılması gerektiğini belirterek geleneksel kurallardan farklılık göstermektedir. Aşağıda geleneksel kurallarla KT kurallarının karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 2.1: KT prensipleri ve geleneksel yöntem karşılaştırması

Kaynak: Dettmer, 13.

Geleneksel Kurallar	Üretim Çizelgeleme İçin Kısıtlar Teorisi Kuralları
1) <i>Kapasiteyi dengele, sonra akışı sürdürmeye çalış.</i>	<p><i>Kapasiteyi değil, akışı dengele.</i></p> <p>Kapasiteyi dengelemek mümkün değildir. Çünkü her makine hazırlık zamanı, proses çeşitliliği ve diğer işleme koşullarına bağlı olarak farklı üretim oranlarında çalışır. Bu yüzden çizelgeleme üretim kapasitesi sabit olan makinelere göre gerçek talep göz önüne alınarak yapılmalıdır. Bu kural Davul-Tampon-İp yaklaşımıyla çok hızlı bir şekilde yapılmaktadır.</p>
2) <i>Herhangi bir kaynağın kullanılma oranı kendi potansiyeli tarafından belirlenir.</i>	<p><i>Kısıtlar, darboğaz olmayan kaynakların kullanılma oranını belirler.</i></p> <p>Darboğaz olmayan kaynakların kullanılma oranlarını maksimum yapmak sistemin akışında bir değişiklik yapmaz. Fakat envanterin ve süreç içi stokların artmasına neden olur. Bu nedenle darboğaz kaynak üzerine odaklanılmalı. Çünkü diğer kaynakların kullanılma seviyelerini darboğaz kaynak belirler.</p>
3) <i>Kaynakların kullanılma oranları ve harekete geçirilmesi aynı şeydir.</i>	<p><i>Bir kaynağın kullanılma oranı ile harekete geçirilmesi aynı şey değildir.</i></p> <p>Bir ürün darboğazdan geçemediği zaman diğer kaynakların tam kapasiteyle çalıştırılması zaman kaybıdır. Envanterin artmasına ve süreç içi stokların büyümesin neden olur. Artan envanter, akışı</p>

	<p>hızlandırmaz. Bu nedenle, bazı kaynakların harekete geçirilmesi envanterin aşırı birikmesine neden olur.</p>
<p>4)Darboğaz üzerinde kaybedilen 1 saat sadece bu kaynak için kaybedilen 1 saattir.</p>	<p><i>Darboğazda kaybedilen 1 saat tüm sistem için kaybedilen 1 saattir.</i></p> <p>Eğer sistemin çıktısı zamana bağlı ise, zaman darboğaz kaynağa bağlı olarak çıktı oluşturacaktır. Bu nedenle çeşitli ürün karmaları yapılarak darboğaz üzerinde zaman kullanımları iyileştirilebilir.</p>
<p>5)Darboğaz olmayan kaynak üzerinde kazanılan 1 saat bu kaynak için kazanılan 1 saattir.</p>	<p><i>Darboğaz olmayan kaynak üzerinde yapılan 1 saatlik iyileştirme bir seraptır.</i></p> <p>Darboğaz olmayan kaynak üzerinde yapılan iyileştirme sistemin akışında bir değişiklik yapmaz. Bu şekildeki çalışmalar gereksiz yere zaman harcanmasına neden olur.</p>
<p>6)Darboğaz kaynaklar sık sık sistemin akışını kısıtlar ama bu durumun envanter üzerindeki etkisi azdır.</p>	<p><i>Darboğaz sistemdeki akışı da envanteri de yönetir.</i></p> <p>Bir ürünün sistemdeki akış süresi en zayıf makineye yani darboğaz kaynağa bağlıdır. Süreç içi stok taşıma maliyetlerini oluşturur. Bu nedenle akış zamanıyla doğru orantılıdır. Üretim oranı da bu oranın sabitidir.</p> <p>Süreç içi stok = Üretim oranı * Akış süresi</p>
<p>7)Büyüklüğü fazla partiler desteklenmemelidir.</p>	<p><i>Transfer parti büyüklüğü ile proses parti büyüklüğü eşit olmayabilir, çoğu zaman da eşit olmamalıdır.</i></p> <p>Teslim süresini azaltmak için kısıt oluşturmayan kaynaklarda küçük proses parti büyüklükleri, kısıt kaynaklarda yüksek parti büyüklükleri kullanılabilir. Böylece akış sürdürülmüş olur. Transfer parti büyüklüğü proses parti büyüklüğünden daha düşük olabilir. Böylece aynı parça üzerinde birbiri ardına yapılan işlemler aşılmış olur. Öte yandan büyük</p>

	proses ve transfer parti büyüklükleri parçaların akışını engelleyerek kısıt oluşturmayan kaynaklardaki atıl zamanları arttırabilir.
8) <i>Proses parti büyüklüğü zaman içinde ve rotası boyunca sabit olmalıdır.</i>	<i>Proses parti büyüklüğü değişken olabilir.</i> Proses parti büyüklüğü sıklıkla talebe bağlıdır. Talep değişken olabileceği için proses parti büyüklüğü de değişken olabilir.
9) <i>Çizelgeleme şu sırada belirlenmelidir:</i> Parti büyüklüğünün belirlenmesi Teslim süresinin hesaplanması Teslim süresine göre önceliklerin atanması Çizelgelemenin var olan kapasite kısıtlarına göre ve önceki 3 adıma göre düzeltilmesi	<i>Çizelgeleme bütün kısıtlar aynı anda göz önüne alınarak yapılmalıdır.</i> Teslim süresi bu çizelgenin bir sonucudur. Önceden belirlenemez. Teslim süresi, bir ürünün bitmesi için gereken süredir. Bir ürün bitmeden onun süresi belirlenemez. Bu nedenle teslim süresi çizelgelemenin girdisi değil, çıktısıdır.
<i>Bütünüün optimum noktası ancak parçaların optimumlarına ulaşılarak elde edilir.</i>	<i>Parçaların optimumları bütünüün optimumuna eşit değildir.</i>

3. MANTIKSAL DÜŞÜNME SÜRECİ

KT, Goldratt tarafından öne sürülen bir yönetim felsefesidir. Bu nedenle öncelikle bir düşünce sürecinden oluşmaktadır. Bu düşünce süreci içerisinde 5 mantıksal ağaç diyagramları kullanılmaktadır. Bunlar¹:

1. Mevcut Gerçeklik Ağacı(MGA)
2. Çelişki Çözüm Diyagramı(ÇÇD)(Buharlaştırma Bulutu)
3. Gelecek Gerçeklik Ağacı(GGA)
4. Ön Koşul Ağacı(ÖKA)
5. Geçiş Ağacı(GA)

MGA, GGA ve GA yeterlilik tabanlı mantıksal ağaç diyagramları olarak ifade edilmektedir. Sonuç ilişkilerini içeren basit ifadelerden oluşmaktadır. ÇÇD ve ÖKA ise gereklilik tabanlı mantıksal diyagramlar olarak bilinmektedir.

Gereklilik tabanlı bir mantıksal diyagram, belli bir sonucun ortaya çıkması için gerekli koşulları tanımlamaktadır. Sonucun ortaya çıkması için, bu koşulların yeterli olmaları şartı aranmamıştır. Örneğin, bir insanın güvenli araba kullanırken içkili olmaması gereklidir. Ancak güvenli araba kullanımı için içkili olmamak tek başına yeterli olmamaktadır. Çünkü güvenli araba kullanımı için başka koşulların da yerine getirilmesi gerekmektedir.

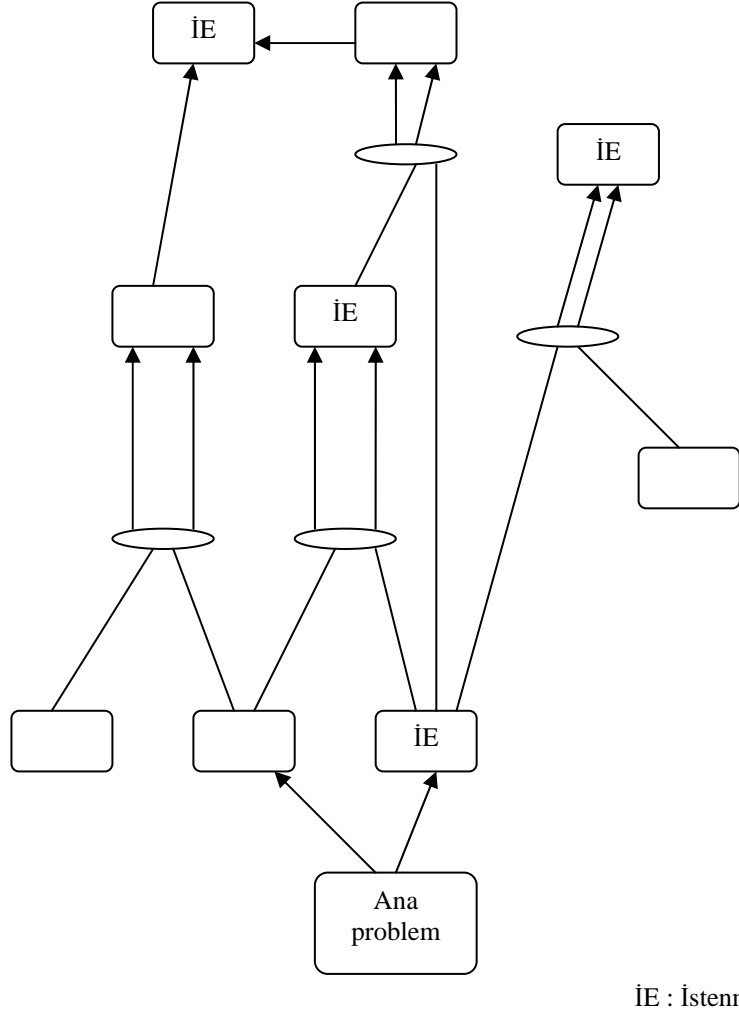
Yeterlilik tabanlı bir mantıksal diyagram, belli bir sonucun varolması için gerekli ve yeterli tüm koşulları tanımlamaktadır. Örneğin, “odada bir elektrik lambası yanar” durumu ele alındığında, bu sonucun nedensiz ortaya çıkmayacağı açıktır. Bu sonucun ortaya çıkması için, odada çalışan bir lamba olmalı, ampul çalışan bir prize takılı

¹ Scheinkopf 83-193.

olmalı ve lambanın düğmesi açık olmalı koşulları sağlanmalıdır. Bu üç koşul birlikte varolduğunda istenen sonuç ortaya çıkacaktır.

3.1 Mevcut Gerçeklik Ağacı

Bir problem analiz aracı olarak ifade edilmektedir. Etki ve tepki mantığı ile var olan mevcut durumun anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. MGA, kestirilemeyen etkilerin ana nedenlerinin araştırılmasına yönelik bir çalışma sunmaktadır. Ana neden sistemdeki kısıtın varlığından kaynaklanmaktadır. MGA sistemdeki kısıtın belirlenmesini sağlamaktadır.

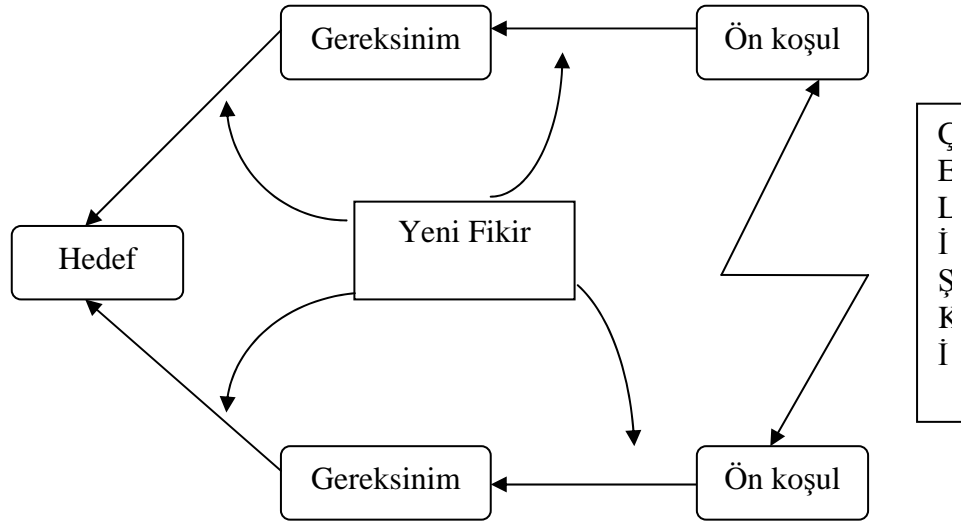


Şekil 3.1: Mevcut Gerçeklik Ağacı

Kaynak: Dettmer 22.

3.2 Çelişki Çözüm Diyagramı

ÇÇD sistemdeki sürekli hale gelmiş problemlerin çözümünde kullanılan bir diyagramdır. Çünkü bazı problemler sistemdeki çelişkilerden kaynaklanmakta ve bu çelişkiler ortadan kalkmadığı takdirde problem çözülememektedir. ÇÇD kısıtın ne ile değiştirileceği kararının verilmesine yardımcı olmaktadır.

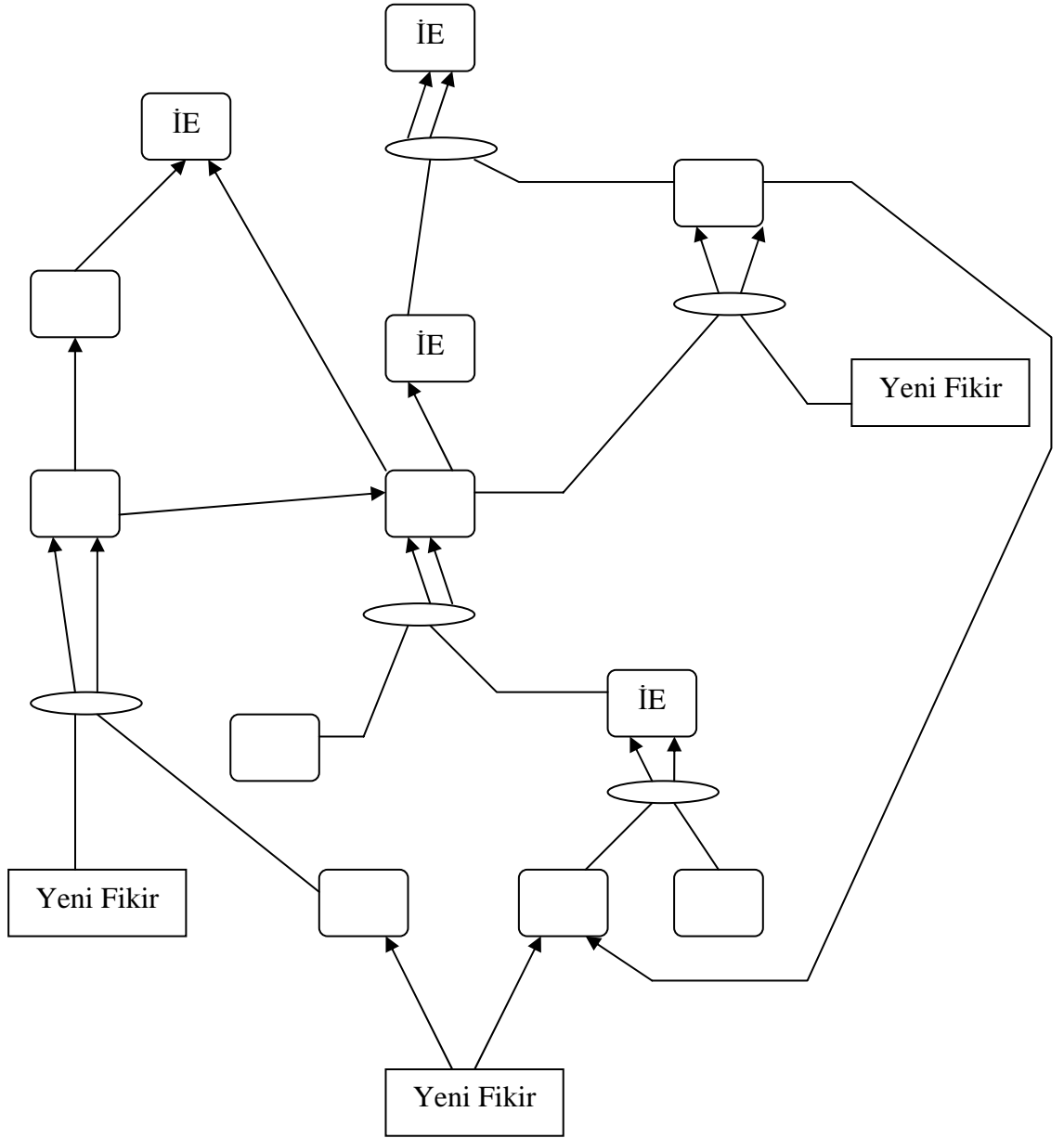


Şekil 3.2: Çelişki Çözüm Diyagramı

Kaynak: Scheinkopf 174.

3.3 Gelecek Gerçeklik Ağacı

GGA, verilen kararların sonuçlarının ne olacağını anlaşılmasını ve olabilecek istenmeyen etkilerin neler olabileceğinin görülmesini sağlamaktadır. Bu sayede sistemde oluşabilecek sorunlar çok erkenden görülüp önlenilmektedir. GGA var olan kısıtın ne ile değiştirileceği konusundaki kararlara yardımcı olmaktadır.



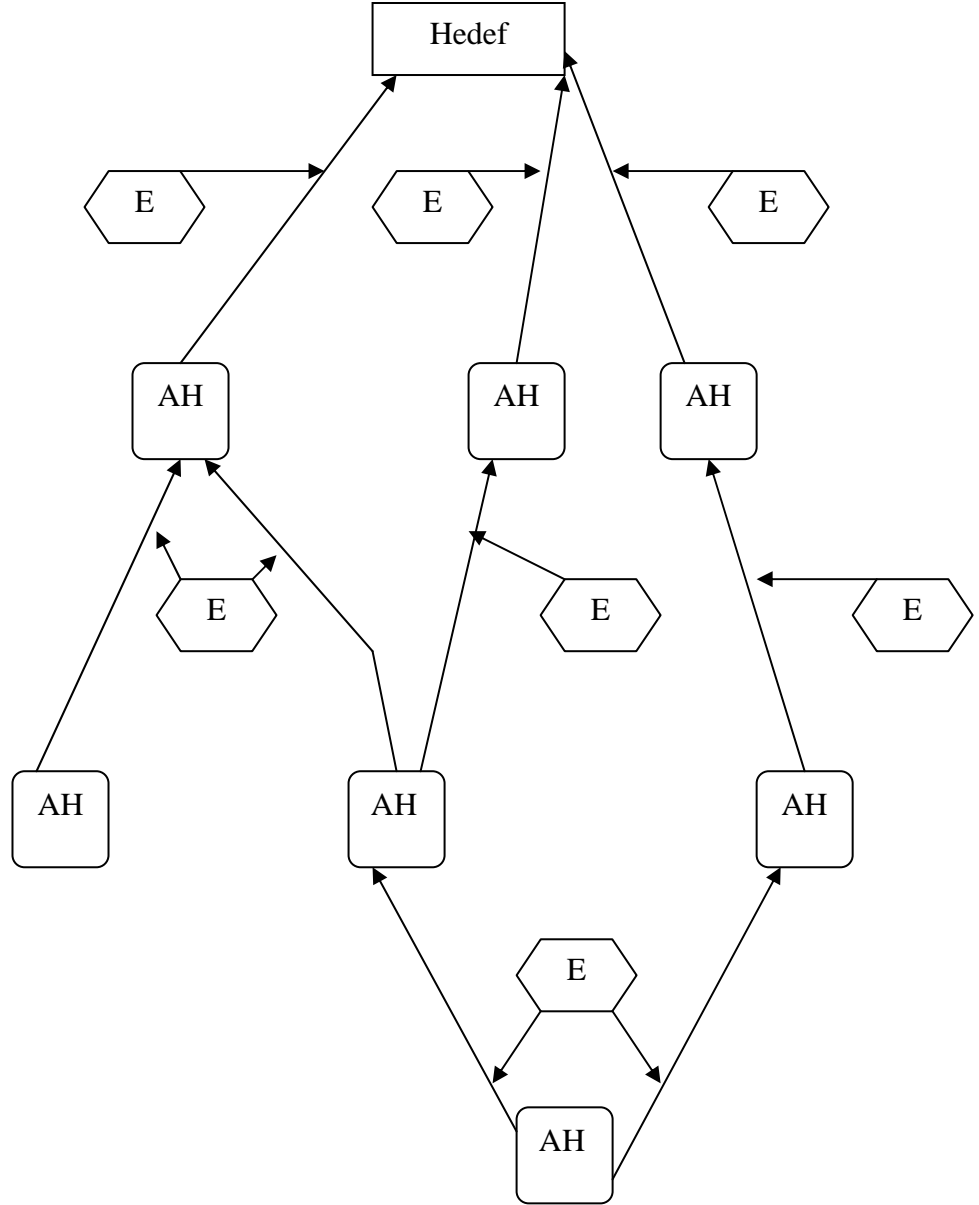
İE: İstenen Etki

Şekil 3.3: Gelecek Gerçeklik Ağacı

Kaynak: Dettmer 24.

3.4 Ön Koşul Ağacı

ÖKA, sistemdeki değişikliğin nasıl yapılacağı konusundaki kararlara yardımcı olmaktadır. Verilen kararın nasıl uygulanacağı burada gösterilmektedir.



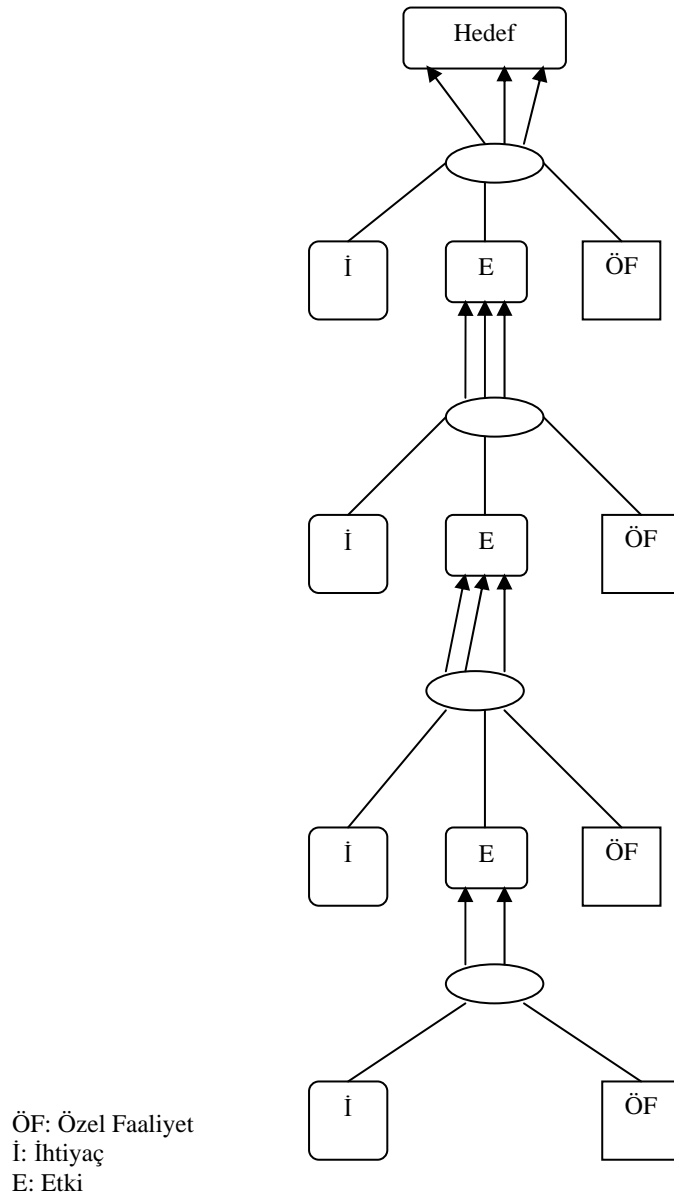
AH: Ara Hedef
E: Engel

Şekil 3.4: Ön Koşul Ağacı

Kaynak: Scheinkopf 195.

3.5 Geçiş Ağacı

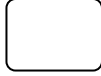
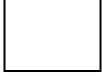
GA, sistemin iyileştirilmesindeki karar s¼reci sonucunda uygulama aşamasında olabilecek t¼m basamakları detaylı g¼sterir. T¼pk¼ bir yol haritas¼ gibi yapılacakları detayları ile g¼sterir. GA, KT'nin kısıtın nasıl değiştirilebileceği konusundaki kararlarına yardımcı olmaktadır.



şekil 3.5: Geçiş Ağacı

Kaynak: Dettmer 25.

Ağaç diyagramlarında kullanılan semboller şu şekilde ifade edilmektedir:¹

 veya  : Girdi

 : “Ve“ bağlayıcısı

 : Bağlantı çizgisi

 : Gerekli koşul oku

Mantıksal ağaç diyagramlarının doğruluğunun test edilmesi için 8 kural geliştirilmiştir. Oluşturulan ağaçların her birinin mantıksal olarak doğruluğu bu kurallarla test edilmektedir. Bu kurallar²:

Netlik

Girdi varlığı

Sebebiyet varlığı

Sebep yetersizliği

Eklenebilir sebep

Neden ile sonucun yer değiştirmesi

Tahmini sonuç varlığı

Gereksiz tekrar

olarak belirlenmiştir. Bu test sayesinde oluşturulan ağaç diyagramlarının mantıksal olarak tutarlılığı kontrol edilmekte ve sistemde bir bütünlük oluşturup oluşturmadıklarına bakılmaktadır. Böylece KT'nin düşünce süreci tamamlanmış olmaktadır. Kullanılan 5 mantıksal ağaç diyagramlarının KT'nin değişim özelliğine sağladığı yardımı özetleyecek olursak:³

Değişim Aşamaları

Ne değişmeli?

Ne ile değişmeli?

Nasıl değişmeli?

Uygulanabilir Mantık Araçları

Mevcut Gerçeklik Ağacı

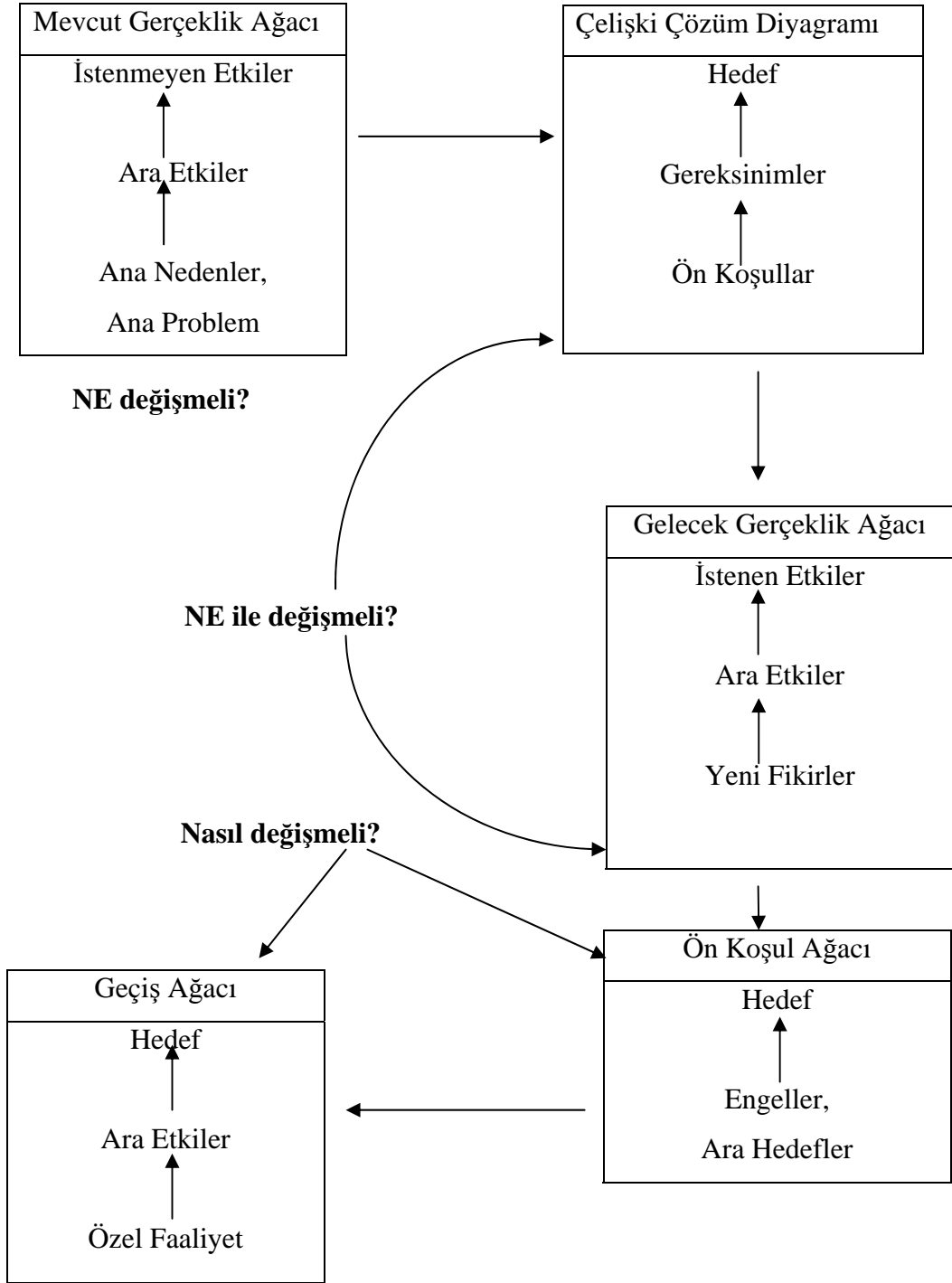
Çelişki Çözüm Diyagramı, Gelecek Gerçeklik Ağacı

Ön Koşul Ağacı, Geçiş Ağacı

¹ Scheinkopf 36-38.

² Scheinkopf 34-56.

³ Dettmer 27.



Şekil 3.6: Bütünleşik Düşünce Süreci olarak 5 Mantık Aracı Arasındaki İlişki

Kaynak: Dettmer 28.

3.6 Mantıksal Ağaçların Doğruluk Testi

Mantıksal ağaçların doğruluğunun testi için geliştirilen kurallara yasal şartlar da denmektedir. Sekiz sınıftan oluşmaktadır:

3.6.1 Netlik

Neden ve sonucun araştırılmasında netlik önem taşımaktadır. Çünkü düşünce sürecinde insanlar arasındaki iletişim ve karşılıklı anlaşılabilirlik neden ve sonucun doğru belirlenmesini sağlayacaktır. Mantıki doğrulukta netliğin önce araştırılmasının sebebi, yanlış anlaşılmalardan doğabilecek hataların önüne geçmektir. Herhangi bir çelişki, iletişimdeki aksaklıklardan meydana gelmektedir. Netlik kuralı, dinleyici ile konuşmacı arasındaki yanlış anlaşılmaları etkisiz hale getirmektedir.

Bu kural, konuşmacının ifade ettiği konunun anlamının doğru anlaşılıp anlaşılmadığı ile ilgilenmektedir. Dinleyici ile konuşmacı arasındaki karşılıklı doğru anlaşılabilirlik netlik açısından önemlidir. Çünkü iletişimdeki aksaklıklar açıklığa zarar vermektedir. İletişimdeki aksaklık belirtileri şu şekilde olabilmektedir:¹

- Dinleyici, konuşmacının ifadelerinin anlamını anlamayabilir.
- Dinleyici, konuşmacının ne ifade ettiğini anlamayabilir.
- Dinleyici, konuşmacının kullandığı belirli kelime veya kelime gruplarının ne anlama geldiğini anlamayabilir.
- Dinleyici, konuşmacının belirttiği neden ve sonuç ifadeleri arasındaki bağlantıyı kuramamış olabilir.
- Dinleyici, konuşmacının açıkça vurguladığı ara adımları görememiş olabilir.

Netlik, iki veya daha fazla kişi arasındaki konuşmaları dikkate alarak uygulanan bir test olarak belirtilmektedir. Burada konuşmacının ifadeleri mantık ağaçları için girdiler oluşturmaktadır.

¹ Robert C. Newbold, *Project Management in the Fast Lane: Applying the Theory of Constraints* (United States of America: North River Press)34-35.

3.6.2 Girdi Varlığı

Girdinin varlığı mantıksal doğruluğun şartlarından biri olarak belirtilmiştir. Mantıki testin amacı için girdi, bütün bir fikir olarak belirtilen ifadedir. Girdi, bir yazı, bir konuşma veya bir tartışma olabilir. Bütün fikir, bir neden veya bir sonuç olabilmektedir.

Girdi varlığı kuralı, dinleyicinin ifadeyi etkileyen üç koşulu fark etmesi sonucu ortaya çıkmaktadır:¹

- İfade tamamlanmamış bir fikir olduğu durumda. Bu durum ifadenin dilbilgisi olarak doğru bir cümle olmadığını göstermektedir.
- İfade birden çok fikri içerisinde barındırmış olabilir. Burada bir girdi içerisinde birden çok ifade belirtilmiş veya ifade “eğer sonra” ifadesini içermiş olabilir.
- İfadenin dinleyiciye doğru gözükmemesi durumunun gerçekleşmiş olması.

3.6.2.1 Bütünlük

Bütün bir fikir ancak dilbilgisi olarak doğru cümle kurulduğunda ifade edilmektedir. Mantık ağaçları oluşturulurken fikirlerin bütünlüğü için doğru cümleler kullanılması gerekliliği belirtilmektedir. Bunun için cümlenin en az bir yüklemi ve bir öznesi bulunmalıdır. Bunu takiben nesnesi de olabilmektedir. Örneğin “hava kirliliği” bir bütünlük oluşturmamaktadır. Fakat “hava kirliliğinin oluşması” ifadesi öznesi ve yüklemi olan bir cümle olduğundan bütün bir ifade olabilmektedir. Bu sayede de ağaçlar için girdi oluşmuş olmaktadır.

3.6.2.2 Yapı

Girdi varlığı kuralına göre girdiler yapısal olarak yalın olmalıdır. Birleşik ifadeler karışıklığa yol açabileceğinden yalın ifadelerin kullanılması girdinin anlaşılmasını sağlayacaktır. Girdiler için iki yapısal kural şu şekilde belirtilmiştir:²

- Birleşik olmayan girdilerin kullanılması. Girdilerin birden çok fikri içermemesi.

¹ James F. Cox, III and Michael S. Spencer, *The Constraints Management Handbook* (United States of America: The St. Lucie Press, 2000) 36.

² Cox, Spencer 40.

- İç içe geçmiş “eğer sonra” ifadelerinin kullanılmaması. Bu ifadeler sebeplerin ve sonuçların birbirinden ayrılmasını zorlaştırmaktadır.

3.6.2.3 Doğruluk

Bir fikir netlik, bütünlük veya yapı testlerini geçtikten sonra girdi varlığının doğruluğuna bakılmaktadır. Burada amaç ifadenin içeriğinin konuşmacının aktardığı şekilde anlaşılıp anlaşılmadığının belirlenmesidir.

Örneğin, gökyüzünün kararması birçok insana göre değişen bir ifadedir. Ama çimenler yeşil renklidir ifadesi doğru bir ifadedir ve genel kabul görmüştür. Kişiyeye göre değişmemektedir.

Aşağıda bu kuralın uygulanması ile ilgili bir örnek gösterilmiştir.

Kategori	Test	Örnek	Doğru mu?	Neden?
Girdi Varlığı	a) Tam bir cümle mi(özne ve yüklem)?Anlam ifade ediyor mu?	Ekonomik Kriz	Hayır	(a)
		Gökyüzü kararıyor.	Hayır	(b)
	b) Doğru bir ifade mi?Kişiyeye göre mi?	Clinton 1992 yılında seçildi.	Evet	(a ve b)

Şekil 3.7: Girdi varlığı testi ve örneği

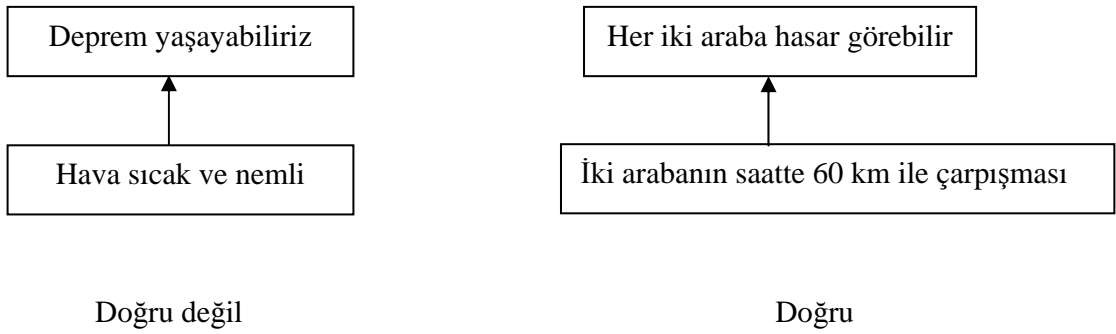
Kaynak: Dettmer 38.

3.6.3 Sebebiyet Varlığı

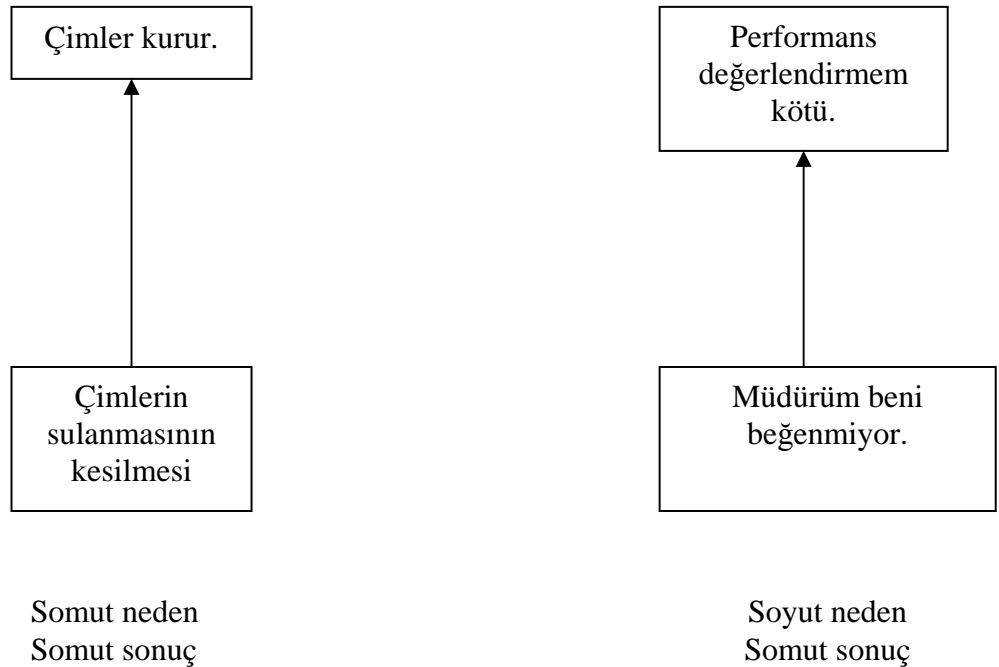
Dinleyici, sebebiyet varlığı şartında gösterilen sebebin belirtilen sonucu yaratıp yaratmadığını sorgulamaktadır. Girdiler arasındaki oklar veya bağlayıcılar ile sebepler ortaya konmaktadır. Sebebiyet varlığı belirli kaygıları işaret etmektedir:¹

¹ Scheinkopf 38.

- **Var olan sebep gerçekleşen sonucu ortaya çıkartıyor mu?** “Eğer sonra” ifadeleri gerçekten mevcut mu? Okları açıklamak sebep üzerindeki şüpheleri azaltmaktadır.
- **Sebep soyut mu?** Eğer nedenler somut ise ölçülebilir veya gözlemlenebilir olmalıdırlar. Ancak sonuçlar veya tepkiler ölçülebilirken nedenler ölçülemeyebilir. Örneğin; “müdürüm benden memnun değil” ifadesi ölçülebilir bir ifade değildir.



Şekil 3.8: Sebebiyet varlığı
Kaynak: Dettmer 39.

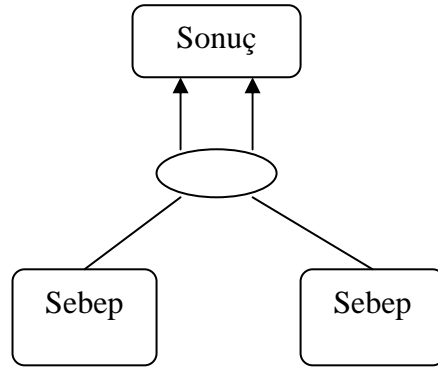


Şekil 3.9: Somut ve soyut nedenler
Kaynak: Dettmer 39.

3.6.4 Sebep Yetersizliği

Dünya bir ağ gibi karmaşık sistem olduğu için sebep yetersizliği mantık ağaçlarında çokça oluşan ortak bir eksiklik olarak belirtilmektedir. Karmaşık etkileşimlerde insan diyaloğunda genellikle az miktardaki sonuçların anlamı açık ve tek sebebe dayanmaktadır. Çoğunlukla, verilen bir tepki veya gerçekleşen sonuç birçok birbirine bağlı faktöre veya birden fazla bağımsız nedene dayandığı öne sürülmüştür.

Sebep yetersizliği, girdilerden çok oklarla ilgilenmektedir. Bu durum dinleyicinin, konuşmacının belirttiği sebebi yetersiz görmesi ile ortaya çıkmaktadır. Mantık ağacında birbirine bağlı nedenler elips ile gösterilmektedir. Girdilerden oluşan sebepler elipsten geçen oklar ile oluşturdukları sonuca bağlanmaktadır. Elips içerisinden geçecek okların miktarı bireysel kararlar ile verilmektedir. Genellikle en fazla üç ya da dört ok kullanılmaktadır. Çünkü sonuçların çoğunlukla tek sebeplerinin olduğu belirtilmektedir. Sebeplerin birbirine bağlı olduğu düşünülerek tamamen bağımsız sebepler ayrı ok altında gösterilmektedir.

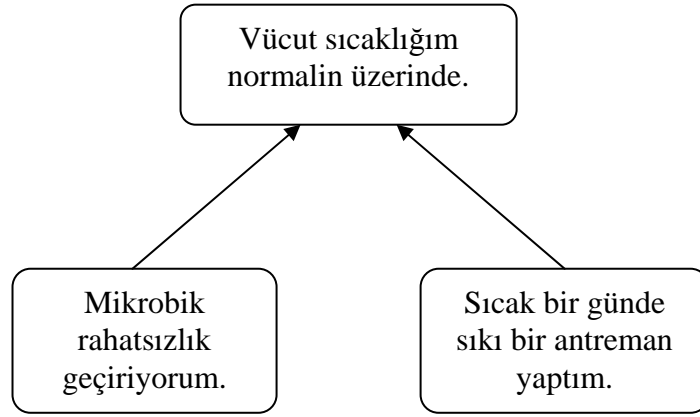


Şekil 3.10: Sebep yeterliliğinin elips ile gösterilmesi

Kaynak: Scheinkopf 38.

3.6.5 Eklenebilir Sebep

Bazen birbirinden tamamen bağımsız nedenler aynı sonuca neden olabilmektedir. Bu durum eklenebilir sebep şartını ortaya çıkarmıştır. Eklenebilir sebep mantığında dinleyici sunucunun belirttiği sebebi değil de kendisinin önerdiği başka bir nedeni belirtmektedir. Örneğin, insan vücudunun ısısının yükselmesinin nedeni bir iç rahatsızlığından veya sıcak bir yaz gününden olabilir. Burada “veya” kelimesi ek bir nedeni ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 3.11: Eklenebilir sebep

Kaynak: Dettmer 43.

Eğer belirtilen sebebi kaldırdığımızda bu sebebin yarattığı sonuç hala oluşuyorsa bu sonuca neden olan ek bir sebep olduğu sonucuna varılır.

3.6.6 Neden ile Sonucun Yer Değiştirmesi

Bu şart, sonucun niçin var olduğunu veya bunun varlığını nasıl bildiğimizi sorgulamaktadır. Belirtilen sebep sonucun kaynağı mı? veya belirtilen sonuç sebebin kaynağı mı? soruları sorularak da bu şartın sağlanıp sağlanmadığı belirlenmektedir. *Balıkçılık iyidir* örneği ele alınırsa;¹

¹ Cox, Spencer 47-48.

Eğer birçok balıkçı nehir bölgesinde balık tutuyor ve balıkçıların ağıları balık dolu ise balık boldur sonucuna varılır. Eğer bir önceki gün nehir bölgesi balıklarla doldurulup ve bugün balık mevsimi açılırsa da balıkçılık iyidir sonucuna varılır. Burada balıkçılığın iyi olmasının sebebi balıkçıların balık tutma özelliklerinin gelişmiş olmasından mı yoksa ağların balıkla dolu olmasından mı kaynaklanmaktadır veya bu belirtiler balıkçılığın iyi olduğu sonucuna ulaşmamızı sağlar mı?

Neden ile sonucun yer değişimini test etmek için iki yol kullanılmaktadır:¹

- 1) Nedenler ve sonuçlar arasındaki okların yönünün doğru olup olmadığının belirlenmesi.
- 2) Belirtilen neden bir belirteç mi yoksa kaynak neden mi sorusunun yanıtlanması.

Bu sorulara verilecek cevaplarla neden sonuç değişimi şartı açısından ağaç diyagramları test edilmiş olmaktadır.

3.6.7 Tahmini Sonuç Varlığı

Bu şartta öne sürülen neden ve sonuç arasındaki ilişkinin doğru olup olmadığına bakılmaktadır. Belirtilmeyen bir sonucun da olabileceği beklenmektedir. Tahmini sonuç varlığı diğer şartların sağlanmış olduğunun bir kanıtı niteliğindedir. Bir mantık ağaç diyagramı tahmini sonuç varlığı şartını sağlıyorsa bu durum sebebiyet varlığını sağladığının da bir kanıtı olarak gösterilmektedir. Karmaşık dünyada nedenlerin birden çok sonucu olduğu görülmektedir. Bu sebeple tek sonuç belirtildiğinde başka sonuçların olabileceği de araştırılmalıdır.

3.6.8 Gereksiz Tekrar

Gereksiz tekrar şartı, tek başına değil sebebiyet varlığı şartı ile birlikte bir anlam ifade etmektedir. Gereksiz tekrar şartından önce sebebiyet varlığı şartı test

¹ Dettmer 49.

edilmelidir. Gereksiz tekrar şartı sebebiyet varlığı şartı sorgulandığında ve soyut sebepler olduğunda ortaya çıkmaktadır. Gereksiz tekrar durumunu önlemek için:¹

- Sebebin soyut olup olmadığı
- Önerilen sonucun var olan nedenin mantiki sonucu olup olmadığı
- Ek tahmini sonucun soyut bir sebepten kaynaklanıp kaynaklanmadığını

sorgulamak gerekmektedir.

KT'nin düşünce sürecinde kullanılan ağaç diyagramları iki bölüme ayrılmaktadır. Çelişki Çözüm Diyagramı ve Ön Koşul Diyagramı diğer üç ağaç diyagramından farklılık göstermektedir. Bunun sebebi oluşturulma sırasındaki ufak farklardır.

Mevcut Gerçeklik Ağacı, Gelecek Gerçeklik Ağacı ve Geçiş Ağacı yeterliliği temsil eden ağaçlar olarak oluşturulmuştur. Bu diyagramlar “eğer sonra “ biçimindeki yapı ile oluşturulmuştur. Doğrulukları neden-sonuç arasındaki ilişkinin yeterlilik durumuna bağlıdır. Yeterlilik durumunu test etmek için “bu neden yeterli mi?” sorusu sorulmaktadır.

Çelişki Çözüm Diyagramı, Ön Koşul Ağacı gereklilik tabanı üzerine oluşturulmuş diyagramlardır. “Bunu yapmak için şöyle yapmalıyız” şeklinde okunan ağaç diyagramlarıdır. Bu diyagramların doğrulukları neden-sonuç arasındaki en az gerekli olan gereksinimleri karşılamasına bağlıdır. Mantık ağaç diyagramlarının testi için oluşturulan kurallar öncelikle yeterlilik aşaması için daha sonra gereklilik için tasarlanmıştır.

Tüm bu kuralları bütün olarak göstermek gerekirse:²

1) Netlik (Anlamaya çalışma)

Bu ağaç başka birine okunurken yeni bir açıklamaya ihtiyaç duyuyor mu?

- Kullanılan kelimeler ve içerik anlam olarak açık mı?
- Neden-sonuç arasındaki bağlantı yazılı değeri kanıtlıyor mu?

¹ Eli Schragenheim, *Management Dilemmas: The Theory of Constraints Approach to Problem Identification Solutions* (United States of America: The St. Lucie Press, 1999)55.

² Dettmer 61.

- Ara aşamalar kayıp mı?

2) Girdi Varlığı (Bütün, yapısal ve doğru sebep, sonuç ifadeleri)

- Belirtilen girdi tamamlanmış bir cümle mi?
- Anlaşılıyor mu?
- “Eğer sonra” ifadesi açısından serbest mi?
- Sadece bir fikri mi taşıyor?
- Kişinin gerçeklerine uyuyor mu?

3) Sebebiyet Varlığı (Sebep-sonuç arasındaki mantıksal bağlantı)

- “Eğer sonra” bağlantısı gerçekten mevcut mu?
- Belirtilen neden, belirtilen sonuca yol açıyor mu?
- Yazılanlar yüksek sesle okunduğunda anlaşılıyor mu?
- Sebep soyut mu?

4) Neden Yetersizliği (Önemli elemanın eksikliği)

- Belirtilen sebep belirtilen sonucu sağlıyor mu?
- Herhangi bir neden eksikliği var mı?
- Yazılı sebep veya sebepler belirtilen sonuç veya sonuçları oluşturmaya yeterli mi?
- Bir elips gerekli mi?

5) Eklenebilir Sebep (Ayrı, bağımsız nedenin aynı sonucu oluşturması)

- Belirtilen sonucun başka nedeni var mı?
- Eğer belirtilen sebep ortadan kalkarsa sonucu da ortadan kalkıyor mu?

6) Neden ile Sonucun Yer Değiştirmesi (Okların yanlış yönde kullanılması)

- Belirtilen neden gerçekten bir neden mi ya da belirtilen sonuç gerçekten bir sonuç mu?
- Belirtilen sebebin bir sebep olduğunu nasıl biliyoruz?

7) Tahmini Sonuç Varlığı (Ek sebebin oluşturduğu sonucun doğruluğu)

- Sebep soyut mu?
- Belirtilen sonuçtan başka kaçınılmaz başka bir sonuç var mı?

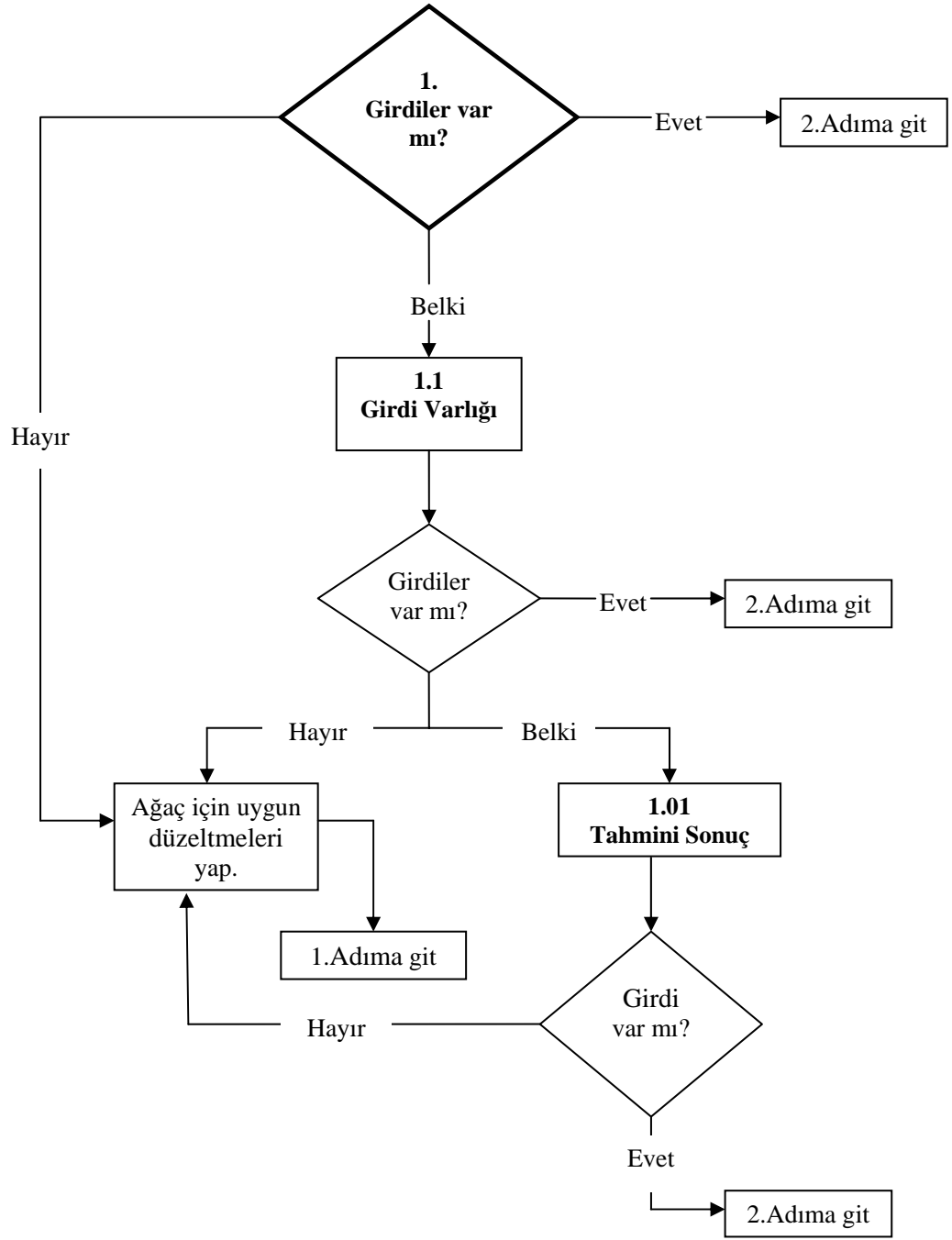
8) Gereksiz Tekrar (Yuvarlak Mantık)

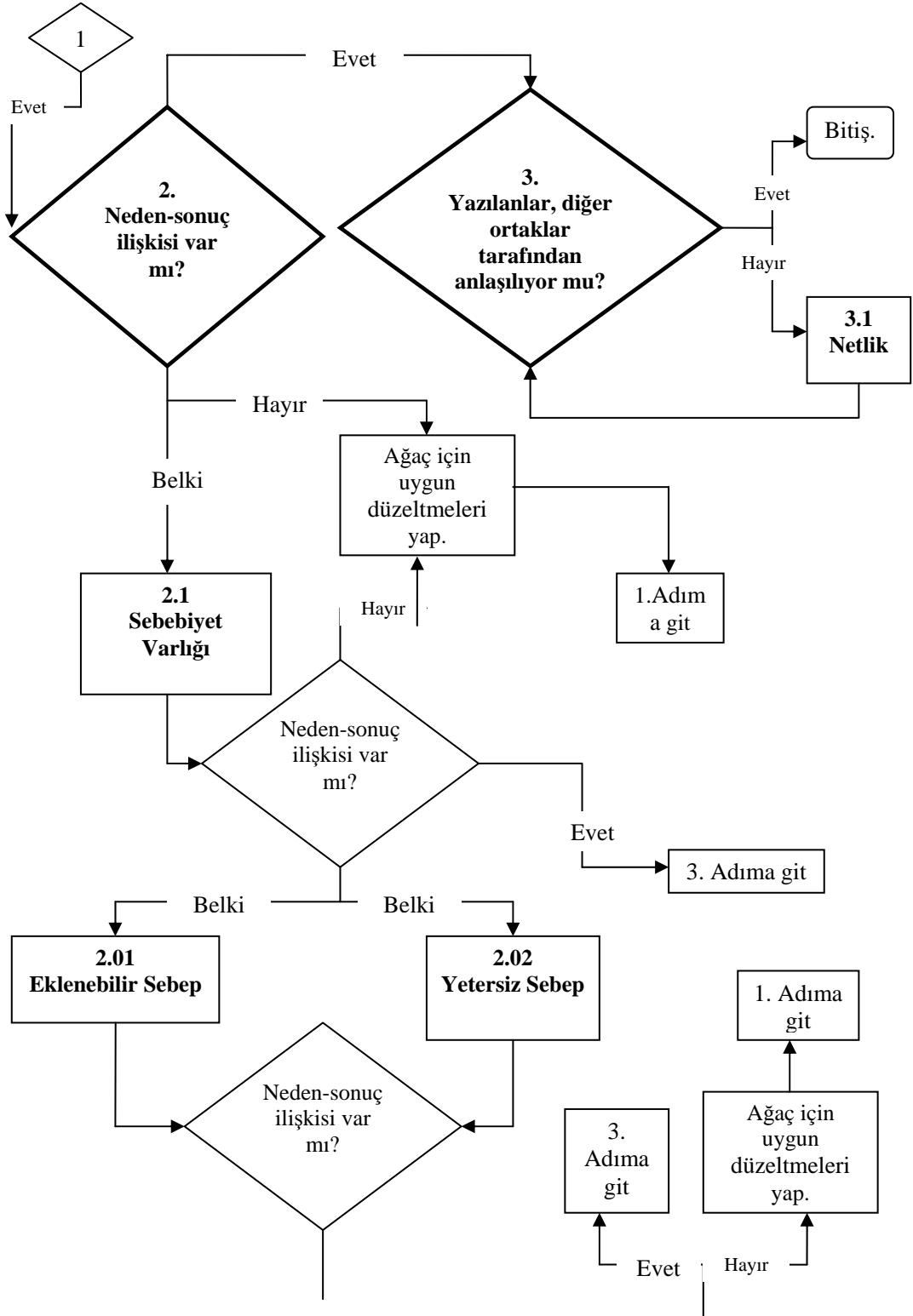
- Sebep soyut mu?
- Önerilen sonucun var olan neden ile mantıksal temeli var mı?
- Belirtilen sonucun yanında başka kaçınılmaz sonuçlar var mı?

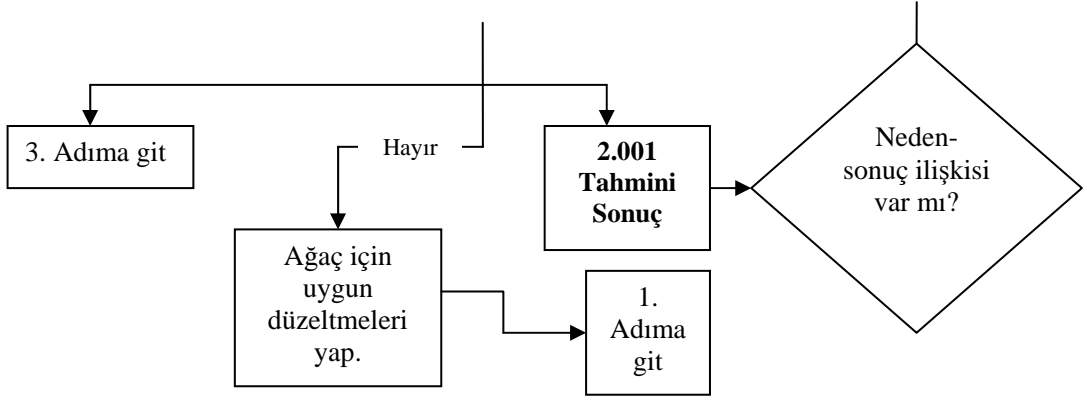
Bu kuralları kullanmada beceri kazanmak için düşünce sürecinde bu adımların sürekli kullanılması gerekmektedir. Bu sayede başarılı bir iletişim ve uygun sebep analizi yapılmış olmaktadır. Bunun için şu adımlara dikkat edilirse bu kuralları kullanmada beceri kazanılabilir:¹

- 1) Uygun neden ilişkisi düşünüp yazın.
- 2) Arkadaşlarınıza veya meslektaşlarınıza bu ifadenin bir kopyasını vererek onlardan sorularını veya karşı fikirlerini yazmalarını isteyin.
- 3) Birinci adımda yazdığımız neden ilişkisini anlatan bir diyagram oluşturun.
- 4) Arkadaşlarınızın yazdığı her bir soru veya karşı görüş için ifade ettikleri şart sınıfını belirleyin.
- 5) Çiziminiz üzerinde, her şartı çözmek için gerekli değişimleri yapın.(Girdi veya ok ekleme ve çıkarma.)
- 6) Bu işlemleri arkadaşlarınızın tüm soruları bitene kadar ve yapılanlar herkes tarafından anlaşılana kadar tekrarlayın.

¹ Scheinkopf 63.

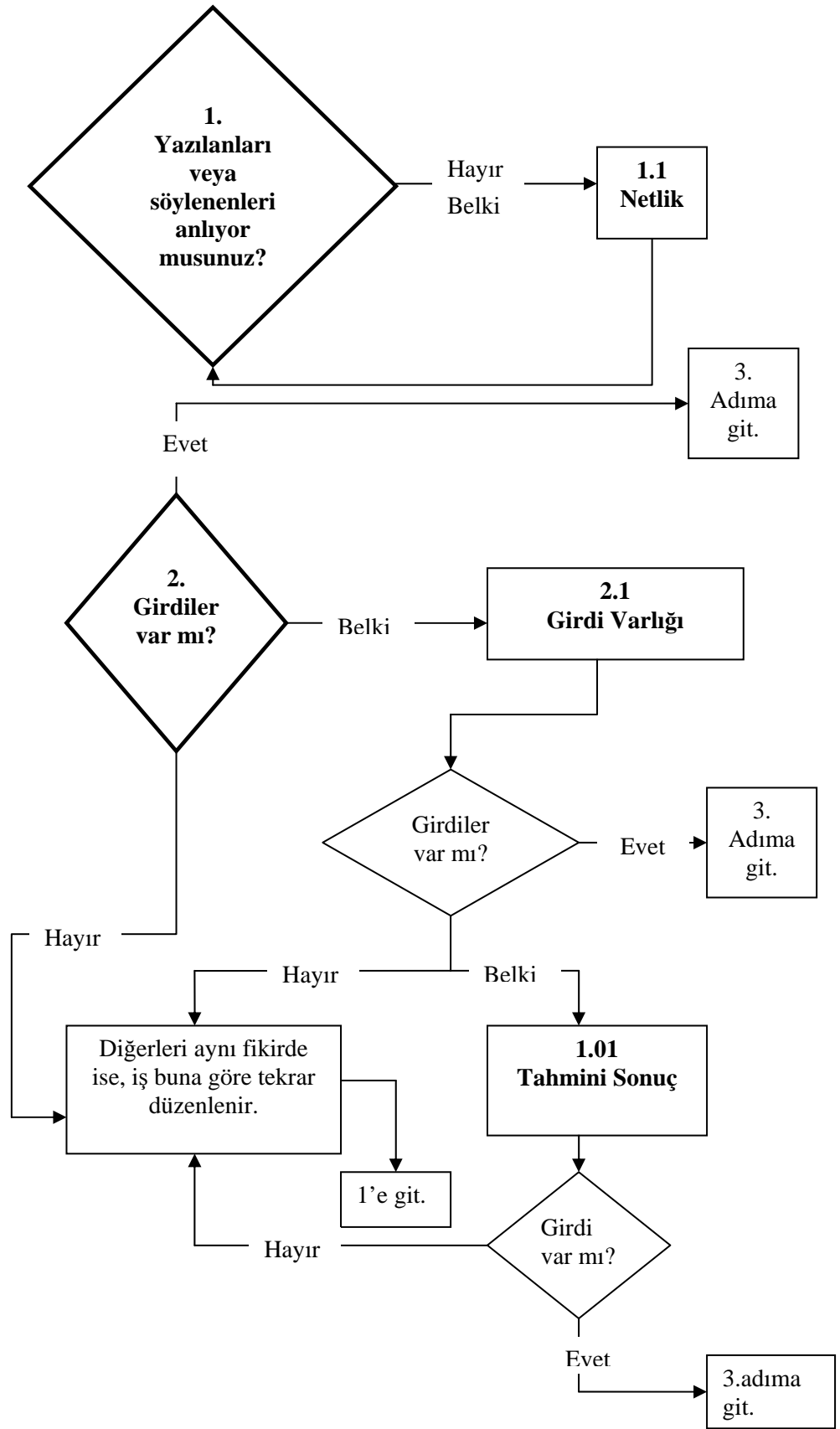


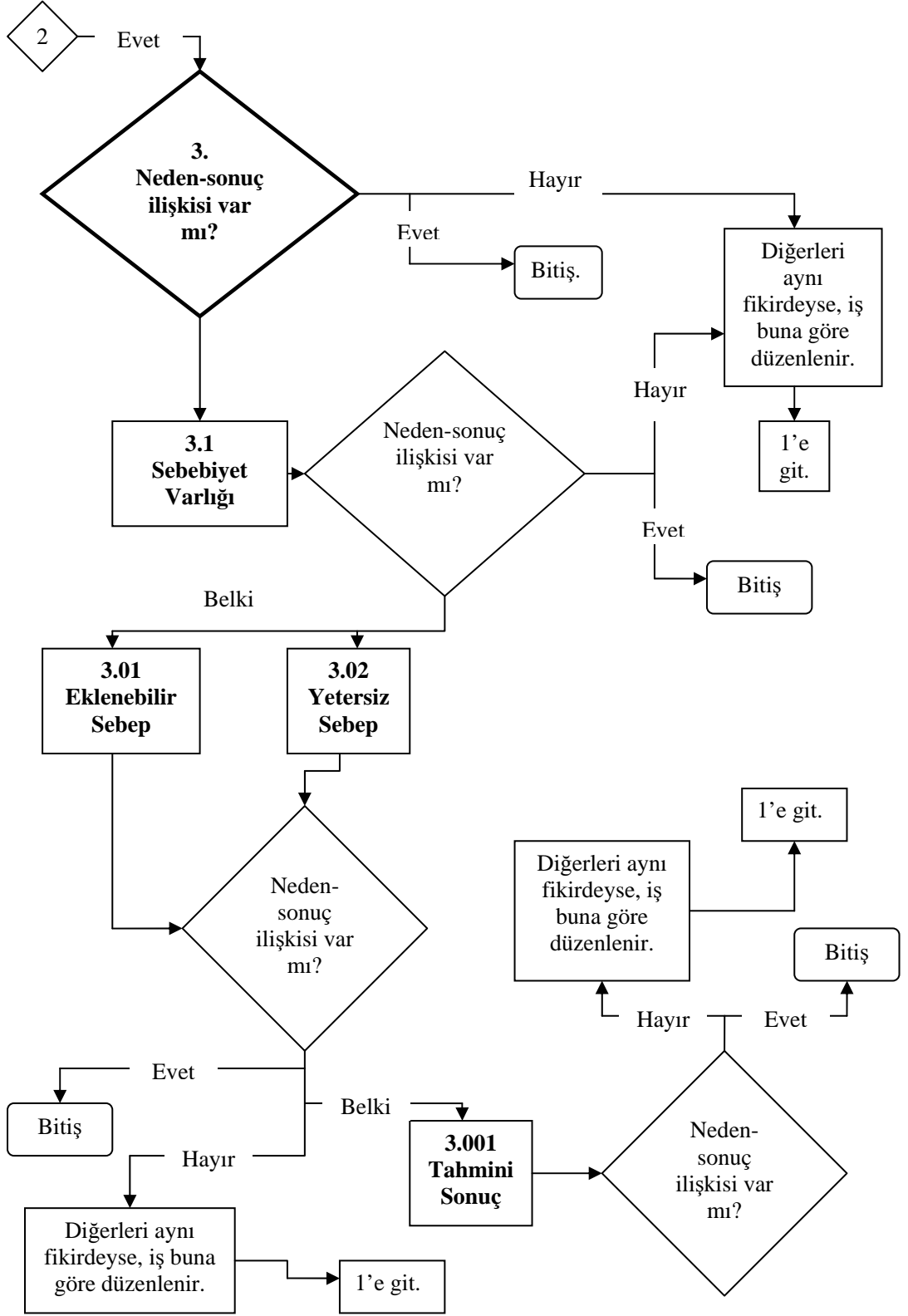




Şekil 3.12: İş sahibinin işi gözden geçirirken uygulayacağı politikanın akış diyagramı.
 Kaynak: Eli Schragenheim, *Management Dilemmas: The Teory of Constraints Approach to Problem Identification Solutions* (United States of America: The St. Lucie Press, 1999)70.

Yukarıdaki şekilde bir iş sahibinin düşünce sürecinde belirtilen kuralları uygulamaya nasıl koyacağı konusundaki sürecin adımları akış diyagramında belirtilmiştir. Bu diyagram iş sahibinin kendisinin konuşmacı olduğu durumdaki adımları göstermektedir. Ancak bir de dinleyici durumunda olduğunda uygulanacak politika vardır. Bu politika da aşağıdaki akış diyagramında belirtilmektedir.





Şekil 3.13: Başkasının işini dinlerken, okurken veya gözden geçirirken uygulanacak politikanın akış diyagramı.

Kaynak: Scheinkopf 66-67.

4. LİTERATÜR TARAMASI

KT, literatürde birçok çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmalarda KT'nin düşünce sürecinden ve üretime getirdiği yaklaşımlardan bahsedilmiştir.

(Luebbe ve Finch, 1992): Bu çalışmada Kısıtlar Teorisi ile Doğrusal Programlamanın problem çözümünde ortak çözümler verdiği fakat aralarında belirli farklar olduğu belirtilmiştir. Karma ürün problemlerinde her iki tekniğin de kullanılabileceği ve sonuçta aynı ürün karmasının belirlendiği sonucuna varılmıştır. Fakat Doğrusal Programlama bu ürün karmasının hangi sırada üretildiği bilgisini vermemektedir. Burada Kısıtlar Teorisi belirlenen uygun ürün karmasının aynı zamanda hangi sıra ile üretildiği bilgisini de verdiği için Doğrusal Programlamadan bir adım daha ileri bir çözüm sağlamaktadır. Bu nedenle Kısıtlar Teorisi ile Doğrusal Programlama arasındaki en belirgin farkın Kısıtlar Teorisinin listeleme fonksiyonunun olduğu sonucuna varılmıştır.

(Colvener, Maes ve Gelders, 1992): Kısıtlar Teorisi ile Optimum Üretim Teknolojisinin orta büyüklükte bir şirketteki envanter büyüklüğünü azaltmak için kullanımı belirtilmiştir. Burada Optimum Üretim Teknolojisi için şirket bir yazılım kullanmak yerine Kısıtlar Teorisinin prensiplerini uygulayarak sistemlerindeki envanter seviyesini azaltmaktadırlar.

(*Chakravorty, ve Sessum, 1995*): Çoklu makine üretim sistemlerinde hazırlık sürelerinin düşürülmesinde öncelik sıralamasında kullanılan Pareto Analizi yanında Kısıtlar Teorisi ile sistemdeki ortalama hazırlık sürelerinin indirilmesi belirtilmiştir. Her iki yöntemle de sistemin hazırlık sürelerinde azaltma gerçekleştirilmiş fakat Kısıtlar Teorisi ile sonuca daha çabuk ulaşılmıştır.

(*Spencer ve Cox, 1995*): *analysis and genealogy*: Kısıtlar Teorisi ve Optimal Üretim Teknolojisi tekniklerini açıklamıştır.

(*Frendendall ve Lea, 1997*): Kısıtlar Teorisi kullanılarak ürün karmaşı yaklaşımı geliştirilmiştir.

(*Miltenburg, 1997*): Çeşitli üretim sistemlerinin Kısıtlar Teorisi ile karşılaştırarak kaynak planlamanın Kısıtlar Teorisi kullanılarak oluşturulması.

(*Fargher, 1997*): Çeşitli üretim sistemlerini kullanarak, artan rekabet koşullarında üretilen ürünlerin tekrar üretilerek piyasaya sürülmesi firmalara avantaj sağlamaktadır. Geri dönüşüm süreçleri için üretim sistemlerinin esnek olması gerekmektedir. Kısıtlar Teorisi burada da kullanılarak sistemin akış miktarında artışlar sağlamaktadır.

(*Roybal, Baxendale ve Gupta, 1999*): Kısıtlar Teorisi bir yönetim felsefesi olduğu için sistemin üretim dışında başka alanlarında da kullanılmaktadır. Burada bir sağlık sisteminde faaliyet tabanlı maliyetleme ile Kısıtlar Teorisi kullanılarak uygun maliyette kaliteli servis sağlama sonucuna ulaşılmıştır.

(*Gillespie, Patterson ve Harmel, 1999*): Kısıtlar Teorisi imalat ortamında akışı arttırdığı için çoğunlukla bu alanda kullanılmaktadır. Fakat ekonomik açıdan sadece bu alanda değil başka alanlarda da kullanılabilir. Ayrıca Kısıtlar Teorisinin yönetim fonksiyonlarında da kullanılması Kısıtlar Teorisinin üretimin ötesinde bir yaklaşım olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.

(*Balakrihnan ve Cheng, 2000*): Burada (Finch ve Luebbe 1992)'nin yaptığı karşılaştırmaya ek olarak Kısıtlar Teorisinin birim başına kısıt maliyetinin hesabı

yapılarak hangi ürün karmasının optimal olacağı belirtilmiştir. Fakat bu çözümün tek kısıtlı sistemlerde uygulanabileceği ve pazar talebinin her zaman olduğu varsayımı yapılarak oluşturulduğu görülmektedir. Ancak doğrusal programlama Kısıtlar Teorisinin aşamalarında kullanıldığında bu çözümün çok kısıtlı sistemlerde de kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

(Miller, 2000): Kısıtlar Teorisinin bir firmadaki uygulanması sonucunda firmanın süreç içi stoklarında, üretim sürelerinde düşüşler gözlemlenmiş ve firmanın zamanında teslim yeteneği artmıştır. Buradan Kısıtlar Teorisinin firmalar için gelişen dünyada büyük avantaj sağlayacağı ve müşterilerinin beklentilerini daha iyi sağlayacakları belirtilmiştir.

(Umble, Gray ve E. Umble, 2000): Üretim sisteminde çoğunlukla sistemdeki kısıtlar yüzünden ara stoklar oluşmaktadır. Bu da firmaların üretim sürelerinde artışlara ve hattın performansında düşüşe yol açmaktadır. Bu nedenle Kısıtlar Teorisinin daval-tampon-ip yaklaşımıyla sistemin belirli bölgelerinde zaman tamponları oluşturularak sistemin performansında iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir.

(Cheng, 2002): Hat dengelemenin akışı optimum etmek için kullanılamayacağı belirtilmiştir. Hat dengelemenin montaj hattında kullanılmasının uygun olduğu fakat akış hattı için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

(Gupta, Jeung Ko ve Min, 2002): Genel yönetim kararlarında kullanılan Kısıtlar Teorisinin envanter yönetiminde, sürekli iyileştirmede ve üretim planlamada da kullanılabilmesini belirtmiştir. Atölye tipi üretim sisteminde Kısıtlar Teorisi kullanımıyla ilgili simülasyon modeli çalışması yapılmıştır.

(Gupta, Baxendale ve Raju, 2002): Faaliyet tabanlı yönetim ve Kısıtlar Teorisi yaklaşımlarının bir bütün halinde kullanılarak performans iyileştirilmesi çalışmasıdır. Bir firma üzerinde yapılan uygulamada firmanın gereksiz kapasite kullanımı önlenmiş ve sistemdeki kısıtlar finansal açıdan da düşünülerek iyileştirilmiştir.

(Sale ve Inman, 2003): Geleneksel, tam zamanlı üretim sistemi, Kısıtlar Teorisini kullanan yönetim anlayışı karşılaştırılması çalışmasıdır. Aynı zamanda hem tam zamanlı üretim sistemi hem de Kısıtlar Teorisinin kullanıldığı yönetim anlayışı da araştırılmıştır. Ancak en yüksek performans iyileştirmenin Kısıtlar Teorisi yönetim anlayışının sağladığı sonucuna varılmıştır.

(Chaudhari ve Mukhopadhyay, 2003): Kısıtlar Teorisinin düşünce süreci yaklaşımının uygulanması çalışması yapılmıştır. Kısıtlar Teorisinin düşünce süreci karmaşık problemi çözmüş ve büyük yatırım yapmadan firmanın karını ve satışını arttırmıştır. Politika değişikliği yapılması ile firma rakiplerine karşı avantajlı konuma gelmiştir.

(Scoggin, Segelhorst ve Reid, 2003): Kısıtlar Teorisinin düşünce sürecinin üretim sisteminde kullanılışı çalışmasıdır. Burada var olan sistemin durumunun gösterilmesi, sorunların belirlenmesi ve çözüm stratejilerinin oluşturulmasında Kısıtlar Teorisinin kullandığı çeşitli ağaç diyagramların nasıl kullanıldığı belirtilmiştir. Firma bu yolla sorununu belirlemiş ve ona uygun çözüm stratejilerini belirlemiştir.

(Smith ve Pretorius, 2003): Sorunların doğru şekilde anlaşılması için sistemin mantıksal analizinin doğru yapılması gerektiği ve bunu yaparken Kısıtlar Teorisinin düşünce sürecinde kullandığı ağaç diyagramların uygulanması ile ilgili bir çalışmadır.

(Köksal, 2004): Kalite iyileştirme çalışmalarında yapılacak projelerin seçiminde sadece kalite kaybına bakılarak karar vermek doğru sonuçlar vermemektedir. Bunun yerine sistemdeki akış ve kalite kaybını beraber düşünerek ürün karmaları belirlendiği takdirde daha doğru sonuçlar elde edildiği sonucuna varılmıştır.

(Schaeffers, Aggoune, Becker ve Fabbri, 2004): Aşağı kademeye kadar iyileşmenin sağlanabilmesi için geliştirilmiş ve uygun bir planlama ve sıralama sisteminin kurulması gerektiği sonucuna varılmıştır. Kısıtlar Teorisinin aşamaları bu kolaylığı sağlaması bakımından çalışmada kullanılmıştır.

(Steele, Philipoom, Malhotra ve Fry, 2005): Kısıtlar Teorisinin sunduğu davul-tampon-ip tekniği aracı, kaynak planlama aracı (MRP) ile karşılaştırıldığında ikisinin birlikte kullanıldığı sistemlerde daha güçlü bir yönetim oluştuğu sonucuna varılmıştır.

(Goldratt ve Weiss, 2005): Eğitimde üniversite giriş sınavına girişin sonucundaki sınav başarısını arttırmayı sağlayan bir çalışma yapılmıştır.

(Souren, Ahn ve Schmitz, 2005): Farklı yöntemlerle çözülen ürün karmaşıklık probleminin Kısıtlar Teorisi yaklaşımı ile çözümlenerek maliyetlerin akış muhasebesi ile belirlenmesini içeren bir çalışma yapılmıştır. Kısıtlar Teorisi karma ürün problemlerinde doğrusal programlamadan daha iyi sonuç vermemekte olduğu belirtilmiş fakat yöneylem tekniklerini kullanmak daha çok bilgi gerektiği için pratikte daha basit anlaşılan Kısıtlar Teorisi kullanıldığı sonucuna varılmıştır.

(Fang Hsu ve Hsueh Sun, 2005): Kısıtlar Teorisinin düşünce süreci olarak kullanılan ağaç diyagramlarının yönetsel problemlerin analizinde kullanılmasını ve sonuçta problemlerin daha doğru bir şekilde çözüme ulaştırılmasını içeren bir çalışmadır.

(Kirche, Kadıpaşaoğlu ve Khumawala, 2005): Sipariş yönetimi üzerine yapılan çalışmada firmanın üretim maliyetlerinin hesaplanmasında faaliyet tabanlı maliyetlemeden yararlanılmıştır. Kısıtlar Teorisi de bu çalışmada sistemin kısıtının bulunması ve ortadan kaldırılması için çalışmaya kolaylık sağlamıştır. Karlılık hesaplanmasında faaliyet tabanlı maliyetlemenin kullanılması ile ilgisiz maliyetlerin hesaplanması ortadan kalkmıştır.

(Kirche ve Srivastava, 2005): Kapasiteyi aşan talebi karşılayabilmek için firmanın maliyetleme çalışmaları sonucunda kullanılan faaliyet tabanlı maliyetleme, firmanın sorununu çözmesinde kolaylık sağlamıştır. Faaliyet tabanlı maliyetlemenin karlılığın artırılmasında ve stok düşürülmesinde Kısıtlar Teorisi baz alınarak yapılan formülasyondan daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Siparişlerin seçiminde kullanılan maliyet çalışmaları daha iyi yapılmıştır.

(Freeman, 2006): Kısıtlar Teorisi, iyileştirme çalışmalarında ana bir yol sağladığı için firmalar açısından daha çok kullanıldığı belirtilmiştir. Yönetim açısından da daha kolay kabul gören bir çalışma olduğu anlatılmıştır.

(Polito, Watson ve Vokurka, 2006): Bu çalışmada Kısıtlar Teorisinin bir tekniği olan düşünce süreci kullanılarak bir havayolu şirketinin rekabet edebildiği çıktıları daha da iyileştirmek amaçlanmıştır. Bu tekniğin başka alanlarda da kullanılabileceği ve şirketin rekabetini arttırdığı sonucuna varılmıştır.

5. KISITLAR TEORİSİNİN ÜRÜN KARMASI PROBLEMLERİNE GETİRDİĞİ ÇÖZÜM KOLAYLIĞI KONUSUNDAKİ UYGULAMALAR

KT, düşünce sürecinin yanında üretime getirdiği kısıta odaklanma yaklaşımı ile üretim planlamada da kullanılmaktadır. Bu konuda çeşitli araştırmalar yapılmış ve KT yaklaşımı ile ürün karması problemleri çözülmeye çalışılmıştır. Bu konuda 1998 yılında Chun Hsu ve Hsing Chung çok kısıtlı sistemde kısıtların çözümü için bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritmada, baskınlık kuralı ve kapasite kısıtı oluşturmayan kaynakların problemden ayıklanması şeklinde problem çözülmüştür. KT kullanılarak çözülen ürün karması problemleri Doğrusal Programlama(DP) modeli kullanılarak formüle edilmiştir.

2004 yılında Aryanezhad ve Komijan da çok kısıtlı sistemdeki ürün karması problemini KT yaklaşımı ile çözmüştür. Burada farklı olarak komşuluk araştırması olarak adlandırılan bir arttırma ve azaltma işlemi kullanılmıştır. Bu sayede hem sistemin kısıtlarını çözecek ürün karması bulunmuş hem de kısıt oluşturan kaynaklar üzerinde kalabilecek atıl süreler minimuma indirilerek akış arttırılmıştır. Aryanezhad ve Komijan'ın geliştirdikleri algoritma çelik kapı firmasına uygulanmıştır.

Bu iki makale KT yaklaşımına dayandırdıkları algoritmaları ile KT'nin çok kısıtlı sistemlerde ürün karması problemini çözdüğünü açık bir şekilde belirttiği için anlatılması uygun görülmüştür. Aşağıda bu makalelerdeki çalışmalar anlatılmıştır.

5.1 Ürün Karması Problemlerinin Çözümü için Kısıtlar Teorisi Tabanlı Algoritma¹:

Karma ürün kararı KT'nin beş aşamalı yönteminin bir uygulamasıdır. KT'nin ana fikirlerinden biri sistemin kısıtlarının sistemin akışına karar vermesi ve yönetim tarafından üstünde durulması gerektiğidir. Kısıtlar, sistemdeki en sınırlı kaynaklardır. Sistemin akışını artırmak için KT kısıtla ilgili beş genel adım geliştirmiştir.

- 1) Sistemin kısıtının belirlenmesi.
- 2) Kısıtın nasıl yok edileceğinin karar verilmesi.
- 3) Sistemin diğer her şeyinin bu karara göre düzenlenmesi.
- 4) Kısıtın ortadan kaldırılması.
- 5) Eğer kısıt düzelmişse tekrar başa dönülerek sürecin ataletle düşülmeden tekrarlanması.

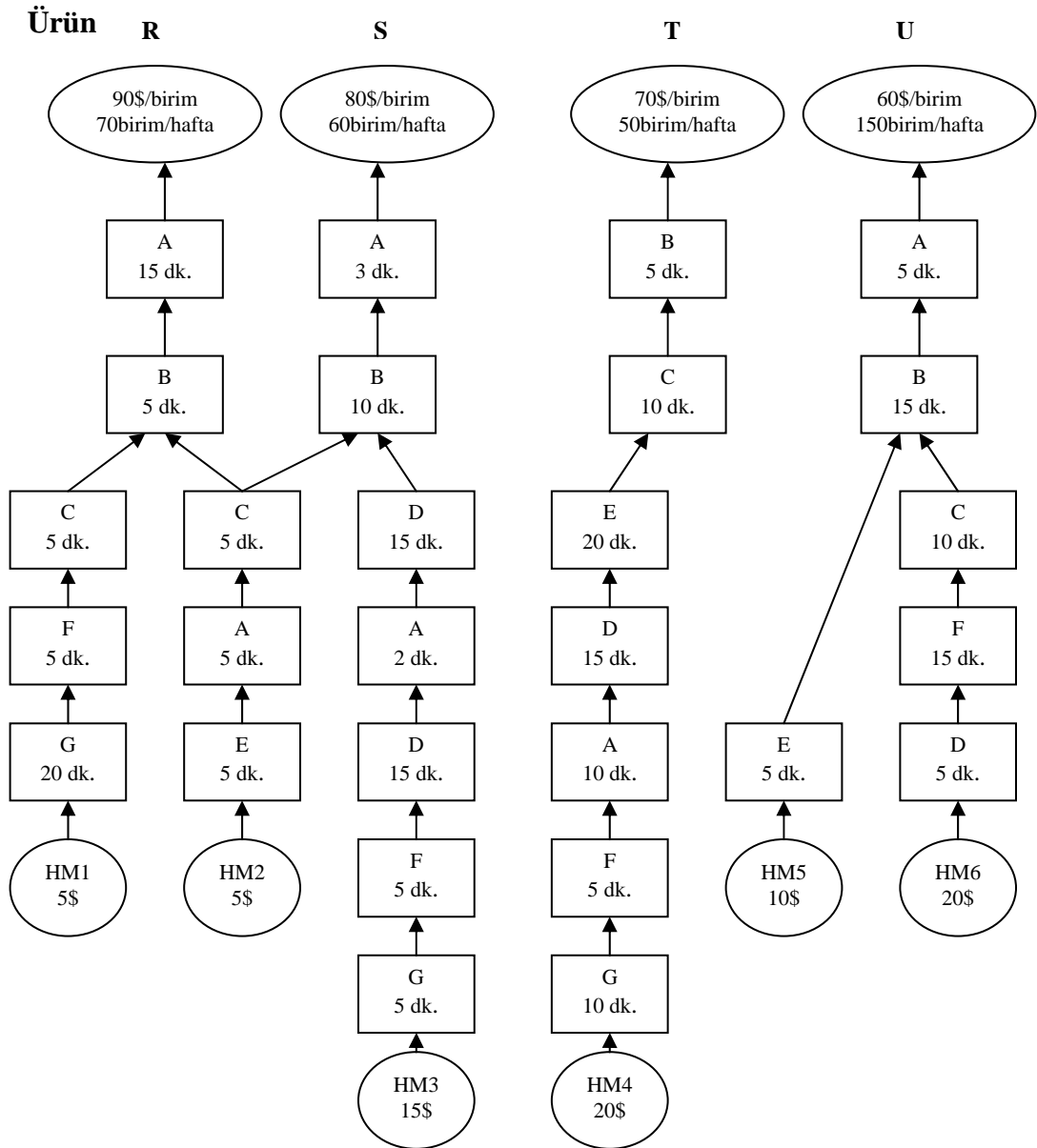
Ürün karması kararı problemi, ürün tipine ve talebe göre üretim miktarına karar verir. Bu kararın amacı akışı en çoklamaktır. KT'de akış, sistemin satışlar üzerinden elde ettiği para olarak tanımlanmıştır.

KT ile çözülen karma ürün kararı probleminin DP modeli ile formüle edilebileceğini Ronen ve Star(1990), Patterson(1992) belirtmişlerdir. KT'nin beş adımının DP ile karşılaştırılması Luebbe ve Finch(1992) tarafından yapılmıştır. Açıklamalarına göre, KT'nin sadece birinci ve ikinci adımı kullanılarak karma ürün çözümünün bulunduğu diğer KT adımlarının yönetsel kararlar ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir. KT, kısıt durum ortadan kalkana kadar beş adımlı süreci tekrarlamaktadır. Luebbe ve Finch, KT'nin DP'den daha açıklayıcı olduğunu belirtmişlerdir. Bunun nedeni, KT'nin her ürün için kısıt üzerindeki katkı payını hesaplamış olmasıdır(dolar/kısıt süresi). DP'deki gölge fiyatları ile bu katkı payının aynı anlama geldiğini belirtmişlerdir. Bu bakımdan KT'nin, DP'den daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Ancak, Plenert 1993 yılında KT'nin çoklu kısıt kaynak durumlarında optimum sonucu vermediğini bulmuştur. KT yaklaşımının

¹ Hsu Tien-Chun, Shu-Hsing Chung, "The TOC-based algorithm for solving product mix problems", *Production Planning & Control*, Vol. 9, No. 1, 1998, pp.36-46.

yönetimsel kararlarda DP'den daha kullanışlı olduğu görünse de bu durumun ürün karmaşıklık problemlerinde kesin olmadığını belirtmiştir. Fakat bu çalışma bu problem üzerinde durmuş ve KT yaklaşımının ürün karmaşıklık problemlerinde de kullanışlı olduğunu göstermiştir. Burada Plenert'in kullandığı örnek üzerinde ürün karmaşıklık problemi KT yaklaşımı ile çözümlenerek KT'nin uygunluğu gösterilmiştir.

Kısıtlar Teorisi Yaklaşımı



Şekil 5.1: Karma ürün örneği problemi için veriler.

Kaynak: Plenert, G., "Optimizing theory of constraints when multiple constrained resources exist.", *European Journal of Operational Research*, Vol.70, pp.126-133.

Dört ürün tipi R, S, T, U yedi farklı kaynakta üretilmektedir. Sırasıyla A'dan G'ye kadar her kaynağın kapasitesi 2400 dakikadır. Her bir ürünün kaynağa yüklenmesinin formülü tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Her bir kaynak için yükleme formülü

Bir birim ürün için gerekli süre					
Kaynak	R	S	T	U	Yükleme hesabı formülü
A	20	10	10	5	$20R+10S+10T+5U$
B	5	10	5	15	$5R+10S+5T+15U$
C	10	5	10	10	$10R+5S+10T+10U$
D	0	30	15	5	$0R+30S+15T+5U$
E	5	5	20	5	$5R+5S+20T+5U$
F	5	5	5	15	$5R+5S+5T+15U$
G	20	5	10	0	$20R+5S+10T+0U$

Problem, DP modeli ile şu şekilde formüle edilmiştir:

$$\text{maksimum } 80R+60S+50T+ 30U$$

hedef

$$20R+10S+10T+5U \leq 2400 \quad \text{kaynak A için}$$

$$5R+10S+5T+15U \leq 2400 \quad \text{kaynak B için}$$

$$10R+5S+10T+10U \leq 2400 \quad \text{kaynak C için}$$

$$0R+30S+15T+5U \leq 2400 \quad \text{kaynak D için}$$

$$5R+5S+20T+5U \leq 2400 \quad \text{kaynak E için}$$

$$5R+5S+5T+15U \leq 2400 \quad \text{kaynak F için}$$

$$20R+5S+10T+0U \leq 2400$$

kaynak G için

$$R \leq 70$$

$$S \leq 60$$

$$T \leq 50$$

$$U \leq 150$$

Tüm değerler pozitifdir.

Modelin amaç fonksiyonu akışı yani satışlardan elde edilecek parayı en oklamaktadır. Fonksiyondaki rnlerin kat sayıları her ürünün satış fiyatından ham madde maliyetinin çıkartılması ile bulunmuştur. Bu miktarlar tablo 4.3'te gösterilmiştir. Modelin kısıtlarını, kullanılan kaynakların kapasite miktarları oluşturmuştur. Buradaki rnlerin kat sayıları da o kaynakta üretilen ürünün işlem sresidir.

Bu problemi Plener KT'yi kullanarak şu şekilde zmştir:

Adım 1: Sistemin kısıtının belirlenmesi.

Her bir kaynağın yükü, ürünlerin pazar talebine göre hesaplanmıştır. rnlerin o kaynaktaki üretim süreleri ile pazar talebi miktarı ile çarpılmış ve gerekli üretim süresi bulunmuştur. Bu sonuçlar tablo 5.2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2: Kapasite miktarları

Kaynak	Yükleme Formülü	R=70, S=60, T=50, U=150 için	Kapasite (dakika)	Fark (KT yaklaşımı)	KT tabanlı algoritma
A	20R+10S+10T+5U	3250	2400	-850	-850
B	5R+10S+5T+15U	3450	2400	-1050	-1050
C	10R+5S+10T+10U	3000	2400	-600	-600
D	0R+30S+15T+5U	3300	2400	-900	-900
E	5R+5S+20T+5U	2400	2400	0	GEÇ
F	5R+5S+5T+15U	3150	2400	-750	GEÇ
G	20R+5S+10T+0U	2380	2400	20	GEÇ

Tablo 5.2'ye göre en fazla kapasitesini aşan kaynak B kaynağıdır. Bu nedenle kapasite kısıtı oluşturan kaynak olarak belirtilmiştir.

Adım 2: Sistem kısıtının nasıl çözüleceğinin kararlaştırılması.

Tablo 5.3: B kısıtına göre gelir katkı oranının hesaplanması

Parametreler	Ürün			
	R	S	T	U
Satış fiyatı (dolar)	90	80	70	60
Hammadde maliyeti(dolar)	10	20	20	30
Katkı(dolar)	80	60	50	30
Kısıt Süresi(Kaynak B dakika olarak)	5	10	5	15
Dolar/kısıt süresi	16	6	10	2

Her bir ürün için katkı payı, ürünün katkısının belirlenen kısıt kaynaktaki işlem süresine bölümü ile bulunmuştur. Sonuçlar tablo 5.3’de gösterilmiştir. Katkı payı büyüklüğüne göre üretim önceliği R, T, S ve U olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre öncelikle R ürününün tamamı üretilmiş ve R=70 olmuştur. Daha sonra T ürünü üretilmiş ve B kaynağında bu ürünün tamamını üretecek süre olduğu için bu ürünün de tamamı üretilmiştir(T=50). Sırasıyla S ve U ürünü üretilmiş ve kaynaktaki kapasite miktarına göre S=60 ve U=80 olmuştur. Bu çözüme göre B kaynağının yeni kullanım süresi hesaplandığında,

$5*70 + 5*50 + 10*60 + 15*80 = 2400$ dakika olarak bulunmuştur. B kaynağı kapasitesini en fazla aşan kaynak olduğu için bu kaynağın kapasitesini aşmayan ürün karması bulunmuştur ve Plenert bu çözümün sonuç çözüm olduğunu belirtmiştir.

Ancak Hsu ve Chung bu çözümün mümkün sonuç olmadığını belirtmişlerdir. Bu çözüme göre kaynak yüklemeleri tekrar hesaplandığında aşırı kapasite yüklenmesi durumunun hala mevcut olduğu görülmüştür.

Tablo 5.4: Kaynak yüklenmeleri

Kaynak	Yükleme Formülü	R=70, S=60, T=50, U=80 için	Kapasite (dakika)	Fark (KT yaklaşımı) (dakika)	KT tabanlı algoritma (dakika)
A	20R+10S+10T+5U	2900	2400	-500	-500
B	5R+10S+5T+15U	2400	2400	0	0
C	10R+5S+10T+10U	2300	2400	100	100
D	0R+30S+15T+5U	2950	2400	-550	-550
E	5R+5S+20T+5U	2050	2400	350	GEÇ
F	5R+5S+5T+15U	2100	2400	-300	GEÇ
G	20R+5S+10T+0U	2380	2400	20	GEÇ

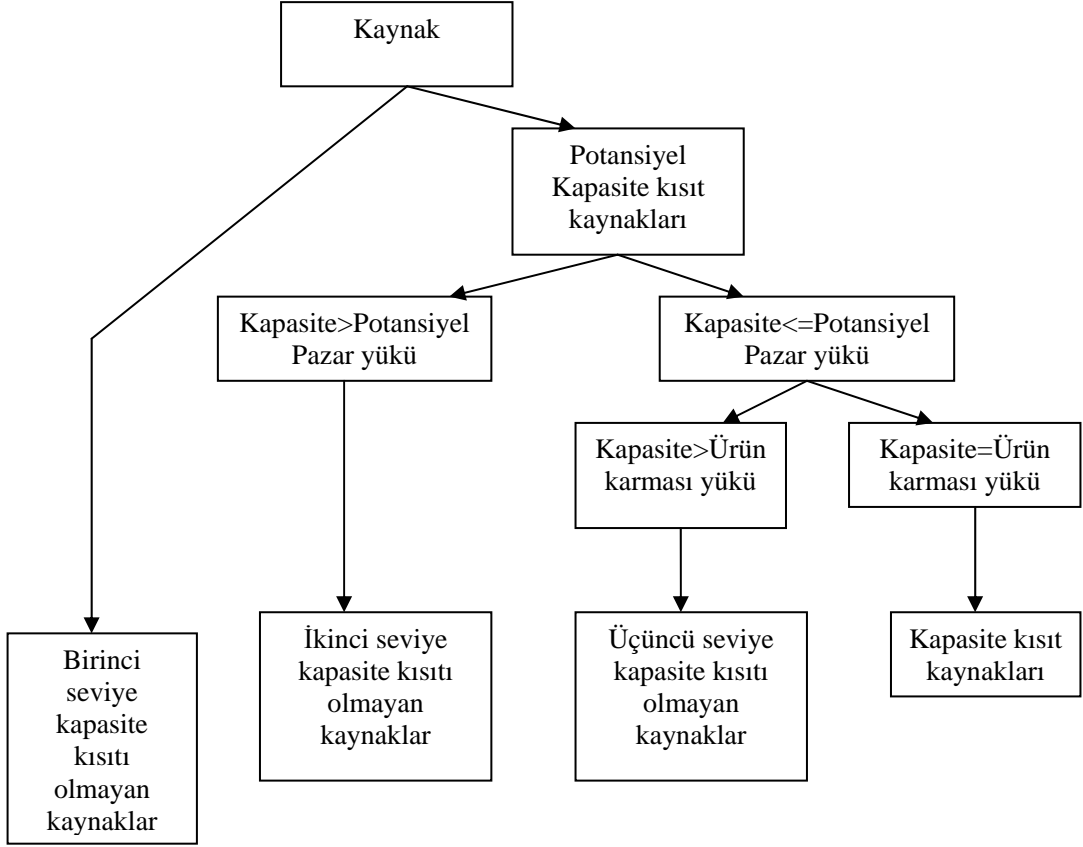
Tablo 5.4’de bu durum gösterilmiştir. Bu sefer A ve D kaynakları hala kapasitesinin üzerinde yüklenmiştir. Ayrıca bulunan çözüm simpleks yöntemi ile çözülmüş ve üretilebilecek ürün karmasının $R=50.67$, $S=38.17$, $T=50$ ve $U=101$ olarak gerçekleştiği görülmüştür. Amaç fonksiyonunun değeri de 11873.3 dolar olmuştur. Buradan çözümün sonuç çözüm olmadığı ispatlanmıştır.

Hsu ve Chung kendi çözümlerini oluştururken bazı kaynakları problemin başında eleyerek çözüme katmamışlardır. Burada kısıt oluşturmayan kaynakların sınıflandırılmasını yaparak bu eleme işlemini gerçekleştirmişlerdir.

Kısıt Olmayan Kaynakların Sınıflandırılması

Bir kaynak ancak ve ancak çıktısı pazar talebinden az olduğunda iç kısıt olarak tanımlanacağı belirtilmiştir. Üretim sisteminde tek kısıt olduğu zaman ürün karmasının ne olacağının çok büyük öneminin olmayacağı, ancak birden fazla kısıt olduğunda ürün karmasının önemli olduğu belirtilmiştir. Çünkü ürün karmasına göre kısıtın değişebildiği görülmüştür. Bu nedenle tek kısıtı çözmek çok kısıtı çözmekten daha kolay olduğu belirtilmiştir. Çok kısıtlı sistemlerde kısıt olmayan kaynakları üç guruba bölmüşlerdir: Birinci seviye, ikinci seviye ve üçüncü seviye kapasite kısıtı olmayan kaynaklar.

Birinci, ikinci ve üçüncü olma durumu bulunuşlarındaki sıraya göre verilmiştir. Şekil 5.2 bu ilişkiyi göstermiştir.



Şekil 5.2: Kapasite kısıtlı kaynaklar ile kapasite kısıtı olmayan kaynaklar arasındaki ilişki.

Kaynak: Hsu Tien-Chun, Shu-Hsing Chung, “The TOC-based algorithm for solving product mix problems”, *Production Planning & Control*, Vol. 9, No. 1, 1998, pp.40.

Kapasite kısıtı olmayan kaynak, ürün karması ne olursa olsun diğer kaynaklar tarafından baskınlaştırılıyorsa birinci seviye kapasite kısıtı olmayan kaynak olarak belirtilmiştir. Burada baskınlaştırma kavramı, A'nın B tarafından baskınlaştırılmasının, aynı kapasite sınırı seviyesinde B için gerekli işlem süresinin A'dan daha fazla olması anlamına geldiği belirtilmiştir. Bu kaynağın daha fazla yüklenme durumu olmayacağı için her zaman kapasite kısıtı olmayan kaynak olacağı belirtilmiştir.

İkinci seviye kapasite kısıtı olmayan kaynak, ürünlerin pazar talebine göre üretildiğinde dahi kapasitesi aşılmayan kaynak olarak ifade edilmiştir. Bu kaynaklar da sabittir. Çünkü pazar talebi değişmeyeceği sürece bu kaynağın kapasitesi

aşılmamış olacaktır. Son ürün karması çözümü bulunduğu mevcut kapasitesinden daha az yüklenen bir kaynak varsa, üçüncü seviye kapasite kısıtı olmayan kaynak olarak adlandırılmıştır. Bu durumda, farklı ürün karışımları (ürün tipi ve miktarı) farklı üçüncü seviye kısıt olmayan kaynak oluşturacağı belirtilmiştir. Problemin basitleşmesi için bu kaynaklar problemde elenmiştir.

Bu çalışmada, verilen problemin gerçek değerli olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım bir neden teşkil etmektedir. Bu nedenin açıklaması olarak, ürün karması çözümünün üretim planı olarak görülebileceği ve planlama döneminin hedefi olabileceği belirtilmiştir. Geriye kalan işlerin bu dönemdeki plana göre yeni plan yapmak olacağı ifade edilmiştir. Birçok faktör ürün karması planından gerçek sonuçların oluştuğunu göstermiştir. Bu faktörler süreç planları arasındaki ilişki, etkin olmayan çizelgeleme, ham madde yokluğu, kaynak bozuklukları, araç arızaları şeklinde olabilmektedir. Yeni dönem için plan, çizelgeleme periyodu sonunda tekrar yapılır.

Hsu ve Chung KT yaklaşımını kullanarak kendi geliştirdikleri algoritmayı şu şekilde anlatmaktadırlar.

Tüm kısıtların yüklenmesi ve belirlenmesi: KT yaklaşımına göre kısıt kaynağa bağlı olarak ürünler üretim önceliği sırasına konmuştur. KT süreci, kısıt ortaya çıkana kadar devam etmektedir. Kısıt oluştuğunda ürün karmasındaki ürün tipinden en düşük öncelikli ürünün üretimi durdurulmuştur. \$/kısıt süresi oranı her ürün için belirlenmiştir. Ancak burada her tekrarda katkının ve kısıt zamanının nasıl belirleneceği sorusu ortaya çıkmıştır. Analiz aşağıda belirtilmiştir.

n: iterasyon numarasıdır.

KKK_n: n. iterasyonda belirlenen n. kapasite kısıt kaynağıdır.

Ü_n: n. kısıtın kapasitesinin miktarında yüklenen ürün miktarıdır.

Karma ürün problemi formülü şu şekildedir:

$$\text{Maksimum } z = \sum_{j=1}^n m_j * x_j$$

Hedef

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} * x_j \leq k_i \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

$$0 \leq x_j \leq t_j \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Burada m_j ürün tipi j için katkı miktarıdır.

a_{ij} : i kaynağındaki j ürününü üretmek için gerekli zamandır.

x_j : j ürününün üretilecek miktarıdır.

k_i : i kaynağının kapasitesi.

t_j : j ürününün talebi.

R kapasite kısıt kaynağı(KKK) olarak varsayılmıştır. Bir de diğer bir KKK s varsayılmıştır. Yeni değerlerin (katkı miktarı ve kısıt süresi) oluşturulması için:

İlk iterasyonda KKK'nin kaynak r olduğu ve seçilen ürünün U ürünü olduğu varsayılmıştır. Yani en düşük \$/kısıt süresi oranına sahip üründür. Bu yüzden U ürünü kısıt kaynağın mevcut kapasitesine kadar üretim kesintisine uğramıştır. İkinci iterasyonda kaynak s ikinci KKK'ye göre ayarlanacaktır. Herhangi bir j ürününün 1 birimlik düşürülmesi şu şekilde ifade edilmiştir:

- 1) s kaynağının $(a_{sj}-a_{su}*a_{rj}/a_{ru})$ kadar yüklenmesi
- 2) Amaç fonksiyonundaki katkının $(m_j-m_u*a_{rj}/a_{ru})$ olarak değişmesi.

Bu gerçeklerle yola çıkılarak herhangi bir j ürünü için dolar/kısıt süresi oranı

$(m_j-m_u*a_{rj}/a_{ru}) / (a_{sj}-a_{su}*a_{rj}/a_{ru})$ olarak gerçekleşmiştir.

Burada başka bir problem ortaya çıkmıştır. \bar{U}_n değiştiğinde bütün önceki kısıtlar üzerinde yapılan yüklemeler bozulabileceğinden önceki durumların da kontrol edilip eşitliğin bozulup bozulmadığının anlaşılması gerektirir. Eğer önceki çözülen kısıtlarda bozulmalar varsa önlemek için ürün miktarında azaltmaya gidilecektir. Bu açıklamalara göre KT algoritması belirlenmiştir.

Çalışmada geliştirilen KT tabanlı algorithmada karma ürün kararı için problemin karmaşıklığını çözmek üzere 2 tane yardımcı önermeden yararlanılmıştır.

Yardımcı önerme 1: Baskınlık kuralı olarak adlandırılmıştır. Karma ürün probleminde 2 farklı kaynak için kapasite kısıtı şu şekilde ifade edilmiştir:

$$a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + a_{i3}X_3 + \dots + a_{in}X_n \leq t_0$$

$$a_{k1}X_1 + a_{k2}X_2 + a_{k3}X_3 + \dots + a_{kn}X_n \leq t_0$$

Burada tüm $a_{in}X_n \leq a_{kn}X_n$ ise kaynak i, k kaynağı tarafından baskındır ve kapasite kısıtı olmayan kaynaktır. Böylece birinci seviye kapasite kısıtı olmayan kaynak bulunmuştur.

Yardımcı önerme 2: Karma ürün problemi kararında pazar talebinin karşılanması için kaynaktaki kapasite yeterliyse, bu kaynak da kapasite kısıtı olmayan kaynaktır ve ikinci seviye kısıt oluşturmeyen kaynak olarak belirtilmiştir. Verilen pazar talebi doğrultusunda birinci ve ikinci seviye kısıt oluşturmeyen kaynaklar kısıt konumuna gelmeyeceğinden ürün karmasına karar verilirken bu kaynaklar göz ardı edilmiştir. KT yaklaşımıyla geliştirilen algoritma şu şekildedir:

Hazırlık adımı: Yardımcı önerme 1 ve 2 kullanılarak birinci ve ikinci seviye kısıt oluşturmeyen kaynaklar elenmiştir. Mevcut ürün karması sistemdeki ürünlerin pazar talepleri olarak belirlenmiştir. $n=1$ atanmış, daha önce kısıt ve \bar{U}_i olmadığı varsayılmıştır..

Adım1: Sistem kısıtının belirlenmesi.

Mevcut ürün karmasına göre kaynak yükleri belirlenir. Daha sonra her kaynak, kapasitesi ile karşılaştırılır. En fazla kapasitesini aşan kaynak KKK_n olarak atanır. Eğer hiç aşırı yüklenen kaynak yoksa mevcut çözüm, sonuçtur.

Adım2: Sistemin kısıtının nasıl ortadan kaldırılacağına karar verilmesi.

- a) KKK_n kısıtı eşitlik olarak değerlendirilir. Daha önceki \bar{U}_i terimleri silinir. Bu işlem KKK_n ve KKK_i 'deki satırlar çarpılarak yapılır.
- b) Yeni amaç fonksiyonunu oluşturulur. Silinen öğeler çıkartılır.
- c) Bütün kalanlar için $\$/kısıt$ süresi oranı hesaplanır ve bu hesaplama yeni amaç fonksiyonu göre yapılır.
- d) En küçük orana sahip ürün \bar{U}_n olarak atanır. Bu ürünün miktarı düşürülerek veya üretilmeyerek kısıt ortadan kaldırılır.
- e) KKK_{n-1} 'den KKK_1 'e kadar ki yüklenmiş zamanlar KKK_i 'nin kapasitesine eşit olacak şekilde ayarlanır. Yeni ürün karması oluşur. $n=n+1$ yapılarak yeniden adım 1'e geri dönülür.

Örnek ve Doğrulama

Hsu ve Chung kendi geliştirdikleri algoritmanın doğruluğunu ispatlamak için Plenert'in örneğini kullanmışlardır. Örnek, bu algoritma ile tekrar çözülmüştür.

Hazırlık aşamasında birinci ve ikinci seviye kapasite kısıtı olmayan kaynaklar belirlenmiş ve elenmiştir.

Tablo 5.1'de gösterildiği gibi F kaynağı için ürünlerin işlem süreleri tüm ürünlerde B'deki işlem sürelerinden azdır. Bu durumda B, F'ye göre baskın kaynak olmuştur ($5 \leq 5$, $0 \leq 10$, $5 \leq 5$ ve $15 \leq 15$). Ayrıca G ile A kaynağı arasındaki durum da aynıdır. Çünkü $20 \leq 20$, $5 \leq 10$, $10 \leq 10$ ve $0 \leq 5$. Kaynaklar F ve G birinci seviye kapasite kısıtı olmayan kaynaklardır. Ayrıca doğrusal programdaki modelde, E kaynağındaki ürünlerin hepsinin üretilmesi durumunda dahi E kaynağının kapasitesi aşılmamaktadır.

$$5*70+5*60+20*50+5*150 = 2400 \text{ dk.}$$

Yardımcı önerme 2'ye göre kaynak E ikinci seviye kapasite kısıtı olmayan kaynaktır. F, G ve E kaynakları DP modelinden silindiğinde amaç fonksiyonu şu şekilde olmuştur:

$$\text{Maksimum } z = 80R+60S+50T+30U$$

Hedef

$$20R+10S+10T+5U \leq 2400 \quad \text{kaynak A için}$$

$$5R+10S+5T+15U \leq 2400 \quad \text{kaynak B için}$$

$$10R+5S+10T+10U \leq 2400 \quad \text{kaynak C için}$$

$$0R+30S+15T+5U \leq 2400 \quad \text{kaynak D için}$$

$$R \leq 70$$

$$S \leq 60$$

$$T \leq 50$$

$$U \leq 150$$

Tüm değerler pozitiftir.

Mevcut ürün karması pazar talebine göre $R=70$, $S=60$, $T=50$ ve $U=150$ 'dir. Birinci iterasyon başlayacaktır.

Adım1: Sistem kısıtının belirlenmesi.

Ürün karması $R=70$, $S=60$, $T=50$ ve $U=150$ her bir kaynağa yüklenir. Bu, A, B, C, D kaynaklarının kapasitesinin aştığını gösterir. Bu durum tablo 5.2'de gösterilmiştir. Bunun üzerine kaynak B, KKK_1 olarak belirlenir. Çünkü en fazla kapasitesini aşan kaynaktır.

Adım2: Sistem kısıtının nasıl kaldırılacağına kararlaştırılması.

2a: B kısıtının eşitsizliği ($5R+10S+5T+15U \leq 2400$) eşitliğe çevrildiğinde

$5R+10S+5T+15U = 2400$ olur. Daha önce belirtilen bir kısıt ve miktar olmadığı için bu eşitlik üzerinden devam edilir.

2b: $z = 80R+60S+50T+30U$ mevcut amaç fonksiyonudur. Daha önce miktarı değiştirilen ürün olmadığı için bir değişiklik yoktur.

2c: Her ürün için \$/kısıt süresi hesaplanır. Bu sonuç daha önce tablo 5.3'de belirtilen sonuçlarla aynıdır.

2d: U ürünü \bar{U}_1 olarak atanır. Çünkü en küçük \$/kısıt süresi oranına sahiptir. Daha sonra 150 birimlik miktarı 80 birime düşürülerek 2400 kapasite eşitliği B kaynağında sağlanmış olur.

2e: Şu anki ürün karması $R=70, S=60, T=50$ ve $U=80$ 'dir.

İterasyon 2

Adım1: Sistem kısıtının belirlenmesi.

$R=70, S=60, T=50$ ve $U=80$ DP'de kaynaklara yüklenirse tablo 5.4'de olduğu gibi D kaynağı en fazla kapasitesini aşan kaynak olduğu için KKK_2 olur.

Adım2: Sistem kısıtının nasıl kaldırılacağına kararlaştırılması.

2a: $0R+30S+15T+5U = 2400$ yapılır (D kaynağına ait yüklenme formülü). Bu eşitlikte U'nun olmaması gerekmektedir. Çünkü U ürünü daha önce seçilmişti. Çarpım kuralı ile satır işlemleri sayesinde U terimi çıkartılır.

KKK_1 eşitliği $5R+10S+5T+15U = 2400$ (B kaynağı)

KKK_2 eşitliği $0R+30S+15T+5U = 2400$ (D kaynağı)

U terimini yok etmek için KKK_2 eşitliği 3 ile çarpılmıştır. Buradan yeni KKK_2 eşitliği,

$0R+90S+45T+15U = 7200$ olmuştur. Yeni KKK_2 eşitliğinden KKK_1 çıkartılırsa,

U terimi yok edilmiş olur. $(-5/3)R+(80/3)S+(40/3)T = 1600$ eşitliği elde edilir. Yeni KKK_2 eşitliği oluşmuştur.

2b: Var olan amaç fonksiyonu $z = 80R+60S+50T+30U$ idi. Burada da U teriminin çıkartılması gerekmektedir.

KKK_1 : $5R+10S+5T+15U = 2400$ eşitliği 15'e bölünürse;

$(1/3)R+(2/3)S+(1/3)T+U = 160$ olur. Buradan U terimi çekilirse ;

$U = 160-[(1/3)R+(2/3)S+(1/3)T]$ eşitliği bulunur ve amaç fonksiyonunda U terimi yerine yazılarak yeni amaç fonksiyonu oluşturulur. Yeni amaç fonksiyonu;

$z = 70R+40S+40T+4800$ olur.

2c: Yeni \$/kısıt süresi hesabı yapılarak hangi ürünün önceliğinin en düşük olduğuna bakılır.

Tablo 5.5: D kaynağı üzerindeki işlem süresi ve katkı miktarı

Parametre	Ürün		
	R	S	T
Katkı(dolar)	70	40	40
Kısıt süresi (dakika)	-	80/3	40/3
\$/kısıt süresi	-	3/2	3

2d: Ürün S $Ü_2$ olarak seçilir. KKK_2 eşitliğinden,

$(-5/3)*70 + 80/3S + (40/3)*50 = 1600$, $S = 315/8$ birim bulunur.

2e: S'nin miktarı değiştiği için bir önceki iterasyonda bulunan U miktarının tekrar gözden geçirilmesi gerekir.

$5R+10S+5T+15U = 2400$ eşitliği korunması gerekmektedir. Buradan

$5*70+10*315/8+50*5+15U = 2400$ buradan $U = 375/4$ birim olur. Yeni ürün karması $R=70, S=315/8, T=50$ ve $U=375/4$ olur. $n=3$ için yeni iterasyon yapılır.

İterasyon 3

Adım1: Sistem kısıtının belirlenmesi.

Tablo 5.6: Yeni ürün miktarları için kapasite yüklenmeleri

Kaynak	Yükleme formülü	R=70, S=315/8, T=50, U=375/4 için	Kapasite miktarı (dakika)	Fark (dakika)
A	20R+10S+10T+5U	2762.5	2400	-725/2
B	5R+10S+5T+15U	2400	2400	0
C	10R+5S+10T+10U	2334.375	2400	525/8
D	0R+30S+15T+5U	2400	2400	0

Tablo 5.6’da gösterildiği gibi A kaynağı kapasitesini aşmıştır. KKK₃ olarak atanır.

Adım2: Sistem kısıtının nasıl ortadan kaldırılacağına kararlaştırılması.

2a: $20R+10S+10T+5U = 2400$ eşitliğinden U ve S terimleri çıktıktan sonra $(75/4)R+5T = 1200$ olur.

2b: S değerini amaç fonksiyonundan çıkartırsak $z = 7200+(145/2)R+20T$ olarak yeni amaç fonksiyonu oluşur.

2c: Her ürün için \$/kısıt süresi hesaplanır.

Tablo 5.7: A kaynağı için katkı miktarı ve kısıt süresi

Parametre	Ürün	
	R	T
Katkı (\$)	145/2	20
Kısıt süresi (kaynak A için)	75/4	5
\$/kısıt süresi	3.87	4

2d: $3.87 < 4$ olduğu için miktarı düşürülecek ürün R ürünüdür. 50.67 birime düşerek $(75/4)R + 5T = 1200$ eşitliği sağlanmış olur.

2e: Bundan sonra S miktarının KKK_2 'deki eşitliği sağlamalı. Daha sonra bu miktarın KKK_1 'deki eşitliği sağlaması için geriye dönük ürün miktarları tekrar hesaplanır. Yeni ürün karması $R = 50.57$, $S = 38.17$, $T = 50$ ve $U = 101$ olarak gerçekleşir. $n = 4$ olarak atanır.

İterasyon 4

Adım1: Sistem kısıtının belirlenmesi.

Tablo 5.8: Yeni ürün miktarları için kapasite yüklenmeleri

Kaynak	Yükleme formülü	$R = 50.67$, $S = 38.17$, $T = 50$, $U = 101$ için	Kapasite miktarı (dakika)	Fark (dakika)
A	$20R + 10S + 10T + 5U$	2400	2400	0
B	$5R + 10S + 5T + 15U$	2400	2400	0
C	$10R + 5S + 10T + 10U$	2207.55	2400	192.45
D	$0R + 30S + 15T + 5U$	2400	2400	0

İlk adımda sistemde hiç aşırı yüklenen kaynak olmadığı için algoritma sonlanır. Son ürün karması da bu şekilde gerçekleşmiş olur.

Çalışmanın sonucu tablo 5.9'da özetlenmiştir.

Tablo 5.9: Sonuçların özeti

n	AYK*	KKK _n	Amaç Fonksiyonu	KKK _n kısıtı eşitliği	\$/kısıt süresi	Ü _n	Ürün karması (R, S, T, U)	Z (dolar)
1	A, B, C, D	B	$Z=80R+60S+50T+30U$	$5R+10S+5T+15U=2400$	16, 6, 10, 2	U	70, 60, 50, 80	14100
2	A, D	D	$Z=4800+70R+40S+40T$	$(-5/3)R+(80/3)S+(40/3)T= 1600$	3/2, 3	S	70, 315/8, 50, 375/4	13275
3	A	A	$Z=7200+(145/2)R+20T$	$(75/4)R+5T = 1200$	3.87, 4	R	50.67, 38.17, 50, 101	11873.3

*AYK: Aşırı yüklenen kaynak.

Aryanezhad ve Komijan(2004) geliştirdikleri algoritma ile çok kısıtlı sistemde maksimum akışa ulaşacak optimum ürün karmasına ulaşmışlardır. Daha önce Luebbe ve Finch(1992) ve Patterson(1992) KT'nin geleneksel algoritmasının ürün karması problemlerinde optimum sonuca ulaştığını belirtmişlerdir fakat bu algoritmanın çok kısıtlı sistemlerde etkin olmadığı gösterilmiştir. Bunun üzerine Fredendall ve Lea(1997) geleneksel algoritmayı yeniden düzenleyerek daha yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Ancak Aryanezhad ve Komijan bu algoritmanın da dezavantajlarını bularak kendileri çok daha yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Tüm algoritmaların verilen örnek üzerindeki sonuçları karşılaştırılarak yeni algoritmanın sonuçları aşağıda anlatılmıştır.

5.2 Kısıtlar Teorisi Yaklaşımı ile Optimal Ürün Karması için Geliştirilmiş Algoritma¹

KT'nin beş odaklanma adımından yola çıkılmıştır. Birinci adımda, sistemin darboğazı(kısıtı) belirlenmiştir. Nicel yönteme göre, sistemin darboğazı, kaynak için gerekli kapasitenin mevcut kapasitesine oranı bulunarak hesaplanmıştır. Nitel yönteme göre, üretim atölyeleri, ayrılan(V atölyesi), birleşen(A atölyesi) ve siparişe göre montaj(T atölyesi) olarak sınıflandırılmıştır. Tüm bu sınıflamalar ham madde çeşitliliğine ve son ürüne bağlı olarak yapılmıştır. Her biri darboğazı belirlemek için kullanılan yöntemlerdir. İkinci adımda, planlayıcı akışı en çoklamak için darboğazı nasıl kullanması gerektiğine karar verir. Bu karar, katkı sınırını kullanarak ve ürün sırası için darboğaz üzerindeki zamanın hesaplanması ile oluşturulur. Üçüncü adımda, darboğaz planı geliştirilir ve ileriye ve geriye doğru planlama yapılarak diğer iş merkezleri planlanır. Dördüncü adımda, darboğaz üzerindeki performansın artırılması için gerekli iyileştirmeler düşünülür. Darboğaz üzerinde çalışan operatörün eğitilmesi, iç hazırlık aktivitelerinin dış hazırlık aktivitelerine

¹ M. B. Aryanezhad, A. R. Komijan, "An improved algorithm for optimizing product mix under the theory of constraints", *International Journal of Production Research*, Vol. 42, No. 20, 15 October 2004, pp.4221-4233.

dönüştürülmesi ve hatalı parçaların darboğaza gelmeden önce önlenmesi yapılabilecek iyileştirmelere örnek teşkil etmektedir. Son olarak beşinci adım da KT'nin dinamik yapısını göstermektedir. Tam sayı DP yöntemi ürün karmasını optimum yapsa da formülize edilmesi ve matematiksel modelin çözülmesi her zaman çabuk ve kolay olmayabilmektedir. Bu nedenle, KT literatürde daha anlaşılır görülmüştür.

1990'ların başlarında KT altında oluşturulan geleneksel algoritma ürün karması üzerinde karar vermeyi sağlamış ve bir çok araştırmacı tarafından desteklenmiştir(Luebbe ve Finch(1992), Patterson(1992)). Bu algoritma, katkı payının darboğaz üzerindeki işlem süresine oranını, üretim önceliği olarak kullanmıştır. Aynı zamanda bu algoritmanın tam sayı DP gibi ürün karmasını optimum yapabildiği belirtilmiştir. Fakat, bu algoritmanın iki tip ürün karması probleminde etkin olmadığı açıklanmıştır. Birinci tip problemler, var olan üretim hattına yeni ürün alternatifi ekleme ile ilgili problemler olduğu belirtilmiştir(Lea ve Plenert(1993)). İkinci tip problemler, birden fazla darboğaz içeren problemleri kapsamıştır. Çünkü bu problemlerde algoritma uygun sonuca ulaşmamıştır. Baskın darboğaz kavramı ikinci tip problemler için bir çözüm olarak önerilmiştir. Baskın darboğaz, mevcut kapasitesi ile gerekli kapasitesi arasındaki farkı en büyük olan kaynaktır. Geleneksel algoritmanın verimsizliği için bir fabrika varsayılmıştır. Bu fabrika beş ürün üretmektedir. Bunlar, A, B, C, D ve E ürünleridir. Ürünlerin haftalık talebi, satış fiyatı ve ham madde maliyeti tablo 5.10'da gösterilmiştir.

Tablo 5.10: Her ürün için haftalık talep, satış fiyatı ve ham madde maliyeti.

Ürün	Talep (birim)	Satış Fiyatı (dolar)	Ham madde maliyeti (dolar)	Katkı payı (dolar)
A	50	100	20	100-20=80
B	40	120	50	120-50=70
C	70	150	60	150-60=90
D	10	100	16	100-16=84
E	30	100	30	100-30=70

Her ürünün katkı payı, satış fiyatı ile ham madde maliyeti arasındaki farktır. Fabrikanın dört kaynak kullandığı belirtilmiştir. Kesme, diş açma, delme ve kıvrırma. Her bir ürünün her bir kaynaktaki işleme süresi tablo 5.11’de gösterilmiştir.

Tablo 5.11: Dakika olarak işlem süreleri, mevcut ve gerekli kapasiteler.

Ürün	Kesme	Diş açma	Delme	Kıvrırma
A	20	10	20	20
B	20	40	10	5
C	20	10	5	10
D	20	30	22	40
E	0	40	40	0
Mevcut Kapasite	2400	2400	2400	2400
Gerekli Kapasite	3400	4300	3170	2300
Fark(f _j)	-1000	-1900	-770	100

Tablo 5.11’de gösterildiği gibi, kesme, diş açma, delme kaynakları darboğazdır. Diş açma kaynağı baskın darboğazdır çünkü farkı en büyük olan kaynaktır. Üretim önceliği(\bar{O}_i) katkı payının diş açma kaynağı üzerindeki işlenme süresine bölünerek bulunmuştur.

Ürün	A	B	C	D	E
\bar{O}_i	8	1.75	9	2.8	1.75

Öncelik sırası, C, A, D, B ve E’dir. Öncelik sırasına göre ana üretim çizelgesi(AÜÇ) saptanmıştır.

Tablo 5.12: Geleneksel algoritmanın son AÜÇ ve geliştirilmiş algoritma için başlangıç AÜÇ.

Ürün	Talep (birim)	AÜÇ (birim)	Diş açma		Kesme		Delme	
			Süre (harcanılan) (dakika)	Süre (Kalan)	Süre (harcanılan) (dakika)	Süre (Kalan)	Süre (harcanılan) (dakika)	Süre (Kalan)
C	70	70	700	1700	1400	1000	350	2050
A	50	50	500	1200	1000	0	1000	1050
D	10	0	0	1200	0	0	0	1050
B	40	0	0	1200	0	0	0	1050
E	30	26	1040	160	0	0	1040	10

Tablo 5.12’de gösterildiği gibi ürün karması 50 adet A, 70 adet C ve 26 adet E olarak gerçekleşmiş ve akış;

$$\text{Akış} = 50 \cdot (100 - 20) + 70 \cdot (150 - 60) + 26 \cdot (100 - 30) = 12120 \text{ dolar olmuştur.}$$

Bu çözüm geleneksel algoritmaya göre en iyi mümkün sonuçtur. Çünkü sistemde kısıt oluşturan kaynak kalmamıştır. Yeniden düzenlenen ve geliştirilen algoritmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Tablo 5.12’de görüldüğü gibi baskın darboğaz kaynak etkin kullanılmamıştır ve bu, çözümün optimal olmadığını göstermiştir. Geleneksel algoritma, bu nedenle yeniden düzenlenmiştir(Fredendall ve Lea 1997). Bu algoritmanın hedefleri,

- 1) Baskın darboğazı belirlemek,
- 2) Optimum sonuca ulaşmak için baskın darboğazın kalan zamanını düşürmek,

olarak belirtilmiştir.

Yeniden düzenlenen algoritma düşünüldüğünde, bu algoritma bu hedefleri gerçekten sağlıyor mu sorusu belirmiştir. Bunun için düzenlenen algortmadan kısaca bahsedilmiştir.

i, j sırasıyla ürünü ve kaynak tipini belirtmektedir.

Adım 1: Sistemin darboğazının(kısıtının) belirlenmesi.

- a) Kaynak kapasitesi ile ona olan talep arasındaki farkın hesaplanması

$$f_j = KK_j - \sum_{i=1}^n t_{ij} * D_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{ve} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

KK_j: j kaynağının mevcut kapasitesi.

D_i: i ürününün pazar talebi.

t_{ij}: i ürününün j kaynağı üzerindeki işleme süresi.

- b) Kısıt kümesinin oluşturulması.

$$K = \{DB_1, DB_2, \dots, DB_q\}, \quad q \leq m \quad \text{kısıt kaynak kümesi} \quad f_q \leq 0 \quad \text{ve} \\ f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_q$$

Adım 2: Kısıtların nasıl çözüleceğinin kararlaştırılması.

- a) DB_1 baskın darboğaz olduğu varsayımı ile ürünlerin bu kısıta göre öncelikleri hesaplanır.

$$\ddot{O}_i = KP_i / t_{i,DB1}$$

KP_i : i ürününün katkı payı

DB : darboğaz

- b) DB_1 'in baskın darboğaz olma durumu kontrol edilir.

i) Eğer kısıtlar kümesindeki kaynakların sayısı bire eşitse baskın darboğaz

DB_1 'dir ve

c adımına gidilir.

ii) Eğer q birden büyükse ve her ürün her kaynağı kullanıyorsa darboğaz DB_1

ve sıralı darboğaz kaynaklar DB_2, DB_3, \dots, DB_q 'dur. C adımına gidilir.

iii) Yukarıdaki işlemler olmaz ise darboğaz şu şekilde belirlenir:

- 1) Ürünlerin \ddot{O}_i 'leri aşağıdaki koşullar sağlanana kadar büyükten küçüğe sıralanır.

a) Pazar talebinin karşılanıyor olması.

b) Kısıt kaynakların en az birinin daha fazla ürünün listelenmesi için yeterli kapasiteye sahip olmaması.

- 2) Eğer ilk kaynak DB_1 olarak kullanılmadıysa bu kaynak DB_1 olarak belirlenir.

Daha sonra DB_1 bir arttırılarak DB_2 yapılır. Diğer sıralarda bu şekilde

değiştirilir. Yeni baskın darboğaza göre öncelikler hesaplanarak c

adımına geçilir.

c) Baskın darboğaz kaynağı kullanan tüm ürünlerin öncelikleri azalan sırada

sıralanır. Her ürün mümkün en büyük miktara göre sıralanır. Eğer iki ürünün \ddot{O}_i 'leri eşitse KP_i 'si büyük olan önce sıralanır.

d) Baskın darboğaz tamamen kapasitesini doldurduğunda başka ürünü üretecek yeri olmadığından DB_2 yeni darboğaz olarak atanır. C ve de adımları tüm darboğazlar bitene kadar tekrarlanır.

e) Darboğaz kaynakları kullanmayan ürünler talepleri karşılanana kadar sıralanır.

f) DBq 'da kalan zaman hesaplanır.

$$t_{kalan,q} = KP_{DBq} - \sum_{i=1}^n t_{i,DBq} * Q_i$$

Q_i : Sıralanan i ürününün miktarı.

g) Q_k 'nin azaltılarak bazı Q_i 'lerin arttırılmasının akışı arttırması durumu araştırılır($k < i$).

Komşuluk araştırması bu değişime hangi ürünün uygun olup olmadığını karar verilmesi için oluşturulmuştur. X uygun ürünlerin kümesi olursa, şu şekilde bulunmuştur:

i) For $j=1$ 'den q 'ya

For $i=1$ 'den $(n-1)$ 'e

Eğer $t_{i+1,DBj} > 0$

Sonra eğer $\ddot{O}_{i+1} * (t_{kalan,j} + t_{i,DBj}) / KP_i \geq 1$, sonra (ii) adımına gidilir.

Değilse $i=i+1$.

Değilse $j=j+1$.

ii) Eğer $Q_i < D_i$ veya $Q_{i+1} > D_{i+1}$

Sonra $k=i$ yapılır, (iii) adımına gidilir.

Değilse $i=i+1$ ve (i) adımına gidilir.

(iii) $X=\{\ddot{U}_k, \ddot{U}_{k+1}, \dots, \ddot{U}_n\}$.Eğer X kümesinin elemanı yoksa mevcut ürün

karması optimal sonuçtur ve algoritma sonlanır.Değilse adım 2(h)'ye gidilir.

h) Ürün k 'nin miktarı bir birim düşürülür. Bu durum, darboğaz kaynak

üzerinde süre yaratıyorsa bu süreyi kullanmak için uygun olabilecek ürünler

sıralanır. Sıralama \ddot{O}_i 'lerine göre azalan sırada yapılır. Bu değişimden

kazanılan akış hesaplanır.

$$\text{Kazanılan akış} = \Delta Q_k * KP_k + \Delta Q_{k+1} * KP_{k+1} + \dots + \Delta Q_n * KP_n$$

ΔQ_k : \ddot{U}_k 'nin birim olarak değişim miktarı.

Kazanım sıfırdan küçük olduğunda veya ürünün miktarı talebini geçtiğinde algoritma sonlanır.

Yukarıda belirtilen fabrika örneği bu algoritma ile şöyle çözülmüştür:

Adım1: Sistem kısıtının belirlenmesi.

Gerekli kapasite ile mevcut kapasite arasındaki farklar tablo5.11'de gösterilmişti. Diş açma, kesme ve delme işlemleri darboğazlardır ve DB_1 , DB_2 ve DB_3 olarak adlandırılırlar. Bu sayede $K=\{\text{diş açma, kesme, delme}\}$ kümesi oluşur.

Adım2: Kısıtların nasıl çözüleceğine karar verilmesi.

a) Ürünlerin öncelikleri belirlenir.Baskın darboğaz diş açma işlemidir. Buna göre ürün öncelikleri $\ddot{O}_i=KP_i/t_{i,DB1}$ formülünden

Ürün	A	B	C	D	E
Ö _i	8	1.75	9	2.8	1.75

olarak hesaplanır.

b) Birden fazla darboğaz olduğundan ve her ürün her darboğazı kullanmadığından yukarıda belirtilen algoritmanın (b-iii) adımı uygulanır.

Tablo 5.13: Baskın darboğazın seçiminin analizi.

Ürün	Talep (birim)	AÜP* (birim)	Diş açma		Kesme		Delme	
			Süre (harcanılan) (dakika)	Süre (Kalan)	Süre (harcanılan) (dakika)	Süre (Kalan)	Süre (harcanılan) (dakika)	Süre (Kalan)
C	70	70	700	1700	1400	1000	350	2050
A	50	50	500	1200	1000	0	1000	1050
D	10	10	300	900	200	-200	220	830
B	40	22.5	900	0	450	-650	225	605
E	30	0	0	0	0	-650	0	605

*AÜP: Ana üretim planı.

Tablo 5.13’de gösterildiği gibi kesme işlemi ilk tükenen darboğazdır. Böylece, kesme işlemi DB₁, diş açma işlemi DB₂ ve delme işlemi DB₃ olarak belirlenir.

c) Kesme işlemi üzerindeki her ürünün işlem süresi kullanılarak yeni bir ürün önceliği tablosu oluşturulur.

Ürün	A	B	C	D	E
Ö _i	4	3.5	4.5	4.2	-

C ürünün diğer ürünlerden önce üretilmelidir. Tablo 5.14’de gösterildiği gibi darboğazlar 70 tane C’nin üretilmesi için gerekli kapasiteye sahiptir.

Tablo 5.14: Yeniden düzenlenmiş algoritma için başlangıç AÜÇ.

Ürün	Talep (birim)	AÜP* (birim)	Kesme		Diş açma		Delme	
			Süre (harcanılan) (dakika)	Süre (Kalan)	Süre (harcanılan) (dakika)	Süre (Kalan)	Süre (harcanılan) (dakika)	Süre (Kalan)
C	70	70	1400	1000	700	1700	350	2050
D	10	10	200	800	300	1400	220	1830
A	50	40	800	0	400	1000	800	1030
B	40	0	0	0	0	1000	0	1030
E	30	25	25	0	1000	0	1000	30

70 adet C ürününün üretilmesinden sonra D’nin üretilmesi gerekiyor. Sonra A üretiliyor. Kesme işlemi 40 adet A’dan sonra tükendiği için diş açma işlemi baskın darboğaz olarak davranır.

d) Tablo 5.14’e göre B üretilmiyor çünkü kesme işleminin kapasitesi tükenmiştir. E ürünü kesme işlemini kullanmadığı için diş açma kaynağının kapasitesi bitene kadar üretilir. Böylece ürün karması 40 adet A, 70 adet C, 10 adet D ve 25 adet E olmuştur.

e) Listelenecek başka ürün kalmamıştır.

f) Kesme işleminde yer yoktur ve başlangıç akışı 12090 dolardır.

g) Bu bölümde X kümesi oluşturulur. Tablo 5.15’de gösterildiği gibi ürün D ilk üründür. Çünkü

$\ddot{O}_{i+1}^*(t_{kalan,j}+t_{i,DBj})/KP_i$ işleminin sonucu 1’den büyüktür. Böylece $X=\{D, A, B, E\}$.

Tablo 5.15: X kümesinin oluşturulması

j	i	$t_{i+1,DBj}$	$\ddot{O}_{i+1}^*(t_{kalan,j}+t_{i,DBj})/KP_i$
Kesme	C	$t_{D,DB1} = 20 > 0$	$\ddot{O}_D^*(t_{kalan,j}+t_{C,DB1})/KP_C = 4.2*(0+20)/90 < 1$
Kesme	D	$t_{A,DB1} = 20 > 0$	$\ddot{O}_A^*(t_{kalan,j}+t_{D,DB1})/KP_D = 4*(0+20)/84 < 1$
Kesme	A	$t_{B,DB1} = 20 > 0$	$\ddot{O}_B^*(t_{kalan,j}+t_{A,DB1})/KP_A = 3.5*(0+20)/80 < 1$
Diş açma	C	$t_{D,DB2} = 30 > 0$	$\ddot{O}_D^*(t_{kalan,j}+t_{C,DB2})/KP_C = 4.2*(0+10)/90 < 1$
Diş açma	D	$t_{A,DB2} = 10 > 0$	$\ddot{O}_A^*(t_{kalan,j}+t_{D,DB2})/KP_D = 4*(0+30)/84 > 1$

h) Tablo 5.16’de gösterildiği gib kesme, diş açma ve delme üzerinde kalan süre sırasıyla 0, 0 ve 30 dakikadır. Bir birim D’nin azaltılması bir birim A’nın artırılmasını sağlamaktadır. A’nın 41 birime çıkartılmasından sonra darboğazlarda kalan süreler 0, 20 ve 32 dakikadır. Daha fazla ürünün artırılması is mümkün değildir. Akış 12086 dolara düştüğü için algoritma sonlanır ve 40 birim A, 70 birim C, 10 birim D ve 25 birim E üretilir. Bu durumda maksimum akış 12090 dolardır.

Tablo 5.16: Komşuluk Araştırması

	Kesme kaynağında kalan süre	Diş açma kaynağında kalan süre	Delme kaynağında kalan süre	Akış
A=40, B=0, C=70, D=10, E=25	0	0	30	12090
A=41, B=0, C=70, D=9, E=25	0	20	32	12086

Yukarıdaki sonuçlar, geleneksel algoritmanın akışını 12120 dolar, yeniden düzenlenen algoritmanın akışını 12090 dolar olduğunu göstermiştir. Burada geleneksel algoritma daha çok akış sağlamış ancak kaynaklarda daha fazla atıl sürelerin kalmasına neden olmuştur. Aryanezhad ve Komijan'nın geliştirdikleri algoritma hem daha fazla akış sağlamış hem de atıl süreleri minimuma indirmiştir.

Aryanezhad ve Komijan'nın algoritmalarının adımları aşağıda belirtilmiştir.

i ve j sırasıyla ürünü ve kaynağı göstermektedir.

Adım1: Sistem darboğazının belirlenmesi.

Her kaynak için mevcut kapasite ile gerekli kapasite arasındaki fark hesaplanır.

$$f_j = KP_j - \sum_{i=1}^n t_{i,j} * D_i \quad i=1, 2, \dots, n \text{ ve } j=1, 2, \dots, m$$

Kapasiteyi aşan kaynaklar darboğazlardır. Darboğazlar, farkları büyükten küçüğe olacak şekilde sıralanır.

Adım2: Her bir darboğaz için ürün önceliği bulunur.

$\bar{O}_{i,DBk} = KP_i / t_{i,DBk}$ aşağıdaki prosedürler her bir darboğaz için uygulanır.

- 1) Darboğaz üzerinde işlem gören ürünlerin öncelikleri azalan sırada sıralanır. Aynı önceliğe sahip olanların katkı payları azalan sırada sıralanır.
- 2) Darboğaz üzerinde işlem görmeyen ürünler katkı paylarına göre azalan sırada sıralanır. Aynı paya sahipler rasgele seçilerek sıralanır.
- 3) Listenin sonundaki serbest ürünler katkı payları azalan sırada sıralanır. Böylece her darboğaz ürünlerin üretim önceliğine sahip olur.

Adım3: Başlangıç mümkün ana üretim çizelgesinin oluşturulması.

Her ürünün DB_1 'e göre öncelik sırası oluşturulur ve diğer darboğazların limitli kapasitelerine göre sıralanır. Mümkün ana üretim çizelgesinin oluşturulması için kapasite limitlerinin dikkate alınması gereklidir.

Adım4: Akışın arttırılması için mümkün alternatiflerin belirlenmesi.

Eğer bir ürünün bir birim azaltılması diğer ürünü bir birim arttırıyor ve akışı da arttırıyorsa bu işlem yapılır. Örneğin, 1 birim X ürününün azaltılması Y'nin miktarında artışa neden olsun. Bunun mümkün alternatif olabilmesi için şu koşulları sağlaması gerekir:

- a) Başlangıç AÜÇ'de X, Y'den öncelikli olmalı.
- b) Ürün Y üç koşulu sağlamalı:
 - i) Talebinin tam karşılanmamış olması.
 - ii) Öncelik tablolarının en az bir tanesinde X'den önce gelmeli.
 - iii) X'den önce geldiği durumlarda talebi karşılanmayan ürünlerden önce gelmeli.

Adım5: En iyi alternatif seçilir.

Adım 4'te hiçbir alternatif bulunmadıysa adım 3'deki durum optimal sonuçtur. Eğer bir alternatif gerçekleşmiş ise adım 6'ya geçilir. Aksi takdirde, optimal sonuç için en iyi alternatif seçilir. Bu nedenle her bir alternatif için, darboğazda kalan süre olduğu durumda 1 birim Y'nin artması için ne kadar miktar X'in azalacağı hesaplanır.

$$Z = \sum_{k=1}^{q \leq m} (-NR_{x,DB_k} + R_{Y,DB_k})$$

En büyük Z seçilir.

Adım6: Talebi karşılanmayan ürünlerin kümesi oluşturulur.

Y dışındaki tüm talebi karşılanmayan ürünler katkı paylarına göre azalan sırada sıralanır ve H kümesi oluşturulur. Payları aynı olanlar rasgele seçilir.

Adım7: Düşürülecek en fazla X miktarına karar verilir.

Bir birim Y'yi arttırmak için ne kadar birim X'in düşürüleceğine karar verilir. Darboğaz k'ye göre Y, X'den öncelikli ürün olduğu varsayımı ile $f = \frac{\ddot{O}_{Y,DBk}}{\ddot{O}_{X,DBk}}$ hesaplanır ve f dakikada ne kadar X'in üretilemeyeceği hesaplanır. Diğer bir deyişle

darboğaz k üzerinde 1 dakikada ne kadar Y üretileceği hesaplanır. Tam sayıya yuvarlanarak bu miktar n değişkenine atanır. Bu işlemler Y 'nin öncelikli olduğu tüm durumlar için yapılarak en büyük n değeri alınır. n 'nin en küçük değeri 1 olmalı. Çünkü 1 birim Y 'yi arttırmak için 1 birim X düşürülecek. Eğer $n = 0$ çıkarsa yine de 1 yapılarak işleme devam edilir.

Adım8: Düşürme ve attırma süreci.

Bir birim Y 'yi üretmek için darboğazda gerekli süre olup olmadığı kontrol edilir. Eğer varsa;

- 1) Y 'nin tüm talebinin karşılanması durumunda Y , H kümesinin ilk elemanı olur ve adım6'ya gidilir.
- 2) Kapasite yetersiz olduğundan Y 'nin attırılamaması. Bu durumda H kümesinin üye numarası artırılır ve bu kurallar diğer üyelerinin talepleri karşılanana ve kapasite tükenene kadar diğer üyelere uygulanır. Adım 8 tekrarlanır.

Eğer süre yoksa adım 8 tekrarlanır. Y ürününü, X ürününü düşürerek arttırmak mümkün olmayınca durulur.

Bu algoritmaya göre yukarıda belirtilen örnek tekrar çözülmüştür:

Adım1: Sistemin darboğazının belirlenmesi.

Mevcut kapasiteler ve gerekli kapasiteler arasındaki farklar tablo 5.11'de gösterilmişti. Kesme, diş açma ve delme işlemlerinin darboğaz olduğu görülmüştü. f_j 'leri azalan sıraya göre sıralandığında diş açma, kesme ve delme sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü darboğazlardır.

Adım2: Her bir darboğaza göre üretim önceliğinin belirlenmesi.

Örneğin, diş açma işlemi için öncelik sırası şöyledir:

Öncelikle her ürün için katkı payı hesabı yapılır. Tablo 5.10'da bu payın hesabı ve ne olduğu belirtilmişti. Öncelikler de,

$\ddot{O}_{i,DBj} = KP_i/t_{A,DBj}$ formülünden hesaplanır.

Ürün	A	B	C	D	E
$\ddot{O}_{i,DB1}$	8	1.75	9	2.8	1.75

Tüm ürünler bu önceliklere göre azalan sırada sıralanır. Böylece dış açma işlemine göre üretim önceliği sırası C, A, D, B ve E olarak belirlenir. Aynı şekilde delme ve kesme işlemleri için de üretim önceliği belirlenir.

Ürün	A	B	C	D	E
$\ddot{O}_{i,DB2}$	4	3.5	4.5	4.2	-

Ürün	A	B	C	D	E
$\ddot{O}_{i,DB3}$	4	7	18	3.82	1.75

Öncelik sırası darboğaz 1'e göre = C, A, D, B, E

Öncelik sırası darboğaz 2'ye göre = C, D, A, B, E

Öncelik sırası darboğaz 3'e göre = C, B, A, D, E

Adım3: Başlangıç ana üretim çizelgesinin oluşturulması.

Belirlenen üretim sırası önceliğine göre dış açma işlemi için AÜÇ oluşturulur. Tablo 5.12'de gösterildiği gibi C ürünü öncelikle üretilir. Tüm darboğazlar 70 birim C ürünü üretebilecek kapasitededir. A ürünü ikinci sıradadır ve 50 birim üretim için yeterli süre vardır. D'nin üretimi için yeterli süre yoktur. Çünkü kesme işleminin süresi bitmiştir. Aynı nedenle B'yi üretmek de mümkün değildir. E ürünü kesme işlemini kullanmamaktadır. Bu nedenle dış açma ve delme işlemlerindeki kalan süre kadar üretilir. Delme işleminde kalan süre 26 birim E üretimi için yeterlidir. Tablo 5.12'de olduğu gibi başlangıç ana üretim çizelgesi 70 C, 50 A ve 26 E üretimini önermektedir. Bu ürün karması dış açma işlemine göre optimal ürün karmasıdır.

Ama bu sonuç delme ve kesme işlemleri için optimal olmayabilir. Bu nedenle onların da hesaplanması gerekmektedir.

Adım4: Mümkün alternatiflerin akış artışını sağlamak için karşılaştırılması.

Bir alternatif, C'yi azaltarak A'yı arttırmak olabilir. C en öncelikli ürün olduğu için bu mümkün değildir. Ayrıca A'nın tüm talebi de karşılanmıştır. Diğer bir alternatif A'nın azaltılarak D'nin artırılması olabilir. Bu mümkün olabilecek bir işlemdir çünkü D'nin tüm talebi karşılanmamış, kesme işlemine göre A'dan öncelikli üründür ve D ürünü başka talebi karşılanmayan ürünlerden de önce gelmiştir(B ve E). Böylece ilk mümkün alternatif A'nın azaltılarak D'nin artırılmasıdır. Aynı şekilde A'nın azaltılması ve B'nin artırılması belirlenmiştir.

Adım5: En iyi alternatifin seçilmesi.

Bu adımda en iyi alternatif seçilerek optimum sonuca ulaşılır. Birinci alternatife göre, eğer 1 birim A azaltılırsa darboğazlarda oluşan ek süre 170, 20 ve 30 dakikadır. 1 birim D'yi üretmek için 30, 20 ve 22 dakikaya ihtiyaç vardır. Bu durumda A 1 birim azaltılırken D 1 birim artırılır. Böylece $n=1$ atanır ve Z_1 hesaplanır.

$$Z_1 = -8 + 2.8 - 4 + 4.2 - 4 + 3.82 = -5.18$$

Negatif sayılar A'nın azaltılmasının istenmediğini, pozitif sayılar ise D'nin artırılması durumunu göstermektedir. Z darboğazlar üzerindeki bu bütünleşik görüşü göstermektedir. $n=2$ için Z_2 hesaplanır.

$$Z_2 = -8 + 1.75 - 4 + 3.5 - 4 + 7 = -3.75$$

Z_2 Z_1 'den daha büyük olduğu için ikinci alternatif seçilir. Bu alternatifin A'yı azaltırken B'yi arttırdığında akışın da azalabileceği düşünülebilir. Çünkü A'nın katkı payı B'den daha yüksektir. Ancak bu işlem sonucunda darboğazlarda oluşan süre boşluklarına başka ürünlerin yerleştirilebileceği ve böylece akışın yine artırılacağı bilinmelidir. Birçok durumda akışın düşebileceği durumlar olabilir. Fakat en sonunda ilk durumdaki akışa göre artış sağlayan alternatif optimum sonucu verecektir.

Adım6: Talebi karşılanmayan ürün kümesinin oluşturulması.

Talebi karşılanmayan ürünler (B dışında) D ve E'dir. D'nin KP'si E'nin KP'sinden büyük olduğu için D kümede önce, E sonra gelir($H=\{D, E\}$). Bu sayede önceki adımda darboğaz üzerinde oluşan boş sürelerle D ve E ürününün miktarının arttırılabileceği ortaya çıkar. Böylece akış da arttırılmış olur.

Adım7: Azaltılabilecek maksimum ürün miktarının belirlenmesi.

Delme işlemi B'nin A'ya göre öncelik gösterdiği tek işlemdir. Bu durumda A'nın düşürülürken B'nin arttırılması kesme işlemi için de geçerlidir. Böylece,

$$f = \frac{\ddot{O}_{B,DB3}}{\ddot{O}_{A,DB3}} = 7/4 = 1.75. \ddot{O}_{B,DB3} \text{ şu anlama gelmektedir:}$$

Eğer delme işleminde B üretimi için 1 dakikalık süre elde edilirse akışa 7 dolarlık katkısı olur. Eğer A üretimi için süre elde edilirse akışa 4 dolarlık katkısı olur. Oranın 1.75 çıkması çok büyük bir fark olmadığını göstermiştir. Eğer delme işlemi 1.75 dakikada A üretilmezse $f/t_{A,DB3} = 1.75/20 = 0.0875$ birim A üretilmeyecektir. Diğer deyişle, delme işlemi 1 dakikada $1/10=0.1$ birim B işler. 1 birim B'yi arttırmak için azaltılabilecek en fazla A miktarı $0.0875/0.1=0.875$. Birden küçük olduğu için bire tamamlanır. Böylece 1 birim B'yi arttırmak için 1 birim A azaltılır ve $n=1$ olur.

Adım8: Azaltma ve arttırma süreci.

Bu süreç tablo 5.17'de gösterilmiştir. Başlangıç AÜP 50 A, 70 C ve 26 birim E'yi üretmeyi önermişti. Eğer 1 birim A azaltılırsa ($A=49$) kesme işleminde kalan süre 1 birim B'nin üretimi için yeterlidir($B=1$). Bu işlemden sonra kesme ve delme işlemlerinde kalan süre D ve E'nin üretimi için yeterli değildir. Diğer 1 birimlik A düşüşü ($A=48$) kesme işleminde B için yer açmıştır($B=2$). B artarken kesme ve delme işlemlerinde D ve E için yeterli süre kalmamaktadır. A'nın 47 birime düşmesi $B=3$ işlemini sağlar. Bundan sonra kesme işleminin kapasitesi dolmuştur. D'yi arttırmak mümkün değildir ancak diş açma ve delme işlemlerinde kalan süreler 1 birim E'nin artışına olanak verir($E=27$). $A = 46$ olduğunda tam 1 birimlik B için kesme işleminde yer açıldığından $E=4$ olabilir. $A = 45$ olduğunda B için diş açmada kalan süre 10 dakikadır. Ancak B'nin diş açma işlemi 40 dakika sürmektedir. Bu

durumda 2 birim A'nın azaltılması gerekmektedir. Yani $n = 2$ olması gerekir. Fakat $n = 1$ olduğu için algoritma sonlanır ve optimum akış hesaplanır.

$$47*80+3*70+70*90+27*70 = 12160 \text{ dolar.}$$

Tablo 5.17: Azaltma ve arttırma süreci

	Kesme kaynağında kalan süre (dakika)	Diş açma kaynağında kalan süre (dakika)	Delme kaynağında kalan süre (dakika)	Akış (dolar)
A=50, B=0, C=70, D=0, E=26	160	0	10	12120
A=49, B=1, C=70, D=0, E=26	130	0	20	12110
A=48, B=2, C=70, D=0, E=26	100	0	30	12100
A=47, B=3, C=70, D=0, E=27	30	0	0	12160(optimum)
A=46, B=4, C=70, D=0, E=27	0	0	10	12150
A=45, B=4, C=70, D=0, E=27	10	20	30	12070

Problemi çözmek için tamsayı DP kullanıldığında karar değişkenleri ürünlerin üretim miktarları olur. Amaç fonksiyonu akışı en çoklamaktır. Fonksiyondaki katsayılar ürünlerin katkı paylarıdır. Kaynak kapasiteleri ve pazar talepleri modelin kısıtlarını oluşturur.

$$\text{Maksimum } z = 80*A+70*B+90*C+84*D+70*E$$

Hedef

$$20*A+20*B+20*C+20*D \leq 2400 \text{ (kesme işlemi)}$$

$$10*A+40*B+10*C+30*D+40*E \leq 2400 \text{ (diş açma işlemi)}$$

$$20*A+10*B+5*C+22*D+40*E \leq 2400 \text{ (delme işlemi)}$$

$$20*A+5*B+10*C+40*D \leq 2400 \text{ (kıvrırma işlemleri)}$$

$$A \leq 50$$

$$B \leq 40$$

$$C \leq 70$$

$$D \leq 10$$

$$E \leq 30$$

A, B, C, D ve E değerleri pozitif ve tamsayıdır.

Modelin sonucu 47 birim A, 3 birim B, 70 birim C ve 27 birim E üretilmesi gerektiğini ve akışın 12160 dolar olacağını gösterir. Çalışmada geliştirilen algoritma sonucu ile aynı sonucu vermiştir.

Çalışmada geliştirilen algoritmanın avantajları ve çalışmanın başında belirtilen yeniden düzenlenmiş algoritmanın dezavantajları şöyle belirtilmiştir:

- 1) Herhangi bir algoritmanın avantajlarından birisi basitliğidir. Önce belirtilen algoritma bu avantajı sağlamamıştır ama geliştirilen algoritma basit ve düzenlidir.
- 2) Başlangıçtaki algoritma her durumda optimum sonucu vermezken, geliştirilen algoritma bunu sağlamıştır.
- 3) Başlangıçtaki algoritma komşuluk araştırması yaparken zaman kaybına neden olmaktadır. Fakat geliştirilen algoritma başlangıç çözüme ulaştıktan sonra mantıksal kurallarla optimum sonuca en iyi yoldan ulaşmaya çalışarak zamanı iyi kullanmayı sağlamıştır. Optimum sonucu vermeyecek çözümlerle uğraşılmamıştır.
- 4) Başlangıçtaki algoritma karar verirken sadece baskın darboğaz üzerinde dururken geliştirilen algoritma tüm darboğazlar üzerinde durarak karar vermiştir.

Sonuç olarak, geleneksel algoritma ve onun yeniden düzenlenmesinden oluşan algoritmanın her durumda optimum sonucu vermediği belirtilmiştir. Özellikle çoklu

kısıt sistemlerinde bu durumun varlığından bahsedilmiştir. Bu algoritmaların en belirgin olumsuzluklarının sadece baskın darboğazı düşünmeleri olduğu vurgulanmıştır. Bu durum planlayıcının sadece baskın darboğazı düşünmesini, diğerlerini dikkate almamasını gerektirmiştir. Ancak sistemde birden fazla darboğaz olması problemin çok amaçlı karar verme problemine dönüştürmektedir. Bu gerçek düşünüldüğünde, geliştirilen algoritma tüm darboğazların karar aşamasında hepsinin dikkate alınmasına olanak tanımaktadır. Diğer algoritma sadece baskın darboğazı dikkate alarak tek amaçlı problem gibi düşünüp problemi çözmüştür. Geliştirilen algoritma, başlangıç AÜÇ'ye ulaşarak tüm darboğazların yönetiminde optimum sonuca en iyi ulaşılacak yolu bulmaktadır. Bir sayısal yöntem olarak çok kısıtlı sistemde problemi çözmektedir. Burada, tüm kullanılan algoritmalar ürünlerin teslim tarihlerinin aynı ve bilinen zamanlarda olduğu varsayımından yola çıkmıştır.

6. KISITLAR TEORİSİ YAKLAŞIMININ ÇELİK KAPI ÜRETEN FİRMA ÜZERİNDE UYGULANMASI

Öncelikle firmanın kaynak kapasiteleri belirlenerek sistemin tek kısıtlı mı yoksa çok kısıtlı mı olduğu belirlenmiştir. Daha sonra Aryanezhad ve Komijan'ın geliştirdikleri algoritmaya göre firmanın kısıt problemi çözülmüştür. Çalışmanın yapıldığı firma, küçük ölçekli çelik kapı üretim atölyesinden oluşmaktadır. Atölyede iki model çelik kapı üretilmektedir. Bu modeller kullanılan hammadde kalitesine göre farklılık göstermektedir. Firma bu modellere lüks ve ekonomik çelik kapı adını vermiştir. Her iki kapı modeli için hammadde olarak, sac ve ahşap kısım için mdf kullanılmaktadır. Modellerin her birinde 2 adet mdf ve sac kullanılmaktadır. Lüks model için 12 mm'lik, ekonomik model için 8 mm'lik mdf kullanılmaktadır. Burada mdf kalınlıklarının farklı olmasından dolayı kapı kalitesi değişmekte ve 2 ayrı model ortaya çıkmaktadır. Firma, 12 mm'lik bir adet mdf için 15 YTL, 8 mm'lik bir adet mdf için 8 YTL ödemektedir. Her kapıda 2 adet mdf kullanıldığından, 1 adet lüks kapı için mdf maliyeti:

$$15 \times 2 = 30 \text{ YTL,}$$

1 adet ekonomik kapı için mdf maliyeti:

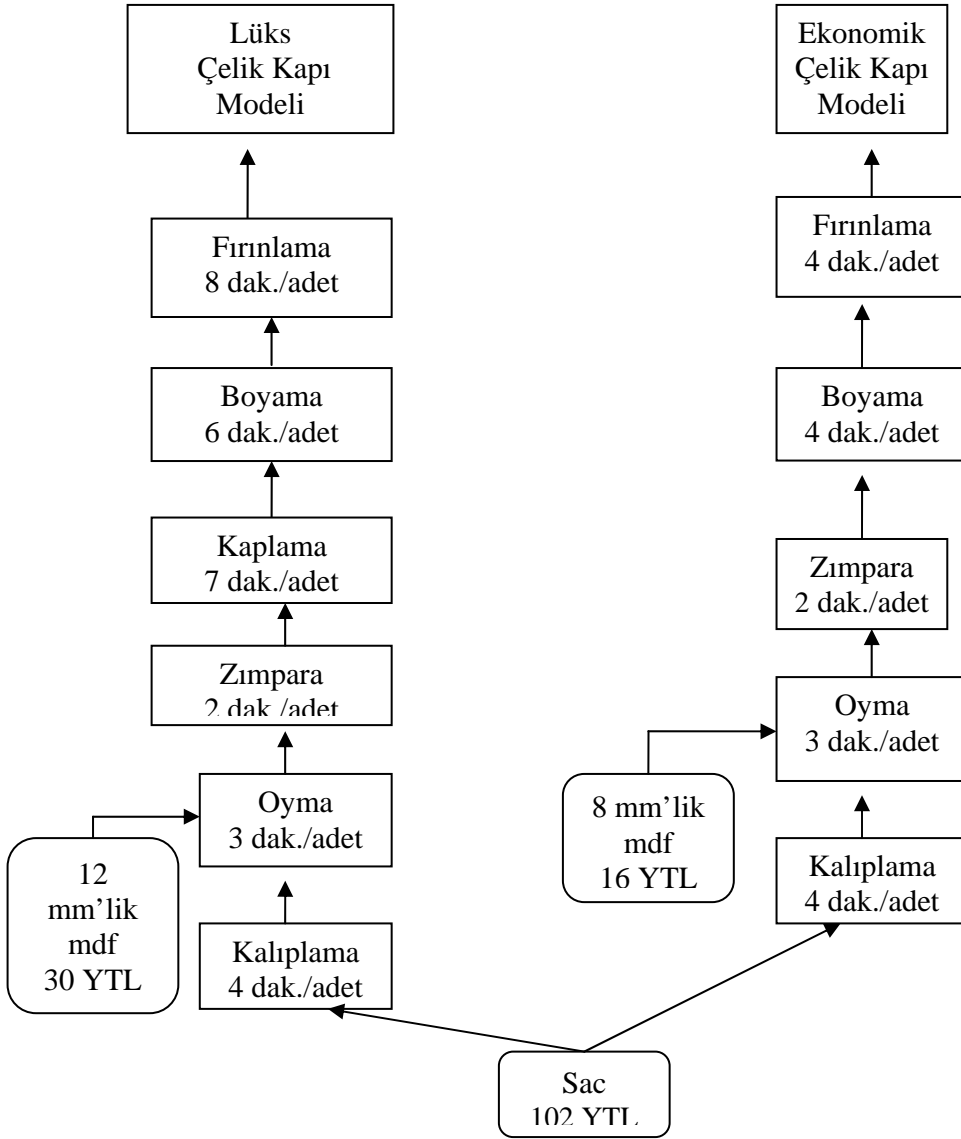
$$8 \times 2 = 16 \text{ YTL olarak gerçekleşmektedir.}$$

Tüm modellerde sac kullanılmaktadır ve bir kapıda toplam 85 kilo sac kullanılmaktadır. 1 kilo sacın maliyeti 1,2 YTL olduğundan toplam sac maliyeti $85 \times 1,2 = 102$ YTL olmaktadır.

Bunun sonucunda, 1 adet lüks kapı için toplam hammadde maliyeti

$$102 + 30 = 132 \text{ YTL,}$$

1 adet ekonomik kapı için toplam hammadde maliyeti $102 + 16 = 118$ YTL'dir. Aşağıda ürünlerin üretim planları gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Ürünlerin kaynak kullanım miktarı ve hammadde maliyeti.

Lüks çelik kapı modelinin satış fiyatı 1500 YTL, ekonomik çelik kapı modelinin satış fiyatı 900 YTL olarak belirlenmiştir. KT yaklaşımı, ürünlerin katkı paylarını satış fiyatından hammadde maliyetini çıkartarak hesaplamaktadır. Buna göre her modelin katkı payı şu şekilde olmaktadır:

Tablo 6.1: Ürünlerin satış fiyatları, talepleri, hammadde maliyetleri ve katkı payları.

Ürün	Birim Satış Fiyatı	Haftalık talep miktarı (adet)	Birim başına hammadde maliyeti	Birim başına katkı payı
Lüks	1500 YTL	150	132 YTL	1500 – 132 = 1368 YTL
Ekonomik	900 YTL	350	118 YTL	900 – 118 = 782 YTL

Atölye haftanın 6 günü, günde 7 saat, 1 vardiya çalışmaktadır. Bu durumda atölye,

$6 * 7 * 60 = 2520$ dakika çalışma kapasitesine sahiptir. Ancak bu süre hiçbir aksama ve dinlenme olmadan gerçekleşen süredir. Atölyedeki makinelerin verimlilikleri farklı olması ve her gün 1 saat yemek molası ve 15 dakikalık 2 adet çay molası olması nedeni ile makinelerin kapasiteleri ve süreden faydalanma oranı farklı olmaktadır.

Günlük faydalanma oranı,

$1 - 1,5 / 7 = 0,79$ dur. Dolayısı ile, 2520 dakikalık çalışma süresinin %79'u kullanılmaktadır. Buradan yeni süre,

$2520 * 0,79 = 1990,8$ dakika olmaktadır.

Makinelerin verimlilikleri de farklı olmaktadır. Çünkü her makine başında çalışan elemanın becerileri ve dikkat unsurları farklıdır. Ayrıca makinelerin kullanım ömürlerinin değişik olması da verimliliklerinin farklı olmasına neden olmaktadır.

Aryanezhad ve Komijan'ın geliştirdikleri algoritma adımları kullanılarak problem çözülecektir.

i ve j sırasıyla ürünü ve kaynağı göstermektedir.

Adım1: Sistem darboğazının belirlenmesi.

Her kaynak için mevcut kapasite ile gerekli kapasite arasındaki fark hesaplanır.

$$f_j = KP_j - \sum_{i=1}^n t_{i,j} * D_i \quad i=1, 2, \dots, n \text{ ve } j=1, 2, \dots, m$$

Kapasiteyi aşan kaynaklar darboğazlardır. Darboğazlar, farkları büyükten küçüğe olacak şekilde sıralanır.

Adım2: Her bir darboğaz için ürün önceliği bulunur.

$\ddot{O}_{i,DBk} = KP_i/t_{i,DBk}$ aşağıdaki prosedürler her bir darboğaz için uygulanır.

- 1) Darboğaz üzerinde işlem gören ürünlerin öncelikleri azalan sırada sıralanır. Aynı önceliğe sahip olanların katkı payları azalan sırada sıralanır.
- 2) Darboğaz üzerinde işlem görmeyen ürünler katkı paylarına göre azalan sırada sıralanır. Aynı paya sahipler rasgele seçilerek sıralanır.
- 3) Listenin sonundaki serbest ürünler katkı payları azalan sırada sıralanır. Böylece her darboğaz ürünlerin üretim önceliğine sahip olur.

Adım3: Başlangıç mümkün ana üretim çizelgesinin oluşturulması.

Her ürünün DB_1 'e göre öncelik sırası oluşturulur ve diğer darboğazların limitli kapasitelerine göre sıralanır. Mümkün ana üretim çizelgesinin oluşturulması için kapasite limitlerinin dikkate alınması gereklidir.

Adım4: Akışın arttırılması için mümkün alternatifler belirlenir.

Eğer bir ürünün bir birim azaltılması diğer ürünü bir birim arttırıyor ve akışı da arttırıyorsa bu işlem yapılır. Örneğin, 1 birim X ürününün azaltılması Y'nin miktarında artışa neden olsun. Bunun mümkün alternatif olabilmesi için şu koşulları sağlaması gerekir:

- c) Başlangıç AÜÇ'de X, Y'den öncelikli olmalı.
- d) Ürün Y üç koşulu sağlamalı:
 - iv) Talebinin tam karşılanmamış olması.
 - v) Öncelik tablolarının en az bir tanesinde X'den önce gelmeli.

- vi) X'den önce geldiği durumlarda talebi karşılanmayan ürünlerden önce gelmeli.

Adım5: En iyi alternatif seçilir.

Adım 4'te hiçbir alternatif bulunmadıysa adım 3'deki durum optimal sonuçtur. Eğer bir alternatif gerçekleşmiş ise adım 6'ya geçilir. Aksi takdirde, optimal sonuç için en iyi alternatif seçilir. Bu nedenle her bir alternatif için, darboğazda kalan süre olduğu durumda 1 birim Y'nin artması için ne kadar miktar X'in azalacağı hesaplanır.

$$Z = \sum_{k=1}^{q \leq m} (-NR_{x,DB_k} + R_{Y,DB_k})$$

En büyük Z seçilir.

Adım6: Talebi karşılanmayan ürünlerin kümesi oluşturulur.

Y dışındaki tüm talebi karşılanmayan ürünler katkı paylarına göre azalan sırada sıralanır ve H kümesi oluşturulur. Payları aynı olanlar rasgele seçilir.

Adım7: Düşürülecek en fazla X miktarına karar verilir.

Bir birim Y'yi arttırmak için ne kadar birim X'in düşürüleceğine karar verilir. Darboğaz k'ye göre Y, X'den öncelikli ürün olduğu varsayımı ile $f = \frac{\ddot{O}_{Y,DBk}}{\ddot{O}_{X,DBk}}$ hesaplanır ve f dakikada ne kadar X'in üretilemeyeceği hesaplanır. Diğer bir deyişle darboğaz k üzerinde 1 dakikada ne kadar Y üretileceği hesaplanır. Tam sayıya yuvarlanarak bu miktar n değişkenine atanır. Bu işlemler Y'nin öncelikli olduğu tüm durumlar için yapılarak en büyük n değeri alınır. n'nin en küçük değeri 1 olmalı. Çünkü 1 birim Y'yi arttırmak için 1 birim X düşürülecek. Eğer n 0 çıkarsa yine de 1 yapılarak işleme devam edilir.

Adım8: Düşürme ve attırma süreci

Bir birim Y'yi üretmek için darboğazda gerekli süre olup olmadığı kontrol edilir. Eğer varsa;

- 1) Y'nin tüm talebinin karşılanması durumunda Y, H kümesinin ilk elemanı olur ve adım6'ya gidilir.
- 2) Kapasite yetersiz olduğundan Y'nin attırılamaması. Bu durumda H kümesinin üye numarası arttırılır ve bu kurallar diğer üyelerinin talepleri karşılanana ve kapasite tükenene kadar diğer üyelere uygulanır. Adım 8 tekrarlanır.

Eğer süre yoksa adım 8 tekrarlanır. Y ürününü, X ürününü düşürerek arttırmak mümkün olmayınca algoritma sonlanır.

Bu adımlar doğrultusunda firma için maksimum akış miktarını sağlayacak optimal ürün karması aşağıda hesaplanacaktır.

Adım1: Sistem darboğazının belirlenmesi.

Atölyede kalıplama, oyma, zımpara, kaplama, boyama ve fırınlama işlemleri için kullanılan makinelerin kapasiteleri şöyle olmaktadır:

Kalıplama	$2520 * 0,88 * 0,79 = 1752$ dak.
Oyma	$2520 * 0,87 * 0,79 = 1732$ dak.
Zımpara	$2520 * 0,75 * 0,79 = 1493$ dak.
Kaplama	$2520 * 0,60 * 0,79 = 1194$ dak.
Boyama	$2520 * 0,90 * 0,79 = 1791$ dak.
Fırınlama	$2520 * 0,95 * 0,79 = 1891$ dak.

Bu bilgiler ışığında kaynakların yüklenmeleri hesaplanır.

Tablo 6.2: Kaynakların ihtiyaç duyulan kullanım süreleri.

Kaynaklar	150 adet Lüks ve 350 adet Ekonomik için kaynak gereksinimi
Kalıplama	$150 * 4 + 350 * 4 = 2000$ dak.
Oyma	$150 * 3 + 350 * 3 = 1500$ dak.
Zımpara	$150 * 2 + 350 * 2 = 1000$ dak.
Kaplama	$150 * 7 = 1050$ dak.
Boyama	$150 * 6 + 350 * 4 = 2300$ dak.
Fırınlama	$150 * 8 + 350 * 4 = 2600$ dak.

Yukarıdaki tabloya bakıldığında bazı kaynakların ihtiyaç duyulan kullanım süreleri kaynakların kullanılabilir kapasitelerini aşmaktadır. Kapasitelerini aşan kaynaklar sistemin kısıtlarını oluşturmaktadırlar. Hangi kaynakların kapasitelerini aştığı ve farkları, aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 6.3: Mevcut kapasiteler ve ihtiyaç duyulan kapasiteler

Kaynaklar	Gerekli Kapasiteler (dakika)	Mevcut Kapasiteler (dakika)	Farklar (dakika)
Kalıplama	2000	1752	- 248
Oyma	1500	1732	232
Zımpara	1000	1493	493
Kaplama	1050	1194	144
Boyama	2300	1791	- 509
Fırınlama	2600	1891	- 709

Yukarıda belirtilen tabloya göre, fırınlama, boyama ve kalıplama makineleri kısıt oluşturan makinelerdir. Kapasitesi aşan kaynakların farkları büyükten küçüğe sıralandığında fırınlama, boyama ve kalıplama sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü darboğazlardır.

Adım2: Her bir darboğaza göre üretim önceliğinin belirlenmesi.

Her bir kısıt için ürün önceliği hesaplanır. KT'ye göre ürün önceliği, ürünün katkı payının kısıt makinesindeki üretim süresine bölümü ile bulunmaktadır. Buna göre fırınlama makinesindeki ürün önceliği,

$$\ddot{O}_{Lüks} = 1368 / 8 = 171 \text{ YTL/dak.}$$

$\ddot{O}_{Ekonomik} = 782 / 4 = 195,5 \text{ YTL/dak.}$ olarak hesaplanır. Buradan da fırınlama makinesine göre ekonomik model çelik kapı, önceliği daha büyük olduğu için önce üretilmeli daha sonra lüks çelik kapı modeli üretilmelidir. Aynı şekilde diğer kısıtlar için ürün öncelikleri hesaplandığında boyama için ürün önceliği,

$$\ddot{O}_{Lüks} = 1368 / 6 = 228 \text{ YTL/dak.}$$

$$\ddot{O}_{Ekonomik} = 782 / 4 = 195,5 \text{ YTL/dak.}$$

Kalıplama için ürün önceliği,

$$\ddot{O}_{Lüks} = 1368 / 4 = 342 \text{ YTL/dak.}$$

$$\ddot{O}_{Ekonomik} = 782 / 4 = 195,5 \text{ YTL/dak. olur.}$$

Bu hesaplamalar sonucunda öncelik sırası,

fırınlama işlemine göre *ekonomik, lüks,*

boyama işlemine göre *lüks, ekonomik,*

kalıplama işlemine göre *lüks, ekonomik* olmaktadır.

Adım3: Başlangıç ana üretim çizelgesinin oluşturulması.

Belirlenen üretim sırası önceliğine göre fırınlama işlemi için AÜÇ oluşturulmuştur.

Tablo 6.4: Ana Üretim Çizelgesi

Ürün	Talep (adet)	AÜÇ (adet)	Fırlama		Boyama		Kalıplama	
			Süre (harcanılan)(Kalan) (dakika)	Süre	Süre (harcanılan)(Kalan) (dakika)	Süre	Süre (harcanılan)(Kalan) (dakika)	Süre
Ekonomik	350	350	1400	491	1400	391	1400	352
Lüks	150	61	488	3	366	25	244	108

Yukarıdaki tabloya göre en çabuk tükenen kaynak fırınlama makinesidir. Böylece başta belirlenen birinci kısıt aynı kalmıştır ve kısıt sıralamasında bir değişme olmamıştır. Bu durumda fırınlama için belirlenen ürün karması aynı zamanda optimal ürün karmasıdır. Buna göre 350 adet ekonomik model çelik kapı, 61 adet lüks model çelik kapı üretilmesi gerekmektedir. Bu sonuçlara göre yeni kaynak kullanım süreleri hesaplanır.

Tablo 6.5: Yeni kaynak kullanım süreleri

Kaynaklar	61 adet Lüks ve 350 adet Ekonomik için kaynak gereksinimi
Kalıplama	$61 * 4 + 350 * 4 = 1644$ dak.
Oyma	$61 * 3 + 350 * 3 = 1233$ dak.
Zımpara	$61 * 2 + 350 * 2 = 822$ dak.
Kaplama	$61 * 7 = 427$ dak.
Boyama	$61 * 6 + 350 * 4 = 1766$ dak.
Fırlama	$61 * 8 + 350 * 4 = 1888$ dak.

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi, sistemdeki kısıtlar çözülmüştür. Buna göre sistemin akışı hesaplanırsa,

$$\text{Akış} = 61 * 1368 + 350 * 782 = 357\,148 \text{ YTL olur.}$$

Bu akış, mevcut durum altında sistemin maksimum karıdır. Çünkü diğer kısıt oluşturan kaynaklar için bulunan ürün karması, fırınlama makinesinin kapasitesini aşmaktadır. Örneğin, boyama işlemine göre bulunan ürün karmasını hesaplayalım. Boyama işlemi için ürün öncelik sırası *lüks ve ekonomik* modeldi. Buna göre,

$$150 * 6 = 900 \text{ dak.}$$

$$1791 - 900 = 891 \text{ dak.}$$

$$891 / 4 = 222 \text{ adet ekonomik üretilir.}$$

Bu sonuçlar boyama makinesinin kapasitesi için yeterlidir. Ancak fırınlama işleminin kapasitesi aşılmıştır. Bu miktarlar için gerekli fırınlama süresi,

$150 * 8 + 222 * 4 = 2088$ dakikadır. Fakat fırınlama işlemi için mevcut kapasite 1891 dakika olduğundan bu ürün karması optimal olmamaktadır. Aynı şekilde kalıplama işlemi için ürün karmasını hesaplayalım. Kalıplama işlemi için ürün öncelik sırası *lüks ve ekonomik* olarak daha önce belirlenmişti. Buna göre,

$$150 * 4 = 600 \text{ dak.}$$

$$1752 - 600 = 1152 \text{ dak.}$$

$$1152 / 4 = 288 \text{ adet ekonomik üretilir.}$$

Bu sonuçlar da hem fırınlama hem de boyama işlemi için kapasiteyi aşan sonuçlardır. Çünkü bu adetler için gerekli fırınlama süresi,

$150 * 8 + 288 * 4 = 2352$ dakikadır. Fırınlama işleminin 1891 dakika olan kapasitesi aşılmıştır. Boyama işlemi için gereken süre,

$150 * 6 + 288 * 4 = 2052$ dakikadır. Boyama işleminin 1791 dakika olan kapasitesi aşılmıştır.

Adım4: Mümkün alternatiflerin akış artışını sağlamak için karşılaştırılması.

Bir alternatif, ekonomik modelin 1 adet azaltılarak lüks modelin 1 birim artırılmasıdır. Çünkü lüks modelin tüm talebi karşılanmamış ve boyama işlemine

göre ekonomik modelden daha önceliklidir. Ancak ekonomik model için fırınlama için gereken süre lüks modelden daha az olduğu için bu alternatif akış artışı sağlamayacaktır. Başka ürün olmadığı için diğer adıma geçilir.

Diğer adımlar belirlenen alternatifi uygulama adımlarıdır. Bir alternatif bulunmadığından algoritma sonlanır.

Akışın artırılması için daha önce belirtilen azaltma ve arttırma süreci alternatifi bu problem için uygun olmamaktadır. Çünkü bu sürecin uygulanabilmesi için baskın kısıt üzerinde bir birim ürünün azaltılması diğer bir birim ürünün arttırılmasına olanak sağlaması gerekmektedir. Bu problemde, fırınlama işlemi baskın kısıttır. Fırınlama işlemi üzerinde 1 birim ekonomik model ürünün azaltılması fırınlama işlemi üzerinde $4 + 3 = 7$ dakikalık ek süre sağlamaktadır. Ancak bir birim lüks model ürünün üretilmesi için 8 dakikalık süreye ihtiyaç vardır. Bu nedenle bulunan sonuç optimal sonuçtur.

Bu sonucun optimal olduğu, DP modeli kurularak da ispatlanabilmektedir. Bunun için DP programlamada kullanılan ve modelin çözümünü sağlayan LINGO 10 programında model çalıştırılarak sonuçları belirtilmiştir.

DP modeli şu şekilde olmaktadır:

$$\text{Maksimum } z = 1368*L + 782*E$$

Hedef

$$4*L + 4*E \leq 1752 \quad (\text{kalıplama işlemi})$$

$$3*L + 3*E \leq 1732 \quad (\text{oyma işlemi})$$

$$2*L + 2*E \leq 1493 \quad (\text{zımpara işlemi})$$

$$7*L \leq 1194 \quad (\text{kaplama işlemi})$$

$$6*L + 4*E \leq 1791 \quad (\text{boyama işlemi})$$

$$8*L + 4*E \leq 1891 \quad (\text{fırınlama işlemi})$$

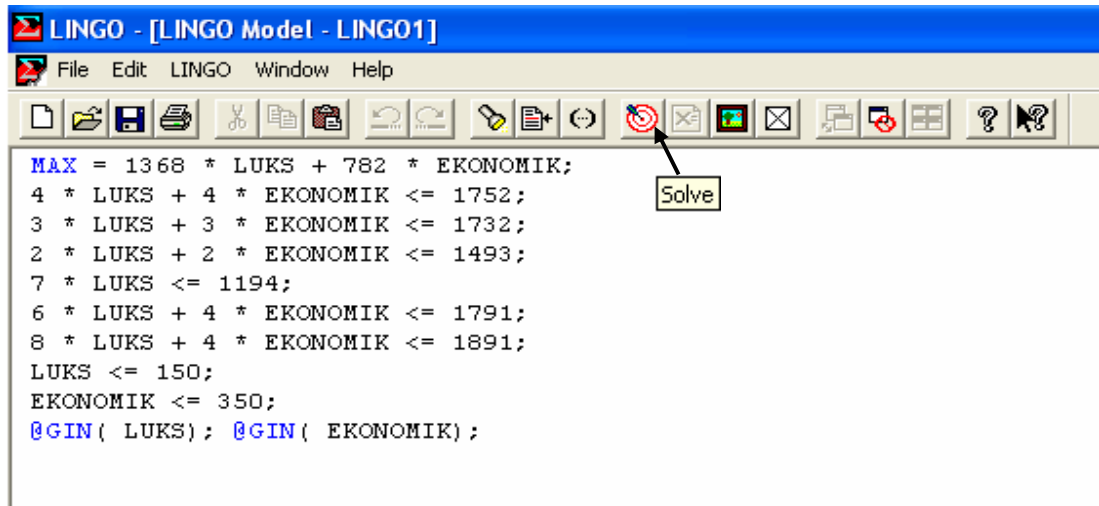
$$L \leq 150 \quad (\text{lüks modelin pazar talebi})$$

$$E \leq 350 \quad (\text{ekonomik modelin pazar talebi})$$

L ve E ≥ 0 ve tamsayılardır.

Modelde değişkenlerin tamsayı olarak belirtilmesinin nedeni, ürünlerin adet olarak üretilmesidir. Yarım çelik kapı üretimi olmayacağı için değişkenler tamsayı olarak belirtilmiştir.

Modelin LINGO 10 programına göre yazılımı aşağıda belirtilmiştir:



```
MAX = 1368 * LUKS + 782 * EKONOMIK;
4 * LUKS + 4 * EKONOMIK <= 1752;
3 * LUKS + 3 * EKONOMIK <= 1732;
2 * LUKS + 2 * EKONOMIK <= 1493;
7 * LUKS <= 1194;
6 * LUKS + 4 * EKONOMIK <= 1791;
8 * LUKS + 4 * EKONOMIK <= 1891;
LUKS <= 150;
EKONOMIK <= 350;
@GIN( LUKS); @GIN( EKONOMIK);
```

Şekil 6.2: LINGO programında modelin yazımı

Yukarıdaki şekilde belirtildiği gibi problem, DP modeli olarak oluşturulup araç çubuğunda bulunan *Solve* düğmesine basılarak modelin çözümü görülebilmektedir. Modelin sonuçları aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

Variable	Value	Reduced Cost
LUKS	61.00000	1368.0000
EKONOMIK	350.0000	782.0000

Row	Slack or Surplus
2	108.0000
3	499.0000
4	671.0000
5	767.0000
6	25.00000
7	3.000000
8	89.00000
9	0.000000

Şekil 6.3: LINGO çözüm ekranı.

Genel Bulgular

KT yaklaşımı, atölyedeki üretim çizelgesinin oluşturulmasında DP modeline göre daha anlaşılır bir çözüm sağlamıştır. Çünkü DP modeli oluşturulması daha teknik bilgi gerektirmektedir. KT'nin ilk 2 adımı kullanılarak DP modelindeki sonuçlarla aynı sonucu veren ürün karması bulunmuştur. Bu da firmalara daha az teknik bilgi ile üretim çizelgesi oluşturma kolaylığı sağlamaktadır. KT yaklaşımı ile bulunan optimal akış, DP'deki amaç değeri (objective value) ile aynı değeri vermiştir. Aynı şekilde KT yaklaşımı ile bulunan 61 adet lüks model çelik kapı üretimi ve 350 adet ekonomik model çelik kapı üretimi, DP'deki çözümde de aynı miktarda bulunmuştur. Bu sayede firmalar, ürün karması problemlerine daha anlaşılır çözümler bulma imkanı bulmuştur.

KT yaklaşımı sistemin en zayıf halkasına odaklanmayı sağlamıştır. Burada da atölyedeki kısıt işlemler belirlenerek iyileştirme çalışmalarının hangi kaynaklar üzerinde yapılacağı belirlenmiş olmaktadır. Ayrıca geleneksel yöntem düşünüldüğünde birim katkısı 1368 YTL olan lüks model ürün firmanın daha fazla

satmasını gerektirmektedir. Oysa KT, kısıt başına birim katkıyı bulduğu için aslında akışı arttıran ürün üzerinde odaklanmayı sağlamıştır. Problemden eğer geleneksel yöntem düşünülseydi firmanın 150 adet lüks modelin üretmek daha sonra geri kalan süre ile ekonomik model üretmek olurdu. Bu durumda 150 adet lüks modelin üretimi sonucu fırınlama işleminde

$$150 * 8 = 1200 \text{ dak.}$$

$$1891 - 1200 = 691 \text{ dak.}$$

$691 / 4 = 172$ adet ekonomik model üretilecekti. Ancak bu değerler sonucu sistemin akışı,

$$150 * 1368 + 172 * 782 = 339\,704 \text{ YTL olacaktır.}$$

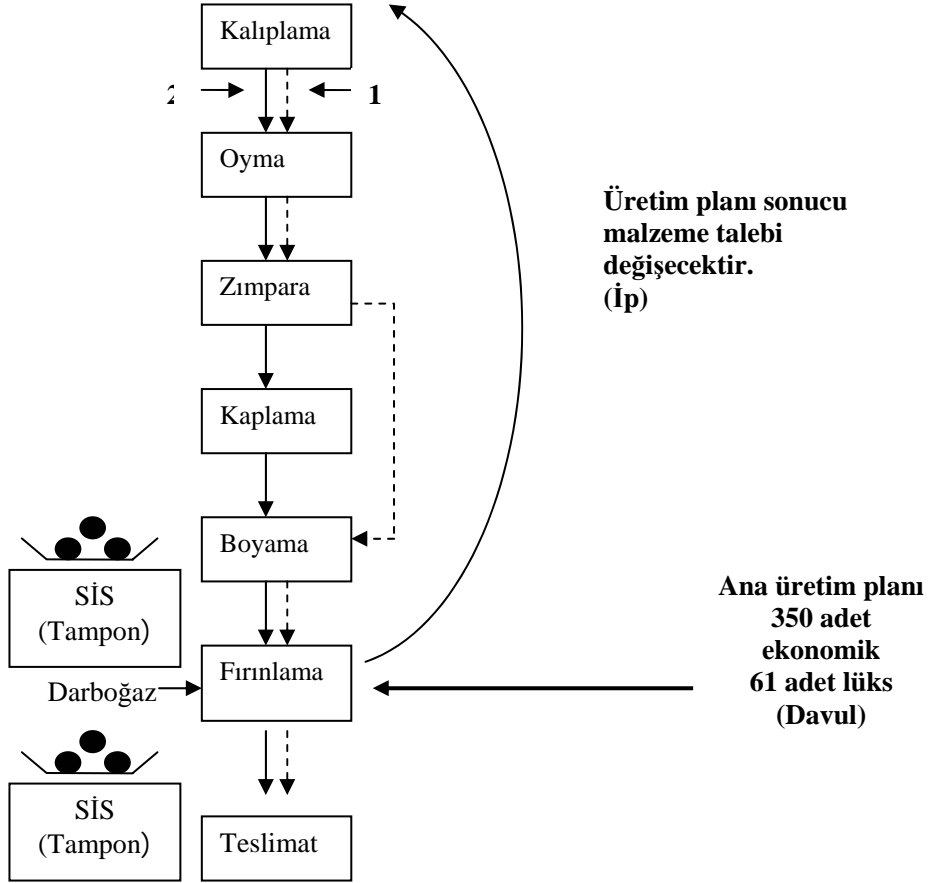
KT yaklaşımı kısıt başına katkıyı hesapladığından dolayı, fırınlama işlemi için ekonomik modelin dakika başına katkısı 195,5 YTL olarak bulunmuştur. Bu değer lüks modelin katkısından daha büyüktür ve öncelikle ekonomik modelin üretilmesi sistemin akışını daha fazla artıracaklarını göstermektedir.

Bu duruma göre belirtilen ürün karması daha önce belirtildiği gibi 61 adet lüks, 350 adet ekonomik model olacağını göstermiştir. Bunun sonucunda bulunan akış,

$$61 * 1368 + 350 * 782 = 357\,148 \text{ YTL olmuştur.}$$

Görüldüğü gibi sistemin akışı, geleneksel yöntemle göre daha fazla olmaktadır. Çünkü ekonomik modelin dakika başına katkısı lüks modelden daha fazladır.

KT'nin Davul-Tampon-İp aracına göre atölyedeki 150 adet lüks ve 350 adet ekonomik model üretimi, fırınlamaya göre hazırlanan üretim çizelgesine göre 61 adet lüks ve 350 adet ekonomik olarak belirlenmiştir. Bu adetler üretim hattının diğer birimlerine duyurulması çizelgeleme ile olmuştur. Daha sonra bu adetlere göre malzeme alımı ayarlanır. Sistemdeki aksaklıklar için ara stoklar uygulanarak sistemin akışı dengelenmiş olmaktadır. Bu işlemler aşağıdaki şekilde belirtilmiştir:



Şekil 6.4: Davul-Tampon-İp imalat kontrolü.

Yukarıdaki şekilde 1 ve 2 numaraları üretim sıralarını göstermektedir. --> ekonomik modelin üretimini, —> lüks modelin üretimini göstermektedir.

Böylece KT yaklaşımı firmalara daha ayrıntılı bir bakış açısı sağlamış ve doğru yere odaklanılmasına imkan tanımıştır.

Bundan sonraki çalışmalar firma yönetimini ilgilendiren aşamalardır. Çünkü firma elindeki makinelerin verimliliklerini artırabilir. Bunun için makine başında çalışan elemanın eğitilmesi yapılacak çalışmalara bir başlangıç teşkil edebilir. Çünkü atölye daha çok elemanlarının bilgi yetersizliğinden sorun yaşamaktadır. Bu sayede çok büyük yatırımlar yapmadan sistemindeki kaynakların kullanımını arttırabilir.

7. SONUÇ

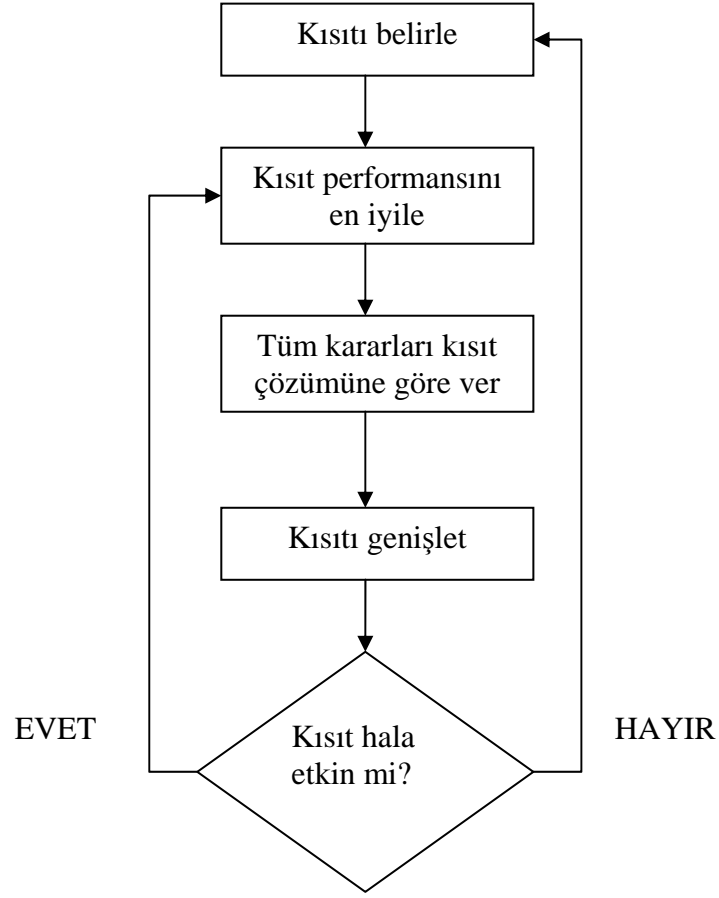
KT'nin beş adımlı yaklaşımı firmalara güvenilir ve yönetimi kolay bir üretim süreci oluşturma, geliştirme ve iyileştirme çabalarını firma hedefi ("kar") üzerinde en büyük katkıyı oluşturacak yere odaklanma, bir problem çözme ve yaratıcı düşünce sistemi olarak yarar sağlamaktadır.

Birçok organizasyon için amaç, şimdi ve gelecekte daha büyük verimlilik ve sonuçta karlılıktır. Amaç karlılık olduğu için sistemin daha yüksek düzeyde kar elde etmesini engelleyen kısıtlar ortadan kaldırılmalıdır. Her organizasyon kendi içerisinde bir sistemdir. KT de bu sistemi geliştirmek ve daha iyiye ulaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Ancak sistemin herhangi bir bölümünü geliştirmeden önce sistemin bütünsel amacı ve bu amacın üzerinde etkili olabilecek alt sistemler ile kararları tanımlanmalıdır.

Beş odaklanma adımı karar vericilerin, kapsamlı bir süreç planı yapmalarına imkan verir ve en iyi etkiyi yaratan kaynaklara dikkatleri çevirir. Karar vericiler bu beş odaklanma adımını benimsedikleri takdirde yönetimin bazı temel prensiplerine meydan okuyabilirler.

KT'de kısıtın belirlenmesinden sonra kısıtın yönetim süreci başlamaktadır. Bu aşamada öncelikle mevcut kapasitenin en iyi şekilde kullanılması gerekmektedir. Hazırlık zamanlarının ve işleme sürelerinin azaltılması, önleyici bakım, malzeme akışının senkronizasyonu, fazla mesai gibi çalışmalarla mevcut kapasite en iyi şekilde kullanılmaya çalışılır. Kapasiteyi arttırmak için alternatif rotalama, fason imalat, yeni kaynaklar işlemleri uygulanabilir. Süreklilik, kısıtın yönetim sürecinde işletme var oldukça yeni kısıtların bulunması ve iyileştirilmesi şeklinde devam eder.

Kısıtlar teorisinin temel süreci şu şekilde özetlenebilir:



Şekil 7.1: Kısıtlar Teorisi'nin temel süreci.

KT, sistemin sürecinin iyileştirilmesinde kullanılacak yaklaşımın belirlenmesi, yönlendirilmesi, gözden geçirilmesi ve değerlendirilmesi aşamalarında bağımsız ve global performans ölçülerinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

İyileştirme etkinliklerinin birçoğunda bulunan yaratıcı yaklaşım eksikliğine, mantıki düşünme süreci yaklaşımıyla çözüm bulunmasını sağlamıştır.

Odaklanma adımları sayesinde önemli olduğunun farkına varılmayan sorunların anlaşılmasına ve onlara odaklanılmasını belirtmiştir. Bu adımlar ile çizelgeleme için de çözüm önerileri sunmuştur.

KT, çizelgeleme yaparken ürünlerin teslim sürelerinin aynı olduğunu ve sisteme aynı anda geldiğini varsaymaktadır. Ancak bu durum uygulamada her zaman mümkün olmamaktadır. Çünkü ürünler sisteme aynı anda gelmeyebilir ve sistemdeki ürünlerin teslim süreleri de farklı olabilmektedir. KT, ürünlerin önceliklerini birim zamandaki sağladıkları kara göre belirlemektedir. Fakat bu durum, müşterinin firma için önceliğine, ürünün kırılabilir bir yapıda olup olmadığına göre değişebilir. Çünkü firmalar için bazı müşterileri çok daha önemlidir. Bu müşterilerinden sipariş aldıklarında, ürettikleri ürünleri yarıda bırakıp bu müşterilerinin siparişlerini karşılamaya çalıştıkları gözlemlenmektedir.

KT, ürünlerin sisteme aynı anda geldiği kabulü ile çizelgelemeye başlamaktadır. Ancak ürünlerin sisteme farklı zamanlarda geldiği de karşılaşılan durumdur. Bu durumda firmanın çizelgeleme şekli değişiklik gösterecektir. Gelen ürünün sisteme nasıl dahil edilmesi konusunda KT bir bilgi vermemektedir.

Bu bilgiler ışığında, KT, ürünlerin sisteme farklı girişi ve farklı değişim sürelerini de göz önüne alarak geliştirilirse, firmalar için çok daha faydalı ve kullanım alanı daha geniş bir yaklaşım haline gelecektir.

KAYNAKLAR

Aryanezhad M. B., A. R. Komijan, “An improved algorithm for optimizing product mix under the theory of constraints”, *International Journal of Production Research*, Vol. 42, No. 20, 15 October 2004, pp.4221-4233.

Balakrishnan Jaydeep, Chun Hung Cheng, “Theory of constraints and linear programming: a re-examination”, *International Journal of Production Research*, Vol. 38, No. 6, 2000, pp.1459-1463.

Chakravorty Satya S., Joseph L. Sessum, “Developing effective strategies to prioritize set-up reduction in a multi-machine production system, A throughput approach”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 15, No. 10, 1995, pp.103-111.

Chaudhari C. V., S. K. Mukhopadhyay, “Application of Theory of Constraints in an integrated poultry industry”, *International Journal of Production Research*, Vol. 41, No. 4, 2003, pp.799-817.

Cheng Luke, “Line balancing vs. theory of constraints”, *IIE Solutions*, April 2002.

Colvenaer D. De, J. Maes, L. Gelders, “Application of TOC/OPT rules in a medium sized shop”, *Production Planning & Control*, Vol. 3, No. 4, 1992, pp.413-421.

Cox, James F. III & Michael S. Spencer. *The Constraints Management BHandbook* United States of America: The St. Lucie Press, 2000.

Deming, W. Edwards. *The New Economics*. Cambridge Mass: MIT Center for Advanced Engineering Study, 1993.

Dettmer, H.William. *Goldratt’s Theory of Constraints: A Systems Approach to Continuous Improvement*. United States of America: ASQC, 1997.

Djumin Sadano C. & Shahrukh A.Irani, Bottleneck Scheduling using Theory of Constraints, Department of Industrial, Welding and Systems Engineering, The Ohio State University Columbus, OH 43210, October 2000.

Fargher John S.W.,Jr., “Three Shops, Three Strategies: Using MRP-II, JIT and TOC in Remanufacturing Cells”, *National Productivity Review*, John Willey & Sons, Inc., 1997.

Fredendall L. D., B. R. Lea, “Improving the product mix heuristic in the theory of constraints”, *International Journal of Production Research*, Vol. 35, No. 6, 1997, pp.1535-1544.

Freeman L.Neal, “Theory of Constraints Outlines Path for Improvement”, *Ophthalmology Times*, 15 March 2006.

Gillespie Monty W., Mike C. Patterson, Bob Harmel, “TOC Beyond Manufacturing”, *Industrial Management*, 1999.

Goldratt, Eliyahu M. ve Jeff Cox. *The Goal:Beating the Competition*. Hants: Blackmore, 1984.

Goldratt, Eliyahu M. *The Goal: 2nd ed*. Great Barrington Mass: North River Press, 1992.

Goldratt Rami, Nava Weiss, “Significant enhancement of academic achievement through application of the Theory of Constraints(TOC)”, *Human Systems Management* 24, IOS Press, 2005, pp.13-19.

Gupta Mahesh C., Baxendale Sidney J., Raju P.S., “Integrating ABM/TOC approaches for performance improvement: a framework and application”, *International Journal of Production Research*, Vol. 40 No.14, 2002, pp. 3225-3251.

Gupta Mahesh, Hyun-Jeung Ko, Hokey Min, “TOC-based performance measures and five focusing steps in a job-shop manufacturing environment”, *International Journal of Production Research*, Vol. 40, No. 4, 2002, pp.907-930.

Hsu Pi-Fang, Sun Miao-Hsueh, "Using the Theory of Constraints to Improve the Identification and Solution of Managerial Problems", *International Journal of Management*, Vol.22, No.3, September 2005, pp.415-425.

Hsu Tien-Chun, Chung Shu-Hsing, "The TOC-based algorithm for solving product mix problems", *Production Planning & Control*, Vol. 9, No. 1, 1998, pp.36-46.

Kirche E. T., S. N. Kadipaşaoğlu, B. M. Khumawala, "Maximizing Supply Chain Profits with Effective Order Management: Integration of Activity-Based Costing and Theory of Constraints with mixed-integer modelling", *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 7, 1 April 2005, pp.1297-1311.

Kirche E., R. Srivastava, "An ABC-based Cost Model with Inventory and Order Level Costs: A Comparison with TOC", *International Journal of Production Research*, Vol.43, No.8, 15 April 2005, pp.1685-1710.

Köksal G., "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, 01 December 2004, pp.5009-5029.

Lee, T. N. ve Plenert, G., "Optimizing theory of constraints when new product alternatives exist.", *Production and Inventory Research*, Vol. 34, No. 3, 1993, pp. 51-57.

Luebbe Richard, Byron Finch, "Theory of constraints and linear programming: a comparison", *International Journal of Production Research*, Vol. 30, No. 6, 1992, pp.1471-1478.

Mabin V. J., Davies J., "Framework for understanding the complementary nature of TOC frames: insights from the product mix dilemma", *International Journal of Production Research*, Vol. 41, No.4, 2003, pp.661-680.

Miller Brad, "Applying TOC in the real world", *IIE Solutions*, May 2000.

McMullen Thomas B., Jr. *Introduction to the Theory of Constraints (TOC) Management System*. United States of America: The St. Lucie Press, 1997.

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

Newbold, Robert C. *Project Management in the Fast Lane: Applying the Theory of Constraints*. United States of America: North River Press, 1998.

Osanna P.H., M.N.Durakbaşa ve A. Afjehi-Sadat, *Quality in Industry*. Wien, Austria:Grafisches Zentrum(Kopi TU), 2004.

Patterson, M. C., "The product-mix decision: a comparison of theory of constraints and labor based management accounting.", *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 33, No. 3, 1992, pp. 80-85.

Plenert, G., "Optimized theory of constraints when multiple constrained resources exist.", *European Journal of Operation Research*, Vol.70, No.1, 1993, pp. 126-133.

Polito Tony, Watson Kevin and Vokurka Robert J., "Using the Theory of Constraints to Improve Competitiveness: an Airline Case Study", *CR*, Vol.16, No.1, 2006, pp.44-50.

Roybal Helene, Sidney J. Baxendale, Mahesh Gupta, "Using Activity-Based Costing and Theory of Constraints to Guide Continuous Improvement in Managed Care", *Managed Care Quarterly* 7(1):pp.1-10, 1999.

Sale M. L., R. A. Inman, "Survey-based comparison of performance and change in performance of firms using traditional manufacturing, JIT and TOC", *International Journal of Production Research*, Vol. 41, No. 4, 2003, pp.829-844.

Schaefers J., R. Aggoune, F. Becker, R. Fabbri, "TOC-based planning and scheduling model", *International Journal of Production Research*, Vol. 42, No. 13, 01 July 2004, pp.2639-2649.

Scheinkopf, Lisa J. *Thinking for a Change: Putting the TOC Thinking Processes to Use* United States of America: CRC, 1999.

Schrageheim, Eli. *Management Dilemmas: The Theory of Constraints Approach to Problem Identification Solutions*. United States of America: The St. Lucie Press, 1999.

Scoggin J. M., R. J. Segelhorst, R. A. Reid, "Applying the TOC thinking process in manufacturing: a case study", *International Journal of Production Research*, Vol. 41, No. 4, 2003, pp.767-797.

Smith M., P. Pretorius, "Application of the TOC thinking processes to challenging assumptions of profit and cost centre performance measurement", *International Journal of Production Research*, Vol. 41, No. 4, 2003, pp.819-828.

Spencer M. S., J. F. Cox, "Optimum production technology (OPT) and the theory of constraints (TOC): analysis and genealogy", *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No. 6, 1995, pp.1495-1504.

Souren Rainer, Ahn Heinz, Schmitz Cristian, "Optimal product mix decisions based on the Theory of Constraints? Exposing rarely emphasized of Throughput Accounting", *International Journal of Production Research*, Vol.43 No.2, 15 January 2005, pp.361-374.

Steele Daniel C., Patrick R. Philipoom, Manoj K. Malhotra, Timothy D. Fry, "Comparisons between drum-buffer-rope and material requirements planning: a case study", *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 15, 1 August 2005, pp.3181-3208.

Umble Michael, Van Gray, Elisabeth Umble, "Improving production line performance", *IIE Solutions*, November 2000, pp.36-41.