

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

144681

HÜCRESEL İMALATIN GERT TEKNİĞİ İLE PLANLAMASI VE
BİR UYGULAMA DENEMESİ

144681

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Pelin MİNSİN

Danışman
Prof. Dr. Adem ÇABUK

Balıkesir 2004

Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme
Ana Bilim Dalında hazırlanan Yüksek Lisans/Doktora tezi jürimiz tarafından incelenerek, aday
... P. M. N. N. S. N., 12/04/2004 tarihinde tez savunma sınavına alınmış
ve yapılan sınav sonucunda sunulan tezin .. başarılı olduğuna oy .. birliği .. ile karar
verilmiştir.

ÜYE

ÜYE

ÜYE
T. S. S.

ÜYE

ÜYE

ÖZET

Hücresele imalat, grup teknolojisinin üretime uygulanmasıdır. Hücresele imalatta, benzer parçalar gruplandırılıp imalat hücreleri oluşturulur. Amaç, imalatın su akışına benzer hale getirilmesidir.

GERT tekniğı ise, PERT/CPM ve akış grafiklerinin beraber yapıldığı bir şebeke diyagramıdır. Bu teknikte amaç, zaman, maliyet tasarrufu sağlamaktır.

Çalışmada; Hücresele İmalatın GERT tekniğı ile planlamasının, uygulamada yapılabilirliğı araştırılmıştır. Uygulama hazır mutfak sektöründe uluslararası pazarda faaliyet gösteren bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Teorik bilgiler ışığında hücre tasarımı yapıldıktan sonra, hücrelerdeki beklenen ortalama faaliyet zamanları hesaplanıp, GERT tekniğı ile çözülmüştür. Gerçekleştirilen hücre tasarımının zaman tasarrufu sağladığı görülmüştür. Bu söylenen amaçlar yanında işletmenin kurduğı hücre örneğı alınıp üretilen bir ürün bazında ne kadar zaman tasarrufu sağladığı ve zaman tasarrufuna bağılı olarak ortaya çıkan maliyet tasarrufları çalışma içerisinde verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hücresele İmalat, GERT

ABSTRACT

Cellular Manufacturing is the implementation of Group technology to production. In Cellular Manufacturing, manufacturing cells are formed by clustering similar items. The aim of this process is to create a similarity between production and waterflow.

GERT technique is a network diagram which uses PERT/CPM and Flow Graphics together. The aim of this technique is to save up from time, cost etc.

In this work, the Application availability of planning Cellular Manufacturing via GERT technique is been researched. The application part of the study is implemented at a company which operates in Professional kitchen sector worldwide. After cells are formed through theoreticalll knowledges, the expected average activity times of cells are calculated, and solved by means of GERT technique. It is determined that the cell formation which is designed creates saving from times. Togethr with these aims metioned, the cell example established by the firm is taken to determine how much time saving is achieved on the basis of a single product, and the cost savings which appear due to the time saving, is being geiven in the study.

Key Words: Cellular Manufacturing, GERT

ÖNSÖZ

Teknolojinin çok hızlı bir şekilde ilerlemesi ve rekabetin artması firmaları farklı arayışlara zorlamıştır. Bu durum dünyadaki her alanı etkilediği gibi üretim alanını da etkilemiştir. Firmalar bu gelişmeler karşısında geleneksel üretim yöntemlerini geliştirmeye çalışmışlardır. Bu arayışlar çerçevesinde çalışmaya konu olan Hücresel İmalat ortaya çıkmıştır.

Hücresel İmalat, benzer parçaları birleştirerek bir üretim hücresi oluşturulmasıdır. GERT zaman ve maliyet hesaplamalarına imkan veren ve karar vericinin kararına yardımcı olan bir tekniktir. Çalışmada iki türlü kümelendirme analizi kullanılarak hücre tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan hücrelerin süreleri GERT tekniği kullanılarak hesaplanmıştır. GERT ile hesaplanan süreler, hücre tasarımı yapılmadan önceki süre hesaplamaları karşılaştırılarak süre tasarrufu sağlayıp sağlamadığı çalışmada incelenecektir. Ayrıca uygulama yapılan işletmede, hücresel imalatın öneminin farkına varmışlardır. Çalışmada uygulama yapılan işletmenin kendi üretim hatlarında kurduğu hücresel imalat hattı örnek olarak verilmiştir. Uygulama bölümü içinde hücresel imalatın işletmeye getirdiği avantaj ve dezavantajlarda incelenmiştir.

Çalışma boyunca her türlü desteği sağlayan Fakültemiz Dekanı ve Danışmanım Prof. Dr. Adem ÇABUK'a , Prof. Dr. Feray ODMAN ÇELİKÇAPA'ya, her zaman yanımda bulunan, destekleri ve yardımlarını esirgemeyen fakültemiz Araştırma Görevlilerinden Gülnil AYDIN, Özlem AYVAZ, Füsun ESENKAL ve ayrıca özel bir şirketin Lojistik Müdürü olan Mustafa PERK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Pelin MİNSİN

Balıkesir 2004

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiv
GİRİŞ.....	1

Birinci Bölüm

HÜCRESEL İMALAT

1.1 Hücresel İmalatın Tarihsel Gelişimi.....	3
1.1.1 Atölye Tipi İmalat.....	3
1.1.2 Akış Tipi İmalat.....	4
1.1.3 Proje Tipi İmalat.....	4
1.1.4 Sürekli İmalat.....	4
1.2 Hücresel İmalatın Tanımı.....	6
1.3 Hücresel İmalat Sisteminin Amaçları.....	8
1.4 Hücresel İmalatın Avantajları.....	8
1.5 Hücresel İmalatın Dezavantajları.....	10
1.6 Hücresel İmalatın Tasarımı.....	10
1.6.1 Parça Ailesinin Oluşturulması.....	14
1.6.1.1 Görsel Tarama Yöntemi.....	16
1.6.1.2 Sınıflandırma ve Kodlama Yöntemi.....	16

	1.6.1.2.1	Hiyerarşik Kodlama.....	17
	1.6.1.2.2	Zincir Kodlama.....	18
	1.6.1.2.3	Karışık Kodlama.....	19
	1.6.1.3	İmalat Akış Analizi.....	19
	1.6.2	Makine Hücrelerinin Oluşturulması.....	21
1.7		Hücreyel İmalatta Yerleşim Düzenin Seçimi.....	21
	1.7.1	Yerleşim Düzenleri.....	22
	1.7.1.1	Sürece Dayalı Yerleşim Düzeni.....	22
	1.7.1.2	Ürüne Dayalı Yerleşim Düzeni.....	24
	1.7.1.3	Sabit Konumlu Yerleşim Düzeni.....	26
	1.7.1.4	Hücreyel Yerleşim Düzeni.....	27
1.8		Hücreyel Akış Hattı.....	34

İkinci Bölüm

ŞEBEKE ANALİZ TEKNİKLERİ

2.1		GANTT.....	35
2.2		CPM (Kritik yol) Yöntemi.....	37
	2.2.1	Şebekede Faaliyet Sürelerinin Belirlenmesi.....	39
	2.2.2	Kritik Yolun Bulunması.....	40
	2.2.2.1	Baştan Sona Doğru Hesaplama Yöntemi.....	40
	2.2.2.2	Sondan Başa Doğru Hesaplama Yöntemi.....	41
	2.2.2.3	Matriş Yöntemi.....	44
2.3		PERT (Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme) Yöntemi.....	48
2.4		Akış Grafikleri.....	53
	2.4.1	Akış Grafiklerinin Özellikleri.....	55
	2.4.2	Akış Grafiklerinin Çözüm Metotları.....	58
	2.4.2.1	Topolojik Eşitlik Yöntemi.....	58
	2.4.2.2	Mason Kuralı Yöntemi.....	62
	2.4.2.3	Düğüm Azaltım Yöntemi.....	63
2.5		GERT (Grafik Değerlendirme ve Gözden Geçirme) Tekniğı.....	65

2.5.1	GERT Sembolleri.....	69
2.5.2	GERT Şebekesinin Geçiş Parametreleri.....	71
2.5.3	GERT Şebekesinde Hesaplama Yöntemi.....	71
2.5.3.1	GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Sabit Olması Durumu.....	71
2.5.3.2	GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Durumu.....	75
2.5.4	GERT Şebekesinde Ve, Dahili-veya Dügümlerinin Çözüm Yöntemleri.....	84
2.5.4.1	Ve Dügümleri.....	84
2.5.4.2	Dahili-veya Dügümleri.....	89
2.5.5	GERT Şebekesinin Diğer Teknikler Arasındaki Benzerlik ve Farklılıkları.....	92
2.5.6	GERT 'in Kullanım Alanları.....	92

Üçüncü Bölüm

HÜCRESEL İMALATIN GERT TEKNİĞİ İLE PLANLAMASINA İLİŞKİN BİR UYGULAMA DENEMESİ

3.1	Uygulama Yapılacak İşletmenin Tanıtılması	93
3.2	Uygulama Metodolojisi.....	93
3.3	X Şirketinin İşletmesinin Saç Kıvrırma Bölümünde Hücrelerin Tasarımı.....	95
3.4	X Şirketinin Sac Kıvrırma Bölümünde Tasarlanan Hücrelerin GERT Şebekesi İle Süre Hesaplaması.....	108

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	116
------------------------------------	------------

EKLER.....	118
-------------------	------------

Ek 1 Hücre Tasarım Adımları ve Algoritması.....	119
---	-----

Ek 2 Sac Kıvrırma Bölümü Verileri.....	128
--	-----

Ek 3 X işletmesinin Mutfak Gereçleri Üreten Hattının Eski ve Şuan ki Durumunu Gösteren Çizimler.....	131
KAYNAKÇA.....	135



TABLOLAR LİSTESİ

- Tablo 1. 1** Üretim Sistemlerinin Karşılaştırılması
- Tablo 1. 2** Hücrel İmalat Uygulamasından Çıkan Sonuçlar
- Tablo 2. 1** Örnek 2. 2 Faaliyetlerinin Zaman Durumları
- Tablo 2. 2** GERT Düğüm Modelleri
- Tablo 2. 3** Örnek 2.4 'ün Faaliyet/Zaman/Olasılık Tablosu
- Tablo 2. 4** Dağılımların Moment Türeten Fonksiyonları
- Tablo 2. 5** Moment Türeten Fonksiyonlar ve Faaliyet Zamanı Fonksiyonu
- Tablo 3.1** Uygulama Sürecinde İzlenecek Yollar
- Tablo 3. 2** Benzerlik matrisi
- Tablo 3. 3** Döngüsüz Parça Gruplarının Seyahat Kartı
- Tablo 3. 4** Döngüsüz Parça Gruplarının Faaliyetler Arasındaki Talep İlişkisi
- Tablo 3. 5** Döngüsüz Parça Gruplarının A Matrisi
- Tablo 3. 6** Döngüsüz Parça Gruplarının μ Akış Ölçümü
- Tablo 3. 7** Döngüsüz Parça Gruplarının μ Akış Ölçümü Kriterlerine Göre Faaliyetler Arasındaki Talep İlişkisi
- Tablo 3. 8** (3+1) Parça Gruplarını Birleştirilmesi Sonucunda Ortaya Çıkan Benzerlik Matrisi
- Tablo 3. 9** Döngülü Parçanın Seyahat Kartı
- Tablo 3. 10** Döngülü Parçanın Faaliyetler Arasındaki Talep İlişkisi
- Tablo 3. 11** Döngülü Parçanın Tablo A Matrisi
- Tablo 3. 12** Döngülü Parçanın μ Akış Ölçümü
- Tablo 3. 13** Döngülü Parça Gruplarının μ Akış Ölçümü Kriterlerine Göre Faaliyetler Arasındaki Talep İlişkisi
- Tablo 3. 14** Hücre 1 'deki Her Bir Parçanın Beklenen Ortalama Süresi
- Tablo 3. 15** Hücre 2 'nin Beklenen Ortalama Süresi

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 1. 1 Hücresel İmalatta Kullanılan Yöntemlerin Gösterimi
- Şekil 1. 2 Tekli Sistem
- Şekil 1. 3 Zincir Kodlama Sistemi
- Şekil 1. 4 Sürece Dayalı Yerleşim Düzeni
- Şekil 1. 5 Ürüne Dayalı Yerleşim Düzeni
- Şekil 1. 6 Sabit Yerleşim Düzeni
- Şekil 1. 7 Hücresel Yerleşim Düzeni
- Şekil 1. 8 U Biçimli Hücresel Yerleşim
- Şekil 1. 9 Ters U tipi Hücre
- Şekil 1. 10 Doğrusal Hücre
- Şekil 1. 11 Serpatin Hücre
- Şekil 1. 12 Yıldız Hücre
- Şekil 1. 13 Hücresel İmalatın Malzeme Akışı
- Şekil 2. 1 GANTT
- Şekil 2. 2 İşlem ve Düğüm Bağıntıları
- Şekil 2. 3 Kukla Faaliyet
- Şekil 2. 4 Örnek 2. 1'in Şebeke Halinde Gösterimi
- Şekil 2. 5 Normal Dağılım Eğrisi
- Şekil 2. 6 Beklenen Ortalama Süresi Dağılımı
- Şekil 2. 7 Örnek 2. 3'ün Şebeke Gösterimi
- Şekil 2. 11 Akış Grafiğinde Gösterilen Basit Matematiksel Hesaplamalar
- Şekil 2. 12 Karmaşık Bir Akış Grafiği
- Şekil 2. 13 Akış Grafiğinde Topolojik Eşitliğin Gösterimi
- Şekil 2. 14 Kapalı Bir Akış Grafiğinin Döngülerin Toplamının Hesaplanması
- Şekil 2. 15 Kapalı Bir Grafik Tarafından Açık Bir Akış Grafiğinin Çözümü
- Şekil 2. 16 Düğüm Azaltım Adımları
- Şekil 2. 17 İki Uzay Aracının Uzayda Kenetlenmesi Problemine Ait Tesadüfi Şebeke Modeli
- Şekil 2. 18 İki Uzay Aracının Fırlatılmasından Sonra Başarılı Manevra Yapabilmesi Yada Yapamaması Durumu Gösteren Şebeke

- Şekil 2. 19** GERT Bir Vektör Olarak Gösterimi
- Şekil 2. 20** Şebeke Analiz Teknikleri Gelişimi
- Şekil 2. 21** Seri Bağlı GERT Şebekesinde Faaliyet Zamanlarının Sabit Olması Durumu
- Şekil 2. 22** Paralel Bağlı GERT Şebekesinde Faaliyet Zamanlarının Sabit Olması Durumu
- Şekil 2. 23** Döngülü Paralel Bağlı GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Sabit Olması Durumu
- Şekil 2. 24** Örnek 2. 4'in GERT Şebekesi
- Şekil 2. 25** GERT Şebekesinde Faaliyet Zamanlarının Değişken Olması Durumunu Gösteren Birim GERT Şebekesi
- Şekil 2. 26** Seri Bağlı Harici- veya Döğümlü GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Durumu
- Şekil 2. 27** Seri Bağlı Harici- veya Döğümlü GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Durumunun İndirgenmiş Hali
- Şekil 2. 28** Paralel Bağlı Harici- veya Döğümlü GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Durumu
- Şekil 2. 29** Paralel Bağlı Harici- veya Döğümlü GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Durumunun İndirgenmiş Hali
- Şekil 2. 30** Döngülü Paralel Bağlı Harici- veya Döğümlü GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Durumu
- Şekil 2. 31** Döngülü Harici- veya Döğümlü GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Durumunun İndirgenmiş Hali
- Şekil 2. 32** Örnek 2. 5'in GERT Şebekesi
- Şekil 2. 33** Seri Bağlı Ve Döğümü ve İndirgemesi
- Şekil 2. 34** Ve Döğümüne Ait Paralel Bağlı Olan Şebekenin Harici- veya Döğümüne Sahip Şebeke Haline Çevrilmesi
- Şekil 2. 35** Ve Döğümlerine Sahip Şebekenin Faaliyetlerden Birinin 1'den Küçük Olduğu Durum ve İndirgemesi
- Şekil 2. 36** İki Ve Döğümü İle Birbirine Bağlı Olan Ve Faaliyetlerin Gerçekleşme Olasılıklarının 1'den Küçük Olduğu ve Faaliyetler Arasında Harici- veya Döğümlerinin Bulunduğu Şebekenin Çözümü

- Şekil 2. 37** Gerçekleşme Olasılıkları Toplamı 1 Olan İki Faaliyetin Birbirine Bağladığı Ve Düğümlü Ağlar İçin İndirgeme
- Şekil 2. 38** Paralel Dahili- veya Düğümünün İndirgenmiş Hali
- Şekil 2. 39** Paralel Dahili- veya Düğümlü Şebekenin Harici- veya Düğümlü Şebekeye Dönüşmüş Şekli
- Şekil 3. 1** Hücre 1
- Şekil 3. 2** Hücre 2
- Şekil 3. 3** Hücre 1`in Ortalama Beklenen Faaliyet Süreleri
- Şekil 3. 4** Hücre 2`nin Ortalama Beklenen Faaliyet Süreleri
- Şekil 3. 5** Hücre 1`in Moment Türeten Fonksiyon Süreleri
- Şekil 3. 6** Hücre 2`nin Moment Türeten Fonksiyon Süreleri
- Şekil 3. 7** Hücre 1`in Harici- veya Düğüm Haline İndirgemesi
- Şekil 3. 8** Hücre 2`in Harici- veya Düğüm Haline İndirgemesi
- Ek Şekil 1. 1** Adım 2 Ve Adım 3 `ün Şematik Gösterimi
- Ek Şekil 1. 2** Aday Hücreleri Tanımlamak İçin Prosedürün Akış Kartı

KISALTMALAR LİSTESİ

CPM Kririk yol yöntemi

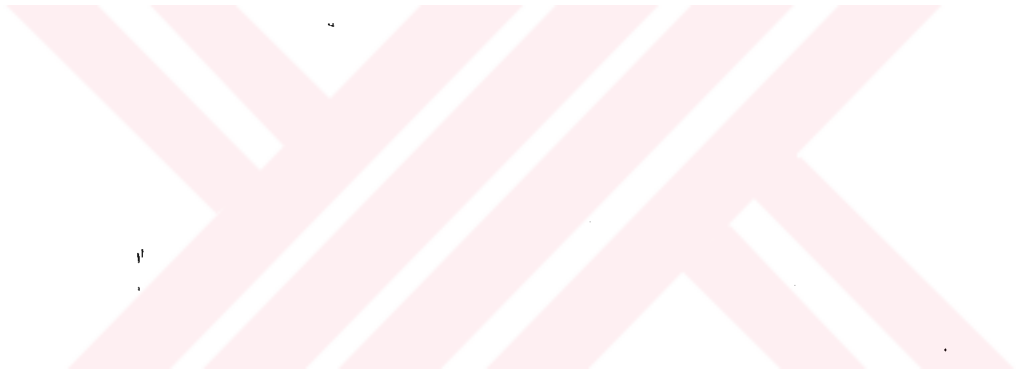
PERT Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği

GERT Grafik Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği

MGF Moment Türeten Fonksiyonlar

DAK. Dakika

Bkn. Bakınız



GİRİŞ

Günümüzde her alanda teknolojinin çok hızlı gelişim göstermesi, ister istemez, üretim teknolojilerinin de gelişiminin hızlı olmasını zorunlu kılmaktadır. Bu yüzden geleneksel üretim modelleri yeni gelişen üretim şartlarına uygun olarak tasarlanmalıdır. Son zamanlarda gelişen üretim şartlarına uygun olarak tasarlanan üretim modellerinden biri de “Hücresele İmalat” olmuştur.

“Hücresele imalat, benzer yada ortak özelliklere sahip ve üretim işlemleri açısından aynı makinelerin kullanılmasını gerektiren parça ailelerinin oluşturulması ve parçaları üretecek şekilde düzenlenmesi düşüncesine dayanmaktadır.”¹

Hücresele imalatta amaç üretimin seri bir şekilde yapılarak, üretimde ve de firma bazında elde edilecek avantajları maksimuma çıkarmaktır. Hücresele imalatın avantajlarından yararlanılabilmesi için çok iyi tasarlanması gerekir.

GERT, olasılıklı ağlar ve akış grafiklerinin tümünün birleştirilmesiyle oluşturulan ve karar vermeye yarayan bir şebeke metodudur.²

GERT'in amacı, firmanın üretim yada herhangi bir departmanında iş akışına bağlı olarak süre ve maliyet hesaplaması ile ne kadar tasarruf sağlanacağına karar vermeye yardımcı olmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde hücresele imalat, ikinci bölümünde ise GERT tekniği, üçüncü bölümde ise Hücresele İmalatın GERT ile Planlamasına ilişkin bir uygulama denemesine yer verilmiştir. Uygulama yapılan X şirketinin verileri ile iki aşamalı kümelendirme yaklaşımı kullanılarak üretim hücreleri oluşturulmuş bu oluşturulan üretim hücrelerine GERT yaklaşımı uygulanarak zaman hesaplaması yapılmıştır.

¹ Erhan Ada, Haluk Soyuer, (1996/1), “Hücresele İmalat Sisteminin Tasarımında Grup Analizi Yaklaşımı ve Bilgisayar Uygulaması”, **Verimlilik dergisi**, cilt 1, sayı 1, s. 131.

² Ada, s. 57.

Uygulamada amaç, zaman tasarrufu sağlanıp sağlanmadığını analiz etmektir. Bu amaç çevresinde endüstriyel hazır mutfak üretiminde uzman olan X şirketinin karma bir üretim hattına sahip bulaşık makinesi üzerinde uygulama yapılmıştır.



I. BÖLÜM

HÜCRESEL İMALAT

Birinci bölüm hücresel imalat birinci bölümde anlatılacaktır. Birinci bölüm hücresel imalatın tanımı ile başlanıp, nasıl tasarlanacağı gibi konular bölüm içinde verilecektir.

1. 1 Hücresel İmalatın Tarihsel Gelişimi

Hücresel İmalatın daha iyi anlaşılması için hücresel imalattan önceki üretim sistemleri incelenecektir. Hücresel imalata kadar olan üretim sistemlerinin tarihsel gelişimleri incelediğinde ise dört tip geleneksel imalat sisteminden bahsedilebilir. Bunlar: ¹

- 1) Atölye tipi imalat
- 2) Akış tipi imalat
- 3) Proje tipi imalat
- 4) Sürekli imalattır.

Bunlar aşağıda sırayla açıklanacaktır.

1) **Atölye Tipi İmalat** : İmalat sistemleri içinde en eski olanıdır. Sipariş tipi imalat olarak da adlandırılmaktadır. Ürünün müşterinin özel sipariş şartlarına uygun olarak, istenilen kalite özelliklerinde üretilmesidir.²

Atölye tipi imalatın özellikleri aşağıda görüldüğü gibi sıralanmaktadır

¹ Mahmut Tekin, (1998), *Üretim Yönetimi*, (Konya: Arı Ofset Matbaacılık), s.33.

² Aynı, s. 33.

- 6) Üretim kaliteli ve işgücü kalifiyedir.
- 7) Yüksek miktarda yarı mamul stokları , düşük miktarda mamul stokları vardır.
- 8) Esnektir.

Bu tür imalat sisteminde, düzensiz talep olduğu için kuyrukta bekleme süresi uzundur. Maliyetler yüksektir, çünkü sipariş üzerine üretim yapıldığı için ürünün müşterinin istediği kalitede olması gerekmektedir. Planlama ve kontrol işlemleri mamule göre değişiklik göstermektedir. Elektronik cihazlar, buhar kazanları, lokomotif, soğutucu imalatı ve özel nitelikli giysiler buna örnek verilebilir. Bu imalat sistemi, günümüzde daha az tercih edilir. Çünkü iş akışı oldukça karmaşıktır.

1.1.2. Akış Tipi İmalat: Standart ürünlerin çok miktarda imal edilmesine imkan veren üretim sürecine akış tipi imalat denir.⁶ Bu tür imalatta, sisteme giren birimler ard arda sıralanmış tezgahlardan geçerek üretilmektedir.

Akış tipi imalatta,⁷

- 1) Emegın kullanımı daha azdır.
- 2) Tezgahlar genel amaçlı olmayıp işleme özeldir.
- 3) Seri bir iş akışı vardır.
- 4) İmalatta her makine için belirli bir süre ayrılır.
- 5) Bekleme ve duraklama süreleri en aza indirilir.

1.1.3. Proje Tipi İmalat: Büyük ve hareketsiz bir ürün veya hizmetin üretilmesinde kullanılan imalat tekniğidir.⁸ Burada malzemeler veya parçalar hareketsizdir. Kalıplar, takımlar, makineler, işçiler ve benzeri üretim araçları proje bölgesine getirilip istenen amaca uygun işlemler gerçekleştirilir.

1.1.4. Sürekli İmalat: “Mevcut makine ve tesislerin sadece belirli bir mamule tahsis edilmesi ile yapılan imalat şeklidir”.⁹ Sürekli imalatın özellikleri şunlardır:¹⁰

⁶ Tekin, Ön.ver, s.32.

⁷ Aynı, s.32.

⁸ Esnek Üretim Sistemleri, 1998, (http://www.geocities.com/crayssite/Esnek_Uretim_Sistemleri.htm).

⁹ Tekin, Ön.ver, s. 32.

- 1) Az çeşitte, çok sayıda mamul vardır.
- 2) Talep düzenlidir.
- 3) Üretim süreklidir.
- 4) Üretim safhalara ayrılır.
- 5) İşlemler arası taşıma azalır.
- 6) Yarı kalifiye işgücü kullanılır.
- 7) Yüksek mamul stokları ve düşük yarı mamul stokları vardır.
- 8) İmalat hızı yüksek olup, akış hızı oldukça düzgündür.¹¹

Aşağıdaki tabloda üretim sistemleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 1.1 Üretim Sistemlerinin Karşılaştırılması

Özellikler	Atölye Tipi İmalat	Akış Tipi İmalat	Proje Tipi İmalat	Sürekli İmalat	Hücreli İmalat
Makine tipi	Esnek genel amaçlı	Özel amaçlı, tek işlevli	Genel amaçlı, hareketli	Özel amaçlı	Esnek değil
Süreç tasarımı	Fonksiyonel tip, süreç tipi	Ürün bazlı iş akışı	Proje tipi veya sabitlenmiş iş akışı	Ürün bazlı iş akışı	Ürün bazlı iş akışı
Hazırlık zamanları	Uzun, değişken	Uzun	Değişken	Çok uzun	Değişken
Çalışanlar	Tek işlevli, çok işlevli (bir kişi ve bir makine ile)	Tek işlevli, daha az yetenekli	Tek işlevli, yetenekli	Çok az sayıda çalışan	Tek işlevli
Stoklar	Büyük	Büyük	Değişken	Düşük süreç	Büyük

¹⁰ Aynı, s. 32.

¹¹ Esnek Üretim Sistemleri, 1998, (http://www.geocities.com/crayssite/Esnek_Uretim_Sistemleri.htm).

	miktarda stok	miktarda stok		içi stok	miktarda stok
Parti büyüklüğü	Küçük-orta	Büyük miktarlar	Küçük miktarlar	Uygulanmaz	
Her birim için imalat zamanı	Uzun, değişken	Kısa, sabit	Uzun, değişken	Kısa, sabit	Kısa, sabit

Kaynak: Yılmaz Gökşan, Erdem Sabri, **Hücresele Üretim Sisteminde Makine Parça Ailelerinin Oluşturulmasında Dengeli Talep-Kapasite Ve Dengesiz Talep Kapasite Durumunu Analizi**, (http://www.emu.edu.tr/smecarf/turkce/pdf/bildiri_24.pdf).

1.2. Hücresele İmalatın Tanımı

Hücresele imalat tanımı yapılmadan önce grup teknolojisinin anlaşılması gerekmektedir. Çünkü hücresele imalatın kökeni grup teknolojisine dayanmaktadır.

“Grup teknolojisi , benzer parçaların üretim ve tasarımındaki benzerlik avantajlarından yararlanmak amacıyla birlikte tanımlanıp gruplandırıldığı bir üretim felsefesidir.”¹² Grup teknolojisi önce bir yönetim felsefesi olarak ortaya çıkmıştır. Daha sonra üretim alanına uygulanmıştır. Bu yüzden hücresele imalat grup teknolojisinin üretime uygulanmış hali denilebilir.¹³ Hücresele imalatın bunun dışındaki tanımları aşağıda verilmiştir.

Hücresele imalat benzer parçaların (parça ailelerinin) toplama sürecini ve bunları üretecek makinelerin kümelendirilmesidir.¹⁴ Hücresele imalat, belli işlerin hücreler adı verilen iş istasyonları topluluğunda gerçekleştirilmesidir.¹⁵

Bu tanımlar ışığında hücresele imalatı şu şekilde tanımlayabiliriz. Benzer yada ortak özelliklere sahip ve üretim işlemleri açısından aynı makinelerin kullanılmasını

¹² Göşen Yılmaz, Sabri Erdem, **Hücresele Üretim Sisteminde Makine- Parça Ailelerinin Oluşturulmasında Dengeli Talep- Kapasite ve Dengesiz Talep- Kapasite Durumunun Analizi**, (http://www.emu.edu.tr/smecarf/turkce/pdf/bildiri_24.pdf).

¹³ Nanua Singh, Divakor Rajamani, (1996), **Cellular Manufacturing Systems, Design, Planning And Control**, , London: Chapman and Hall, s. ix..

¹⁴ Aynı, ix..

¹⁵ <http://www.enso.boun.edu.tr/steps/steps1.pdf>.

gerektiren parça ailelerinin oluşturulması ve oluşturulan bu parça ailelerinin makinelerde üretilecek şekilde düzenlenmesidir.

“Hücrenel imalatta amaç, benzer imalat/ işlem özelliklerine sahip parça ailelerini ve makine hücrelerini belirlemek ve bu hücrelere uygun bir yerleşim düzenlemesiyle malzeme akışını basitleştirmektir”.¹⁶ Böylece imalattaki hazırlık zamanlarında, akış sürelerinde azalma olacaktır.

Hücrenel imalatta parça aileleri ve makine hücreleri oluşturmak önemli bir aşamadır. Bu yapılırken farklı yöntemler benimsenmiştir.

- 1) Parça ailesi gruplamalı çözüm stratejisi: “Önce makine hücrelerinin oluşturulması, daha sonra makinelere parçaların atanarak parça ailelerinin oluşturulmasıdır.”¹⁷
- 2) Makine gruplamalı çözüm stratejisi: “ Önce parça ailelerinin oluşturulması ve daha sonra bu belirlenen parça ailelerinin makinelere atanarak makine hücrelerinin oluşturulmasıdır. ”¹⁸
- 3) Aynı anda makine- parça gruplama stratejisi: “Hem parça aileleri hem de, makine hücrelerinin aynı anda oluşturulmasıdır.”¹⁹ Bu duruma “ Aynı anda makine-parça gruplama stratejisi adı da verilmektedir. ”²⁰

Günümüzde fabrikalarda parçaların su gibi bir akışa yaklaşması istenir. Bu durum Japon imalat tarzı olan Tam Zamanında İmalat Sisteminin vizyonunu oluşturmaktadır. Burada imalattaki parti miktarlarının küçültülerek hatta idealize edilerek, bire indirildiği imalat süreçlerinin ve sistemlerinin oluşturulması amaçlanmaktadır.²¹

¹⁶ Ali Dülger, (1995), “Hücrenel Üretim sistemi ve Bir sanayi işletmesinde Uygulanması”, (Yayınlanmamış lisansüstü tezi, Çukurova üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü), s. 15.

¹⁷ Mustafa Bağlı'nın (m_bagli @yahoo.com), “Desing of Cellular Manufacturing for Dynamic and Uncertain Production Requetments with Presence of Routing Flexibility” konusunda Pelin Minsin'e (pelinminsin@yahoo.com) elektronik posta ile 23 Haziran 2003 tarihinde gönderdiği belge. (E-Mail) Ronald G Askın vd, (1991), “A Hamiltonian Path Aproach To The Part-Machine Matrix For Cellular Manufacturing”, **İnternational Journal Of Production Research**, , Volume. 29. , Issue. 6. , s. 1082.

¹⁸ Ronald , **Ön. ver**, s. 1082.

¹⁹ Bağlı, **Ön. ver**, (E- Mail).

²⁰ Bağlı, **Ön. ver**, (E-Mail).

²¹ Nevda Atalay, Dilek Birbil. (1993/3), “Hücrenel Üretim Sistemine Geçişte Grup Teknolojisi Uygulanması”, **Verimlilik Dergisi**, Cilt. 3, sayı. 3, s. 85.

1.3. Hücresel İmalat Sisteminin Amaçları

Hücresel imalat sistemi bazı amaçlardan hareketle geliştirilmiştir. Bu amaçlar:²²

- 1) Hücreler arasındaki malzeme/yarı mamul akışını minimize etmek .
- 2) Hücre içindeki malzeme akışının minimum düzeyde olmasını sağlamak.
- 3) Parçaların hazırlık sürelerini minimize etmek.
- 4) Parça ailesindeki benzerliği minimize etmek.
- 5) Toplam imalat maliyetlerini azaltmak
- 6) Makinelere yararlanma oranını arttırmak.
- 7) Daha kaliteli parça imalatını sağlamak.
- 8) İş istasyonları arasındaki yarı mamul stoklarını azaltmaktır.

Yöneticiler, bu yukarıda sayılan durumları göz önünde tutarak kendileri için hücresel imalatın amacını belirlemelidirler.

1.4. Hücresel İmalatın Avantajları

Yapılan araştırmalar hücresel imalatı uygulayan firmaların, bu yöntemlerden birçok avantaj sağladığını ortaya koymuştur.

Bu avantajlar aşağıda görüldüğü gibi sıralanmaktadır:²³

- 1) Materyal akışı basitleştirilir.
- 2) Çizelgelemeyi kolaylaştırır.
- 3) İmalat planlama ve kontrol prosedürleri basitleştirilmiştir.
- 4) Hücresel imalatı uygulayan firmaların, imalat zamanında, stoklarda, malzeme maliyetinde, alet ihtiyacında ve akış sürelerinde azalma görülmüştür.
- 5) Ürün kalitesi gelişir ve buna bağlı olarak parça üzerinde daha çok kontrol sağlanır.
- 6) Çalışanların daha yüksek motivasyon ve moralle çalışarak, işlerinden tatmin olmaları sağlanır.²⁴

Hücresel imalatı uygulayan 12 firmada anket yapılmıştır. Sonuçlar aşağıda Tablo 1.2 'de verilmiştir.

²² Dülger, **Ön. ver.**, s. 18.

²³ Aynı, (E-mail).

²⁴ A. Irani Sharukh, Subramanion Ham, S. Yosef, (1999), "Introduction To Cellular Manufacturing Systems, Handbook Of Cellular Manufacturing Systems", (Newyork:John Willey And Sons Inc), s. 10.

Tablo1.2 Hücresel İmalat Uygulamasından Çıkan Sonuçlar

Ölçüm	% artış	Ortalama % artış	% azalış	Ortalama % azalış
Araç Maliyeti	69	17	31	10
Yer Maliyeti	9	25	91	33
Kuruluş Maliyeti	16	32	84	53
Dönüş Zamanı	16	30	47	40
Makine Yararları	53	33	57	20
Kontrol Etme	43	10	10	50
İmalat Kalitesi	90	31	15	15
Yarı mamul	95	36	87	25
Mal stoku	83	40	100	58

Kaynak: Askın G. Ronald And Estrada Steve, (1999) Investigation Of Cellular Manufacturing Practices, **Handbook Of Cellular Manufacturing Systems**, (Newyork:John Willey And Sons Inc), s. 29.

Tablo 1. 2` de on farklı kriter ölçülmüştür. Tabloyu değerlendirdiğimizde kullanılan araçların maliyetlerinde artış varken, yer maliyetlerinde, kuruluş maliyetlerinde %50`nin üzerinde azalış görülmektedir. Makine kullanımları hemen hemen aynı kalmıştır. Azalış ve artış arasında %3`lük bir fark vardır. Kontrol etme ölçüm kriterinde ise oldukça fazla artış görülebilmektedir. İmalat kalitesinde- ki bu oldukça önemli bir ölçüm kriteridir- %90`lık bir artış görülmüştür. Mal stokunda ise %100`lük bir azalış görülmüştür.

1.5.Hücresel İmalatın Dezavantajları

Hücresel imalatın avantajları yanında bazı dezavantajlarda mevcuttur:²⁵

- 1) Hücresel imalat yatırımında artışa neden olmaktadır.
- 2) Fonksiyonel ve süreç yerleştirme ile karşılaştırıldığında hücresel imalat esnek olmayan bir yapıya sahiptir.
- 3) Hücreler makine duruşlarına çok duyarlıdır.
- 4) Değişimler için daha fazla zaman ve paraya ihtiyaç bulunmaktadır.
- 5) Veri toplama ve sınıflamada güçlükler söz konusudur.
- 6) Makine sayılarındaki artış ve hücre dışı elemanların elenmesi ile makine kullanımlarında azalış gözlemlenmiştir. ²⁶

Bunlar hücrelerin dizayn özelliklerinden, hücreleri dizayn ederken ve değerlendirirken kullanılan metotlardan kaynaklanır. ²⁷ Ancak takım çalışması ve yönetimin desteği ile yukarıda sayılan dezavantajları en aza indirmek mümkündür.²⁸

1.6. Hücresel İmalatın Tasarımı

Hücresel imalatın tasarımı yada dizaynı zor ve karmaşıktır.²⁹ Firmaların düşük maliyette daha hızlı imalat yapmayı amaçlamaları nedeniyle yeni imalat teknikleri geliştirilmiştir. Hücresel imalat da bu arayışların bir sonucudur.

Hücresel imalat tasarlanırken imalat hücresinin tanımlanması gerekir. İmalat hücresi, bir parça ailesi imal etmek amacıyla gruplandırılmış bir veya daha fazla iş istasyonlarından oluşur. ³⁰

Hücresel imalat tasarlanırken, Wemmerlöv ve Hyer (1986) bu konuyla ilgili çalışmaları iki ayrı grupta toplamıştır. Bunların birincisi sistem yapısı ile ilgili olup, ikincisi sistem işletimine ilişkindir. Bu şekilde bir gruplama ile tasarımın karmaşıklığı an aza indirilebilecektir.

Sistem yapısına ilişkin çalışmalar, ³¹

²⁵ Şevkinaz Gümüšoğlu, Hulusi Demir, (1994), *Üretim/ İşlemler Yönetimi*, (İstanbul: Beta Basım A.Ş), s. 290.

²⁶ Atalay, *Ön.ver*, s. 86.

²⁷ Sharukh ve Şubramanion, *Ön.ver*, s.10.

²⁸ Dülger, (1995), *Ön.ver*, s. 20.

²⁹ Selim Aktürk, Ayten Türkan, (2000), "Cellular Manufacturing System Design Using A Holonistik Approach", *International Journal Of Production Research*, Vol. 38. , No.19. , s. 2327.

³⁰ Dülger, (1995), *Ön.ver*, s. 21.

- 1) Parça ailelerinin oluşturulması.
- 2) Makine gruplarının belirlenmesi ve hücrelerin oluşturulması.
- 3) Hücre için gerekli takımların, düzeneklerin ve işçilerin seçilmesi.
- 4) Malzeme taşıma sistemine ait ekipmanın tipinin ve sayısının belirlenmesi.
- 5) Sisteme ilişkin yerleşim düzeninin belirlenmesidir.

Hücresel imalatın işletimi ile ilgili çalışmalar,³²

- 1) Bakım onarım politikasının belirlenmesi.
- 2) Muayene yöntemlerinin belirlenmesi.
- 3) İmalat planlama, çizelgeleme ve kontrol prosedürlerinin tasarımı.
- 4) Detaylı iş tanımlarının yapılması ve hücre içindeki işçilerin ve destek personelinin iş sorumluluklarının belirlenmesi.
- 5) Rapor mekanizmalarının ve ödüllendirme sistemlerinin tasarımı.
- 6) İmalat sistemi içinde kalan diğer prosedürlerin bilgisayar kontrolü olsun olmasın iş akışı ve bilgi düzeyinin belirlenmesidir.

Yukarıda sıralanan çalışmaların hangisinin öncelikli olduğu konusunda bir sıralama yapmak mümkün değildir. Ama genelde sistem yapısına ilişkin çalışmaların diğerlerinden önce gelmesi daha iyi olur.

Tasarım aşamasında önemli olan bir konu; sistem yapısına ilişkin çalışmalar ile hücresel imalatın işletimine ilişkin çalışmaların birbirine paralel, dengeli bir şekilde yürütülmesidir.

Tasarım aşamasında parça ailelerinde olabilecek değişikliklere uyum sağlaması yani sistemin esnek bir yapıya sahip olması diğer önemli bir konudur.

Tasarım aşamasında alınan her karar hücresel imalatın maliyetlerini etkilemektedir.

Hücresel imalat tasarımı yapılırken bazı performans kriterlerini de göz önünde tutulması gerekir. Bu performans kriterleri iki başlık altında incelenebilir. Bunlar sistem yapısına ilişkin ve sistem işletimine ilişkin performans kriterleridir. Sisteme yönelik performans kriteri, sisteme yönelik ve işe yönelik performans kriterleri şeklinde

³¹ Atalay, **Ön. ver.**, s. 87.

³² Aynı, s. 87.

incelenebilir.³³ Bu şekilde ki bir grupta ile hücresele imalat tasarımı yapılırken karşımıza çıkabilecek durumlar yada kriterler hakkında bilgi sahibi olabiliriz.

Sistem Yapısına İlişkin Performans Kriterleri:

- 1) Ekipmanın yer değiştirme maliyeti
- 2) Yeni düzenleme sonucu gerek duyulan fiziki alan
- 3) Ekipman ve takımlara yapılacak yatırım
- 4) Esneklik düzeyi (parçaları çeşitli makinelerde veya değişik hücrelerde imal edebilme becerisi)
- 5) Parçaların ne kadarının hücre içinde imal edildiği,
- 6) İşçilerin ve malzemelerin hücre içi ve hücrelerarası hareketlerinin varlığı.

Sistem İşletimine İlişkin Performans Kriterleri:

Sisteme Yönelik Performans Kriterleri:

- 1) Parçaların ve işçilerin hücre içi ve hücrelerarası hareketleri
- 2) Makine kullanımı
- 3) Süreç içi envanter
- 4) İşgücü kullanımı
- 5) Her iş istasyonunda bekleme süreleri
- 6) Hazırlık süreleri

İşe Yönelik Performans Kriterleri:

1. İş çıktı hızı
2. İmalat süresi
3. Her istasyonda bekleme süresi
4. Taşımaya ayrılan süre
5. İşte meydana gelebilecek gecikmeler.

Tasarım yapılırken bazı tasarımcı bazı hücresele imalat tasarımı kısıtları ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu tasarımı kısıtlarının neler olduğuna tasarımcılar karar

³³ Aynı, s. 88.

vermektedirler. Hücresel imalat tasarım kısıtları makine kapasitesi, malzeme akışları, hücre büyüklüğü ve sayısı, güvenlik ve teknolojik özellikler.³⁴

1) Makine Kapasitesi

Hücresel imalatın olabilmesi için, tüm parçaların işlemlerini yapabilecek yeterli makine kapasitesi olması gerekir.

2) Malzeme Akışları

Kullanılan kümelenendirme yöntemleriyle malzeme akışlarının en aza indirilmesine çalışılır.³⁵ Çünkü malzeme akışı işletmede ekstra makine ihtiyacına sebep olabilir. Bu da maliyeti artırır. Bu yüzden malzeme akışları hücresel imalatta tasarım kısıtını oluşturur.

3) Hücre Büyüklüğü ve Hücre Sayısı

Hücre büyüklüğü ve hücre sayısı, hücredeki makine ve işçi sayısına bağlı olarak değişebilir. Bu sayıyı bazı yazarlar için 3, bazı yazarlar için 5' dir. Fakat işçinin kontrol edebileceği kadar hücre olmalıdır. Çünkü hücrenin bir özelliği de kendi kendini kontrol etmesidir. Ayrıca bir kontrol mekanizması işlemez.

4) Güvenlik ve Teknolojik Özellikler

Hücresel imalatın tasarımı yapılırken güvenlik ve teknolojik özellikler unutulmamalıdır. Malzeme akışının fazla olduğu durumlarda iki makine farklı hücreye veya ortak bir kaynak kullanımı söz konusu olduğunda aynı hücreye konulabilir.

Bunlar dışında tasarımcı ,

- Ekstra makine ihtiyacı olup olmadığını,
- Hücre içi ve hücreler arası yerleşim düzeninin uygunluğunu dikkate almalıdır.

1.6.1. Parça Ailesinin Oluşturulması

Parça ailesi gerek geometrik şekil ve boyutlar, gerekse birbirine benzeyen imalat özellikleri yönünden benzer parçaların bütünü olarak tanımlanır.³⁶

Hücresel imalatta öncelikle parçalar seçilmeli ve buna uygun parça aileleri belirlenmelidir. İmalat özellikleri yönünden birbirine benzeyen parçalar aynı ailede yer

³⁴ S.S Heregu, (1989), "Knowlege Based Approach to Machine Cell Loyout", **Computer and Indusrrial Engineering**, Vol. 17. , No. 1-4, s. 49.

³⁵ Aynı, s. 59.

³⁶Dülger, **Ön.ver.**, s. 24.

almaktadır. Ancak parçaların sadece imalat özellikleri yönünden birbirine benzer olması yeterli değildir; parçaların boyutları, şekilleri vb. konularda dikkate alınmalıdır.

Parça ailesinin seçimi oldukça önemlidir. Çünkü hücre tasarımını etkilemektedir. Normalde parça ailesindeki her parça hiçbir makine atlanmadan tüm makinelerde aynı sırada işlem görecektir ve geri dönüşe izin verilmeyecektir. Fakat bu durum sadece bir makine söz konusu olduğunda ortaya çıkabilir. Birden fazla makinenin olduğu durumlarda geri döngülere izin verilecek şekilde parça aileleri düzenlenmelidir.

Parça ailesi belirlenirken, parçaların teknik özellikleri yanında firma da düşünülmelidir. Bir parça ailesi belirlendikten sonra hücresel imalata uyumu açısından analiz edilip; daha sonra hücreler belirlenmelidir.³⁷ Parça ailesi belirlenirken aşağıdaki özellikler dikkate alınmalıdır.³⁸

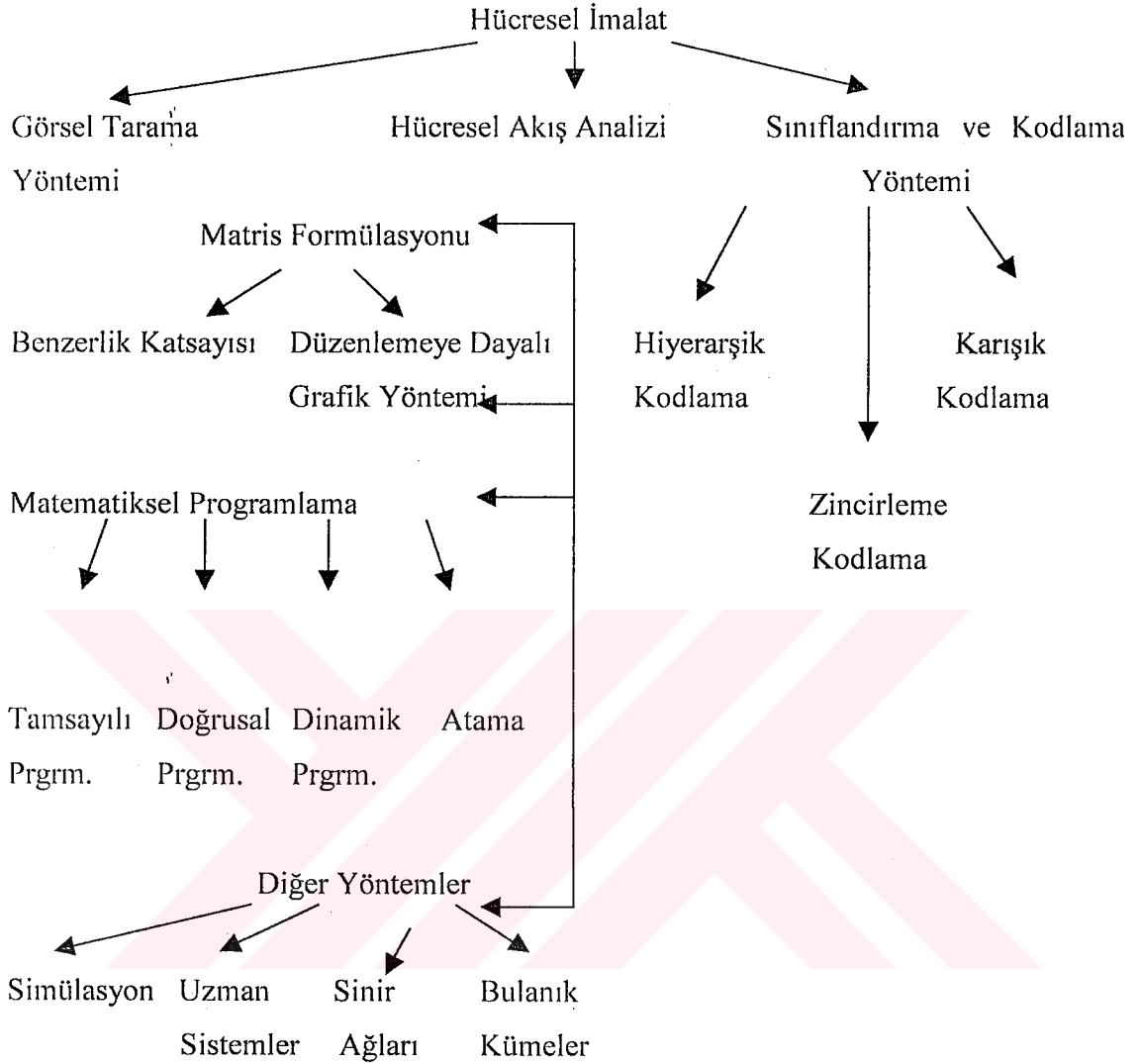
- 1) Hücreler kendi kendine yeterli olmalıdır. Aile içerisindeki tüm parçalar kendilerine ayrılan makine hücrelerinde imal edilmelidir.
- 2) Makinelere yararlanma oranının yüksek olması, ekonomik imalat için şarttır.
- 3) İnsan gücü kullanım oranı yüksek olmalıdır.
- 4) Benzer parçaların aynı yerde imal edilmesi, tezgah hazırlama zamanlarını düşürmektedir.
- 5) Makinelere eşit yük dağıtılmalıdır. Yoksa darboğazlar oluşur.
- 6) İmalat hücreleri kendi kendini denetlediğinden işler basitleşir.
- 7) Belirli zamanlarda parça aileleri gözden geçirilerek firmanın esnekliği korunmalıdır.
- 8) Firma içi taşımacılık dikkate alınmalıdır.

Hücresel imalatın en zor aşaması tasarım aşamasıdır. Özellikle parça/ makine hücrelerinin oluşturulmasında bu zorlukla karşılaşmaktadır. Bu zorluğu ortadan kaldırmak için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar Şekil 1.1'de verilmiştir.

³⁷ Atalay, **Ön. ver.**, s. 92.

³⁸ Ham Inyong, Hitomu Katsudo, Yoshida Teruhiko, (1985), **Group Technology Applications To Production Management**, (Bostan: Kluwer-Nijhoff Publishing), s. 24.

Şekil 1.1 Hücresel İmalatta Kullanılan Yöntemler



Kaynak: Shafer S. M., (1998), Part-Machine-Labor Grouping: The Problem and Solution, **Group Technology and Cellular Manufacturing, State of The Art Synthesis of Research and Practice**, Baston: Kluwer Academic Publisher. s.134.

Yukarıda verilen yöntemler hücresel imalat tasarlanırken, parça ailesinin seçiminde ve hücrelerin oluşturulmasında kullanılan yöntemlerdir. Uygulamada hücreler kurulurken özellikle Hücresel Akış Analizleri kullanılır. Bu yöntem kullanılırken benzerlik katsayısı yöntemi, tamsayılı programlama gibi birçok sayısal teknikten yararlanır.

1.6.1.1. Görsel Tarama Yöntemi

Bu yöntem diğer yöntemler içinde en kolay ve en ucuz olanıdır. Parçalar genel özellikleri ile fiziksel şekillerine veya fotoğraflarına bakılarak benzerliklerine göre sınıflandırılır. Bu yöntem çok büyük parça ailelerinde yetersiz kalır. Bu yüzden en az tercih edilen yöntemdir.

Yöntemin başarısı genellikle tasarımcının becerisine ve kişisel takdirine kalmıştır. Çünkü tasarımcı parça ailesini gözlemleyerek kurmaktadır.

1.6.1.2. Sınıflandırma ve Kodlama Yöntemi

Oldukça zor, zaman alıcı ve komplike bir yöntemdir. Bu yöntem, parça özelliklerini ve parçaların imalata katkılarını gözden geçirerek parçaları parça grupları (aileleri) halinde sınıflandırmaktadır. Sınıflandırmada parçaların özel kod numaraları olması gerekir. Kod, parçaların özellikleri hakkında bilgi veren bir dizidir.³⁹

Sınıflandırma ve kodlama sistemi ilk bakışta çok kolay görülebilir. Ancak oldukça karmaşık ve zaman alıcıdır. Farklı firmalar uygulamada farklı kodlama sistemi uygulamalar.

Sınıflandırma ve kodlamanın amacı, bilginin hızlı ve etkin bir şekilde elde edilmesidir. İyi tasarlanmış bir kodlama ve sınıflandırma sistemi bize birçok avantaj sağlamaktadır.⁴⁰

- 1) Parça/ makine hücrelerinin oluşturulmasını kolaylaştırır.
- 2) Parça tasarımlarının, çizimlerinin ve süreç planlarının daha hızlı ve etkin kullanılmasını sağlar.
- 3) Tasarımın tekrar tekrar yapılmasını önler.
- 4) İmalat planlama ve çizelgeleme faaliyetlerini kolaylaştırır.
- 5) Maliyet tahminlerinin daha sağlıklı olmasını sağlar.
- 6) İnsan gücü ve makine kullanım oranlarını yükseltir.

Bir çok kodlama sistemi vardır. Bunlardan en önemlileri,⁴¹

- 1) Hiyerarşik Kodlama

³⁹ Singh ve Dinakar, **Ön. ver**, s. 17.

⁴⁰ Inyong, Katsudo ve Teruhiko, **Ön.ver**, s. 17.

⁴¹ Aynı, s.17.

- 2) Zincir Kodlama
- 3) Karışık Kodlamadır.

1.6.1.2.1. Hiyerarşik Kodlama

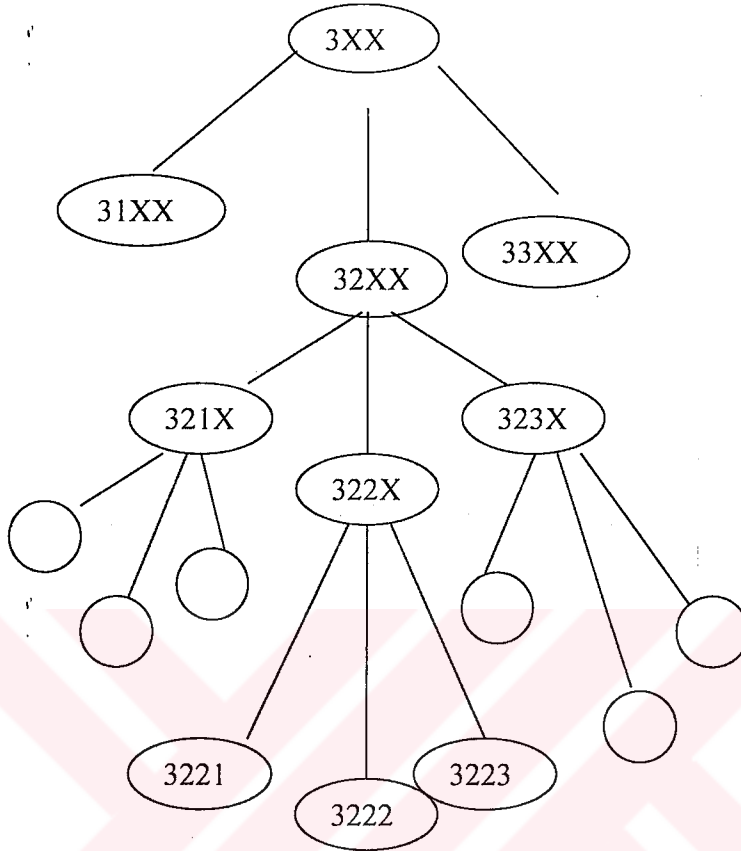
Bu kodlama biyolojik sınıflandırma için geliştirilmiştir ve önceki koda bağlılık söz konusudur. Bu kodlama sisteminin:⁴²

- 1) Kuruluşu zordur.
- 2) Derin bir analiz gerektirir.
- 3) Sürekli bilgiyi depolamak için kullanımı uygundur.
- 4) Kısa bir kod içinde daha fazla bilgi sağlar.

Hiyerarşik kodlamanın yapısı ağaca benzer. Her bir karakter, ağaçta belli bir dalı ifade eder ve karakterler sağdan sola okundukça ağaçta aşağıdan yukarıya bir yol izlenerek, parça hakkında bilgi elde edilir. (Bkz. şekil 1. 2)

⁴² Aynı, s. 17.

Şekil 1.2 Tekli Sistem



Kaynak: C.C. Gallagher ve W.A. Knight, (1986), *Group Technology Production Methods in Manufacture*, New York: Ellis Horwood Limited, s. 131.

1.6.1.2.2. Zincir Kodlama

Zincir kodlamada parça tek olarak tanımlanır ve diğer karakterlerden bağımsızdır.⁴³ Kodlamanın özellikleri:⁴⁴

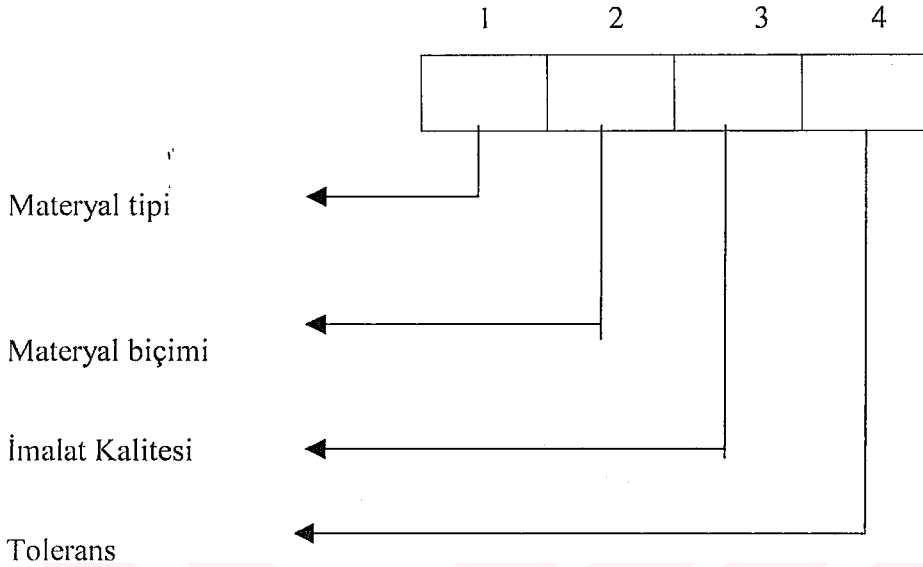
- 1) Öğrenmesi, kullanımı ve değiştirilmesi kolaydır.
- 2) İmalat özellikleri için gerekli olan bilgiyi toplamaya izin verir.
- 3) Kod uzundur, bu özellik zincir kodlamanın dezavantajı sayılabilir.
- 4) İmalat departmanları tarafından kullanılır.

Zincir kodlama Şekil 1.3'de şematik olarak ifade edilmiştir.

⁴³ Aynı, s. 17.

⁴⁴ Aynı, s. 18.

Şekil 1.3 Zincir Kodlama Sistemi



Kaynak: C.C. Gallagher ve W.A. Knight, (1986), **Group Technology Production Methods in Manufacture**, New York: Ellis Horwood Limited, s. 131.

Yukarıdaki şekilde 1 materyal tipini, 2 materyal biçimini, 3 parçanın imalat kalitesini, 4 ise parçanın toleransını bize vermektedir.

1.6.1.2.3. Karışık Kodlama

Karışık kodlama, tekli ve çoklu kodun avantajlarını bir araya getirerek daha fazla bilgiyi kullanmamıza yardımcı olur. Bu kodlama sisteminde kodlar öbekler halinde oluşturulur. Bu yüzden daha kısa ve daha fazla bilgi içerirler. Günümüzde de genellikle bu kod kullanılır.

1.6.1.3. İmalat Akış Analizi

İmalat Akış Analizi (PFA- Production Flow Analysis) Burbidge tarafından (1961-1963) yıllarında ilk kez ortaya atılmıştır. Fabrikalarda parçalar ile ilgili bilgileri listeleyerek imalatı analiz edip, makine grupları ve parça ailelerinin oluşturulmasında kullanılan bir yöntemdir.⁴⁵ Benzer uygulama sıralamalarına sahip parçaları

⁴⁵ Sharukh ve Subramanion, **Ön. ver.**, s. 17.

gruplamaktadır.⁴⁶ İmalat Akış Analizinin yapılması için çok iyi bir doküman sistemi olmalıdır. Analiz yapılırken parçaların imalat sırası ve imalat rotası ile ilgili bilgiler kullanılmaktadır.

İmalat Akış Analizi adı altında son yıllarda bir çok yöntem geliştirilmiştir: Matris formülasyonu, grafik ve şebeke teorileri, matematiksel programlama bunlardan birkaçıdır.

İmalat Akış Analizi genel olarak 4 aşamada incelenir:⁴⁷

1. **Veri Toplama:** Bu aşamada, bir imalat sisteminde analiz edilecek parçaların sayısı belirlenir. Bu parçaların sayısı belirlendikten sonra diğer aşamalara geçilir.
2. **İşlem Sıralarının Belirlenmesi:** Parçaların benzerliğine göre işlem sıraları belirlenir. Eğer parça sayısı çoksa bunlar üretim ortamına aktarılarak gerekli işlemler yapılır.
3. **İmalat Akış Analizi Tablosunun Hazırlanması:** İmalat akış analizi tablosu hazırlanırken parça aileleri ve makine hücreleri oluşturulur. Parça aileleri ve makine hücreleri oluşturulurken genellikle hücrenel imalatta parça-makine ilişki matrisi kullanılır.⁴⁸
4. **Analiz:** İmalat Akış Analizinin en zor aşamasıdır. Çünkü bu analizde aynı zamanda subjektif veriler çok fazla kullanılır. Ayrıca, hücrelere girmeyen makineler yada atanacak hücre bulunması gibi sorunlar çıkabilir.

1.6.2. Makine Hücrelerinin Oluşturulması

Hücre oluşturulurken, her parça ailesinin imalat süresi ve kapasitesiyle ilgili bilgiler geniş şekilde toplanmalıdır. Bu yüzden her parçanın çevrim süresi makineler hücreye tahsis edildiğindeki işlem süresi ile uyumlu olmalıdır.

Hücrenel imalatta amaç, mümkün olabildiği kadar fazla sayıda makinenin bir hücreye taşınmasıdır. Böylece iş akışı veya malzeme akışı hücre içinde kolaylaşacaktır.

⁴⁶ Aynı, s. 17.

⁴⁷ Gallagher, C.C and W.A Knight.,Ön. ver, s. 55.

⁴⁸ Ufuk Cebeci, (1994), "Hücrenel İmalatın Başlangıç Aşamaları için Uzman Sistem yaklaşımı", /Yayınlanmamış Lisansüstü Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), s. 13.

Makine gruplarının oluşturulmasında dikkat edilmesi gereken bazı noktalar şöyle sıralanabilir: ⁴⁹

1. Bir hücrenin kurulması için yeterli miktarda iş yükünün olması gerekir.
2. Parça aileleri, makinelerin dengeli kullanımına olanak vermelidir.

1.7 Hücresel İmalatta Yerleşim Düzenin Seçimi

Hücre tasarımında yerleşim şekli seçilirken şu noktalara dikkat edilmelidir: ⁵⁰

- 1) İmalat hücresinin kendisiyle ve diğer iş istasyonlarıyla olan bağlantıları göz önünde tutulmalıdır.
- 2) Yerleşim düzeninde akış hattı düşünülmelidir. Parçaların makinelerde mümkün olduğunca geri dönüşüne izin verilmemeli eğer farklı işlemler için (geri dönüş) aynı tezgah kullanılacaksa o zaman yıldız yerleşim düzeni seçilmelidir.
- 3) Yerleşim düzeni esnek olmalıdır.
- 4) Süreçler arasında malzeme akışı en aza indirilmelidir.
- 5) Atölyede ergonomik koşullar (ısı, ışık vs) dikkate alınmalıdır.

İyi bir yerleşim planının getirdiği kazançlar aşağıda sıralanmıştır. ⁵¹

- 1) Departmanlar arasındaki uzaklığı azaltır.
- 2) Malzeme akış maliyetlerini ve süreyi azaltır.
- 3) Çalışanın verimini artırır.
- 4) Makine kullanım oranını artırır.
- 5) İmalat süreci hazırlanır ve gecikmeler kısılır.
- 6) Gereksiz sermaye yatırımını önler.
- 7) Toplam imalat maliyetini azaltır.

Hücresel imalatta yerleşim düzeni için değer analizi, simülasyon, Craft algoritması gibi teknikler kullanılabilir.

⁴⁹ Ada ve Soyuer. **Ön. ver.**, s. 93.

⁵⁰ Dülger, **Ön. ver.**, s. 37.

⁵¹ Zafer Aygar **İş Şekillendirme ve İş Yeri Şekillendirme (Rasyonalizasyon)**, 1998, (<http://www.geocities.com/zaferegyar/isyeri.htm>).

1.7.1. Yerleşim Düzenleri

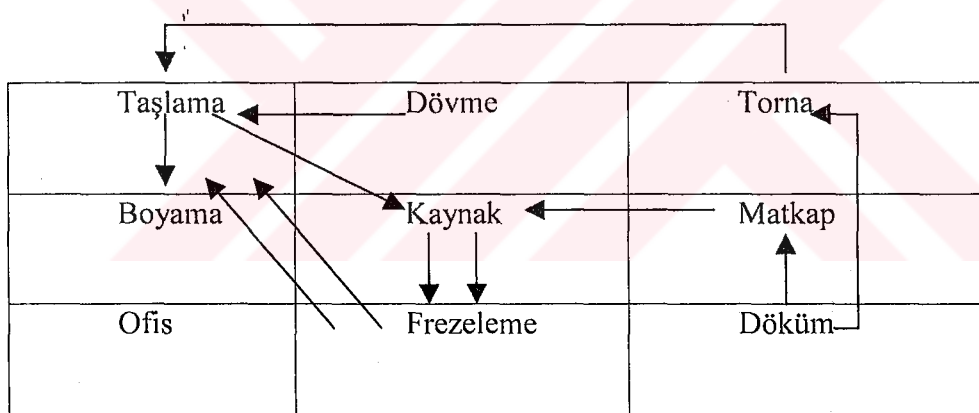
Genellikle 4 tip yerleşim düzeninden söz edilebilir:⁵²

- 1) Sürece (Fonksiyonel) Dayalı Yerleşim Düzeni
- 2) Ürüne (Yapına) Dayalı Yerleşim Düzeni
- 3) Sabit Konumlu Yerleşim Düzeni
- 4) Hücresel Yerleşim Düzeni

1.7.1.1. Sürece Dayalı Yerleşim Düzeni

Sürece dayalı yerleşim düzeninde aynı yapıya sahip tüm işlemler bir bölüm altında toplanmalıdır.⁵³ Yani aynı işi yapan makineler aynı atölyelere yerleştirilir.⁵⁴ İmalat yapılırken malzeme ve parçalar süreçteki akışa göre atölyeleri dolaşır.⁵⁵

Şekil 1.4 Sürece Dayalı Yerleşim Düzeni



Kaynak: Şevkinaz Gümüsoğlu, Hulusi M Demir, (1994) ,Üretim /İşlemler Yönetimi, İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., s.234.

Şekil 1.4 de herhangi bir parça dökümle başlıyorsa daha sonra matkaba, matkaptan sonra kaynağa, kaynaktan frezelemeye, frezelemeden taşlamaya, taşlamadan da boyamaya gider.

⁵² Gümüsoğlu, ve Demir, **Ön.ver**, s. 293.

⁵³ Aynı, s. 293.

⁵⁴ Feray Odman Çelikçapa, (1994), **Endüstri İşletmelerinde Üretim Yönetimi ve Teknikleri**, (Bursa: Vipaş A.Ş Yayınları), s. 50.

⁵⁵ Aynı, s. 50.

Bu tür yerleştirme şekli, sipariş esasına dayalı imalat yapan kurumlar için daha uygundur.

Sürece dayalı yerleşim düzeni aşağıdaki durumlarda kullanılır.⁵⁶

- 1) Birkaç tip ve stilde yada özel siparişe göre üretim yapılıyorsa,
- 2) Toplam imalat yüksek olsa bile birimlerin düşük hacimde imal edilmesi gerekiyorsa,
- 3) Yeterli sayıda zaman ve hareket etüdü yapmak çok güçse,
- 4) Ardışık işlemler esnasında çok sayıda muayene gerekiyorsa.
- 5) Materyaller ve ürünlerin çok büyük yada ağır olması nedeniyle partiler halinde veya sürekli olarak aktarılmaları çok güçse,
- 6) İki yada daha çok işlem için aynı makine veya iş istasyonunu kullanmak zorunluluğu varsa.

Sürece Dayalı Yerleşim Düzeninin Avantajları⁵⁷

- 1) Siparişe göre imalata uygundur.
- 2) İmalat araçlarına yapılan yatırımı düşüktür.
- 3) Makine arızasının sistem üzerindeki etkisi düşüktür.
- 4) Ekstra imalat araçları ve iş gücü kullanır.
- 5) Çeşitli işler ve yetenek gerektiren iş ortamı nedeniyle iş tatmini yüksektir.

Sürece Dayalı Yerleşim Düzeninin Dezavantajları⁵⁸

- 1) Sipariş başına malzeme kullanım oranı yüksektir ve buna bağlı olarak taşıma maliyetleri oluşur.
- 2) Düşük hacimlerde imalat yapılır, imalat araçlarının kullanım oranı düşüktür.
- 3) Yetenekli iş gücü gerektiğinden iş gücü maliyeti yüksektir.
- 4) İmalat denetimi daha karmaşıktır.
- 5) Kontrol maliyeti yüksektir.

⁵⁶Gütmüşoğlu ve Demir, **Ön. ver.**, s. 233.

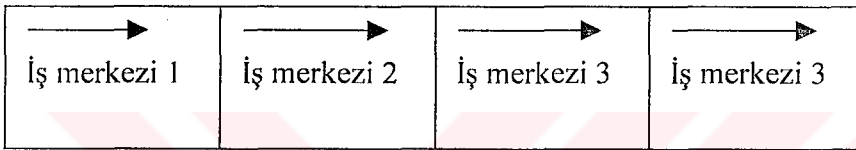
⁵⁷Gütmüşoğlu ve Demir, **Ön. ver.**, s. 234.

⁵⁸Aynı, s.234.

1.7.1.2. Ürüne Dayalı Yerleşim Düzeni

Ürüne dayalı yerleşim düzeni, çalışanları ve imalat araçlarını ürün veya müşteri üzerinde yerine getirilen işlemlerin sırasına göre gruplandıran düzenlemelerdir.⁵⁹ Seri imalata en uygun yerleştirme tipidir.⁶⁰ Sürece dayalı yerleştirmeden en önemli farkı iş akışıdır. Burada makineler işlem sıralarına göre dizilmektedir. Otomobil ve bilgisayar imalatı ürüne dayalı yerleşim düzeni gerektirir.⁶¹ Bu yerleşim düzeninde, az türde standartlaşmış ürünlerin büyük miktarlarda imalatı tasarlanmıştır.

Şekil 1. 5 Ürüne Dayalı Yerleşim Düzeni



Kaynak: Mehmet Akansel, **Tesis Organizasyonu**,(2000), (<http://www20.uludag.edu.tr/~akansel/EE802-7.doc>).

Şekil 1. 5 de gösterildiği gibi üretim aşamasında parçalar iş merkezlerinden geçerek yapılır.

Ürüne dayalı yerleşim düzeninde işlemler ürüne ve montaj sırasına göre düzenlenmiştir. İşçiler belirli işlemlerin yapımında uzmanlaşmışlardır ve araçlar sürekli hareket halindedir.⁶²

Ürüne göre yerleşim düzeni aşağıdaki durumlarda kullanılır:⁶³

- 1) Tek yada birkaç standart ürün çıkarılıyorsa,
- 2) Üretilecek her birimin belirlenmiş bir süre zarfında geniş hacimde üretilmesi gerekiyorsa,
- 3) Çalışma hızını saptamaya yarayan zaman ve hareket etüdü olanakları varsa,
- 4) İşçi ve makineler arasında iyi bir denge kurulabilirse yani her makine yada iş istasyonunda saatte aynı nicelikte iş çıkarılıyorsa,

⁵⁹ Joseph G. Monks (1996), **İşlemler Yönetimi Teori ve Problemler**, çeviren: Sevinç Üreten, (New York: McCrow Hill), s. 107.

⁶⁰ Zafer Aygar, **İş Şekillendirme Ve İş Yeri Şekillendirme (Rasyonalizasyon)**, 1998 (<http://www.geocities.com/zafeergyar/isyeri.htm>).

⁶¹ Monks , **Ön.ver**, s.107.

⁶² Güntüşoğlu ve Demir, **Ön. ver**, s. 237.

⁶³ Aynı., s. 237.

- 5) Ardışık işlemler sırasında en düşük sayıda muayene varsa,
- 6) Az sayıda ağır yada özel düzenleme gerektiren makineler varsa,
- 7) Materyaller ve ürünler mekanik araçlarla parti halinde yada sürekli olarak taşınıyorsa,
- 8) Aynı makine veya iş istasyonu bir işlemten fazlası için kullanılıyorsa.

Ürüne Dayalı Yerleşim Düzeninin Avantajları⁶⁴

- 1) İşlemler makine sırasına göre yapıldığı için düzgün bir akış hattı vardır.
- 2) Malzeme maliyeti düşüktür.
- 3) Uzmanlaşmış işçi kullandığı için işgücü maliyeti düşüktür.
- 4) Düzgün bir iş akışı olduğu için çok sayıda imalat kısa sürede yapılır.
- 5) İş istasyonları arasında yarı mamul stokları düşüktür.
- 6) İmalat kontrolü basittir.

Ürüne Dayalı Yerleştirme Düzenin Dezavantajları⁶⁵

- 1) Esnekliği olmayan bir sistemdir.
- 2) İmalat hızı en yavaş makineye bağlıdır.
- 3) İşlemler birbirine bağlı olduğu için herhangi bir aşamada ortaya çıkan aksaklıkta sistem durur.
- 4) Yüksek yatırım gerekir.
- 5) Kontrol gerekir.
- 6) Ürünler müşteri isteklerine göre tasarlanmamışsa işler sıkıcı ve monotondur.

1.7.1.3 Sabit Konumlu Yerleşim Düzeni

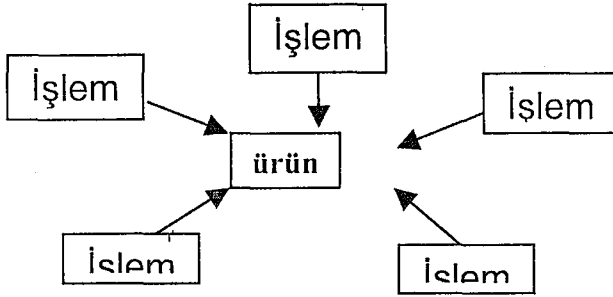
İşgücü, malzeme ve imalat araçlarının işin yapıldığı yere getirildiği düzenlemelerdir.⁶⁶ Özellikle gemi, bina yapımı gibi işlerde kullanılmaktadır.

⁶⁴ Aynı, s. 237.

⁶⁵ Gümüsoğlu ve Demir, **Ön. ver.**, s. 237.

⁶⁶ Monks, **Ön. ver.**, s. 108.

Şekil 1. 6 Sabit Konumlu Yerleşim Düzeni



Kaynak: Mehmet Akansel, **Tesis Organizasyonu**,(2000), (<http://www20.uludag.edu.tr/~akansel/EE802-7.doc>).

Şekil 1. 6` da gösterildiği gibi ürün için gerekli olan işlemler ürününün bulunduğu yerde yapılır.

Sabit Konumlu Yerleşim Düzenin Avantajları⁶⁷

- 1) Son ürüne ilişkin taşıma maliyetleri minimize edilmiştir.
- 2) Proje yönetim metodlarından yararlanılabilir.
- 3) Oldukça esnekler.
- 4) Karmaşıklık minimumdur ve kalite kontrol edilebilir durumdadır.
- 5) Düzenleme için yapılacak yatırım minimum düzeydedir.

Sabit Konumlu Yerleşim Düzenin Dezavantajları⁶⁸

- 1) Yetenekli işgücünün getirilmesi için işgücü maliyeti fazladır.
- 2) Makine ve materyallerin imalat merkezlerine taşınması pahalı ve zaman alıcıdır.
- 3) İmalat araçları her zaman tam kapasite çalışmazlar.

1.7.1.4. Hücreli Yerleşim Düzeni

Hücreli yerleşim düzeni açıklanmadan önce imalat hücresi tanımlanmalıdır. İmalat hücresi, "Bellî bir veya bir grup benzer parça üzerinde bir dizi işlemi yerine getiren 3-10 (veya daha fazla) makineden oluşan hücredir".⁶⁹ Hücreler büyük bir atölyede yada süreç düzenlemede ürüne göre düzenlenen adalara benzemektedir.⁷⁰

⁶⁷ Mehmet Akansel, **Tesis Organizasyonu**,(2000), (<http://www20.uludag.edu.tr/~akansel/EE802-7.doc>).

⁶⁸ Aynı, (Email).

⁶⁹ Gümüüşoğlu ve Demir, **Ön.ver**, s. 108

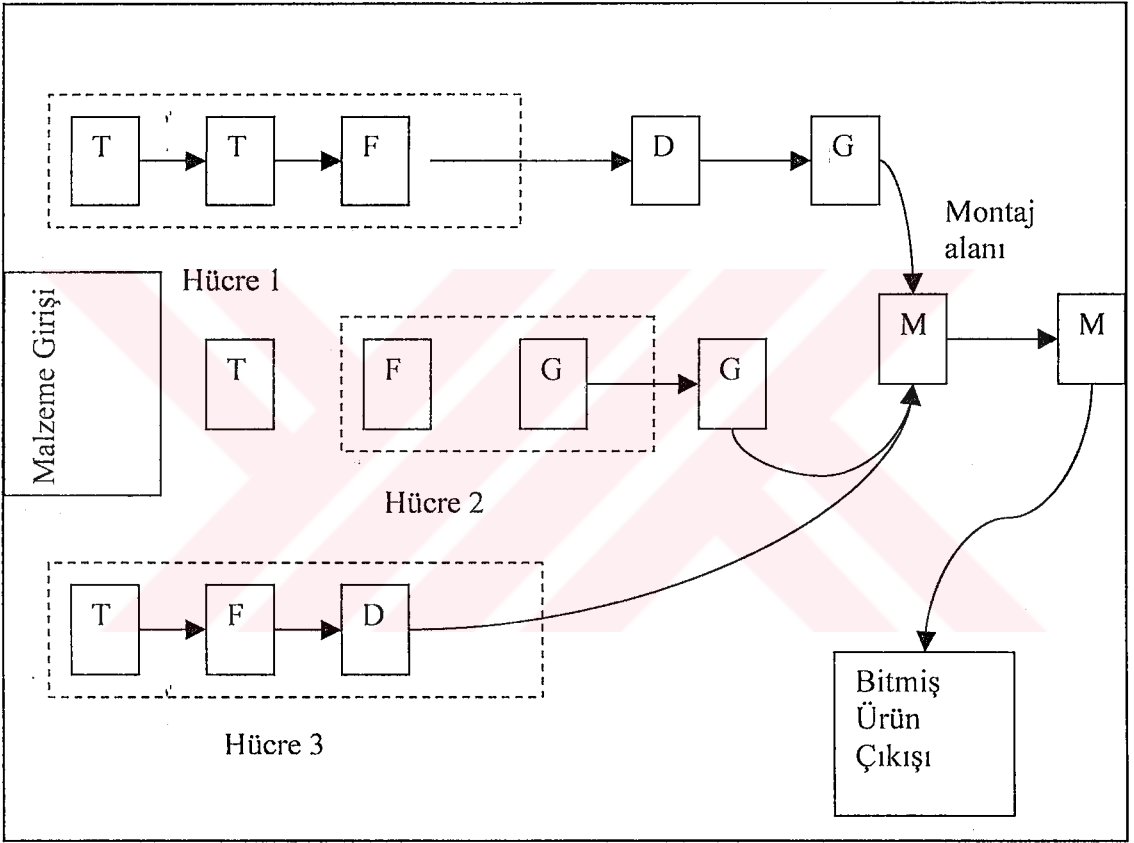
⁷⁰ Aynı, s. 239.

Hücresel yerleşim düzeninin temel amacı, imalat sürecine göre yerleşimin sağladığı avantajlardan iş atölyesi ortamında en üst düzeyde yararlanmaktır.

Hücresel yerleşim düzenini atölye tipi yerleşimden ayıran iki özellik vardır.⁷¹

- 1) Hücrelerde imal edilen parçalar arasında büyük benzerlikler vardır.
- 2) Hücre içindeki parça akışı, ürüne göre düzenlemedeki akışa benzer.

Şekil 1.7 Hücresel Yerleşim Düzeni



Kaynak: Mehmet Akansel, **Tesis Organizasyonu**,(2000), (<http://www20.uludag.edu.tr/~akansel/EE802-7.doc>).

Şekil 1. 7 incelediğinde Hücre 1 tornalama ve frezeleme makinelerini bir hücre olarak almıştır. Buradan çıkan yarı mamul diğer aşamalardan da geçerek montaja girer ve bitmiş ürün olarak çıkış yapar.

⁷¹ Aynı, s. 239.

Hücresel Yerleşim Düzeninin Avantajları⁷²

- 1) Makineler daha kolay yer değiştirilip, yakınlaştırılabilir. Ayrıca makinelerin kullanım etkinliğini iyileştirir.
- 2) İşçilerin eğitim dönemlerini kısaltır.
- 3) Süreçteki envanter düzeylerini azaltır.
- 4) Parçaların imal edilmelerinde eğitilmiş kişiler çalıştığı için kalite düzeyi daha iyi olur.
- 5) İmalatta geri dönüş azaltıldığı için imalat planlaması ve kontrolü hızlanır.
- 6) Parça çeşidinin azaltılması ve hücre içinde benzer makine ve araçların olması nedeniyle hücre otomasyonu başlatılabilir.

Hücresel Yerleşim Düzeninin Dezavantajları⁷³

- 1) Hücrelerde ortak kullanılan makineler olabilir.
- 2) İyi eğitilmiş iş gücüne ihtiyaç duyulur ve bu yüzden daha fazla sermaye gereksinimi olur.

Hücresel yerleşimin avantajları ve dezavantajları incelendikten sonra hücresel yerleşim modelleri ele alınmalıdır. Aşağıda hücresel yerleşim modellerinin altı tipi verilmiştir.⁷⁴

- 1) **U Tipi Hücre:** Oldukça esnek bir yapısı vardır. Bu yüzden hücresel imalatın tasarımında en fazla kullanılan yerleşim tipi olmaktadır. Malzeme bir yerden girip bir yerden çıkmaktadır.

Hücrede bir işçi varsa bu işçi tüm işler hakkında bilgi sahibi olmalıdır. Eğer hücrede birden fazla işçi varsa işlerin işçiler arasında paylaşılması gerekir.⁷⁵

U tipi hücrede, çeşitli imalat hacimlerinde ve hacim değişikliklerinde imalat yapılabilir.⁷⁶ İnsanlar rahatlıkla hareket edebilir, işgücü kolayca artırılabilir veya azaltılabilir.⁷⁷

⁷² Gümüšoğlu ve Demir, **Ön.ver.**, s. 240.

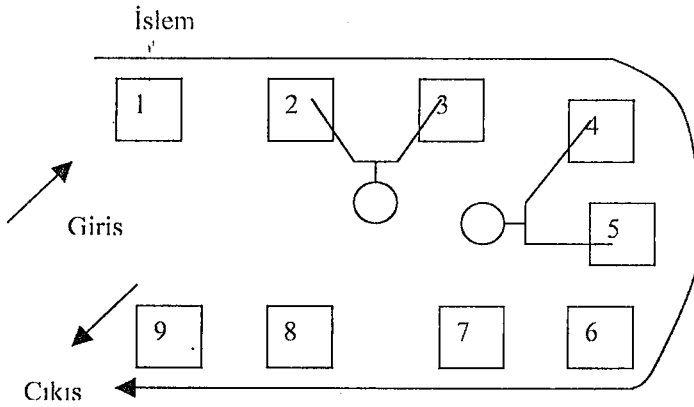
⁷³ Aynı, s. 240.

⁷⁴ Hakan Balcı, (2001), "Hücresel Üretime Dönüşüm Ve Türk Endüstrisinin Durumu", Yayınlanmamış Lisansüstü Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., s. 87.

⁷⁵ Haluk Soyuer, **Tam Zamanında Üretim Sistemlerinin Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerde Uygulanma Koşulları**, 2001, (<http://www.dergi.iibf.edu.tr/pdf/1212.pdf>).

İnsanlar arası iletişim iyi ve malzeme akışı da sürekli dir. İmalat için gerekli olan malzeme depolanması kolaydır.⁷⁸

Şekil 1.8 U Biçimli Hücresel Yerleşim



Kaynak: Haluk Soyuer , (2001), **Tam Zamanında Üretim Sistemlerinin Küçük Ve Orta Ölçekli İşletmelerde Uygulanma koşulları**, (<http://www.dergi.iibf.edu.tr/pdf/1212:pdf>).

Şekil 1.8 de görüldüğü gibi ürün, işlem 1 merkezinden üretim hattına girerek, işlem 9 merkezinden çıkış yapar.

2) **Ters U Tipi Hücre:** Bu tip hücrenin U tipi hücreye göre bazı avantajları vardır. İnsanlar birbirlerini gördükleri için daha iyi iletişim kurabilirler, etraflarında malzeme depolayabilirler. Ayrıca bu hücre tipi karışık montaj işlemleri için oldukça uygundur.⁷⁹

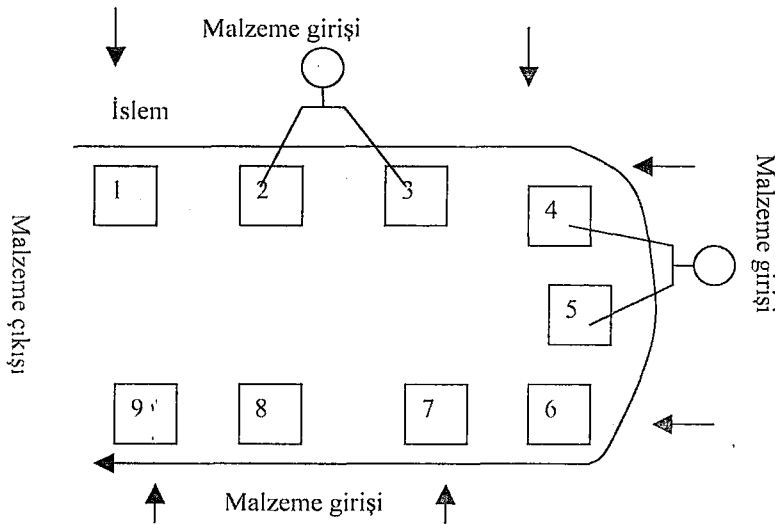
⁷⁶ Hakan Balcı, **Ön. ver.**, s. 87. .

⁷⁷ Soyuer, **Ön. ver.**, (<http://www.dergi.iibf.edu.tr/pdf/1212:pdf>).

⁷⁸ Balcı, **Ön. ver.**, s. 87.

⁷⁹ Aynı, s. 88.

Şekil 1.9 Ters U tipi Hücre

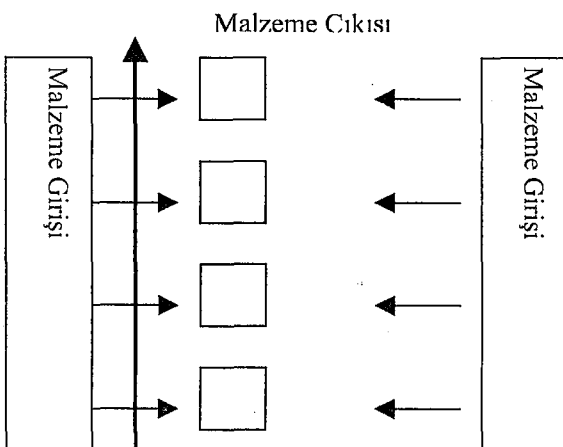


Kaynak: Haluk Soyuer , (2001), **Tam Zamanında Üretim Sistemlerinin Küçük Ve Orta Ölçekli İşletmelerde Uygulanma koşulları**, (<http://www.dergi.iibf.edu.tr/pdf/1212.pdf>).

Şekil 1.9'da görüldüğü gibi üretim hattına malzeme girişleri işlemlerin bulunduğu merkezlerden girdiği gibi, malzeme çıkışları da aynı işlem merkezlerinden çıkabilir.

3) **Doğrusal Hücre:** İyi bir malzeme akışına ve yeni gelecek malzemelere uygun fazlaca yer bulunur.⁸⁰ Bu tür hücreleri düzenlemek zordur; esneklik düşüktür ve iletişim de zayıftır. Malzeme giriş ve çıkışları bir doğru üzerinde yapılır.

Şekil 1.10 Doğrusal Hücre



Kaynak: Balcı, Hakan. (2001), "Hücreyel Üretim Dönüşüm Ve Türk Endüstrisinin Durumu", Yayınlanmamış Lisansüstü Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 88.

⁸⁰ Aynı, s. 88.

4) **Serpatin Hücre:** Bu tür hücre geleneksel montaj hattının şekline benzer.⁸¹ Karmaşık düzenlemeler için uygundur.

Şekil 1. 11 Serpatin Hücre



Kaynak: Balcı. Hakan. (2001), “Hücreyel Üretime Dönüşüm Ve Türk Endüstrisinin Durumu”,
Yayınlanmamış Lisansüstü Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 89.

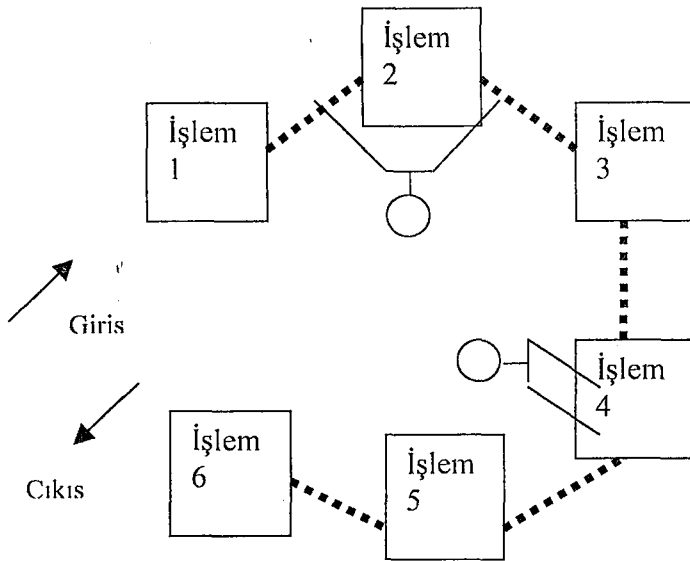
Serpatin hücrede malzeme giriş ve çıkışları geleneksel montaj hattındaki gibidir. Yani iş istasyonları bir hat üzerinde sıralanır.

5) **Tavşan Kovalama Hücresi:** Tavşan Kovalama Hücresi makineler bir operatörün yer aldığı bir merkez etrafında dairesel olarak düzenlemiştir.⁸² Çalışanlar bir daire içinde hareket ederek tüm makinelerdeki işlemleri yapabilirler. Tüm işlemler elle yapılmıyor ve makine yükleme ve boşaltma işlemleri otomatikse, operatör daire içinde dolaşarak diğer işlemleri yerine getirebilir ve sistemin işleyişini kontrol edebilir.

Eğer farklı parçaların üretimine geçerken karşılaşılan hazırlık zamanı kısaltılmak isteniyorsa hücre içinde aynı makineden birden fazla işçi çalıştırılabilir. Fakat önemli olan işlerinin tümünün hücredeki tüm işlemler hakkında bilgili ve yeterli olmasıdır.

⁸¹ Aynı, s. 89.

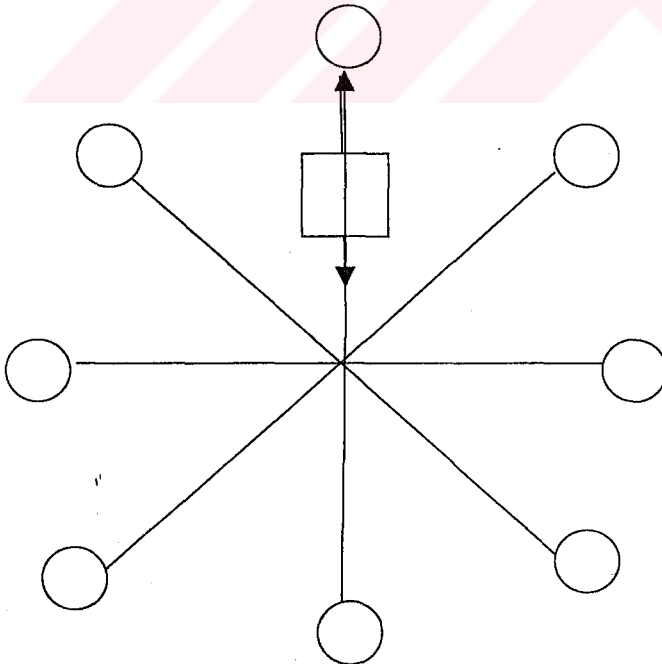
⁸² James B. Dilworth,(1986), **Production and Operation Management**, Third Edition, Rondon House Inc.s. 559.



Kaynak: Haluk Soyuer , (2001), **Tam Zamanında Üretim Sistemlerinin Küçük Ve Orta Ölçekli İşletmelerde Uygulanma koşulları**, (<http://www.dergi.iibf.edu.tr/pdf/1212.pdf>).

6) **Yıldız Hücre:** Bu tip hücre, hücresel imalatta akışın karmaşık olması halinde tercih edilir.

Şekil 1. 12 Yıldız Hücre



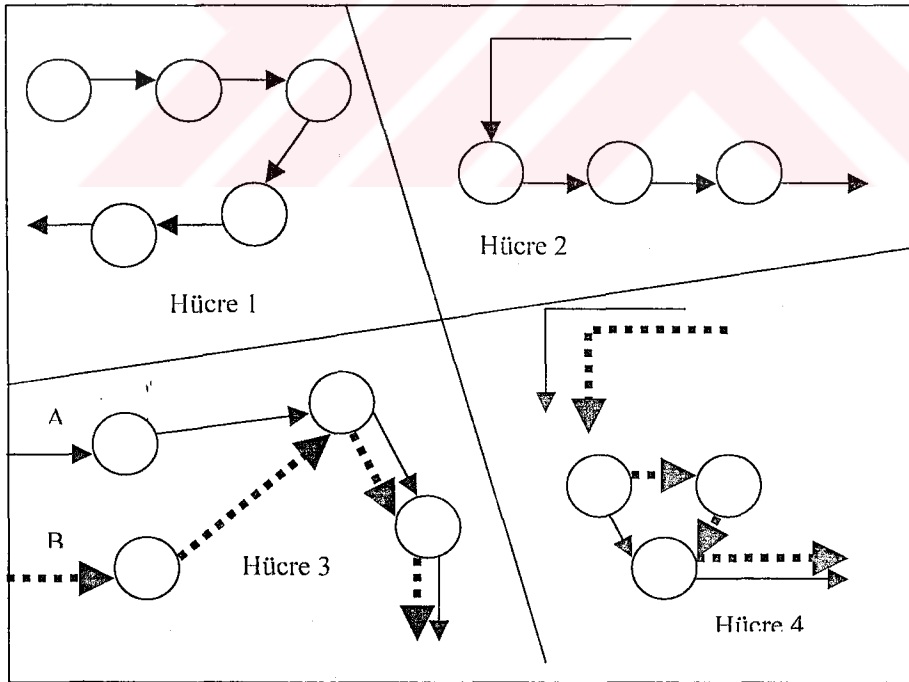
Kaynak: Saifallah Benjafaar, Sunderesh Heragu S ve A Shahrukh Irani, **Next Generation Factory Layouts Research Challenges And Recent Progress**, December 2000, (<http://www.meumn.edu/dissisions/re/ngfl/ngfl.pdf>).

İşlem merkezleri bir yıldız şeklinde -makinelere bu şekilde düzenlenir- oluşturulur. Daha sonra malzeme girişleri bu işlem merkezlerinden olur. İşleme giren malzemeler makineler arasında geri döngü oluşturacak şekilde hareket edebilirler. Bu tür yerleşim düzeninin seçilmesindeki neden birden fazla hücrenin aynı makineyi kullanmasındandır.

1.8. Hücresel Akış Hattı

Hücresel imalat akış hattı, ürün yerleştirme akış hattına benzer. İmalat akışı düz bir rota takip eder. Fakat hücresel imalatatta bir makine birden fazla hücrede kullanılabilir. Bu yüzden geri dönüş söz konusudur. Bu durumda işletmeler yıldız şeklindeki yerleşim biçimini tercih etmelidirler.

Şekil 1. 13 Hücresel İmalatın Malzeme Akışı



Kaynak: Şevkinaz Gümüšoğlu, Hulusi M Demir, (1994), *Üretim /İşlemler Yönetimi*, İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., s. 240.

Şekil 1. 13' de görüldüğü gibi teorik olarak hücelere bölünmüş bir üretim hattında – ki bu hücreler oluşturulurken farklı kümelendirme yöntemleri kullanılır- her

bir hücrede malzeme akışının ürün yerleşiminde malzeme akışına benzediğini görebiliriz. Örneğin, hücre 1 de malzeme ilk iş istasyonundan girip son iş istasyonundan çıkacaktır. Hücre 2, hücre 3 ve hücre 4 içinde bu durum aynı şekildedir.



II. BÖLÜM

ŞEBEKE ANALİZ TEKNİKLERİ

Üretim planlama teknikleri şebeke analiz teknikleri adı altında ikinci bölümde incelenecektir. İkinci bölüme öncelikle GANTT tekniği açıklanacak, daha sonra kritik yol yöntemi, program değerlendirme ve gözden geçirme tekniği ile akış grafikleri ele alınacak, son olarak GERT incelenecektir.

2.1. GANTT

GANTT tekniği imalat kontrol tekniklerinden birini oluşturur. Henry L. GANTT tarafından 1917'de geliştirilmiştir.¹

GANTT şemaları, yapılacak işleri gösteren bir settir.² Bu setin öğelerinde söz konusu işe başlanıp tamamlanması için gerekli olan kısıtlar arasındaki ilişkiler gösterilir. GANTT şemaları, imalat ve iş saati olarak ortaya çıkan iki veriyi “planlanan ve gerçekleştirilen” olarak ikiye ayırır.³

GANTT şemaları, çok sayıda şema ile gösterilecek bilgileri tek bir şemada toplayan bir şema türüdür. Diğer bir özelliği de yalın ve maliyetsiz olmasıdır. ⁴Henry L Gantt çalışmalarında, planlanan ve gerçekleşen zamanı karşılaştırarak, bunları çubuklar biçiminde çizilmiş şemalarla göstererek, yöneticiye gerekli bilgileri verir ve böylece kontrol sağlar.⁵

İkinci Dünya Savaşından sonraki dönemlerde ABD Deniz Kuvvetleri, “GANTT Şemalarını” kullanmaya başlamış ve GANTT şemalarını daha elverişli bir biçime sokmuşlardır.⁶

¹Osman Halaç, (1978), **Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması)**, (İstanbul: İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayını), s. 297.

² Aynı, s. 297.

³ Bülent Kobu, (1979), **Ön. ver.**, s. 143.

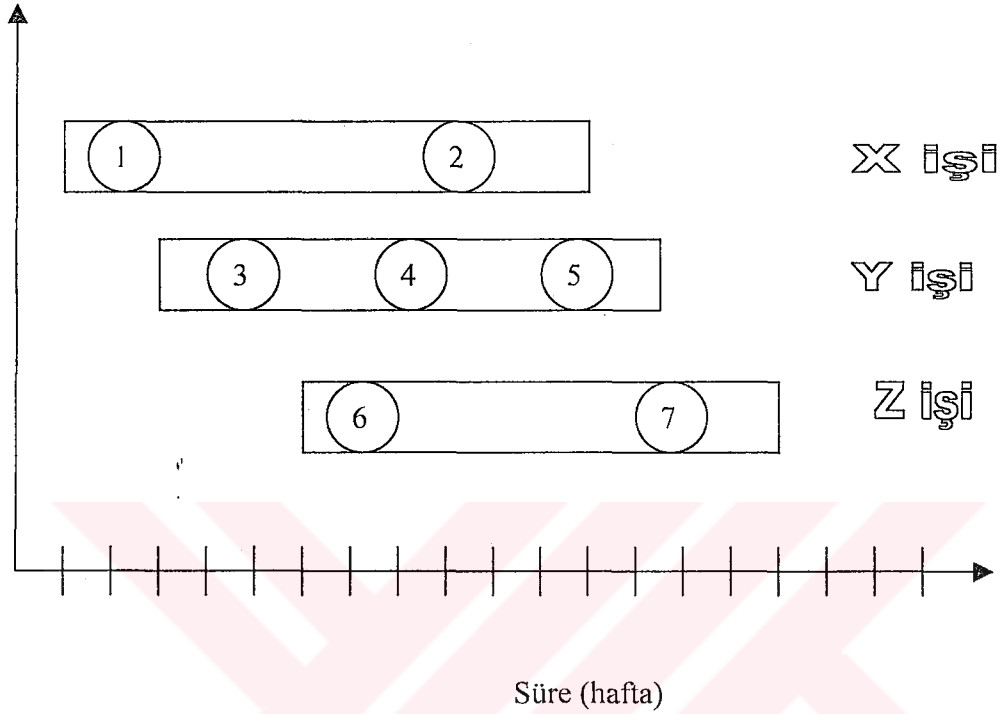
⁴ Aynı, s. 144.

⁵ Aynı, s. 144.

⁶ Aynı, s. 144.

Şekil 2. 1 GANTT

X,Y,Z işi



Kaynak: Bülent Kobu, (1979), **Üretim Yönetimi**, (İstanbul :İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi), s. 143.

Yukarıdaki tablo incelendiğinde, yatay eksendeki süre ölçeği ile belirli bir projenin ne kadar sürede bitirilebileceği kolaylıkla görülebilir.

GANTT şemaları imalat işlemlerinin ön planlama aşamasında çok yararlı araçlardır. Ancak bugün işletmelerin karşılaştıkları sorunların çoğu karmaşık olduğundan, bu şemalarda planlama seçeneklerini oluşturmak zaman alıcı olmaktadır. Kaldı ki , şemalama yöntemi, hangi seçeneğin en iyi olduğunu ya da hangisinin amaca ulaştırabileceğini belirtmemektedir.⁷ GANTT şemaları ile planlama, bir sına ve yanılma yöntemidir. Küçük işletmeler yada basit sorunlar için uygun olup büyük ve karmaşık sorunlarda şemanın yetersizliği ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden GANTT tüm ilişkilerin gösterilmesinde yeterli değildir.⁸

⁷ Aynı, s. 145.

⁸ Aynı, s. 145.

2.2. CPM (Kritik Yol) Yöntemi

“CPM şebeke analizi planlama tekniklerinden olup, faaliyetin başlamasından bitimine kadar meydana gelen faaliyet zincirlerinin en uzunudur. Dolayısıyla projenin tamamlanması yönünden kritik olanıdır.”⁹ İnşaat planlaması, yeni ürünlerin pazarlanmasının programlanması, belirli sistemlerdeki maksimum akışın (trafik akışı gibi) bulunması, büyük çaplı ihalelerin hazırlanması ve televizyon programlarının yapılması gibi alanlarda kullanılabilir.¹⁰ Şebekede faaliyetlerin başlayabilmesi için önceki faaliyetlerin bitirilmesi gerekir.

CPM tekniğinin, GANTT şemalarından üstünlükleri şunlardır:¹¹

1) Projelerin planlanması, projede gerekli olan faaliyetlerin birbirleriyle ilişkilerini göstermesi bakımından zorunludur. Diğer planlama tekniklerinde genellikle bunu görmek mümkün değildir. Şemanın çizilmesi olabilecek faaliyetlerin unutulmamasını sağlar.

2) Kritik faaliyetler ortaya çıktığında bu faaliyetlerde gecikme olmayacağını gösterir. Gerektiğinde bu faaliyetlerde fazla işgücü ile makine kullanılarak projenin tamamlama süresinin kısaltılması da mümkündür. Şebekede hızlı olamayan faaliyetlere gerekli görüldüğünde işgücü sağlanır.

3) CPM, projelerin planlanması ve denetimi için uygun bir yöntemdir.

Şebekelerde kullanılan terimler şunlardır:

Faaliyet: Bir işin tamamlanması için zaman ve kaynak tüketimi gerektiren hareketi ifade eder.¹² Verilen herhangi bir olayın başlayabilmesi için bir önceki olayın bitirilmesi gerekir ve faaliyetler oklar şeklinde gösterilir.¹³

Olay: Bir anı ifade eder. Bu anda bir faaliyet başlar diğer faaliyet biter ve olaylar daireler şeklinde ifade edilir.¹⁴ Genellikle olayları gösteren dairelere düğüm adı verilir.

⁹ Halaç, **Ön.ver**, s. 298.

¹⁰ Feryal Ada, (1987), “Büyük Ölçekli Projelerin Planlama ve Programlaması: GERT Tekniği Uygulaması”, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü), s. 4.

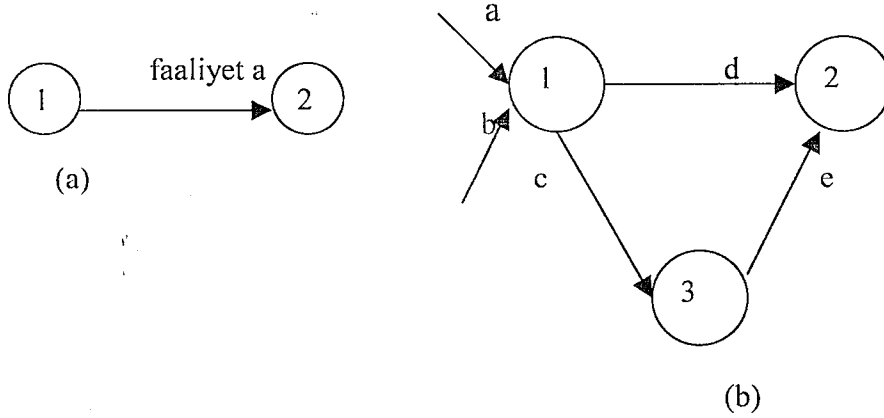
¹¹ Ahmet Öztürk, (1998), **Yöneylem Araştırmaları**, (Bursa: Ekin Kitabevi), s. 279.

¹² Kobu, **Ön. ver**, s. 148.

¹³ A Hamdy Taha (2000), **Yöneylem Araştırması**. Çeviren: Ş. Alp Baray, Şakir Esnaf, 2000, İstanbul. Litaratür Yayıncılık, s. 298.

¹⁴ Taha, **Ön. ver**, s. 298.

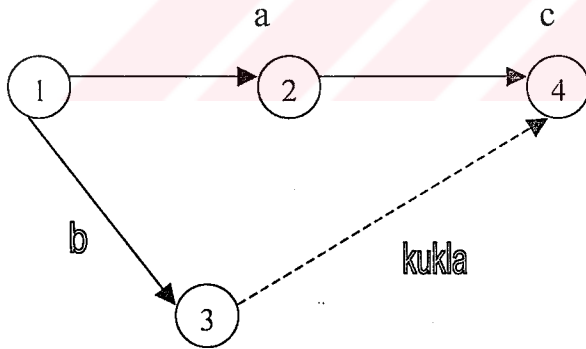
Şekil 2. 2 Faaliyet ve Düğüm Bağıntıları



Kaynak: Hamdy A ,Taha, (2000),**Yöneylem Araştırması**. Çeviren: Ş. Alp Baray, Şakir Esnaf, İstanbul: Literatür Yayıncılık, s. 298.

Kukla Faaliyetler: CPM yönteminde sıkça görülür. Herhangi bir faaliyetin veya olayın belirli bir açıklamasını yapmak için bazen kukla faaliyetler kullanılmalıdır.¹⁵ Kukla faaliyetler, faaliyet zamanı gerektirmeyen (süresi sıfır olan) faaliyetlerin sırasını gösterir.

Şekil 2. 3 Kukla Faaliyet



Kaynak: Taha, Hamdy A. (2000),**Yöneylem Araştırması**. Çeviren: Ş. Alp Baray, Şakir Esnaf, İstanbul. Litaratür Yayıncılık, s. 298.

Faaliyet listesi ve faaliyet önceliği verilen bir projenin şebekesini oluşturmak için aşağıdaki akışın izlenmesi gerekir.¹⁶

¹⁵ Azime Karaboğa, (1999) “Üretim Planlamasında GERT tekniği ve Bir Uygulama”, (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), s. 15.

¹⁶ Öztürk, **Ön. ver.**, s. 282.

- 1) Düğüm 1 projenin başlangıcını temsil eder. Düğüm 1` den önce faaliyet yoktur.
- 2) Projenin tamamlandığını temsil eden bitim noktası veya düğüm, şebekeye dahil edilmelidir.
- 3) Şebekedeki olayların sayısı başlangıçtan bitime doğru artar. Diğer bir anlamda birden fazla düğüm vardır.
- 4) Şebekedeki herhangi bir faaliyet birden fazla okla temsil edilmemelidir.
- 5) İki düğüm en fazla bir okla birleştirilmelidir.

2.2.1. Şebekede Faaliyet Sürelerinin Belirlenmesi

Şebeke hazırlandıktan sonra faaliyetler için gerekli sürelerin tahminlerinin yapılması gerekir. Bu tahminde iki yöntem kullanılmaktadır.¹⁷

- 1) Deterministik koşullar altında yani belirlilik durumunda tahmin yapılması.
- 2) Olasılıklı (Probabilisli) koşullar altında yani belirsiz koşullar altında tahmin yapılması. Bu durumda PERT yönteminde kullanılan üçlü süre tahminleri kullanılır.

Bir şebekenin faaliyetlerinin sürelerinin hesaplanması ile, şebekenin ve alt şebekelerin tamamlanmasının ne kadar süre alacağı, herhangi bir işleme en erken ne zaman başlanabileceği, şebekelerin tamamlanma süresini geciktirmeden herhangi bir işlemin ne kadar geciktirilebileceği sorularına cevap bulunabilir.¹⁸

Her faaliyet için mümkün olduğu kadar doğru ve objektif bir şekilde süreler tahmin edilmelidir. Süre tahminleri yapılırken bazı varsayımların yapılması gerekir.

Her işlem için işgücü, araç- gereç ve diğer kaynakların “normal düzeyde” olduğu ve normal çalışma şartlarının bulunduğu kabul edilmelidir. Yapılacak tahminde kullanılan süre birimleri (gün, hafta vs) şebeke boyunca değişmemeli ve ayrıca şebeke boyunca herhangi bir kesinti olmayacağı kabul edilmelidir.

¹⁷ Ada, **Ön. ver.**, s. 31.

¹⁸ Karaboğa, **Ön. ver.**, s. 32.

Yukarıda açıklanan varsayımlara rağmen bazı faaliyetlerin sürelerini gerçekçi olarak tahmin etmek mümkün olmayabilir. Belirsizlik halinde yukarıda belirtildiği gibi üçlü tahmin yöntemi kullanılır.¹⁹ Bu üçlü tahmin yöntemi ileride anlatılacak olan PERT yönteminde kullanılacaktır. Ancak yapılan bu tahmin tekniğinin, belirsizliği tamamen ortadan kaldıracağı söylenemez.

2.2.2. Kritik Yolun Bulunması

Yukarıda yapılan açıklamalardan sonra kritik yolun bulunması üzerinde durulacaktır. Bir şebekede birden fazla yol vardır. Bu yollar içinde en uzun olanına “kritik yol” adı verilir. Bu yolun üzerinde olacak herhangi bir gecikme bütün projenin tamamlanmasını geciktirir.²⁰ Kritik yol üzerindeki faaliyetlere kritik faaliyetler adı verilir.²¹ Kritik Yol bulunurken üç tür yöntem kullanılır.²²

2.2.2.1. Baştan Sona Doğru Hesaplama Yöntemi

Burada şebekenin ilk düğümünden son düğümüne doğru hareket söz konusudur.

Önce en erken başlama (ES) ve en erken bitirme (EF) süreleri bulunur. Bunlar yapılırken bazı aşamalardan geçilir. Bu aşamalarda dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda verilmiştir.

- 1) Şebekenin ilk düğümünün başlama süresi 0'dır.
- 2) Faaliyetler en erken sürede başlamaktadır.

Önce gelen faaliyetlerin en erken bitirme sürelerinin maksimumu (maksimum EF), izleyen faaliyetlerin en erken başlama zamanı (ES) dir. Herhangi bir şebekedeki faaliyet akışının gösterimi aşağıda verilmiştir.

i: aktivitenin başlangıç düğümü

j: aktivitenin bitiş düğümü

t_{ij} : işlem süresi

¹⁹ Ada, **Ön. ver.**, s. 32.

²⁰ Öztürk, **Ön. ver.**, s. 283.

²¹ Öztürk, **Ön. ver.**, s. 283.

²² Keith Lockyer, (1984), **Critical path analysis and Project Network Techniques**, (London: Pitman), s. 51.

ES_{ij} : i olayıyla başlayan aktivitelerin başlama zamanı

EF_{ij} : i olayıyla başlayan aktivitelerin en erken bitirme zamanı

$EF_{ij} = ES_{ij} + t_{ij}$

Bütün olayların gerçekleşmesi için, olayı meydana getiren faaliyetlerin hepsinin tamamlanmış olması gerekir. Bir olayın başlaması için diğer olayların tümünün bitmesi gerekir. Bu nedenle bir olayın en erken gerçekleşme zamanı; E_j : mak EF_{ij} 'dir.

2.2.2.2.Sondan Başa Doğru Hesaplama Yöntemi

Aktivitelerin en geç başlama sürelerini ve en erken bitirme sürelerinin bulmak için, projenin son olayından ilk olayına doğru hareket edilip baştan sona doğru hesaplamada bulduğumuz son düğümdeki EF süresi alınır. Bu durumda son düğümdeki en geç tamamlanma süresi en erken tamamlanma süresine eşit olur.

$EF_j = LF_j$

Şebekenin tamamlanma süresini t ile gösterirsek,

$LS_{ij} = LF_{ij} - t_{ij}$

(ij) faaliyetinin en geç bitirilme süresi , LF_{ij} ise, (ij) işlemlerinin en geç başlama sürelerinin en küçüğüdür.

$LF_{ij} = \min LS_{ij}$ olur.

En Erken Başlama Zamanı: (ij) aktivitesinin önceki aktivitelerinin hepsinin tamamlandığı dolayısıyla yeni aktivitelerin başlayabileceği en erken süredir.²³

En Erken Bitiş Zamanı: (ij) aktivitesinin en erken başlama süresi ile aktivite süresinin toplamıdır.²⁴

En Geç Bitiş Zamanı: Projenin toplam süresini artırmadan, bir (ij) aktivitesinin tamamlanabileceği en geç süredir²⁵

En Geç Başlama Zamanı: Bir (ij) aktivitesinin, en geç bitiş süresinde tamamlanabilmesi için başlaması gereken süredir.²⁶

²³ Erdal Balaban, 1984, **Proje Yönetim Teknikleri Ders Notları**, (www.iie.istanbul.edu.tr/turkmbaders2003.doc), s.13.

²⁴ Aynı, s. 13.

²⁵ Aynı, s. 13.

Baştan sona doğru hesaplama ve sondan başa doğru hesaplama sonuçları birbirine eşit çıktığında oluşan yol kritik yoldur. Kukla faaliyetler yada işlemler de kritik yol üzerinde olabilirler.

Kritik yol şebekede birden fazla olabilir. Kritik olmayan işlemler bolluklu veya artık işlemler adını almaktadırlar.²⁷ Şebeke üzerinde faaliyetlerin ne kadar geciktirilebileceğini göstermektedir.

Her hangi bir şebekeye ait elemanlar aşağıda verilmiştir.

i : Başlangıç Düğümü

j : Bitiş Düğümü

E_i : En Erken Başlama

L_j : En Geç Başlama

L_i : En Erken Bitiş

E_j : En Geç Bitiş

Aktiviteler arasında bollukların hesaplanmalıdır.

Bolluklar çeşitli şekilde bölümlendirilmiştir.²⁸

- 1) Toplam Bolluk
- 2) Serbest Bolluk
- 3) Bağımsız Bolluk
- 4) Ara Bolluk

1) Toplam Bolluk(TB) : Bir işlemin şebekenin tamamlama süresini etkilemeden geciktirilebileceği süredir. Toplam bolluğu sıfır olan işlem kritik işlemdir.

$$TB=L_j-E_i-t_{ij}$$

2) Serbest Bolluk(SB) : Kendisini takip eden işlemleri etkilemeden bir işlemin geciktirilebileceği süredir.²⁹

$$SB=E_j-E_i-t_{ij}$$

²⁶ Hülya H Tütek, Şevkinaz Gümüsoğlu, (2000), **Sayısal Yöntemler Yönetmel Yaklaşım**, (İstanbul: Beta Basım), s. 200.

²⁷ Aynı, s. 200.

²⁸ Osman Halaç, (1995), **Kantitatif Karar Verme Teknikleri**, İstanbul: Alfa Basım Yayın Dağıtım, s. 300.

²⁹ Balaban, **Ön. ver.**, s. 15.

3) Bağımsız Bolluk(BB) : Sadece o işlemi ilgilendiren bağımsız bir bolluktur.³⁰

Bu hesaplanırken (ij) işlemi başlatan tüm öncül işlemlerin en geç bitirme sürede bitirildiği varsayılır.

$$BB=E_j-L_i-t_{ij}$$

$$\text{Ara Bolluk(AB): } L_j-L_i-t_{ij}$$

Bollukların en büyüğü toplam bolluktur. Toplam bolluğu sıfır olan işlemler kritik faaliyetlerdir. Bu durum Örnek 2.1 'de açıklanmaktadır.³¹

Örnek 2. 1

Bir dernek her sonbaharda yıllık programlarını hazırlayıp üyelerine dağıtmaktadır. Programda toplantı tarihi, konuşmacıların listesi ve konuşma özetlerine ilişkin bilgiler bulunmaktadır. Aynı zamanda gününde ödentisini yapan üyelerin listesi de dernek üyelerine gönderilmektedir. Bu programın düzenlenmesi için hazırlanan bilgiler aşağıda verilmiştir.

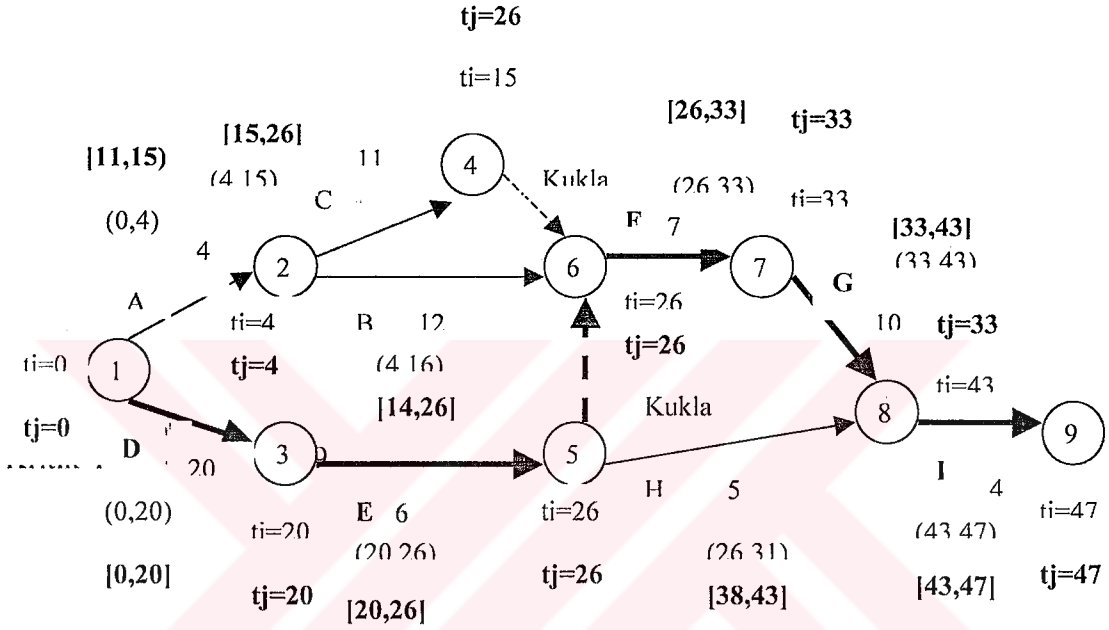
Faaliyet	Faaliyet İçeriği	Önceki Faaliyet	Tahmini Süre
A	Program gününün seçimi	-	4
B	Konuşmacıların belirlenmesi ve konuşma özetlerinin hazırlanması	A	12
C	Program için reklam malzemelerinin elde edilmesi	A	11
D	Son notları üyelere gönderme	-	20
E	Ödemeleri yapan üye listesinin hazırlanması	D	6
F	Yazıcıya üye listelerini gönderme ve okutma	B, C, E	7
G	Toplantı programının basımı	F	10

³⁰ Karaboğa, **Ön. ver.**, s. 40.

³¹ Öztürk, **Ön. ver.**, s. 290.

H	Bilgisayardan üyelerin isim ve adreslerini alma	E	5
I	Programı üyelere gönderme	G, H	4

Şekil 2.4 Örnek 2.1'in Şebeke Halinde Gösterimi



Kritik Faaliyetler: D-E-F-G-I

Projenin Tamamlanma Süresi: 47 gün

2.2.2.3. Matris Yöntemi

Matris yöntemiyle projenin en erken ve en geç başlama süreleri hesaplanırken aynı zamanda kritik yol da bulunabilir. Yöntemde matris, en az iki satır ve sütundan oluşan bir kare çizilerek oluşturulur. Çizime baktığımızda sağ üst köşe E harfi ile sağ alt köşe L harfi ile gösterilir. Satırlar i harfi ile sütunlar ise j harfi ile gösterilir. Her küçük kareye bir hücre adı verilir.³² Hücrelerin içinde görülen rakamlar faaliyetlerin durağan sürelerini verir.³³ Örneğin 1-2 veya A aktivitesinin süresi 4'dür. Diğerleri de bu şekilde tabloya yerleştirilir.

³² Keith Lockyer, (1984), **Ön. ver.**, s. 61.

³³ Aynı, s. 61.

Örnek 2.2

E	i	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1			4	20						
4	2					11		12			
20	3						6				
15	4							0			
26	5							0		5	
26	6								7		
33	7										
43	8										4
47	9										
L			0	14	20	26	26	26	33	43	47

Yukarıda koyu olarak yazılmış E ve L'nin rakamlarının hesaplanması şu şekildedir: Önce E kolonu hesaplanarak işlemlere başlanır. Başlangıç her süre sıfır alınır. Diğer işlemlerin hesaplanma şekli adım adım aşağıda gösterilmiştir.

$$E \quad i=2 \quad E+j$$

$$0 \quad 4 \quad 4$$

$$E \quad i=3 \quad E+j$$

$$0 \quad 20 \quad 20$$

E	i=4	E+j
4	11	15

E	i=5	E+j
20	6	26

E	i=6	E+j
4	12	16
15	0	15
26	0	26

E	i=7	E+j
26	7	33

E	i=8	E+j
26	5	31
33	10	43

E	i=9	E+j
33	4	47

Bundan sonra L kolonunun hesaplanması gerekir. L kolonu hesaplanırken projenin en sonunda çıkan bitirilme süresi alınarak işlemler yapılır. Bu yüzden 47 rakamı ile matris üzerinde hesaplamalar yapılacaktır. Bu hesaplamalar adım adım aşağıda gösterilmektedir.

J=8 kolonu $47-4=43$

i=7 10

L 43

L-i 33

i=6 7

L	33	
L-i	26	
i=5	0	5
L	26	43
L-i	26	36
i=4	0	
L	26	
L-i	26	
i=3	6	
L	26	
L-i	20	
i=2	11	12
L	26	26
L-i	15	14
i=1	4	20
L	14	20
L-i	10	0

Tablo incelediğinde projenin en erken ve en geç başlama süresi bulunabilir.³⁴ Matris yöntemini basit ağlarda kullanmak oldukça kolay olmaktadır.³⁵ Fakat ağ büyüyüp karmaşıklaştığı zaman daha fazla araştırma gerektirir.³⁶

³⁴ Aynı, s. 62.

³⁵ Aynı, s. 63.

³⁶ Aynı, s. 63.

Tablo 2.1 Örnek 2.2 Faaliyetlerinin Zaman Durumları

Faaliyetler	En Erken Başlama Süresi	En Erken Bitirme Süresi	En Geç Başlama Süresi	En Geç Bitirme Süresi	Bolluk
A	0	4	11	13	11
B	4	16	14	26	10
C	4	15	15	26	11
D	0	20	0	20	0
E	20	26	20	26	0
F	26	33	26	33	0
G	33	43	33	43	0
H	26	31	38	43	12
I	43	47	43	47	0

Yukarıdaki tablo incelendiğinde D, E, F, G ve I faaliyetleri kritik faaliyetlerdir. A, B, C ve H faaliyetleri bolluklu faaliyetlerdir. Bolluklu faaliyetlerde oluşan bir gecikme projenin aksamasına sebep olmaz. Örneğin A faaliyetin de maksimum 11 günlük geciktirme yapılabilir.

2.3. PERT (Proje Değerlendirme ve Gözden geçirme) Tekniği

PERT (Program Evaluation and Review Technique) tekniği, 1958 yılında ilk kez ABD Donanmasının Özel Proje Bürosunda Poloris projelerinin planlaması ve kontrolü için kullanılmıştır. Bu teknik ilk defa US Navy Special Project Office, Lockheed Aircraft Corporation ve bir işletme müşavirlik firması olan Booz-Allen and Hawilton'ın temsilcilerinden oluşan bir ekip tarafından, Poloris projesinin gerçekleşme zamanını azaltmak için geliştirilmiştir.³⁷ Yöntem proje süresini 2 yıl kısaltabilmiştir. Türkiye'de bu tekniğin, Keban Barajı ve İstanbul Boğaz Köprüsü gibi büyük ölçekli projelerin gerçekleştirilmesinde kullanıldığı görülmüştür.³⁸

PERT, imalattaki gecikmeleri, takılmaları en düşük düzeye indiren işin bütününlü türlü parçalarını eşgüden ve eşzamanlayan, projelerin tamamlanmasını hızlandıran bir yöntemdir.³⁹

³⁷ Aynı, s. 297.

³⁸ Öztürk, Ön. ver, s. 202.

³⁹ Öztürk, Ön. ver, s. 292.

CPM yöntemi deterministiktir.⁴⁰ PERT ise olasılıktır. Yani PERT süreyi rastlantısal olarak kabul eder. Çünkü uygulamada sürelerin kesin bir şekilde bilinmesi söz konusu değildir. PERT'in süresi rastlantısal olduğu için, faaliyet süresinin dağılımını en iyi temsil eden dağılım beta olasılık dağılımıdır.⁴¹ Buna uygun şekilde kritik yolda olasılıklı kritik yol adını almıştır.⁴² Bu olasılıklı dağılıma uygun bir şekilde 3 süre hesaplanmıştır.⁴³

- 1) En İyimser Süre
- 2) En Kötümser Süre
- 3) En Olası Süre

1) **En İyimser Süre:** Her şey yolunda ve planlandığı gibi gittiği takdirde faaliyetin en çabuk tamamlanacağı süredir.⁴⁴ Küçük a harfi ile simgelenir.

2) **En Kötümser Süre:** Bütün faktörler en kötü şekilde gerçekleşirse faaliyetlerin tamamlanacağı süredir.⁴⁵ Küçük b harfi ile gösterilir.

3) **En Olası Süre:** Geçmiş deneyimlere göre beklendik şartlar altında faaliyetin gerçekleşebilme süresidir.⁴⁶ Küçük m harfi ile gösterilir.

PERT analizinde bu üç olası sürenin ortalaması alınır.⁴⁷

Beklenen Ortalama Süre(t_e): Bir şebekede bir faaliyetin gerçekleşmesi için öngörülmüş süredir.⁴⁸ Buna beklenen süre adı da verilir. Bu süre gün, hafta veya ay türünden verilebilir. Her faaliyetin beklenen süresi t_e ve varyansı ise σ^2 şeklinde gösterilir. Bunlar aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$t_e = 1/3(2m+M)$$

$$t_e = 1/3(2m+(a+b)/2)$$

$$t_e = 1/6(4m+a+b)$$

$$t_e = \text{Beklenen Ortalama Zaman} = a+4m+b/6=$$

⁴⁰ Sturch C.T, CPM/PERT and EOQ(com551c2), may 3, 2001, (<http://www.info.ac.uk>).

⁴¹ Öztürk, **Ön. ver.**, s. 292.

⁴² Öztürk, **Ön. ver.**, s. 292.

⁴³

⁴⁴ Halaç, **Ön. ver.**, s. 300.

⁴⁵ Aynı, s. 300.

⁴⁶ Kobu, **Ön. ver.**, s. 149.

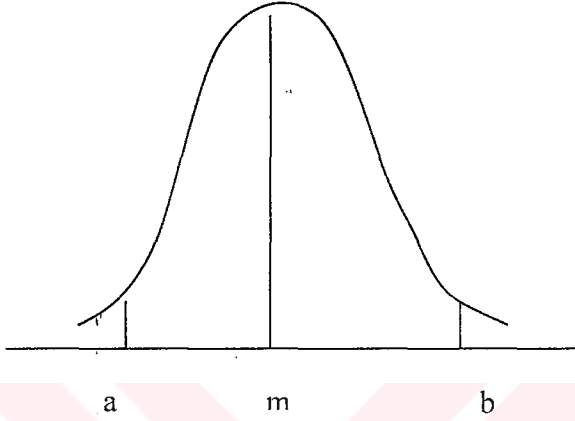
⁴⁷ Öztürk, **Ön. ver.**, s. 292.

⁴⁸ Adnan Gülermen, (1970), **PERT/Maliyet Tekniği İşletmede Bir Yönetim Aracı Olarak Kullanılması**, Ankara: Ankara İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayınları, s. 571.

$$\sigma^2 = \text{varyans} = (b-a)^2/36$$

Aşağıdaki eğri bize beta dağılımını gösterir. Varyans değeri büyük olursa belirsizlik değeri büyük demektir.⁴⁹ Eğer varyans değeri küçük çıkarsa iyimser ve kötümser tahminler pek farklı olmaz ve bitirme süreci kesinlikle saptanabilir.⁵⁰

Şekil 2. 5 Normal Dağılım Eğrisi



Kaynak: Bülent Kobu, (1979), *Üretim Yönetimi*, (İstanbul :İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi), s. 149

a= iyimser süre

b= kötümser süre

m= olası zaman

M= orta nokta $(a+b/2)$

PERT tekniğinde kritik yol hesaplanırken beta dağılımına göre bulunan a, b ve m sürelerinden hareket edilerek faaliyetlerin beklenen süre ve varyansları hesaplanır. Kritik yol CPM' de de söylendiği gibi en uzun yoldur. Bir şebekede birden fazla kritik yol bulunabilir. Bunlar arasından en yüksek beklenen ortalamayı ve varyansı veren yol kritik yoldur.⁵¹Bu yol aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$T_e = \sum te$$

$$\sigma = \sqrt{\sum \sigma_{cp}^2}$$

⁴⁹ Kobu, *Ön. ver.*, s. 149.

⁵⁰ Aynı, s. 149.

⁵¹ Öztürk, *Ön. ver.*, s. 293.

PERT tekniğinde kritik yol üzerinde bulunan işlemlerin gerçekleşme olasılığı %50'dir.⁵² PERT yolu bulunurken kritik yol üzerindeki faaliyetlerin ortalama bekleme sürelerinden yararlanılmıştır. Bu yol üzerinde bulunan işlemlerin süreleri birbirinden bağımsız ve beta dağılımına uygundur. Bu sürelerin toplamı merkezi limit teoremine göre normal dağılımın rassal bir değişkenidir.⁵³

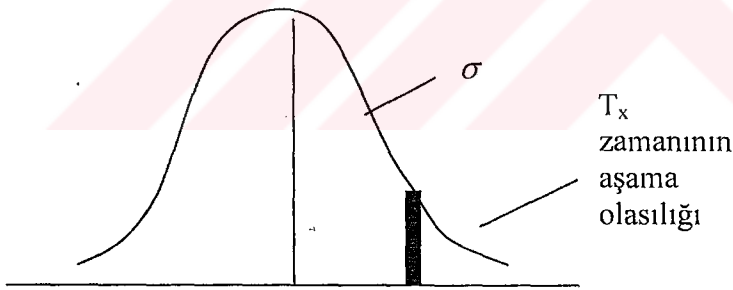
En uzun beklenen ortalama zaman ve standart sapma verildiğinde, normal dağılım kullanılarak çeşitli tamamlama zamanlarına ilişkin olasılıklar hesaplanabilir. Bu şu şekilde formüle edilebilir:

$$Z = \frac{T_x - T_E}{\sigma}$$

T_x = Projenin en geç bitirileceği süreyi gösterir.

Yukarıdaki formül kullanılarak veriler normal rassal değişken haline dönüştürülür. Çıkan sonuçlardan standart Z tabloları kullanılarak olasılık bulunur ve 0,5'den çıkarılır. Çıkan değer normal dağılım üzerinde belirli bir alanı göstermektedir.

Şekil 2. 6 Beklenen Ortalama Süre Dağılımı



Kaynak: Bülent Kocu, (1979), *Üretim Yönetimi*, (İstanbul :İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi), s. 149

Örnek 2. 3

Aşağıda bir ev yapımında takip edilecek faaliyetler ile en iyimser süre, en kötümser süre ve en olası süre verilmiştir.

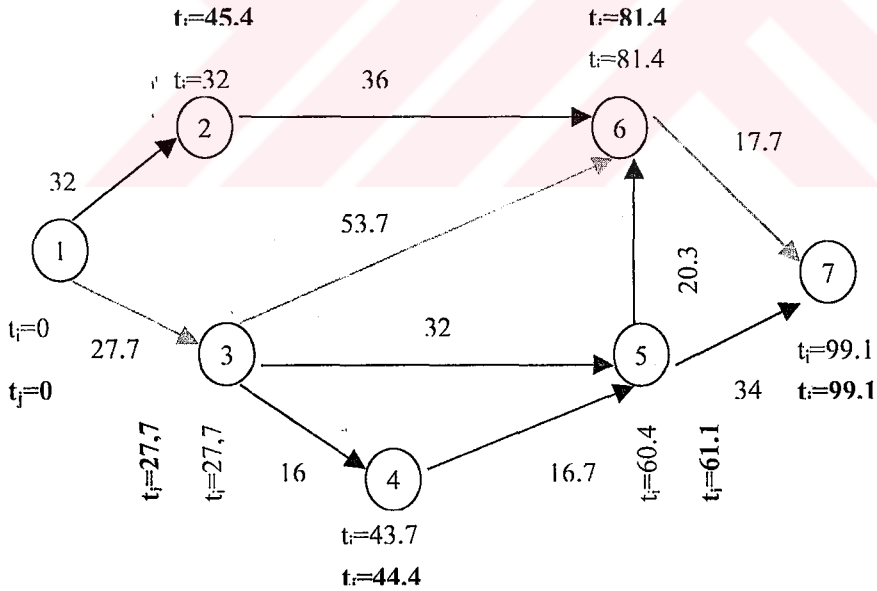
⁵² Aynı, s. 293.

⁵³ Aynı, s. 293.

Aktiviteler	En iyimser süre	En olası süre	En kötümser süre	$t_c = a+4m+b/6$
1-2	28	32	36	32
1-3	22	28	32	27.7
2-6	26	36	46	36
3-4	14	16	18	16
3-5	32	32	32	32
3-6	40	52	74	53.7
4-5	12	16	24	16.7
5-6	16	20	26	20.3
5-7	26	34	42	34
6-7	12	16	30	17.7

Bu verilere dayanarak proje PERT yöntemine göre çözülebilir.

Şekil 2. 7 Örnek 2. 3'ün Şebeke Gösterimi



Kritik yol= 1-3-6-7

Projenin bitirilme süresi: 99.1

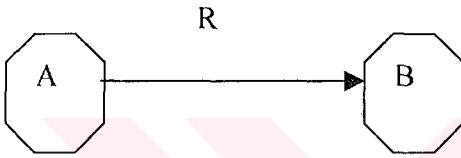
2.4. Akış Grafikleri

“GERT tekniği CPM/ PERT,..., akış grafiği teorilerinin beraber bir çatı altında toplanmasıdır.”⁵⁴

“GERT tekniği çarpımsal bir özellik taşıdığından akış grafiği yöntemiyle çözümlenmelidir. Akış grafiği değişkenler arasındaki ilişkilerin grafiksel gösterimidir.”⁵⁵

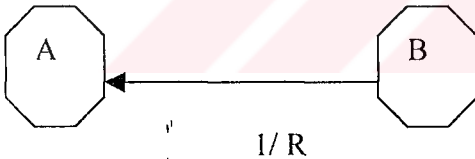
“Bir akış grafiği düğüm ve dalların bir setidir.”⁵⁶ Burada CPM ve PERT özelliği görülebilir.

Şekil 2. 8 Basit Bir Akış Grafiği Elemanı



Kaynak: **Flowgraphs And White Box Testing**, 2003, [Http://www.Scism.Sbu.Sc.Uk//Qu/Section 5/Contents. Html](http://www.Scism.Sbu.Sc.Uk//Qu/Section5/Contents.Html))

Şekil 2. 9 Basit Bir Akış Grafiğinin Ters Yolu



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), **Systems Analylsis And Design Using Network Techniques**, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 164.

Şekil 2.8, $B=R*A$ ilişkisini gösterir..Bu akış grafiğinde A ve B düğümler; R bir akıştır. ⁵⁷ Yayın yönü önemlidir, çünkü B bağımlı değişkenken A bağımsız değişkendir. Bu doğrusal bir denklemde $Y=a+bx$ gibi ifade edilebilir. Bu eşitlikten

yararlanılarak Şekil 2. 9 hesaplanırsa, $A = \left(\frac{1}{R}\right) * B$ dir. $B=R*A$ eşitliğinden

⁵⁴ Monosh University, Project Time Management: Part 2, 1/2000, (<http://www.cleo.eng.monash.edu.au/teaching>).

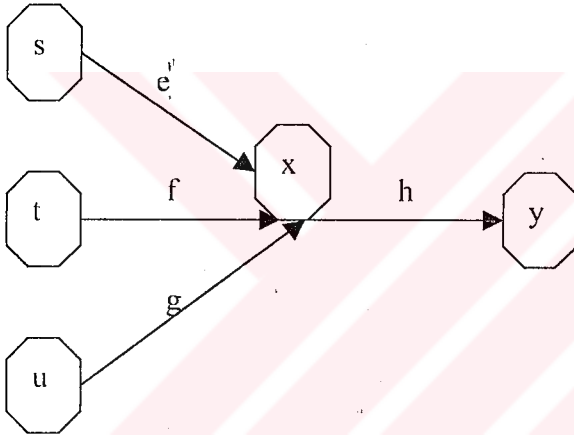
⁵⁵ Gary E. Whitehouse, (1973), **Systems Analylsis And Design Using Network Techniques**, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 163.

⁵⁶ Aynı, s. 163.

⁵⁷ Aynı, s. 163.

bulunabilir. Şekil 2. 8 ve 2. 9 'da, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki değişmiştir, bu uygulama “ters yol” olarak bilinir.⁵⁸ Akış grafiğinin amacı, akış grafiğinin analiz edilerek sistemin çalıştırılması ve sistem içindeki düğümlerin azaltılmasıdır.⁵⁹ Akış grafiğinde bir düğümün değeri o düğüme gelen dalın geçiş değeri ile düğüm değerinin çarpımına eşittir (Şekil 2. 8). Akış grafiğindeki bir düğümün zaman değeri ise, o düğüme gelen düğümlerin süre değerleri toplamıdır (Şekil 2. 10).

Şekil 2.10 Bağımlı ve Bağımsız Değişkenlerin Her İkisinin de Bulunduğu Bir Akış Grafiği.



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), *Systems Analysis And Design Using Network Techniques*, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 164

Bu grafikte “X” düğümünün süre değeri şöyle hesaplanır.

$$X = se + tf + ug$$

$$Y = [se + tf + ug]h = hx$$

⁵⁸ Aynı, s. 163.

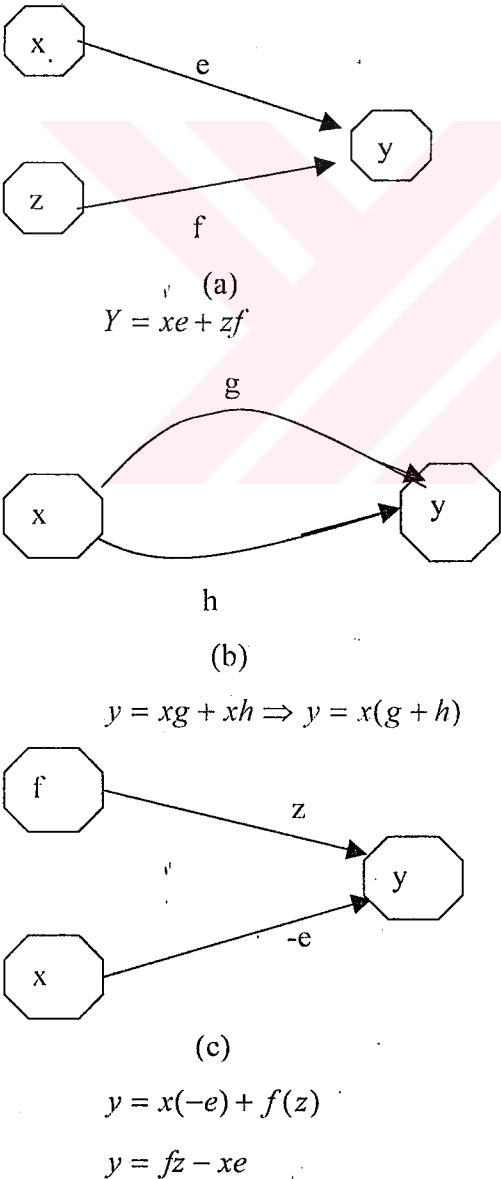
⁵⁹ Aynı, s. 164.

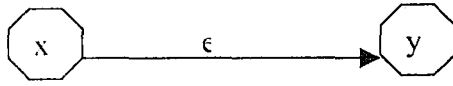
2.4.2. Akış Grafiğinin Özellikleri

- 1) Çizilen grafikteki işlemler değişebilir, fakat grafikteki ilişki değişmez.
- 2) Bir düğümün değerini bulmak için kendinden önce gelen düğüm ve dal çarpılır.
- 3) Bir düğüme birden fazla dal gelmişse iki nolu özellik her bir dal için uygulanır, daha sonra çıkan sonuçlar toplanır.

Bu özellikler verildikten sonra bir akış grafiğinde matematiksel işlemlerin nasıl yapılabileceği belirlenir (Şekil 2.11).

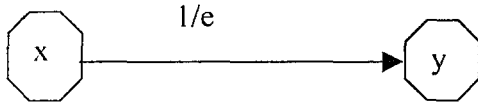
Şekil 2. 11 Akış Grafiğinde Gösterilen Basit Matematiksel Hesaplamalar





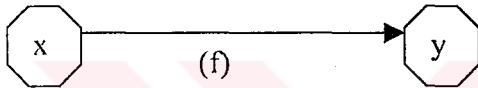
(d)

$$y = \epsilon x$$



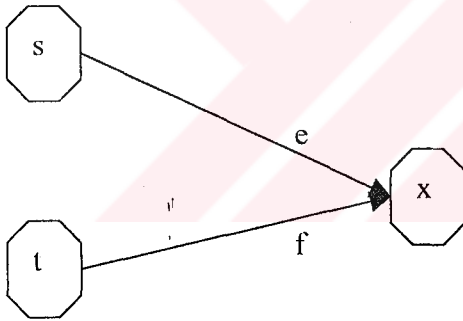
(e)

$$y = 1/e * x$$



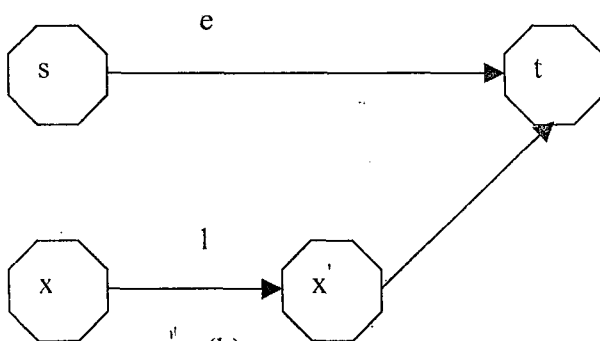
(f)

Şekil “f” bir birim grafikdir. Çünkü geçişin ne olduğu verilmemiştir.



(g)

$$x = es + tf$$



(h)

Kaynak: Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), **Systems Analysis And Design Using Network Techniques**, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 168

x' ile x arasında geçiş verilmediği için bu bir birim grafikdir.

$$x' = t * f$$

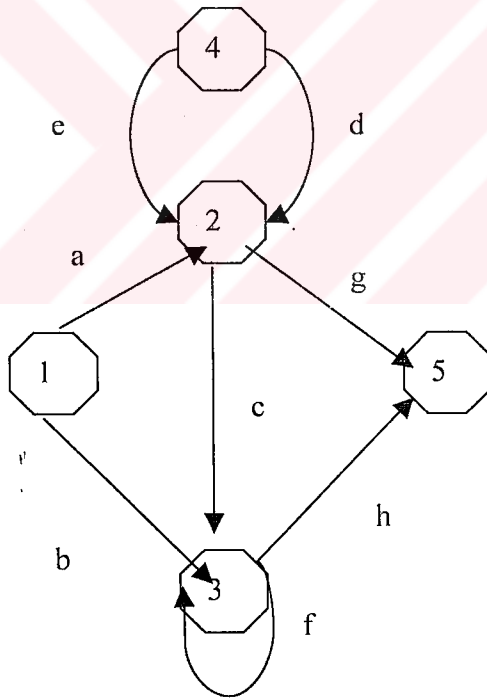
Akış grafiklerinde 2 önemli nokta vardır.⁶⁰

1) İki düğümden oluşan yol dalların bir setidir. Bu yoldan geçiş bir kez olur (Şekil 2. 12). Yol a-g, a-c ve b-h' dir. a-d-e-g bir yol değildir. Çünkü düğümden iki kez geçilir.

2) Döngü, herhangi bir düğüm boyunca geçmeyen, birden fazla düğümden oluşan geri dönüşler serisidir. Şekil 2. 12'de e-d ve f döngüleridir. Bir döngünün değeri döngü etrafında geçişlerin hesaplanmasıyla bulunur.

Bu noktaların önemi aşağıda verilen örnekle açıklanabilir:

Şekil 2. 12 Karmaşık Bir Akış Grafiği



Kaynak : Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), **Systems Analysis And Design Using Network Techniques**, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 168

⁶⁰ Whitehouse, **Ön. ver.**, s. 168.

Şekil 2.12`de,

1. yolumuz= a, g
2. yolumuz= b, h
3. yolumuz= a,c ,h` dir.

a-d-e-g ve b-f-h bir yol değildir. Çünkü 3 nolu düğüm iki kez kullanılmaktadır.

Bu 3 yolun değeri aşağıdaki şekilde bulunabilir.

1. yolumuz:= a, g` dir.

$$\text{5} = \text{1} \quad a \quad + \quad \text{2} \quad g$$

2. yolumuz= b, h

$$\text{5} = \text{1} \quad b \quad + \quad \text{3} \quad h$$

3. yolumuz= a, c, h

$$\text{5} = \text{1} \quad a \quad + \quad \text{2} \quad c \quad + \quad \text{3} \quad h$$

2.4.3. Akış Grafiklerinin Çözüm Metotları

Akış grafiklerinde üç tür çözüm yöntemi vardır: ⁶¹

- 1) Topolojik Eşitlik Yöntemi
- 2) Mason Kuralı Yöntemi
- 3) Düğüm Azaltım yöntemi

2.4.3.1.Topolojik Eşitlik Yöntemi

Bu yöntem basit bir yöntem olup, karmaşık ve kapalı akış grafiklerini çözmek için kullanılır.

Topolojik eşitlik H ile gösterilip, kapalı bir akış grafiğinde verilir. Topolojik eşitlik her zaman "0" `a eşittir.

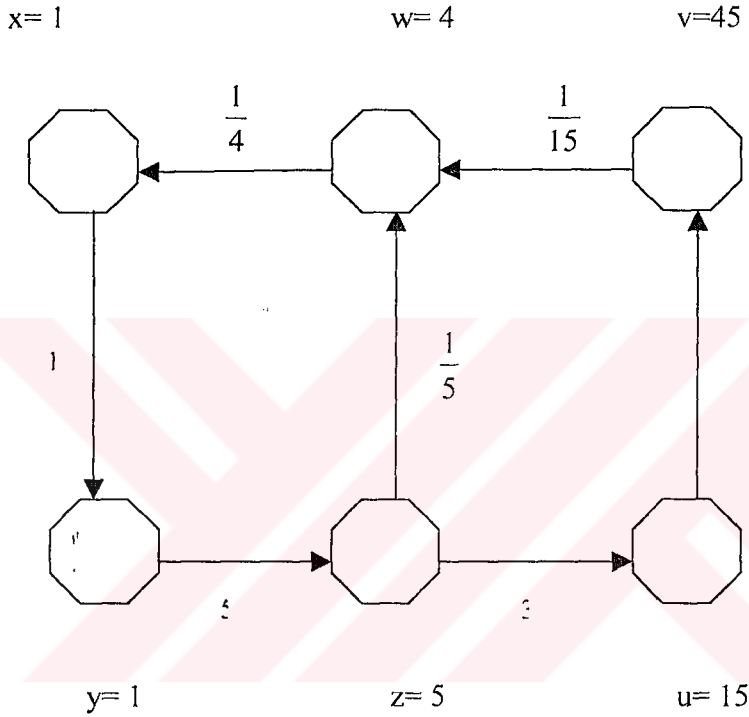
⁶¹ Whitehouse, **Ön. ver**, s: 177.

$$H = 1 - L_1 + L_2 - L_3 + L_4 - L_5 + \dots (-1)^i L_i + \dots = 0$$

$L_i = i$. derecedeki döngülerin toplamı.

Aşağıda açık ve kapalı olarak verilen akış grafiklerinin topolojik eşitlik yöntemine göre çözümleri verilmiştir.⁶² Bunlar birden fazla örnekle açıklanacaktır.⁶³

Şekil 2. 13 Akış Grafiğinde Topolojik Eşitliğin Gösterimi



$$\text{Birinci dereceden döngü} = (x, y, z, w) = 1 * 5 * \frac{1}{5} * \frac{1}{4} = \frac{1}{4}$$

$$\text{İkinci dereceden döngü} = (x, y, z, u, v, w) = 1 * 5 * 3 * 3 * \frac{1}{15} * \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$$

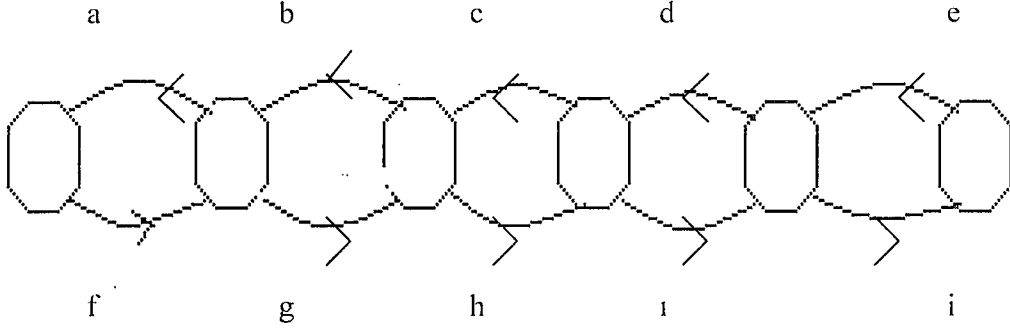
$$L_1 = \frac{1}{4} + \frac{3}{4} = \frac{4}{4} = 1$$

$$H = 1 - L_1 = 0$$

⁶² Karaboğa, **Ön. ver.**, s. 55.

⁶³ Aynı, s.57.

Şekil 2.14 Kapalı Bir Akış Grafiğinde Döngülerin Toplamının Hesaplanması



Kaynak: Karaboğa, Azime. (1999), “Üretim Planlamasında GERT tekniği ve Bir Uygulama”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 55.

Birinci dereceden döngüler: af, bg, ch, di, ej

İkinci dereceden döngüler: afch, afdi, afej, bgdi, bgej, chej

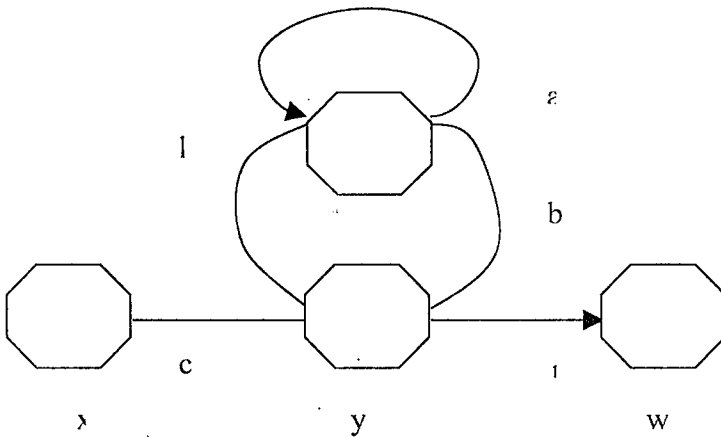
Üçüncü dereceden döngüler: afchej

$$H = 1 - (af + bg + ch + di + ef) + (afch + afdi + afej + bgdi + bgej + chej) - afchej = 0$$

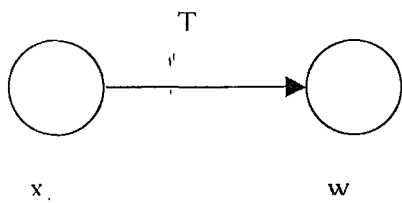
Yukarıda kapalı bir akış grafiğinin topolojik eşitlik yöntemi ile çözümü verilmiştir.

Şekil 2.15’te açık bir akış grafiği için topolojik eşitliğin nasıl bulunacağı gösterilmiştir.

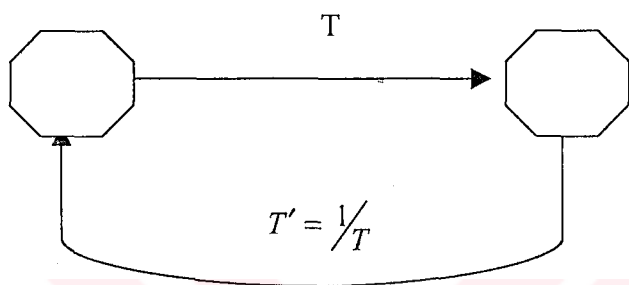
Şekil 2.15 Kapalı grafik tarafından açık akış grafiğinin çözümü



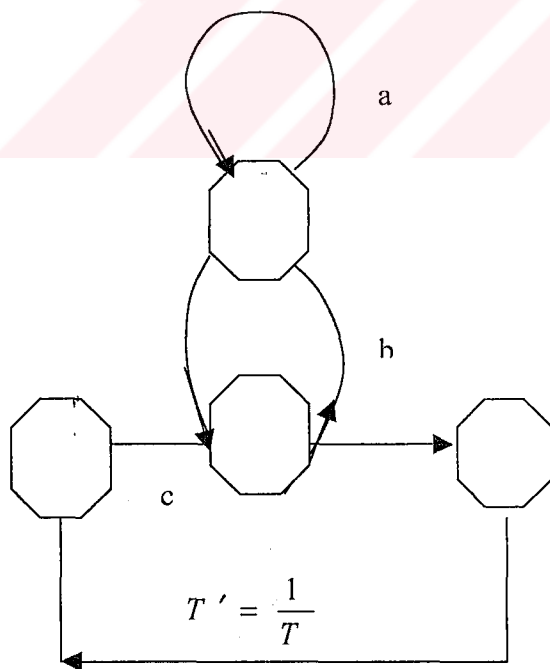
(a)



(b)



(c)



(d)

Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), **Systems Analysis And Design Using Network Techniques**, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 178.

(a) ve (b) şekillerinin topolojik eşitlik yöntemi ile çözümü,

Topolojik eşitlik: $H=0$

Birinci dereceden döngü = a, b, $\frac{c}{t}$

İkinci dereceden döngü = $\frac{ac}{T}$

$$H = 1 - a - b - \frac{c}{T} - \frac{ac}{T} = 0$$

Buradan da,

$$T = \frac{c(1-a)}{(1-a-b)} \text{ sonucuna ulaşılır.}$$

2.4.2.2. Mason Kuralı Yöntemi

Mason kuralı yöntemi Mason, Lorens ve Robichoud tarafından bulunmuştur. Mason kuralı, herhangi iki düğüm arasındaki ilişkiyi çözmek için kullanılır.⁶⁴ Mason kuralı matris yöntemi ile de çözülebilir. Whitehouse bu yöntemi kullanmıştır. Mason kuralı yönteminde kullanılan algoritma, düğüm azaltım ve topolojik eşitlik yöntemine daha paralel olduğu için, matris yöntemi alınmamıştır. Mason kuralı yöntemi açık bir akış grafiğinin çözümünü kolaylaştırır. Fakat topolojik eşitlik, açık bir akış grafiğini önce kapalı hale getirildikten sonra uygulanabilir.

$$\frac{\sum(\text{yol}) * \sum(\text{dokunmayan döngüler})}{\sum \text{döngüler}}$$

$$\text{Yol} = c$$

$$\text{Dokunmayan döngüler} = a$$

$$\text{Döngüler} = a, b$$

$$T = \frac{c(1-a)}{(1-a-b)}$$

⁶⁴ Aynı, s. 174.

Bu eşitlik topolojik eşitlikle aynıdır. Şekil 2. 15`deki (c) ve (d)`nin Mason kuralına göre çözümü aşağıda verilir.

Yol= x`den w`ye olan yoldur. =c*1=c

Dokunmayan döngüler = 1 - (*Dokunmayan ilk döngüler toplamı* + *Dokunmayan ikinci döngüler toplamı*) = 1 - a

\sum *Döngüler* = 1 - (*İlk döngü toplamı*) + (*İkinci döngü toplamı*) = 1 - a - b

$$T = \frac{c(1-a)}{(1-a-b)}$$

Birinci dereceden döngü = a, b, $\frac{c}{t}$

İkinci dereceden döngü = $\frac{ac}{T}$

$$H = 1 - a - b - \frac{c}{T} - \frac{ac}{T} = 0$$

Buradan

$$T = \frac{\sum(\text{yol}) * \sum(\text{dokunmayan döngüler})}{\sum \text{döngüler}}$$

$$T = \frac{c(1-a)}{(1-a-b)}$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda Topolojik eşitlik ve Mason kuralı ile çözümlerin eşit olduğu sonucuna varılabilir.

2.4.2.3. Düğüm Azaltım Yöntemi

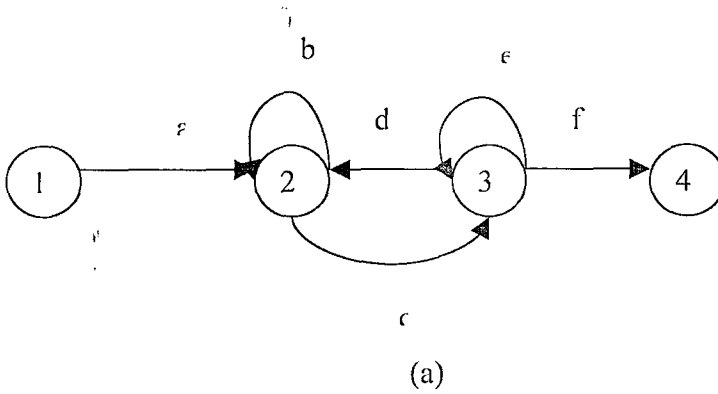
Bu yöntem Gauss- Jordan azaltım prosedürlerini içerir. Araştırmacılar bu prosedürleri kullanarak geliştirmişlerdir. Bu yöntem döngülü düğümlerin azaltımı için kullanılır.⁶⁵ Bunu yapmak için kullanılan formül:

$$t' = t_{ij} + \frac{t_{ij} * t_{kj}}{1 - t_{kk}} \quad \text{şeklindedir.}$$

i ve j başlangıç ve bitiş düğümleridir. Aşağıda Şekil 2.6`da bir örnekle düğüm azaltım adımları verilmiştir.

⁶⁵ Whitehouse, **Ön. ver.**, s.'178.

Şekil 2. 16 Düğüm Azaltım Adımları



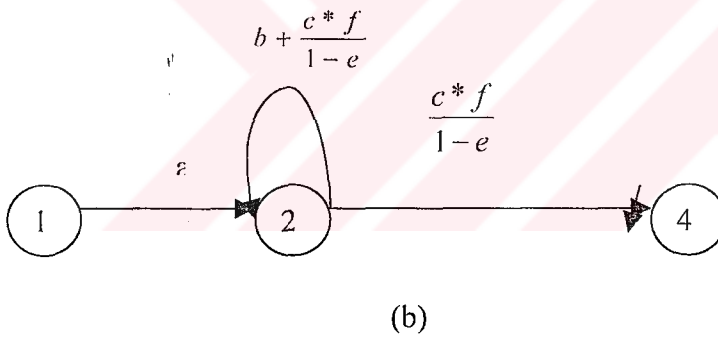
$$t_{24} = 0$$

$$t_{23} = c$$

$$t_{34} = f$$

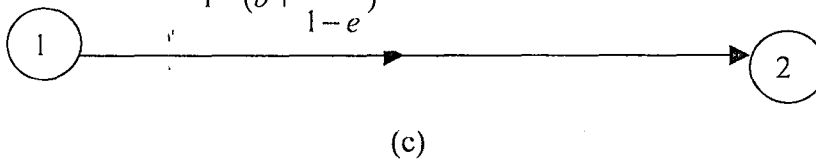
$$t_{33} = e$$

$$t'_{24} = a + \frac{c * f}{1 - e}$$



$$T_{14} = \frac{t_{1k} * t_{kj}}{1 - t_{kk}}$$

$$T_{14} = \frac{a * c * f}{1 - e} = \frac{a * c * f}{1 - e - b - c * f + b * e}$$



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), **Systems Analysis And Design Using Network Techniques**, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 179.

$$T_{14} = \frac{\frac{a * c * f}{1 - e}}{1 - e - b + b * e - cf}$$

$$T_{14} = \frac{a * c * f}{1 - e - b - cf + be}$$

Yukarıda da görüldüğü gibi düğüm, 1'den 2'ye azaltılmıştır. Bu metot ile akış grafiğinin elde çözümü oldukça zordur.

2.4. GERT (Grafik Değerlendirme ve Gözden Geçirme) Tekniği

Uygulamada karşılaşılan bir çok projede faaliyetler arasında ki ilişkiler farklı biçimlerde ortaya çıkmaktadır.¹ İşlemlerin birbirini izlemesi, paralel yürütülmesi, bir işlemin başlamasının birkaç işleme bağlı olması gibi durumlar söz konusu olur. Fakat bu öncelik ilişkileri yanında bir işlemin tamamen tamamlanması, kısmen tamamlanmış olması gibi farklı öncelik ilişkileri de söz konusu olabilir. Bu durumlarda CPM, PERT gibi teknikleri kullanmak imkansızdır.

GERT, olasılıklı ağların ve akış grafiklerinin tümünün birleştirilmesiyle oluşturulan ve karar vermeye yarayan bir şebeke metodu olarak tanımlanır.²

Şebekede faaliyetler, belirli bir aşamadan bir başka aşamaya geçiş ile yapılmaktadır. Şebekede faaliyetlerin bir aşamadan diğer aşamaya kesin olarak geçiş yapması ve bu geçişlerin olasılıklara bağlı olması gerekmektedir.

1962 yılında Eister, tarafından başlatılan öncü çalışmaları esas alan Elmaghraby 1964 yılında GERT şebekelerini geliştirmiştir.³

GERT tekniği bakım onarım projeleri, trafik düzenleme çalışmaları gibi konularda kullanılmıştır.

GERT tekniğinde düğümleri tanımlamada kullanılan parametreler problemin ana kaynağına göre süre, maliyet, işçi sayısı, malzeme, işçinin maliyeti, envanter hesapları,

¹ Ada, **Ön. ver.**, s. 43.

² Aynı, s.43.

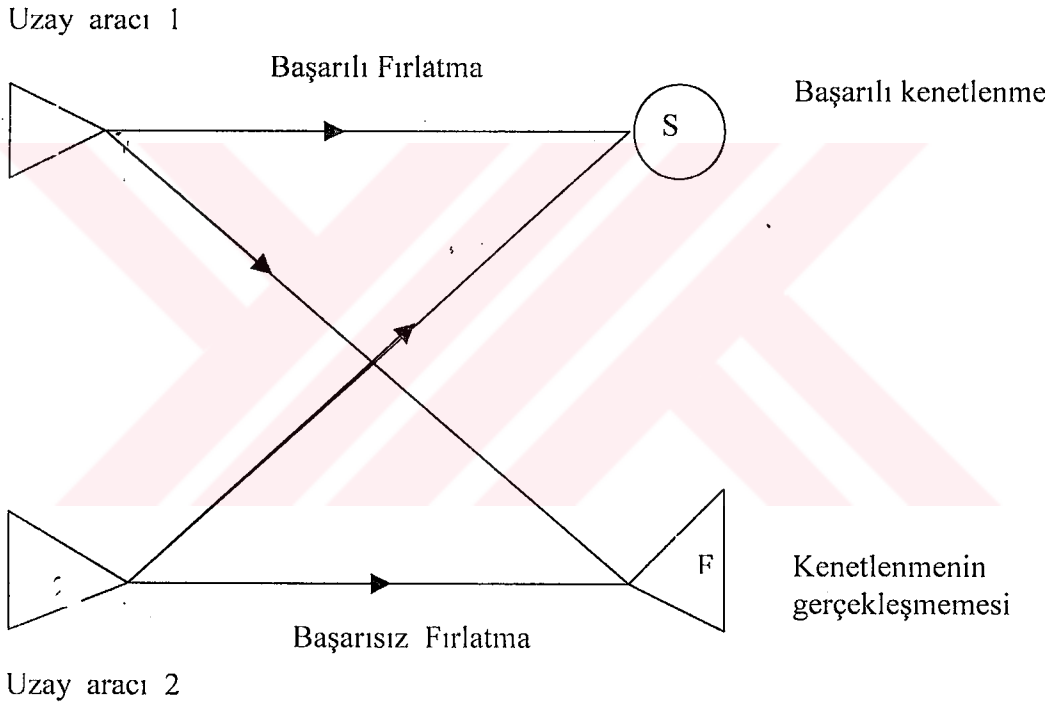
³ Aynı, s. 57.

gibi uygulamalar olabilir.⁴ Bunlar dışında istatistiki bazı teknikler de kullanılır: Standart sapma, varyans...

Farklı özelliklere sahip bu düğüm noktalarının matematiksel analizinde Prisker'in önerdiği şebekenin çözümü şöyledir:

Örneğin iki uzay aracı uzaya fırlatılmış ve uzayda başarılı bir kenetlenme gerçekleşirmiş ise bunun rassal şeması şekil 2.17'deki gibi gösterilebilir.

Şekil 2.17 İki Uzay Aracının Uzayda Kenetlenmesi Problemine Ait Tesadüfi Şebeke Modeli



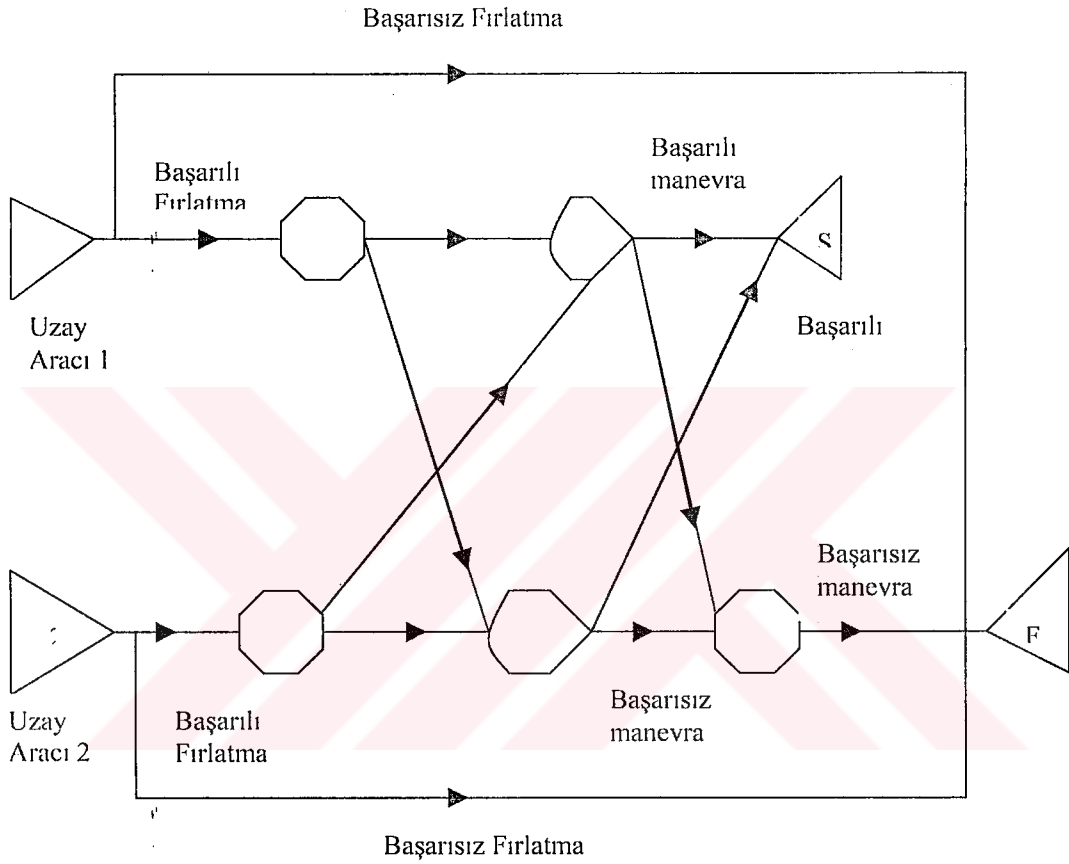
Kaynak: Prisker A.A.B, Happ W.W, (1966) GERT: Graphical Evaluation and Review Technique Part I. Fundamentals, *Journal of Industrial Engineering*, cilt 17, sayı 5

S düğümünün olması için her iki uzay aracının başarılı olarak fırlatılmaları gerekir. Bu sebeple şebekede S düğümü "Ve" düğümü olarak gösterilir. F düğümünün olması için ise iki uzay aracından en az birinin başarısız bir fırlatma gerçekleştirmesi yeterli olacaktır. Buna göre F düğümü "Dahili Veya" olarak gösterilecektir.

⁴Osman Aytekin, (1995), "Prefabrik Yapı Elemanları Üretimine GERT Yöntemi İle Planlaması, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), s. 6.

Bu anlatılanlara ek olarak, araçların başarılı olarak fırlatılmalarından sonra, en az birinin başarılı bir manevra yapabilmesi ihtimalinde katılacak olursa şebeke daha karmaşık hale gelecektir.

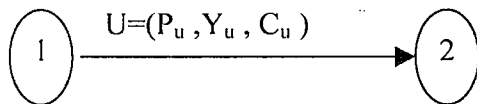
Şekil 2. 18 İki Uzay Aracının Fırlatılmasından Sonra Başarılı Manevra Yapabilmesi Yada Yapamaması Durumunu Gösteren Şebeke



Kaynak: Prisker A.A.B, Happ W.W, (1966) GERT: Graphical Evaluation and Review Technique Part I. Fundamentals, *Journal of Industrial Engineering*, , cilt 17, sayı 5

Şekil 2. 19 GERT'in Bir Vektör Olarak Gösterimi

GERT'e ait çizim bir vektör şeklinde gösterilebilir.



Kaynak: Ada, Feryal. (1987), "Büyük Ölçekli Projelerin Planlama Ve Programlaması: GERT Tekniği Uygulaması", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, s.59.

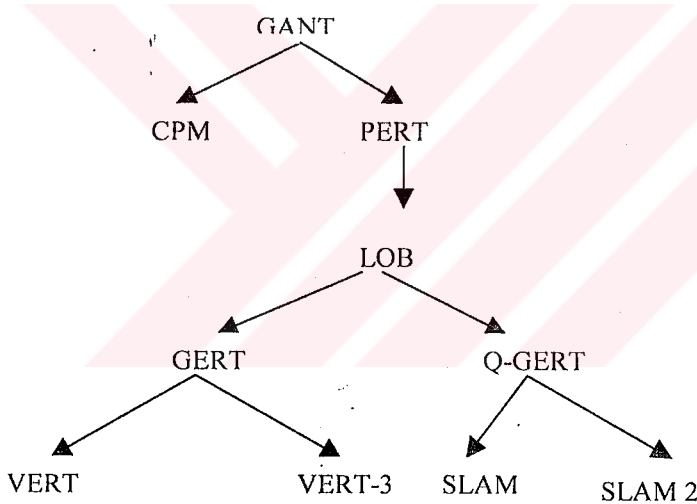
$P_u = (1,2)$ faaliyetinin 1. düğümünün gerçekleşmiş olduğu varsayımı altında gerçekleşme olasılığı.

$Y_u = u$ faaliyeti gerçekleştiğinde, faaliyetin tamamlanma süresini gösteren tesadüfi değişkendir.

$C_u = Y_u$ 'ya bağlı veya bağlı olmayan maliyet fonksiyonudur.

Faaliyet şebekesi oklarla birbirine bağlı düğümlerden oluşur ve her düğüme en az bir ok gelir ve en az bir ok çıkar.⁵ Bu durum başlangıç ve bitim düğümleri için geçerli olmaz. Eğer şebekede birden fazla başlangıç ve bitim noktası varsa bu durumda kukla faaliyet kullanılarak başlangıç ve bitiş noktası bir düğüme indirgenebilir. Şebeke analiz tekniğinin gelişim süreci şekil 2. 20 'de yer almaktadır.

Şekil 2. 20 Şebeke Analiz Teknikleri Gelişimi



Kaynak: Nursel S. Rüzgar, Bahattin Rüzgar. (1999), "Şebeke Modellerinin Gelişimi ve Similasyon Dillerinin karşılaştırılması", T.C Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt. XV, sayı. 1, s. 567.

⁵ Aynı, s. 69.

2.4.1. GERT Sembolleri

GERT'in girdi ve çıktı olmak üzere iki yönü bulunur.⁶ Girdi yönünde 3, çıktı yönünde 2 karar ilişkisi vardır.

Girdi yönü: Düğümü gerçekleştirmenin altındaki durumu gösterir.⁷

Çıktı yönü: Düğüm gerçekleştirilirken dallandırma durumunu gösterir. Yani çıktı yönünde sadece bir veya birden fazla düğümden çıkıp, bir veya birden fazla dala yüklenip yüklenmediğini gösterir.⁸

Girdi yönünden düğümler:

- 1) Ve (and) düğümü: Düğüme gelen tüm dallar gerçekleşirse, düğüm gerçekleşmiş olacaktır.⁹ Gerçekleşme süresi düğüme yönelen işlemlerin tamamlanma sürelerinin en büyüğüdür.¹⁰ Bu yüzden bu düğüm PERT düğüme denktir.
- 2) Dahili- veya (Inclusive- or) düğümü: Düğüme gelen herhangi bir dal, düğümü gerçekleştirir.¹¹ Düğümün gerçekleşme süresi, düğüme yönelen işlemlerin tamamlanma süresinin daima en küçüğüdür.¹²
- 3) Harici- veya (Exclusive-or) düğümü: Düğüme gelen dallardan sadece bir tanesinin gerçekleşmesi sonucu oluşur.¹³

Gerçekleşme süresi önceki faaliyetin tamamlanma süresine bağlıdır. GERT 'te "Ve" düğümünün gerçekleşmesi zorunludur.

Çıktı yönünden düğümler:

- 1) Belirgin (deterministik) Düğüm: Eğer düğüm gerçekleşmişse bu düğümden çıkan bütün faaliyetlerin göz önünde tutulup devam etmesinin zorunlu olduğu

⁶ Jürgen Zimmermann, **Time Complexity Of Single And Identical Parallel-Machine Scheduling With GERT Network Precedence Constraints**, Mathematical Methods of Operations Research, Springer verlag, 1999, (<http://www.s.221>).

⁷ Joseoh Bargis, L. Jan, G. Dietz, **Business Process Modeling and Analysis Using GERT Network**, 1999, (<http://www.demo.nl/documents/1999-ICEIS.pdf>), s. 1.

⁸ Aynı, s. 1.

⁹ A.A.B Prisker ve W.W Happ, "GERT: Graphical Evaluation and Review Technique Part I. Fundamentals", **Journal Of Industrial Engineering**, 1966, Volume. 17., Issue. 5., s. 267.

¹⁰ Aynı, s. 267.

¹¹ Aydın Ulucan, Problem Çözmede Şebeke Analizi Yaklaşımı, **Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, cilt 11, 1993, Ankara, s. 109.

¹² Aynı, s. 109.

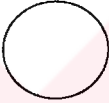

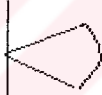



¹³ Prisker ve Happ, s. 267.

düğümdür.¹⁴ Yani düğümü izleyen faaliyetlerin olasılığı $p=1$ dir.¹⁵ CPM ve PERT de bu düğümler belirlidir. Burada ise olasılıklıdır.

2) Olasılıklı (probabilistik) Düğüm: Eğer düğüm gerçekleşmişse bu düğümden çıkan faaliyetlerin gerçekleştirilme zorunluluğu yoktur.¹⁶ Yani izleyen faaliyetin başlama olasılığı $p < 1$ dir.¹⁷

Yukarıda anlatılanlar kullanılarak $3 \times 2 = 6$ farklı şekilde düğüm noktası oluşturulabilir. Bu durum Tablo 2.2`de yer alır.¹⁸

Tablo 2. 2 GERT Düğüm Modelleri

Girdi / Çıktı	Ve	Dahil- veya	Harici- veya
Belirgin			
Olasılıklı			

Kaynak: Aydın Ulucan, (1993), "Problem Çözmede Şebeke Analizi Yaklaşımı", **Hacettepe üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, cilt 11.

GERT modelinin olması için Harici -veya düğümü olmalıdır.¹⁹

GERT ile bir projenin çözülmesi için şu adımlar izlenmelidir.²⁰

- 1) Ele alınacak proje için bir faaliyet şebekesi çizilmelidir.
- 2) Bu şebekelerde düğümler arasındaki geçişleri açıklamak için veriler toplanmalıdır.

¹⁴ Prisker ve Happ, **Ön. ver.**, s. 267.

¹⁵ Aytekin, **Ön. ver.**, s. 4.

¹⁶ Prisker ve Happ, **Ön. ver.**, s. 267.

¹⁷ Aytekin, **Ön. ver.**, s. 4.

¹⁸ Ulucan, **Ön. ver.**, s. 110.

¹⁹ S.Arisawa ve S.E Elmaghraby, (1972), "Optimal Time-Cost Trade Off in GERT Networks", **Management Science**, Volume. 18., Issue.11., s. 589.

²⁰ A.A Prisker, W.W. Happ, s. 267.

- 3) Şebekelerdeki faaliyetler arası ilişkiler ifade edilmelidir.
- 4) Geliştirilen fonksiyonlar iki başarı ölçüsüne göre değerlendirilmelidir:
 - Şebekedeki faaliyetlerin gerçekleşme olasılığı
 - Gerçekleştirilmiş bir düğüm için tamamlanma zamanı
- 5) Dördüncü adım bittikten sonra problem veya proje hakkında gerekli yorumlar yapılmalıdır.

GERT Şebekelerinde geçişin nasıl olduğu ve geçiş parametreleri hesaplanmalıdır.

2.4.2. GERT Şebekesinde Geçiş Parametreleri

GERT şebekesinde iki olay arasında iki parametre vardır. Bunlardan birincisi düğümün gerçekleşmesi olasılığı, P_a ve ikincisi, iki faaliyet arasında ki zaman, t_a 'dır ve tesadüfi değişkendir.²¹ Önceden belirtildiği gibi GERT Şebekelerinde bütün düğümler Harici- veya türünde olmalıdır ki, o zaman bu geçiş parametreleri kullanılabilir.

2.4.3. GERT Şebekesinde Hesaplama Yöntemleri

GERT şebekesinin hesaplama yöntemleri iki türdür. Birincisi faaliyet sürelerinin sabit olduğu şartlarda, ikincisi faaliyet sürelerinin değişken olduğu şartlarda GERT'in çözülmesi mümkündür.

2.4.3.1. GERT Şebekesinde Faaliyet Zamanlarının Sabit Olması Hali

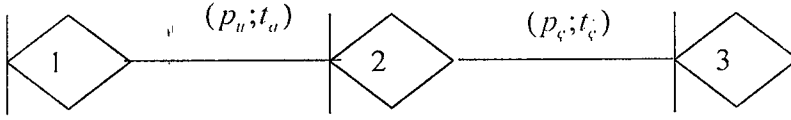
GERT şebekesinde faaliyet sürelerinin sabit olması halinde, akış grafiklerinde olduğu gibi, üç özellik vardır:²²

- 1) Seri Bağlı Olduğu Hali
- 2) Paralel Bağlı Olduğu Hali
- 3) Döngüler (loops) Olduğu Hali

²¹ Whitehouse, **Ön. ver.**, s. 252.

²² Aynı, s. 252.

Şekil 2. 21 Seri Bağlı GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Sabit Olması Hali

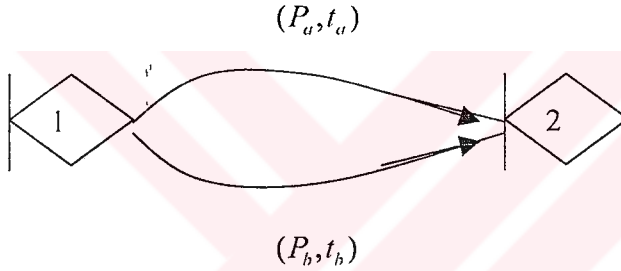


Kaynak: E. Salah Elmaghraby, (1964), "An Algebra for the Analysis of Generalized Activity Networks", *Management Science*, Vol. 10., Issue. 3. s. 497.

$$P_{1,3} = P_a * P_b$$

$$t_{1,3} = t_a + t_b$$

Şekil 2. 22 Paralel Bağlı GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Sabit Olması Hali

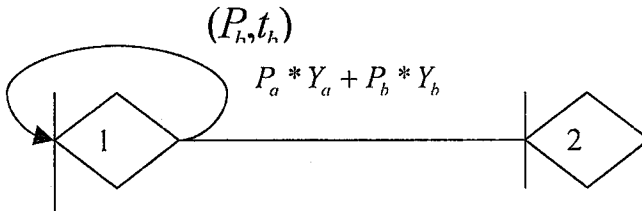


Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), *Systems Analysis And Design Using Network Techniques*, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 285.

$$P_{1,2} = P_a + P_b$$

$$t_{1,2} = \frac{P_a * t_a + P_b * t_b}{P_a + P_b}$$

Şekil 2. 23 Döngülü Paralel Bağlı GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Sabit Olması Hali



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), *Systems Analysis And Design Using Network Techniques*, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 285.

$$P_{1,2} = \frac{P_a}{1 - P_b}$$

$$t_{1,2} = t_a + \left(\frac{P_a}{1 - P_b}\right) * t_b$$

Örnek 2.4

Aşağıda bir işletmede ürün tasarım çalışması sonuçlarının değerlendirilmesi görülmektedir.²³

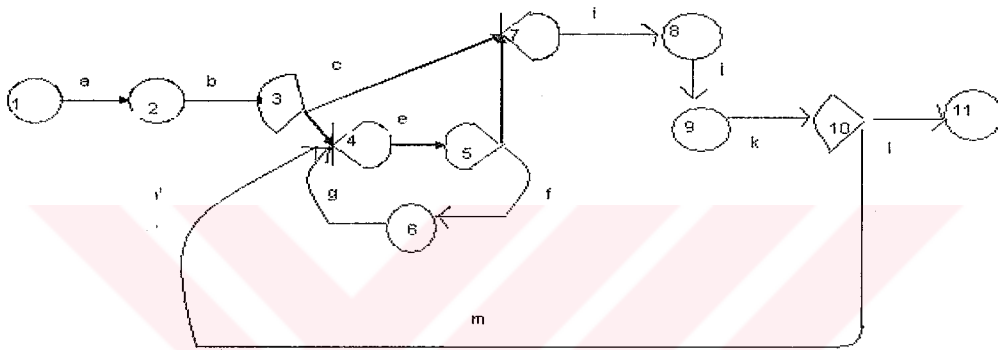
<u>Faaliyetler</u>	<u>Faaliyet Kodu</u>	<u>İzleyen Faaliyet</u>
Tasarıma ilişkin çizimlerin bölüme gönderilmesi	A	B
Çizimlerin İncelenmesi	B	C veya D
Tasarıma ilişkin maliyet hesaplamaları	C	H
Çizimlerin etkinlik testine gönderilmesi	D	E
Etkinlik testi	E	H veya F
Tasarımın etkinliği artırma çalışması	F	G
Model hazırlama bölümüne gönderme	H	İ
Tasarıma ilişkin modelin hazırlanması	İ	J
Pilot üretim	J	K
Deneme ürünlerinin incelenmesi	K	L veya M
Rapor hazırlama	L	-
Etkinlik testine gönderme	M	E

Yukarıdaki tablo incelendiğinde farklı durumların ortaya çıktığı görülebilir. B faaliyetine bakıldığında C veya D faaliyetlerinden herhangi birinin B faaliyetinin bitimi ile başladığı görülebilir. Eğer C faaliyeti başlarsa onu H faaliyeti izleyecektir. H faaliyetini de İ faaliyeti izleyecektir. Ancak D faaliyeti başlarsa bu durumda D

²³ Ada, **Ön. ver.**, s. 67.

faaliyetini E faaliyeti, E faaliyetini de H veya F faaliyeti izleyecektir. İ faaliyeti her iki durum seçilse de başlamak zorundadır. Ve bundan sonra J faaliyetine geçilmektedir. J faaliyetinden sonra K faaliyeti K faaliyetinden sonra L veya M faaliyeti olacaktır. L veya M faaliyetinden sonra dikkat edilirse E faaliyetine bir geri dönüş söz konusudur. Bu durumlar dikkate alınarak, şekil 2. 24' de GERT Şebekesine ait olan sembollerin kullanılması gerekir. Semboller kullanılarak hazırlanan GERT şebekesi ise aşağıda verilmektedir.

Şekil 2. 24 Örnek 2. 4'in GERT Şebekesi



Şebekenin yolları ise;

1. YOL: a, b, c, i, j, k, l
2. YOL: a, b, d, h, f, g, e, f, i, k, l
3. YOL: a, b, c, i, j, k,, m, h, f, g, e, i, j, k, e

Yukarıdaki örneğin tamamlanma süreleri ve olasılıkları aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.3 Örnek 2.4 'in Faaliyet/Süre /Olasılık Tablosu

Faaliyet Kodu	Tamamlanma süresi (t_i)	Gerçekleşme Olasılığı (P_i)
A	2	-
B	4	-
C	1	0,6
D	2	0,4
E	1	-
F	2	0,2
G	2	-

H	3	0,8
İ	4	-
J	10	-
K	3	-
L	2	0,9
M	4	0,1

Mevcut veriler ışığında yolların hesaplaması aşağıda gösterildiği gibi yapılır.

$$T_1 = t_a + t_b + t_c + t_i + t_j + t_k + t_l$$

$$\text{Yol 1: } T_1 = 2 + 4 + 1 + 4 + 10 + 3 + 2 = 26$$

$$P_1 = P_c * P_l$$

$$P_1 = 0,6 * 0,9 = 0,54$$

$$T_2 = t_a + t_b + (t_d + t_h) + [(t_f + t_g + t_e)P_f / (1 - P_f)] + t_i + t_j + t_k + t_l$$

$$\text{Yol 2: } T_2 = 2 + 4 + (2 + 3) + [(2 + 2 + 1)(0,2) / (0,8)] + 4 + 10 + 3 + 2 = 31,25$$

$$P_2 = P_d * P_l$$

$$P_2 = 0,4 * 0,9 = 0,36$$

$$T_3 = t_a + t_b + t_c + t_i + t_j + t_k + (t_m + t_n)(t_f + t_g + t_e)P_f / (1 - P_f) + t_l + t_j + t_k + t_e$$

$$\text{Yol 3: } T_3 = 2 + 4 + 1 + 4 + 10 + 3 + (4 + 3) + [(2 + 2 + 1)(0,2) / (0,8)] + 4 + 10 + 3 + 2 = 51,25$$

$$P_3 = P_c * P_m + P_l$$

$$P_3 = 0,6 * 0,1 * 0,9 = 0,054$$

Bu zamanların toplamı bize bu şebekenin beklenen tamamlanma süresini verir.

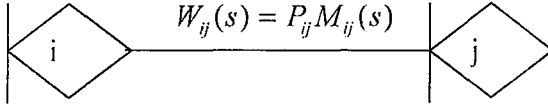
$$\begin{aligned} \text{Şebekenin tamamlanma süresi} &= T_1 * P_1 + T_2 * P_2 + T_3 * P_3 \\ &= 26 * 0,54 + 31,25 * 0,36 + 51,25 * 0,054 \end{aligned}$$

$$= 28,07 \cong 28 \text{ gün bulunmaktadır.}$$

2.5.3.2. GERT Şebekesinin Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Hali

Faaliyetlerin gerçekleşme süresinin değişken olması halinde GERT şebekesi, moment türeten fonksiyonlar ile çözülür. Bunun basit bir şekilde gösterimi aşağıda verilmiştir.

Şekil 2. 25 GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Halini Gösteren Birim GERT Şebekesi

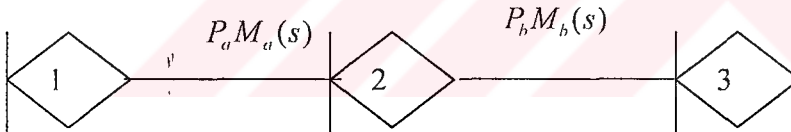


Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), *Systems Analysis And Design Using Network Techniques*, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 286.

$M_{ij}(s)$ = Moment türeten fonksiyon

W_{ij} = Moment türeten fonksiyon ile faaliyetin gerçekleşme olasılığının çarpımı ile faaliyetin beklenen süresini verir. Harici veya düğüme sahip bir GERT şebekesinin seri, paralel ve döngülü hallerinde hesaplamaların nasıl yapılacağı şekil 2.26'da görülebilir.

Şekil 2. 26 Seri Bağlı Harici- veya Düğümlü GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Hali



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), *Systems Analysis And Design Using Network Techniques*, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 251.

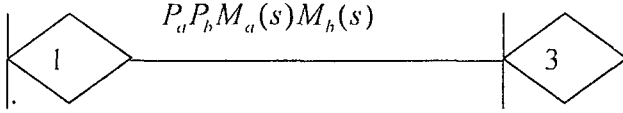
Seri faaliyetlerin gerçekleşme olasılığı $P_a \cap P_b = P_a * P_b$ 'dir.

Buna göre geliştirilen eşdeğer vektörün geçiş parametreleri aşağıda verilmiştir.

$$W_{1,3}(s) = P_a P_b M_a(s) M_b(s)$$

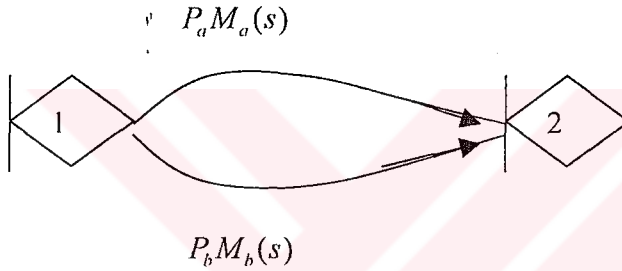
$$M_{1,3}(s) = P_a P_b M_a(s) M_b(s)$$

Şekil 2. 27 Seri Bağlı Harici-veya Döğümlü GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Halinin İndirgenmiş Hali



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), *Systems Analysis And Design Using Network Techniques*, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 251.

Şekil 2. 28 Paralel Bağlı Harici- veya Döğümlü GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Hali



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), *Systems Analysis And Design Using Network Techniques*, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 252.

Paralel olarak iki faaliyet yürütülecekse gerçekleşme olasılığı,

$$P_a \cup P_b = P_a + P_b - (P_a \cap P_b)$$

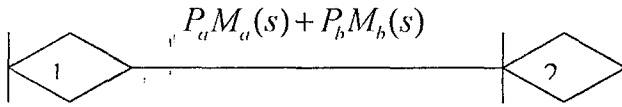
$$P_a \cup P_b = P_a + P_b - 0 \text{ dir.}$$

Süresi ise iki sürenin toplamına eşittir. Eşdeğer vektörün hesaplanması ile geçiş parametresi,

$$W_{1,2}(s) = P_a M_a(s) + P_b M_b(s)$$

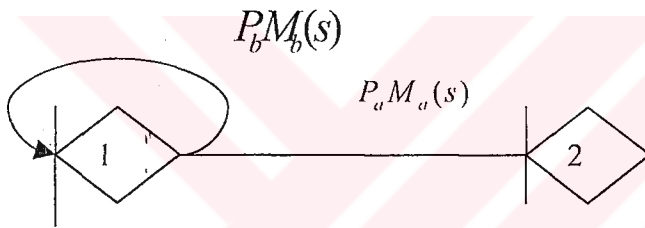
$$M_{1,2}(s) = \frac{P_a M_a(s) + P_b M_b(s)}{P_a + P_b} \text{ dir.}$$

Şekil 2. 29 Paralel Bağlı Harici- veya Düğümlü GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Durumunun İndirgenmiş Hali



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), *Systems Analysis And Design Using Network Techniques*, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 252.

Şekil 2. 30 Döngülü Paralel Bağlı Harici- veya Düğümlü GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Hali



Kaynak: Prisker A.A.B, Happ W.W, (1966) GERT: Graphical Evaluation and Review Technique Part II. *Fundamentals, Journal of Industrial Engineering*, cilt 17, sayı 5, s. 295.

Geri dönüşlü döngülerde ise gerçekleşme olasılığı,

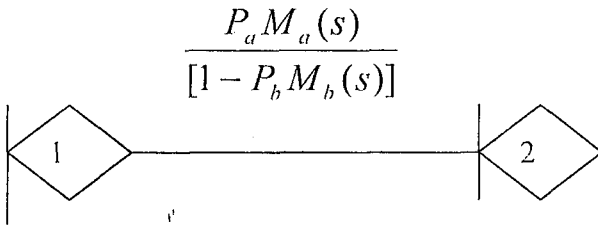
$$W_{1,2}(s) = \frac{P_a}{1 - P_b} \text{ dir.}$$

İndirgenmiş vektörün geçiş parametresi,

$$W_{1,2}(s) = \frac{P_a M_a(s)}{[1 - P_b M_b(s)]}$$

$$M_{1,3}(s) = \frac{W_{1,2}(s)}{P_a P_b} \text{ dir.}$$

Şekil 2. 31 Döngülü Harici-veya Döğümlü GERT Şebekesinde Faaliyet Sürelerinin Değişken Olması Halinin İndirgenmiş Hali



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), *Systems Analysis And Design Using Network Techniques*, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 253.

GERT şebekelerinde, faaliyetlere ilişkin gerçekleşme olasılıkları birbiri ile çarpılırken, süre değişkenleri toplanır. Bu GERT'in doğal yapısından kaynaklanır. Akış grafiğindeki yaklaşım ile, elle olasılıkları hesaplamak kolay, süre değişkenlerini hesaplamak zor olmaktadır.²⁴ GERT 'i ortaya atan kişiler buna uyum sağlaması için Moment türeten fonksiyonları kullanmışlardır. Bu teorem istatistikte oldukça iyi bilinen bir teoremdir. Prisker ve Happ grafik için geçiş sürelerini hesaplariken Moment türeten fonksiyonları kullanmışlardır. Burada süre değişkeni ya olasılıklara bağlı yada tesadüfidir.

Moment türeten fonksiyonun kullanılmasının nedeni, GERT tekniğinde süre değişkeni olasılıklı olarak ifade edildiğinde, bunu toplamanın zor olmasıdır. Prisker ve Happ bu yüzden zaman değişkenini çarpımsal olarak ifade etmek için istatistikte çok kullanılan Moment türeten fonksiyonları kullanmışlardır. Moment türeten fonksiyonlar, rassal değişkenlerin sahip oldukları dağılımların momentlerinin hesaplanmasında kullanılırlar.²⁵ Moment, terimlerin sıfırdan farklı veya aritmetik ortalamadan sapmalarının değişik kuvvetlerinin beklenen değerine denir.²⁶

Moment türeten fonksiyon yönteminde, rassal değişkenlerin olasılık fonksiyonundan yararlanarak bir fonksiyon belirlenir ve bu fonksiyondan yararlanarak momentler daha kolay hesaplanır.²⁷

²⁴ Whitehouse, *Ön. ver*, s. 250.

²⁵ Mustafa Aytac, (1994), *Matematiksel İstatistik*, (Bursa: Uludağ Üniversitesi Basım Evi), s. 242.

²⁶ Aynı, s. 242.

²⁷ Aynı, s. 244.

Süreyi t ile gösterirsek bunun Moment Türeten Fonksiyonu,

$$M_t(s) = E\{e^{st}\} \text{ olur } \left(t \text{ rassal değişken} \right)$$

$$M_t(s) = \begin{cases} \int_0^{\infty} e^{st} * f(t) * dt & t \text{ rassal değişkeni sürekli ise,} \\ \sum_x e^{sx} * f(x) & t \text{ rassal değişkeni kesikli ise,} \end{cases}$$

f(t) fonksiyonu sıklık fonksiyonunu oluşturur. Şayet t_0 ise, bu durumda:

$$M_t(s) = E(e^{st})$$

$$\int_0^{\infty} f(t) * dt = 1$$

$$M_t(0) = 1 \text{ dir.}$$

Olasılığı p ile gösterirsek bunun Moment türeten fonksiyonu,

$$W(s) = p * M_t(s) \text{ dir.}$$

Tablo 2.4 Dağılımların Moment Türeten Fonksiyonları

Dağılım Türü	$M_t(s)$	Değişkenler	$\left. \frac{\partial [M_t(s)]}{\partial s} \right _{s=0}$	$\left. \frac{\partial^2 [M_t(s)]}{\partial s^2} \right _{s=0}$
Binomial	$[pe^s + 1 - p]^n$	n, p	$n * p$	$n * p(n * p + 1 - p)$
Kesikli	$\frac{p_1 e^{sT_1} + p_2 e^{sT_2} + \dots}{p_1 + p_2 + \dots}$	$p_1, T_1, p_2, T_2, \dots$	$\frac{p_1 T_1 + p_2 T_2 + \dots}{p_1 + p_2}$	$\frac{p_1 T_1^2 + p_2 T_2^2 + \dots}{p_1 + p_2}$
Üstel	$[1 - \frac{s}{a}]^{-1}$	1/a	1/a	$2/a^2$
Gamma	$[1 - \frac{s}{a}]^{-b}$	$\frac{1}{a}, b$	b/a	$b * (b + 1) / a$
Geometrik	$\frac{pe^s}{1 - e^s + pe^s}$	p	1/p	$2 - p/p^2$
Neg. Binom.	$[\frac{p}{1 - e^s + pe^s}]^r$	r, p	$r * (1 - p) / p$	$\frac{r(1 - p)(1 + r - rp)}{p^2}$
Normal	$e^{[sm + (\frac{1}{2})s^2 \sigma^2]}$	m, σ	m	m^2, σ^2
Poisson	$e^{\lambda(e^s - 1)}$	λ	λ	$\lambda(1 + \lambda)$
Uniform	$\frac{e^{sa} - e^{sb}}{(a - b)s}$	a, b	$a + b/2$	$\frac{a^2 + ab + b^2}{3}$

Kaynak: Osmaç AYTEKİN, (1995), "Prefabrik Yapı Elemanları Üretiminin GERT Yöntemi İle

Planlaması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.20.

Örnek 2. 5 bunun için verilmektedir.²⁸

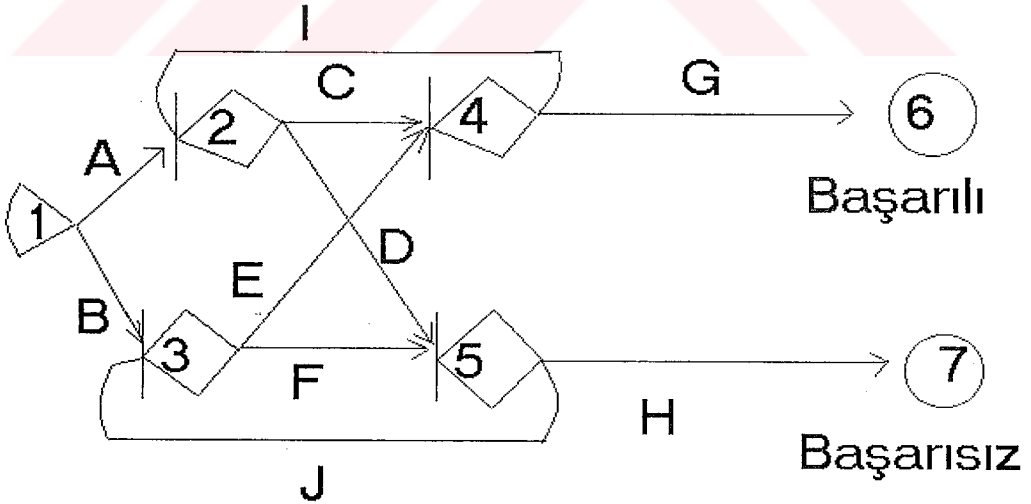
Örneğimiz farklı ortalamalara ve aynı varyansa sahiptir. $\sigma^2=1$

$$M_i(s) = E\{e^{st}\} = e^{\mu s + \sigma s/2}$$

Örnek 2. 5

Aktiviteler	Olasılık	Ortalama
A (1-2)	0,7	15
B (1-3)	0,3	25
C (2-4)	0,5	20
D (2-5)	0,5	25
E (3-4)	0,5	20
F (3-5)	0,5	30
G (4-6)	0,6	30
H (5-7)	0,7	35
I (4-2)	0,6	10
J (5-3)	0,3	10

Şekil 2. 32 Örnek 2. 5'in GERT Şebekesi



Yukarıda gördüğümüz şebekenin 3 farklı yolu vardır.

²⁸Arisawa ve Elmaghraby, *Ön. ver.*, s. 596.

Yol 1=A-C-G

Yol 2=B-E-G

Yol 3=A-D-J-E-G

Bu bulunan yolların geçiş parametrelerinin elde edilmesine Mason Kuralı uygulandığı zaman başarılı olan düğüme giden eşdeğer vektör geçiş olasılığı,

Yol 1=A-D-G

Dokunmayan döngü=j,f

Döngüler=jf-cı

Yol 2=B-E-G

Dokunmayan Döngü=Yok

Yol 3=A-D-J-E-G

Dokunmayan döngü=Yok

$$P_{1,6} = \frac{c(1-a)}{1-a-b}$$

$$P_{1,6} = \frac{[P_A P_C P_G (1 - P_F P_J) + P_B P_E P_G + P_A P_D P_J P_E P_G]}{[1 - P_C P_I - P_F P_J - P_D P_J P_E P_I + P_C P_I P_F P_J]}$$

$$P_{1,6} = \frac{[0,7 * 0,5 * 0,6(1 - 0,5 * 0,3) + 0,3 * 0,5 * 0,6 + 0,7 * 0,5 * 0,5 * 0,6 * 0,3]}{[1 - 0,5 * 0,4 - 0,5 * 0,3 - 0,5 * 0,5 * 0,4 * 0,3 + 0,5 * 0,5 * 0,4 * 0,3]}$$

$$= \frac{0,3}{0,65} = 0,46$$

Proje %46 oranında başarılı olabilmektedir.

Yukarıda verilen şebekenin zamanları değişken süreler olarak alındığında,²⁹

Tablo 2.5 Moment Türeten Fonksiyonlar ve Faaliyet Süresi Fonksiyonu

Aktiviteler	$M_i(s) = E\{e^{st}\} = e^{\{sm + (\frac{1}{2})s^2\sigma^2\}}$	$W_{(s)} = p * M_i(s)$
A (1-2)	$e^{15 + \frac{1}{2}s^2}$	$0,7e^{15 + \frac{1}{2}s^2}$
B (1-3)	$e^{25 + \frac{1}{2}s^2}$	$0,3e^{25 + \frac{1}{2}s^2}$
C (2-4)	$e^{20 + \frac{1}{2}s^2}$	$0,5e^{20 + \frac{1}{2}s^2}$

²⁹ Arisawa ve Elmaghraby, **Ön. ver.**, s. 596.

D (2-5)	$e^{25+\frac{1}{2}s^2}$	$0,5e^{25+\frac{1}{2}s^2}$
E (3-4)	$e^{20+\frac{1}{2}s^2}$	$0,5e^{20+\frac{1}{2}s^2}$
F (3-5)	$e^{30+\frac{1}{2}s^2}$	$0,5e^{30+\frac{1}{2}s^2}$
G (4-6)	$e^{30+\frac{1}{2}s^2}$	$0,6e^{30+\frac{1}{2}s^2}$
H (5-7)	$e^{35+\frac{1}{2}s^2}$	$0,7e^{35+\frac{1}{2}s^2}$
I (4-2)	$e^{10+\frac{1}{2}s^2}$	$0,4e^{10+\frac{1}{2}s^2}$
J (5-3)	$e^{10+\frac{1}{2}s^2}$	$0,3e^{10+\frac{1}{2}s^2}$

Yukarıdaki tabloda her faaliyet için moment türeten fonksiyonlar hesaplanmıştır. Buradan elde edilen faaliyet süresi fonksiyonları, mason kuralına göre yerine konulduğunda, projenin beklenen tamamlanma süresi,

$$M_t(s) = \frac{0,7e^{15s+1/2s^2} * 0,5e^{20s+1/2s^2} * 0,6e^{30s+1/2s^2} * (1 - 0,5e^{30s+1/2s^2} * 0,3e^{10s+1/2s^2}) + \dots}{[1 - 0,5e^{20s+1/2s^2} * 0,4e^{10s+1/2s^2} - 0,5e^{30s+1/2s^2} * 0,3e^{10s+1/2s^2} - \dots]} + \dots$$

$$\dots = \frac{0,3e^{25s+1/2s^2} * 0,5e^{20s+1/2s^2} * 0,6e^{30s+1/2s^2} + 0,7e^{15s+1/2s^2} * 0,5e^{25s+1/2s^2} * \dots}{0,5e^{25s+1/2s^2} * 0,3e^{10s+1/2s^2} * 0,5e^{20s+1/2s^2} * 0,4e^{10s+1/2s^2} + \dots}$$

$$\dots = \frac{0,3e^{10s+1/2s^2} * 0,6e^{30s+1/2s^2}}{0,5e^{20s+1/2s^2} * 0,4e^{10s+1/2s^2} * 0,5e^{30s+1/2s^2} * 0,3e^{10s+1/2s^2}}$$

$$M_t(s) = \frac{0,21e^{65s+3/2s^2} * (1 - 0,15e^{40s+s^2}) + 0,027e^{75s+3/2s^2} + 0,063e^{80s+2s^2}}{[1 - 0,2e^{30s+s^2} - 0,15e^{40s+s^2} - 0,03e^{65s+2s^2} + 0,03e^{70s+2s^2}]}$$

$$T_1 = \left. \frac{\partial [M_e(s)]}{\partial s} \right|_{s=0} \text{ dir.}$$

$M_e(s)$ 'nin s 'ya göre türevi alınıp daha sonra $s=0$ kabul edildiğinde sonuçta $T=197,4 \cong 197$ birim süre olarak bulunur.

$$T_2 = \left. \frac{\partial^2 [M_e(s)]}{\partial s^2} \right|_{s=0}$$

$$\sigma^2 = T_2 - T_1$$

Bu örnekte varyans sabittir ve hesaplanmamıştır. Örnekte faaliyetlerin tümünün normal dağılımına uygun olduğu varsayılmıştır. Faaliyetler farklı dağılımlarda ifade edilebilir. Örneğin, poisson dağılımına uygun olduğu varsayılsaydı, bu durumda, yukarıdaki tabloda verilen formüller kullanılarak hesaplamalar yapılacaktı. Örneğin 1-2 yolunun poisson dağılımına uygun olduğu varsayıldığında,

$$\lambda = 15$$

$M_i(s) = e^{\lambda(e^{-s}-1)} = e^{15(e^{-s}-1)}$ şeklinde hesaplanırdı.

GERT tekniğinin elle hesaplanmasının oldukça zor olması bu tekniğin dezavantajlarından biridir. Bu yüzden bilgisayar programlarından yararlanılarak hesaplamalar yapılır.

2.4.4. GERT Şebekesinde Ve, Dahili - veya Düzümlerinin Çözüm Yöntemleri

GERT şebekelerinin çözülebilmesi için Harici-veya düğümlerine sahip olması gerekir. Fakat şebekeler sadece bu düğümlere sahip değildir. Bunları Harici- veya düğümleri haline getirmek gerekir.

2.4.4.1. Ve Düzümleri

Ve düğümlerin özelliği, düğüme yönelen tüm faaliyetlerin gerçekleşmesi zorunluluğudur. Ve olasılığı 1'e eşittir.

Ve düğümlerinin diğer bir özelliği de geri döngünün mümkün olmamasıdır. Ve türündeki düğümlere sahip şebekenin GERT ile çözümünde benzetim modeli kullanılır. Bu benzetim metodunda şebeke başlangıç ve bitim düğümü olmak üzere iki düğüm haline getirilir.

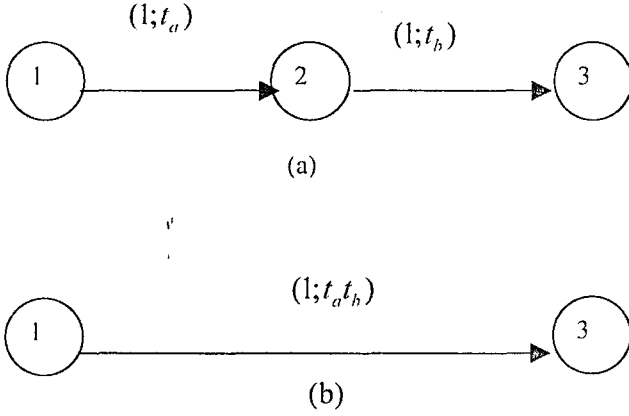
Ve düğümleri için sadece seri ve paralel bağlı durumlar geçerli olur. Ve düğümlerini çözmek için dört farklı durum karşımıza çıkar.³⁰

1) Seri bağlı bir Ve düğümü indirgeme yapıldığı zaman yeni oluşan şebekenin olasılığı faaliyetlerin sahip olduğu olasılık çarpımına eşittir ve gerçekleşme süresi de

³⁰ A.A.B Prisker, W.W Happ, (1966) GERT: Graphical Evaluation and Review Technique Part I. Fundamentals, *Journal of Industrial Engineering*, cilt 17, sayı 5, s. 271.

faaliyetlerin gerekleŒme srsine eŒit olur. Eğer faaliyetin süreleri sabit olursa o zaman CPM düğümleri haline gelir.

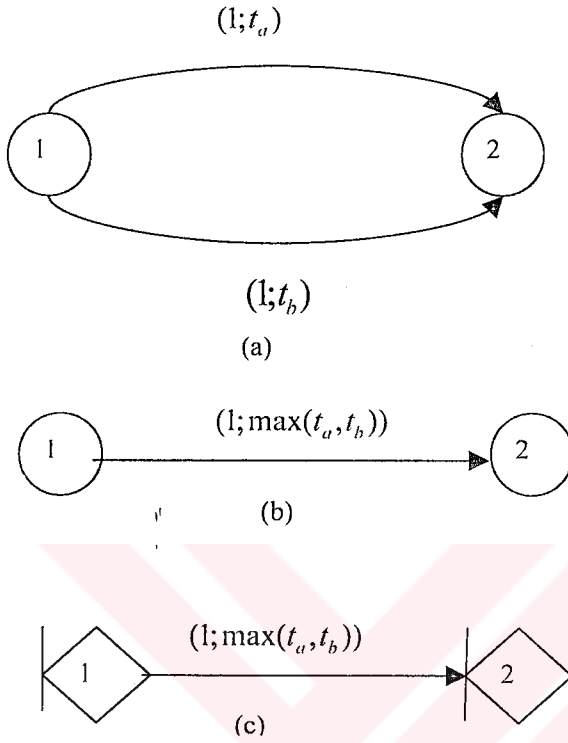
Œekil 2. 33 Seri Bağlı Ve Dğm ve İndirgemesi



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), **Systems Analysis And Design Using Network Techniques**, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 287.

2) Ve düğümlerinde paralel bağlı durumların çözümü karıŒıktır. Eğer paralel bağlı durumlarda olasılık 1'e eŒit ise çözümü aŒaęıdaki gibi olacaktır.

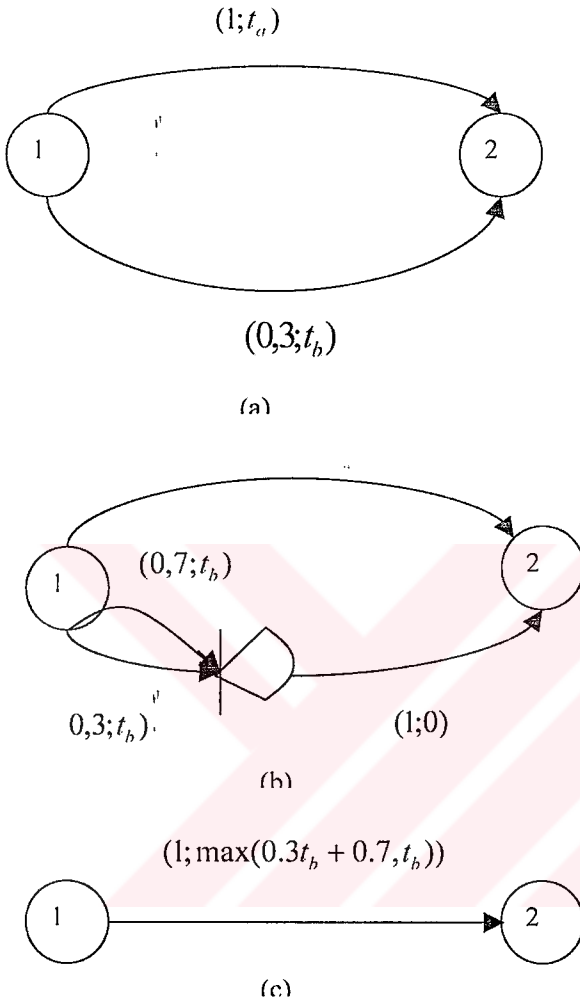
Şekil 2. 34 Ve Düğümüne Ait Paralel Bağlı Olan Şebekenin Harici-veya Düğümüne Sahip Şebeke Haline Çevrilmesi



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), **Systems Analysis And Design Using Network Techniques**, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 288.

Ve düğümlerinde faaliyetlerden birinin oluşma olasılığının 1'den küçük olduğu durumdaki çözüm aşağıda verilmiştir.

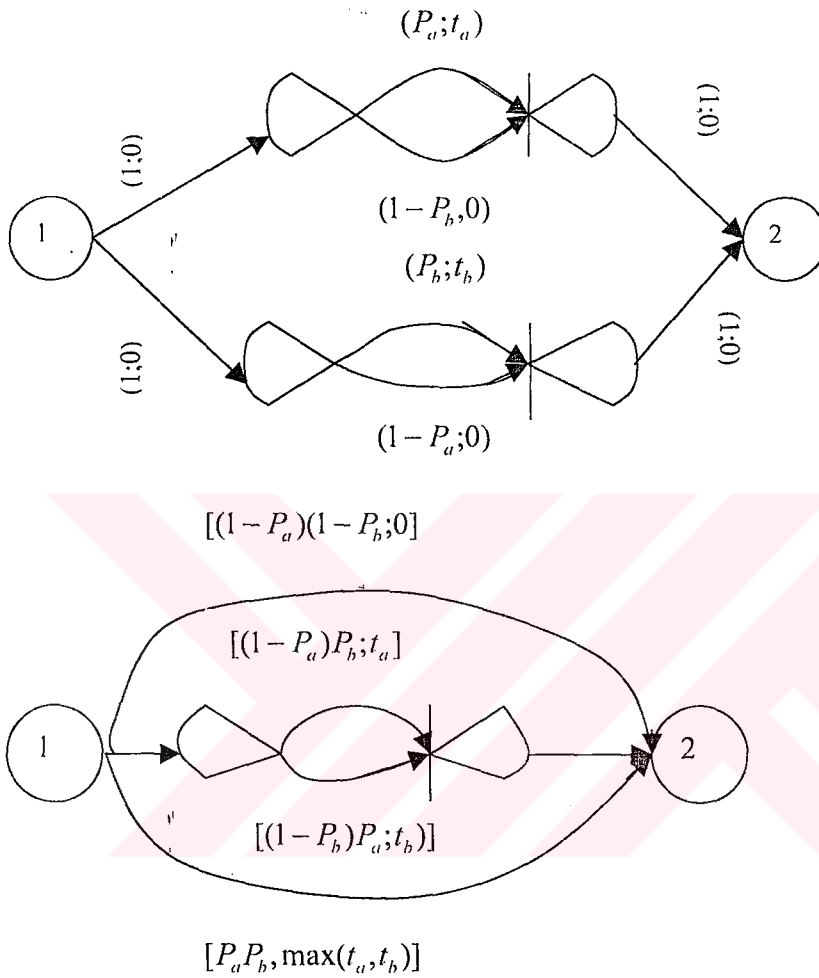
Şekil 2. 35 Ve Dğümlerine Sahip Şebekenin Faaliyetlerinden Birinin 1'den Küçük Olduğu Durum ve İndirgemesi



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), *Systems Analysis And Design Using Network Techniques*, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 289.

3) İki Ve dğümü ile birbirine bağı olan ve faaliyetlerin gerçekleşme olasılıklarının 1'den küçük olduğu ve faaliyetler arasında Harici- veya dğümlerinin bulunduğu şebekenin çözümü şekil 2.36'daki gibidir.

Şekil 2. 36 İki Ve Dügümü İle Birbirine Bağlı Olan ve Faaliyetlerin Gerçekleşme Olasılıklarının 1'den Küçük Olduğu ve Faaliyetler Arasında Harici-veya Dügümlerinin Bulunduğu Şebekenin Çözümü



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), *Systems Analysis And Design Using Network Techniques*, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 289.

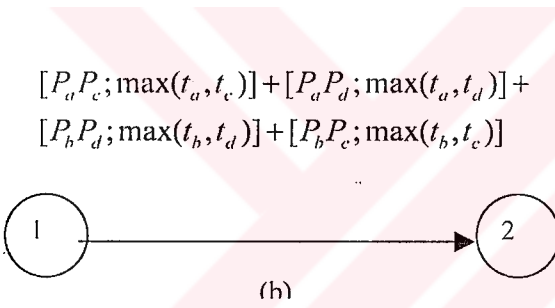
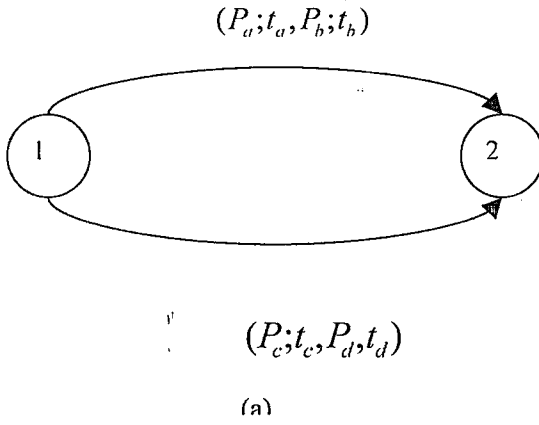
$$W_{1,2} = [(1-P_a)(1-P_b) + (P_a(1-P_b)e^{st_a}) + (P_b(1-P_a)e^{st_b}) + (P_aP_b e^{s \max(t_a, t_b)})]$$

4) Gerçekleşme olasılıkları toplamı 1 olan iki faaliyetin birbirine bağladığı Ve düğümlü ağlar için indirgeme yapıldığında, faaliyete ait olasılık ile diğer faaliyete ait olasılığın çarpımı ve gerçekleşme zamanının en büyüğü dört farklı değerin toplanması ile oluşur.

$$P_a + P_b = 1$$

$$P_c + P_d = 1$$

Şekil 2. 37 Gerçekleşme Olasılıkları Toplamı 1 Olan İki Faaliyetin Birbirine Bağladığı Ve Dügümlü Ağlar İçin İndirgeme



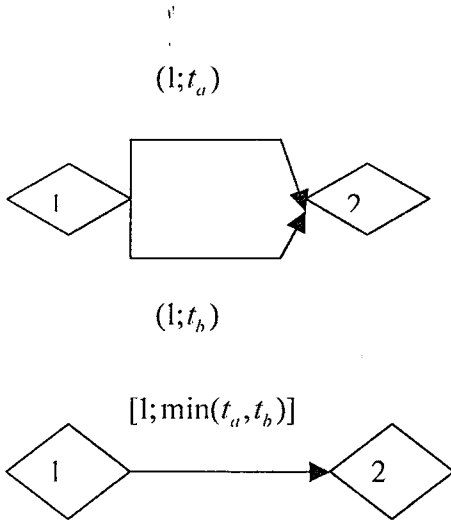
Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), *Systems Analysis And Design Using Network Techniques*, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 289.

2.5.4.2. Dahili-veya Dügümleri

Bu tür düğümlerde düğüme yönelik faaliyetlerden herhangi birinin gerçekleşmesinin yeterli olacağı daha önceden belirtilmiştir. Harici- veya düğümlerinden farkı, Harici- veya düğümünün gerçekleşmesi için sadece ve sadece bir faaliyetin gerçekleşmesi şartı yoktur. Düğüme gelen faaliyetlerden herhangi birinin gerçekleşmesi düğümü gerçekleştirir.³¹ Aşağıda, Dahili- veya düğüme sahip bir GERT şebekesinin indirgenmiş hali vardır. Olasılıkları 1'e eşittir.

³¹ Whitehouse, *Ön. ver.*, s.293.

Şekil 2. 38 Paralel Dahili- veya Düğümünün İndirgenmiş Hali



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), **Systems Analysis And Design Using Network Techniques**, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 293.

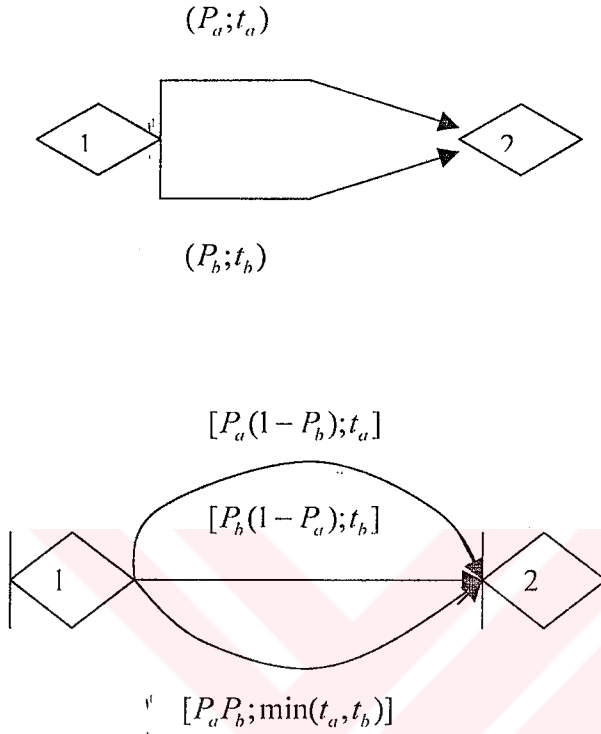
Dahili- veya düğümleri bazı bakımlardan ve düğümlerine benzerlik göstermektedir. Bu özellikler aşağıda verilmiştir.³²

- 1) Dahili- veya düğümleri ve düğümleri gibi geri döngülü olamaz. Seri Dahili- veya düğümlerinin çözümü-ve düğümlerinin çözümü gibi olur.
- 2) Sabit zamanlı elemanlar ile sadece dalların süre akışı dikkate alınarak yapılır.

Paralel bağlı Dahili- veya düğümlerinin olasılıkları 1'den küçük olursa buna yönelik çözüm aşağıda verilmiştir. $0 \leq P_a \leq 1$ ve $0 \leq P_b \leq 1$ olduğu durumlar aşağıda verilmiştir.

³² Aynı, s. 294.

Şekil 2. 39 Paralel Dahili-veya Döğümlü Şebekenin Harici-veya Exclusive-Or Döğümlü Şebekeye Dönüşmüş Şekli



Kaynak: Gary E. Whitehouse, (1973), **Systems Analysis And Design Using Network Techniques**, (New Jersey: Prentice-Hall Inc), s. 294.

Sonuçta aşağıdaki eşitlik yazılır.

$$W_c(s) = [P_a(1-P_b); t_a] + [P_b(1-P_a); t_b] + [P_a P_b, \min(t_a, t_b)]$$

Eğer bu eşitliği normal dağılım şeklinde kabul edip Moment türeten fonksiyonunu yazarsak:

$$W_c(s) = [P_a(1-P_b)e^{st_a}] + [P_b(1-P_a)e^{st_b}] + [P_a P_b e^{s \min(t_a, t_b)}] \text{ şeklinde olur.}$$

2.4.5. GERT Şebekesiyle Diğer Teknikler Arasındaki Benzerlik ve Farklılıklar

1) PERT şebekelerine, “Ve” belli düğümlerinden oluşmuş ve sadece zaman parametresi ile hareket eden GERT şebekesi denilebilir.³³ PERT şebekelerinde olasılık dahil edilmez ve onlar aynı zamanda beta dağılımına sahiptir. GERT ağı ise birçok dağılıma sahiptir. CPM tekniğinde faaliyet zamanları sabit iken GERT tekniğinde olasılıklıdır.

2) Akış Grafikleri aşama itibariyle de Grafik Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniğine (GERT) daha yakın bir tekniktir. Akış grafiğinin çarpımsal ve toplamsal özelliği bir tür tesadüfi GERT şebekesidir.

Şebeke diyagramları incelediğinde çok az farkla birbirlerine benzedikleri görülebilir. Fakat GERT'in tüm şebekelerin özelliklerini toplayan ve çok karmaşık şebeke problemlerini çözebilen bir yapısı vardır.

2.5.6. GERT 'in Kullanım Alanları

GERT tekniği uygulamada bir çok alanda kullanılmaktadır:³⁴

- 1) Ar-Ge'nin kontrol ve planlanmasında.
- 2) Trafik ve ulaşırmada sinyal ve kavşaklarda.
- 3) Devre analizleri ve Fuzzy problemlerinin çözümünde.
- 4) Seri imalat yapan işletmelerde kalite kontrol ve işlem sırası planlamasında.
- 5) Yöneylem araştırmalarında ve yönetim bilimlerinde tesadüfi modellerin kurulmasında.
- 6) İstatistiki problemlerin çözümünde.
- 7) Envanter problemlerinin çözümünde.
- 8) Büyük işletmelerin iş, işçi ve malzeme dağılımlarının yapılmasında.
- 9) Direkt ve endirekt maliyetlerin en aza indirilmesi için model geliştirmede kullanılır.

Şebeke oluşturulurken en çok dikkat edilmesi gereken durum girdi ve çıktının iyi tespit edilmesidir.

³³ Aytekin, **Ön. ver.**, s. 40.

³⁴ Aynı, s. 91.

III. BÖLÜM

HÜCRESEL İMALATIN GERT İLE PLANLAMASINA İLİŞKİN BİR UYGULAMA DENEMESİ

Birinci ve ikinci bölümde hücreyel imalat ve GERT teorik olarak açıklanmaya çalışılmıştır. Bu anlatılanlar ışığında karma bir üretim hattına sahip, dünyada hazır mutfak üretiminde bir numara olan X üretim şirketi seçilerek uygulama yapılmıştır. Örnek olarak şirketin ürettiği ürünlerden bulaşık makinesinin verileri alınmıştır.

3.1. Uygulama Yapılan İşletmenin Tanıtılması

Türkiye'de bulunduğu sektörde en önemli işletmelerden biri olan uygulama işletmesi, mutfakta profesyonel bir kimliğe sahiptir. Avrupa'nın en iyi üretici firmalarından birisidir. Bir çok ülkeye ihracat yapmaktadır. Ürettiği ürünler Endüstriyel mutfak, endüstriyel çamaşırhane, soğuk oda, ve medikal ürünler adı altında sınıflandırılmaktadır.

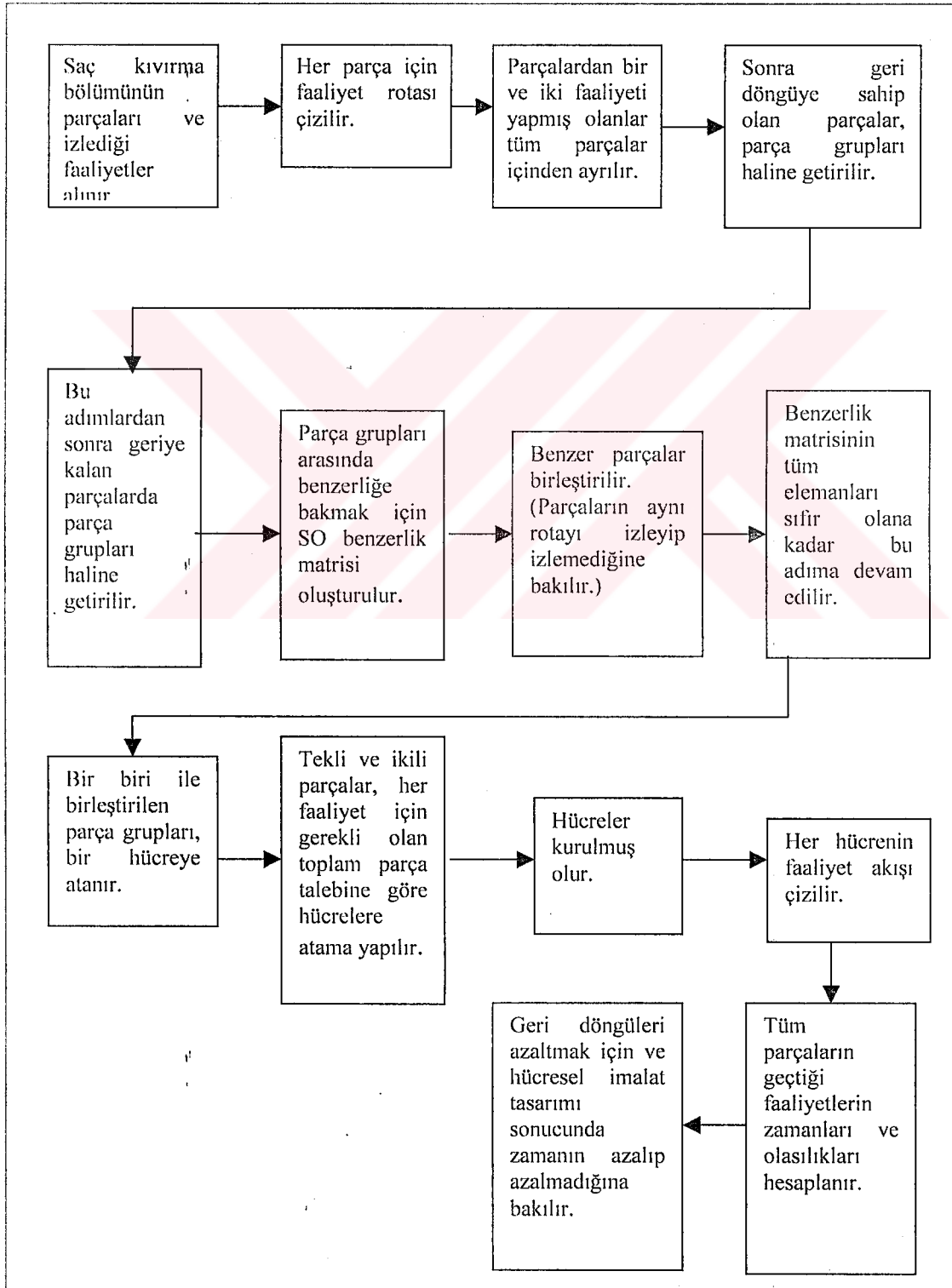
X üretim işletmesinin bulaşık makinesi üretim hattının saç kıvrıma bölümünün verileri alınarak hücreyel imalatın GERT ile planlama denemesi yapılmıştır. X işletmesinin sac kıvrıma bölümü atölye tipi üretim yapan bir hattır. Bu hattı akış tipi üretim yapan bir hat haline getirmek için hücreyel imalat kullanılmıştır. Bu hattın kullanılmasının sebebi hücreyel imalatın avantajlarından yararlanabilmek, ayrıca atölye tipi üretim yapan bir hattı akış tipi üretim yapan hale çevirmektir.

3.2. Uygulama Metodolojisi

Bundan önceki bölümlerde Hücreyel İmalat ve GERT tekniği teorik olarak anlatılmaya çalışılmış ve gerekli yerler de örnekler verilmiştir. Uygulama çalışması ise endüstri mutfaklarında kullanılan araçlar konusunda uzman olan X firmasının üretim

bölümünde yapılmıştır. Hücresel imalat tasarımı yapılırken teorik olarak ortaya atılmış olan bir çerçeve kullanılmıştır. Uygulamaya konu olan makalenin çevirisi Ek-1 'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Uygulamada izlenecek olan adımlar aşağıda Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Uygulama Sürecinde İzlenecek Yollar



3.3. X işletmesinin Bulaşık Makinesi Hattının Saç Kıvrma Bölümünde Hücrelerin Tasarımı

Hücre tasarımı Ek 1` de verilen adımlar dahilinde yapılmıştır. Tasarım aşamasında X şirketinin sac kıvrma bölümüne ait olan faaliyet verilerinden yararlanılarak birleştirilmiş faaliyette tek bir numara verilmiştir. Bunun sebebi, faaliyetler arasında öncelik sonralık ilişkisi kurulamamıştır.

İlk aşamada tek ve iki faaliyetten geçen parçalar tüm veriler içinden ayrılmıştır. Daha sonra aynı faaliyet birden fazla yapılıyorsa-yani geri döngü varsa-tek ve iki faaliyetten geçen parçalar ayrıldıktan sonra kalan veriler içerisinde bu döngüye sahip parça ayrılır. Bu aşamalardan sonra kalan veriler üzerinden aynı faaliyet düzenine sahip olanlarda gruplanır.

Tek ve İki faaliyetten geçen parçalar,

21	(1)
28	(1,6)
29	(1,6)
30	(1,6)
33	(1,6)
34	(1)
35	(1)
36	(1)
44	(1,6)
49	(1,4)
53	(1,6)

Döngü içeren parçaların faaliyetleri,

1 _____ 14 (1,2,3,4,,6,7,8,7)

Diğer parçaların gruplandırılmış faaliyetleri,

1 _____	1,15,40,20,9,39,41,56,15,15,45,54,55,6	(1,2,3,5,6,7)
2 _____	2,3,11,22,23,24,26,27,48,19	(1,2,3,5,6,7)
3 _____	4,13	(1,2,3,4,6,8,7)

4 _____	7,8,9,10,31,32,37,38,50,51	(1,2,3,6)
5 _____	18	(1,6,7)
6 _____	25,42,46,47	(1,5,6)
7 _____	40,52	(1,2,3,8)

Tablo 3. 2 Benzerlik matrisi

	1	2	3	4	5	6	7
1	-						
2	0,875	-					
3	0,94	0,93	-				
4	0,79	0,83	0,79	-			
5	0,69	0,75	0,71	0,58	-		
6	0,69	0,75	0,48	0,58	0,67	-	
7	0,75	0,75	0,79	0,75	0	0	-

Yukarıda yapılan açıklamalardan sonra gruplandırılan parçaların benzerliklerine bakılır. Tabloyu incelediğimizde –benzerlik matrisi incelendiğinde- birinci grup ile üçüncü grubun benzerlik oranı diğerleri arasında yüzde olarak en büyük değere sahiptir. Buna dayanılarak bu iki grubun birleştirilebilir olduğu sonucuna varılabilir.

$$SO_{pq} = 0.5[(\sum_{i \in C_p} A_{ip} / \sum_{i=1}^M A_{iq}) + (\sum_{i \in C_q} A_{iq} / \sum_{i=1}^M A_{ip})]$$

SO_{pq} = “p” ve “q” parça grupları arasındaki benzerlik.

$i = (1, \dots, M)$ = makine tipi indeksi

$$A_{ip} = \begin{cases} 1 & \text{Şayet makine } i, p \text{ parça grubu içinde faaliyette bulunuyorsa.} \\ 0 & \text{Diğer durumlarda.} \end{cases}$$

C_{pq} = Benzer nisbi düzen içinde OR_p^2 ve OR_q^2 her ikisi içinde meydana çıkan makine üyelerinin seti.

SO_{pq} potansiyel birleştirmede parça gruplarının ikililerini tanımlamak için kullanılır.

$$C_{21} = (1,2,3,5,6,7)$$

$$SO_{21} = 0.5\left(\frac{6}{8} + \frac{6}{6}\right)$$

$$SO_{21} = 0.5\left(\frac{14}{8}\right)$$

$$SO_{21} = 0.875$$

$$C_{31} = (1,2,3,4,6,8,7)$$

$$SO_{21} = 0.5 * \left(\frac{7}{8} + \frac{7}{7}\right)$$

$$SO_{21} = 0.5 * \left(\frac{15}{8}\right)$$

$$SO_{21} = 0.94$$

$$C_{32} = (1,2,3,4,6,7)$$

$$SO_{32} = 0.5 * \left(\frac{6}{6} + \frac{6}{7}\right)$$

$$SO_{32} = 0.5 * \left(\frac{13}{7}\right)$$

$$SO_{32} = 0.93$$

$$C_{41} = (1,2,3,6)$$

$$SO_{41} = 0.5 * \left(\frac{4}{4} + \frac{4}{7}\right)$$

$$SO_{41} = 0.5 * \frac{11}{7}$$

$$SO_{41} = 0.79$$

$$C_{42} = (1,2,3,6)$$

$$SO_{42} = 0.5 * \left(\frac{4}{4} + \frac{4}{6}\right)$$

$$SO_{42} = 0.5 * \left(\frac{10}{6}\right)$$

$$SO_{42} = 0.83$$

$$C_{43} = (1,2,3,6)$$

$$SO_{43} = 0.5 * \left(\frac{4}{4} + \frac{4}{6} \right)$$

$$SO_{43} = 0.5 * \left(\frac{11}{7} \right)$$

$$SO_{43} = 0.79$$

$$C_{51} = (1,6,7)$$

$$SO_{51} = 0.5 * \left(\frac{3}{3} + \frac{3}{8} \right)$$

$$SO_{51} = 0.5 * \left(\frac{11}{8} \right)$$

$$SO_{51} = 0.69$$

$$C_{52} = (1,6,7)$$

$$SO_{52} = 0.5 * \left(\frac{3}{3} + \frac{3}{6} \right)$$

$$SO_{52} = 0.5 * \left(\frac{9}{6} \right)$$

$$SO_{52} = 0.75$$

$$C_{53} = (1,6,7)$$

$$SO_{53} = 0.5 * \left(\frac{3}{3} + \frac{3}{7} \right)$$

$$SO_{53} = 0.5 * \left(\frac{10}{7} \right)$$

$$SO_{53} = 0.71$$

$$C_{54} = (1,6)$$

$$SO_{54} = 0.5 * \left(\frac{2}{3} + \frac{2}{4} \right)$$

$$SO_{54} = 0.5 * \frac{14}{12}$$

$$SO_{54} = 0.58$$

$$C_{61} = (1,5,6)$$

$$SO_{61} = 0.5 * \left(\frac{3}{3} + \frac{3}{8}\right)$$

$$SO_{61} = 0.5 * \left(\frac{11}{8}\right)$$

$$SO_{51} = 0.69$$

$$C_{62} = (1,5,6)$$

$$SO_{62} = 0.5 * \left(\frac{3}{3} + \frac{3}{6}\right)$$

$$SO_{62} = 0.5 * \left(\frac{9}{6}\right)$$

$$SO_{62} = 0.75$$

$$C_{63} = (1,6)$$

$$SO_{63} = 0.5 * \left(\frac{2}{3} + \frac{2}{7}\right)$$

$$SO_{63} = 0.5 * \left(\frac{14+6}{21}\right)$$

$$SO_{63} = 0,48$$

$$C_{64} = (1,6)$$

$$SO_{64} = 0.5 * \left(\frac{2}{3} + \frac{2}{4}\right)$$

$$SO_{64} = 0.5 * \left(\frac{8+6}{6}\right)$$

$$SO_{64} = 0.58$$

$$C_{12} = (1,6)$$

$$SO_{65} = 0,5 * \left(\frac{2}{3} + \frac{2}{3}\right)$$

$$SO_{65} = 0,67$$

$$C_{71} = (1,2,3,8)$$

$$SO_{71} = 0.5 * \left(\frac{4}{4} + \frac{4}{8}\right)$$

$$SO_{71} = 0.5 * \left(\frac{12}{8}\right)$$

$$SO_{71} = 0.75$$

$$C_{72} = (1,2,3)$$

$$SO_{72} = 0.5 * \left(\frac{3}{4} + \frac{3}{6}\right)$$

$$SO_{72} = 0.5 * \left(\frac{24+12}{24}\right)$$

$$SO_{72} = 0.75$$

$$C_{73} = (1,2,3,8)$$

$$SO_{73} = 0.5 * \left(\frac{4}{7} + \frac{4}{7}\right)$$

$$SO_{73} = 0.5 * \left(\frac{8}{7}\right)$$

$$SO_{73} = 0.79$$

$$C_{74} = (1,7)$$

$$SO_{74} = 0.5 * \left(\frac{2}{6} + \frac{2}{6}\right)$$

$$SO_{74} = 0.333$$

$$C_{75} = (1)$$

$$SO_{75} = 0$$

$$C_{76} = (1)$$

$$SO_{76} = 0$$

Sadece bir faaliyetten geçtiği için benzerlik matrisinde "0" olarak alınacaktır.

Bu hesaplamalar yapıldıktan sonra çıkan sonuçlar benzerlik matrisinde yerine yerleştirilir ve daha sonra matris içinden en büyük değer alınarak parça grupları birleştirilir. Bu adım tüm parça grupları için yapılır. Matrisin tüm elemanları sıfır olana

kadar devam edilir. Benzerlik matrisinde 0,94 değeri en büyük değer olduğu için Parça grubu 3, parça grubu 1 ile birleştirilebilmektedir.

3+1 parça gruplarının seyahat kartı incelenir.

3 _____ 4,13

(1,2,3,4,6,8,7)

1 _____ 1,15,40,20,9,39,41,56,15,15,45,54,55,6

(1,2,3,5,6,7)

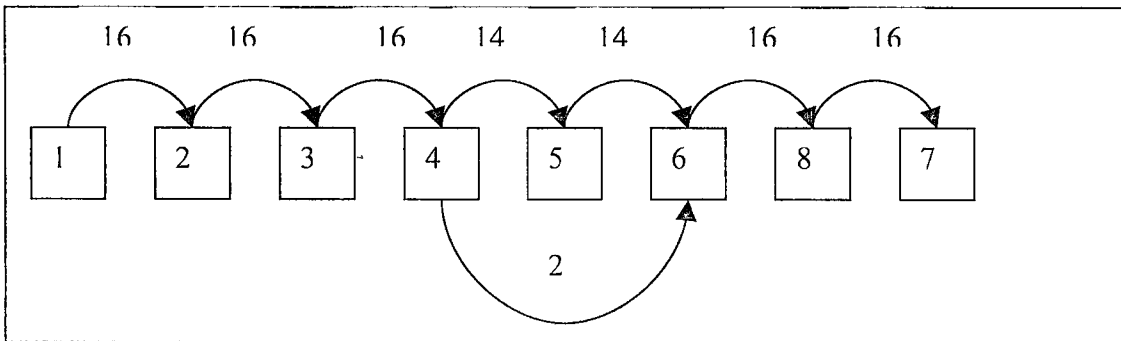
Yeni yol tasarımı (1,2,3,4,5,6,8,7) buna uygun olarak hazırlanan seyahat kartı aşağıda verilmiştir.

Tablo 3. 3 Döngüsüz Parça Gruplarının Seyahat Kartı

	1	2	3	4	5	6	8	7
1	-	16	0	0	0	0	0	0
2	0	-	16	0	0	0	0	0
3	0	0	-	16	0	0	0	0
4	0	0	0	-	14	2	0	0
5	0	0	0	0	-	14	0	0
6	0	0	0	0	0	-	16	0
8	0	0	0	0	0	0	-	16
7	0	0	0	0	0	0	0	-

Bu matris oluşturulurken faaliyetler arasındaki talep miktarlarına bakılır. 3+1'e ait olan parçaların talepleri 1'dir.

Tablo 3. 4 Döngüsüz Parça Gruplarının Faaliyetler Arasındaki Talep İlişkisi



Seyahat kartından çıkarılan A matrisi aşağıda gösterilir.

Tablo 3. 5 Döngüsüz Parça Gruplarının A Matrisi

	1	2	3	4	5	6	8	7
1	-	16	0	0	0	0	0	0
2	-16	-	16	0	0	0	0	0
3	0	-16	-	16	0	0	0	0
4	0	0	-16	-	14	2	0	0
5	0	0	0	-14	-	14	0	0
6	0	0	0	-2	-14	-	16	0
8	0	0	0	0	0	-16	-	16
7	0	0	0	0	0	0	-16	-
Poz	0	16	0	0	0	16	16	16
Neg	16	16	16	16	14	16	0	0
Z	0	16	0	0	0	16	0	0

Burada Z değerine göre faaliyetler yerleştirilir. Başka bir ifadeyle faaliyetleri yapan makinelerin yerleşimi yapılır. Z pozitif çıkarsa, makine olduğu yerde kalır. Negatif çıkarsa en sona atılır. Negatif pozitive eşitse o zaman bir önceki makine ile yer değiştirir. Bu duruma göre faaliyet akışı(1,2,3,4,5,6,8,7) şeklinde olmalıdır. Çünkü geri dönüş durumu minimum olmuştur. Bu adımdan sonra geri dönüşün olup olmadığını μ değeri ile ölçeriz. $\mu \leq 0$ ise geri döngü yoktur. $\mu \geq 0$ ise geri döngü vardır.

Tablo 3. 6 Döngüsüz Parça Gruplarının μ Akış Ölçümü

			1	2	3	4	5	6	7	8	
		Mal.girişi	1	2	3	4	5	6	8	7	Mal.çıkışı
	Mal girişi	-	16	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	-	16	0	0	0	0	0	0	0
2	2	0	0	-	16	0	0	0	0	0	0
3	3	0	0	0	-	16	0	0	0	0	0
4	4	0	0	0	0	-	14	2	0	0	0
5	5	0	0	0	0	0	-	14	0	0	0

6	6	0	0	0	0	0	0	-	16	0	0
7	8	0	0	0	0	0	0	0	-	16	0
8	7	0	0	0	0	0	0	0	0	-	16
Mal.çıkışı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

$$\mu = \left[\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{(p1+p2)^k} (k-l) \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{(p1+p2)^k} \right]$$

$x_{(p1+p2)^k} =$ Ek A da tanımlandığı gibi.

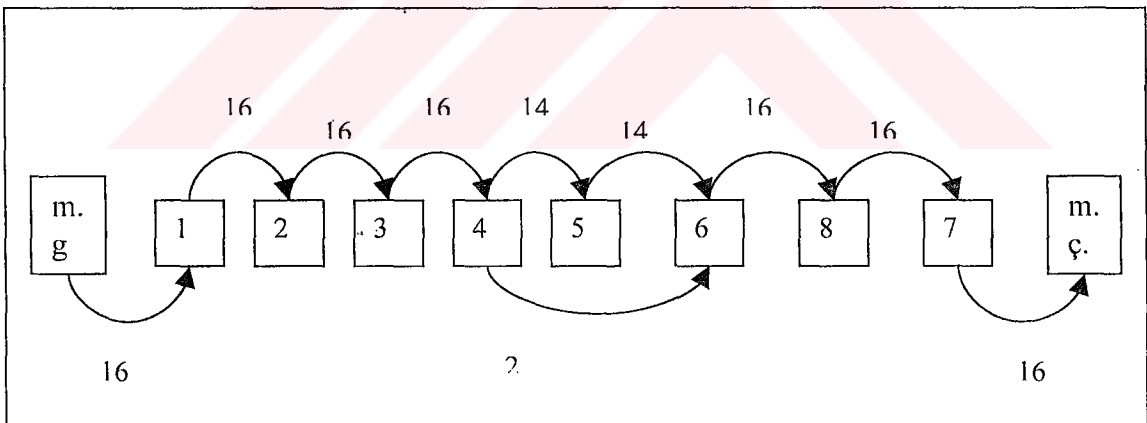
$k \rightarrow l = 1$ faaliyeti (operasyon), k faaliyetinden önce gelir.

$K=L=$ Seyahat kartında satırların (kolonların) sayısı

Yukarıdaki formül kullanılarak μ hesaplanırsa,

$\mu = 0 / (16+16+16+16+14+14+16+16) = 0$ sonucuna varılır.

Tablo 3. 7. Döngüsüz Parça Gruplarının μ Akış Ölçümü Kriterlerine Göre Faaliyetler Arasındaki Talep İlişkisi



Birleştirme sonunda kalan diğer gruplar.

1	1,15,40,20,9,39,41,56,15,15,45,54,55,6, 4,13	(1,2,3,5,6,7)
2	2,3,11,22,23,24,26,27,48,19	(1,2,3,5,6,7)
3		(1,2,3,4,6,8,7)
4	7,8,9,10,31,32,37,38,50,51	(1,2,3,6)
5	18	(1,6,7)
6	25,42,46,47	(1,5,6)

7 _____ 40,52

(1,2,3,8)

3+1 $\mu_{(5+6)} \leq \mu_3 = 0$, 5 ve 6 grupları birleştirilir. Ek olarak aşağıdaki notasyon ve değerler değiştirilir:

$$OR_5^2 = (1,2,3,4,5,6,8,7); OR_3^2 = (0)$$

$p = (1, \dots, 7)$ için

$$p \neq 3$$

Bu durumda benzerlik matrisi aşağıdaki gibidir:

Tablo 3. 8 (3+1) Parça Gruplarını Birleştirilmesi Sonucunda Ortaya Çıkan Benzerlik Matrisi

	1	2	3	4	5	6	7
1	-						
2	0,875	-					
3	0	0	-				
4	0,79	0,83		-			
5	0,69	0,75	0	0,58	-		
6	0,69	0,75	0	0,58	0,67	-	
7	0,75	0,75	0	0,75	0	0	-

3. satır ve sütun sıfır olur. Daha sonra işlemler bu şekilde devam eder. Benzerlik matrisinin tüm elemanları sıfır olduğu zaman, birleşen elemanlar bir aileye atanabilmektedir. Veya parça aileleri oluşturulabilmektedir. Çıkan parça aileleri de hücrelere atanabilir. Uygulamada bir parça ailesi ve buna bağlı olarak bir hücre oluşmuştur. Bu hücreye tekli ve ikili parçaları atarız. Döngülü faaliyet dışında bir hücre olduğu için birli ve ikili faaliyetlerden oluşan parçalar bu aileye atanmak zorundadır. Eğer birden fazla aile çıksaydı her faaliyetin (makinenin) toplam talep miktarı bulunduktan sonra bir atama yapılırdı. (Verilere göre her faaliyete günlük 15 birim yükleme yapılmaktadır.) Döngülü olan parça grupları da, parça ailelerine dönüştürülür ve daha sonra bu döngülü parçanın da seyahat kartı, A matrisi ve μ değeri hesaplanır.

1

14

(1,2,3,4,6,7,8,7)

Poz	0	1	1	1	1	0	3	0
Neg	1	1	1	1	1	1	0	1
Z	0	1	1	1	1	0	0	0

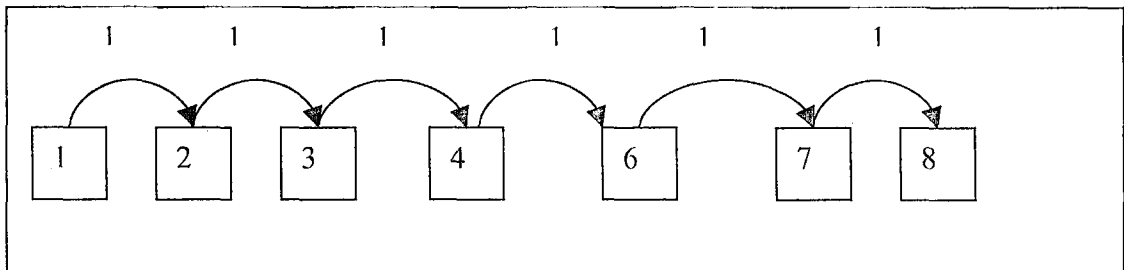
Faaliyet (1,2,3,4,6,7,8) olmalıdır. μ değeri hesaplanırsa,

Tablo 3. 12 Döngülü Parçanın μ Akış Ölçümü

			1	2	3	4	5	6	7	
		Mal.girişi	1	2	3	4	6	8	7	Mal.çıkışı
Mal girişi		-	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	-	1	0	0	0	0	0	0
2	2	0	0	-	1	0	0	0	0	0
3	3	0	0	0	-	0	1	0	0	0
4	4	0	0	0	0	-	0	0	0	0
5	6	0	0	0	0	-	0	1	0	0
6	8	0	0	0	0	0	-	1	0	0
7	7	0	0	0	0	0	0	1	-	1
Mal.çıkışı		0	0	0	0	0	0	0	0	-

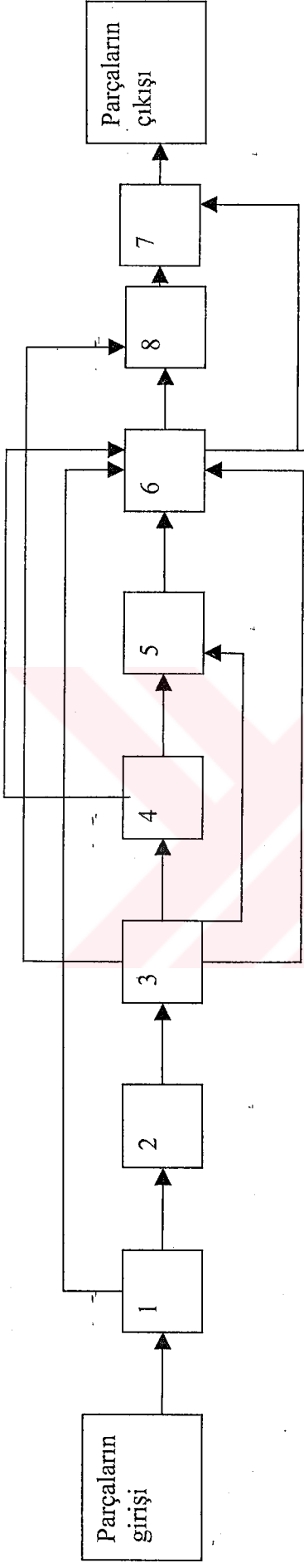
$\mu = (7 - 6) * 1/9 = 1/9 = 0,11$ Bu şekilde bir akışta geri döngü olur ve bu yüzden yerleşim düzeni (1,2,3,4,6,7,8) dir.

Tablo 3. 13 Döngülü Parça Gruplarının μ Akış Ölçümü Kriterlerine Göre Faaliyetler Arasındaki Talep İlişkisi

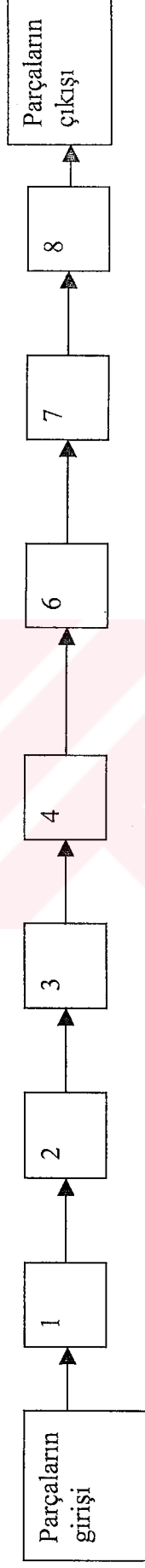


Bu verilere göre X firmasının sac kıvrıma bölümüne ait hücre yerleşimi ve faaliyet akışı aşağıda verildiği gibidir.

Şekil 3. 1 Hücre 1



Şekil 3. 2 Hücre 2



Yukarıda hücre benzerlik matrisi ve parça gruplarının μ değerlerinin hesaplanması ile hücreler oluşturulmuştur. Bu yapılardan sonra hücrelerin zaman hesaplaması yapılabilir. Saç kıvrıma bölümünün verilerinde zamanlar gerçekleşen zamanlardır. Ve bunlar performans değerlerine göre verilmiştir. Çalışmaya uygun olması için her bir zaman 1 performans zaman haline getirilmiştir. Bu şekilde her bir parçanın her bir faaliyetteki beklenen ortalama zamanı hesaplanmıştır.

3.4. X Şirketinin Sac Kıvrıma Bölümünde Tasarlanan Hücrelerin GERT Şebekesi İle Süre Hesaplaması

GERT şebekelerinin nasıl çözülebileceği bölüm 2'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Aşağıda ki tablo hücrelerin beklenen ortalama sürelerini vermektedir.

Tablo 3. 14 Hücre 1'deki Her Bir Parçanın Beklenen Ortalama Zamanı

parça adı	1	2	3	4	5	6	7	8	7
1	14	23	4,8	20	13	16	0	14	5,2
2	14	14,4	4,66	0	17	38	0	0	0
3	14	14,4	4,66	0	17	38	0	0	0
4	23	42	7,2	119,7	0	190	0	18	19
5	14	14,4	5,4	24	6	63	0	0	0
6	23	36	6,6	34,2	0	48	0	0	0
7	6,3	5,4	15,6	0	0	5,5	0	0	0
8	6,3	5,4	2,6	0	0	5,5	0	0	0
9	9	2,5	1,5	0	0	8	0	0	0
10	9	2,5	1,5	0	0	8	0	0	0
11	8,4	4,47	5,3	0	6,6	7,3	0	0	0
12	8,4	10,3	5,65	6,8	24	42	0	0	0
13	15	33,6	18	7,95	0	38	7	0	0
15	7	8,61	5,52	26,1	0	36	0	0	0
16	11	7,2	2,5	6	18	3,9	0	6,3	0
17	11	7,2	2,5	6	18	3,9	0	6,3	0
18	4,6	0	0	0	0	10,2	3	0	0
19	4,6	16,2	5,4	0	7,5	14,25	0,3	0	0

20	4,1	2,55	3,6	2,1	11,55	7,5	0	0	0
21	4,1	0	0	0	0	0	0	0	0
22	4,1	5,46	3,8	0	11	12	0	0	0
23	8,4	3,6	1,8	0	11	12	0	0	0
24	8,4	4,1	1,8	0	11	12	0	0	0
25	4,5	0	0	0	6	17	0	0	0
26	8,4	4,1	2,35	0	3,3	5,55	0	0	0
27	8,4	4,1	2,35	0	3,3	5,55	0	0	0
28	8,4	0	0	0	0	7,5	0	0	0
29	8,4	0	0	0	0	7,5	0	0	0
30	5,5	0	0	0	0	3,9	0	0	0
31	2,75	0,75	1,175	0	0	2,775	0	4,5	0
32	4,1	3,36	4,64	0	0	5,55	0	0	0
33	3,15	0	0	0	0	5,85	0	0	0
34	2,05	0	0	0	0	0	0	0	0
35	2,05	0	0	0	0	0	0	0	0
36	2,05	0	0	0	0	0	0	0	0
37	8,4	5,4	2,52	0	0	10,5	0	0	0
38	4,1	1,83	2,1	0	0	7,1	0	0	0
39	4,1	1,8	2,28	0	0	0	0	0	0
40	8,4	6,12	2,1	3,05	16	21	0	0	0
41	4,1	1,8	1,8	0	0	0	0	0	0
42	8,4	0	0	0	13	8,60	0	0	0
43	4,1	0,75	2,16	0	0	0	0	4,1	0
44	2,05	0	0	0	0	1,35	0	0	0
45	4,1	3,339	3,25	4,35	0	3,9	0	0	0
46	4,1	0	0	0	2,9	3,9	0	0	0
47	4,1	0	0	0	2,9	3,9	0	0	0
48	4,1	2,34	2,64	0	11	3,70	0	0	0
49	1,025	0	0	1,012	0	0	0	0	0
50	5	1,15	1,1	0	0	9	0	0	0
51	5	1,15	1,1	0	0	0	0	0	0
52	2,05	0,575	0,725	0	0	2,25	0	1,95	0
53	0,975	0	0	0	0	3,7	0	0	0
54	3,9	1,85	2,016	4,5	0	3,7	0	0	0
55	3,9	4,02	2,1	3	0	3,5	0	0	0
56	3,9	3,18	1,8	0	0	0	0	0	0

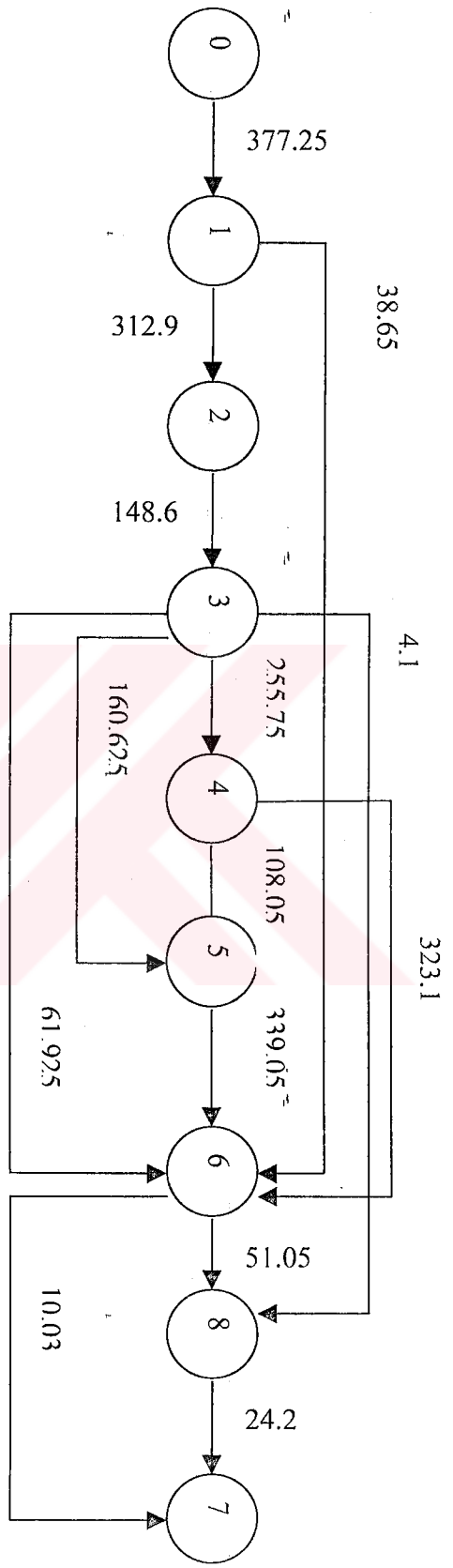
Tablo 3. 15 Hücre 2`nin Beklenen Ortalama Süresi

parça adı	1	2	3	4	5	6	7	8	7
14	22	58	32,4	79,8	0	165	16	33	29

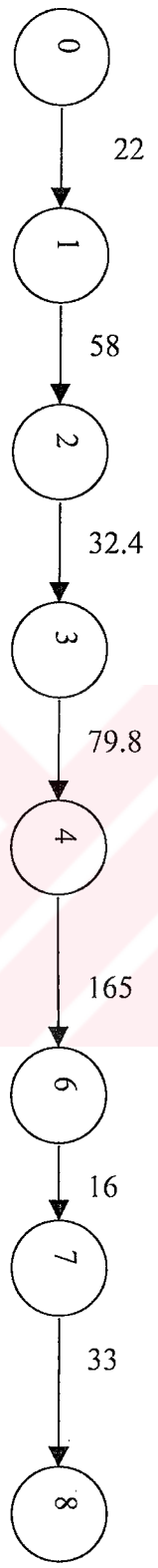
Hücre 1 ve hücre 2`nin GERT`in uygulanması için faaliyet akışı, aynı zamanda her faaliyetin zamanının günlük ortalama beklenen zaman olarak alındığı ve normal dağılıma sahip olduğu, varyansı ve standart sapmasının sabit kabul edildiği duruma yönelik çözümü aşağıda verilmiştir.



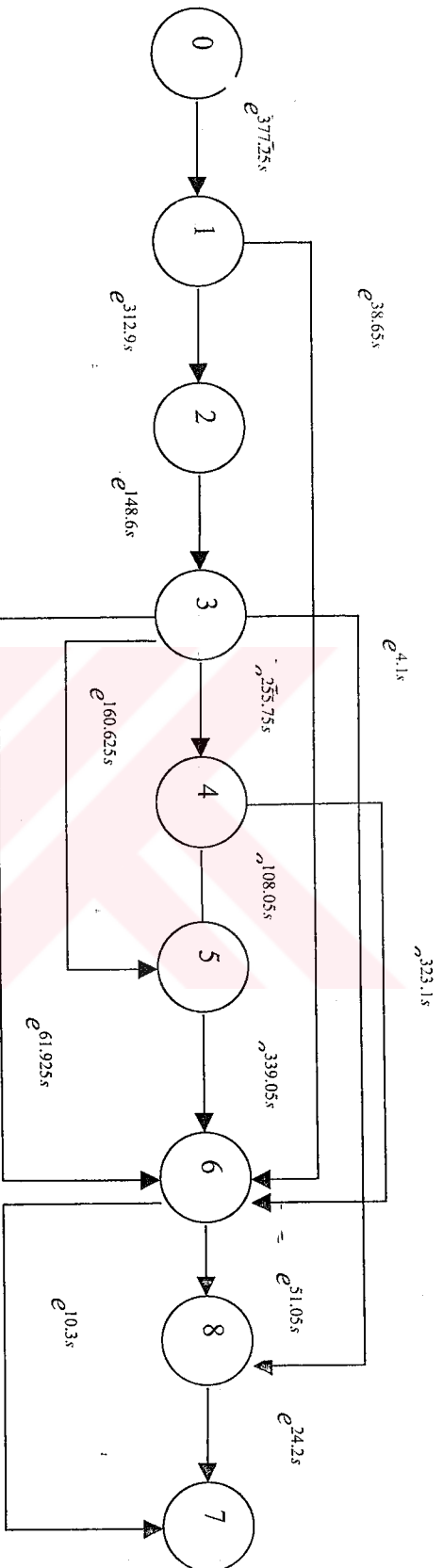
Şekil 3.3 Hücre 1'in Ortalama Beklenen Faaliyet Süreleri



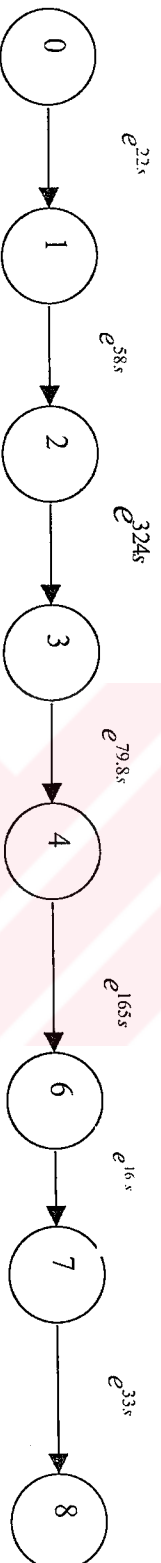
Şekil 3.4 Hücre 2'nin Ortalama Beklenen Faaliyet Süreleri



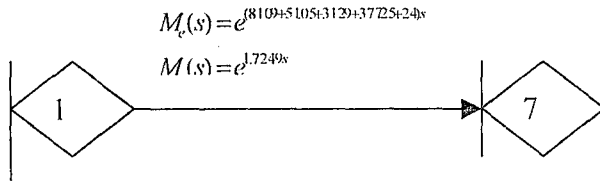
Şekil 3. 5 Hücre 1'in Moment Türeten Fonksiyon Süreleri



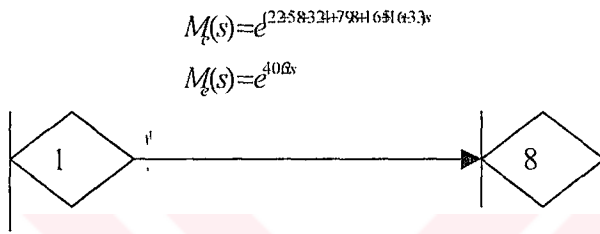
Şekil 3. 6 Hücre 2'nin Moment Türeten Fonksiyon Süreleri



Şekil 3. 7 Hücre 1'in Harici- veya Düğüm Haline İndirilmesi



Şekil 3. 8 Hücre 2'in Harici- veya Düğüm Haline İndirilmesi



Hücre 1 ve 2'nin Moment türeten fonksiyonlar ile çözümü aşağıdaki gibidir.

$$M_e(s) = e^{(810,9+510,5+312,9+377,25+24)s}$$

$$M_e(s) = e^{1,724,9s}$$

$$[M_e(s)]' = 1.724,9e^{1,724,9s}$$

Hücre 1'in beklenen ortalama faaliyet zamanı= $s = 0$

$$[M_e(0)]' = 1.724,9e^0$$

$$[M_e(0)]' = T$$

$$T = 1.724,9dk / gün$$

$$M_e(s) = e^{(22+58+32,4+79,8+165+16+33)s}$$

$$M_e(s) = e^{406,2s}$$

$$[M_e(s)]' = 406,2e^{406,2s}$$

Hücre 2'nin beklenen ortalama faaliyet süresi= $s = 0$

$$[M_e(0)]' = 406,2e^0$$

$$[M_e(0)]' = T$$

$$T = 406,2dk / gün$$

Hücre 1 ve hücre 2 için toplam beklenen ortalama süre= $1.724,9+406,2=2131,1dk$

Verilere göre toplam zaman=2730,8dk

Kazanılan zaman=2730,8-2131,1=599.7dk

Uygulamada hücre tasarımı yapıldıktan sonra 599.7 dakikalık süre tasarrufu sağlanmıştır. Amacımız olan hücresel imalatın GERT ile planlaması ile süre tasarrufu sonucuna varılmıştır. Bunun yanında X uygulama işletmesi yeni üretim tekniklerini inceleyen ve bunu kendi şirketlerine uygulayan bir firmadır. Bu bağlamda X şirketi hücresel imalatın avantajlarının farkındadır. Bu avantajlar ve üretim hatlarında meydana gelen bazı problemler nedeniyle mutfak gereçleri üreten bir hattında hücre kurma çalışması yapmışlardır. Hücresel imalat üretim tekniğine geçmek istemelerinin sebebi, hatta malzeme girişi olduğunda çok fazla beklemlerin olması ve buna bağlı olarak ürün kalitesinin istenen nitelikte olmaması nedeniyledir. Amaçları zaman tasarrufu ve daha kaliteli ürün üretmektir. Eski ve yeni kurulan hattın çizimleri Ek-3'de verilecektir. Yerde ve oval şekilde olan hat, 30 cm kadar yükseltilerek” u” şeklinde bir hat halini almıştır ve hatta üç işçi çalışmaktadır. Yeni kurulan hat ile eski hat karşılaştırıldığında oldukça fazla zaman kazanımları olduğu görülmüştür. Bir ürün 2 saat 45 dakikada bitirilirken, şu an 1 saat 15 dakikada bitmektedir. Nerdeyse yarı yarıya bir zaman tasarrufu sağlamışlardır. Buna bağlı olarak kalitede de artış olmuştur. Çünkü ürünün her aşamasında muhakkak kalite kontrol yapılmakta olup, en son aşamada örneklem yoluyla tekrar kalite kontrol yapılmaktadır. Eski hatlarında ara kontrol olmayıp sadece en son aşamada kalite kontrol yapılmaktaydı. Tabi bu durum kaliteyi olumsuz yönde etkilemektedir. Hücresel imalata geçilince bu dezavantaj ortadan kalkmıştır. Çalışanların görev tanımlarında değişiklik olmamış, ama yeni kurulan hattaki değişimleri öğrenmeleri için işletme içi eğitim seminerleri verilerek çalışanlar eğitilmiştir. İşçilerin denetiminde ise, eski üretim hattına göre farklılıklar olmuştur. Eski hatta ustabaşı tek tek işçileri denetlerken, yeni hat kurulduktan sonra bu işçileri gezerek denetim süreci ortadan kalkmıştır. Bunun yerine artık işçiler kendi kendilerini kontrol eder hale gelmişlerdir. Yarı mamul stoklarında azalma olmuştur. Ama bir miktar yine stok bulundurmaları durumundadırlar. Çünkü sipariş üzerine üretim yapan bir işletmedir. Hücre kurum aşamasında bazı zorluklarla karşılaşmıştır. Bu zorluk yeni üretim sistemlerinin çok fazla tanınmaması ve buna bağlı olarak maddi kaynak desteğinin istenen seviyede olmamasıdır. Hücresel imalatın dezavantajı yada olumsuzluğu diyebileceğimiz ek yatırım ihtiyacı kurulan hücre de görülmüştür. Poke Yoke adı

altında ek makinelere ihtiyaç olmuştur. Bunlar ile hücre robotik sistem haline getirilerek kontrol aşaması daha da hızlanacaktır. Fakat kaynak sıkıntısı çektikleri için kontrol kartları ile bu olumsuzluğu ortadan kaldırmaya çalışmışlardır. İşletmenin hücre kurmadan önceki maliyetleri ile hücre kurduktan sonraki maliyetleri karşılaştırıldığında. Zaman tasarrufuna bağlı olarak oldukça fazla kazanç sağladığını görebilmektedir. Döner ocağı üretim hattında 584.60 dakikada üretim yapılırken bu 222 dakikaya inmiştir. İşçilik maliyeti de 240.140.184 TL'den 91.286.484 TL'ye düşmüştür. Yeni kurulan üretim hattı ile 362.60 dakikalık bir kapasite kazancı olmuştur. İşçilik tutarında %62 oranında bir azalma olmuştur. Doğal olarak bu azalma ürünün satış fiyatına yansımaya olacaktır. Satış fiyatından %18 oranında bir indirim olacaktır. Aynı zamanda oldukça fazla yer tasarrufu sağlamıştır. Önceki üretim hattı 64 m²'lik yer kaplarken, hücre kurulduktan sonra 36 m²'lik yer kaplamaktadır. 28 m²'lik yer tasarrufu sağlanmıştır. Sektörde 1 m²'nin fiyatı 100\$ dolar olduğu varsayılırsa, bu durumda işletmenin 2800\$'lık kazanç sağladığını görülebilir. Üretim hızının artmasına bağlı olarak stokta bulundurma süresinde azalma olmuştur. Bu durum emniyet stoklarının düşürülmesini sağlamaktadır.

Yönetim, yeni üretim tekniklerinin uygulanması konusunda tam destek vermektedirler. Sonuçta hücresel imalata geçiş ile istedikleri amaçlara işletme ulaşmıştır.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Hücreyel İmalat, Grup Teknolojisinin üretime uygulanmış halidir. Benzer parçalar bir araya getirilerek bir hücreye atanır. Bu şekilde üretim hücreleri oluşturulur. Asıl amaç, üretimi su akışına benzer hale getirmektir. Bu amaç teoride vardır ancak, uygulamada firmalar geleneksel imalat sistemleri ile hücreyel imalat karışımı karma sistemler kullanmaktadırlar.

GERT tekniği, CPM/PERT Teknikleri ve Akış Grafiklerinin bir araya getirilmesi ile oluşturulan bir şebeke diyagramıdır. PERT/ CPM tekniğinde sabit kabul edilen varsayımlar, GERT tekniğinde sabit kabul edilmemektedir.

Uygulama, endüstriyel mutfak eşyaları sektöründe uluslararası pazarda faaliyet gösteren bir firmada gerçekleştirilmiştir. Söz konusu firmanın bulaşık makinesi üretim bölümü sac kıvrırma hattında öncelikle hücre tasarımı yapılmıştır. Hücre tasarımının üretimde kazandıracakı süre tasarrufunu hesaplamak için de GERT tekniği kullanılmıştır. CPM gibi tekniklerde -uygulamada rastlanılan durumların aksine- birçok değer sabittir (Örneğin faaliyet zamanları sabit kabul edilmektedir). Bu nedenle, hücre tasarımlarının zaman değerleri; ortalama beklenen faaliyet sürelerinin normal dağılıma sahip olduğu, varyans ve standart sapmasının da sabit kabul edildiği GERT tekniği ile çözülmüştür. Çözümde Moment türeten fonksiyonlar kullanılmıştır. Moment türeten fonksiyonların kullanılmasının sebebi sürenin ortalama beklenen süre alınmış olduğu varsayımıdır. Bu şekilde ve düğümlerine sahip olan bir şebeke Harici-veya düğümleri haline gelebilmekte ve GERT ile çözüm yapılabilir. GERT çözüm metotlarından biri olan düğüm indirgeme metodu kullanılarak hücrelerin süreleri hesaplanabilmiştir. Sonuçta; hücreyel imalatın GERT tekniği ile planlanması süre tasarrufu sağlamaktadır. Firma, 599.6 dakikalık bir kazanç sağlamıştır. Bunun yanı sıra hücreyel imalatın temel amacı olan “su gibi akış şeklinde” üretim varsayımı, uygulamada gerçekleştirilebilmiştir.

Halihazırda X işletmesinde, bulaşık makinesi üretiminin farklı bir hattında hücreyel imalat denemesi yapılmaktadır. Bu hatta üretilen döner ocağına ait veriler-

zaman azalmasına bağlı olarak meydana gelen maliyet azalımları- çalışma içerisinde verilmiştir. Bu da uygulama işletmesinde hücresel imalatın avantajlarının fark edildiğini göstermektedir. Çünkü firmaların ürettikleri ürünler yanında ne şekilde ne kadar zamanda ürettikleri de önemlidir. Globalleşen dünyada firmaların ayakta kalabilmesi ve rekabet edebilmesi için üretim şekilleri ve hızları büyük önem taşımaktadır. Zaman teknoloji zamanı olduğu için “vakit nakittir” anlayışı içinde olunmalıdır. Firmalar üretimde zaman kazanımı açısından daha hızlı ürün üretecek, müşterilerine daha çabuk iletebilecek ve bu şekilde buldukları endüstride rekabet avantajı sağlayabileceklerdir. Bu durumlar göz önüne alınarak firmada kurulan hücre örneği bu çalışmaya dahil edilmiştir. Ayrıca dahil edilen hücre örneğinin firmaya sağladığı avantaj ve dezavantajlar çalışma içerisinde yer verilmiştir.

Çalışmada bu durumlar göz önüne alınarak hücresel imalatta süre planlamasına farklı bir yaklaşım uygulanmıştır. Çalışmada hücre tasarımı yapılırken kümelenmeler faaliyet ve talebe göre yapılmıştır. Daha sonra karmaşık bir yapıya sahip olan GERT ile hücrelerde zaman hesaplamaları yapılmıştır. GERT ile kurulan şebekelerde, faaliyetlerimiz %100 olasılıkla olmayıp farklı olasılıklarda olsaydı o zaman şebeke daha karmaşık bir hal almış olacaktı. Fakat böyle bir durum çalışmada söz konusu olmamıştır.

Çalışmada sadece süre hesaplamaları ve tasarrufları üzerinde durulmuştur. Maliyet hesaplamaları yapılmamıştır. Hücresel imalat ve GERT tekniğinin birlikte kullanımının aynı zamanda maliyet tasarrufu sağlayıp sağlamayacağı farklı bir çalışma konusu olarak alınabilir.

EKLER



EK-1

Hücre Tasarım Adımları ve Algoritması¹

Toplanan verinin ilk analizlerinin yapıldığı adımdır. İki aşamadan oluşur:

- 1) Birli ve ikili operasyon parçaları: Bu aşamada her bir parçanın operasyon sırası örneklendirilir ve iki veya daha az makinede işlem gören tüm parçalar tanımlanır. Tanımlanan bu parçalar, toplam parça sayısından çıkarılır. Hücrelerde hesaplanan yüklemelerin esnekliğini artırmak için yukarıdaki işlemler yapılır. Değerlendirmede böyle parçalar “n” şeklinde ifade edilir. Φ_1 seti, N_1 üyelerinden meydana gelir. ($N_1 = N - n$), daha sonrası ise kalan parçalardan oluşur.
- 2) Operasyon sırasındaki geri döngüler: Akış hatlarında çalışıldığında özel bir problem, birden daha fazla parçanın bir makinede işlenmesidir. Ancak bu durumda, fakat maliyetli çözüm ve revizyondan sakınmak için ekipman daha fazla kullanılacaktır. Böylece bu adımda, süreç mühendislerine danışarak, operasyonları tekrar sıralayarak veya geri döngülü operasyonlar elimine edilerek parçalara tekrar yol çizilir. Bu Φ_2 setidir ve N_2 üyelerine sahiptir. Φ_3 seti, şekil 1'deki operasyon sıralamasında geri döngülü olmayan parçalar N_3 ($N_3 = N_1 - N_2$) üyeleri ile ilgilidir.

¹ Asoo J. Vakharia, Urban Wemmerlöv, (1990), Designing a Cellular Manufacturing System: A Materials Flow Approach Based On Operation Sequences, **IIE Transactions**, Vol: 22, Number:1, 84-97 maklesinin teorik yaklaşımını çevirisidir ve hücre tasarımında bu makalenin önerisi kullanılmıştır.

Ek Şekil 1. 1 Adım 2 Ve Adım 3 'ün Şematik Gösterimi

Adımlar

1. Tekli ve ikili parçaların yerinin değiştirilmesi,
"n" kalan parçalar.

2. Geri döngülü parçaların ayrılması,

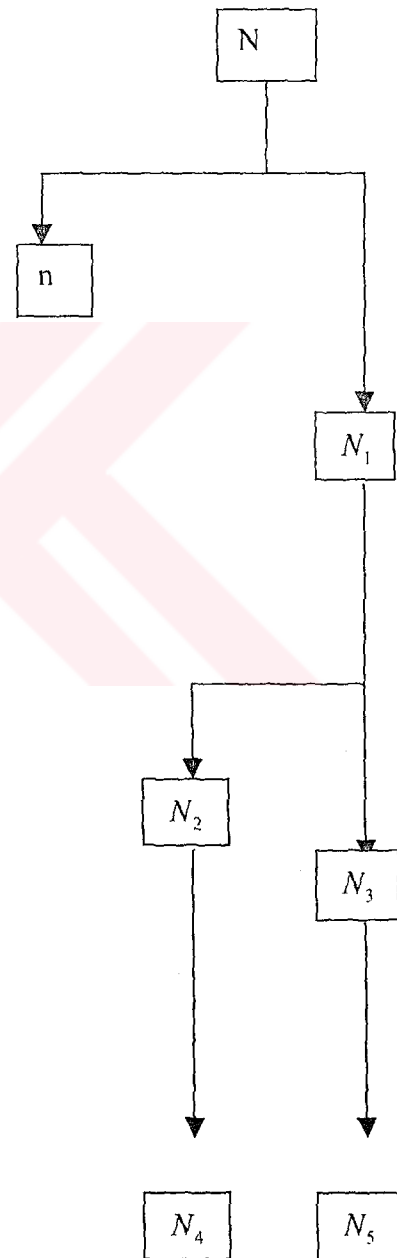
N_2 geri döngülü parçalar.

N_3 geri döngüsüz parçalar.

3. Parçaların gruplandırılması.

Parça gruplarının operasyon sırasını içine alan ve tanımlayan, tek operasyon sırası ile her biri gösterilir.

Parçalar



Üçüncü adımda belirlenen amaca ve parça gruplarına dayanılarak adım 4'de kümelendirme sürecine uygun olarak operasyon sıralarının sayısı azaltılıp, problemin büyüklüğü azaltılmaktadır.

Şu andan itibaren Φ_2 ve Φ_3 seti ayrı olarak tekrar işlemde geçirilir. $[N_2(N_2 - 1) + N_3(N_3 - 1)]$ şeklinde yapılır. Temel prosedür şöyledir: ilk olarak, parça grupları, aynı operasyon sıraları Φ_2 ve Φ_3 setlerindeki parçalardan meydana gelmektedir. OR_g^1 'in böyle parçaların her biriyle birleştirilen operasyon sırası olduğu varsayılmaktadır. Eğer OR_g^1 , OR_g^2 'nin içinde ise "g1" parça grubu "g2" parça grubu ile gruplandırılır. Parça grubu "g1" sürecinde ihtiyaç olan makineler OR_g^1 ve OR_g^2 , benzer sırada her iki operasyon sıralamalarında ortak olan makineler ve "g1" parça grubu sürecinde ihtiyaç olunan makineleri içine alır. Örneğin, $OR_{g1}^1 = \{1,2,3\}$ ve $OR_{g2}^2 = \{1,2,3,4,5\}$ ise, daha sonra "g1" ve "g2" grupları birleştirilir; böylece OR_{g1}^1 , OR_{g2}^2 içinde yer alır. Sonuçta karışık operasyonların sırası daima iki sıranın en uzunudur. (örnekte OR_{g2}^2 'dir) Bu adımda parça gruplarını birleştirmede, çoklu gruplar geçerlidir. Böyle durumlarda parça gruplarını birleştirmek için aşağıdaki kriterler tanımlanmalıdır.

- Ortak olmayan makinelerin sayısını azaltmak için parça grupları birleştirilir. Karşılaştırılan sıralar arasında bulunan birden fazla ortak olmayan makineler bu kuralın notasyonuna dayandırılırlar ve daha az benzerdirler.
- a şıkkı yapıldıysa, geçerli gruplar arsından parça gruplarının her biri tesadüfi olarak seçilir.

Aynı ve kapsamlı operasyon sıralamalarının birleşimi, $\Phi_2 (N_4 \leq N_2)$ setinde tanımlanan, N_4 parça gruplarından meydana gelen ve $OR_r^2 (r = 1, \dots, N_4)$ karışık operasyon sıralamaları ile yapılan yeni bir Φ_4 seti oluşturur. $OR_p^2 (p = 1, \dots, N_5)$ karışık (karma) operasyon sıralamalarının yapımı ile $\Phi_3 (N_5 \leq N_3)$ setinden tanımlanmış N_5 parça gruplarından meydana gelen yeni bir Φ_5 seti oluşmuş olur. Φ_5 setindeki parça grupları ile yapılan operasyon sırası yanında Φ_4 setinde parça grupları ile yapılan

operasyon sıralamaları geri döngüleri içine alır. Adım 2 ve adım 3'ün şematik gösterimi şekil 1'de verilir.

Adım 4'de, geri döngüleri içermeyen adım 3'deki operasyon sıralamaları, azaltılan benzerlik sırası içinde birleştirilir. Materyal akış ölçümü, kritik değeri aştığı zaman kümelenendirme süreci durur. Böylece parça grupları parça aileleri olarak ifade edilir. Tekli ve ikili operasyon parçaları ve geri döngülü parça grupları, parça ailelerine atanır. Sonuçta makineler aday hücre formunda parça ailelerine atanır. Aday hücreleri tanımlama prosedürünün akış kartı şekil 2'de gösterilir. Bu prosedürün temel aşamaları aşağıda verilmiştir.

İlki, bir kare matris olan, SO simetrik benzerlik matrisi geri döngüler olmaksızın N_5 parça grupları için yapılır. Benzerlik aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$SO_{pq} = 0,5 \left\{ \left[\left(\sum_{i \in C_{pq}} A_{ip} \right) / \sum_{i=1}^M A_{ip} \right] + \left[\left(\sum_{i \in C_{pq}} A_{iq} \right) / \left(\sum_{i=1}^M A_{iq} \right) \right] \right\}$$

SO_{pq} = "p" ve "q" parça grupları arasındaki benzerlik.

$i = (1, \dots, M)$ = makine tipi indeksi

$$A_{ip} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer makine } i, p \text{ parça grubu içinde faaliyette bulunuyorsa.} \\ 0 & \text{Diğer durumlarda.} \end{cases}$$

C_{pq} = Benzer nisbi düzen içinde OR_p^2 ve OR_q^2 her ikisi içinde meydana çıkan makine üyelerinin seti.

SO_{pq} potansiyel birleştirmede parça gruplarının ikililerini tanımlamak için kullanılır.

SO_{pq} benzer düzen içinde "p" ve "q" iki parça grubu tarafından kullanılan makinelerin oranlarını ölçer. (İki operasyonun sırasını sadece bir makine paylaşıyorsa indeks değeri 0 olarak tanımlanır. Bu adım 2'de hariç tutulan ikili operasyon parçaları için sonuçlardan birini oluşturur). Parça grubu p için bu oranı indeksin ilk parçasını ölçer ve ikinci parçası parça grubu q için benzer şekilde ölçüm yapar. 0,5 ile çarpım indeksi standartlaştırmada kullanılır. İndeks en yüksek 1 ve en düşük 0 değerlerine sahiptir. İki grup içinde indeksin yayılımı, farklı operasyon sıralarının geniş bir şekilde

sahip olduğu indeks değerinin aşırı derecedeki eğilimden sakınmak için yapılmıştır. C_{pq} seti tek bir şekilde tanımlanırsa üyeler içinde en büyük set seçilir böylece SO_{pq} maksimum olur.

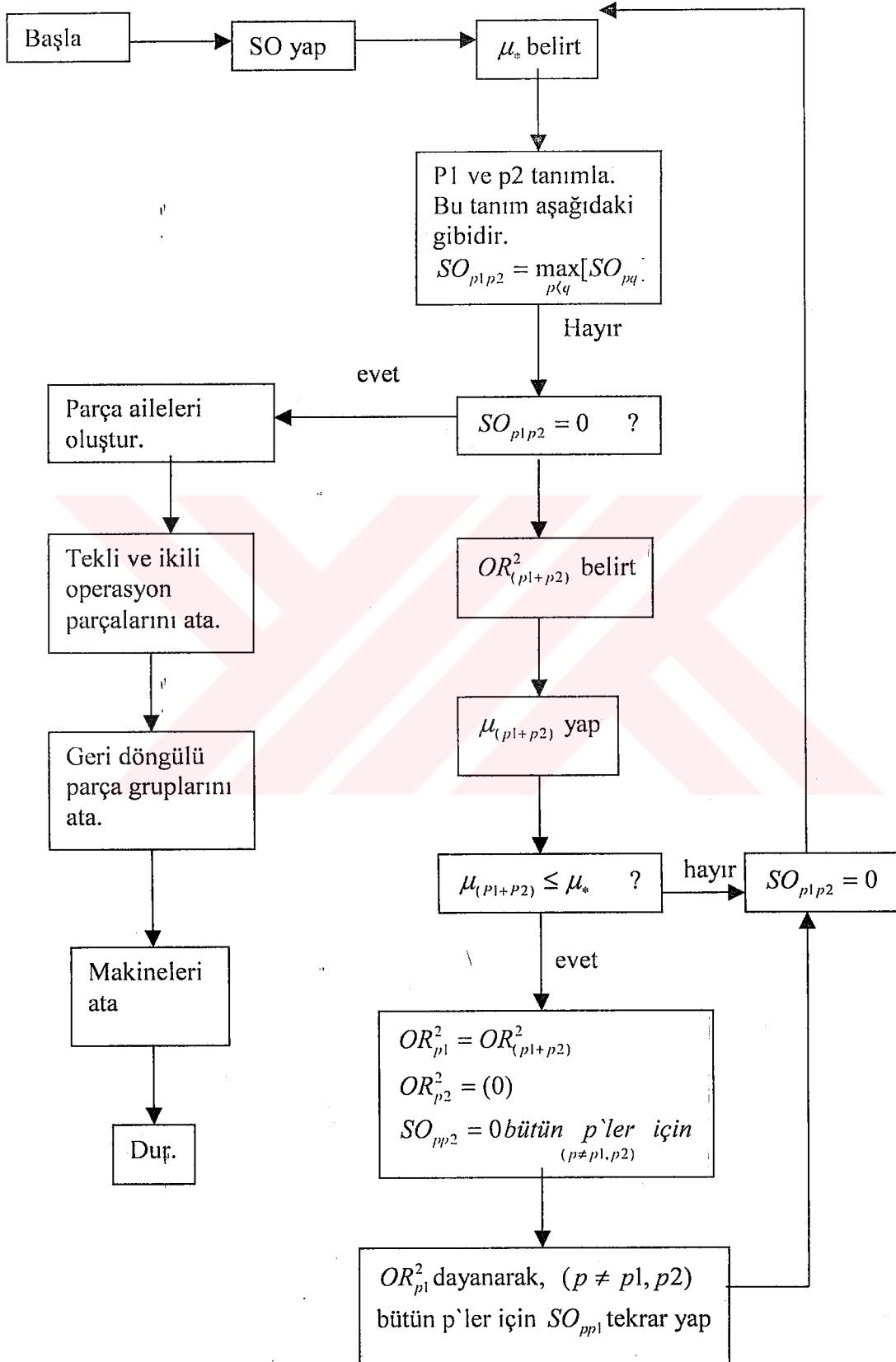
Birleşme için adaylar olarak parça gruplarının ikilileri tanımlanır, $OR_{(p1+p2)}^2$ grupları için karışık operasyon sıralaması Hollier tarafından önerilen herüstik prosedür kullanılarak yapılır. Birleşen grup için sonuçlanan operasyon sırası geri döngüleri içine almamasına rağmen Hollier'in prosedürüne önem verilmelidir. Bireysel parçalar karışık operasyon sırası izlediği zaman $(p1+p2)$ grubunu içeren tekli (bireysel) parçalar daha önceki tecrübelerden bilinebilir.

Durma kuralı yapılanaya kadar kümelenendirme süreci devam eder. Prosedürde, parçaların geri döngü hareketleri parça gruplama sürecinde akış parametresi μ kullanarak kontrol edilir. μ akış değeri aşağıdaki gibi tanımlanır.

$\mu =$ Birim zamanda grupların ileri doğru hareket sayısının (operasyonlar arasında araların ağırlıklandırılması) birim zamanda grupların geri döngü sayısına oranı.

μ değeri Hollier'in prosedürü ve kritik değer μ_* ile karşılaştırılması ile her biri önceden yapılan karışık operasyon sırası için hesaplanır. En düşük μ değeri, hücre içinde geri döngülerin sayısının en düşüğüdür. Eğer pürüzsüz akış hattı hücreleri tanımlanırsa, $\mu_* = 0$ olmalıdır.

Ek Şekil 1. 2 Aday Hücreleri Tanımlamak İçin Prosedürün Akış Kartı



μ akış parametresi ve SO_{pq} benzerlik indeksi ile arasında benzerlik olsa da, farklı fikirlere dayanmaktadır. Benzerlik ölçümü iki parça grubunun operasyon sıraları içinde benzer düzende olan ekipmanların oranının (uygunluğu) değerini biçer. Akış parametresi, yani iki grubun kombine edilen operasyon sırasını içeren ekipmanlar arasındaki akışın birim zamandaki akış sayısı göz önünde tutulur. Böylece, μ benzerlik indeksine göre materyal akış özelliklerinin benzerlikleri için daha kesin ölçüm yapmaktadır. Akış parametresi, birleştirmede aday gruplarının ikililerini tanımlamak için benzerlik ölçümünün yerine kullanılabilir. Bununla birlikte akış değerinin hesaplanan ağırlığında artış olacaktır. Birleşmede kullanılan μ için aday grupların ikililerini seçmede, ikili bütün grupların operasyon sıralarını kombine etmede (örneğin, $p=(1, \dots, N_5-1)$ ve $q=(1, \dots, N_5)$ operasyon geri döngülerini minimize etmede herüstik prosedür kullanılabilir. Bu yüzden, önerilen metodoloji iki seviyeli kümelenendirme problemini göz önünde tutar. Birleşmede adayları tanımlamak için benzerlik indeksi kullanılır. Bu benzerlik indeksi yaklaşımı basit matematiksel hesaplama dayananmaktadır. Akış parametresi, aday hücrelerinin birleşiminin yapılmasında veya yapılmamasında daha sonra da kullanılabilir.

SO de benzerlik değerlerinin tümü 0'a eşitlendiği zaman birleştirme süreci biter. (Şekil 2'ye bakınız). Son parça grubunun her biri ile birleştirilen parçalar bir parça ailesi olarak tanımlanmaktadır. OR_f^3 ($f=1, \dots, F$), her bir tanımlanan aile için karmaşık operasyon sırasına sahip olabilmektedir. Her bir parça aşağıdaki gibi bir aileye atanmaktadır.

- 1) Aile için karmaşık operasyon sırası parçayı süreçlemede ihtiyaç duyulan parçaları içine alır.
- 2) Bu ailenin operasyon sırası içinde makinelere yükleme makinede meydana gelen bütün operasyon sıraları arasında en küçüğüdür.

Bu noktada, Φ_4 içindeki parça grupları, parça ailelerinin birine atanır. (Bu parça grupları içindeki parçalardır). OR_r^2 içinde olan makineler OR_f^3 içinde ise, Φ_4 içinde r parça grubu tanımlanan ailenin birine atanır ve akış değeri μ_s ihlal edilmez.

Sonuçta, aday hücreler oluşturulur. Her bir aile "f" ayrı bir aday hücreye atanır.

Operasyon Geri Döngülerini Minimize Etmek İçin Herüstik Prosedür

Hoolierin herüstik prosedürü makineler arasındaki döngülerin sayısını minimize etmek için parça grup operasyon sıralaması ve makineleri tekrar düzenlemek için seyahat kartı aşağıda gösterilmektedir. Seyahat kartı hazırlamada her bir parça için birim zamandaki talep göz önünde tutularak makineler arasındaki akış içeriği değiştirilir.

a) $(p1 + p2)$ parça grupları için seyahat kartı hazırlanır. Seyahat kartında $p1$ ve $p2$ parça gruplarını süreçlemede kullanılan makine tiplerini gösteren her bir satır ve kolon bir kare matristir. (Makineler arasındaki sıralama önemli değildir).

$x_{(p1+p2)^k}$ = $(p1+p2)$ parça grubuna ait olan parçaların her biri için birim zamanda "k" makinesinden "1" makinesine akışta grupların toplam sayısı.

$x_{(p1+p2)^k}$ değerleri (daiogonal girişler) tanımlı değildir.

b) Seyahat kartına dayanılarak çıkarılan formül,

$$a_{kl} = x_{(p1+p2)^k} - x_{(p1+p2)^l} \quad (k \neq l) \text{ şeklindedir.}$$

c) a_{kl} değerleri ile birlikte (A) matrisi kurulur. Bu matrisin her "k" kolonu $OR_{(p1+p2)}^2$ operasyon sıralamasını içeren makineleri gösterilmektedir.

d) her bir "k" kolonu için yapılan hesaplama aşağıda gösterilir.

pos_k bütün pozitif değerlerin toplamıdır.

neg_k bütün negatif değerlerin toplamıdır.

$$z_k = \min\{pos_k, neg_k\}$$

e) $z^* = \min_k\{z_k\}$ tanımlanır.

f) Eğer "k" makineleri için $z^* = pos_k$ değeri ise, $OR_{(p1+p2)}^2$ 'nin başlangıcındaki "k" makinesine atama önceki düzeni bozmaz. Daha sonra adım (g) 'ye gidilir. Eğer bazı "k" makineleri için $z^* = neg_k$ değeri ise, $OR_{(p1+p2)}^2$ 'nin sondaki makineye atanır. Adım (g) 'ye gidilir. Eğer birkaç "k" pos_k 'ya eşit olursa, neg_k değerlerinin sırasını azaltmada $OR_{(p1+p2)}^2$ 'nin başlaması -makinelerin önceki atanan yerleri değiştirilmeksizin- atama olur. Adım (g) 'ye gidilir. Eğer birkaç "k" için neg_k z^* 'a eşit olursa, pos_k değerlerinin

sırasındaki artışta -önceden yapılan makinelerin yeri değişmeksizin- $OR_{(p1+p2)}^2$ 'nin sonundaki makineye atanır.

g) $OR_{(p1+p2)}^2$ 'ye tahsis edilen makine "k" lar ile ilişkili matris A 'daki kolonlara atar. Eğer kalan kolon yoksa işlemler durdurulur. Varsa (e) 'ye gidilir.

μ Akış Ölçümünün Hesaplanması

$$\mu = \left[\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{(p1+p2)}^{\mu} (k-l) \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{(p1+p2)}^{\mu} \right]_{k \rightarrow l}$$

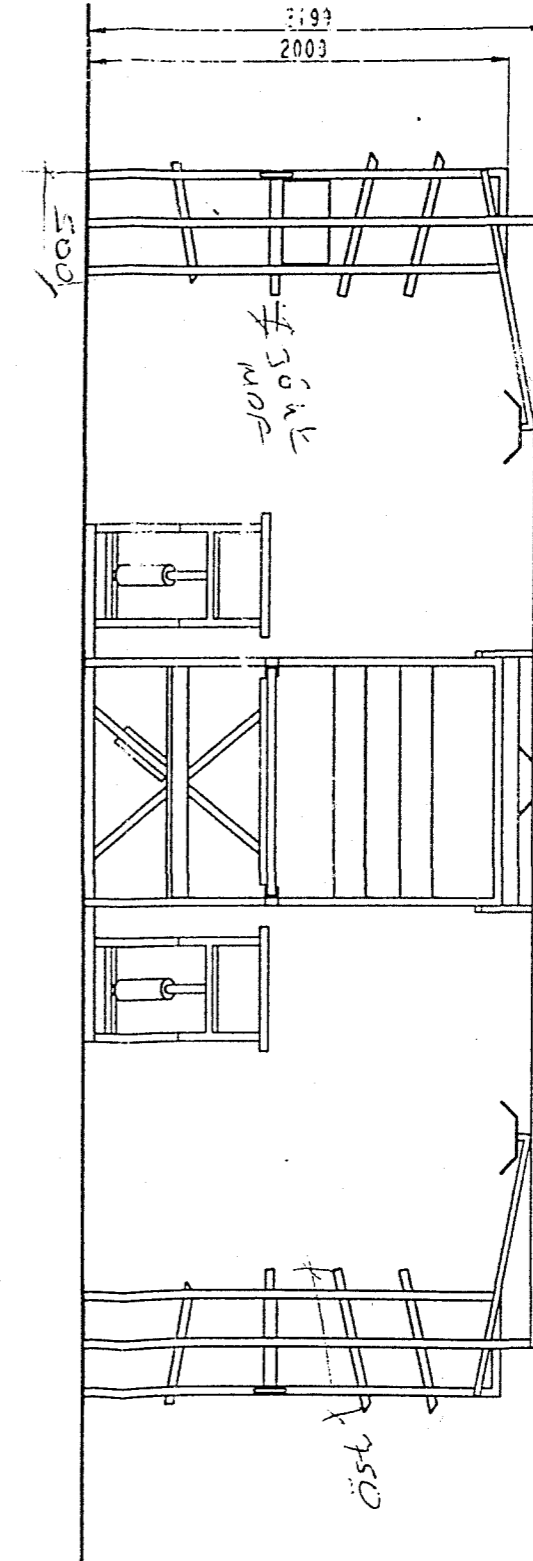
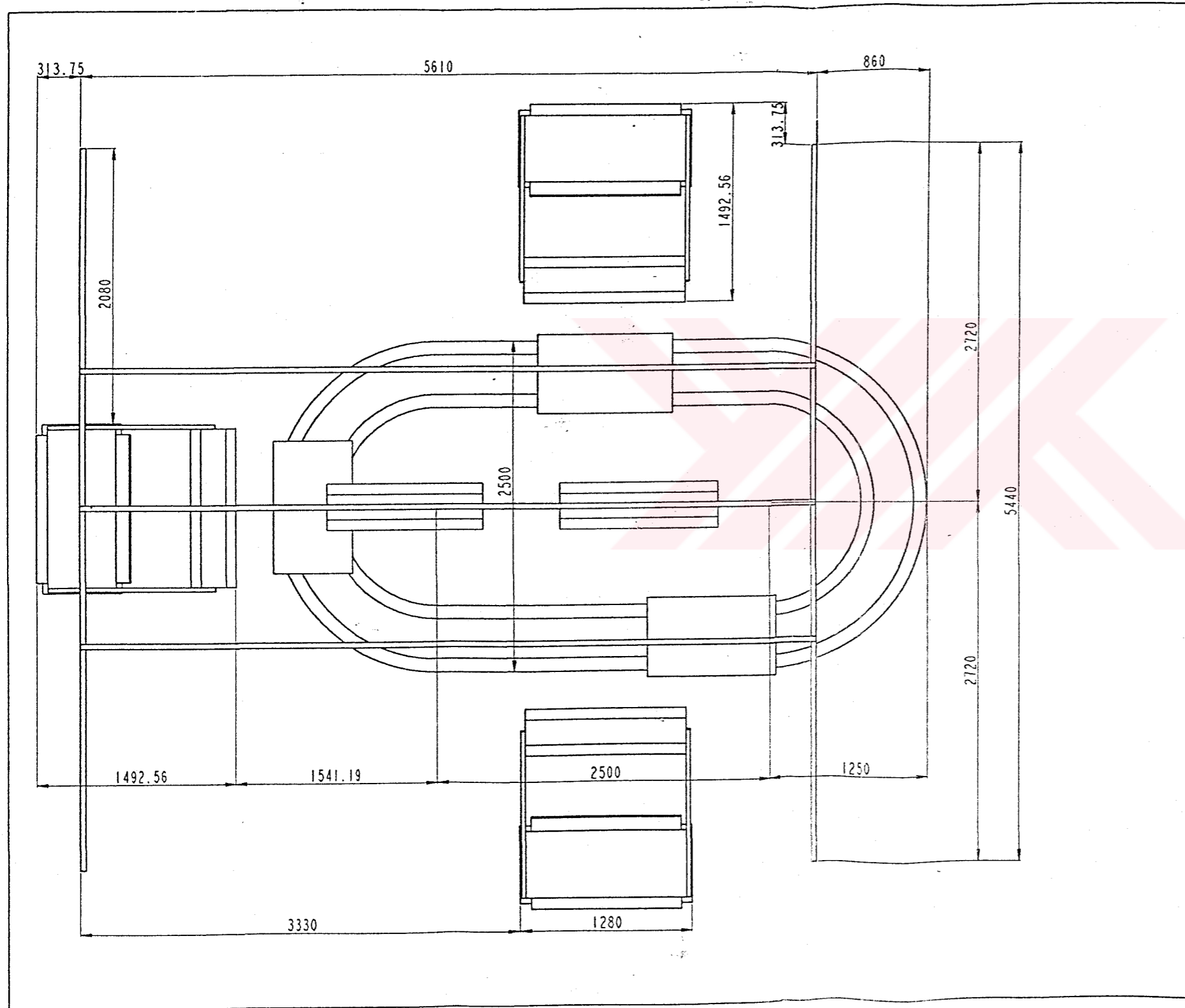
$x_{(p1+p2)}^{\mu} =$ Operasyon Geri Döngülerini Minimize Etmek İçin Herüstik Prosedürde tanımlandığı gibidir.

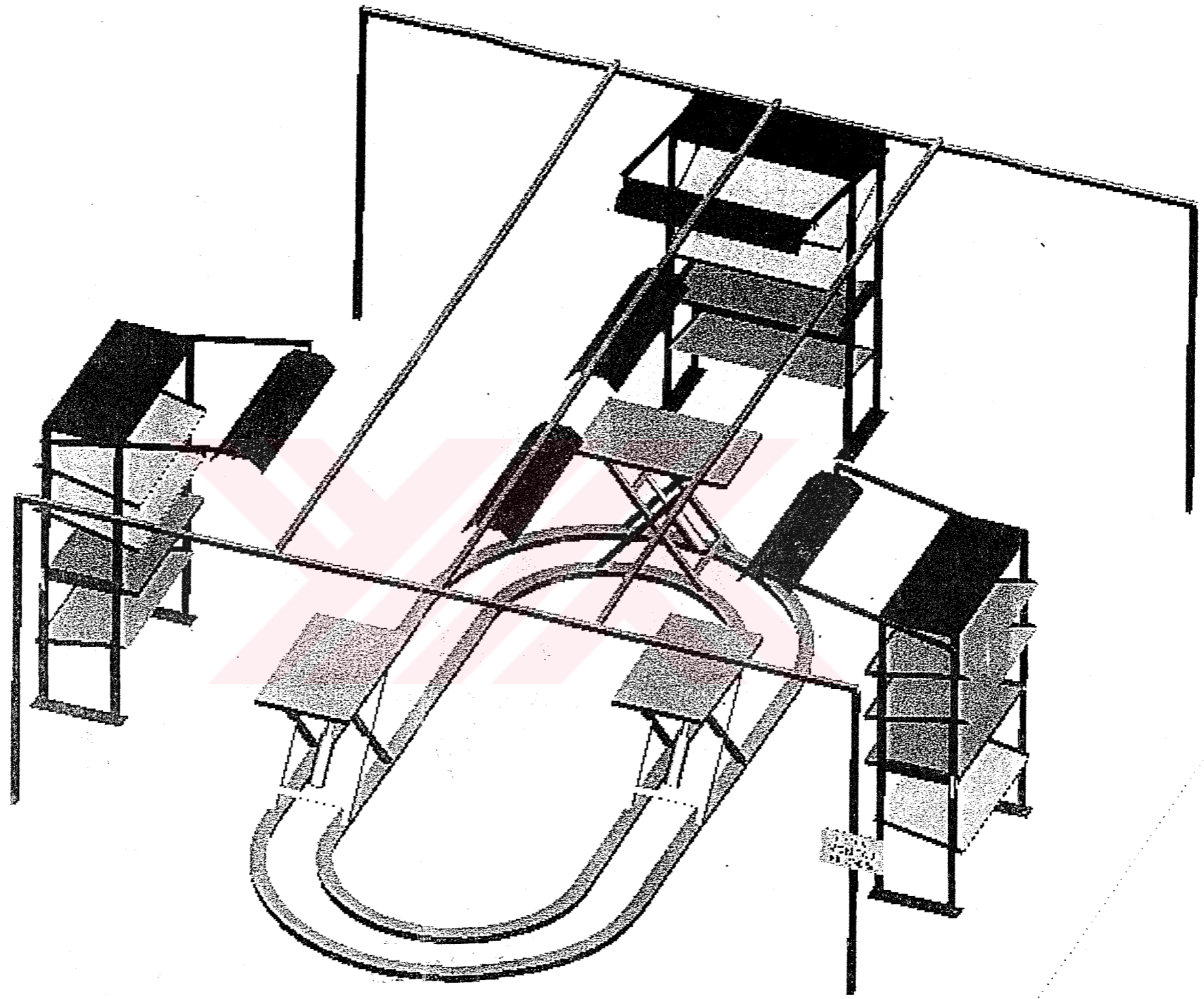
$k \rightarrow l =$ operasyon l, k operasyonundan önce gelir.

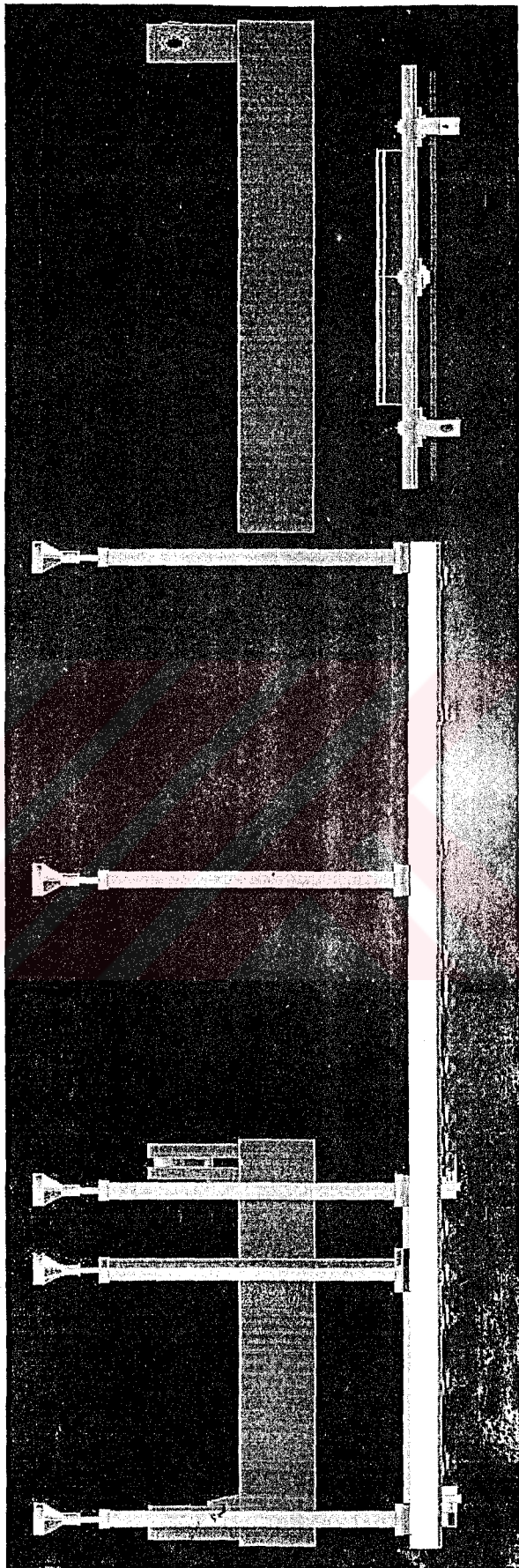
$K=L=$ Seyahat kartında satırların (kolonların) sayısı.

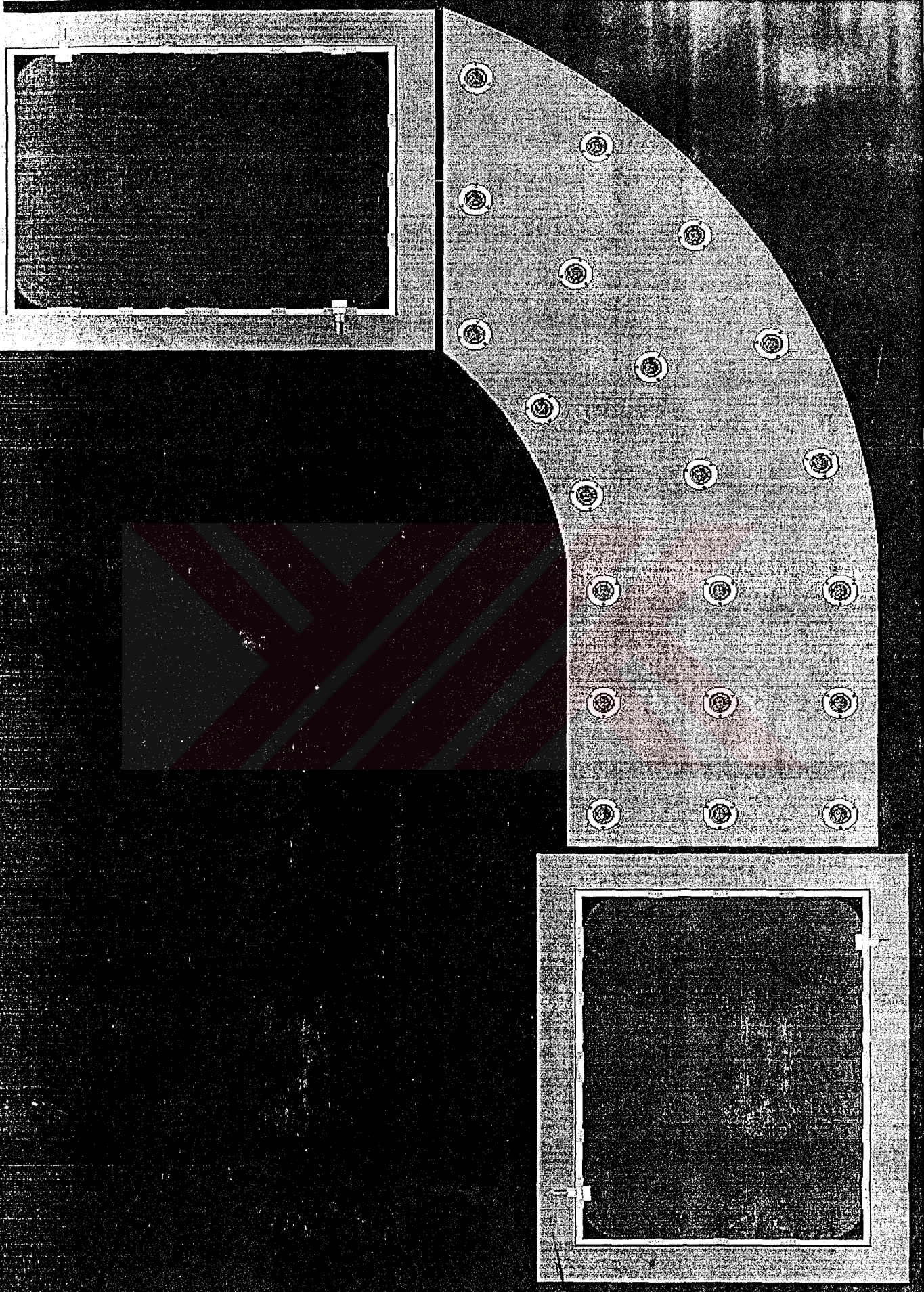
Birim zamanda toplam ileri doğru hareketlerin ölçümü paydadır. Birim zamanda grupların ileri doğru hareketlerinin tümünün toplamı $\mu_{(p1+p2)}$ için formül ağırlıklandırılır. İki kukla makine veya uygulama (Giriş/ Çıkış) değiştirilen akış kartını içerir.

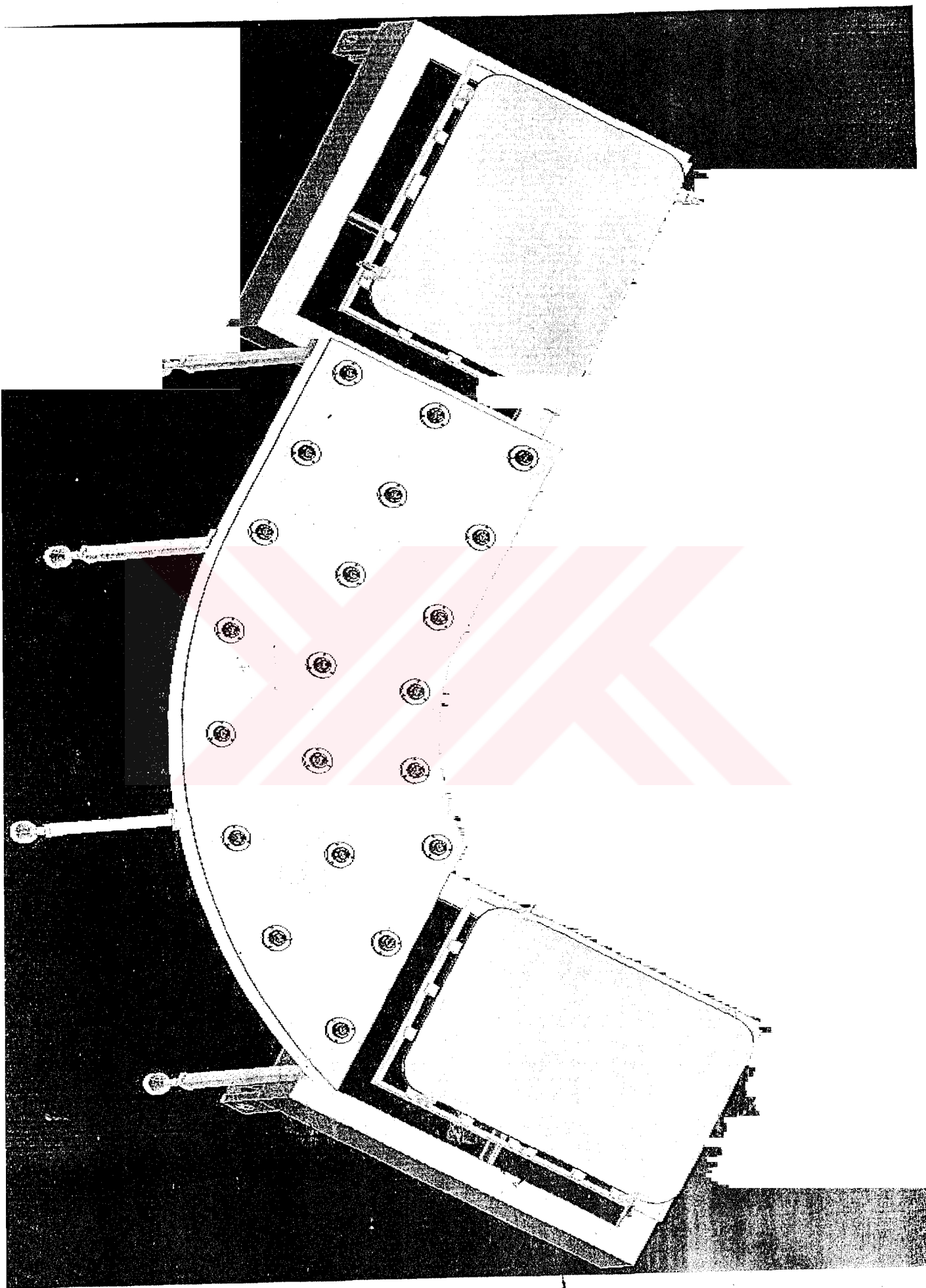
Ek 3**X işletmesinin Mutfak Gereçleri Üreten Hattının Eski ve Şuan ki Durumunu Gösteren Çizimler**











KAYNAKÇA

Kitaplar ve Tezler

Ada, Feryal. (1987), "Büyük Ölçekli Projelerin Planlama Ve Programlaması: GERT Tekniği Uygulaması" , Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

Askin, G. Ronald and Estrada Steve.,(1999), "Investigation of Cellular Manufacturing Practices", **Handbook of Cellular Manufacturing Systems**, Newyork:John Willey And Sons Inc.

Aytaç, Mustafa. (1994), **Matematiksel İstatistik**, Bursa: Uludağ Üniversitesi Basım Evi.

Aytekin, Osman. (1995), "Prefabrik Yapı Elemanları Üretiminin GERT Yöntemi İle Planlaması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Balci, Hakan. (2001), "Hücreyel Üretime Dönüşüm Ve Türk Endüstrisinin Durumu", Yayınlanmamış Lisansüstü Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Cebeci, Ufuk. (1994), "Hücreyel İmalatın Başlangıç Aşamaları İçin Uzman Sistem Yaklaşımı", Yayınlanmamış Lisansüstü Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Dilworth, James B.. (1986), **Production and Operation Management**, Third Edition, Rondon House İnc.

Dülger, Ali. (1995), “Hücreyel Üretim Sistemi ve Bir Sanayi İşletmesinde Uygulanması”, Yayınlanmamış Lisansüstü Tezi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Frederick, S. Hiller, J. Lieberman Gerald, (1995), **Introduction Operation Research**, (New York: McGraw_Hill International Editions)

Gallagher, C.C and W.A Knight. (1986) **Group Technology Production Methods In Manufacturing**, Newyork, New: York: John Willey And Sons.

Gümüšođlu, Şevkinaz, Hulusi M Demir. (1994) ,**Üretim /İşlemler Yönetimi**, İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.

Halaç Osman, (1978) **Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması)**, İstanbul: İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayını

Ham, Inyong, Katsudo Hitomu ve Teruhiko Yoshida. (1985), **Group Technology Applications to Production Management** , Bostan: Kluwer-Nijhaff Publishing.

Karaboğa, Azime. (1999), “Üretim Planlamasında GERT tekniği ve Bir Uygulama”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Kobu, Bülent. (1979), **Üretim Yönetimi**, İstanbul: İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayını

Lockyer, Keith. (1984), **Critical Path Analysis and Other Project Network Techniques**, London: Pitman

Monks ,G. Joseph, (1996) **İşlemler Yönetimi Teori ve Problemler**. Çeviren: Sevinç Üreten, New York: Mccrow Hill.

Odman Çelikçapa, Feray. (1994), **Endüstri İşletmelerinde Üretim yönetimi ve Teknikleri**, Bursa: Vipaş A.Ş Yayınları.

Öztürk ,Ahmet. (1998), **Yöneylem Araştırmaları**, Bursa: Ekin Kitapevi

Sharukh Irani A., Subramanion Ham,S. Yosef. (1999), İntroduction to Cellular Manufacturing Systems, **Handbook of Cellular Manufacturing Systems**, Newyork:John Willey And Sons Inc.

Shafer S. M., (1998), Part-Machine-Labor Grouping: The Problem and Solution, **Group Technology and Cellular Manufacturing, State of The Art Synthesis of Research and Practice**, Baston: Kluwer Academic Publisher.

Singh, Nanua, Dinakar Rajamani. (1996), **Cellular Manufacturing Systems**, London: Chapman and Hall.

Taha, Hamdy A. (2000), **Yöneylem Araştırması**. Çeviren: Ş. Alp Baray, Şakir Esnaf, 2000, İstanbul. Literatür Yayıncılık..

Tekin, Mahmut. (1998), **Üretim Yönetimi**, Konya: Arı Ofset Matbaacılık

Tütek Hülya H, Şevkinaz Gümüšoğlu,. (2000), **Sayısal Yöntemler Yönetimsel Yaklaşım**, İstanbul: Beta Basım

Dergiler

Ada Erhan, Haluk Soyuer, (1996/1), "Hücreyel İmalat Sisteminin Tasarımında Grup Analizi Yaklaşımı ve Bilgisayar Uygulaması", **Verimlilik dergisi**, cilt 1, sayı 1

Arisawa S. and S.E Elmaghraby. (1972), "Optimal Time-Cost Trade Off in GERT Networks", **Management Science**, Vol. 18, No. 11

Aktürk Selim M, Türkan Ayten. (2000), "Cellular Manufacturing System Design Using A Holonistic Approach", **International Journal Of Production Research**, , Vol.38, No:19, S.2327-2347

Askin, Ronald G, Stevan H. Cresswell, Seffrey B. Goldberg ve Asoo S. Vakharia. (1991), A Hamiltonian Path Approach To The Part-Machine Matrix For Cellular Manufacturing, , **International Journal Of Production Research**., Cilt. 29, Sayı. 6, s. 1081-1100.

Atalay Nevda, Birbil Dilek. (1993/3), "Hücreyel Üretim Sistemine Geçişte Grup Teknolojisi Uygulaması", **Verimlilik Dergisi**, cilt. 3, sayı. 3

Elmaghraby, E. Salah. (1964), "An Agebra for the Analipsis of Generalized Activity Networks", **Management Science**, Vol. 10. , Issue. 3.

Gülerman, Adnan. (1970), **Pert/ Maliyet Tekniği İşletmede Bir Yönetim Aracı Olarak Kullanılması**, Ankara: Ankara İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayınları.

Heregu S.S. (1989), "Knowlege Based Approach to Machine Cell Loyout", **Computer and Indusrrial Engineering**, Vol. 17. , No. 1-4, s. 49.

- Kasap, Ali. (1998), "PERT Tekniği Ve Tarım Endüstrisinde Kullanılma Alanı", **Verimlilik Dergisi**, Cilt 12, Sayı 4.
- Prisker A.A.B, Happ W.W, (1966) GERT: Graphical Evaluation and Review Technique Part I. Fundemetals, **Journal of Industrial Engineering**, , cilt 17, sayı 5
- Prisker A.A.B, Happ W.W, (1966) GERT: Graphical Evaluation and Review Technique Part II. Fundemetals, **Journal of Industrial Engineering**, , cilt 17, sayı 5
- Rajagopalan R, Batra J.I, (1975). "Design of Cellular Production System Graph Theoratic Approach," , **International Journal of Production Research**, , Cilt 3, Sayı 1, S.567-579
- Rüzgar Nursel S., Rüzgar Bahattin. (1999), "Şebeke Modellerinin Gelişimi ve Similasyon Dillerinin karşılaştırılması", **T.C Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, Cilt. XV, sayı. 1
- Ulucan, Aydın. (1993), "Problem Çözmede Şebeke Analizi Yaklaşımı", **Hacettepe üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, cilt 11
- System: A Meterials Flow Approach Based On Operation Sequences, **IIE Transactions**, Vol: 22, Number:1, 84-97
- Vakharia Asoo J., Urban Wemmerlöv, (1990), Designing a Cellular Manufacturing System: A Meterials Flow Approach Based On Operation Sequences, **IIE Transactions**, Vol: 22, Number:1
- Whitehouse, Gary E. (1973), **Systems Analıysis and Design Using Network Techniques**, New Jersey: Prentice-Hall Inc

Internet Adresleri

Balaban, Erdal. **Proje Yönetim Teknikleri Ders Notları**, 2003,

(www.iie.istanbul.edu.tr/turkmbaders2003.doc).

Bargis Joseoh, Jan L.G.Dietz. **Business Process Modeling and Analysis Using GERT Network**, 1999, (<http://www.demon.nl/documents/1999-ICEIS.pdf>).

Benjafaar Saifallah, Sunderesh Heragu S ve A Shahruckh Irani, **Next Generation Factory Layouts Research Challenges And Recent Progress**, December 2000, (<http://www.meumn.edu/dissisions/re/ngfl/ngfl.pdf>)

Leemis Lawrence, Jeffrey Mallozoni ve Kerry Connel. **Distribution of Longest Path of A Stochastic Activity Network With Continuous Activity Durations**, May 6, 2002, (www.es.wm.edu/~andreas/umsa/reports/2002_connell.pdf)

Stretch C.T, **CPM/PERT and EOQ(Com551c2)**, May 3 2001,

(<http://www.info.ac.uk>).

Soyuer ,Haluk. **Tam Zamanında Üretim Sistemlerinin Küçük Ve Orta Ölçekli İşletmelerde Uygulanma koşulları**, 2001,

(<http://www.dergi.iibf.edu.tr/pdf/1212.pdf>).

Zafer Aygar, **İş Şekillendirme ve İş Yeri Şekillendirme(Rasyonelizasyon)**, 1998,

(<http://www.geocities.com/zaferyayar/isyeri.htm>)

Yılmaz Gökşan, Erdem Sabri, **Hücreyel Üretim Sisteminde Makine Parça Ailelerinin Oluşturulmasında Dengeli Talep-Kapasite Ve Dengesiz Talep Kapasite Durumunu Analizi**, 2003, (http://www.emu.edu.tr/smecarf/turkce_bildiri_24.pdf).

Zimmermann Jürgen, **Time Complexity of Single and Identical Parallel-Machine Scheduling with GERT Network Precedence Constraints**, Mathematical Methods of Operations Research, Springer Verlag, vol. 49, 1999, (http://wiwi.tu-clausthal.de/abteilung_unternehmensforschung/zimmermann_publicationen.htm - 8k -)

Monash University, Project Time Management: Part 2, 1/2000,
(<http://www.cleo.eng.monash.edu.au/teaching>)

Flowgraphs and White Box Testing, 2003,
([http://www.scism.sbu.sc.uk/qu/section 5/contents.html](http://www.scism.sbu.sc.uk/qu/section%205/contents.html))

Esnek Üretim Sistemleri, 1998
([http://www.geocities.com/crayssite/Esnek Üretim Sistemleri .htm](http://www.geocities.com/crayssite/Esnek_Uretim_Sistemleri.htm))

Akansel, Mehmet. **Tesis Organizasyonu**,
2000, (<http://www20.uludag.edu.tr/~akansel/EE802-7.doc>).