

144991

144991



T.C.
İstanbul Üniversitesi
İşletme Fakültesi

98

BİR SİPARİŞ ÜRETİM SİSTEMİNİN
PLANLAMA VE KONTROLUNA YÖNELİK
Q-GERT ŞEBEKE MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ
VE BİLGİSAYAR ANALİZİ

(Doktora Tezi)

M.Erdal Balaban

İstanbul - 1983

İlişikte sunduğum "Bir Sipariş Üretimi Sisteminin Planlama ve Kontrolüne Yönelik Q-GERT Şebeke Modelinin Geliştirilmesi ve Bilgisayar Analizi" isimli tezin kendi tarafımdan ve uygun görülmeyecek herhangi bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım kaynakların dipnotlarda ve "Yararlanılan Kaynaklar" başlığı altında gösterilenlerden ibaret olduğunu belirtir, bunu şerefimle onaylarım.

M.Erdal Balaban

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı titizlikle yöneten, her an istek ve güç vererek çalışmalarımı hızlandırmakta büyük katkıları olan Sayın Doç.Dr.Birsen KARPAK'a, tez konumdaki çalışmalarımı teşvik eden ve yönlendiren Sayın Doç.Dr.Yılmaz TULUNAY'a ve çalışmalarım sırasında yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç.Dr.Kutlu MERİH'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca çalışmamı gerçekleştirebilmeme olanak sağlayan kürsü arkadaşlarıma teşekkür etmek isterim.

Çalışmamda kullandığım verileri elde etmek için gerekli ortamı yaratan PANKURT SANAYİ A.Ş.'nin Genel Müdürü Sayın Mete ÜZER'e ve bilgisayar çalışmalarımın hızlandırılması için tüm olanakları sağlayan İ.Ü. HAYDAR FURGAÇ Bilgisayar Merkezi Müdürü Sayın Prof.Dr.Kenan URAL'a, Müdür Yardımcısı Dr.Selami ERASLAN'a ve Bilgisayar Merkezi tüm personeline teşekkür ederim.

M.Erdal Balaban

İ Ç İ N D E K İ L E R

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
GİRİŞ	1
1. SİSTEM VE SİSTEM MODELİ KAVRAMLARININ TANITILMASI	9
1.1. SİSTEM KAVRAMI	9
1.2. SİSTEM MODELİ KAVRAMI	11
1.2.1. Model Kurma Aşamaları	13
1.2.2. Modellerin Sınıflandırılması	15
1.3. BİR SİSTEMİN ŞEBEKE MODELİ	17
1.4. ŞEBEKE MODELLERİNİN YARARLARI	18
2. ÇİZGE KURAMININ ŞEBEKE MODELLERİ İLE OLAN İLİŞKİSİ	21
2.1. ÇİZGE KURAMININ TEMEL KAVRAMLARI	21
2.2. GANTT DİYAGRAMLARI	29
2.3. ŞEBEKE DİYAGRAMLARI	31
2.3.1. Olaylar	33
2.3.2. Faaliyetler	33
2.3.3. Şebeke Diyagramının Kurulma Kuralları ve Aşamaları	35
3. ŞEBEKE ANALİZİ TEKNİKLERİ	38
3.1. ŞEBEKE ANALİZİ TEKNİKLERİNE GİRİŞ	38
3.2. KRİTİK YOL YÖNTEMİ (CPM)	41
3.2.1. Faaliyet Zamanlarının Programlanması	42
3.2.2. Kaynak Dağıtımı	47
3.2.3. CPM Yönteminde Maliyet Bilgilerinin Kullanımı	49
3.3. PERT TEKNİĞİ	50
3.3.1. Pert Şebekesinde Kritik Yolun Belirlenmesi	53
3.3.2. Pert Şebekelerinde Olasılık Kavramı	55

	<u>Sayfa</u>
4. GENELLEŞTİRİLMİŞ FAALİYET ŞEBEKELERİ	57
4.1. GENELLEŞTİRİLMİŞ FAALİYET ŞEBEKELERİNE GİRİŞ	57
4.2. GAN MODELİ	58
4.3. ÇİZGE İNDİRGEMENİN TEMEL CEBRİ	62
4.4. GERT TEKNİĞİ	67
4.4.1. Problem Çözmede GERT Yaklaşımı	69
4.4.2. GERT'in Diğer Şebeke Analizi Teknikleri ile Olan İlişkisi	70
4.4.3. "VEYA" Düğüm Tipli GERT Şebekelerinin Değerlendirilmesi	71
4.4.4. Temel Yapının İndirgenmesi	75
4.4.5. "VEYA" Düğümlü GERT Şebekeleri için Bilgisayar Programı	85
5. GENELLEŞTİRİLMİŞ FAALİYET ŞEBEKELERİNİN SİMÜLASYONU	87
5.1. GERT ŞEBEKELERİNİN SİMÜLASYONU (GERTS)	87
5.1.1. Düğüm (Olay) Özellikleri	88
5.1.2. Bağ (Faaliyet) Özellikleri	94
5.2. GERTS III	96
5.2.1. GERTS IIIQ	97
5.2.2. GERTS IIIC	99
5.2.3. GERTS IIIR	99
6. Q-GERT ŞEBEKE ANALİZİ TEKNİĞİ	101
6.1. Q-GERT MODELLEME VE ANALİZİ	102
6.2. Q-GERT ŞEBEKELERİ	103
6.3. TEMEL Q-GERT KAVRAMLARI	104
6.3.1. Gezen Birimlerin Varışını Modelleme	105
6.3.2. Kuyruk ve İşgörenleri Modelleme	106
6.3.3. Gezen Birimlerin Kaçması	109
6.3.4. Servis İşlemlerinin Tıkanması	110

	<u>Sayfa</u>
6.3.5. Gezen Birimleri Biriktirme	111
6.3.6. İşgörende Probabilistik Dallanma	112
6.3.7. Gezen Birimlerin Ayrılışları	113
6.4. GELİŞMİŞ Q-GERT KAVRAMLARI	114
6.4.1. Gezen Birimlere Özelliklerin Atanması	114
6.4.2. Gezen Birimlerin Rotalandırılmasında Özelliklerinden Yararlanma	117
6.4.3. Seçici Dügümler (S-Dügüm)	119
6.4.4. Eşleyen Dügümler	124
6.4.5. Dügüm Değiştirimi	125
6.5. Q-GERT ANALİZ PROGRAMI	126
6.5.1. Q-GERT Analiz Programının Çalışma Yöntemi	126
6.5.2. Q-GERT Analiz Programı Verilerinin Verilişi	129
6.6. İLERİ Q-GERT KAVRAMLARI: PROGRAM EKLEMELERİ	133
6.6.1. Q-GERT Değişken Tanımları	134
6.6.2. Olasılık Dağılımlarından Örnekler Elde Etmek için Mevcut Fonksiyonlar	136
6.6.3. UI Altprogramı	137
6.6.4. UO Altprogramı	137
6.6.5. UF'u Kodlarken Kullanılabilecek Özel Altprogramlar	137
6.6.6. Kullanıcı Altprogramlarının Kullanımındaki Kısıtlamalar	140
6.7. Q-GERT Uygulamaları	141
7. BİR SİPARİŞ ÜRETİM SİSTEMİNİN PLANLAMA VE KONTROLUNA YÖNELİK Q-GERT ŞEBEKE MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE BİLGİSAYAR ANALİZİ	143
7.1. İŞLETME SİSTEMİNİN TANITIMI	143
7.1.1. Problemlerin Belirlenmesi	145
7.1.2. Amaçların Belirlenmesi	147

	<u>Sayfa</u>
7.1.3. Sistemin Elemanları ve Varsayımları	150
7.2. GELİŞTİRİLEN Q-GERT ŞEBEKE MODELİ	153
7.2.1. Modelde Kullanılan Düğüm Tipleri ve Dalların Açıklanması	153
7.3. BİLGİSAYAR PROGRAMININ ÇALIŞTIRILMASI VE PROGRAMIN BİLEŞENLERİ	159
7.4. BİLGİSAYAR SONUÇLARININ YORUMLANMASI	170
7.5. ÇALIŞMA SONUÇLARI	176
7.5.1. Modelin Etkinlikleri	176
7.5.2. Üretim Sisteminin Etkinlikleri	179
YARARLANILAN KAYNAKLAR	182
EKLER	
1. PANKURT SANAYİ A.Ş. DEPARTMANLAR ARASI BİLGİ AKIŞI	I
2. ŞEBEKE VERİLERİ	II
3. SİPARİŞ VERİLERİ	IX
4. PROGRAM LİSTELERİ	XII
5. SİPARİŞLERİN BİR YILLIK ÖRETKENLİK SONUÇLARI	XVI
6. SİPARİŞLERİN ÖRETKENLİK HISTOGRAMI	XVII
7. Q-GERT STANDART ÖZET ÇIKTILARI	XVIII
8. GÜNLÜK İMALAT DURUM RAPORLARI	XX
9. TEZGAH GRUPLARI AYLIK KONTROL RAPORLARI	XXII
10. SİPARİŞLERİN İŞ İSTASYONLARINDA TOPLAM BEKLEME SÖRELERİ	XXVI
11. SİPARİŞLERİN GECİKME GÜNLERİ VE PERFORMANS ÖLÇÜLERİ	XXVII
12. SİPARİŞLERİN GECİKME HISTOGRAMI	XXVIII
13. İMALAT PROGRAMI	XXIX

Ö Z E T

Bu çalışmada, çok değişik sistemlere uygulanabilen ve şebeke analizi tekniklerinin en modern olan Q-GERT tekniğini Türk Sanayiine kazandırmak amacıyla bir sipariş üretim sisteminin planlama ve kontroluna yönelik Q-GERT şebeke modeli geliştirilmiş ve üretim sisteminde bir uygulaması yapılmıştır.

Sorun çözmeye yönelik araştırmada, bir sistemin belirgin özelliklerini incelemek, tartışmak ve geliştirmek için önce sistemin incelenmesi ve amaca yönelik elemanların belirlenerek sistem modelinin kurulması amaçlanır. Bu nedenle birinci bölümde sistem ve sistem modeli kavramları tanıtılmıştır.

Q-GERT tekniğinin üstünlüklerini ve model kurma felsefesini daha iyi ifade edebilmek için şebeke analizi teknikleri tarihi gelişimi içinde özetlenmiştir. Şebeke analizlerine temel felsefeyi veren Çizge Kuramı kavramları ve şebeke analizlerine temel oluşturan GANTT diyagramları ikinci bölümde ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde, PERT kavramlarının Q-GERT ile ilişkisi düşünülerek klasik şebeke analizi tekniklerinden olan CPM ve PERT teknikleri Q-GERT'e ışık tutması amacıyla özetlenmiştir.

Belirsiz faaliyetlerin söz konusu olduğu sistemlerin analizi için yeni düğüm ve dal tanımlamalarıyla faaliyet şebekeleri genelleştirilmiştir. Dördüncü bölümde Q-GERT ile PERT arasındaki köprüyü oluşturan Genelleştirilmiş Faaliyet Şebekeleri adı altında GAN ve GERT şebeke modelleri kısaca tanıtılmıştır.

Karmaşık şebekelerin çözümlenmesinde analitik tekniklerin yetersiz kalışı bu şebekelerin simülasyonunu zorunlu kılmıştır. Bu nedenle beşinci bölümde GERT şebeke modellerinin simülasyonu incelenmiştir.

Altıncı bölüme kadar Q-GERT şebeke analizi tekniğine temel teşkil eden teknik ve kavramlar incelenmiştir. Bu bölümde GERT tekniğine kuyruk sistemlerini çözümüleme yeteneğini katan Q-GERT'in model kurma felsefesi tanıtılmıştır. Model kurma felsefesi, basit modellerden karmaşık modellere ilerliyecek şekilde kademeli olarak tanıtılmıştır. Ayrıca şebeke analizi tekniklerinde gelişim zincirinin en son halkasını oluşturan ve simülasyon yöntemini kullanan Q-GERT Analiz Programı açıklanmıştır. Böylece geliştirilen üretim planlama modelini tanıtmak için gerekli bilgilerin bir kısmı tamamlanmıştır.

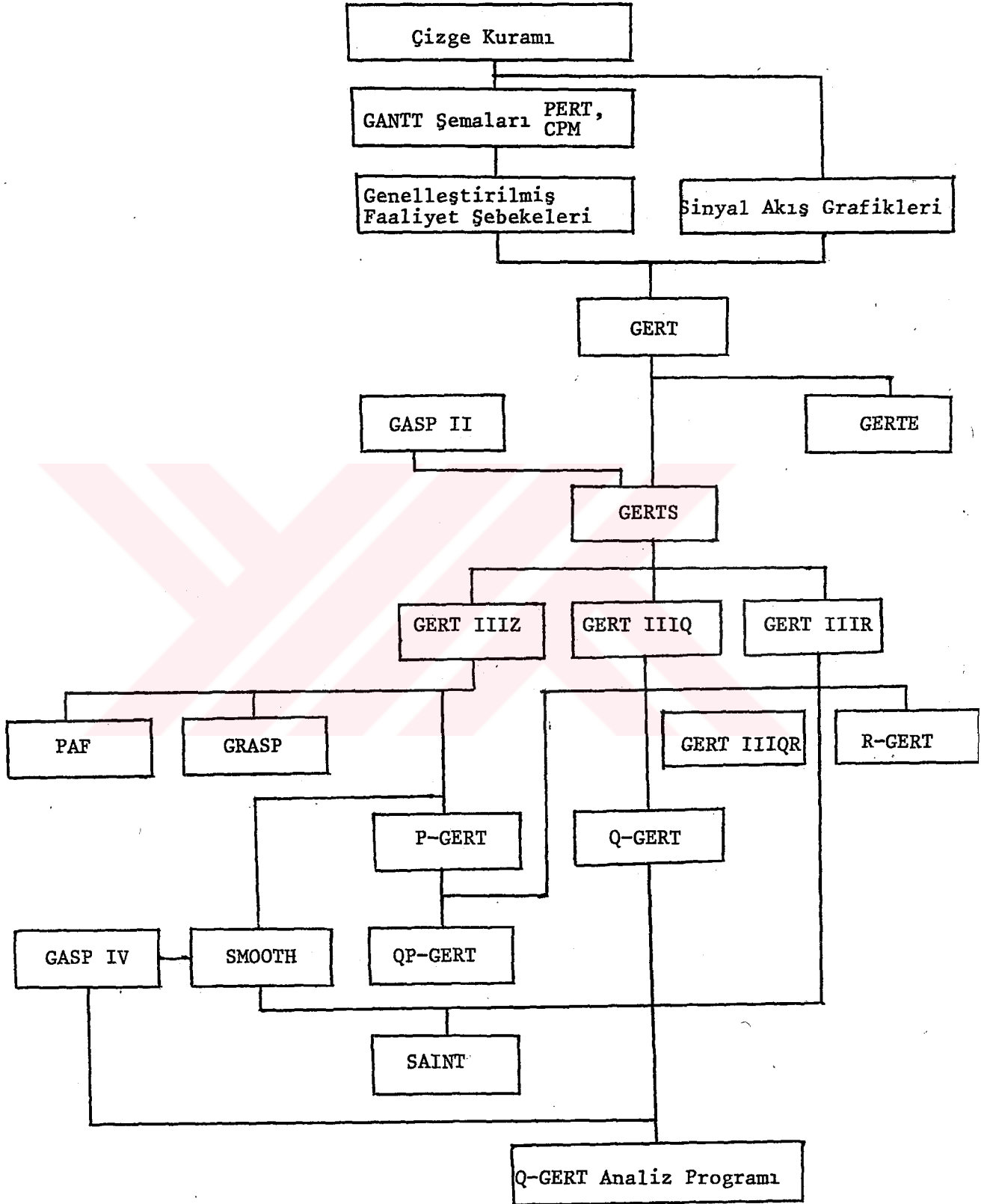
Son bölümde, Q-GERT tekniği kullanılarak geliştirilen şebeke modeli tanıtılmış ve Q-GERT Analiz Programı aracılığıyla uygulama sonuçları tartışılmıştır. Program eklemelerinin yapılmasıyla gerçek sipariş verilerinin modele etkin bir şekilde katılabilmesi sağlanmıştır. Ayrıca bilgisayarda yüklü bulunan iş akış rotalarına ve işlem sürelerine, model simülasyon sürecinde ulaşan bir kodlama yöntemi kullanılarak modele esneklik ve dinamiklik kazandırılmıştır. Böylece sipariş verileri değişikçe ve yenilendikçe model de buna bağlı olarak değişebilmektedir. Aynı zamanda dinamik özellikte bir sistem için geliştirdiğimiz Q-GERT şebeke modeli değişik alanlara ve sistemlere uyarlanabilecek özelliktedir. Bu model üzerinde alternatif kararların denenmesi ile elde edilen bilgisayar sonuçları tartışılmıştır. Böylece işletmenin sistem kapasitesini verimli kullanacak ve sipariş gecikmelerini azaltacak sistem düzeni saptanmış ve bu düzene uygun imalat programları hazırlanmıştır.

G İ R İ Ş

KONUNUN ÖNEMİ VE GELİŞİMİ

İşletme yöneticileri, ellerinde bulunan kıt kaynakları optimum şekilde kullanmak, bu kaynakları etkin ve yararlı yatırımlara dönüştürmek, ileriye dönük politikalarını saptamak, plan ve programlarını hazırlamak üzere Yöneylem Araştırması Tekniklerine başvururlar. Bir sistemin problemlerine çözüm getirmek amacıyla kullanılan YA teknikleri arasında bulunan Şebeke Analizi Teknikleri yaygın bir uygulama alanı kazanmıştır. Bunun başlıca nedenleri: Şebeke Analizi Tekniklerinin sistem analizi sürecinin en kritik aşaması olan model kurma çalışmalarını basitleştirmesi, sistemin belirgin özelliklerini tartışmak, incelemek ve geliştirmek için uygun bir haberleşme aracı olması, analiz için gerekli verilerin saptanmasına yardımcı olması ve nihayet sistem analizi ve planlaması için iyi bir başlangıç noktası oluşturmasıdır. Bütün bu nedenlerin yanında, Şebeke Analizi Tekniklerinin geliştirilmesi sonucu, çok farklı sistemlere uygulanabilir bir araç şekline getirilmesi, bu tekniklerin daha da yaygın uygulama alanı bulmasına neden olmuştur. Şebeke Analizlerinin tarihi gelişimi Şekil 1'de grafik olarak özetlenmektedir.

Şebeke Analizi Tekniklerinin uygun başlangıç Cizge Kuramıdır. Şebeke Analizi Tekniklerini kullananların çoğunun ilerlemeleri, çizge kuramındaki birikimleri ile hızlanmıştır.



ŞEKİL 1- Şebeke analizi teknikleri tarihi gelişimi.

Daha sonraları, işlerin aralarındaki ilişkileri ele alınarak bir projedeki bütün faaliyetleri bir zaman ölçütü içinde gösteren GANTT diyagramları geliştirilmiştir. Faaliyetlerin durumunu göstermek, programın arkasında veya önünde olduğunu belirlemede etkin olan GANTT diyagramları, faaliyetlerdeki gecikmelerin diğer faaliyetler üzerine olan etkisini kontrol edememektedir. Bundan sonraki çalışmalarda, bağımsız bir takım faaliyetleri değil de projenin tümü içerisinde bir faaliyetin diğerleri ile olan ilişkileri araştırılmaya yönelinmiştir. Böylece, faaliyetlerdeki gecikmenin diğer faaliyetlere ve tüm projeye olan etkisini ortaya çıkarabilecek, kritik faaliyetleri belirleyecek CPM ve PERT şebeke analizleri ortaya çıkmıştır.

CPM ve PERT analizleri, şebekedeki tüm faaliyet ve olayların deterministik olduğu varsayımı ile yapılıyordu. PERT tipi şebekelerde belirtilen belirsizlik sadece faaliyet süreleri ile ilgiliydi. Faaliyetlerin gerçekleşmesi veya gerçekleşmemesi ile ilgili bir belirsizlik yoktu. Üretim, ekonomik v.b. sistemlerde mantiki olaylar ve birçok belirsiz faaliyetler söz konusu olduğundan bu sistemlerin analizi için PERT ve CPM tipi deterministik modeller yetersiz kalmıştır. Bu şebekelerde olasılık kavramı kullanılarak projeyi temsil eden alternatif şebekelerin bulunabileceği önerilmiştir. Bu genelleştirmeye "Probabilistik PERT" adı verilmiştir. Alternatif yollarla ilgili benzer gelişme Crowston ve Thomson tarafından önerilmiş ve "Decision CPM" adı verilmiştir. Daha sonraları, Elmaghraby çok parametrelili dal ve yeni düğüm tanımlamaları ile şebeke yapısında yeni bir notasyon geliştirmiştir. "Genelleştirilmiş Faaliyet Şebekeleri (GAN)" sözcüğünü bu türden şebekeleri tanımlamak için kullanmıştır. Yine Elmaghraby karmaşık grafikleri basitleştirmek ve girdi-çıkış ilişkisini türetmek amacıyla bir cebir tekniği geliştirmiştir.

Elmaghraby'nin geliştirdiği bu cebir, şebekeleri basitleştirmek için kullanışlı bir araç olmakla beraber kesin bir çözüm yöntemi ortaya koymaması nedeniyle karmaşık şebekeleri basitleştirmede yetersiz kalmıştır. Yine bu cebir faaliyet sürelerinin kesin olarak bilinemediği şebekelerde kullanılamamıştır. Bu nedenle stokastik şebekelerin analizi için sinyal akış grafikleri, PERT kavramları ve moment üreten fonksiyonlar birleştirilerek GERT şebekeleri ve bu şebekelerin analitik analizi için de GERTE analiz programı geliştirilmiştir.

"VE", "VE/VEYA" düğüm tiplerini içeren GERT şebekeleri, "VEYA" düğüm tipli şebekelere dönüştürüldükten sonra GERTE analiz programı ile analitik olarak özülebilmemiştir. Ancak karmaşık projelerde bu dönüşümün yapılması zorlaştığından GERT şebekelerinin analizinde simülasyon yaklaşımına yönelinmiştir. GASP II simülasyon programından yararlanarak GERTS adı verilen şebeke simülasyon programı yazılmıştır.

şebeke Analizi Tekniklerinin genelleştirilmesi sonucu özel tip problemlerin analizi için çok sayıda simülasyon programı yazılmıştır. Bunlar; beklemelerin yapıldığı Q-düğümlere sahip GERTS IIIQ şebeke simülasyon programı, maliyet istatistiklerini toplayan GERTS IIIC, kaynak dağıtım kararlarını içeren GERTS IIIR, kuyruk kavramlarını ve kaynak dağıtım kararlarını birleştiren GERTS IIIQR, kaynak kısıtlı GERT şebekelerinde başlama ve bitirme zamanlarını hesaplayan ve kritiklik indeksi analizi yapan R-GERT, güvenirlilik problemlerini inceleyen GRASP, ayrıık ve sürekli sistemleri birleştiren SMOOTH, beşeri faktörleri kapsayan SAINT v.b. simülasyon programları geliştirilmiştir.

şekil 1'de görülen Q-GERT Analiz Programı, şebeke Analizi Teknikleri gelişim çevriminin en son halkasıdır. Q-GERT ile model kurma stokastik sistemlere bir şebeke modeli ile

yaklaşılması gereksinimini karşılamakta, endüstri mühendisleri, işletme analistleri ve yöneylem araştırmacılara model kurma, analiz ve iletişimde bir grafik araç sağlamaktadır. Karmaşık kuyruk sistemlerin ve proje yönetim sistemlerinin analizi için geliştirilmiş Q-GERT Analiz Programı ise çok değişik uygulama alanlarına sahiptir. Klasik Şebeke Analizi Teknikleri (CPM, PERT) ülkemizde çok yaygın uygulama alanı bulmasına karşın "Q-GERT" tekniğinin kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır.

ÇALIŞMA AMACI

Bu çalışmanın ana amacı, çok değişik sistemlere uygulanabilen Q-GERT tekniğini Türk Sanayiine kazandırmak olacaktır. Çalışmamızda sipariş üzerine üretim yapan bir işletmenin üretim plan ve kontroluna yönelik Q-GERT şebeke modeli geliştirilmiş ve Q-GERT Analiz Programı ile bilgisayar analizi yapılmıştır.

Sipariş üretimi sisteminde siparişlerin istenilen zamanda ve miktarlarda karşılanması, yönetimin karşılaştığı en güç problemlerden biridir. Sipariş üretiminde mamul sayısının çok çeşitli olması, sipariş gelişlerinin stokastik bir yapı göstermesi, üretim plan ve programlarının yapılmasında simülasyon tekniğini kullanmamızı gerektirmektedir. Aynı zamanda üretim sürecinde ardışık eylemlerin bulunması ve üretim sisteminin kuyruk özellikli olması nedenleriyle Q-GERT tekniğinin kullanımı, üretim plan ve programların hazırlanmasını etkinleştirecektir.

Program eklemelerinin de yapılabildiği Q-GERT Analiz Programının bilgisayarda çalıştırılması, modelin geliştirilmesine ve analiz sonuçlarının alınmasına olanak tanımıştır. Sipariş miktarlarının iş akış rotalarının, iş istasyonlarının

daki işlem sürelerinin farklı oluşuna, siparişlerin gelişlerindeki devamlılık ve müşteri değişiklikleri de eklenince sistem karmaşık ve dinamik özelliğe sahip olmaktadır. Bu özellikteki gerçek sistemin modelinin kurulmasında şebeke yapısına dolaysız olarak sokulabilen program eklemeleri yapılmıştır. Böylece model, sipariş verilerindeki değişkenliğe bağlı olacak şekilde dinamik özellikte ve esneklikte geliştirilmiştir.

Q-GERT şebeke modelinin geliştirilmesinde, sürekli siparişlerdeki gecikmeleri önleyecek sistem düzenin saptanması amaçlanmıştır. Bu amaca aşağıdaki üç aşamada ulaşılmaktadır.

- 1- Sürekli siparişlere ayrılacak sistem kapasitesinin belirlenmesi,
- 2- Gecikmeleri önleyecek öncelik kuralının saptanması,
- 3- Seçilen öncelik kuralına uygun imalat programının hazırlanması.

Çalışmamızda kullandığımız Q-GERT tekniğinin sistem modeli kurma ve analizinde etkinliğini daha iyi ifade edebilmek için aşağıdaki çalışma planı izlenmiştir.

ÇALIŞMA PLANI

Sorun çözmeye yönelik araştırmada temel yaklaşım, problemlerin belirlenmesinden hemen sonra model geliştirilmesini gerektirir. Bu modeller, sistem hakkında deney yapmamızı, niteliklerini anlamamızı ve onları kontrol etmemizi sağlayan önemli araçlardır. Bu nedenle birinci bölümde sistem ve model kavramları ele alınmıştır.

Şebeke analizlerinde birçok yöntem, çizge kuramının

basit düşünceleri ile geliştirilmiştir. Çizge kuramının şebeke analizi tekniklerinin temel bilgisi olması nedeniyle bu kuramının temel kavramları ve şebeke analizi tekniklerine temel oluşturan GANTT diyagramları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, proje yönetiminde çok sayıda ardışık faaliyetlerden meydana gelen projelerin planlama ve kontrolunda yaygın bir uygulama alanı bulmuş klasik şebeke analizi teknikleri (CPM, PERT) ele alınmıştır.

Klasik şebeke analizi teknikleri, yeni düğüm ve dal tanımlamalarıyla geliştirilmiş ve çok farklı sistemlere uygulanabilir hale getirilmiştir. Bu gelişimler "Genelleştirilmiş Faaliyet Şebekeleri" adı altında dördüncü bölümde incelenmiştir.

Analitik çözüm yöntemini kullanan geliştirilmiş faaliyet şebeke tekniklerinin karmaşık projelerde yetersiz kalmasından dolayı, bu şebekelerin simülasyonuna gerek duyulmuştur. Beşinci bölümde geliştirilmiş faaliyet şebekelerinin simülasyonu incelenmiştir.

Altıncı bölümde, GERT tekniğine kuyruk sistemlerini çözümüyle yeteneğini katan Q-GERT'in model kurma felsefesi ve modelin çözümlenmesinde kullanılan Q-GERT Analiz Programı ele alınmaktadır.

Yedinci bölümde ise, sipariş üzerine üretimde bulunan gerçek bir işletmenin üretim planlama ve kontroluna yönelik Q-GERT şebeke modeli geliştirilmiş ve bu modelin bilgisayar analiz sonuçları verilmiştir. Modelin değişik yerlerinde kullanıcı fonksiyonu kullanılarak gerçek sipariş verileri modele etkin bir şekilde katılmıştır. Bilgisayarda yüklü bulunan iş akış rotaları ve işlem sürelerine, model simülasyon sürecinde ulaşan kodlama yöntemi kullanılarak model, sipariş verilerinin

bir fonksiyonu olarak geliştirilmiştir. Böylece sipariş verileri değiştikçe ve yenilendikçe model de buna bağlı olarak değişebilmektedir. Modele program eklemelerinin yapılmasıyla standart özet çıktılarına bağımlı kalmayıp ara istatistikî bilgilerin ve simülasyon sonu bilgilerin üretilmesi sağlanmıştır. Modelin bilgisayar analizi sonucunda kapasite kullanımında verimlilik arttırılmış, gecikmeleri azaltan öncelik kuralı sap-tanmış ve bu sistem düzenine uygun imalat programları hazır-lanmıştır.



I. SİSTEM VE SİSTEM MODELİ KAVRAMLARININ TANITILMASI

Bir sistemin tanıtılmasında, belirgin özelliklerinin incelenmesinde ve geliştirilmesinde şebeke modelleri önemli rol oynuyorlar. Şebeke analizi yöntemleri ile sistemin incelenbilmesi için ilk önce sistemi yansıtan şebeke modeli kurulur. Kurulan bu model üzerinde sistem, analiz edilir. Şebeke model kurma ve analizi yöntemlerine geçmeden önce sistem ve sistem modeli kavramlarının ne anlama geldiğini açıklamakta yarar vardır.

1.1. SİSTEM KAVRAMI

"Sistem" sözcüğü, son derece geniş anlamda kavramları içine almakta ve hemen hemen her alanda değişik şekillerde kullanılmaktadır. Örneğin, ulaşım sistemi, haberleşme sistemi, ekonomik sistem, üretim sistemi, yönetim sistemi v.b. kullanımlara günlük yaşamda çok sık rastlanılır. Araştırmacılar, genellikle kendi problemleri için özel bir sistem kavramı benimsemekte ve çalışmalarında bu kavramı evrensel bir anlamda ve bütün sistemleri kapsar bir şekilde kullanmaktadırlar. Örneğin bir matematikçi için "sistem" sözcüğü değişkenler ve bağıntılar takımını anımsatırken bir elektronikçi için "sistem" bir takım direnç, kapasite ve bileşenlerden meydana gelen bir devredir. Diğer taraftan bir iktisatçı için "sistem", ekonomik kurumlar ve bunlar arasındaki ilişkilerin dinamiği iken bir bilgi işlemci için "sistem", elektronik bilgi işlem

araçları takımı ve bunların yazılımı olacaktır(1). Araştırmacıların, yukarıda ifade edildiği gibi kendi araştırma alanlarına ve amaçlarına uygun değişik sistem tanımları vardır. Bu tanımlardan en yaygın olarak kullanılanını aşağıdaki gibi verebiliriz:

Sistem, "herhangi bir amaca veya hedefe varabilmek için birlikte çalışan ve birbirlerini karşılıklı etkileyen parçaların bir araya getirilmesinden oluşan bir bütündür"(2).

Çalışmamızın amacına en uygun sistem tanımını ise şu şekilde ele alabiliriz:

Sistem, "bir işletmede belli bir amaç için birbirleriyle ilişkide bulunan çeşitli faaliyet ve olayların bir araya getirilmesinden oluşan bir şebekedir".

Bir sistem birçok bileşenlere ve amaca sahip olabilir. Bu bileşenler arasındaki ilişkiler sınırsız olduğundan sistem karmaşık bir yapı gösterir. Sistemin içinde olmayan herşey ise sistemin sınırı dışındadır ve çevreyi oluşturur. Örneğin bir üretim sisteminde makinaların, ara mamullerin, işçilerin, üretim işlemlerinin v.b. sistemin sınırları içinde olmasına karşın, tüketici istekleri çevrenin bir parçasıdır. Diğer taraftan bir işletmede üretim, personel, muhasebe ve dağıtım temel fonksiyon alanlarını tanımlarken haberleşme sistemi bir alt sistemi belirler(3). Tüm sistemler bir başka üst sistemin

-
- (1) Merih, Kutlu, "Sistemlerin Matematik Teorisine Giriş (Optimal Kontrol) Bir Firma Uygulaması", Doçentlik Tezi, İ.Ü. İşletme Fakültesi, İstanbul, 1976, s.1.
 - (2) Davis, B. Gordon, "Management Information Systems: Conceptual Foundations, Structure and Development", Mc Graw Hill Inc., 1974, s.82.
 - (3) Halaç, Osman, "Entegre Demir Çelik Üretim Sistemlerinin Optimizasyonu İçin Geliştirilmiş Bir Model", Doçentlik Tezi, İ.Ü. İşletme Fakültesi, İstanbul, 1977, s.3.

alt sistemidir veya her sistem bazı alt sistemlerin birleşimidir. Herbir alt sistem, kendi sınırları ile diğer alt sistemlerden ayrılır. Örneğin bir makina ve işçiden oluşan bir iş istasyonu, atölyenin bir alt sistemi iken atölye de imalat sisteminin bir alt sistemidir, imalat sistemi ise fabrikanın bir alt sistemidir. Yukarıda ifade edildiği gibi birçok bileşenlerin ve alt sistemlerin bileşiminden oluşan sistem karmaşık bir yapı gösterir. Araştırmacının amacına uygun olmayan bileşenlerin sistemden çıkartılmasıyla sistemin sınırları belirlenebilir. Böyle basitleştirilmiş sistem, sistem modeli kavramı olarak aşağıda ele alınacaktır.

1.2. SİSTEM MODELİ KAVRAMI

Gerçek sistemi, amaçlarımız için önem taşıyan tüm özellikleri ile temsil edecek bir aracıya gerek vardır. İşte gerçek sistemin veya sürecin temsiline "Model" denir(4). Gerçek sistem birçok bileşenleri ile karmaşık bir yapı göstermektedir. Bu nedenle incelenecek gerçek sistemin çok karmaşık olduğu durumlarda sistemin tanıtılmasında ve çözümlenmesinde sistemin modeli kurulur. Başka bir tanıma göre modeller en geniş anlamı ile gerçek ortamın bir bölümünün basitleştirilmiş biçimde temsilidir(5). Sistem modelinin kurulması sırasında, modelin hem gerçek sistemi yeterince temsil etme hem de kontrol edebilme özelliklerine sahip olması gereğine dikkat edilmelidir. Gerçek ortamın çok karmaşık olması nedeniyle bu iki çatışan amacı istenilen dengede tutmak oldukça güçtür(6).

-
- (4) Esen, H. Öner, "İşletme Yönetiminde Sistem Yaklaşımının Önemi ve Bir Sistem Olarak İşletmenin Etkin Yönetimi İçin Bir Bilgi İletişim (Bilişim) Sisteminin Kurulması Aşamaları ve Bir Vakıf Çalışması", Doçentlik Tezi, İ.Ö. İşletme Fak. İstanbul, 1982, s.10.
- (5) Starr, Martin K., "Management: A Modern Approach", Harcourt Brace Jovanovich, Inc., New York, 1971, s.31.
- (6) Intriligator, Michael D., "Ekonometric Models, Techniques and Applications". Prentice-Hall Inc., 1978, s.14.

Bu nedenle model kurucu, sistemin modelinin kurulmasında karmaşıklıktan kurtulmak için amacına yönelik olmayan veya fazla etkili olmayan bileşenleri ihmal ederek gerçek sistemi basitleştirmeyi amaçlarken modelin yetersiz kalmamasına özen göstermelidir. Sistem modelinin kurulmasında bazı elemanların modele katılmamasından ötürü çıkacak sonuçlar belli bir oranda hata içerir. Çözümdeki hatanın hangi durumlarda ihmal edilemez bir oranda olduğu önemli karar konusudur. Hata, ihmal edilebilme aralığı dışında ise modelin yeniden gözden geçirilmesi yeni elemanların modele katılması gereklidir(7).

Modellerin amacını kabaca sistemlerin belirli şartlar altındaki davranışlarını açıklamak veya tahmin etmek şeklinde ifade edebiliriz. Buna göre modeller sistemleri belirli ölçüler içinde temsil etme niteliğini taşırlar. Bir modelin başarısı, olayların nedenlerini açıklamada veya gelecek hakkındaki tahminlerde gösterdiği duyarlılık ile ölçülür. Bu duyarlılık başlıca iki faktöre bağlıdır(8):

- (1) Modelin dayandığı teoriler ve çözüm tekniği,
- (2) Modelde kullanılan verilerin gerçeğe uygunluk derecesi.

Modelin duyarlılığına dikkat edilmediğinde çözüm sonuçları model için uygun olsa da sistem için uygun çözüm olmayacaktır. Şimdi bu modellerin kuruluşundaki çeşitli aşamaları ele alalım.

(7) Karpak, Birsen, "Kantitatif Karar Verme Teknikleri Ders Notları", İ.Ü. İşletme Fakültesi, 1972, s.5.

(8) Kobu, Bülent, "Uzun Vadeli Üretim Planlama Modelleri, Enerji Sektöründe Uygulama", Doçentlik Tezi, İ.Ü. İşletme Fak., İstanbul, 1975, s.12.

1.2.1. Model Kurma Aşamaları

Model sistemin bir tasviri olduğundan aynı zamanda bir soyutlamasıdır da. Bu soyutlamayı geliştirmek için model kurucunun, modele katacağı sistem elemanları konusunda karar vermesi gerekir. Bu kararları vermek için model kurmanın amacı belirlenmelidir. Bir elemanın sistem için önemli olup olmadığına ve dolayısıyla sisteme katılıp katılmayacağına karar verirken bu amaca bakılmalıdır. Model kurucunun başarısı önemli elemanları ve bu elemanlar arası ilişkiyi iyi tanımlama yeteneği ile ölçülür(9).

Morris, modellerin kurulması için aşağıdaki aşamaları önermiştir(10):

- (1) Yöneticinin amacının belirlenmesi,
- (2) Sabitlerin, parametrelerin, değişkenlerin belirlenmesi ve her birini gösteren sembollerin tanıtılması,
- (3) Sistemi mümkün olduğu kadar basitleştirecek en etkin değişkenlerin seçilmesi, kontrol altına alınan ve alınamayan değişkenlerin belirlenmesi,
- (4) Değişkenler arasındaki ilişkilerin kurulması,
- (5) Seçilen değişkenlerin aralarındaki tüm ilişkileri birleştirerek modelin kurulması,
- (6) Modelin sembolik olarak gösterilmesi,
- (7) Modelden çözümlerin bulunması,
- (8) Modelin, ön tahminleri kullanarak test edilmesi ve gerçek veriler ile kontrol edilmesi,
- (9) Gerekirse modelin yeniden düzenlenmesi.

(9) Pritsker, A.A.B., "Modeling and Analysis Using Q-GERT Network", John Wiley and Sons, New York, 1979, s.2.

(10) Morris, W., "On the Art of Modelling management science", August, 1967.

Model kurma karmaşık bir süreçtir ve birçok alanda bir sanat niteliğindedir. Bir sistemin modelinin kurulması şayet:

- 1- Sisteme ait fiziksel yasalar biliniyorsa,
- 2- Sistemin resim veya grafiği çizilebiliyorsa,
- 3- Sistem girdileri, elemanları ve çıktılarındaki değişkenlik kontrol altına alınabiliyorsa

kolaylaştırılabilir(11).

Kantitatif olarak ifade edilen bir modele değişik teknikler ile çözümler bulunabilir. Bu teknikleri üç başlık altında toplayabiliriz(12):

- (1) Analitik Çözüm Teknikleri,
- (2) Nümerik Çözüm Teknikleri,
- (3) Simülasyon Çözüm Teknikleri.

Bir işletme probleminin modeli kurulduktan sonra bu modelin çözümü için en uygun tekniğin seçilmesi gerekir. Daha önce de değindiğimiz gibi modelin duyarlılığı, çözüm tekniğine bağlı olacaktır. Bu nedenle bilinen bir tekniğe uygun modelin kurulması yerine ilk önce amaca uygun modelin kurulması ve bu modele en uygun tekniğin seçilmesi, çözüm sonuçlarının daha güvenilir olmasını sağlayacaktır. Gerçek sistemin modelinin kurulmasında bazı değişkenler ihmal edildiğinde, çözüm sonuçları optimal olmasa bile karar vericinin rasyonel karar vermesinde etkili olacaktır. Yani modeller karar verme sürecinde yöneticilere yardımcı araçlar olarak da ortaya çıkmaktadırlar.

(11) Pritsker, A.A.B., a.g.e., s.1.

(12) Halaç, Osman, "Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması)", İ.Ü. İşletme Fakültesi, İstanbul, 1978, s.17.

1.2.2. Modellerin Sınıflandırılması

Gerek sistem ve gerekse sistem modelleri için değişik tanımlamalar olduğu gibi değişik sınıflamalar da yapılmıştır. Modelleri çeşitli özelliklerine göre sınıflandırmak mümkündür. Whitehouse(13), modelleri Murdick and Ross'un beş grupta ele aldığı gibi(14) sınıflandırmıştır.

I. Fonksiyonlarına Göre Modeller:

1- Tanımlayıcı (Descriptive) Modeller: Tanımsal modeller basit olarak durumun bir resmini sağlamakta olup hiçbir öngörü ve öneride bulunmazlar.

2- Öngören (Predictive) Modeller: Öngörülü modeller, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında ilişki kurar ve "ise, ne" sorularını cevaplandırır.

3- Kuralsal (Normative) Modeller: Kuralsal modeller, bir probleme en iyi cevabı bulan modellerdir.

II. Yapılarına Göre Modeller:

1- Şekilsel (Iconic) Modeller: Şekilsel modeller temsil ettikleri durumun bazı fiziksel özelliklerini içerirler.

2- Benzeşim (Analog) Modeller: Bu modeller, modeli kurulacak sistemle bir paralellik sağlayacak şekilde bileşenlerin veya işlemlerin yerine geçebilecek elemanlar ile kurulan modellerdir.

(13) Whitehouse, Gary E., "Systems Analysis and Design Using Network Techniques", Englewood Cliffs, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1973, s.4.

(14) Murdick, R.G. and Ross, J.E., "Information Systems for Modern Management", Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, Inc., 1971.

3- Sembolik (Symbolic) Modeller: Sembolik modeller ise, gerçek sistemi tanıtmak için semboller kullanan modellerdir.

III. Zamanla İlgisine Göre Modeller:

1- Statik (Static) Modeller: Bunlar zaman boyutu açısından görülebilecek değişiklikleri dikkate almayan modellerdir.

2- Dinamik (Dynamic) Modeller: Dinamik modeller, zamanı bağımsız değişken olarak alan modellerdir.

IV. Belirsizlik Derecesine Göre Modeller:

1- Belirli (Deterministic) Modeller: Bu modellerde, çeşitli veriler için, modelin çözümünü gösteren tek bir tanımlanmış çıktı söz konusudur.

2- Olasılıklı (Probabilistic) Modeller: Olasılıklı modeller, girdi değerleri için olasılık dağılımları olmakla beraber çıktı değerleri birden fazla olmakta hatta bir dağılım göstermektedir.

V. Kapsamlarına Göre Modeller:

1- Genel (General) Modeller: Genel modeller, birçok fonksiyonel alanda uygulamaları olan modellerdir.

2- Özel (Specialized) Modeller: Özel modeller, sadece tek bir problem için uygulaması olan modellerdir.

Yukarıda yapılan bu sınıflandırmalar arasında kesin bir ayırım yoktur. Bir model yukarıdaki sınıflardan bir kaçına birden girebilir. Bu nedenle söz konusu bir modeli en fazla önem verilen özelliğine göre isimlendirmek ya da tüm özelliklerini belirtmek yerinde olur.

1.3. BİR SİSTEMİN ŞEBEKE MODELİ

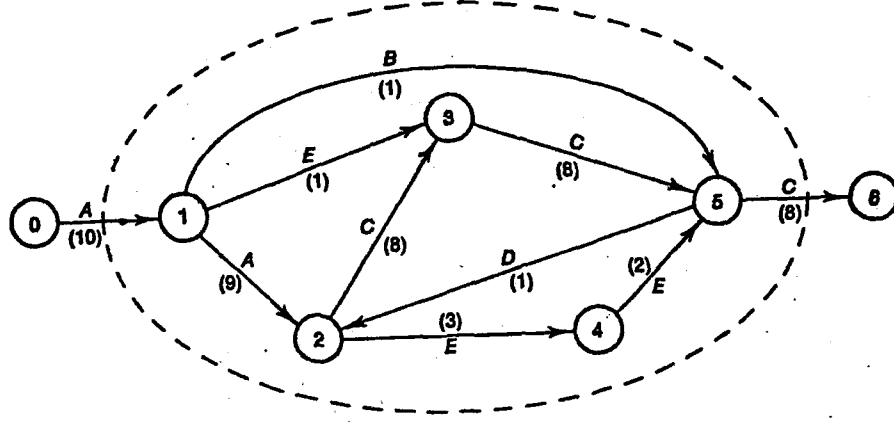
Bu çalışmada kullanılacak şebeke modellerinin yukarıda yapılan sınıflamaların çoğuna girdiğini söyleyebiliriz. Şebeke modelleri sistemin elemanlarını ve bunlar arasındaki ilişkileri göstermesi özelliği ile şekilsel (iconic) modeller sınıfına sokulabilir.

Bir sistemin seçkin özelliği sistemin çeşitli bileşenleri arasında etkileşimin olmasıdır. Sistemin yapısı bu etkileşim ile belirlenmeli ve analist sistemi analiz ederken bu etkileşimleri dikkate almalıdır. Bu sistemlerin etkileşimlerini analiz etmek ve göstermek için grafik teknikler kullanılır. Eskiden kullanılan grafik gösterimler, örneğin iş akış şemaları, sistemin dinamik davranışını veya yapısını anlamamıza yetmiyordu. Olasılık kuramı ve kontrol sistemlerinin mühendislik bilimlerindeki gelişmiş uygulamalar ve güçlü teknikler ile grafik gösterimlerin alanı genişletilmiştir(15). Bu nedenle bir sistemin önemli özelliklerini tartışmada, işletim sistemlerinin tanıtılmasında ve geliştirilmesinde kullanılabilen, grafik özellik taşıyan şebekeleri grafik modeller adı altında yeni bir sınıflamaya sokabiliriz.

Bir sistemin modeli kurulurken, verilen amaçla ilgili elemanların belirlenmesi gerektiğini daha önceden belirtmiştik. Örneğin, bir üretim sisteminde iş istasyonları, makineler, bölümler v.b. sistemin elemanlarıdır. Bu elemanlar arasındaki ilişkileri çizgiler veya oklarla gösteren bir model kurulabilir. Bu yapılırken amacımıza uygun olmayan ilişkiler sistemin dışında tutulabilir. Böylece amacımıza ulaşmada etkili ilişkiler Şekil 1.1'de gösterildiği gibi sistem sınırları içinde olacaktır(16).

(15) Whitehouse, Gary, E., a.g.e., s.2.

(16) Van Court Hare, Jr. "Systems Analysis: A diagnostic Approach", Harcourt, Brace and World, Inc., New York, 1967, s.18.



ŞEKİL 1.1. Bir sistemin şebeke modeli.

Yönlendirilmiş çizgilerle (oklarla) oluşturulan bu diyagram sistemin çalışmasını yeterince gösterebilmektedir. Örneğin Şekil 1.1'de A bileşeninden çıkan ve B bileşenine giren ok A'nın B'yi etkilediğini veya A'nın çıktısının, B'nin girdisi olduğunu gösterecektir.

Bir üretim sisteminde olduğu gibi özellikle faaliyetler dizisi olan sistemlerin temsili için de Şekil 1.1'de gösterilen bir model kurulabilir. Böyle bir modele sistemin "şebeke modeli" veya sadece "şebeke" adı verilir.

1.4. ŞEBEKE MODELLERİNİN YARARLARI

Bir sistem modelinin kurulması aşağıdaki fonksiyonlardan en az birinde yardımcı olabilir(17):

1- Düşünmeye yardımcı olması; örneğin, bir şebeke, problemin yapısına göz çarptırabilir.

(17) Elmaghraby, S.E., "The Role of Modeling in IE Design", The Journal of Industrial Engineering", June, 1968, s.293-294.

2- İletişime yardımcı olması; örneğin, bir projedeki faaliyetleri gösteren PERT modelinin sağladığı en büyük yararlarından biri faaliyetlerin birbirleriyle olan ilişkisini gösterir.

3- Tahmin aracı olması; bir model, girdileri ile sistemin çıktısını tahmin edebilir.

4- Kontrol amacını gerçekleştirmesi; örneğin, tezgah yükleme ve optimizasyonu için kurulan bir model, belirli öncelik kurallarının üstünlüğünü gösterebilir.

5- Deneme ve öğretilmede yardımcı olması; bir modelin kurulmuş olması deney şansını yükseltir. Örneğin uzay araçları modelleri, astronotların yetişmesini sağlayabilir.

Sistemler, şebeke modelleri ile kolaylıkla modellenen bildiklerinden özellikle işletim sistemlerinin tanıtılmasında ve geliştirilmesinde şebeke modelleri önemli rol oynuyorlar. Şebeke modellerinin kullanımına neden olarak da aşağıdaki yararlar gösterilebilir(18):

1- Karmaşık sistemleri modellemede basit sistemlerin bir araya getirilmesi.

2- Sistemlerin şekillerini şebekeden elde etmek için mekanik bir yapıya sahip olması,

3- İşletim sisteminin önemli özelliklerini tartışmak için bir iletişim mekanizması,

4- Sistemin analizini yapmak için gerekli verileri belirleme aracı olması,

(18) Pritsker, A.A.B., Happ, W.W., "GERT: Graphical Evaluation and Review Technique Part I Fundamentals", The Journal of Ind. Engineering, Vol. XVII, No. 5, s. 267.

5- İşletim sistemlerinin analizi ve programlaması için iyi bir başlangıç noktası olması.

Bu bölümde, bir sistem incelenirken önce sistemi karmaşıklıktan kurtaran sistem modelinin kurulmasının yararını ve fazla ayrıntılarına girmeden şebeke modelini anlatmaya çalıştık.

Çalışmamız bir üretim sisteminin analizi ve etkinliğinin arttırılması olduğundan ilk önce bu sistemin elemanlarının bir model içinde gösterilmesi gerekmektedir. Bir üretim sisteminde üretilecek mamullerin tüm özelliklerini, üretim faaliyetlerini ve sistemin kapasitesini gösteren bir model kurulacak ve bu modele Q-GERT şebekesi veya şebeke modeli adı verilecektir. İstenilen miktardaki mamullerin istenilen zamanda ve verimli bir şekilde üretimi için de bu şebeke modeli, Q-GERT analiz programı ile çözümlenecektir.

Çalışmamızda kullanacağımız Q-GERT şebeke modeli kurma ve analizi tekniği, şebeke analizi yöntemlerinin en yenisidir. Q-GERT şebeke modelinin kurulmasına geçmeden önce üretim sistemlerini modellemede neden Q-GERT şebeke modelini seçtiğimizi daha iyi ifade edebilmek için diğer şebeke modellerindeki özellikleri ve yetersizlikleri, tarihi gelişimi içinde, bundan sonraki bölümlerde ele alınacaktır. Böylece sistem ve model kavramları ile Q-GERT şebeke modeli arasında geçiş kolaylığı da sağlanmış olacaktır.

2. ÇIZGE KURAMININ ŞEBEKE MODELLERİ İLE OLAN İLİŞKİSİ

Şebeke analizlerinde birçok yöntem, çizge kuramının basit düşünceleri ile geliştirilmiştir. Şebeke analizi tekniklerini kullananların çoğu, çizge kuramı (Graph Theory) bilgilerini kullanarak ilerlemişlerdir. Gerçekten şebeke analizi yöntemleri, daha genel bir disiplin olan "çizge kuramının" bir parçasıdır(1). Şebeke analizi yöntemleri çizge kuramından yararlanan ve onun uzantısında yöntemler olduğundan çizge kuramının temel kavramlarını açıklamakta yarar vardır.

2.1. ÇIZGE KURAMININ TEMEL KAVRAMLARI

Bir çizgeyi basit olarak, çeşitli nokta çiftleri çizgilerle birleştirilmiş bir noktalar topluluğu şeklinde tanımlayabiliriz(2). Çizge kuramında bu noktalara düğüm noktaları (nodes), bu düğüm noktası çiftlerini birbirine birleştiren çizgilerin herbirine de bağ (edge) adı verilir.

Birbirleri arasında ilişki bulunan nesnelere düğüm noktaları ile, ilişkileri de bağ ile göstererek bir çizge oluştu-

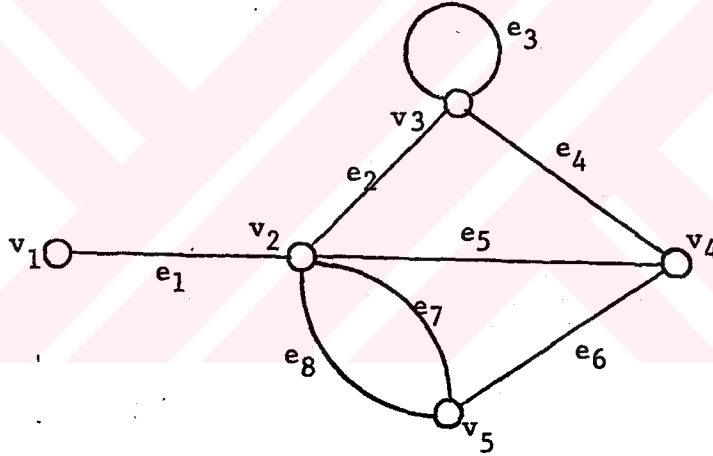
(1) Müller, H.-Merbach, "Some Connections Between Graph Theory and Network Analysis", Derleyen: Lombaers, H.J.M., "Project Planning by Network Analysis", North Holland Publ., Amsterdam, 1969, s.95.

(2) Tulunay, Yılmaz, "İşletme Matematiği", İ.O. İşletme Fakültesi, İstanbul, 1982, s.333.

rulabilir. Böylece belli bir amaç için biraraya gelmiş ve birbirleri arasında ilişki bulunan bileşenlerin oluşturduğu bir sistem, çizge ile gösterilebilir.

$V(G)$ boş olmayan ($\neq \emptyset$) düğüm noktaları seti, $E(G)$ bağlar seti olmak üzere bir G çizgesi $G = (V,E)$ şeklinde gösterilecektir.

Grafik olarak gösterilebilen çizgelerin bu gösterimi onun birçok özelliklerini anlamamıza yardımcı olur. Şekil 2.1 de gösterilen bir $G = (V,E)$ çizgesinde her bir düğüm noktası bir nokta ile ve her bir bağ da düğüm noktalarını birleştiren bir çizgi ile gösterilmiştir.



ŞEKİL 2.1. Bir $G = (V,E)$ çizgesi.

Yukarıdaki çizgenin düğüm noktaları seti,

$$V(G) = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$$

ve bağlar seti de,

$$E(G) = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8\}$$

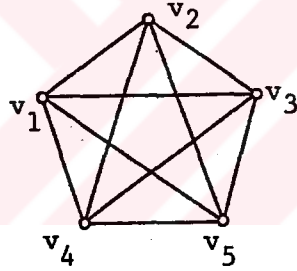
şeklinde gösterilir.

Bir çizgede bir bağın ilişkili bulunduğu düğüm noktalarına "bitim noktaları" denir. Şekil 2.1'deki v_1 ve v_2 noktası e_1 bağının bitim noktaları olup " e_1 " bağı v_1v_2 şeklinde de gösterilebilir.

Döngü (Loop): Tek bir bitim noktası olan bağa döngü denir. Şekil 2.1'deki v_3 bitim noktasına sahip " e_3 " bağı bir dön-

güdür. Sonlu ve Sonsuz Çizge: Bir çizgenin düğüm noktaları ve bağlar seti sonlu ise bu çizgeye sonlu çizge (finite graph), aksi halde sonsuz çizge adı verilir(3). Şekil 2.1'deki G çizgesinde V düğüm noktaları setinin eleman sayısı $|V| = 5$, E bağlar setindeki eleman sayısı veya bağ sayısı $|E| = 8$ dir. Buna göre bu çizgenin sonlu olduğunu söyleyebiliriz. Bundan böyle çalışmalarımızda çizge terimiyle sonlu çizgeleri kastedeceğiz.

Tam Çizge (Complete Graph): Her düğüm noktası çifti bir bağ ile birleştirilmiş çizgeye tam çizge denir. Eğer bir çizgenin n düğüm noktası var ise bunun tam çizge olabilmesi için $\frac{1}{2} n(n-1)$ bağının bulunması gerekir.

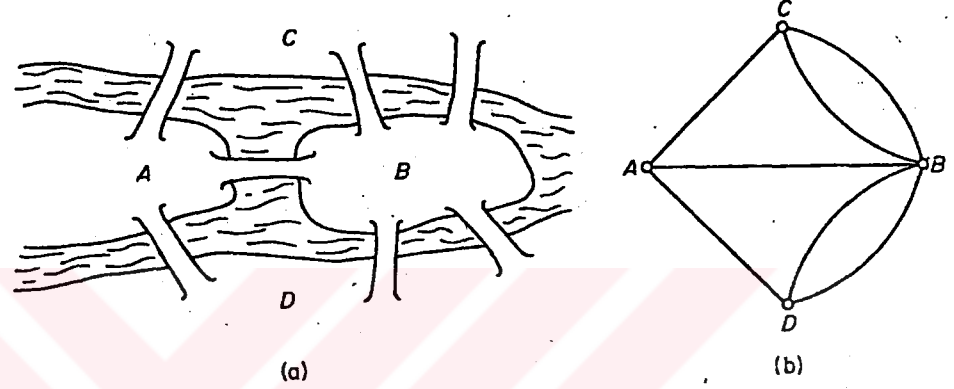


ŞEKİL 2.2. Tam çizge.

Bir Düğüm Noktasının Derecesi: G çizgesindeki bir v_i düğüm noktasının derecesi, bu düğüm noktasındaki bağların sayısıdır. Eğer bir düğüm noktasındaki bağların sayısı tek ise, bu "tek düğüm noktası" aksi halde "çift düğüm noktasıdır". Bir düğüm noktasının derecesi $d(v_i)$ notasyonu ile gösterilir. Bir döngüye sahip bir düğüm noktasının derecesi hesaplanırken döngü iki bağ gibi düşünülür. $d(v_i) = 0$ olması durumunda v_i düğüm noktasına "soyutlanmış düğüm noktası" adı verilir.

(3) Bondy, J.A., and Murty, U.S.R., "Graph Theory with Applications", The Macmillan Press Ltd., London, 1976, s. 3.

Euler; bir çizgede her bağdan sadece bir kez geçip, başlanılan noktada şekli tamamlamak için sadece ve sadece her düğüm noktasının derecesinin çift olması gerektiğini 1736 yılında Könisberg Köprü problemiinde kanıtlamıştır (Şekil 2.3)(4). Bir çizgede her düğüm noktasının derecesi çift ise bu çizgeye "Euler Çizgesi" denir.



ŞEKİL 2.3. Könisberg köprüleri ve çizgesi.

Eğer bir çizgede sadece ve sadece iki tek düğüm noktası varsa, şeklin çizimine bu tek noktaların birinden başlamak koşulu ile çizge oluşturulabilecek ve şekil diğer tek düğüm noktasında tamamlanacaktır. Buna göre Könisberg köprü probleminde bütün köprülerden sadece bir kez geçecek şekilde sürekli bir yol bulunamaz. Çünkü tek düğüm noktası bu problemde dört tanedir.

Bu ilk çizge uygulamasından sonra, çizgeler çok geniş değişik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan bazıları; elektrik akımlarının analizi, en kısa yolun bulunması, proje planlama analizleri, kimyasal bileşenlerin tanımlanması, sibernetik, dil bilgileri, sosyal bilimler v.b. dir. Gerçekte, bütün matematik yapılarında çizgelerin en yaygın bir şekilde kullanıldığını söyleyebiliriz.

(4) Bondy, J.A., Murty, U.S.R., a.g.e., s.51.

Düğüm Noktası Dereceleri ile Bağ Sayısı İlişkisi: n düğüm noktalı bir G çizgesinde E bağ sayısı, düğüm noktalarının dereceleri toplamının yarısına eşittir(5).

$$E = (1/2) \sum_{i=1}^n d(v_i)$$

Şekil 2.3. (b)'de bağ sayısı bu bağıntıya göre $E = 14/2 = 7$ olacaktır ($\sum_{i=1}^n d(v_i) = 14$).

Zincir (Chain): v_1 ve v_n düğüm noktalarını birbirine bağlayan e_1, e_2, \dots, e_n bağlar dizisine zincir adı verilir. Eğer bir zincirde bütün bağlar sadece birer kez kullanılmış ise buna "basit (Simple) zincir" aksi halde "bileşik (Composite) zincir" denir. Örneğin Şekil 2.1'de v_1 'den v_4 'e giden e_1, e_7, e_8, e_5 bağları 4 uzunluğunda (4 bağı bulunduğundan) bir basit zincir tanımlarken, e_1, e_8, e_8, e_7, e_6 bağları v_1 'den v_4 'e giden 5 uzunluğunda bir bileşik zincirdir.

Bağlantılı (Connected) Çizge: Eğer bir çizgede her düğüm noktası çifti arasında en az bir zincir var ise bu çizgeye "bağlantılı" aksi halde "bağlantısız çizge" denir.

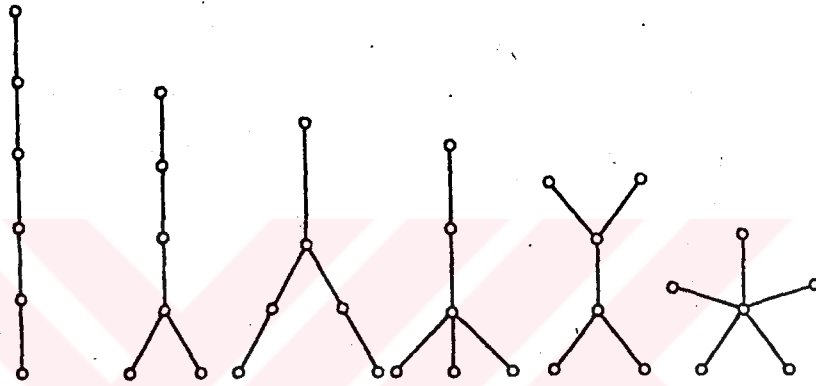
Devre (Cycle): Başlangıç ve bitiş düğüm noktası aynı olan zincire "Kapalı Zincir" veya "Devre" denir(6). Bir devre oluşturan kapalı zincir aynı zamanda basit ise (her bağ sadece bir kez kullanılmış ise) bu bir "basit devre"dir. Aksi halde bu devreye "kompoze devre" denir. Şekil 2.1'de e_2, e_3, e_4, e_5 zinciri v_2 noktasından başlayıp aynı noktada biten kapalı zincir veya devredir. n düğüm noktalı bir çizge (n-1) bağdan daha fazla bir bağı varsa bu çizge bir devre içerir.

(5) Horowitz, Ellis and Sahni, Sartaj, "Fundamental of Data Structures", Pitman Publishing Lmt., London, 1977, s.287.

(6) Bondy, J.A., Murty, U.S.R., a.g.e., s.14.

n düğüm noktalı ve m bağı olan bir çizgede bağımsız devrelerin sayısı $k = m - n + 1$ dir(7).

Ağaç (Tree): Hiçbir devre içermeyen bağlantılı çizgeye "ağaç" denir. Bağlantılı bir çizgenin ağaç olabilmesi için gerek ve yeter koşul, bütün düğüm çiftleri arasında yalnız bir tek yol bulunmasıdır(8). n düğüm noktası olan bir G ağacında n-1 bağı vardır. Şekil 2.4'de altı düğüm noktalı altı değişik ağaç görülmektedir. Hepsinde de bağı sayısı 5'dir.



ŞEKİL 2.4. Altı düğüm noktalı ağaçlar.

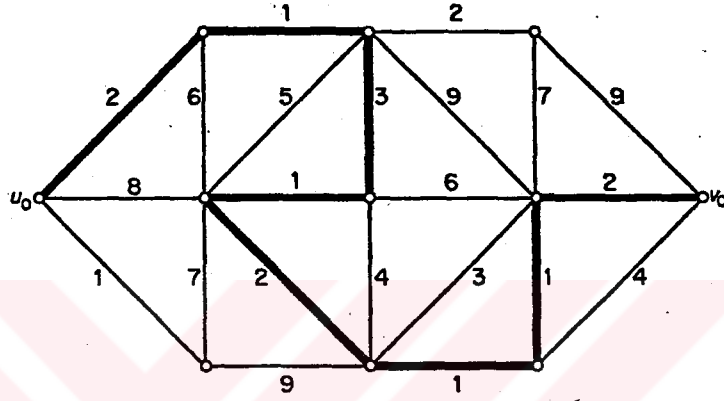
Ağırlıklı Çizge: Bir G çizgesindeki her e bağı, $w(e)$ ağırlığına sahip ise bu çizgeye "ağırlıklı çizge" denir. Bir çizgede bağlar, uzaklık, maliyet, kapasite, malzeme miktarı, olasılık, zaman, akış miktarı gibi ağırlıklara sahip olabilir. Örneğin çeşitli şehirler arasındaki uzaklıkların ağırlık olarak verildiği bir demiryolları haritası ağırlıklı çizgedir. Belirli şehirler arasındaki en kısa yol problemi (Shortest Path problem) ağırlıklı çizgeler yardımı ile çözülebilir (Şekil 2.5)(9). Herbir şehir düğüm noktaları ile ve iki şehir arasındaki maliyetler $W(v_i, v_j) = c_{ij}$ şeklinde gösterilerek bir ağırlıklı çizge kurulabilir. Böyle bir çiz-

(7) Müller, H.-Merbach, a.g.e., s.95.

(8) Ceyhan, Y., "Çizge Kuramı Üzerine Kısa Bir İnceleme", O.D.T.O. Mühendislik Fak., Ankara, 1976, s.124.

(9) Bondy, J.A., a.g.e., s.16.

gede bütün şehirleri (düğüm noktaları olarak) kapsayan minimum toplam maliyetli bir ağaç bulma problemi ise minimum ağırlıklı kapsayan ağaç (Minimum-Weighted spanning tree) problemi veya optimal ağaç problemidir(10). Bu probleme çözüm arayan Kruskal yöntemi en etkin yöntemlerden biri olarak önerilmiştir.



ŞEKİL 2.5. Minimum ağırlıklı (u_0, v_0) yolu.

Yukarıdaki örnekten anlaşıldığı gibi çizge kuramındaki birçok problemin çözümü ağırlıklı çizgeler yardımı ile araştırılır.

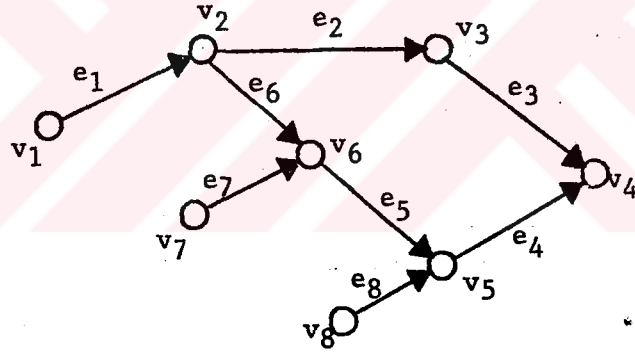
Ağaçların olasılık hesapları, karar verme analizleri ve oyun teorilerindeki uygulamalarında ağaç dallarına bir takım olasılık, maliyet, getiri v.b. ağırlıklar verilmesi gerekmektedir.

Yönlendirilmiş Çizge: Bir çizgede düğüm noktaları arasındaki bağlar ok işaretleri ile yönlendirilmiş ise bu çizgeye "yönlü çizge" denir. Trafik akış problemleri ile ilgilendiğimizde, hangi yolların tek yönlü olduğunu ancak yönlü bir çizgede görebiliriz.

(10) Daha detaylı bilgi için bkz. Tulunay, Y., a.g.e., s.356 - 360.

Yönlendirilmemiş çizgede tanımladığımız bağ (edge) yönlendirilmiş çizge de yönlü bağ (Directed edge veya arc) ile tanımlanır. Daha önce tanımladığımız zincir yönlü çizgilerde yönlü bağlar dizisi ("yol" veya "yörünge") olarak bilinir. Şekil 2.6'da v_1 'den v_6 'ya giden e_1, e_2, e_3, e_4, e_5 bir yörüngeyi gösterir. Kapalı zincir olarak tanımladığımız devre (Cycle) yönlü çizgeler de çevrim (Circuit) olarak tanımlanır. Şekil 2.6'da v_2 'den başlayıp yine v_2 'de biten e_2, e_3, e_4, e_5, e_6 yörüngesi bir çevrim oluşturur.

Eğer bir çizgede her düğüm noktası çifti arasında bir yörünge mevcut ise bu çizgeye "sıkı bağlantılı çizge" denir. Buna göre Şekil 2.6'nın sıkı bağlantılı çizge olduğu söylene-
mez.



ŞEKİL 2.6. Yönlendirilmiş bir çizge.

Yönlü bir çizgede bir düğüme giren bağ sayısı $d^+(v_i)$ ve çıkan bağ sayısı ise $d^-(v_i)$ ile gösterilir. Buna göre;

$$d(v_i) = d^+(v_i) + d^-(v_i)$$

olacaktır. Bir çizgedeki maksimum akış problemleri ve transport problemleri yönlü çizgelerin uygulama alanı olarak gösterilebilir.

Bir çizge sadece düğümler arasındaki yapısal ilişkileri tanımlar. Eğer çizgenin düğüm noktaları ve yönlü bağları kantitatif olarak ağırlıklandırılmış ise bu çizgeye "Şebeke (Network)" adı verilir.

Şebeke modellerinin ortaya çıkışı, proje planlama ve kontrol tekniklerinden GANTT diyagramlarının planlamada yetersiz kalmasından kaynaklanmıştır. Şebeke diyagramları adını da verebileceğimiz bu modellerin ayrıntılarına inmeden önce GANTT diyagramlarını açıklamakta yarar vardır.

2.2. GANTT DİYAGRAMLARI

1900 yılında Amerikalı Henry Laurence GANTT bir projede yer alan elemanları (faaliyetleri) bir zaman ölçütü içinde göstererek GANTT diyagramını veya çubuk diyagramını (bar diagram) geliştirmiştir. GANTT diyagramında belirli zaman aralıklarında, programlanmış süre ile fiili süre arasındaki karşılaştırma yapılabilir. Böylece yönetici çalışmanın akışı bakımından gerekli bilgilerini bu diyagramdan alabilir.

Kullanılış amacı bakımından birkaç değişik dizaynı mevcut olan GANTT diyagramlarında satırların herbiri ayrı bir tezgah, iş parçası, mamul, faaliyet grubu, sipariş v.b. elemanlara ayrılabilir. Sütunlar ise birim zaman aralıklarını gösterir. Bu zaman birimleri saat, gün, hafta, ay, yıl v.b. ölçüleri gösterir. Siparişlere göre düzenlenmiş bir GANTT diyagramı Şekil 2.7'de görülmektedir(11). Şekil 2.7'de siparişlerin salı günü sonundaki durumları açıkça izlenebilmektedir. Sipariş 1 programın birkaç saat önünde bulunmaktadır. Sipariş 2 salı günü sonunda bitirilmesi gerekirken programın yarım gün gerisindedir. Yani bir gecikme söz konusudur. Sipariş 3

(11) Kobu, Bülent, "Üretim Yönetimi", İ.O. İşletme Fakültesi, İstanbul, 1979, s.474-475.

Siparişler	Y				
	PT.	SA.	ÇA.	PE.	CU.
Sipariş No. 1	—————				
Sipariş No. 2		—————			
Sipariş No. 3			—————		

┌ : Bir faaliyetin başlangıcı ————— Programlanmış süre
└ : Bir faaliyetin bitişi ————— Fiili süre
V : İçinde bulunan zaman

ŞEKİL 2.7. GANTT diyagramı.

ise Çarşamba sabahı başlayıp Perşembe günü bitirilecektir. Bu örnekten de anlaşıldığı gibi GANTT diyagramı, faaliyetlerin durumunu göstermek, programın önünde veya arkasında olduğunu belirlemekte oldukça etkin bir araçtır. Programın arkasında takip eden proje zamanı programda herhangi bir faaliyetin maksimum-gecikmesi ile tanımlanır(12). GANTT diyagramı, faaliyetlerdeki gecikmelerin diğer faaliyetler üzerine olan etkisini kontrol edemediği gibi programın arkasında süren faaliyetlerin hangisinin daha kritik olduğunu belirleyemez(13). Çünkü faaliyetler arasındaki ilişkilerin bilinmesine karşın bu ilişkiler GANTT diyagramında görünmezler(14). Bu nedenle projeyi oluşturan bütün faaliyetler arasındaki ilişkileri gösteren diyagramlara yönelinmiştir. 1945'li yıllarda proje planlama ve kontrolünde yapılan çalışmalar, artık bağımsız birtakım faaliyetleri değil de projenin tümü içerisinde bir

(12) Cleland, David I., King, William R., "System Analysis and Project Management", Mc Graw-Hill Book Comp., New York, 1975, s.346.

(13) Baker, Bruce N., Eris, Rene, L., "An Introduction to PERT-CPM", Richard D. Irwin, Inc., 1964, s.53.

(14) Tulunay, Y., a.g.e., s.371.

faaliyetin diğ erleri ile olan ilişkileri gösteren ş ebeke diyagramlarını ı ortaya ç ıkarmı ş tır.

2.3. Ş EBEKE DİYAGRAMLARI

Gr afik ve ş ematik modellerin kullanımındaki amaç lardan biri sistemi bir büt ün olarak görmemize yardımcı olmas ıdır. Noktalarla gösterilmiş fonksiyonel ilişkiler, organizasyon ş emaları, iş akış diyagramları ve GANTT diyagramları bu modellere örnek verilebilir. Fakat bu gösterimlerde sistem bileş enleri arasındaki ilişkilerin matematik tanımı mevcut de ğ ildir. Bu nedenle bu tip grafikler matematik analiz ve basitleş tirme aracı olarak kullanılamazlar.

Proje planlama ve kontrolünde kullanılan bir ş ebeke diyagramında, proje elemanları (faaliyetleri) arasındaki öncelik ilişkileri (Precedence relationships) gösterilebilir. Faaliyetleri (activites) dü ğ üm noktalarında ve faaliyetler arasındaki öncelik ilişkileri ba ğ lar da gösterilen yönlendirilmiş bir G çizgesine "dü ğ üm noktalarında faaliyet ş ebekesi (activity on vertex network veya kısaca A.O.V. - network)" adı verilir. X ve Y gibi iki farklı faaliyet alalım ve X faaliyetinin Y başlamadan önce yapılması gerekti ğ ini " $X < Y$ " eşitsizli ğ i ile belirtelim. Bu eşitsizlikleri kullanarak, bir projede faaliyetler arasında a ş a ğ ıdaki ilişkilerin bulundu ğ unu varsayalım.

A < D < C < J

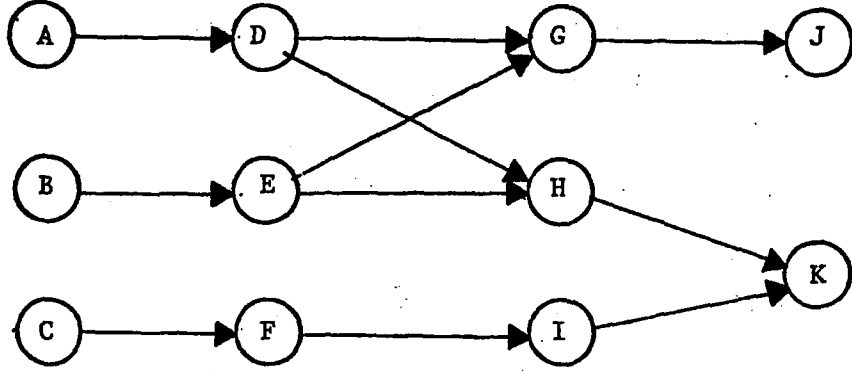
B < E < G < J

D < H < K

E < H < K

C < F < I < K

Buna göre bu ilişkileri yönlendirilmiş bir çizge ile gösterebiliriz:



ŞEKİL 2.8. Düğüm noktasında faaliyet şebekesi.

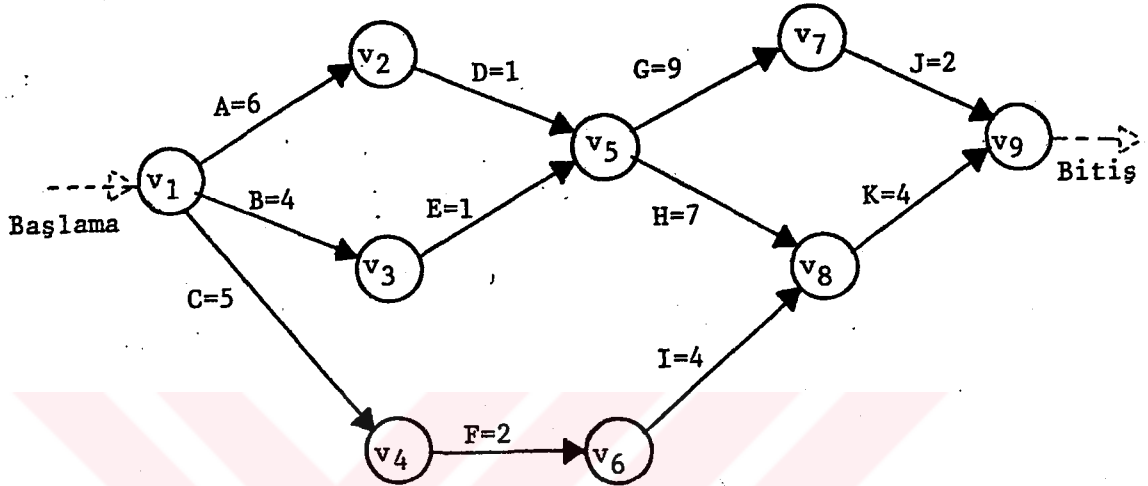
Şekil 2.8'de görüldüğü gibi herbir düğüm noktası faaliyetleri, herbir bağ ise faaliyetler arasındaki öncelik ilişkilerini göstermektedir. Bir projenin faaliyetlerinin tamamlanabilmesi için belirli sürelerle gerek vardır. Bu ağırlıkların böyle bir şebekede gösterilmesi karışıklığa neden olacağından faaliyetlerin düğüm noktası yerine bağda gösterilmesi daha uygun olacaktır(15).

Faaliyetlerin yönlendirilmiş bağda gösterildiği ve belirli faaliyetlerin tamamlanmasını işaret eden olayların (events) düğüm noktalarında gösterildiği şebekelere "bağda faaliyet şebekesi (Activity on Edge-Network veya AOE-Network)" adı verilir. Buna göre daha önce örnek aldığımız, öncelik ilişkileri verilen 11 faaliyetli projeyi, faaliyet süreleri ile birlikte Şek.2.9'daki gibi gösterebiliriz. Faaliyet süreleri için saat, gün, hafta, ay v.b. gibi ölçüler verilir.

Bağda faaliyet şebekeleri kullanılarak faaliyetlerdeki gecikmenin diğer faaliyetlere ve tüm projeye olan etkisi şebeke analizi yöntemleri ile belirlenebilir. Böyle bir şebeke diyagramının (proje modelinin) kurulmasında yararlanılan te-

(15) Tulunay, Y., a.g.e., s.374.

mel kavramlar "Faaliyet" ve "Olay" kavramlarıdır. Bu nedenle bir şebekede gösterilen olay ve faaliyet kavramlarının ne anlama geldiklerini açıklamakta yarar vardır:



ŞEKİL 2.9. Bağda faaliyet şebekesi.

2.3.1. Olaylar (Events)

Şebeke diyagramlarının düğüm noktaları olayları gösterir. Olay bazı faaliyetlerin tamamlanması ve yeni faaliyetlerin başlamasını belirleyen zaman içinde bir noktayı gösterir(16). Bir olay, sadece bu olayla biten bütün faaliyetler tamamlandığı zaman başlar(17). Olaylar, işletmenin kaynaklarını kullanmadığı gibi tamamlanması için bir zaman harcanması da söz konusu değildir. Şebekenin başlangıç noktasını belirleyen olay "başlangıç olayı", bitim noktasını gösteren olay "bitiş olayı" olarak tanımlanır.

2.3.2. Faaliyetler (Activities)

Faaliyetler, olayları şebeke diyagramı üzerinde birbi-

(16) Halaç, Osman, "Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yönetim Araştırması)", İ.Ü. İşletme Fak., İstanbul, 1978, s. 250.

(17) Horowitz, Ellis-Sahni, Sartaj, a.g.e., s.315.

rine bağlayan şebeke elemanlarıdır. Bir olaydan diğer bir olaya geçişi gösteren ve bu arada işgücü, para ve zaman gibi kaynak harcamasını gerektiren projenin bir unsuru olarak iki olay arasındaki bağı temsil eder(18). Bir düğüm noktasını terkeden faaliyetler, düğüm noktasındaki olay gerçekleşinceye kadar başlatılamaz. Şekil 2.9'da verilen 11 faaliyetli ve 9 olaylı şebekede D faaliyeti, A faaliyeti bitmeden başlayamaz iken E faaliyeti, B faaliyeti bitmeden başlayamaz. Aynı zamanda G ve H faaliyetleri V_5 olayı gerçekleştikten sonra başlayabilir (veya D ve E faaliyetleri tamamlandıktan sonra başlayabilir).

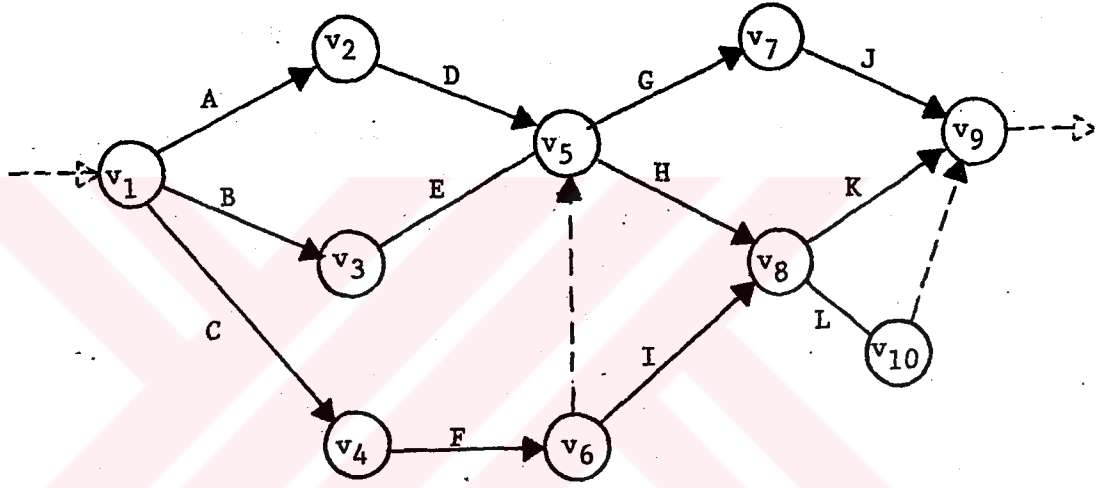
Bazı özel durumlarda faaliyetlerin birbiriyle öncelik ilişkisini göstermede iki olayı birbirine bağlayan fakat bunun için kaynak ve zaman harcaması gerektirmeyen faaliyetlere gerek duyulur. Bu faaliyetlere "boş faaliyet (Dummy activity)" veya "sıfır süreli faaliyet (Zero-time activity)" denir(19). Bir şebekede makina hesaplamalarının yapılabilmesi için iki düğüm noktası en fazla bir bağ ile birleştirilir. Örneğin Şekil 2.9'da verilen şebekede G ve H faaliyetleri, V_5 ve V_6 olayları gerçekleştikten sonra başlaması istenirse, bu öncelik ilişkisini göstermek için V_6 'dan V_5 'e kesik hatlarla gösterilen bir boş faaliyet kullanılır. Diğer bir deyişle F faaliyeti hem G ve H faaliyetlerinden hem de I faaliyetinden önce yapılması gereken bir faaliyet olduğunu göstermek ve yine F faaliyetini öncelik ilişkisinde iki kez kullanmamak için V_6 'dan V_5 'e boş bir faaliyet tanımlanmalıdır (bkz. Şekil 2.10).

Bir şebekede başlama olayı aynı olan iki faaliyet aynı

(18) Miller, R.W., "Schedule, Cost and Profit Control with PERT" Mc Graw Hill Book Comp., New York, 1963, s.32.

(19) Levin, R.I., Kirkpatrick, C.A., "PERT ve CPM ile Planlama ve Denetim", O.D.T.O. İdari Bilimler Fak., Ankara, 1968, s.52.

bitme olayı ile gösterilemez. Ancak başlangıç olayı aynı olan iki faaliyet boş faaliyet kullanılarak aynı bitme olayı ile gösterilir(20). Örneğin Şekil 2.9'da verilen şebekede V_8 olayı ile V_9 bitiş olayı arasında, L gibi yeni bir bitiş faaliyeti tanımlayalım. Buna göre bir de boş faaliyetin tanımlanmış olması gerekir. Şekil 2.9'daki şebekeden boş faaliyetlerin kullanılmasıyla Şekil 2.10'da görülen şebeke elde edilir.



ŞEKİL 2.10. Boş faaliyetli şebeke diyagramı.

2.3.3. Şebeke Diyagramının Kurulma Kuralları ve Aşamaları

Bir projede, ilk aşamada faaliyetler ve olaylar saptandıktan sonra gerekli kurallar gözönünde bulundurularak projenin şebeke diyagramı (veya proje modeli) kurulur. Şebeke kurmadaki kuralları Phillips(21) aşağıdaki gibi özetlemiştir.

- a) Bir faaliyet, kendisinden önceki faaliyetler bitmeden başlayamaz.

(20) Taha, Hamdy A., "Operations Research an Introduction", Macmillan Publishing Co., Inc., New York, 1971, s.360.

(21) Moder, J.J., Phillips, C.R., "Project Management with CPM and PERT", Reinhold Pub. Co., New York, 1970, s.25.

- b) Bir okun uzunluk ve yönünün önemi yoktur, oklar yalnız öncelikleri belirtir.
- c) İki olay en fazla bir faaliyet ile direkt olarak bağlanabilir.
- d) Her olayın bir numarası olmalıdır.
- e) Bir şebekede yalnız bir başlama olayı ve yalnız bir bitme olayı bulunmalıdır.

Yukarıdaki öngörülen kuralları gözönünde bulundurarak bir projenin şebeke modelini kurmada aşağıdaki süreç izlenir:

1- Projenin gerçekleştirilmesi için gerekli bütün elemanlar, faaliyetler ve olaylar belirlenmelidir.

2- Teknolojik ve yönetsel bağımlılıklar dikkate alınarak faaliyetlerin öncelik ilişkileri saptanmalıdır.

3- Birbirleriyle ilişkili bu olay ve faaliyetler şebekenin izlenmesini sağlamak için proje ilerleme yönünü belirleyecek sırada alfabetik, nümerik veya alfanümerik olarak kodlanmalıdır.

4- Kurulan bu şebeke modelinin, ilişkileri doğru olarak gösterip göstermediği test edilmelidir.

5- Her faaliyetin gerektirdiği süreler, kaynaklar ve maliyetler tahmin edilmelidir.

Böylece proje yöneticileri, şebeke modelleri üzerinde faaliyetlerdeki gecikmenin diğer faaliyetlere ve tüm projeye olan etkisini çıkartabilecek, projenin tamamlanabileceği en kısa süreyi ve hangi faaliyetlerin hızlandırılmasıyla proje

süresini kısaltılabileceğini belirleyebilecektir. Bağda faaliyet şebekeleri olarak tanımladığımız bu şebeke modellerinin, şebeke yöntemleri ile çözülmesiyle projedeki zaman, kaynak ve maliyetler daha iyi planlanabilecek ve kontrol edilebilecektir. Bundan böyle şebeke analizi yöntemlerinde şebeke kavramını kullandığımızda bağda faaliyet şebekeleri kastedilecektir.



3. ŞEBEKE ANALİZİ TEKNİKLERİ

3.1. ŞEBEKE ANALİZİ TEKNİKLERİNE GİRİŞ

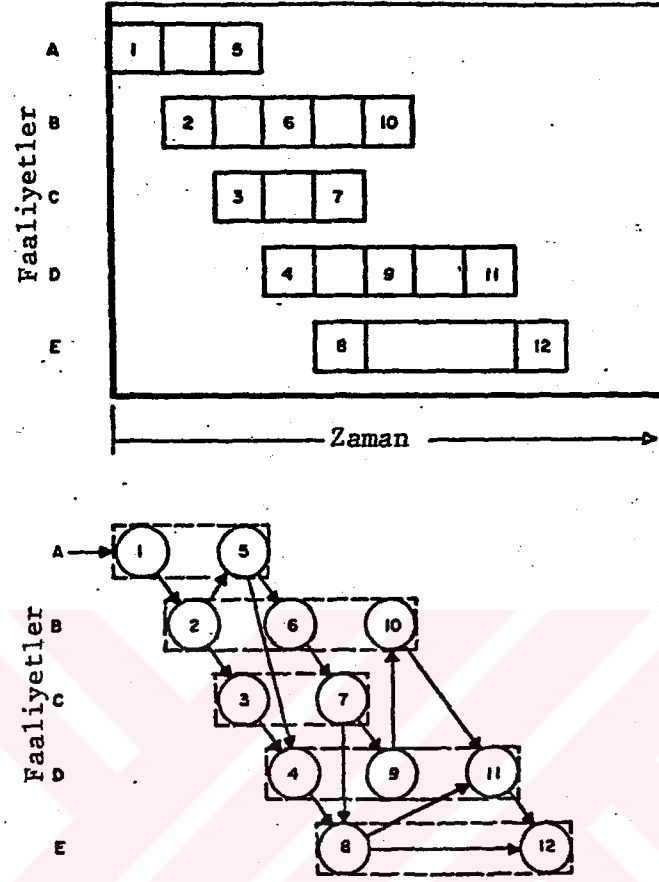
Şebeke analizi teknikleri (CPM, PERT,...), proje yönetiminde, çok sayıda faaliyetlerden meydana gelen karmaşık projelerin planlama ve kontrolünde, yaygın bir uygulama alanı bulmuştur. Bu nedenle, şebeke analizi yöntemleri, proje planlama ve kontrol yöntemleri olarak da bilinir. Bilindiği üzere proje belirli bir başlangıcı ve belirli bir sonucu olan, belirli bir amaca yönelik ve birbirinden ayrı fakat birbirleriyle ilişkili faaliyetlerin bir kombinasyonudur. Şebeke analizi yöntemlerinin işletmecilik alanına getirdiği en büyük yenilik; projeyi bir sistem, projenin elemanları olan olay ve faaliyetleri de sistemin elemanları olarak görmesidir(1). Projeler birbirine bağımlı ve bağımsız birçok faaliyetten oluşan karmaşık bir yapı gösterir. Faaliyetlerin, en iyi şekilde gösterimlerinde, GANTT diyagramlarının yetersiz kaldığını ve şebeke diyagramlarının ortaya çıktığını önceki bölümde vurgulamıştık. Proje modeli olarak kurulan şebekelerin analizine temel olarak, GANTT diyagramları yöntemi gösterilmektedir. Bu yöntemde hangi faaliyetlerin programlardan saptığını, bunlardan kimlerin sorumlu olduğunu bulmak olanağı vardır. Ancak bir projedeki faaliyetlerin daha ayrıntılı değerlendirmesine olanak tanımadığından daha gelişmiş yöntemlere gerek

(1) Akmut, Ö., "Proje Planlama ve Kontrol Yöntemleri", Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum, 1976, s.147.

duyulmuştur. II.Dünya Savaşından hemen sonraki yıllarda Amerika Birleşik Devletleri Deniz Kuvvetleri GANTT Aşamalar (GANTT Milestone) yöntemini uygulamaya başlamıştır. Bu yöntemin kullandığı GANTT aşama diyagramı, yapılması gereken her bir faaliyet yanında, her bir faaliyet içinde yapılması gerekli aşamaları da göstermektedir. Böylece bir işletme, bir faaliyet için daha ayrıntılı bilgiler elde etme olanağına kavuşmuştur. Programlanmış faaliyetlerdeki gecikmelerin projeye etkisi faaliyetler arasındaki ilişkilere bağlıdır(2). Oysa her iki yöntem de faaliyetler arası ilişkiler ile ilgili bilgi vermemektedir. Bu yöntemlerin yetersizliklerinden dolayı faaliyetlerdeki gecikmelerin diğer faaliyetlere ve projeye olan etkisini kontrol edebilen CPM (Critical Path Method) ve PERT (Program Evaluation and Review Technique) yöntemleri geliştirilmiştir (bkz. Şekil 3.1)(3). Her iki yöntem de faaliyetlerin bağda gösterildiği bağ-üzerinde-faaliyet şebekelerini (A.O.E.Networks) kullanır. Aynı yıllarda benzer düşünce tarzına dayanarak ve birbirinden bağımsız olarak geliştirilen bu yöntemler 1958'li yıllarda işletmelerde uygulama alanına girmiştir.

Her iki şebeke analizi yöntemi de, aralarında başlama ve bitiş zamanları bakımından bağımlılık bulunan ve sonunda aynı noktada birleşen faaliyetler grubunun programlamasında kullanılır. Bitiş noktasına istenilen zamanda ulaşabilmek için üzerinde dikkatle durulması gereken kritik yolun saptanması ve faaliyet sürelerinin değişmesi halinde ortaya çıkacak alternatiflerin incelenmesi amaçlarını taşır(4). Projelerin

-
- (2) Cleland, David, I., King, William R., "System Analysis and Project Management", McGraw-Hill Book Comp., New York, 1975, s.347.
 - (3) Miller, Robert W., "Schedule, Cost and Profit Control With PERT", Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York, 1963, s.24.
 - (4) Kobu, Bülent, "Üretim Yönetimi", İ.O.İşletme Fakültesi, 1979, s.476.



SEKİL 3.1. GANTT Aşama Diyagramında Türetilmiş PERT Şebekesi.

şebke modellerini değerlemek için geliştirilen bu yöntemler, projeyi tamamlamak için geçen minimum süreyi, yani, başlama noktasından bitiş noktasına olan en uzun yolu bulur. Bu en uzun yola "kritik yol" ve bu yol üzerindeki faaliyetlere de kritik faaliyetler denir(5). Kritik yolun belirlenmesi ve faaliyetlere ilişkin program elde etmek amacı ile kullanılan CPM, "Kritik Yol Yöntemi (Critical Path Method)" aşağıda ele alınacaktır.

(5) Horowitz, E. and Sahni, S., "Fundamental of Data Structures", Pitman Publishing Lmt., London, 1977, s.317.

3.2. KRİTİK YOL YÖNTEMİ (CPM)

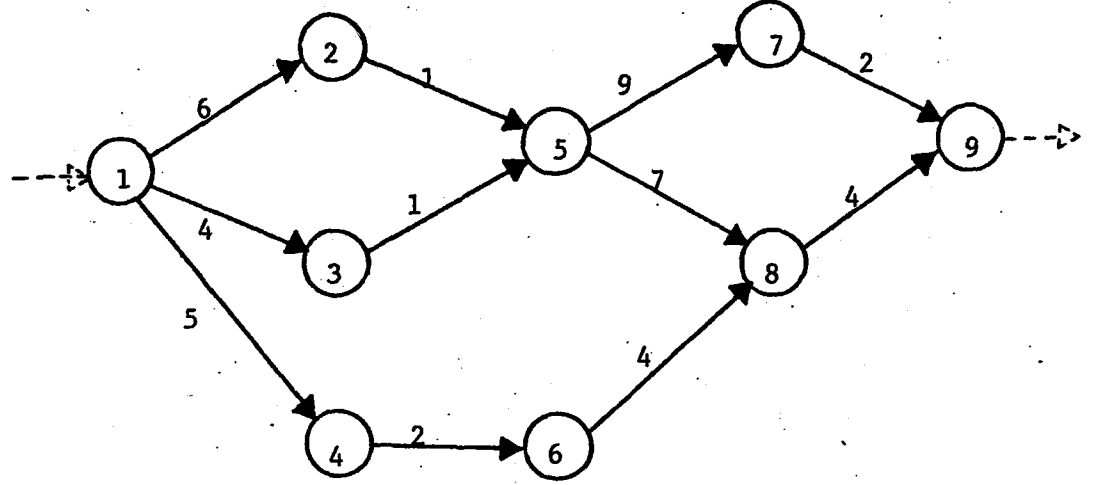
Kısa adıyla CPM (Critical Path Method) olarak bilinen bu yöntem, projenin toplam süresini ve projedeki faaliyetlerin bir programını elde eder. CPM yöntemi, faaliyetlerden hareket ederek faaliyetler için tek zaman tahmini kullanır. Bu nedenle daha önceden uygulanmış, faaliyet süresi ve maliyeti hakkında bilgi bulunabilen deterministik projeleri planlamak ve kontrol etmek üzere uygulanır(6).

Şekil 3.1'de faaliyetler arasındaki ilişkileri gösteren bir şebeke diyagramı verilmiştir(7). Bu şebeke diyagramında, her bir faaliyet bir bağ ile ve her bir faaliyet süresi de hafta cinsinden bu bağ üzerinde gösterilmiştir. Buna göre (1;2), (2;5), (5;7), (7;9) yolu ve (1;2), (2;5), (5;8), (8;9) yolu 18 hafta süren en uzun iki ayrı yoldur. Bu süre projeyi tamamlamak için geçen minimum süredir. 1 nolu başlangıç olayından 9 nolu bitiş olayına giden yolların her birinin toplam süreleri bulunur. En uzun süreli yola "kritik yol" ve kritik yol üzerindeki faaliyetlerin herbirine de "kritik faaliyet" denir. Buna göre Şekil 3.2'de görülen şebekede 2 kritik yol ve 6 kritik faaliyet bulunmaktadır. Kritik faaliyetlerden herhangi birinin başlama süresindeki gecikme, tüm projenin tamamlanma süresinde de bir gecikmeye neden olacaktır(8).

(6) Levin, I. Richard.-Kirkpatrick, A. Charles, "Pert ve CPM ile Planlama ve Denetim", O.D.T.Ü. İdari Bilimler Fak., Ankara, 1968, s.3.

(7) Horowitz, E., Sahni, S., a.g.e., s.316.

(8) Taha, Hamdy, A., "Operations Research An Introduction", Mac Millian Publishing Co., Inc., New York, 1971, s.362.



ŞEKİL 3.2. Bir şebeke diyagramı örneği.

Bir projedeki faaliyet sayılarının artması halinde, kurulan şebekedeki yolların her birinin toplam süresini hesaplamak güçleşecektir. Aynı zamanda kritik yol (veya kritik yollar) ve kritik faaliyetler bu şekilde belirlenirse, faaliyetlerin başlama ve tamamlanma zamanları ile geciktirilebilme süreleri elde edilemeyecektir. Bu nedenle kritik yolun ve kritik faaliyetlerin belirlenmesi için aynı zamanda faaliyetlere ilişkin programları elde eden daha etkin hesaplamalara başvurulur.

3.2.1. Faaliyet Zamanlarının Programlanması

Faaliyet zamanlarının programlanması için, hem bilgisayar programlamasına hem de işlemlerin elle yapılmasına uygun bir algoritma kullanılır. Bu algorithmada ilk önce şebeke, başlangıç olayından bitiş olayına doğru ileri gidis kurallarının uygulanması ile çözülür. Bu kurallar(9):

(9) Whitehouse, G.E., "Systems Analysis and Design Using Network Techniques", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1973, s.37-38.

1- Projeyi başlatan olayın en erken olay zamanı olarak sıfır alınır.

2- Her faaliyetin kendisini başlatan olay gerçekleştiği anda başladığı varsayılır. Bir faaliyetin en erken tamamlanma zamanı en erken başlama zamanına kendi süresinin eklenmesiyle bulunur.

3- En erken olay zamanı, bu olayla birleşen faaliyetlerin en erken tamamlanma zamanlarının en uzununa eşittir. Bitiş olayına gelinceye kadar ikinci adıma dönülür.

Şebeke diyagramı, bundan sonra benzer şekilde bitiş olayından geriye doğru, geri dönüş kurallarının uygulanması ile çözülür. Bu kurallar:

1- Projeyi bitiren olayın en erken olay zamanı, en geç olay zamanına eşitlenir.

2- Bir faaliyetin en geç tamamlanma zamanı, kendisini bitiren olayın en geç olay zamanına eşittir. Faaliyetin en geç başlama zamanı, en geç tamamlanma zamanından faaliyet süresinin çıkarılmasıyla belirlenir.

3- En geç olay zamanı, kendisinden çıkan faaliyetler arasından en geç başlama zamanlarının en kisasına eşittir. Başlangıç olayına gelinceye kadar ikinci adıma dönülür.

Olay ve faaliyetlere ilişkin zamanlar için aşağıdaki matematik semboller kullanılır:

t: Faaliyet süresi

T_E : En erken olay zamanı

T_L : En geç olay zamanı

ES: Faaliyetin en erken başlama zamanı

EF: Faaliyetin en erken tamamlanma zamanı

LS: Faaliyetin en geç başlama zamanı

LF: Faaliyetin en geç tamamlanma zamanı.

Yukarıdaki matematik sembolleri kullanarak ileri gidiş kuralları şöyledir:

1- $T_E = 0$ (Başlangıç olayı için)

2- $ES = T_E$ (Bu olayla başlayan faaliyetlerin herbiri için)

$$EF = ES + t$$

3- $T_E = \max \{EF_1, EF_2, \dots, EF_n\}$ (Bu olayla biten faaliyetlerin her biri için)
2. adıma dönülür.

Geriye dönüş kuralları:

1- $T_L = T_E$ (Bitiş olayı için)

2- $LF = T_L$ (Bu olayla biten faaliyetlerin her biri için)

$$LS = LF - t$$

3- $T_L = \min \{LS_1, LS_2, \dots, LS_n\}$ (Bu olayla başlayan faaliyetlerin her biri için) 2.adıma dönülür.

Yukarıdaki ileri gidiş ve geriye dönüş kurallarının uygulanması ile faaliyet zamanları programlanır. En erken başlama ve en geç başlama zamanları eşit (veya en erken tamamlanma ile en geç tamamlanma zamanı eşit) olan faaliyetler kritik faaliyet olarak belirlenecektir. Çünkü bu faaliyetlerdeki herhangi bir gecikme projenin tamamlanma zamanında bir gecikmeye neden olmaktadır. Şebekedeki bitiş olayının en erken (veya en geç) olay zamanı projenin tamamlanma zamanını verecektir.

Bu hesaplamalardan sonra faaliyetlerin geciktirilebilme süreleri hakkında bilgi veren serbest süreler hesaplanmıştır. İki önemli serbest süre vardır. TF ile gösterilen "toplam serbest süre (total float)" ve FF ile gösterilen "serbest süre (free float)"(10).

"Toplam Serbest Süre" bir faaliyetin proje tamamlanma süresini etkilemeden geciktirilebileceği süredir. Bu faaliyetin en geç tamamlanma ile en erken tamamlanma zamanları arasındaki fark (veya en geç başlama ile en erken başlama zamanları arasındaki fark) alınarak hesaplanır:

$$TF_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij} \text{ (veya } TF_{ij} = LS_{ij} - ES_{ij} \text{)}$$

"Serbest süre", kendisini hemen izleyen faaliyetleri etkilemeden bir faaliyetin geciktirilebileceği süredir. Bu sürenin hesaplanmasında, kendisini izleyen faaliyetin en erken başlama zamanı ile bu faaliyetin en erken tamamlanma zamanı arasındaki fark alınır:

$$FF_{ij} = |EF_{ij} - ES_{jk}|$$

Şebekenin tümüne bağlı olmayan serbest süre daha çok maliyet hesaplamalarında ve kaynak dağıtım problemlerinde kullanılır(11).

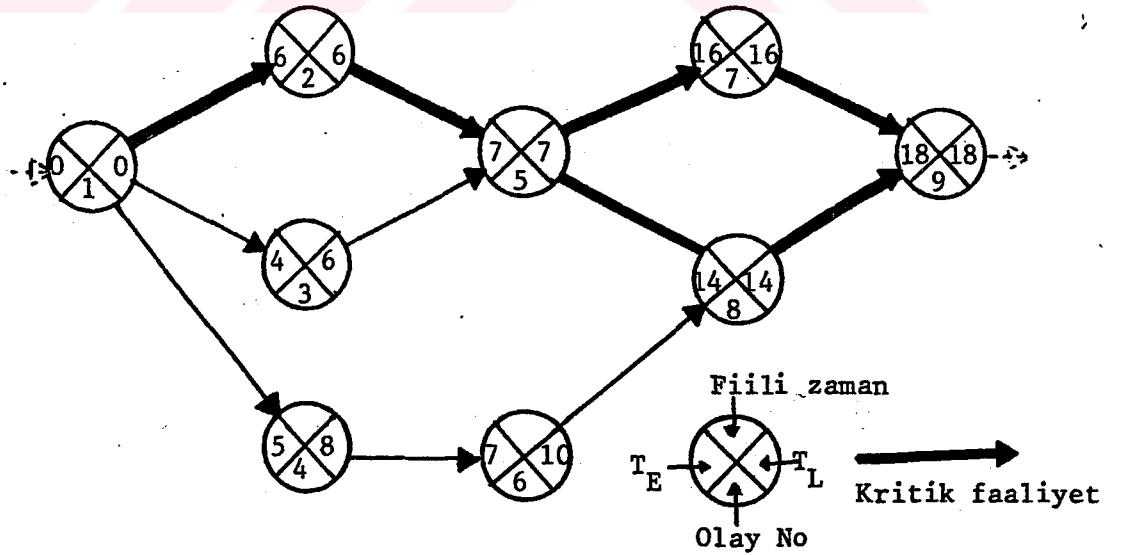
Bir şebekede kritik faaliyetin en erken başlama zamanı ile en geç başlama zamanları eşit olması gerekmektedir. Buna göre, toplam serbest süresi sıfır olan faaliyetler kritik faaliyet olarak da tanımlanabilir. Bir faaliyetin toplam serbest süresi sıfır ise serbest süresi de sıfır olacaktır. Fakat bu ifadenin tersi doğru değildir. Kritik olmayan bir faali-

(11) Taha, Hamdy, A., a.g.e., s.365.

yetin serbest süresi, toplam serbest süreden küçük hatta sıfır olabilmektedir(12).

Toplam serbest süre, projenin tamamlanma zamanını geciktirmeden bir faaliyetin ne kadar geciktirebileceği veya yavaşlatılabileceği hakkında bilgi verdiği göre bir faaliyetin kritiklik ölçüsü olarak bilinir(13). Proje tamamlanma zamanını kısaltmak için toplam serbest süresi sıfır olan kritik faaliyetlerin süresini kısaltmak gerekir. Toplam serbest süresi sıfır olmayan diğer bir deyişle kritik olmayan bir faaliyetin süresini kısaltmak veya hızlandırmak proje tamamlanma zamanını kısaltmayacaktır.

Faaliyet zamanlarının programlanmasına örnek olarak daha önce Şekil 3.2'de gösterilen şebekeyi ele alalım. Bu şebekede en erken ve en geç olay zamanlarının gösterilmesiyle Şekil 3.3'deki olay zamanları ve Tablo 3.1'deki faaliyet zamanlarına ilişkin bilgiler elde edilir.



ŞEKİL 3.3. Kritik faaliyetleri ve olay zamanlarını gösteren bir şebeke.

(12) Taha, H.A., a.g.e., s.365.

(13) Horowitz, E.-Sahni, S., a.g.e., s.317.

Olay zamanlarını şebekede göstermek için değişik simgeler kullanılabilir. Faaliyet zamanlarına ilişkin bilgiler, bu faaliyetlerin gösterildiği bağlar üzerinde verilebilir. Ancak bu tür gösterim şebeke üzerinde karışıklığa yol açacağından Tablo 3.1'de verilmiştir. Projedeki faaliyetlerin her biri başlangıç ve bitiş olay numaraları ile tanımlanmıştır. Karmaşık bir şebeke diyagramında faaliyetleri bu numaraları ile bulmak, ismini bulmaktan çok daha kolaydır.

TABLO 3.1. Faaliyet Zamanları

Faaliyetler	Süre	ES	EF	LS	LF	TF	FF
1-2	6	0	6	0	6	0*	0
1-3	4	0	4	2	6	2	0
1-4	5	0	5	3	8	3	0
2-5	1	6	7	6	7	0*	0
3-5	1	4	5	6	7	2	2
4-6	2	5	7	8	10	3	0
5-7	9	7	16	7	16	0*	0
5-8	7	7	14	7	14	0*	0
6-8	4	7	11	10	14	3	3
7-9	2	16	18	16	18	0*	0
8-9	4	14	18	14	18	0*	0

Proje tamamlanma zamanı: 18

* Kritik faaliyet

3.2.2. Kaynak Dağıtımı

CPM yönteminin getirdiği önemli bir analiz tekniği kaynak dağıtımı analizidir. Projenin mümkün olan minimum maliyetle tamamlanması için işletmenin elinde bulunan kısıtlı kaynakların, projedeki faaliyetler arasında en rasyonel şekilde dağıtımının planlanması gerekir(14). Eldeki kaynaklar sınırsız ise şüphesiz programlamada bir güçlük yoktur, faaliyetler üzerinde kaynak yoğunlaştırılmasıyla proje süresi kısaltılabilir. Fakat eldeki kaynaklar sınırlı ise kaynakların nasıl

(14) Akmut, Özdemir, "Proje Planlama ve Kontrol Yöntemleri", Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum, 1976, s.146.

dağıtılacağı problemi ortaya çıkar.

Kaynak dağıtım analizi başlıca iki şekilde yapılır(15).

1- Projeye ayrılan kaynak miktarı sabittir. Mevcut faaliyetler arasında optimum kaynak dağıtımını sağlayan proje zamanı bulunur.

2- Proje tamamlanma süresi sabittir. Projenin istenilen zamanda tamamlanabilmesi için yeterli miktarda kaynak temin edilir.

Kaynak miktarı sabit tutulduğunda, toplam serbest zamanı fazla olan faaliyetlerden belirli miktarda kaynak alıp kritik yol üzerindeki faaliyetlere aktarılmalıdır. Şüphesiz, bu faaliyetlerin aynı özellikte kaynak kullanmaları gerekmektedir. Böylece kritik faaliyetlerin hızlandırılmasıyla proje tamamlanma süresi de kısaltılabilecektir.

Proje tamamlanma süresi sabit tutulursa, proje süresi boyunca faaliyetlerin kaynak kullanım miktarlarını minimum seviyede tutmak gerekmektedir. Bunun için kritik olmayan faaliyetler, erken başlama zamanı (ES) ile geç tamamlanma zamanı (LF) arasında geriye ve ileriye kaydırılarak kaynak gereksinimi minimum seviyede tutulabilecektir. Bu kaynak seviyeleme problemine, matematik karmaşıklığı nedeniyle, optimum çözüm sağlayan bir teknik henüz geliştirilememiştir. Bu problemin çözümü için belirli bir zaman aralığında herhangi bir noktada projenin maksimum kaynak gereksinimini minimum yapan pratik sezgisel programlar kullanılmaktadır(16).

(15) Turner,G.J.-Elliot,K.R.J., "Project Planning and Control in the Construction Industry", Cassel and Company Ltd, London, 1964, s.35.

(16) Halaç,Osman, "Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması)", i.Ü.İşletme Fak., İstanbul, 1978, s.267.

3.2.3. CPM Yönteminde Maliyet Bilgilerinin Kullanımı

CPM yöntemi, planlama ve kontrol sürecine zaman, kaynak değişkenlerinden ayrı ve ek olarak maliyet değişkenini de katan bir kontrol yöntemidir(17).

CPM yönteminde maliyet zamana bağlı bir değişken olup maliyet-zaman ilişkisinde aşağıdaki iki amaç ileriye sürülebilir:

1- Toplam maliyeti minimum yapan proje tamamlanma zamanını belirlemek(18).

2- Projenin kısaltılabileceği minimum zamana, minimum maliyetle ulaşmak.

Proje tamamlanma zamanı ile doğrudan ve dolaylı maliyetler arasında bir ilişki vardır. Doğrudan maliyetler işçilik, malzeme, makina, teçhizat gibi giderleri kapsar. Dolaylı maliyetler ise faiz, kira, genel ve idari giderleri kapsar. Buna göre proje zamanı kısaltıldığında doğrudan maliyetler artarken dolaylı maliyetler azalacaktır. Toplam maliyeti (doğrudan ve dolaylı maliyetlerin toplamını) minimum yapan proje zamanının belirlenmesi amaçlanır. Bunun için, proje zamanı her bir iterasyonda birim zaman ölçüsünde kısaltılarak, hangi sürede toplam maliyetin minimum olduğu tespit edilebilir.

Projeyi, normal süreden minimum süreye kısaltmak proje maliyetini yükseltecektir. Bu nedenle proje süresi, mali-

(17) Ferman, C. M., "İşletme İktisadına Giriş Ders Notları", İ.Ö. İktisat Fakültesi, 1977, s.74.

(18) Armstrong, A. T. - Wright, "Critical Path Method", Longmans, Green and Co. Ltd. London, 1969, s.62.

yet minimum yükselecek şekilde, minimum süreye düşürülmesi amaçlanır. Bunu gerçekleştirmek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Ancak bu yöntemlerde iterasyon sayısı çok fazladır. İterasyon sayısını azaltan sezgisel bir yöntem de geliştirilebilir.

3.3. PERT TEKNİĞİ

PERT, proje değerlendirme ve gözden geçirme (Project Evaluation and Review Technique) tekniği, CPM yönteminden bağımsız geliştirilmesine karşın hemen hemen aynıdır. PERT tekniği, faaliyet sürelerinin belirsiz olduğunu dolayısıyla proje tamamlanma süresinin de belirsizlik taşıdığını varsayar. Bu özelliği ile PERT'i CPM'den ayıran temel nokta faaliyet sürelerinin probabilistik olmasıdır. Özellikle daha önceden hiç yapılmamış projelerde faaliyetlerin süreleri tam olarak bilinemez. Bu projeleri planlamak ve kontrol etmek için PERT tekniği kullanılır. Örneğin askeri araştırmalarda, nükleer çalışmalarda, uzay araçlarının programlanmasında, araştırma ve geliştirme v.b. projelerde faaliyet süreleri probabilistiktir.

PERT tekniği, süreleri tam bilinmeyen faaliyetleri ele alması ve olasılık hesaplarının kullanılması nedeniyle, kapsamı CPM yöntemine göre daha geniştir. Olaylardan hareket ederek proje analizini yapan bu tekniğin kullandığı üç zaman aşağıda tanımlanmıştır(19):

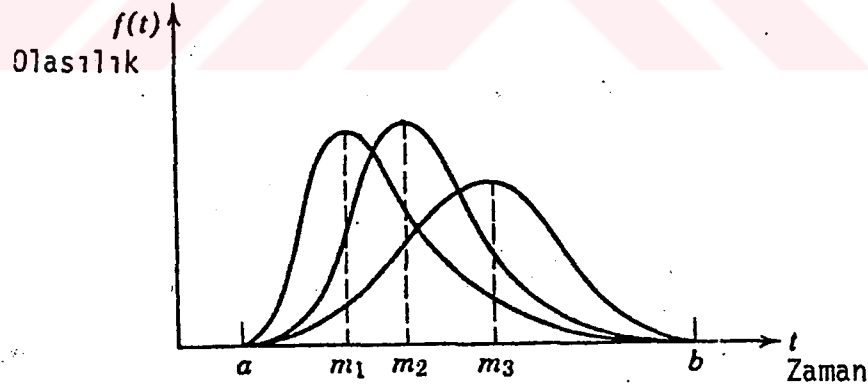
- iyimser Zaman (Optimistic time): Faaliyetin yapılmasından hiçbir aksilik olmadığı durumda faaliyetin en erken tamamlanabileceği süredir. Faaliyetin bu sürede tamamlanma olasılığı çok düşüktür.

(19) Archibald, R.D.-Villoria, R.L., "Network-Based Management Systems (PERT/CPM)", John Wiley and Sons, New York, 1967, s.80.

- En muhtemel zaman (The most likely time): Herşeyin beklendiği gibi gitmesi durumunda ortaya çıkan süredir. Faaliyetin bu sürede gerçekleşme olasılığı çok yüksektir.

- Kötümser Zaman (The pessimistic time): Bütün koşulların elverişsiz olması durumunda bir faaliyetin en geç tamamlanabileceği süredir. Faaliyet bu süre sonunda % 100 tamamlanır. Fakat bu sürenin gerçekleşme olasılığı çok düşüktür.

iyimser zamanın "a", en muhtemel zamanın "m" ve kötümser zamanın "b" ile gösterildiği tahmin değerlerinin dağılım aralığı (b-a) dır. En muhtemel zaman, dağılımın orta değeri olan $(a+b)/2$ değerine eşit olması gerekmez. m değeri Şekil 3.4'de görüldüğü gibi ortalamanın sağında veya solunda olabilir(20). Bu özellikleri nedeniyle her faaliyet süresinin, uç noktaları a ve b, tepe noktası m olan beta dağılımına uygun olduğu varsayılmıştır.



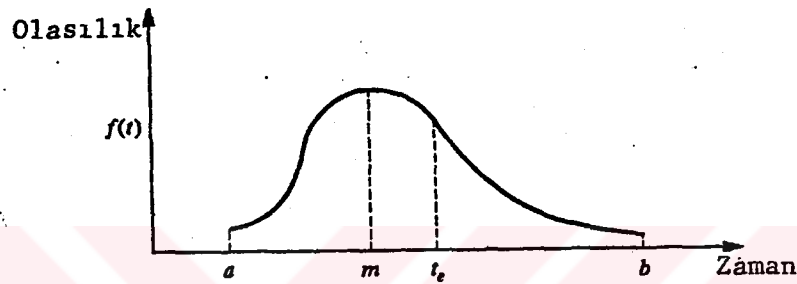
ŞEKİL 3.4. PERT beta dağılım örnekleri.

PERT tekniğinde hesaplamalar beklenen faaliyet süresi kavramından yararlanarak yapılır. Bir faaliyetin beklenen süresi (t_e)'nin yaklaşık değeri;

(20) Archibald, R.D.-Villoria, R.L., a.g.e., s.449.

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

formülüyle hesaplanır. Faaliyetin % 50 olasılık ile tamamlanacağını gösteren t_e süresi eğriyi iki eşit alana böler (bkz. Şekil 3.5).



ŞEKİL 3.5. Mod ve beklenen değeri gösteren bir PERT dağılımı.

Faaliyetlerin belirsizlik dereceleri, standart sapma " σ_{t_e} " veya Varyans " V_{t_e} " değerlerine göre belirlenir. Beta dağılımına göre beklenen değer ile üçlü zaman kestirimleri arasındaki standart sapma ve standart sapmanın karesi olan varyans şu formüllerle belirtilir(21).

$$\sigma_{t_e} = \frac{b-a}{6} \quad ; \quad V_{t_e} = \sigma_{t_e}^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2$$

Beta dağılımı parametreleri olarak alınan a , m ve b değerlerinin yanlış tahmini t_e , σ_{t_e} ve V_{t_e} değerlerinde hatalara neden olacaktır. Bu hata payı tüm projeyi çok etkilemeyeceğinden yukarıda verilen formüller standart bir şekilde kullanılmaktadır(22). Faaliyet sürelerinin gerçek dağılımı bilinmediği için daha önce belirtilen özellikleriyle beta dağılımına uygun olduğu kabul edilmiştir. Ancak bu özelliklere sahip diğer dağılımlar da vardır. Bu nedenle beta dağılımına göre

(21) Miller, R.W., a.g.e., s.42.

(22) Karayalçın, İlhami, "Harekat Araştırması Dersleri", İst. Teknik Univ. Mat., Gümüşsuyu-İst., 1968, s.255.

hesaplanan beklenen süre ve standart sapma değerlerinde hatalar söz konusu olabilecektir(23).

3.3.1. PERT Şebekesinde Kritik Yolun Belirlenmesi

PERT Şebekesinde faaliyetlerin gösterildiği çizgi veya okların üzerine beklenen faaliyet süresi (t_e) ve varyans (V_{t_e}) değerleri yazılır. Şebekenin her bir düğüm noktasına (olaya) gelen yol üzerindeki faaliyetlerin beklenen süreleri toplanır. Eğer bu olaya gelen birden fazla yol varsa, bu olayın en erken zamanının beklenen değeri " μ_{T_E} ", bu yolların toplam değerlerinin maksimumuna eşittir. Aynı şekilde her olayın en erken zamanının varyansı da en uzun süreli yol üzerindeki toplam varyansı olacaktır.

Her olayın en geç gerçekleşme zamanının beklenen değeri " μ_{T_L} ", bitiş olayından başlangıç olayına doğru gidilerek hesaplanır. Bitiş olayında μ_{T_E} , μ_{T_L} değerine eşitlenir, varyansı (V_{T_L}) ise sifıra eşitlenir. CPM yöntemindeki geriye dönüş kurallarına benzer şekilde her olay için μ_T ve V_T değerleri hesaplanır(24).

PERT analizinde her olay için yalnız bir tür serbest süre veya gecikme zamanı hesaplanır. Bu gecikme zamanı (slack-time) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

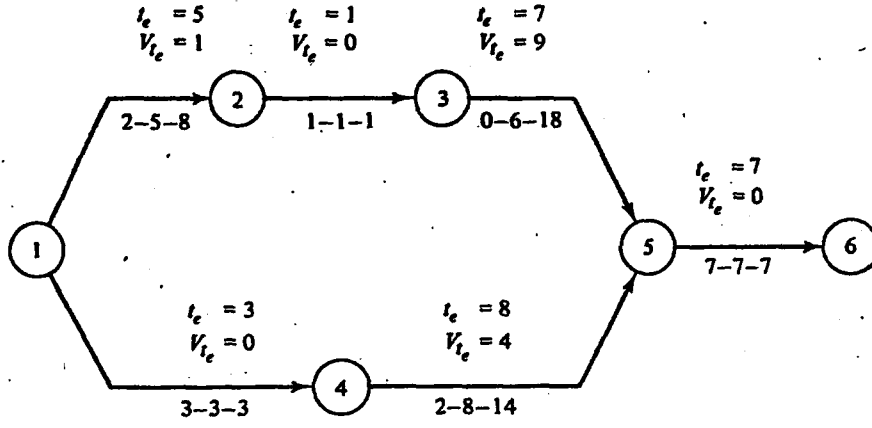
$$S = \mu_{T_L} - \mu_{T_E}$$

PERT hesaplamaları Şekil 3.6'da görülen şebeke üzerinde yapıldığında her olaya ilişkin bilgiler Tablo 3.2'de gösterilmiştir(25).

(23) Daha ayrıntılı bilgi için bkz. Archibald, R.D.-Villoria, R.L., a.g.e., s.447-464.

(24) Whitehouse, G.E., a.g.e., s.43.

(25) a.g.e., s.42-43.



ŞEKİL 3.6. PERT şebeke örneği.

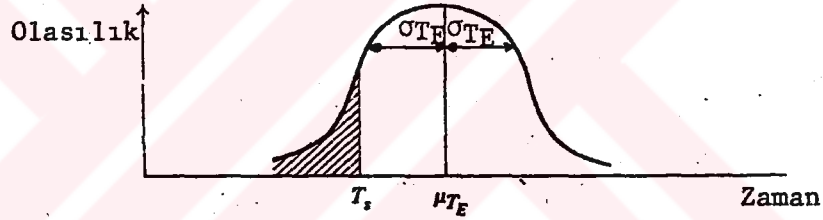
TABLO 3.2. PERT Hesaplamaları

Olay No	En Erken Zaman(T_E)		En Geç Zaman(T_L)		Gecikme (s)
	Beklenen Değer(μ_{T_E})	Varyans ($\sigma_{T_E}^2$)	Beklenen Değer(μ_{T_L})	Varyans ($\sigma_{T_L}^2$)	
1	0	0	0	10	0
2	5	1	5	9	0
3	6	1	6	9	0
4	3	0	5	4	2
5	13	10	13	0	0
6	20	10	20	0	0

Bu hesaplamalardan sonra kritik yolun bulunması için Tablo 3.2'deki gecikme sütünü incelenir. Sıfır gecikmeli olaylar kritik yol üzerinde olmalıdır. Buna göre Şekil 3.3'deki 1-2-4-5 yolu kritik yol olacaktır. Bu hesaplamalardan görüldüğü gibi PERT analizi olaylara yöneliktir.

3.3.2. PERT Şebekelerinde Olasılık Kavramı

PERT şebekelerini programlamada "b" değerinin "a" değerinden çok farklı değerler alması, faaliyet süresine pek çok faktörün etkilediğini göstermektedir. Bunun anlamı faaliyette çok belirsizlikler var demektir. t_e 'nin varyansının artması, faaliyetin t_e süresinde gerçekleşme olasılığı azalıyor anlamına gelir. İşte PERT tekniğini CPM'den ayıran temel özelliklerden biri de, olasılıkların hesaplanmasıdır. Örneğin bir olay için programlanmış bir zamanın " T_s " gerçekleşme olasılığı saptanabilir. Merkezi limit teoremine göre, bir olayın en erken tamamlanma süresinin dağılımı, ortalaması " μ_{TE} " ve standart sapması " σ_{TE} " olan bir normal dağılım olduğu kabul edilir (bkz.Şekil 3.7)(26).



ŞEKİL 3.7.

Bir olayın, beklenen en erken gerçekleşme zamanı " μ_{TE} " ve standart sapması σ_{TE} ise bu olayın programlanmış " T_s " zamanında veya bu zamandan önce gerçekleşme olasılığı, Şekil 3.7'deki eğrinin altındaki T_s 'ye kadar olan alan hesaplanarak bulunur. Bu alanı hesaplamak için T_s 'ye karşılık gelen z standart normal değeri bulunur.

$$Z = \frac{T_s - \mu_{TE}}{\sigma_{TE}}$$

Bu z değeri, Tablo 3.3 veya pek çok olasılık ve istatistik kitaplarında bulunan daha ayrıntılı tablolar yardımıyla, kümülatif olasılık değerlerine dönüştürülür.

Şekil 3.6'daki PERT şebekesi için 6 olayın (projenin bitiş olayını) 18 zaman biriminde veya daha kısa zamanda tamamlanma olasılığını bulalım. Tablo 3.2'de $\mu_{TE} = 20$ ve $V_{TE} = 10$ olduğuna göre $\sigma_{TE} = \sqrt{V_{TE}} = \sqrt{10}$ olur. Buna göre z değeri:

$$z = \frac{18-20}{\sqrt{10}} = -0.64$$

olarak hesaplanır. Tablo 3.3'den bu z değerine 0.26 karşılık gelir ki bu değer projenin % 26 olasılıkla 18 zaman birimi veya daha kısa zamanda tamamlanma olasılığıdır.

TABLO 3.3. Standart Normal Fonksiyonun Yaklaşık Değerleri

<u>z</u>	<u>Kümülatif Olasılık</u>	<u>z</u>	<u>Kümülatif Olasılık</u>
-2.0	0.02	+0.1	0.54
-1.5	0.07	+0.2	0.58
-1.3	0.10	+0.3	0.62
-1.0	0.16	+0.4	0.66
-0.9	0.18	+0.5	0.69
-0.8	0.21	+0.6	0.73
-0.7	0.24	+0.7	0.76
-0.6	0.27	+0.8	0.79
-0.5	0.31	+0.9	0.82
-0.4	0.34	+1.0	0.84
-0.3	0.38	+1.3	0.90
-0.2	0.42	+1.5	0.93
-0.1	0.46	+2.0	0.98
0	0.50		

4. GENELLEŞTİRİLMİŞ FAALİYET ŞEBEKELERİ

4.1. GENELLEŞTİRİLMİŞ FAALİYET ŞEBEKELERİNE GİRİŞ

Bu bölüme kadar tartıŐılan CPM ve PERT tipi Şebekelerde bitiş olayının gerçekleŐmesinden önce dallarla gösterilmiş olan bütün faaliyetlerin ve dgm noktaları ile gösterilen bütün olayların gerçekleşmesi gerekiyordu. Diğer bir deyişle, PERT ve CPM Şebeke analizi, Şebekedeki tüm faaliyet ve olayların deterministik olduğu varsayımı ile yapılıyordu. PERT tipi Şebekelerde belirtilen belirsizlik sadece faaliyet süreleriyle ilgiliydi. Faaliyetlerin gerçekleşmesi veya gerçekleşmemesi ile ilgili bir belirsizlik yoktu. Üretim, ekonomik v.b. sistemlerde mantiki kararlar ve birçok belirsiz faaliyetler söz konusu olduğundan bu tip sistemlerin analizi için PERT ve CPM tipi deterministik modeller yetersiz kalmaktadır(1).

Bu tip Şebekelerin geliştirilmesi olarak, PERT Şebekelerinde olasılık kavramı kullanılarak projeyi temsil eden alternatif Şebekelerin bulunabileceği önerilmiştir(2). Bu genelleŐtirme "Probabilistik PERT" olarak bilinir. Bu kavram, Şe-

(1) Elmaghraby, S.E., "The Theory of Networks and Management Science: Part II", Management Science, Vol.17, No 2, October, 1970, s.13-62.

(2) Freeman, R.J., "A Generalized PERT", Operation Research, Vol.8, No 2, 1960, s.281.

bekedeki alternatif yolları grafik olarak göstermek için karar noktası (decision box) adı verilen yeni bir düğüm tipi PERT'e katılarak, genelleştirildi(3).

Herhangi bir olaydan sonra ya da bir veya birkaç faaliyetin bitimini belirleyen bir kavşak noktasında proje yöneticisi daha sonraki faaliyetin yapılışı hakkında karar vermek durumunda kalabilir. PERT şebekesinde kendisinden sonra gelen faaliyet veya faaliyetler için çeşitli alternatiflerin söz konusu olduğu olaylara karar noktası adı verilir. Eğer bir olaydan sonra yer alan iki veya daha fazla faaliyetlerin hepsi gerçekleşecek ise bu faaliyetlere "bağlı (conjunctive)", sadece bir faaliyet yapılacaktır ise "bağlı olmayan (disjunctive)" faaliyet denilir. PERT şebekesi sadece bağlı faaliyetleri içermektedir. Bu nedenle PERT şebekesi, daha genel alternatif faaliyetli şebekenin özel bir hali olarak düşünülebilir. Olayları ve karar noktalarını içeren şebeke tipi, Şekil 4.1'de gösterilmiştir(4).

Alternatif yollarla ilgili benzer gelişme CPM şebekeleri için de önerilmiş ve "Decision CPM" adı verilmiştir(5).

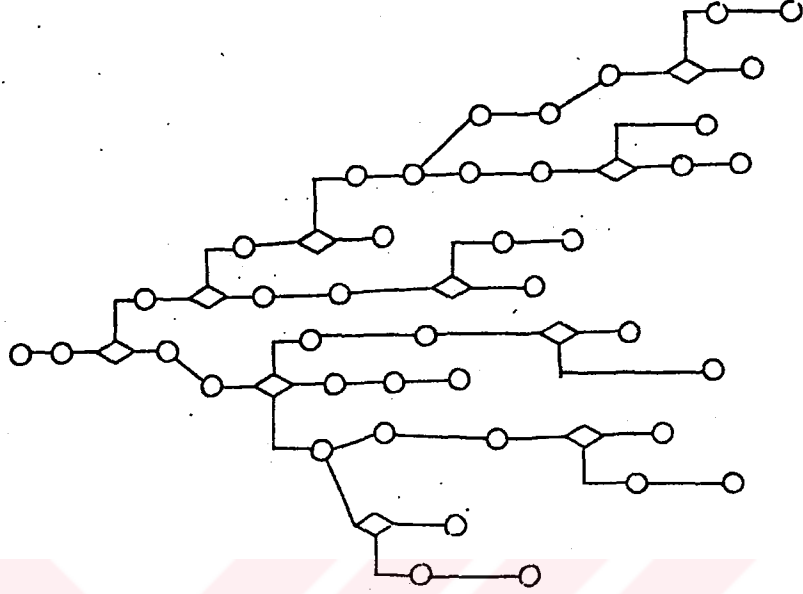
4.2. GAN MODELİ

Elmaghraby 1964 yılında çok parametrelili dal ve mantıki unsurlar olan karar merkezleri için bir notasyon geliştirmiştir. Genelleştirilmiş faaliyet şebekeleri (Generalized Activity Networks) kısa adıyla "GAN" sözcüğünü bu türden şe-

(3) Eisner, Howard, "A Generalized Network Approach to the Planning and Scheduling of a Research Program", Operations Research, Vol.10, No 1, 1962, s.115-125.

(4) a.g.e., s.117.

(5) Crowston, W., ve Thompson, G.L., "Decision CPM: A Method for Simultaneous Planning, Scheduling and Control of Projects", Operations Research, Vol.15, No 3, 1967, s.407 - 426.



ŞEKİL 4.1. Alternatif faaliyetli şebeke.

bekeleri tanımlamak için kullanmıştır. Yeni tip düğümlerin tanımlanmasıyla faaliyet şebekeleri yapısını genelleştirmede önemli bir atılım yapılmıştır. Bir düğümden çıkan alternatif faaliyetlerin seçilmesiyle ilgili özellikler tanımlanmış olmasına karşın bir düğüme giren faaliyetlerin düğüm ile ilişkisi tanımlanmamıştır. GAN modelinde her bir düğüm noktası, bağların sonunda ise "alıcı (receiver)", bağların arkasında ise "dağıtıcı (emitter)" veya "kaynak (source)" kısımlarıyla iki ayrı yönde tanımlanmıştır(6). Düğümlerin alıcı yönü üç farklı tiptedir:

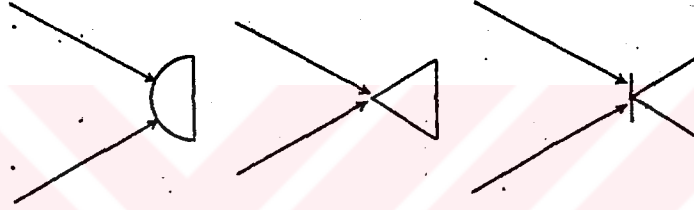
1- VE (AND): Düğüme gelen faaliyetlerin herbiri gerçekleştiği zaman bu düğüm gerçekleşir. Düğümün gerçekleşme zamanı, düğüme gelen faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin en uzununa eşittir.

(6) Elmaghraby, S.E., "Activity Networks: Project Planning and Control by Network Models", John Wiley and Sons, New York, 1977, s.326.

2- VE/VEYA (INCLUSIVE-OR): Dügüme gelen faaliyetlerden birinin veya birkaçının gerçekleşmesi halinde düğüm gerçekleşir. Gerçekleşme zamanı bu düğüme gelen faaliyet sürelerinin en küçüğüne eşittir.

3- VEYA (EXCLUSIVE-OR): Dügüme gelen faaliyetlerden sadece ve sadece biri gerçekleştiği zaman düğüm gerçekleşir.

Bir düğümün üç farklı alıcı tipini gösteren grafik semboller Şekil 4.2'de gösterilmiştir(7).



ŞEKİL 4.2. Dügümlerin üç farklı alıcı tipi.

Bitiş düğümü dışındaki düğümlerin herbirinden enaz bir dal çıkmaktadır. Bu dalların gerçekleşmesi ile ilgili düğümün dağıtıcı yönü tanımlanmıştır. Dügümlerin dağıtıcı veya kaynak yönü iki tiptedir:

1- Deterministik: Bu düğümün gerçekleşmesi halinde bu düğümden çıkan faaliyetlerin herbiri gerçekleşir.

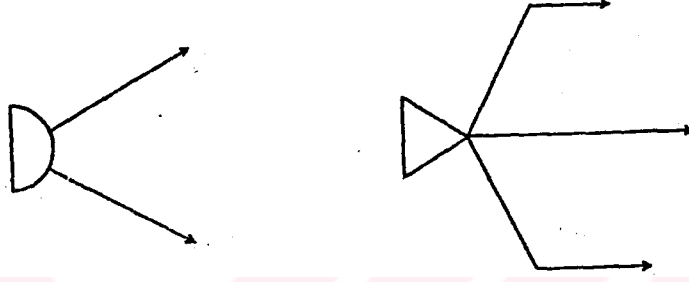
2- Probabilistik: Bu düğümün gerçekleşmesi halinde bu düğümden çıkan faaliyetlerden sadece biri, birden küçük olasılıkla gerçekleşir.

Bir düğümün iki farklı dağıtıcı tipi Şekil 4.3'de gös-







(7) Elmaghraby, S.E., "On Generalized Activity Networks", Journal of Industrial Engineering, Vol.18, No 11, 1976, s.622.

terilmiştir(8).

Bir düğümün alıcı tiplerinden biri ile dağıtıcı tiplerinden biri birleştirilerek düğümün tam bir karakteri belirlenir. Böylece Şekil 4.4'de gösterildiği gibi altı farklı düğüm tipi ortaya çıkar(9).



ŞEKİL 4.3. Kaynak düğüm tipleri.

<u>Grafik Sembol</u>	<u>Alıcı Tipi</u>	<u>Kaynak Tipi</u>
	Ve	Deterministik
	Ve/Veya	Deterministik
	Veya	Deterministik
	Ve	Probabilistik
	Ve/Veya	Probabilistik
	Veya	Probabilistik

ŞEKİL 4.4

Eğer bir düğüme bir dal giriyor ve bir dal çıkıyor ise bütün düğümler aynı davranışta bulunurlar.

GAN modelinin temel elemanı Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Bu eleman, i ve j düğümleri ile bu düğümleri birleştiren $a = (i,j)$ yönlü bağından oluşur. Bu bağ üzerinde boyutu en az

(8) a.g.m., s.622.

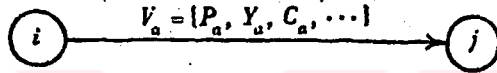
(9) a.g.m., s.622.

iki olan ($m \geq 2$) V_a parametre vektörü tanımlanmıştır. Şekil 4.5'te bu parametre vektörünün sadece üç boyutu gösterilmiştir(10):

P_a : i düğümünün gerçekleşmesi halinde $a = (i,j)$ faaliyetinin gerçekleşme olasılığıdır.

Y_a : a faaliyetinin gerçekleşmesi halinde a faaliyetinin süresini gösteren ve belli bir olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahip bir rastgele değişkendir. Y_a rastgele değişken olabildiği gibi sabit de olabilir.

C_a : Y_a süresine bağlı olan veya bağlı olmayan bir maliyet fonksiyonudur.



ŞEKİL 4.5. GAN modelinin temel elemanı.

İlk iki parametre her zaman belirtilir. Parametre vektörüne maliyet, kâr, kaynak tüketimi gibi parametrelerde ilave edilebilir. Eğer faaliyetin gerçekleşmesi kesin ise P_a parametresine gerek yoktur. Eğer faaliyetlerin herbiri gerçekleşecek ise GAN modeli PERT modeline indirgenmiş olur. Eğer herbir faaliyetin süreleri de sabit olarak tanımlanmış ise GAN modeli daha basit CPM modeline indirgenmiş olur(11).

4.3. ÇIZGE İNDİRGEMENİN TEMEL CEBRİ

Grafik modelleri kullanmanın amaçlarından biri sistemi bir bütün olarak görmemize yardımcı olmasıdır. Örneğin noktalara gösterilmiş fonksiyonel ilişkiler, organizasyon şemaları, iş akış diyagramları ve GANTT Diyagramları bu amacı gerçekleştirir. Fakat bu gösterimlerde sistemin bileşenleri arasındaki ilişkilerin matematik tanımı mevcut değildir. Bu ne-

(10) Elmaghraby, S.E., "The Theory of Networks and Management Science: Part II" Management Science, Vol. 17, No 2, 1970, s.13-63.

(11) Elmaghraby, S.E., a.g.e., "Activity Networks", s.326.

denle bu tip grafik gösterimler matematik analiz ve basitleştirme aracı olarak kullanılamazlar(12).

Elektrik akımları ve kendi kendini kontrol edebilen sistemlerin analiz ve sentezinde kullanılan "sinyal akış grafikleri" ve "blok diyagram" gibi grafik teknikler geliştirilmiştir. Bu grafiklerin çeşitli bileşenleri arasında tam bir matematik ilişki vardır, karmaşık şemaları basitleştirme ve girdi-çıkışı ilişkilerini türetmek için bir cebir geliştirilmiştir.

Probabilistik faaliyetli ve olaylı sistemlerin analizinde kullanılan bu cebir yönetim ve mühendislik problemlerinin birçoğuna uygulanabilir. Örneğin araştırma ve geliştirme faaliyetlerini kapsayan projeler, stokastik akışlı şebekelerde (trafik, iletişim veya malzeme) bu cebir kullanılabilir.

Elmaghraby karmaşık grafikleri basitleştirmek ve girdi-çıkışı ilişkisini belirlemek amacı ile geliştirdiği bu cebir ile başlangıç düğümünü bitiş düğümüne birleştiren bir "eşdeğer eleman (equivalent element)" tanımlamıştır. Orjinal çizgenin eşdeğer elemana indirildiği temel indirgeme cebiri Şekil 4.6 da özetlenmiştir(13).

	Orjinal Şebeke	Adı	Eşdeğer Bağ
a.		Seri	$p_e = p_a \cdot p_b$ $t_e = t_a + t_b$
b.		Paralel "VE"	$p_e = P(a \cap b)$ $t_e = \max(t_a, t_b)$
c.		Paralel "VE/VEYA"	$p_e = P(a \cup b)$ $t_e = [t_a p_a + t_b p_b + \{\min(t_a, t_b) - t_a - t_b\} P(a \cap b)] / p_e$
d.		Paralel "VEYA"	$p_e = P(a \cup b) - P(a \cap b)$ $t_e = [t_a p_a + t_b p_b + M \cdot P(a \cap b)] / p_e$
e.		Tek Döngü	$p_e = p_c / (1 - p_c)$ $t_e = t_a + [t_b + t_c p_c / (1 - p_c)]$

ŞEKİL 4.6. Temel cebirin özeti

(12) Elmaghraby, S.E., "An Algebra for the Analysis of Generalized Activity Networks", Management Science, Vol. 10, No 3, 1964, s.494.

(13) Elmaghraby, S.E., a.g.m., "On Generalized", s.623.

Şekil 4.6 (a) seri bağlı GAN modelinde iki olasılık çarpılır ve bağların (faaliyetlerin) süreleri toplatılarak 2 düğümü çıkartılır. Buna göre eşdeğer e bağı, $P_e = P_a \cdot P_b$ olasılık ile $t_e = t_a + t_b$ süresinde gerçekleşir.

Şekil 4.6 (b) paralel bağlarda "VE" ilişkisini göstermektedir. Eşdeğer e bağı, "VE" düğümünün özelliğinden dolayı, $P_e = P(anb) = P_a \cdot P_b$ olasılık ile $t_e = \max(t_a, t_b)$ süresinde gerçekleşir.

Şekil 4.6(c) paralel bağlarda "VE/VEYA" ilişkisini göstermektedir. a ve b faaliyetleri birlikte $P(anb)$ olasılıkla gerçekleşir. Sadece a faaliyeti $P(a) - P(anb)$ olasılığı ile gerçekleşirken sadece b faaliyeti de $P(b) - P(anb)$ olasılığı ile gerçekleşir. Buna göre eşdeğer e bağının gerçekleşme olasılığı $P_e = P(aub)$ olur. Bu olasılık ile e bağının beklenen gerçekleşme süresi:

$$\bar{t}_e = t_a P_a + t_b P_b + \{\min(t_a, t_b) - t_a - t_b\} P(anb)$$

bulunur.

Şekil 4.6 (d) paralel bağlarda "VEYA" ilişkisini göstermektedir. 2 nolu düğümün gerçekleşmesi için a veya b faaliyetlerinden sadece biri gerçekleşmesi gerekir. a ve b nin birlikte gerçekleşme olasılığı $P(anb)$ dir. Fakat bu olasılık ile 2 nolu olay gerçekleşmeyecektir. Buna göre eşdeğer e bağının gerçekleşme olasılığı:

$$P_e = P(aub) - P(anb) = P_a + P_b$$

olur. M çok büyük bir süreyi göstermek üzere P_e olasılığı ile e bağının beklenen gerçekleşme süresi:

$$\bar{t}_e = t_a P_a + t_b P_b + \{M - t_a - t_b\} P(anb)$$

bulunur.

Şekil 4.6 (e)'de 2'nolu düğümden çıkan ve yine 2' nolu düğüme dönen tek-döngü (self-loop) kullanılmıştır. Bu bağ tanımlanmadan önce şebekelerde tekrarlanarak yapılması gereken faaliyetleri gösterebilmek mümkün değildi: C döngü bağı,

b bağından önce tanımlandığından bu iki bağı seri bağı ilişkisi oluşturur. 1 nolu düğümü 2 nolu düğüm ile birleştiren eşdeğer e bağıının olasılığı ve beklenen gerçekleşme süresini hesaplamadan önce 2' nolu düğmeden 2 nolu düğme olan olasılık ve beklenen gerçekleşme süresi hesaplanır. c faaliyetinin kaç kez tekrarlandığı bilinmediğinden 2' düğümünden 2 düğümüne olan P_d olasılığı ve \bar{t}_d gerçekleşme süresi Tablo 4.1'den kolayca hesaplanabilir(14).

TABLO 4.1-

<u>Döngü Sayısı</u>	<u>Beklenen Süre</u>	<u>Gerçekleşme Olasılığı</u>
0	t_b	P_b
1	$t_b + t_c$	$P_b \cdot P_c$
2	$t_b + 2t_c$	$P_b \cdot P_c$
.	.	.
.	.	.
.	.	.
n	$t_b + nt_c$	$P_b \cdot P_c^n$
.	.	.
.	.	.
.	.	.

Tablo 4.1'in son kolonundaki olaylar karşılıklı bağıdaşmaz olaylar oldukları için 2' nolu düğümden 2 nolu düğüme P_d olasılığı son kolondaki olasılıkların toplamlarıyla bulunur:

$$P_d = \sum_{n=0}^{\infty} P_b (P_c)^n = P_b / (1 - P_c)$$

(14) Elmaghraby, S.E., "An Algebra...", s.500.

Son iki kolonun çarpımlarının toplamı alınarak 2' nolu düğümden 2 nolu düğüme olan beklenen gerçekleşme süresi aşağıdaki formül ile bulunur:

$$\begin{aligned}\bar{t}_d &= \sum_{n=0}^{\infty} (t_b + nt_c) P_b (P_c)^n = t_b P_b / (1 - P_c) + t_c P_b P_c / (1 - P_c)^2 \\ &= \{t_b + t_c P_c / (1 - P_c)\} P_b / (1 - P_c)\end{aligned}$$

2' nolu düğümden çıkan bağlar sadece b ve c ise $P_c = 1 - P_b$, dolayısı ile $P_d = 1$ ve gerçekleşme süresi

$$\bar{t}_d = t_b + t_c P_c / (1 - P_c)$$

olur. a faaliyeti 1 düğümünden çıkan tek faaliyet olduğu için olasılığı $P_a = 1$ dir. Tüm şebekenin eşdeğer e bağının olasılığı $P_e = P_b / (1 - P_c)$ olarak kalacaktır. Aynı zamanda $P_c = 1 - P_b$ olduğundan $P_e = P_a \cdot P_d = 1$ olacak ve eşdeğer e bağının beklenen süresi:

$$\bar{t}_e = t_a + t_b + t_c P_c / (1 - P_c)$$

olacaktır.

Elmaghraby'nin geliştirdiği bu cebir şebekeleri basitleştirmek için kullanışlı bir araç olmakla beraber kesin bir çözüm yöntemi ortaya koymaması nedeniyle karmaşık şebekeleri basitleştirmede yararlı olmamaktadır. Aynı zamanda bu cebir sabit zamanlı dallar için geçerlidir. Faaliyet tamamlanması için gerekli sürenin kesin olarak bilinmediği durumlarda kullanılmamaktadır(15).

(15) Pritsker, A.A.B., -Happ, W.W., "GERT: Graphical Evaluation and Review Technique Part I. Fundamentals", Journal of Industrial Engineering, Vol. 17, No 5, 1966, s.268.

4.4. GERT TEKNİĞİ

İlk önceleri SNAP (Stokastik Network Analysis Procedure) olarak bilinen stokastik şebeke analizi, daha sonra PERT genelleştirmesiyle olan ilgisi ve sistemin grafik niteliğini göstermek amacıyla GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) adını almıştır(16). Stokastik şebekeler, mantıki düğümler, probabilistik faaliyet gerçekleşmesi ve stokastik parametrelerle karakterize edilir. İşte bu tip şebekelerin analizi için GERT tekniği kullanılır.

GERT, stokastik yapıllı şebekelerin analizi için akış grafikleri (flowgraphs), moment üreten fonksiyonları (Moment Generating Functions) ve PERT (Probabilistik Evaluation and Review Technique) kavramlarını birleştirir. PERT'ten bir faaliyetin dal ile gösterilebileceğini ve gerekli olan sürenin bu dalın bir parametresi olduğu kavramı alınmıştır. Şebekenin girdi-çıkıtı ilişkisini elde etmek için akış grafiği kuramındaki topolojik denklemlerden yararlanılır.

GERT şebekesindeki semboller Tablo 4.2'de gösterilmektedir. Hatırlanacağı üzere bu düğüm tipleri Elmaghraby'nin tanımladığı düğümlerdir. Bu nedenle ilk GERT gelişmeleri Elmaghraby'nin yeni tip düğümleri tanımlamasıyla başlamıştır. Daha sonra Pritsker ve Happ(17), Pritsker ve Whitehouse(18) bu grafik tekniğin teorik temellerini atmışlardır.

(16) Pritsker, A.A.B., "Modeling and Analysis Using Q-GERT Network", John Wiley and Sons Inc., New York, 1979, s. 12.

(17) Pritsker, A.A.B.-Happ, W.W., a.g.m., s.267-274.

(18) Pritsker, A.A.B.-Whitehouse, G.E., "GERT: Graphical Evaluation and Review Technique Part II. Probabilistik and Industrial Engineering Applications", Journal of Industrial Engineering, Vol.17, No 5, 1966, s.293-301.

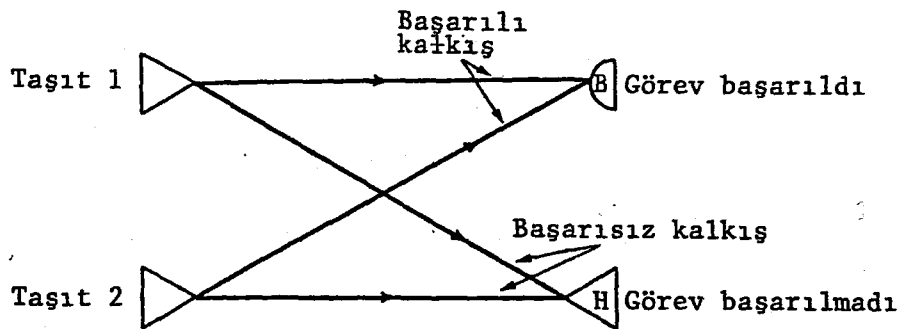
TABLO 4.2. Dügüm Özellikleri ve Sembolleri

Çıktı \ Girdi	"VEYA"	"VE/VEYA"	"VE"
	Deterministik D	◀	◁
Probabilistik ▷	◀	◁	◐

Stokastik bir şebekede her düğüm için bir girdi (veya alıcı) ve çıktı (veya dağıtıcı) fonksiyonu vardır. Tablo 4.2 de daha önceden tanımlarını verdiğimiz girdilerle ilgili 3 mantıki ilişki, çıktılarıyla ilgili 2 mantıki ilişki gösterilmektedir(19).

Aşağıda GERT şebekelerinin hazırlanması ile ilgili bir örnek verilmektedir. İki taşıtın buluşması ile ilgili uzay çalışmasını ele alalım. Buluşmanın başarılı olması için her iki taşıtın kalkışları başarı ile gerçekleşmelidir. Bu problem ile ilgili stokastik şebeke Şekil 4.7'de görülmektedir(20).

B düğümünün gerçekleşmesi için bu düğüme gelen her iki dalın da gerçekleşmesi gerekir ("VE" düğümünün özelliği), H düğümü ise kendisine gelen dallardan en az birinin gerçekleşmesi halinde gerçekleşecektir ("VE/VEYA" düğümünün özelliği).

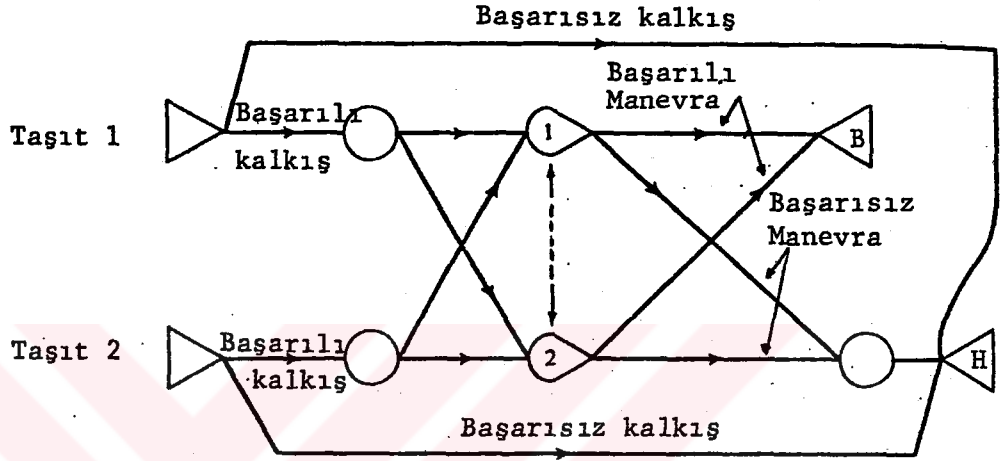


ŞEKİL 4.7. İki taşıtın buluşma modelinin stokastik şebekesi.

(19) Pritsker, A.A.B., Happ, W.W., a.g.m., s.268.

(20) Whitehouse, G.E., "Systems Analysis and Design Using Network Technique", Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1973, s.245.

Modeli genişletmek için, buluşmanın başarılı olması için kalkıştan sonra en az bir taşıtın manevra yeteneğine sahip olması gerektiğini varsayalım. Bu durum için çizilen şebeke Şekil 4.8'de verilmektedir(21).



ŞEKİL 4.8. Manevra koşulunun eklenmesi sonucu stokastik şebeke.

Bu durumda başarılı kalkışı göstermek amacıyla 1 ve 2 no.lu düğümler eklenmiştir. B düğümü kendisine gelen dallardan en az biri gerçekleştiğinde gerçekleşmiş olacaktır.

4.4.1. Problem Çözmede GERT Yaklaşımı

GERT tekniği, sistemin formüle edilmesinde ve değerlendirilmesinde genel bir yapıya sahiptir. GERT yaklaşımı problem çözümde aşağıdaki adımları kullanır(22):

1- Sistemin veya problemin kalitatif tasviri, stokastik şebeke formunda bir modele dönüştürülür.

(21) a.g.e., s.245.

(22) Pritsker, A.A.B., "The Status of GERT", Editör: Lombaers, H.J.M. "Project Planning by Network Analysis", North - Holland Publishing Company, Amsterdam, 1969, s.148.

2- Şebekenin dallarındaki fonksiyonları tanımlamak için gerekli veri toplanır.

3- Şebekenin eşdeğer fonksiyonu (Equivalent function) veya fonksiyonları belirlenir.

4- Eşdeğer fonksiyon aşağıda gösterilen performans ölçülerine dönüştürülür:

- a) Belirli bir düğümün gerçekleşme olasılığı,
- b) Belirli bir düğümün gerçekleşmesi için geçen ortalama süre,
- c) Belirli bir düğümün gerçekleşme süresinin standart sapması,
- d) Belirli bir düğümü gerçekleyen minimum süre,
- e) Belirli bir düğümü gerçekleyen maksimum süre,
- f) Belirli bir düğümü gerçekleyen sürelerin histogramı.

5- Yukarıda 4'üncü adımda elde edilen performans ölçüleri temel alınarak sistemle ilgili sonuçlar çıkartılır.

4.4.2. GERT'in Diğer Şebeke Analizi Teknikleri ile Olan İlişkisi

Birçok şebeke analizi teknikleri GERT şebekelerinin bir alt kümesidir. GERT şebekelerinin belirli iki alt kümesi şunlardır(23):

1- PERT şebekelerinde tek zaman parametrelili dal ve "VE-DETERMINİSTİK" düğüm tipi kullanıldığından PERT, GERT tipi bir şebekedir. Çünkü PERT analizinde bütün faaliyetler yapılması gerekiyor, yani her bir dala ilişkin olasılık 1 dir. Bu

parametre, GERT şebeke formülasyonunda gösterilmesi gerekmez.

2- Sinyal akış grafikleri (Signal Flowgraphs), sadece "VEYA-PROBABİLİSTİK" düğüm ve herbir dal ile ilgili tek bir çarpılabilir parametre kullanan bir GERT tipi şebekedir.

Eğer GERT şebekesinde düğümlerin herbiri "VE-DETER-MİNİSTİK" tipinde ise bu bir PERT şebekesidir. Dolayısıyla performans ölçüleri PERT tekniği ile bulunur. Eğer GERT şebekesinin düğümlerinin herbiri "VEYA-PROBABİLİSTİK" düğüm ti-pinde ise eşdeğer fonksiyonu bulmak için sinyal akış grafik-leri kuramından yararlanılır(24).

4.4.3. "VEYA" Düğüm Tipli GERT Şebekelerinin Değerlendirilmesi

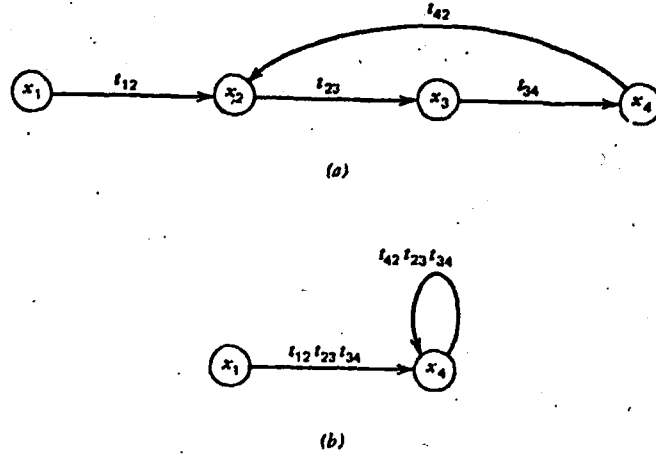
GERT şebekelerinin analitik incelenmesi, temel olarak "VEYA" düğüm tipi üzerinde durur. "VEYA" düğümlerinden oluşan şebekelerin analizi için sinyal akış grafikleri kuramından yararlanılır. Probabilistik parametreler çarpılabilir olduk-larından akış grafikleri ile kolayca işlenebilirken zaman pa-rametresi toplanabilir özellikle olması nedeniyle sorun çıkar-tabilir. Çünkü akış grafikleri sisteminin temel özelliği şü-dur: Bir düğümün değeri bu düğüme gelen dalların herbirinin transfer fonksiyonları, bu dalların çıktığı düğümlerinin de-ğerleriyle çarpımlarının toplamına eşittir(25). Bu özelliğe örnek Şekil 4.9'da görülmektedir(26).

Şekil 4.9 (a)'da geribeslemeli döngüye sahip çizgenin X_4 düğümünün değeri:

(24) Pritsker, A.A.B., "The Status of GERT...", s.151.

(25) Whitehouse, G.E., a.g.e., s.164.

(26) Elmaghraby, S.E., "Activity Networks: ...", s.396.



ŞEKİL 4.9. Geri beslemeli ve tek döngülü çizgeler.

$$X_4 = X_1 t_{12} t_{23} t_{34} + X_4 t_{42} t_{23} t_{34}$$

$$X_4 = X_1 \cdot \frac{t_{12} t_{23} t_{34}}{1 - t_{42} t_{23} t_{34}}$$

Akış grafikleri, lineer sistemleri modellemede ve analizinde sık sık kullanılan analitik bir araçtır. Birçok sistem lineer denklemlerin bir kümesi olarak modellenebileceği için akış grafikleri kuramı bu sistemlerin analizinde uygulanabilir. Üç değişkenli (X_1, X_2, X_3) , üç denklemden oluşan aşağıdaki sistemi düşünelim(27).

$$X_1 + 4X_2 - 2X_3 = 10$$

$$-3X_1 + X_2 + 4X_3 = 16$$

$$6X_1 - 3X_2 + 5X_3 = 36$$

y , 1 değerine sahip bir dolgu değişken (pseudo variable) olmak üzere denklemler sistemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

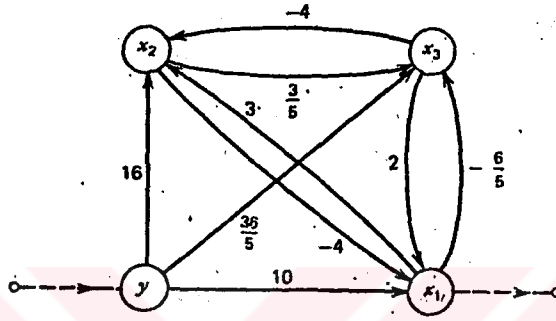
(27) a.g.e., s.399.

$$x_1 = 10y - 4x_2 + 2x_3$$

$$x_2 = 16y + 3x_1 - 4x_3$$

$$x_3 = \frac{36}{5}y - \frac{6}{5}x_1 + \frac{3}{5}x_2$$

Bu sistemin akış grafiği Şekil 4.10'da görülmektedir.



ŞEKİL 4.10. Denklem sisteminin akış grafiği.

Yukarıdaki örneklerden de anlaşıldığı gibi akış grafikleri çarpılabilir sistemdir. GERT şebekelerinin akış grafikleri kuramı ile çözülebilmesi için toplanabilir özellikte olan sürelerin, toplama işlemlerini çarpma işlemlerine dönüştürecek transformasyonların uygulanması gerekir. GERT'i geliştirenler tarafından seçilen dönüşüm tipi moment üreten fonksiyonlardır (MOF). Bu nedenle GERT tekniğinde ilk önce her dal ile ilgili bulunan t zamanının moment üreten fonksiyonu bulunur(28).

f(t), t ile ilgili yoğunluk fonksiyonu olmak üzere moment üreten fonksiyon:

$$M_t(s) = E\{e^{st}\} = \begin{cases} \sum_{t=-\infty}^{\infty} e^{st}f(t), & t \text{ süreksiz değişken} \\ \int_{-\infty}^{\infty} e^{st}f(t)dt, & t \text{ sürekli değişken} \end{cases}$$

(28) Pritsker, A.A.B. ve Happ, W.W., a.g.m., s.269.

$s = 0$ durumunda moment üreten fonksiyondan aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

$$M_t(s) \Big|_{s=0} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt = 1$$

$$\mu = E(t) = \frac{dM(s)}{ds} \Big|_{s=0} = \int_{-\infty}^{\infty} t \cdot f(t)dt$$

$$E(t^2) = \frac{d^2M(s)}{ds^2} \Big|_{s=0} = \int_{-\infty}^{\infty} t^2 \cdot f(t)dt$$

$$\begin{aligned} \sigma^2 = E((t-\mu)^2) &= E(t^2) - [E(t)]^2 \\ &= \frac{d^2M(s)}{ds^2} - \left[\frac{dM(s)}{ds} \right]^2 \Big|_{s=0} \end{aligned}$$

Moment üreten fonksiyonun önemli bir özelliği; bağımsız iki rastgele değişkenin toplamlarının moment üreten fonksiyonu, değişkenlerin ayrı ayrı moment üreten fonksiyonlarının çarpımına eşittir. Örneğin, $z = x + y$ için moment üreten fonksiyon:

$$M_z(s) = M_{x+y}(s) = M_x(s) \cdot M_y(s)$$

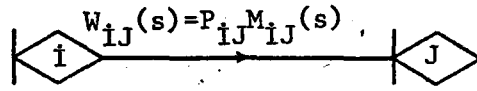
yazılabilir. Bu özellik zaman değişkenlerinin birarada kullanılmasına olanak sağlar.

GERT tekniğinde, ikinci aşamada faaliyetin gerçekleşme olasılığı ile faaliyetin gerçekleşme süresinin MDF'ü çarpılarak, i ve j düğümleri arasındaki transferk fonksiyonu belirlenir(29):

(29) Pritsker, A.A.B. ve Happ, W.W., a.g.m., s.269.

$$W_{ij}(s) = P_{ij} \cdot M_{ij}(s)$$

Böylece, her dala ilişkin transfer fonksiyonu bulunur ve akış grafikleri kuramından yararlanarak GERT şebekesi Şekil 4.11'de gösterilen tek bir elemana indirgenir. Şebekenin girdi-çıkış ilişkisini belirleyen bu elemanın transfer fonksiyonuna tüm şebekenin "eşdeğer fonksiyonu" adı verilir.



ŞEKİL 4.11. Temel GERT elemanı.

4.4.4. Temel Yapının İndirgenmesi

W_{ij} fonksiyonu, akış grafiklerindeki transfer fonksiyonu (transmittance) olarak düşünüldüğü için "VEYA" düğümlü stokastik şebeke, akış grafikleri tekniği kullanılarak tek bir elemana indirgenir. Aşağıda indirgeme yöntemi, üç temel düğüm kombinasyonlarına uygulanmıştır(30).

1- Temel Seri Sistem

Şekil 4.12 (a)'da gösterilen temel seri sistem, standart akış grafiği kurallarının uygulanma sonucu

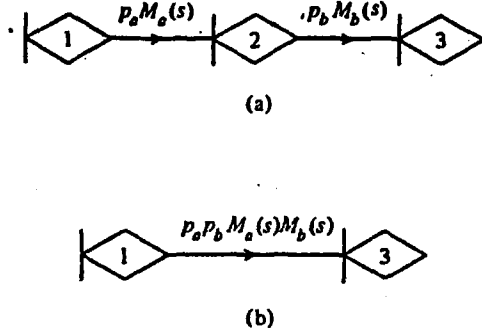
$$W_{1,3}(s) = P_a P_b M_a(s) M_b(s)$$

ilişkisini gösteren Şekil 4.12.(b)'ye indirgenir.

iki ardışık bağımsız elemanın gerçekleşme olasılığı ayrı ayrı olasılıklarının arakesitine eşittir. Böylece;

$$P_a n P_b = P_a P_b$$

(30) Whitehouse, G.E., a.g.e., s.252.



ŞEKİL 4.12. Temel seri GERT sistemi.

Şebekenin gerçekleşme süresi iki sürenin toplamına eşit olacaktır. Toplamların MOF'ü, MOF'lerin çarpımına eşit olduğundan aşağıdaki transfer fonksiyonu elde edilir:

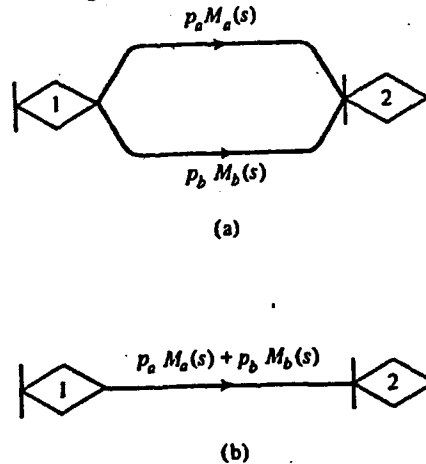
$$W_{1,3}(s) = P_{1,3} M_{1,3}(s) = P_a P_b M_a(s) M_b(s)$$

2- Temel Paralel Sistem

Şekil 4.13(a)'daki paralel sisteme standart akış grafiği kuralları uygulanırsa Şekil 4.13(b)'de gösterilen çizgeye indirgenir. Bu sistem;

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

ilişkisini göstermektedir.



ŞEKİL 4.13. Temel paralel GERT sistemi.

iki paralel sistemin gerçekleşme olasılığı ayrı ayrı olasılıklarının bileşimine eşittir. Böylece;

$$P_{1,2} = P_a \cup P_b = P_a + P_b - P_a \cap P_b$$

Fakat iki yol aynı anda gerçekleşemeyeceğinden $P_a \cap P_b = 0$ dır. Herhangi bir anda sadece bir yol gerçekleşeceğinden sonuç, $P_a M_a(s) + P_b M_b(s)$ olur. Bu sonuç 1-2 yolunun gerçekleşme olasılığı olan $P_a + P_b$ ile düzeltildiğinde 1-2 yolunun gerçekleşme süresinin MÜF'ü:

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

Bu eşitlikten akış grafiği tekniği ile elde edilen aynı sonuç;

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

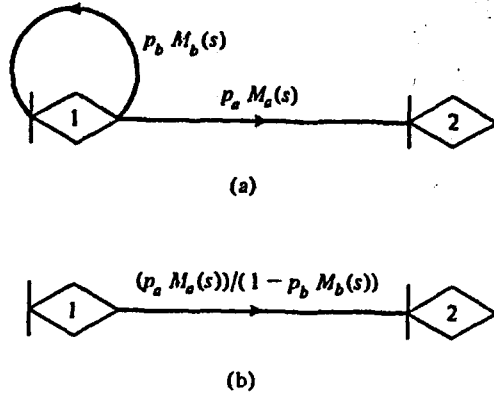
bulunur.

3- Temel Döngü Sistemi

Şekil 4.14(a)'da gösterilen döngü sistemine standart akış grafiği tekniğinin uygulanması sonucu:

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

ilişisini gösteren Şekil 4.14(b)'ye indirgenir. Şekil 4.14(a) da gösterilen sistemde 1 nolu düğümden 2 nolu düğüme olan eşdeğer fonksiyon Tablo 4.3'de son kolonun toplanmasıyla bulunur.



ŞEKİL 4.14. Temel döngü GERT sistemi

TABLO 4.2

a Yolu	b Yolu	P	M(s)	P.M(s)
1	0	P_a	$M_a(s)$	$P_a M_a(s)$
1	1	$P_a P_b$	$M_a(s) M_b(s)$	$P_a P_b M_a(s) M_b(s)$
.
.
1	n	$P_a P_b^n$	$M_a(s) M_b(s)^n$	$P_a P_b^n M_a(s) M_b(s)^n$
.
.
.

"VEYA" düğümlerinden oluşan bir GERT şebekesi, akış grafikleri indirgeme yöntemiyle çözülür. Fakat karmaşık GERT şebekeleri için indirgeme yöntemi yerine topoloji denklemi kullanılır. Kapalı şebekeler için topoloji denklemi(31):

$$H(s) = 1 + \sum_m \sum_i (-1)^m L_i(m,s) = 0 \quad (1)$$

(31) Pritsker, A.A.B., Happ, W.W., a.g.m., s.270.

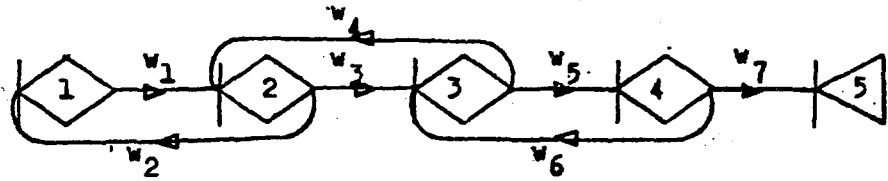
Bu denklemde $L_i(m)$ m'inci dereceden i'inci dögüdür.

Topoloji denkleminin kullanımına geçmeden önce çeşitli dereceden dögü kavramını açıklamak yerinde olacaktır.

Birinci Dereceden Dögü: Bir düğümden çıkıp aynı düğüme geri dönen, bunun dışında diğer düğümlerden birden fazla geçmeyen dallar serisidir. Bir dögünün W-fonksiyonu dögü üzerindeki dalların W-fonksiyonlarının çarpımı şeklinde hesaplanır.

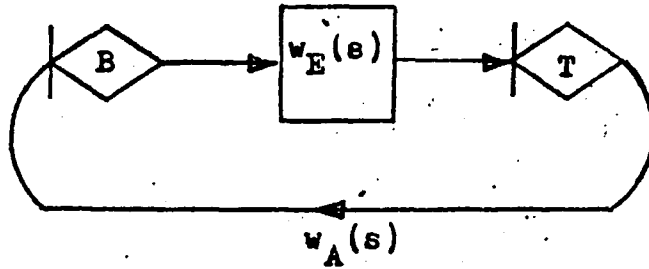
m'inci dereceden Dögü: Birbirine değmeyen m adet birinci derece dögü olarak tanımlanır. m'inci dereceden dögünün W fonksiyonu, içinde bulunan m adet birinci derece dögünün W fonksiyonlarının çarpımı olarak hesaplanır.

Şekil 4.15'de gösterilen açık stokastik şebekede dögü tanımına göre birinci dereceden üç dögü vardır: $L_1(1) = W_1W_2$, $L_2(1) = W_3W_4$, $L_3(1) = W_5W_6$. $L_1(1)$ ve $L_3(1)$ dögüleri birbirine değmeyen birinci dereceden dögüler oldukları için ikinci dereceden bu dögü oluşturur: $L_1(2) = W_1W_2W_5W_6$.



ŞEKİL 4.15. Açık stokastik bir şebeke.

Topoloji denklemini uygulayabilmek için şebekenin kapatılması gerekir. Şebekenin başlangıç ve bitiş düğümleri arasındaki kısmı $W_E(s)$ olmak üzere bitiş düğümü başlangıç düğümüne bir dal ile birleştirilerek şebeke kapalı stokastik şebekeye dönüştürülür (bkz. Şekil 4.16).



ŞEKİL 4.16. Kapalı stokastik şebeke.

Bu şebeke $w_E(s)w_A(s)$ fonksiyonu ile gösterilen sadece bir döngüye sahiptir. Topoloji denkleminin uygulanması ile

$$H(s) = 1 - w_E(s)w_A(s) = 0$$

ve böylece,

$$w_A(s) = \frac{1}{w_E(s)}$$

bulunur. Bu durum, şebekeyi kapatmak için ilave edilen dalın eşdeğer fonksiyonu, şebekenin eşdeğer fonksiyonunun tersine eşit olduğu sonucunu çıkartır.

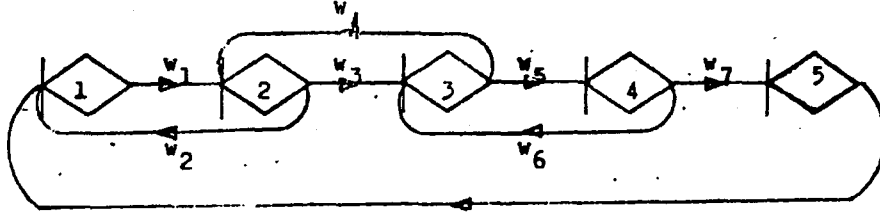
Şekil 4.17'de gösterilen kapalı stokastik şebekede 1. dereceden 4 döngü; $L_1(1) = w_1w_2$, $L_2(1) = w_3w_4$, $L_3(1) = w_5w_6$ ve $L_4(1) = w_1w_3w_5w_7w_A$ ve 2. dereceden 1 döngü; $L_1(2) = w_1w_2w_5w_6$. Buna göre topoloji denkleminden çıkartılan sonuç;

$$H = 1 - w_1w_2 - w_3w_4 - w_5w_6 - w_1w_3w_5w_7w_A + w_1w_2w_5w_6 = 0$$

Buradan w_A çözümlenip $w_E(s) = 1/w_A(s)$ eşitliğinde yerine konursa şebekenin eşdeğer fonksiyonu:

$$W_E(s) = \frac{W_1 W_3 W_5 W_7}{1 - W_1 W_2 - W_3 W_4 - W_5 W_6 + W_1 W_2 W_5 W_6}$$

bulunur.



ŞEKİL 4.17. Kapalı stokastik şebeke.

Şebekenin girdi-çıkışı ilişkisini belirleyen $W_E(s)$ es-değer fonksiyonunun hesaplanması için mutlaka açık şebekele-riñ kapatılması gerekmez. $W_E(s)$ 'nin direkt hesaplanması için Mason aşağıdaki formülü kullanmıştır(32):

$$W_E(s) = \frac{\sum_j P_j(s) [1 + \sum_m (-1)^m L(m,s)]}{\bar{A}(s)}$$

Mason kuralı olarak bilinen bu formül şu şekilde açıklanabi-
lir:

$P_j(s)$: j'inci yolun W fonksiyonu. Buradaki "yol" kav-
ramı; bir düğümden birden fazla geçmeyen dallar serisi olarak
tanımlanır. Bir yolun W fonksiyonu, yol üzerindeki W fonksi-
yonlarının çarpımı biçiminde hesaplanır.

$L(m)$: j'inci yola değmeyen m. dereceden döngülerin W
fonksiyonlarının toplamıdır.

(32) Sürsal, Gökay, "GERT (Grafik Değerlendirme ve Gözden Ge-
çirme Tekniği) ve Bir Uygulama", I.O. İşletme Fakültesi
Dergisi, S.3, C.1, 1974, s.352.

$\bar{H}(s)$: ($W_A(s) = 0$) için topoloji denkleminin değeri.

Şekil 4.15'de 1 nolu başlangıç düğümü ile 5 nolu bitiş düğümü arasında bir tek yol bulunuyor. Bu yolun W fonksiyonu $W_1W_3W_5W_7$ dir. Bu yola değmeyen hiçbir döngü yoktur. $W_A(s) = 0$ için topoloji denkleminin değeri $1 - W_1W_2 - W_3W_4 - W_5W_6 - W_1W_2W_5W_6$ olduğuna göre $W_E(s)$ 'nin değeri şebekenin kapatılması gerekmeden Mason formülüyle de bulunur:

$$W_E(s) = \frac{W_1W_3W_5W_7}{1 - W_1W_2 - W_3W_4 - W_5W_6 - W_1W_2W_5W_6}$$

Eşdeğer W fonksiyonu, topoloji denklemi veya Mason formülü ile elde edildikten sonra P_E ve $M_E(s)$ değerleri aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır:

$$M_E(0) = \int_0^{\infty} f(t)dt = 1$$

ve

$$W_E(s) = P_E \cdot M_E(s)$$

tanımlarından yararlanarak

$$P_E = W_E(0) \text{ ve}$$

$$M_E(s) = \frac{W_E(s)}{W_E(0)}$$

değerleri bulunur.

$W_E(s)$ değeri, GERT şebekesinde bitiş düğümünün (veya ilgilenilen düğümlerin) gerçekleşme analizi için anahtar bilgi sağlar(33). Örneğin $M_E(s)$ 'nin orijin etrafındaki r 'inci

(33) Elmaghraby, S.E., "The Theory of...", s.B69.

momenti, μ_{JE} veya r'inci kümülanı K_{JE} hesaplanır.

$$\mu_{JE} = \frac{\partial^r}{\partial s^r} [M_E(s)] \Big|_{s=0}$$

ve

$$K_{JE} = \frac{\partial^r}{\partial s^r} [\ln M_E(s)] \Big|_{s=0}$$

$$K_{JE} = \mu_{JE} \quad ; \quad J = 1, 2, 3$$

Şekil 4.18'de gösterilen imalat atölyesi GERT modeli örneğini ele alalım(34):

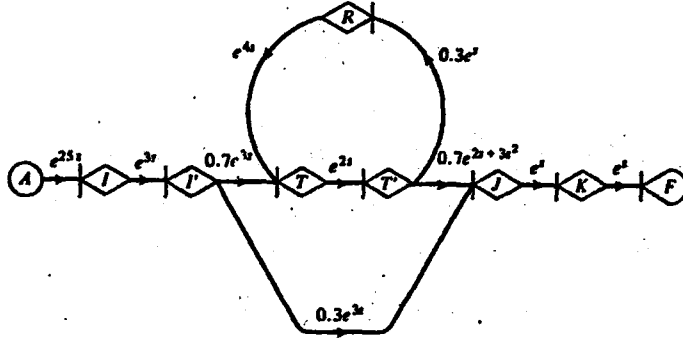
Belirli bir sıra ile karakterize edilen elektromekanik teçhizatın üretildiği bir atölyede muayene istasyonunda biten bir seri işlem yapılmaktadır. Üretilen parçalar muayene edildikten sonra ileri teste ve ayarlama işlemlerine gönderilir veya red edilir ve tamir işlemlerine gönderilir. Tamir işlemlerinden sonra parçalar tekrar teste gelir. Ayarlama işlemleri tamamlanan parçalar ambalajlanır ve stoğa gönderilir.

Yukarıda verilen bu üretim sisteminin faaliyetleri ve parametreleri Tablo 4.3'te verilmektedir(35).

Şekil 4.18'de faaliyetler yönlü dallar ile ve mantıki işlemler 'VEYA-PROBABİLİSTİK' düğüm sembolleri ile gösterilmiştir. Bu stokastik şebeke modelinde faaliyetlerle ilgili veriler Tablo 4.3'de verildiğine göre şebekenin eşdeğer fonksiyonu, Mason formülü ile bulunur:

(34) Elmaghraby, S.E., a.g.e., s.336.

(35) Whitehouse, G.E., a.g.e., s.255.



ŞEKİL 4.18. İmalat atölyesinin GERT modeli

TABLO 4.3

Faaliyet	Anlamı	P	M(s)	W(s)
a	Üretim sıralama	1	e^{25s}	e^{25s}
b	Muayene işlemi	1	e^{3s}	e^{3s}
c	Muayeneden teste gönderme	0.7	e^{3s}	$0.7 e^{3s}$
d	Muayeneden ayarlamaya geçiş	0.3	e^{3s}	$0.3 e^{3s}$
e	Test işlemi	1	e^{2s}	e^{2s}
f	Test'den tamire geçiş	0.3	e^s	$0.3 e^s$
g	Test'den ayarlamaya geçiş	0.7	e^{2s+3s^2}	$0.7 e^{2s+3s^2}$
h	Tamir işlemi	1	e^{4s}	e^{4s}
i	Ayarlama işlemi	1	e^s	e^s
j	Paketleme	1	e^s	e^s

$$W_E(s) = \frac{0.49 e^{37s+3s^2} + 0.3 e^{33s} (1-0.3 e^{7s})}{(1-0.3) e^{7s}}$$

$$P_E = W_E(s) \Big|_{s=0} = \frac{0.49 + 0.3(0.7)}{0.7} = 1$$

$$M_E(s) = \frac{W_E(s)}{W_E(0)} = W_E(s)$$

$$E(t) = \frac{dM_E(s)}{ds} \Big|_{s=0} = 37.9$$

$M_E(s)$ 'den birinci moment (şebekenin beklenen süresi) elde edilebildiği gibi daha yüksek dereceden momentler de elde edilebilir. Bu örnekte g faaliyeti normal dağılım gösteren bir rastgele değişkendir.

4.4.5. "VEYA" Düğümlü GERT Şebekeleri İçin Bilgisayar Programı

GERT şebekelerinin bir alt kümesi olan "VEYA-PROBABLİSTİK" Düğümlü şebekelerin analitik analizi için FORTRAN dilinde yazılmış bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. GERTE adı verilen bu program şebekenin dalları için olasılık ve zaman parametrelerini kullanır. Zaman parametresi rastgele değişken de olabilmektedir. Daha sonra bu programda, süreler ile ilgili ilk dört momenti elde edebilen, kuyruk problemlerinde uygulanabilen, duyarlılık ve zaman-maliyet analizi yapabilen gelişmeler yapılmıştır(36).

Ishmael ve Pritsker tarafından geliştirilmiş program, problem tanımlama bilgisini ve şebeke dalları ile ilgili bilgiyi veri olarak kullanır. Her dal için başlangıç ve bitiş düğümü bilgileri, her dalın gerçekleşme olasılığı, her dal ile ilgili sürenin MÖF'ü bu programın verileridir. Bu verilerin verilmesiyle program, kaynak ve terk düğümlerini belirle-

(36) Pritsker, A.A.B., a.g.e., s.13.

yerek kaynak düğümü ile terk düğümü birleştiren yolu belirler ve aşağıdaki standart bilgileri üretir(37):

- 1- Probleme uygun tanımlama başlıkları,
- 2- Şebekede bulunan yollar ve döngüler,
- 3- Herhangi bir kaynak düğümden terk düğüme giden yolun gerçekleşme olasılığı,
- 4- Terk düğümünün ortalama gerçekleşme süresi ve varyansı.

(37) Whitehouse,G.E., a.g.e., s.268.

5. GENELLEŞTİRİLMİŞ FAALİYET ŞEBEKELERİNİN SİMÜLASYONU

5.1. GERT ŞEBEKELERİNİN SİMÜLASYONU (GERTS)

Genelleştirilmiş faaliyet şebeke tekniği olan GERT ile akış grafikleri tekniği arasında yakın bir ilişki vardır. "VEYA-PROBABİLİSTİK" düğüm tiplerinden oluşan bir GERT şebekesinin, akış grafikleri yöntemleri ile analitik çözümlerini önceki bölümde inceledik. Ancak "VE" ve "VE/VEYA" düğüm tiplerini içeren şebekelerin analitik çözümleri çok zordur. Bu tip şebekelerin analizi için önerilen yaklaşımların çözümleri de ispatlanmamıştır. Bu düğüm tiplerini içeren GERT şebekeleri "VEYA" düğüm tipinde bir GERT şebekesine dönüştürülerek analitik çözümleri elde edilebilir. Hernekadar bu dönüşüm küçük şebekeler için yapılabilse de karmaşık şebekeler için zor olacaktır. Bu nedenle üç düğüm tipini içeren GERT şebekelerinin genel analizi için bir simülasyon programı yazılmıştır. Bu programa kısaca GERTS (GERT Simulator) adı verilir. O halde GERTS özellikle, genelleştirilmiş faaliyet şebekeleri ile tasvir edilebilen projeleri planlamak ve kontrol etmek için geliştirilmiş yeni ve etkin bir şebeke simülasyon programıdır.

Proje planlama ve kontrolünde kullanılan PERT şebekelerinin de simülasyonu yapılabilir. Bu simülasyonda her bir faaliyet süresi için olasılık dağılımlarından rastgele örnekler alınır. Simülasyon koşum sayısı arttırılarak bir tek kritik yol bulunmasından daha ziyade faaliyetlerin herbirinin kritik-

lik indeksi belirlenir(1). Fakat PERT şebekesi karmaşık mantık ilişkilerini, probabilistik dallanmaları, bir faaliyetin birçok kere tekrarlanabildiği tek-döngü (self-loop) ve faaliyetler dizisinin tekrarlanabildiği çevrim (cycle) özelliklerini grafik olarak göstermede yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle genelleştirilmiş faaliyet şebekelerine gerek duyulmuş ve bu şebekelerin analizi için GERTS programı kullanılmıştır.

FORTTRAN IV programlama dilinde yazılmış bu programa girdi olarak, şebekenin düğüm ve dalları ile ilgili özellikleri ve simülasyon şartları verilir. Olaydan olaya zaman ilerletme ile şebekenin simülasyonunu (next event simulation) yapan bu programın birçok kavramı GASP II.A simülasyon programı paketinden alınmıştır(2).

Şebekenin analizi için simülasyon programı kullanıldığı için şebekenin düğüm ve dal tipleri üzerinde tekrar düşünülmüştür. GERTS şebekesinin ana özellikleri iki sınıflama altında özetlenebilir(3): (a) Düğüm (olay) özellikleri ve (b) Bağ (faaliyet) özellikleri.

5.1.1. Düğüm (Olay) Özellikleri

Her düğümün "VE(AND)" ve "VEYA(OR)" yeteneğine sahip olması istenir. Geri beslemenin de dahil edilmesiyle düğümün çoklu serbest bırakılmasına gerek duyulmuştur. Aynı zamanda

-
- (1) Bellas,C.J.-Sanli,A.C., "Improving New Product Planning With GERT Simulation", California Management Review, Vol. XV, No.4, 1973, s.15.
 - (2) Whitehouse,G.E., "Systems Analysis and Design Using Network Techniques", Prentice, Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1973, s.308.
 - (3) Elmaghraby,S.E., "Activity Networks: Project Planning and Control by Network Models", John Wiley and Sons, Inc., 1977, s.360.

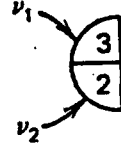
düğümün ilk serbest bırakılma koşulları daha sonraki serbest bırakılma koşullarından farklı olabilmektedir.

Hatırlanacağı üzere PERT'de bir düğümün gerçekleşmesi için düğüme giren faaliyetlerin herbirinin tamamlanması gerekiyordu. GERTS, PERT'in bu sınırlamasını ortadan kaldırarak düğümlerin gerçekleşmesine daha esneklik kazandırmıştır. GERTS'de bir düğümün gerçekleşmesi içindüğüme giren faaliyetlerin kaç tanesinin tamamlanması gerektiği belirlenebilir ve bu özelliğine "düğümün serbest bırakılma sayısı" adı verilir. Serbest bırakılma sayısı 1 ise bu düğümün girdi yönünde "VEYA" tipinde tanımlandığı düşünülür. Eğer düğüme giren faaliyetlerin sayısı, düğümün serbest bırakılma sayısına eşit ise düğüm "VE" tipinde tanımlandığı düşünülür(4). Bir düğümün serbest bırakılma sayısı, düğüme giren faaliyetlerin sayısından küçük veya büyük olabilir. Örneğin, 3 faaliyetten 2 faaliyet gerçekleştiği zaman düğüm gerçekleşecek ya da serbest kalacak ise faaliyetlerin sayısı 3 iken serbest bırakılma sayısı 2 dir. Tersine serbest bırakılma sayısı 2 iken düğüme giren faaliyet sayısı 1 olabilmektedir. Bu durum, düğümün gerçekleşmesi için faaliyetin 2 kez tamamlanması gerektiğini gösterir. GERTS'in düğüm özellikleri ve yetenekleri aşağıda belirtilmektedir(5):

1- Düğümün girdi yönünde iki ayrı serbest bırakılma sayısı tanımlanır: (a) düğümün ilk olarak serbest bırakılması için gerekli tamamlanacak faaliyet sayısı, (v_1), (b) düğümün daha sonraki anlarda serbest bırakılması için gerekli tamamlanacak faaliyet sayısı, (v_2), bu iki serbest bırakılma sayısı aşağıda gösterildiği gibi farklı olabilmektedir.

(4) Pritsker, A.A.B., "Modelling and Analysis Using Q-GERT Networks", John Wiley and Sons, New York, 1979, s.14.

(5) Elmaghraby, S.E., a.g.e., s.360.



Düğümün gerçekleşmesi için hiçbir faaliyetin tamamlanmasını gerektirmeyen başlangıç düğümleri için ilk serbest bırakılma sayısı sıfır ($v_1 = 0$) olarak tanımlanır. Sadece faaliyetin ilk gelişinde gerçekleşen terk veya bitiş düğümleri için ya da bir kereden fazla gerçekleşmesi istenmeyen ara düğümler için daha sonraki anlarda serbest bırakılma sayısı sonsuz ($v_2 = \infty$) olarak tanımlanır.

2- Düğüm gerçekleştirmeleri veya serbest bırakılmalarının bir kısıtlaması olarak üç özellik belirlenmiştir:

a) $v_1 > 1$ olduğunda düğümün gerçekleşmesi için aynı faaliyetin v_1 kere tamamlanması yerine v_1 tane farklı faaliyetin tamamlanması istenebilir. Bu seçeneği göstermek için aşağıda gösterildiği gibi A sembolü kullanılır.



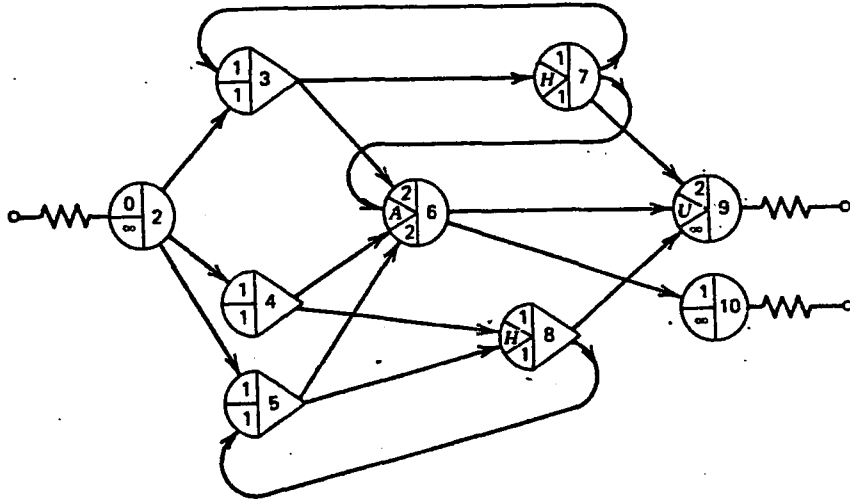
b) Bir düğümün gerçekleşme zamanında, düğüme gelen ve tamamlanmayan faaliyetlerin durdurulması istenebilir. Bu seçenek H sembolüyle aşağıdaki gibi gösterilir.



c) Yukarıdaki (a) ve (b) seçeneklerinin her ikisini bir düğümde göstermek için aşağıda gösterildiği gibi U sembolü kullanılır.



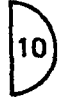
Düğüm için kullanılan bu seçeneklerin her biri Şekil 5.1'de görülmektedir(6). 6 nolu düğümün girdi yönünde $v_1 = 2$ ve $v_2 = 2$ olarak tanımlanmıştır. Ayrıca A sembolü kullanılmıştır. 6 nolu düğümün gerçekleşmesi için bu düğüme giren 2 farklı faaliyetin tamamlanması istenmektedir. (7,6) faaliyetinin 2 kez tamamlanması durumunda 6 nolu düğüm (olay) gerçekleşmeyecektir. 8 nolu düğümde kullanılan H sembolü ile ya (4,8) faaliyeti ya da (5,8) faaliyeti tamamlandığında 8 no.lu düğüm gerçekleşir ve yarı kalan faaliyet durdurulur. Son olarak, 9 no.lu düğümün gerçekleşmesi için bu düğüme giren iki farklı faaliyetin tamamlanması gerekir. Aynı zamanda bu düğümün gerçekleşme zamanında bu düğüme giren üçüncü faaliyet durdurulmalıdır. Bu iki şart 9 no.lu düğümde U sembolü ile gösterilmiştir. Bir simülasyon koşumunun sona ermesi 9 no.lu veya 10 no.lu düğümlerden birinin gerçekleşmesi ile tanımlanmıştır.



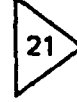
ŞEKİL 5.1. Bir düğümün A, H ve U fonksiyonları.

(6) a.g.e., s.361.

3- Dügümden çıkan faaliyetleri programlama yöntemi olarak düğümün çıktı yönü GERT'de olduğu gibi deterministik veya probabilistik olarak belirlenir ve aşağıdaki semboller ile gösterilir.

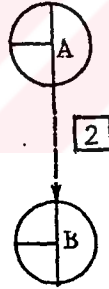


Deterministik

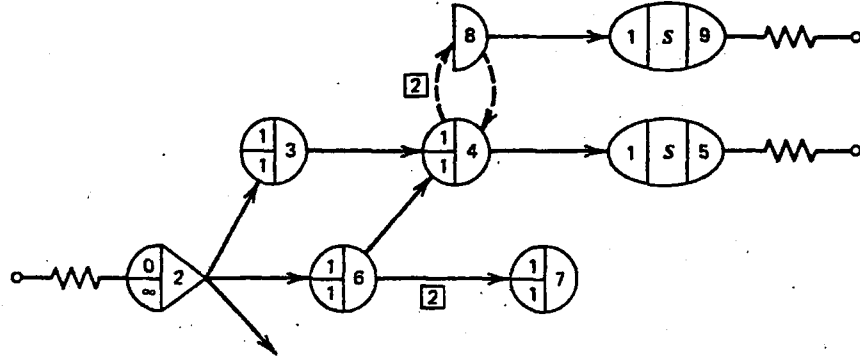


Probabilistik

4- GERTS'de şebekede düğüm değişiklikleri ile şebekeye dinamiklik kazandırılmıştır. Aşağıda gösterildiği gibi eğer A nolu düğüm serbest bırakıldığında kare içinde gösterilen 2 nolu faaliyet daha önceden tamamlanmış ise A düğümü B düğümü ile değiştirilir. Böylece A düğümü fonksiyonları yerine B düğümünün fonksiyonları esas alınır ve aşağıdaki şekil ile gösterilir.



Şekil 5.2'de gösterilen şebekede 2, 3, 4, 5 yolu 5 bitiş düğümüne gider. Eğer (2,3) faaliyeti yerine (2,6) faaliyeti gerçekleşmiş olsaydı, 6 no.lu düğüm serbest bırakılacak ve 2 no.lu (6,7) faaliyeti başlayacaktır. 2 no.lu faaliyetin tamamlanması 4 no.lu düğümün 8 no.lu düğüm ile değişimine neden olur ve bitiş 9 no.lu düğümde gerçekleşir.



ŞEKİL 5.2

5- Düğümler aynı zamanda şebekedeki fonksiyonları ile karakterize edilir. Fonksiyonlarına göre düğüm tipleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir(6).

- Kaynak (Source) düğümü,
- Terk (Sink) düğümü,
- İstatistik (Statistics) düğümü,
- İşaret (Mark) düğümü.

Kaynak düğümü şebekenin başlangıç düğümü olup bu düğümden çıkan faaliyetler sıfırıncı zamanda başlatılır. Şebekenin gerçekleştiğini gösteren düğüm terk düğümüdür. Fakat terk düğümleri her zaman bitiş düğümü olmayabilir. Örneğin Şekil 5.2'de değişime sebep olan 2 no.lu faaliyet 7 no.lu terk düğümünde bitmektedir. Ancak buradaki 7 no.lu düğüm bitiş düğümü değildir. Bu düğüm serbest kaldığında 8 no.lu düğüme gidilecek ve şebeke 9 no.lu düğümde bitirilecektir. Terk düğümleri, şebeke ile ilgili istatistikleri almak için otomatik olarak istatistik düğüm olarak düşünülür.

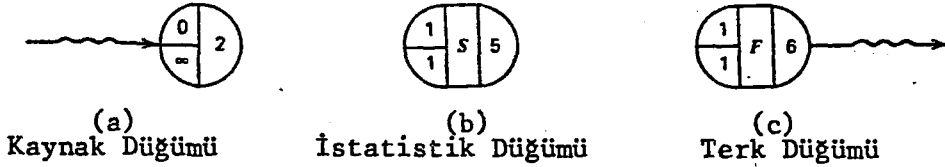
(6) Whitehouse, G.E., a.g.e., s.305.

İşaret düğümü şebekenin iki düğüm arasında geçen zamanı hesaplamak için bir başlama zamanı veren düğümdür. Bir birim işaret düğümünden geçerse, o andaki zaman, birimin özelliği olarak kaydedilir ve daha sonra işaret düğümünden aralık istatistik düğümüne kadar geçen zamanı hesaplamak için kullanılır. Eğer hiçbir işaret düğümü belirtilmemiş ise kaynak düğümler otomatik olarak işaret düğümü olarak düşünülür.

İstatistik düğüm, şebeke ile ilgili istatistikleri almak için kullanılan bir düğümdür. İstatistik düğümde tanımlanan istatistik tipleri aşağıda gösterilmiştir:

- F: Bir düğümün ilk gerçekleşme zamanı,
- A: Bir düğümün tüm gerçekleşme zamanları,
- B: Bir düğümün gerçekleşmeler arası süre,
- I: İşaret düğümünün gerçekleşmesi ile I istatistiklerini toplayan düğüm arasındaki süre.
- D: Düğüme ilk faaliyetin gelmesinden düğümün gerçekleşmesine kadar olan gecikme süresi.

Yukarıda tanımlanan bu düğüm tiplerinin sembolleri Şekil 5.3'de görülmektedir.



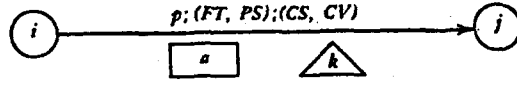
ŞEKİL 5.3. Fonksiyonlarına göre düğüm sembolleri.

5.1.2. Bağ (Faaliyet) Özellikleri

Şebekede düğümleri birleştiren bir bağ, bir faaliyeti veya bilgi transferini gösterir. Her ikisi içinde faaliyet terimi kullanılır.

GERTS şebekesinde gösterilen bir faaliyetin genel görünümü Şekil 5.4'de gösterilmektedir. Bu şekilde de görüldüğü gibi faaliyet için en fazla 5 bilgi belirlenir:

- a) Faaliyetin gerçekleşme olasılığı (P),
- b) Faaliyet süresinin parametreleri (FT,PS),
- c) Faaliyet maliyetinin parametreleri (CS,CV),
- d) Faaliyet numarası a ,
- e) Faaliyet sınıf tipi k



ŞEKİL 5.4. Bir faaliyetin genel görünümü.

Faaliyetlerin özellik ve yetenekleri aşağıda belirtilmiştir(7):

1- Faaliyet süre dağılımları beta dağılımı ile sınırlandırılmamıştır. Bilindiği gibi PERT şebekelerinde faaliyet süreleri için beta dağılımı kullanılmaktaydı. GERTS'de faaliyet sürelerinin fonksiyon tipleri aşağıda gösterilmiştir.

- 1- Sabit
- 2- Normal
- 3- Dikdörtgen
- 4- Erlang
- 5- Lognormal
- 6- Poisson
- 7- Beta
- 8- Gama
- 9- Beta-PERT
- 10- Üçgen.

(7) Elmaghraby, S.E., a.g.e., s.365.

"FT" fonksiyon tipi ile tanımlanan faaliyet süreleri GERTS'de çok daha esnektir. Bu dağılım tiplerinden dokuzu parametre grup numarası (PS) kullanır. Örneğin, FT = 2 ve PS = 3 ise faaliyet süresinin normal dağılımlı ve parametreleri 3 no.lu parametre grup numarasında verildiği anlaşılır. Bir dağılımın en fazla 4 parametresi vardır: (a) ortalama değer, (b) standart sapma, (c) maksimum değer, (d) minimum değer.

2- "CS" 'hazırlık maliyetleri' ve "CV" 'değişken maliyetler' olmak üzere maliyet parametresi (CS, CV) çifti ile belirtilir. Hazırlık maliyeti faaliyet her gerçekleştiğindeki bir sabit maliyettir. Değişken maliyet, faaliyet süresi ile doğrusal olarak değişir. T faaliyet süresi olmak üzere faaliyetin toplam maliyeti

$$TC = CS + CV * T$$

olur.

3- 'Sayıcı tipi (Counter type)' bir grup faaliyeti tanımlamak için kullanılır. İstatistik düğümler gerçekleşmeden önce belirli faaliyetlerin kaç defa gerçekleştiğini saymak için sayıcı tipine ihtiyaç duyulur. Faaliyet tamamlandığı her defasında ilgili sayıcı tipi 1 arttırılır. Böylece her istatistik düğüm gerçekleşme öncesi faaliyetleri tamamlanma sayısını gözler ve simülasyon sonunda faaliyet gerçekleştirmeleriyle ilgili istatistikler üretir.

5.2. GERTS III

GERTS III, en son geliştirilen GERT simülasyon programlarından biridir. GERTS III'de düğüm ve dal özellikleri GERTS'de tanımlanmış olduğu gibidir. GERTS III simülasyonunda aşağıdaki kavramlara yönelinmiştir(8):

(8) Whitehouse, G.E., a.g.e., s.303.

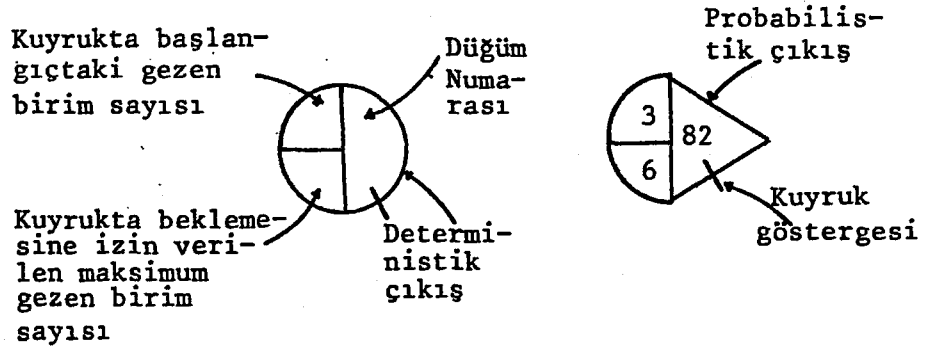
- 1- Beklemeleri sağlayan veya kuyruk yetenekli düğümler, kısaca kuyruk düğümü, Q-düğüm ile de ifade edilir.
- 2- Faaliyet performansları ile ilgili maliyetler,
- 3- Kaynak gerektiren faaliyetler.

Bu kavramları araştırmak üzere üç ayrı program geliştirilmiştir: (1) Q-düğümleri içeren GERT şebeke simulasyon programı GERTS IIIQ, (2) maliyet istatistiklerini toplayan GERT şebeke simulasyon programı - GERTS IIIC ve (3) kaynak dağıtım kararlarını içeren GERT şebeke simulasyon programı - GERTS IIIR.

Bu programların herbiri temel GERTS III programını ihtiva etmektedir ve GERTS şebekelerinin analizi için kullanılmaktadır.

5.2.1. GERTS IIIQ

Bazı sistemleri modellemede bekleme imkanı sağlayan bir düğüme gerek duyulur. Bu gereksinimi karşılamak için bir kuyruk düğümü (Q-düğümü) geliştirilmiş ve temel GERTS III programına ilave edilmiştir. Q-düğümleri grafik olarak Şekil 5.5'de görülmektedir(9). Bu düğümün bir kuyruğu simgelediğini göstermek üzere, sağ, alt köşeye bir "çentik" atılmıştır.



ŞEKİL 5.5. Kuyruk düğümleri.

(9) Whitehouse, G.E., a.g.e., s.331.

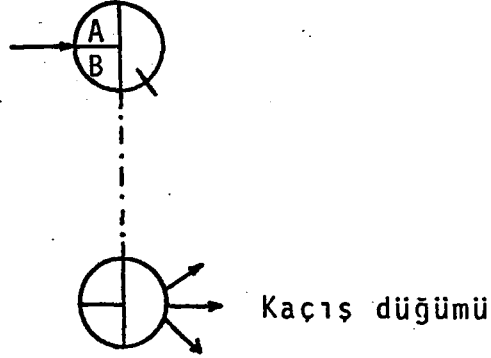
Q-düğüm için serbest bırakılma kavramı tanımlanmamıştır. Çünkü Q-düğümüne giren bir faaliyet tamamlandığı zaman iki durum gerçekleşir. (1) Q-düğümü takip eden faaliyet başlatılabilir veya (2) Q-düğümde bekleme sayısı 1 arttırılır. Kuyruk düğümünden çıkan faaliyet servis faaliyetini gösterir ve servis verilen birimlere de "gezen birim (transaction)" adı verilir. GERTS IIIQ da bir servis faaliyetinin bir anda sadece bir gezen birime servis verdiği varsayılmıştır. Eğer servis o anda meşgul ise gelen gezen birimler kuyruğa konur ve kuyruktaki gezen birim sayısı 1 arttırılır. Eğer bekleme yeri mevcut değil ise (bekleme kapasitesi dolu) Q-düğümüne gelen gezen birim bir kaçma düğümüne (balk node) kaçar. Kaçma düğümü tanımlanmamış ise bu gezen birim sistemden atılır.

GERTS IIIQ programında kullanılan kuyruk düğümlerinin herbiri aşağıdaki bilgileri gerektirir:

- 1- Kuyrukta başlangıçtaki gezen birim sayısı,
- 2- Kuyrukta izin verilen maksimum gezen birim sayısı,
- 3- Gezen birim kuyruğa girememiş ise kaçtığı düğüm,
- 4- Kuyruğa giren gezen birimler ilk giren ilk çıkar (FIFO) veya son giren ilk çıkar (LIFO) kuralına göre sıralanır.

Kuyruğa yeni bir gezen birim geldiğinde, kuyrukta izin veriler maksimum gezen birim sayısı elde edilmiş ise gezen birim kaçıışı grafik olarak Şekil 5.6'da görülmektedir(10).

(10) Phillips, D.T.-Pritsker, A.A.B., "GERT Network analysis of Complex Production Systems", Int.J.Prod.Res., Vol.13, No.3, s.226, 1975.



ŞEKİL 5.6. Kuyruk düğümünden kaçış.

Eğer kuyrukta başlangıçtaki gezen birim sayısı 0 dan büyük ise bu servisin meşgul olduğu anlamındadır. Eğer kuyrukta izin verilen maksimum gezen birim sayısı sonsuz ise sonsuz kapasiteli bu kuyrukta gezen birimlerin kaçışına gerek kalmayacaktır.

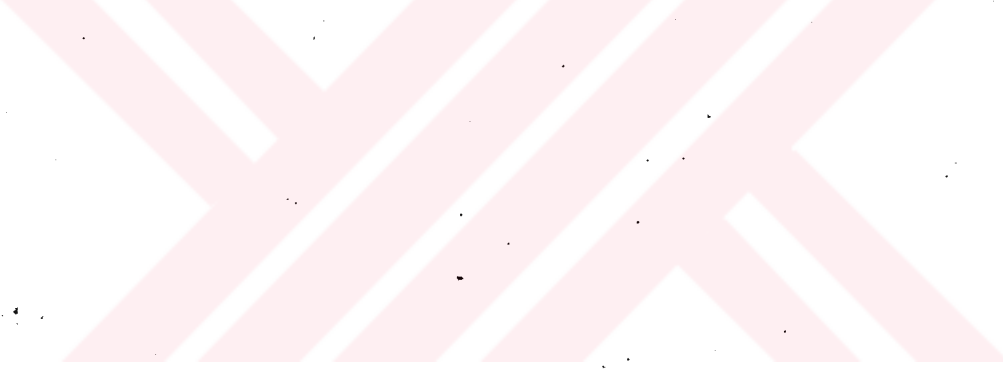
5.2.2. GERTS IIIC

GERTS III programı, şebekenin bir düğümü serbest kalıncaya kadar harcanan toplam maliyeti hesaplayabilmek için geliştirilmiştir. Maliyetleri de hesaplayan bu programa GERTS IIIC adı verilmiştir. Her bir faaliyetin maliyet bilgileri hazırlık maliyeti ve birim zaman maliyetidir. Bu iki maliyet bilgisi şebekenin dalı ile ilgili parametrelere ilave edilmiştir. Bir düğümün gerçekleşmesine kadar harcanan toplam maliyet, düğüm gerçekleşmesi öncesi başlayan bütün faaliyetlerin başlangıç maliyeti ve bu zamana kadar harcanan değişken maliyetleri içerir.

5.2.3. GERTS IIIR

Bir projeyi tamamlamak için mevcut kıt kaynaklar vardır. Önceki programların hiçbiri bu durumu gözönünde bulundurmaz. Bu nedenle GERTS III programına kaynakları da ilave

etmek için her faaliyetin kaynak gereksinimleri, faaliyet ve tanımlanmalarına ilave edilmiştir. Aynı zamanda faaliyetlerin herbiri için mevcut maksimum kaynak sayısı da belirtilmelidir. Kaynak gereksinmelerini ve kaynak kısıtlarını programa sokmak için GERTS çatısı içinde bir programlama problemi ortaya çıkmıştır. Bu programa göre faaliyetlerin herbiri için gerekli kaynaklar hazır oluncaya kadar faaliyetin başlayamayacağı varsayılmıştır.



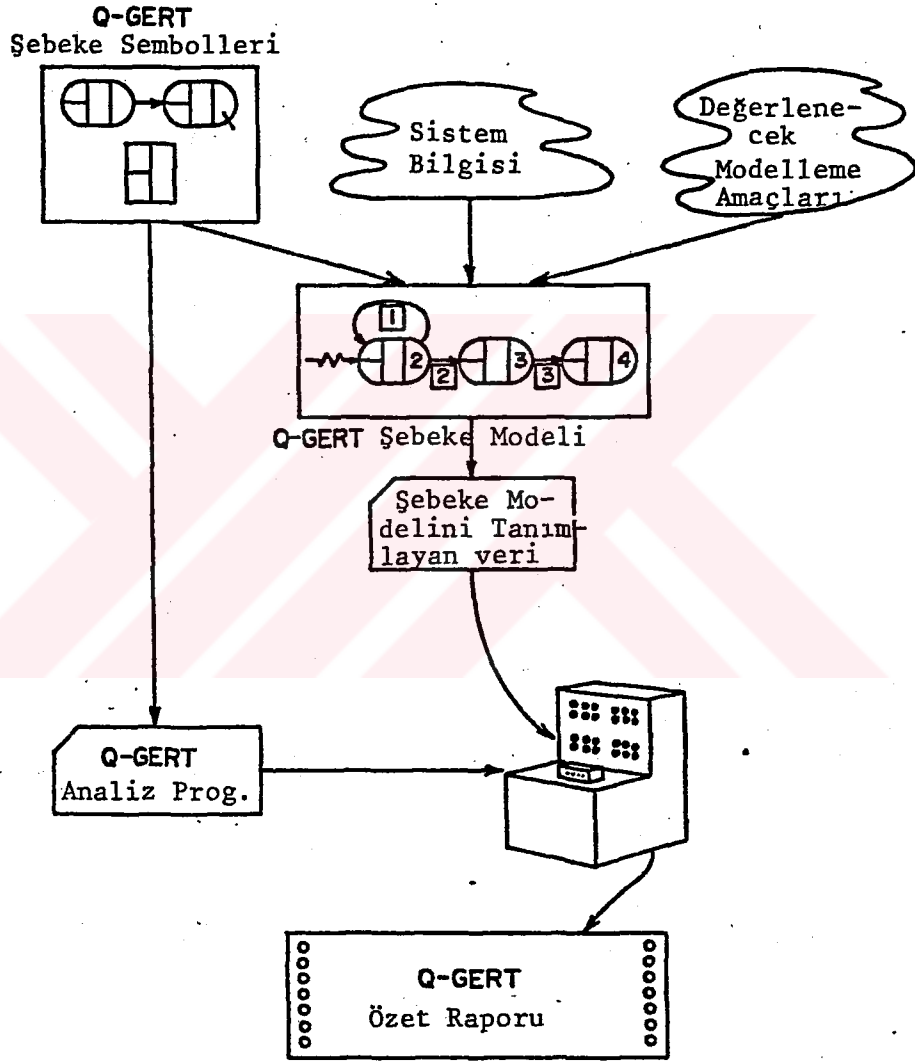
6. Q-GERT ŞEBEKE ANALİZİ TEKNİĞİ(*)

6.1. Q-GERT MODELLEME VE ANALİZİ

Şebeke analizi tekniklerinin en yenilerinden olan ve Pritsker tarafından geliştirilen Q-GERT tekniği bir sistemin şebeke modelini kurma ve bilgisayar analizini yapma aracıdır. Bir sistemin belirgin özelliklerini incelemek, tartışmak ve geliştirmek için önce sistemin incelenmesi ve amaca yönelik elemanların belirlenerek sistem modelinin kurulması gerektiğini birinci bölümde vurgulamıştık. Şebeke analizi tekniklerinin geliştirilmesi sonucu geliştirilmiş Q-GERT ile bir sistemin şebeke modeli kurulurken Q-GERT sembolleri kullanılır. Kurulan bu model Q-GERT analiz programı ile çözümlenir. Q-GERT analiz programı, Q-GERT şebekesini çözümlenmede simülasyon (benzetim) yöntemini kullanmaktadır. Özellikle ardışık faaliyetlerden oluşan projeleri denetlemede kullanılabilecek en modern tekniktir.

Önceki bölümde incelediğimiz GERT tekniğinin, PERT kavramlarını, akış grafiği kuramını ve moment üreten fonksiyonları birleştirdiğini belirtmiştik. Q-GERT ise GERT'e kuyruk sistemlerini çözümlenme yeteneğini katmıştır. Kuyruk sistemleriyle ilgisini göstermek amacıyla "Q" eklenmiş ve Q-GERT adını almıştır.

(*) Bu bölüm yazılırken temel alınan kitap:
Pritsker, A.A.B., "Modeling and Analysis Using Q-GERT Networks"
works", John Wiley and Sons Inc., New York, 1979.



ŞEKİL 6.1. Q-GERT modelleme ve analiz bileşenleri.

Q-GERT sistem analizinin temel bileşenleri Şekil 6.1' de görülmektedir(1). İlk aşamada sistemle ilgili bilgi elde edilir. Model kurmanın amacına ve değerlendirilecek senaryoya göre sistem önemli elemanlarına ayrıştırılır. Bu elemanlar arasındaki ilişkiler belirlendikten sonra Q-GERT sembolleri bir şebeke şeklinde bir araya getirilir. Q-GERT tekniği, şebeke modellerini kolaylıkla değiştirme ve geliştirme olanağı sağladığı için model kurulmasında, basit modellerden daha karmaşık modellere doğru kademeli model kurma felsefesi benimsenir.

İkinci aşamada; kurulan Q-GERT şebekesi, bilgisayar tarafından okunabilir bir şekilde veri kartları ile tanımlanır. Ayrıca, bu veri kartlarında analizin yapılacağı koşullar da belirlenir.

Son aşamada; Q-GERT analiz programı ile analistin istediği bilgilerin özet raporları temin edilir. Bu bilgiler modeli güncelleştirme ve incelenen sistemle ilgili yorumlar çıkarmak amacıyla kullanılır.

6.2. Q-GERT ŞEBEKELERİ

Q-GERT şebekesi diğer şebeke tiplerinde olduğu gibi dal (branch) ve düğümlerden oluşur. Düğümler, dalları ayırmak, kuyrukların ve karar noktalarının modelini kurmak için kullanılır. Q-GERT, önceki bölümlerde incelediğimiz şebekeler gibi "dalda (veya bağda) faaliyet şebekesi" felsefesini kullanır.

Q-GERT şebekelerinin en belirgin özelliği olarak "gezen birim (transaction)"(2) kavramından söz edebiliriz. "Gezen

(1) a.g.e., s.10.

(2) Karpak, Birsen, Sürsal, Gökay, "Bir Üretim-Yatırım-Proje Planlama ve Kontrol Tekniği Q-GERT", Sanayi Mühendisliği, Yıl 1, Sayı 2, 1982, s.25.

birim" şebekeden akan elemanlara verilen addır. Gezen birimler, fiziksel elemanları, bilgiyi veya bunların bir bileşkesini temsil edebilirler. Kuyruk modelleri için gezen birimler kişileri (müşteriler, yolcular, hastalar, v.b.) ve/veya elemanları (tazminat talepleri, çekleri, uçakları, mamulleri, v.b.) temsil ederler.

Bu gezen birimler kaynak düğümlerinde üretilirler ve şebeke boyunca düğümlerin dallanma karakteristiklerine göre yönlendirilirler. Sisteme gelen bu elemanlar sistem içinde muhtemelen bekler, servis görür ve sistemden ayrılırlar. Bu olaylar, faaliyetler ve kararlar dizisine "süreç" denir.

Q-GERT, gezen birimlerin süreç içinde akışının modelini kurmak için bir çerçeve sağlar. Bu çerçeve, işgörenleri, işgörenler önündeki kuyrukları, faaliyetleri ve işlem akış kararlarını modelleme için kullanılan özel düğüm ve dallardan oluşan bir şebekedir. Diğer bir deyişle, bir Q-GERT şebekesi, bir sürecin ve bu süreçten gezen birimlerin akışının grafik olarak tasviridir(3).

Yukarıda bir bütün olarak ele aldığımız Q-GERT şebeke modelini grafik olarak gösterebilmek için, gerekli kavramları ve bu kavramları grafik olarak gösteren sembolleri tanımlamakta yarar vardır.

6.3. TEMEL Q-GERT KAVRAMLARI

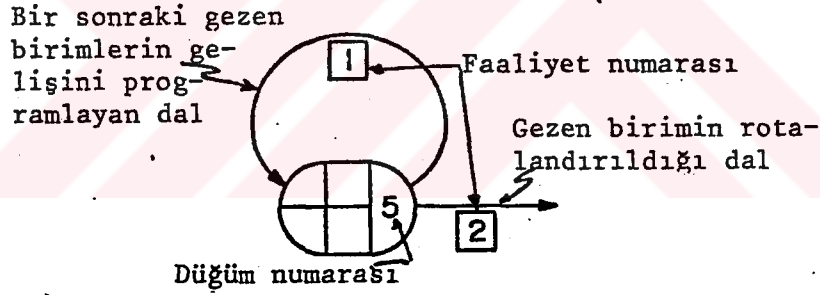
Bir Q-GERT şebekesi, gezen birimlerin akışını grafik olarak gösterdiği için bu gezen birimlerin akışı şu şekildedir. Gezen birimler sisteme varır, işgörenin meşgul ya da aylak olmasına göre bekler ya da servise alınır ve sistemden

(3) Pritsker, A.A.B., a.g.e, s.18.

ayrılırlar. Bu kısımda akış sürecini grafik olarak göstermek için bu olayların ve faaliyetlerin modelinin nasıl kurulduğu tartışılmaktadır.

6.3.1. Gezen Birimlerin Varışını Modelleme

Gezen birimlerin sisteme varış aralıkları biliniyorsa varış süreci, ardışık varışlar arası süreyi temsil eden bir dala modellenenabilir. Her varış bir sonrakini doğurur. Bu durum, iki dal çıkaran bir düğümle modellenenabilir, dallardan biri varan gezen birimi işgörene gönderirken, diğeri yeni bir gezen birimi üretmek üzere düğümüne geri döner. Gezen birimlerin bu varışı grafik olarak Şekil 6.2'de gösterilmiştir(4).

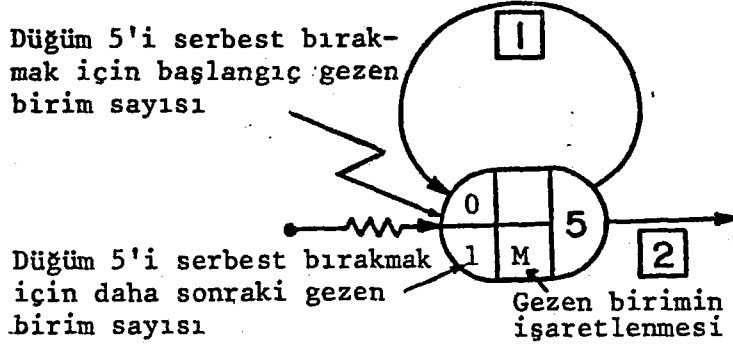


ŞEKİL 6.2. Gezen birimlerin varışı.

Şekil 6.2'de gösterilen 5 düğümünün sağındaki yarım daire, bu düğümü terkeden dalların tümünün işleme konduğunu gösterir. Buna "deterministik dallanma" denir. Eğer 5 düğümü sistemin başlangıç noktası ise, "kaynak düğümü" adını alır. Bir düğümün kaynak düğümü olduğunu göstermek için Şekil 6.3'de gösterilen özel bir simge kullanılır(5).

(4) a.g.e., s.21.

(5) a.g.e., s.22.



ŞEKİL 6.3. Kaynak düğümü.

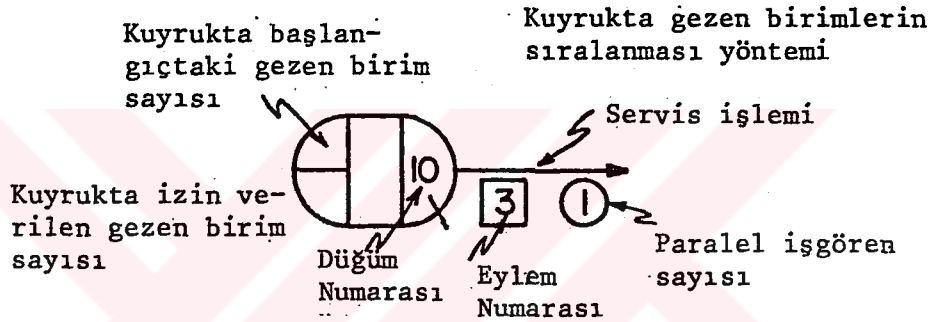
Bir düğümün serbest bırakılması için gerekli gezen birim sayısı düğümün karakteristiklerinden biridir. Q-GERT'te model kurucu bir düğümün hem ilk hem de daha sonraki seferlerde serbest bırakılması için gerekli gezen birim sayısını belirler. Varan her gezen birim düğüm serbest bırakma sayacını bir azaltır. Kaynak düğümün ilk seferde serbest kalması için gelen bir gezen birime gerek yoktur (bkz.Şekil 6.3).

Bir gezen birimin, şebekenin belirli bir parçasında veya tümünde geçireceği zamanı hesaplamak için gezen birimin düğümden geçtiği anı belirleyen işaret zamanı verilir. İşaret zamanı gezen birimin bir özelliği olarak kaynak düğümde otomatik olarak verilir. Bu nedenle kaynak düğüm "işaret düğümü" olarak da bilinir.

6.3.2. Kuyruk ve işgörenleri Modelleme

Kaynak düğümde üretilen gezen birimler servis görmek üzere gönderilir. Eğer servis işlemi devam ediyorsa, yani, işgören meşgul ise, varan gezen birimler beklemek zorunda kalır. Servise alınmak üzere gezen birimlerin beklemesi kuyruk düğümlerinde (Q-düğümde) gerçekleşir. Q-düğümde bekleyen gezen

birimler bekleme hattında belirli bir sıraya konurlar. Q-düğümünden çıkan dalın temsil ettiği servis işlemi tamamlanır tamamlanmaz bekleme hattının başındaki gezen birim otomatik olarak servise alınır. Düğüm serbest bırakma kavramı Q-düğümde söz konusu değildir. Bunun yerine kuyrukta başlangıç gezen birim sayısını ve kuyrukta bulunabilecek maksimum gezen birim miktarını belirleyen iki bilgi için yer bulunur. Bu bilgilerin düğümde kullanım alanları Şekil 6.4'de gösterilmiştir(6).



ŞEKİL 6.4. Bir Q-düğümü ve servis dalı.

Bir Q-düğümünü terkeden dal servis işlemini (işgöreni) gösterir. Servis işleminin numarası bir kare içinde ve paralel işgören sayısı bir daire içinde dalın altına yazılır. Ayrıca Q-düğümü terkeden bu dal için servis süresi tanımlanmalıdır. Aksi takdirde bu servis kullanılmıyor anlamına gelir. Fakat normal düğümü terk eden dallar servis işlemini göstermedikleri için bir gecikme söz konusu olmadığında faaliyet süresi belirlenmeyebilir. Bir servis işlemi veya bir faaliyet için süre, fonksiyon tipi ve bir parametre belirleyicisi ile tanımlanır. Mevcut fonksiyon tipleri ve kodları Tablo 6.1'de verilmiştir(7).

(6) a.g.e., s.20.

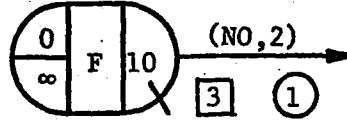
(7) a.g.e., s.27.

TABLO 6.1. Q-GERT Şebeke Dilinde Dağılım, Fonksiyon Tipi Kodları ve Parametre Belirleyicileri

<u>Kod</u>	<u>Tanımı</u>	<u>Belirleyici</u>
AT	Bir gezen birimin bir özelliğinin değeri	Özellik numarası
BE	Beta dağılımı	Parametre listesi numarası
BP	Beta-PERT dağılımı	" " "
CO	Sabit	Sabitin değeri
ER	Erlang dağılımı	Parametre listesi numarası
EX	Exponansiyel dağılım	" " "
GA	Gamma dağılım	" " "
IN	Basamak fonksiyonu	Başlangıç değeri
LO	Lognormal dağılım	Parametre listesi numarası
NO	Normal dağılım	" " "
PO	Poisson dağılımı	" " "
TR	Üçgen dağılımı	" " "
UF	Kullanıcı fonksiyonu	Kullanıcı fonksiyon numarası
UN	Uniform dağılımı	Parametre listesi numarası
US	Kullanıcı altprogramı	Kullanıcı altprogramı numarası

Dal üzerinde fonksiyon tipi ve parametre belirleyicisi birbirlerinden bir virgül ile ayrılmış olarak parantez içinde yazılır. Örneğin Q-düğümde başlangıçta hiçbir gezen birim bulunmadığı, işgören önünde sonsuz uzunlukta kuyruk oluşabileceği, gezen birimlerin kuyrukta ilk giren ilk çıkar servis düzenine göre işlem gördüklerini ve işlem süresinin 2 numaralı parametre listesi ile verilen bir normal dağılımdan örnekleme ile bulunacağını varsayalım. Bu bilgiler Q-düğüm-10'a ve servis işlemi üzerinde yerleştirilirse Şekil 6.5'deki sembol elde edilir(8).

(8) a.g.e., s.32.



ŞEKİL 6.5. Bir Q-düğüm ve servis kullanımına örnek

Q-düğümü terkeden servis işlemi için birden çok işgören öngörülmüş ise gezen birimlere sağlanan servisin aynı olduğu varsayılır. Sisteme aynı özellikte işgörenlerin katılması Q-GERT model yapısını değiştirmemekte ve kolaylıkla yapılabilmektedir. Örneğin işgören sayısı 2'den 4'e yükseltilir ise servis işlemini gösteren dalın altındaki dairenin içine 4 yerleştirilmesi yeterlidir.

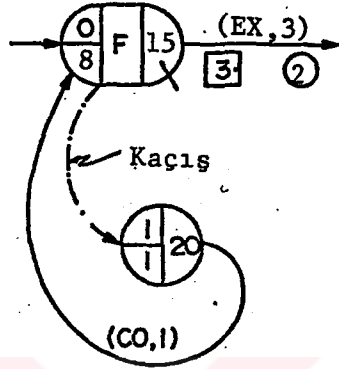
Şayet başlangıçta belli sayıda gezen birim içeren kuyruk sistemleri analiz edilmek istenirse bu kuyruk düğümü izleyen işgörenlerin tümünün meşgul olduğu varsayılır. Eğer tek işgörenli bir sistemde başlangıçta 7 gezen birim varsa 6 gezen birim kuyruğa konur, diğeri de serviste kabul edilir.

Sonlu sayıda bekleme olanağı olan bir kuyruk sisteminde gezen birimlerin Q-düğümde beklemeleri için bir kapasite sınırı getirilmiştir. Örneğin bekleme salonu sadece 7 hasta alan bir doktor muayenehanesi ve içinde ancak 3 eleman depolayabilen bir tamir bakım atölyesi için beklemeler sınırlandırılmıştır.

6.3.3. Gezen Birimlerin Kaçması

Kuyruk için bekleme kapasitesi sınırlandırılmış ise dolu kuyruğa gelen gezen birimler işgörenden servis beklemeden kaçarlar. Kaçan gezen birimlerin 1 zaman birimi sonra tekrar kuyruğa dönecek şekilde bir model kurduğumuzu varsaya-

1ım. Bu durum Q-GERT şebeke parçası Şekil 6.6'da gösterilmiştir(9). Q-GERT'te sonlu kapasiteli bir kuyruktan kaçma noktalı çizgi ile gösterilip bu noktalı çizgi bir faaliyeti göstermez.



ŞEKİL 6.6. Gezen birimlerin kuyruktan kaçması

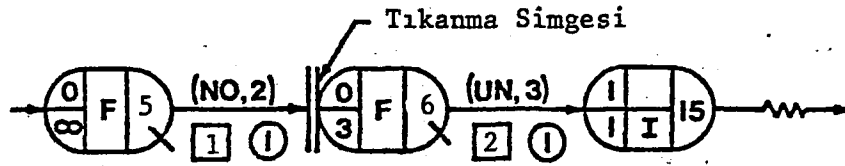
Q-GERT'te, diğer Q-düğömler de dahil olmak üzere diğer herhangi bir düğüme kaçma olanaklıdır. Eğer bir gezen birim kapasitesi dolu olan bir kuyruğa vardığında kaçış tanımlanmış ise bu gezen birim sistemden atılır.

6.3.4. Servis İşlemlerinin Tıkanması

Gezen birimler sınırlı kapasitesi olan Q-düğömlerden kaçtığını belirtmiştik. Alternatif olarak, ardışık servis işlemlerinde veya dizisel kuyruk durumunda tıkanma olabilir. Bir servis işleminden kapasitesi dolu bir Q-düğöme bir gezen birim gönderilmiş ise bu servis işlemini izleyen Q-düğömdede yer açılana kadar gezen birim serviste kalacaktır. Bu duruma gezen birimin ya da servis işleminin tıkanması denir. Bu tıkanmaya servis işlemini izleyen sınırlı kapasiteli Q-düğömler yol açmıştır. Kaçma ve tıkanma kavramları karşılıklı bağımsızdır. Yani, bu iki olay birlikte gerçekleşmez. Kapasite sı-

(9) a.g.e., s.35.

nırına ulaşmış bir Q-düğümüne varan gezen birim ya kaçar ya da servis işleminde takılır. Ardışık kuyruk durumlarında söz konusu olan tıkanma sembolü Şekil 6.7'de ardışık bir kuyruk durumu için gösterilmiştir(10).



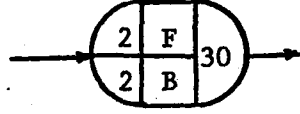
ŞEKİL 6.7. Servis işleminin tıkanması.

6.3.5. Gezen Birimleri Biriktirme

Servis başlamadan iki gezen birimin sisteme varmış olması istenirse bu durumun modelini kurmak istediğimizde gezen birimler biriktirilmelidir. Aynı tipte iki gezen birim sistemde birikmedikçe yeni bir gezen birim servis işlemine gönderilmez. Bunun için kendisine ilk defada ve daha sonraları 2 gezen birim gelmedikçe serbest bırakılmayacak bir normal düğüm kullanılır. Düğüme 2 gezen birim geldiğinde düğüm serbest bırakılır ve bir tek gezen birim olarak düğümden ayrılır. Ancak ayrılan bu tek gezen birime bu iki gezen birimden birinin özellikleri atanır. Model kurucunun yapabileceği seçimler: (a) İlk varan gezen birimin özelliklerini saklamak olabilir. Bu seçim F ile gösterilir. (b) Son varan gezen birimin özelliklerini saklamak olabilir. Bu seçim L ile gösterilir. Model kurucu seçimini gösteren işareti düğümün üst orta kısmına yazar. Örneğin bir buldozer yükleme işlemi başlamadan önce yükleyiciye en az iki birim yük getirmiş olmalıdır. Bu durumu gösteren normal düğüm sembolü Şekil 6.8'de gösterilmiştir(11).

(10) a.g.e., s.41.

(11) a.g.e., s.39.



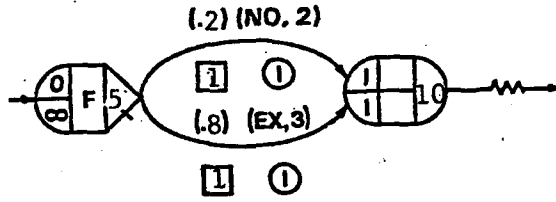
ŞEKİL 6.8. Gezen birimlerin biriktirilmesi.

Şekil 6.8'de 30 no.lu düğüme gelen iki gezen birim bu düğümden bir tek gezen birim olarak ayrılır. Ayrılan bu gezen birime, düğüme gelen gezen birimlerden birincisinin özellikleri atanır. Ayrıca bu düğümün serbest kalışlar arası süre hesaplanmak istendiğinde Şekil 6.8'de gösterildiği gibi düğümün alt orta kısmına "B" konulur.

6.3.6. İşgörende Probabilistik Dallanma

Bazı durumlarda aynı işgören farklı servisler yapabilir. Örneğin bir tezgahta mevcut zamanın 0.20 oranında bir mamule servis verilirken 0.80'inde servis süresi farklı değer bir mamule servis verilebilir. Bu durumun modelini kurabilmek için bu işgörenin (tezgahın) Q-düğümünde "probabilistik dallanma" kullanılır. Şekil 6.9 da görüldüğü gibi bir düğümün sağındaki üçgen gezen birimlerin dallanmasının probabilistik olduğunu gösterir(12). Bu düğümden çıkan probabilistik dalların olasılıkları toplamının 1 olması gerekmektedir. Q-düğümünden çıkan probabilistik dallar aynı işgören tarafından yapılacak farklı işlemleri gösterdiği için herhangi bir zamanda bu dallardan sadece biri işlem halinde olabilir.

(12) a.g.e., s.43.

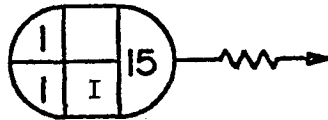


ŞEKİL 6.9. Alternatif servis işlemleri.

Şekil 6.9'dan görüldüğü gibi Q-GERT'te aynı başlangıç ve bitiş düğümlü paralel dallara izin verilmektedir.

6.3.7. Gezen Birimlerin Ayrılışları

Sisteme varan gezen birimler, beklemeden ve çeşitli servis işlemlerinden geçtikten sonra sistemi terk ederler. Gezen birimlerin bu ayrılış sürecini modellemek için Şekil 6.10 da gösterildiği gibi bir "terk düğümü" kullanılır. Bu düğümün sağ tarafındaki dalgalı çizgi düğümün bir terk düğümü olduğunu simgelemektedir(13).



ŞEKİL 6.10. Bir terk düğümü.

Terk düğümleri bir Q-GERT şebeke analizinde durma kuralını belirlemek için kullanılır. Eğer durma kuralı bir zaman periyoduna dayanıyorsa, Q-GERT şebeke diyagramı, terk düğümüne gereksinme duymaz. Eğer bir gezen birim sistemi terkederken her bir gezen birimin sistemde geçirdiği süreyle ilgili

(13) a.g.e., s.23.

istatistik toplamak istersek bu düğümün alt orta kısmına "I" yerleştirilerek "aralık istatistiği" hesabı istenir. Bir terk düğümünde düğümün gerçekleşme anları veya gezen birimin akış süreleriyle ilgili olarak istatistiklerde üretilebilir. Fakat şebeke analizinin durma kuralı, terk düğümünün serbest kalış sayısı ile belirlenmemiş ise bu istatistikleri almak için terk düğümü yerine "istatistik düğüm" kullanılır. Terk düğümü ve istatistik düğümde istenebilen istatistikler:

- 1- İlk serbest kalış anı (F)
- 2- Tüm serbest kalışlar anı (A)
- 3- Serbest kalışlar arası süre (B)
- 4- Aralık istatistiği (I)
- 5- Gecikme istatistiği (D)

6.4. GELİŞMİŞ Q-GERT KAVRAMLARI

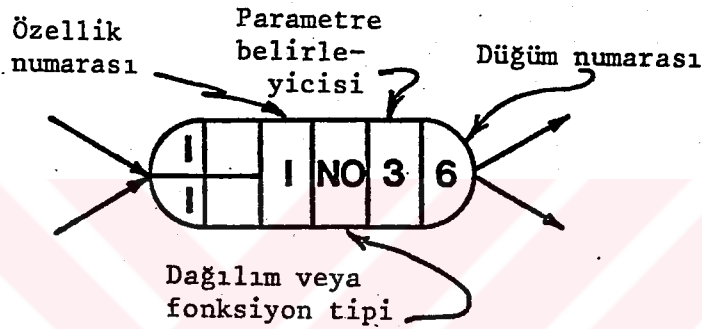
Bu ayırımda, gezen birimleri birbirinden ayırmak için çeşitli özelliklerin atanması, karmaşık sistemlerin modellenmesinde gerek duyulan seçici düğüm, eşleyen düğüm ve gezen birimlerin rotalandırılmaları için yeni yöntemler tanıtılmaktadır.

6.4.1. Gezen Birimlere Özelliklerin Atanması

Her gezen birime atanmış olan işaret zamanı bu gezen birimin özelliği olduğunu belirtmiştik. Bir gezen birim düğümünden geçtiği anda işaret zamanı dışında diğer özellikler atanabilir. Bu özellikler gezen birimleri birbirinden ayırmak için yararlı olmaktadır. Ayrıca, özellikler üç tip şebeke mantığını vurgulaması nedeniyle de yararlı olmaktadır. Bunlar:

- 1- Bir faaliyetin gezen birimi işleme süresini belirleme,
- 2- Gezen birimleri kuyrukta sıralama,
- 3- Gezen birimlerin rotalandırılması.

Model kurucu bu özelliklerden yararlanarak Q-GERT şebekelerini istenilen ölçüde esnek kurabilir. Her atama için üç ayrı tip bilgi gerekir; özellik numarası, fonksiyon tipinin kodu, parametre belirleyicisi, örneğin düğüm 6'dan geçen her gezen birimin 1. özelliğine atanacak değer, 3 numaralı parametre listesindeki parametreleri kullanan normal dağılımdan seçilen bir örnek olsun. Bu atama Şekil 6.11'de gösterilmiştir(14).



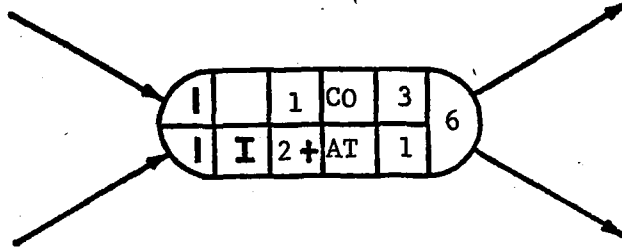
ŞEKİL 6.11. Gezen birim bir özellik atanması.

Düğüm 6'dan geçen gezen birimin daha önceden 1. özelliği için taşıdığı değer varsa bu iptal edilir. Bu gezen birimin diğer özellikleri için önceden atanmış değerler varsa bu değerler aynı kalır.

Özellik numarasına ilave edilmiş bir artı işareti, model kurucunun bu özelliğin taşıdığı değere bir değer ilave etmek istediğini, eksi işareti de bu özelliğin taşıdığı değerden bir değer düşmek istediğini gösterir.

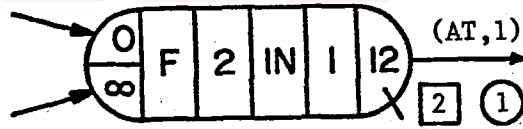
Q-GERT'te diğer bir fonksiyon, özellik değerinin doğrudan kullanılmasını sağlar. Bu fonksiyon kısaca "AT" ile gösterilir. Bir özellik değerinin, değer atamaya ilişkin kullanımına örnek olarak, 1. özelliğe sabit 3 değeri atanmak isteniyor. Ayrıca 1. özelliğe atanan değeri 2. özelliğin taşıdığı

değere ilave etmek isteniyor. Bu atamalar Şekil 6.12'de gösterilmiştir(15).



ŞEKİL 6.12. Bir özellik değerinin değer atamaya ilişkin kullanımı.

Gezen birimlere özellik değerlerinin atanması şebekenin Q-düğümünde de yapılabilir. Örneğin gezen birimlerin düğümden çıkışları kayıt edilmek isteniyorsa, kısaca "IN" ile gösterilen basamak fonksiyonu kullanılır. Ayrıca Q-düğümü terkeden dalı geçme süresi gezen birimin 1. özelliğine daha önceden atanan değerine eşit olduğunu varsayalım. Bu durum Şekil 6.13'de gösterilmiştir(16).



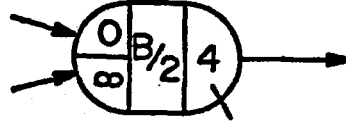
ŞEKİL 6.13. Q-düğümünde özellik atama.

Servis süreleri gezen birimin özellik değeri ile gösterildiğinde gezen birimler, kuyrukta servis sürelerinin büyüklüğüne göre sıralanabilir. Örneğin önceden 2. özelliğe atanan servis süresi büyük olan gezen birimlere öncelik tanımak için Şekil 6.14'de görüldüğü gibi "B/2" notasyonu kullanılır(17).

(15) a.g.e., s.137.

(16) a.g.e., s.141.

(17) a.g.e., s.142.



ŞEKİL 6.14. Kuyruk sıralamada özellik kullanımı.

Kuyrukta sıralama için 2. özelliğin en küçük değerine öncelik tanınacaksa, "S/2" notasyonu kullanılır. Gezen birimler kuyrukta bir özelliğe atanan servis sürelerine göre sıralandığı gibi diğer özelliklerine atanan değerlere veya işaretleme zamanlarına (S/M) veya B/M) göre de sıralanabilir.

6.4.2. Gezen Birimlerin Rotalandırmasında Özelliklerden Yararlanma

Gezen birimler şebeke içinde deterministik ve probablistik dallanma ile rotalandırılmaktaydı. Ancak her iki yöntem de sistemin içinde bulunduğu durumun veya rotalandırılan gezen birimlerin özellik değerlerinin değerlemesini içermemektedir. Q-GERT'te bunlara ek olarak iki farklı dallanma tipi de mevcuttur. Bunlar koşullu dallanma-ilkini al ve koşullu dallanma-tümünü al yöntemleridir.

Koşullu dallanmada gezen birimin daldan rotalandırılması halinde gerçekleşmesi gereken koşul belirlenir. Bu koşul kodları ve tanımları aşağıda verilmektedir(18):

Koşul Kodları*



T.x.V	$N_i.R$
T.x.A _k	$N_i.NR$
A _j .x.V	$NA_j.R$
A _j .x.A _k	$NA_j.NR$

*Bir dal için belirtilebilen 28 mümkün koşul kodu vardır.

(18) a.g.e., s.146.

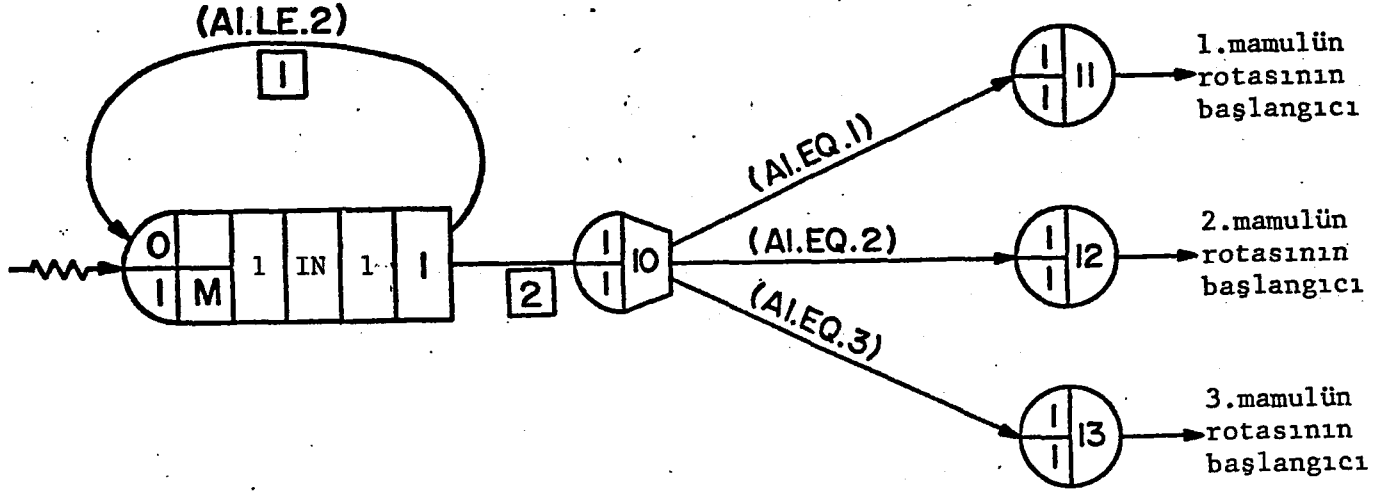
Kullanılan Notasyon:

- T : cari simulasyon zamanı (TNOW)
V : sabit değer
 A_j ve A_k : rotalandırmanın yapıldığı gezen birimlerin j ve k özelliklerinin değeri
x : ilişki operatörü (LT, LE, EQ, NE, GT veya GE)
 N_i : i düğüm numarası
 NA_j : rotalandırmanın yapıldığı gezen birimin j özelliğinin değeri ile belirlenen düğüm numarası
R : serbest bırakıldı
NR : serbest bırakılmadı.

Koşullu-ilkini al dallanması olan düğümlerin çıktı yönü  , koşullu-tümünü al dallanması olan düğümlerin çıktı yönü ise  şeklinde gösterilir. Koşullu-ilkini al dallanmasında belirlenen koşullar sıra ile değerlendirilir ve gezen birim koşulun gerçekleştiği ilk dal boyunca rotalandırılır. Bir dala koşul konmaması halinde bu dalın koşulunun gerçekleştiği varsayılır. Bu nedenle koşullu-ilkini al dallanmasında koşul belirtilmeyen dallar sıralamada en sonda yer almalıdır. Koşullu-tümünü al dallanmasında her durum değerlendirilir ve gezen birim koşulun gerçekleştiği her dal boyunca rotalandırılır. Ancak bu iki tip dallanma Q-düğümlerde kullanılamaz.

Koşullu dallanmaya örnek olarak 1, 2 ve 3 olarak tanımlanan 3 ayrı mamulün siparişi alınsın. Bu mamuller koşullu-tümünü al dallanmasına sahip bir kaynak düğümde üretilir. Bu mamullerin rotalandırılmasına ilişkin koşullar değerlendirilir. 1. özelliğinin değeri 2'den küçük veya eşit olan gezen birimler 1. faaliyet üzerinden 1. düğüme geri gönderilmektedir. Ayrıca 1. gezen birim hiç koşul tanımlanmamış olması nedeniyle 2. faaliyet üzerinden 10. düğüme rotalandırılır. Varsayılan değer düğüm 1'in serbest kalmasıdır (N1.R). Böyle devam ederek 1. özelliğinin değerleri 1, 2 ve 3 olan üç gezen birim 6.15'de görüldüğü gibi bir zaman gecikmesine uğramadan düğüm 1'de ko-

şullu-tümünü al dallanması kullanılarak üretilirler.



ŞEKİL 6.15. Koşullu-dallanmaları gösteren şebeke parçası.

Bu mamullerin herbiri farklı bir rota takip ederse, düğüm 10'dan (Şekil 6.15) 1. özelliğın değerlerine göre koşullu-ilkini al dallanması kullanılarak rotalandırılırlar. Bir gezen birim 10. düğümüne vardığında 10 numaralı düğüm serbest kalır. Bu düğümde çıkan her dalın değerlendirmesi yapılır ve mamul koşulun gerçekleştiği ilk dal boyunca rotalandırılır. Eğer bu koşullardan hiçbiri gerçekleşmemiş ise gezen birim sistemden atılır.

6.4.3. Seçici Düğümler (S-Düğüm)

Kuyrukları incelerken paralel kuyrukların ve özdeş olmayan işgörenlerin olabileceği düşünülmemiştir. Paralel kuyrukların ve paralel işgörenlerin sistemde bulunması durumunda bunların seçimine ilişkin karar kurallarının belirlenmesi için bir seçici düğümüne (S-düğümüne) gerek vardır. Bu S-düğüm aşağıdaki (Şekil 6.16) sembol ile gösterilmektedir(19).

Kuyruk Seçim Kuralı	Düğüm Numarası
İşgören Seçim Kuralı	

ŞEKİL 6.16. Bir S-düğüm sembolü.

Bir S-düğümdeki kuyruk seçim kuralı gezen birimin sebebinin durumuna göre kuyruktan veya kuyruğa rotalandırılmasına ilişkin kuralı belirler. İşgören seçim kuralı ise gezen birimin Q-düğümüne varışında hangi işgörenin seçileceğini belirler.

Tablo 6.2'de kuyruk seçim kurallarının(20), Tablo 6.3'de ise işgören seçim kurallarının bir listesi verilmiştir(21).

TABLO 6.2. Kuyruk Seçim Kuralları

<u>Kod</u>	<u>Tanım</u>
POR	Öncelik tercih edilen sırada veriliyor
CYC	Çevrimsel öncelik tanınır
RAN	Rasgele öncelik-her Q-düğümüne eşit olasılıklar tanınır
LAV	En çok gezen birime servis yapmış Q-düğümüne öncelik tanınır
SAV	En az gezen birime servis yapmış Q-düğümüne öncelik tanınır
LWF	En çok bekleyen Q-düğümüne öncelik tanınır
SWF	En az bekleyen Q-düğümüne öncelik tanınır
LNQ	En çok gezen birimi bulunduran Q-düğümüne öncelik tanınır
SNQ	En az " " " " " " "
LNB	En çok kaçma olan Q-düğümüne öncelik tanınır
SNB	En az " " " " " "
LRC	En fazla kullanılmamış kapasitesi olan Q-düğümüne öncelik tanınır

(20) a.g.e., s.158.

(21) a.g.e., s.162.

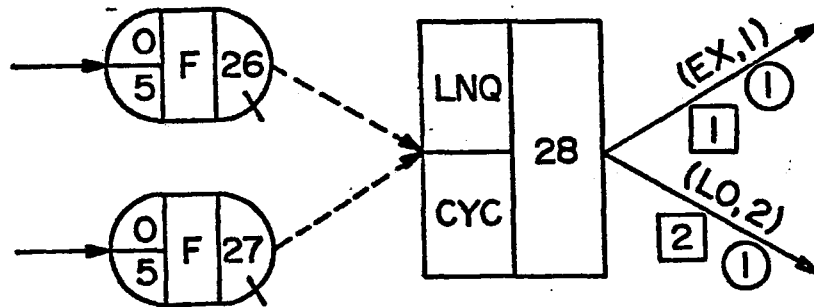
TABLO 6.2. (devam)

Kod	Tanım
SRC	En az kullanılmamış kapasitesi olan Q-düğümüne öncelik tanınır
ASM	Birleştirme tipi tercih-iş görenin servise başlaması için her kuyruktan bir gezen birimin alınması gerekir.

TABLO 6.3. İşgören Seçim Kuralları

Kod	Tanım
POR	İşgörenlerin önceliği tercih edilen sırada veriliyor
CYC	Çevrimsel öncelik tanınır
RAN	Rasgele öncelik
LBT	En fazla kullanımı olan işgörene öncelik tanınır
SBT	En az kullanımı olan işgörene öncelik tanınır
LIT	En uzun süre boş kalan işgörene öncelik tanınır
SIT	En kısa süre boş kalan işgörene öncelik tanınır
RFS	Önceden atanmış olasılıklara göre öncelik tanınır

Bir S-düğümü gezen birimlerin paralel kuyruklara rotalandırılmasında kuyruklardan birinin seçimi için kullanıldığı gibi servis işlemini başlatmak ve Q-düğümle arasında seçim yapabilmek için de kullanılır. Ayrıca paralel özdeş olmayan işgörenler arasında bir seçim yapabilmek için S-düğümü kullanılır. Hem Q-düğümün seçimini hem de işgörenin seçimini gösteren bir S-düğümü aşağıda Şekil 6.17'de gösterilmiştir(22).

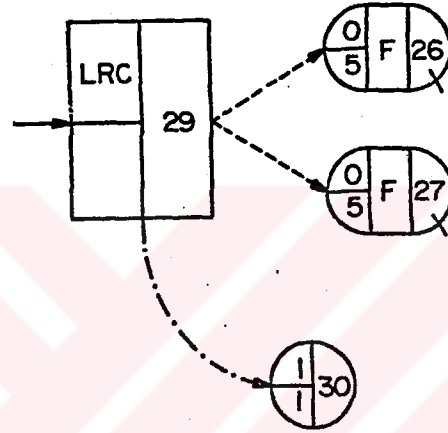


ŞEKİL 6.17. Kuyruk ve işgören seçimini gösteren bir S-düğümü.

(22) a.g.e., s.163.

Şekil 6.17'deki örnekte S-düğümü 26. ve 27. Q-düğümle-
rinden gezen birimleri, kuyruğu en uzun olandan (LNQ) seçerek
1. ve 2. numaralı işgörenlere çevrimsel öncelik (CYC) tanınır.

Bir S-düğümü sonlu kapasiteli kuyruklara gezen birim
rotalıyorsa bu S-düğümden gezen birimlerin kaçması söz konu-
su olabilir. Eğer S-düğümden sonra gelen Q-düğümlerin hepsi
kapasitesini doldurmuş ise gezen birimlerin kaçıışı aşağıda
Şekil 6.18'de gösterilmiştir(23).

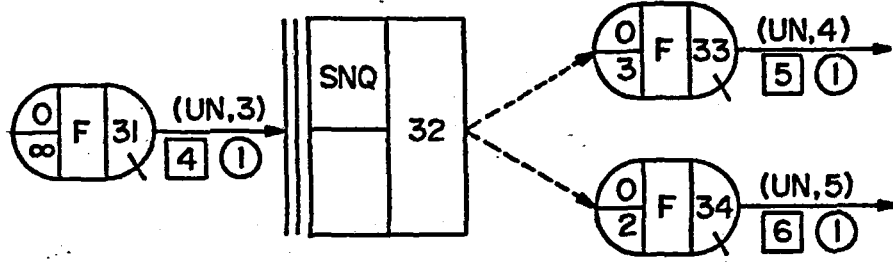


ŞEKİL 6.18. Bir gezen birimin S-düğümünden kaçıışı.

S-düğümünden kaçmalar olabileceği gibi, S-düğümünün
servis işlemini tıkaması da mümkündür. S-düğümünü takip eden
Q-düğümünde boş yer kalmamış ise S-düğümü servis işlemini ya-
ni gezen birimlerin Q-düğüne rotalandırılmasını tıkayabilir.
S-düğümündeki tıkanma işlemi Şekil 6.19'daki şebeke parçasın-
da gösterilmiştir(24).

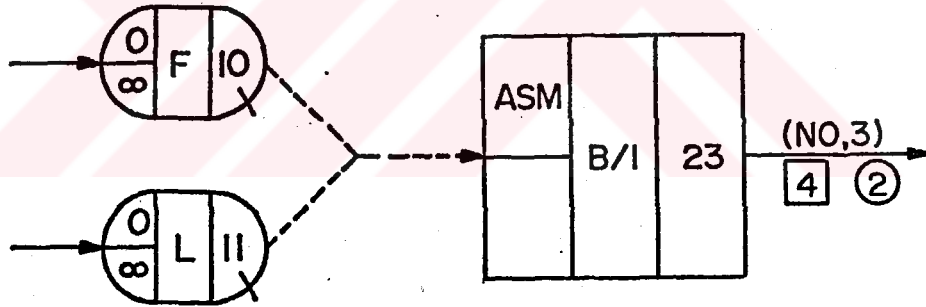
(23) a.g.e., s.165.

(24) a.g.e., s.166.



ŞEKİL 6.19. Bir servis işleminin S-düğüm tarafından tıkanması.

Servis öncesi gezen birimlerin birleştirilmesi (montajı) sağlamak için S-düğümde kuyruk seçim kuralı olarak ASM kullanılır. Böylece kuyruklarda birer gezen birim olmadıkça Şekil 6.20'deki 4 no.lu servis işlemi başlatılamayacaktır(25).

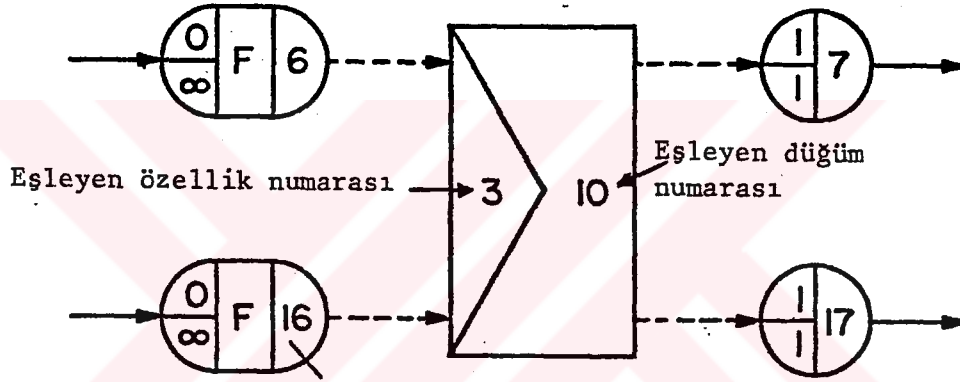


ŞEKİL 6.20. S-düğümde birleştirme tipi tercihi.

Şekil 6.20 de gösterilen şebeke parçasında her iki kuyrukta da gezen birim varsa bu iki gezen birim birleştirilerek tek bir gezen birim olarak 4 numaralı servise rotalandırılır. Birleştirilmiş gezen birimin taşıdığı özellik değeri, 23 numaralı S-düğümde gösterildiği gibi 1. özelliğin değeri en büyük gezen birimin özelliği olarak belirtilmiştir.

6.4.4. Eşleyen Dğümler

Q-GERT'te eşleyen dğümler belirli Q-dğümlerinde bekleyen ve belirli özellik değeri eşit olan gezen birimleri bir araya getiren dğümlerdir. Eşleyen dğüm farklı kuyruklarda (en fazla 5) bekleyen gezen birimlerin özellik değeri eşit olmasını gerektirir. Eşleme halinde ise her gezen birimi ayrı ayrı rotalandırır. Eşleyen dğümün kullanımı Şekil 6.21'de gösterilmiştir(26).

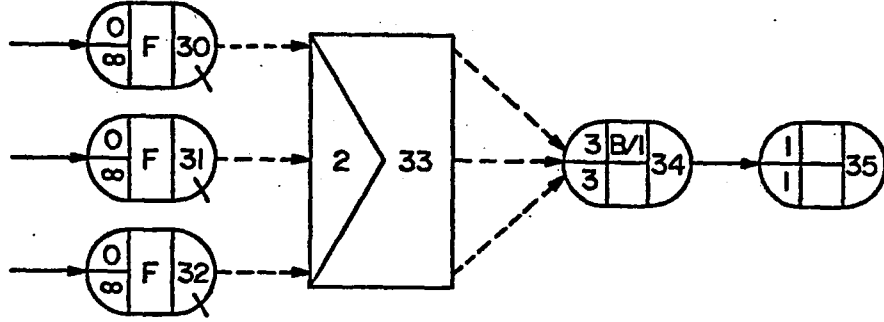


ŞEKİL 6.21. Eşleyen dğüm.

Eğer aynı özellikte gezen birimlerin birleştirilmesi isteniyorsa bu konuya ilişkin eşleyen dğümün kullanımı Şekil 6.22'de gösterilmiştir(27).

(26) a.g.e., s.172.

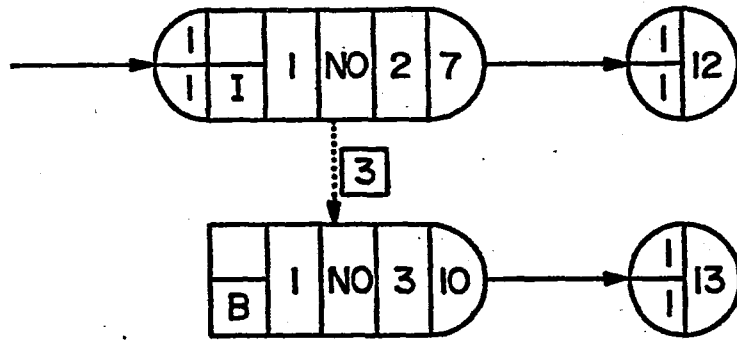
(27) a.g.e., s.173.



ŞEKİL 6.22. Gezen birimlerin eşleştirilmesi ve birleştirilmesi.

6.4.5. Düğüm Değişirimi

Gezen birimlerin özellik değerlerine göre (koşullu dallanma ile) veya işgörenlerin durumuna ve kuyruk durumlarına (S-düğümüleri ile) dayanarak şebeke içinde nasıl rotalandırıldıklarını inceledik. Faaliyetlerin gerçekleştirilme sırasına göre gezen birimlerin rotalandırılmasını sağlamak amacıyla düğüm değişirimi kavramı Q-GERT'e dahil edilmiştir. Ancak sadece serbest bırakılan düğümler değiştirilebilir ve bu nedenle Q-düğümüleri, S-düğümüleri ve EŞLEYEN düğümler değiştirilemez. Düğüm değişiriminin sembolik gösterimi Şekil 6.23 de verilmiştir(28).



ŞEKİL 6.23. Düğüm değişirimi.

(28) a.g.e., s.174.

3. faaliyet gezen birim 7. düğüme vardığında tamamlanmış ise 7. düğüm serbest bırakılmasını sağlayan gezen birimler 10. düğüme transfer edilir ve 10. düğüm için öngörülen fonksiyon ve dallanma uygulanır.

6.5. Q-GERT ANALİZ PROGRAMI

Şimdiye kadar bir sistemin Q-GERT şebeke modelinin kurulması için gerekli kavramları inceledik. Bir Q-GERT şebekesi kurulduktan sonra bu şebekeyi sayısal bilgisayarlarda çözmek için Q-GERT analiz programı kullanılır. Q-GERT analiz programı ANSI FORTRAN IV dilinde yazılmış olup simülasyon yöntemi kullanır. Simülasyon yöntemi, şebekede gezen birimlerin üretilmesini şebekede işlenmesini ve özet raporun otomatik olarak hazırlanması için gerekli istatistiklerin toplanmasını içerir. Toplanan bu istatistikler, gezen birimlerin dolaşma süreleri, kuyruk ve işgörenlerin durumları, düğümlerin serbest kaldığı anlarla ilgilidir. Sonra bu bilgiler şebeke modelini güncelleştirme ve incelenen sistemle ilgili yorumlar çıkarmak için kullanılır. Q-GERT analiz programına şebeke elemanlarını tanımlayan verilerin nasıl hazırlandığını tartışmadan önce, Q-GERT analiz programının çalışma yöntemi tanıtılacaktır.

6.5.1. Q-GERT Analiz Programının Çalışma Yöntemi

Q-GERT analiz programı, gezen birimlerin şebeke içinde akışını simüle etmek için kullandığı yaklaşım GASP (General Activity Simulation Program) programına benzemektedir. GASP'da olaya dayalı yaklaşım (event based approach) kullanılır(28). Benzer yaklaşım Q-GERT'te ayrık olay (discrete event) yöntemi olarak bilinir. GERTS III programında da olaydan olaya zaman ilerletme ile şebekenin simülasyonu yapılmaktaydı ve buna bir

(28) Halaç, Osman, "İşletmelerde Simülasyon Teknikleri", İşletme Fak., İstanbul, 1982, s.225.

sonraki olay simülasyonu (next event simulation) adı verilmiştir(29). Simulasyon ile ilgili olaylar: (a) simulasyon başlangıcı, (b) bir faaliyetin sonu ve (c) simulasyon bitişidir.

Simulasyon başlangıç olayı olarak şebekedeki her kaynak düğüm değerlendirilir. Her kaynak düğümde gezen birimler üretilir, işaretlenir ve düğümde tanımlanmış dallanma özelliklerine göre rotalandırılır. Kaynak düğümden seçilen dalın (veya dalların) temsil ettiği faaliyetler, süreleri kadar bir sonraki olaya ilerletilir. Gezen birimin bir düğüme varışını gösteren bu olay "faaliyet sonu olayı"dır. Olay takviminde, faaliyet bitişini gösteren gezen birimin bulunduğu olaylar programlanır ve yerleştirilir. Bundan sonra zaman, olay takviminden alınan gelecek (ilk) olayın gerçekleşme zamanına ilerletilir.

Gezen birimin ilk bulunduğu düğüm tipi bir Q-düğüm değil ise düğümü serbest bırakacak gezen birim sayısı bir azaltılır. Eğer düğüm serbest kalmamışsa zaman, gelecek olay zamanına ilerletilir. Eğer düğüm serbest kalmışsa gereğine göre istatistikler toplanır, işaretleme yapılır ve gezen birim bu düğümden çıkan dallara, düğümün dallanma özelliğine göre, rotalandırılır. Seçilmiş her dal için bir faaliyet süresi belirlenir ve gezen birim, o andaki zaman artı faaliyet süresinde bitiş düğümüne varacak şekilde zamanlanır. Bu zaman varışı olay takviminde işaretlenir. Bu şekilde tüm dallar seçildikten ve bunlarla ilgili olaylar zamanlandıktan sonra, olaylar dosyasında zamana göre sıralanmış bir sonraki olay alınır. Eğer alınan bu olayın zamanı tüm simülasyona ayrılmış zamanı aşmamışsa bu süreç devam eder. Aksi takdirde simülasyonun bittiği varsayılır ve istatistikler depolanır.

(29) Whitehouse, G.E., "Systems Analysis and Design Using Network Technique", Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, Inc., 1973, s.308.

Bir gezen birim Q-düğümüne varmış ise ilk olarak kuyruğun dolu olup olmadığına bakılır. Kuyruk dolu ise gezen birim ya bu Q-düğümünden kaçır ya da o andaki servis işlemini tıkar. Eğer kaçarsa ve kaçılan düğüm tanımlanmamış ise gezen birim sistemden atılır. Kaçılan düğüm tanımlı ise gezen birim bu düğümüne gönderilir. Tıkanma olmuşsa, servisteki gezen birim tıkanma açılana kadar servis işleminden geçemez.

Kuyruk dolu değil fakat kuyruktan sonraki işgörenler meşgul ise gezen birim kuyruksa kendisine ayrılmış yere yerleştirilir. Şayet bir işgören boşsa, gezen birim bu servis işlemini izleyen düğümüne, o andaki zaman artı servis süresinde varacak şekilde zamanlanır. Kuyruksa gezen birim sayısı ve işgörenlerin meşgul olma süreleri ile ilgili istatistikler yenilenir.

Servis işlemi tamamlandığında, bu işlemle ilgili kuyruksa gezen birim olup olmadığına bakılır. Eğer Q-düğümde gezen birim yoksa servis işlemi aylak hale getirilir. Eğer kuyruksa gezen birim var ve bu Q-düğüm maksimum kapasitesinde ise bu gezen birim kuyruktan alınırken bir önceki servis tıkanıklıktan kurtarılır. Gezen birim servis işleminin bitiş düğümüne varacak şekilde zamanlanır.

Bir gezen birim terk düğümüne ulaşmışsa simülasyon koşumunun bitip bitmediği kontrol edilir. Bitmediyse yukarıdaki süreç devam eder. Şayet bittiyse bir simülasyon koşumunu özetleyen istatistikler depolanır. Yukarıdaki bu süreç şebeke verilerinde belirtilen simülasyon koşum sayısı kadar tekrar edilir(30).

6.5.2. Q-GERT Analiz Programı Verilerin Verilişi

Q-GERT analiz programının verileri hem şebekeyi hem de analiz yapılacak koşulları belirler. Şebekeyi tanımlayan kart destesinin ilk kartı, proje adı, simulasyon koşum sayısı, simulasyon zamanı vs. gibi genel proje ve şebeke bilgilerini içerir. Şebekeye dahil her bir düğüm, faaliyet, özellik ve parametre grubu için ayrı bir karta gerek vardır. Ayrıca bir veri kartı da verilerin sonunu belirler.

Q-GERT analiz programının veri kartlarının başındaki ilk üç karakter kartların kimliğini belirler. Q-GERT kavramları için kart tiplerinin bir kısmı aşağıda belirtilmiştir(31).

<u>Kart Kod</u>	<u>ismi</u>	<u>Kısa Tanımı</u>
GEN		Genel (General) proje bilgisi
REG		Normal (REGular) düğüm tanımı
SOU		Kaynak (SOURce) düğüm tanımı
SIN		Terk (SINK) düğüm tanımı
STA		İstatistik (STATistik) düğüm tanımı
QUE		Kuyruk (QUEue) düğüm tanımı
PAR		Parametrik (PARametric) bilgi değerleri
ACT		Faaliyet (ACTivity) tanımı
SEL		Seçici (SElective) düğüm tanımı
MAT		Eşleyen (MATch) düğüm tanımı
MOD		Düğüm değiştirimi (Modification) bilgileri
VAS		Özelliklere (Value ASSign) değer atama
FIN		Tüm Q-GERT girdisinin sonu

Tablo 6.4'de tanımlanan Q-GERT veri kartlarının verilis sırası oldukça esnektir. Kart sırası ile ilgili olarak kart destesinin ilk kartı "GEN" kartı, son kartı ise bir "FIN" kartı olmak zorundadır. Ayrıca "ACT" kartında belirlenmiş olan başlangıç düğümü, "ACT" kartından önce tanımlanmış olmalıdır.

(31) a.g.e., s.55.

Q-GERT analiz programının verileri serbest formatlıdır. Yani veri kartları kolon kısıtı olmaksızın delinebilir. Serbest formatlı verilerin belirli özellikleri aşağıda verilmiştir(32):

- 1- Analist ve proje adı alanları dışında boşluklar ihmal edilebilir.
- 2- Bir kartta bütün alanlar, sonuncusu dışında virgülle son bulurlar.
- 3- Bazı alanlara birden çok değer atamak için "/" işareti kullanılır. Q-GERT'te bir alandaki birden çok düğüm ve servis işlemlerine etiket atamak için kullanılır.
- 4- Bir veri kartının son alanından sonra asterisk (*) delinerek kayıt sonu belirlenir. Ayrıca, veri kartında asteriskden sonra açıklamalar yer alabilir.
- 5- Bir alan kartlar arasında bölünemez fakat bir kartı izleyen kartta bir kayda ait başka alanlar bulunabilir. Bununla beraber bir veri kaydı 50 alanı aşamaz.
- 6- Bir alanın atlanacağı virgül veya virgülü izleyen boşluklarla belirlenir.
- 7- Bir sonra belirleyici alanın numarasını parantez içinde yazarsa bu aradaki tüm alanlar atlanacak ve varsayılan değerler bu alanlara atanacaktır.

Q-GERT analiz programı için genel proje ve şebeke bilgisini tanımlayan "GEN" girdi kartının 14 alanı aşağıda verilmektedir(33).

(32) a.g.e., s.56-57.

(33) a.g.e., s.408-409.

<u>Alan</u>	<u>Tanıtımı</u>	<u>Varsayılan Değer</u>
1	Kart tipi (GEN)	-
2	Analizci ismi (Alfanumerik)	12 hane boşluk
3	Proje ismi veya numarası	12 hane boşluk
4	Ay (tamsayı)	1
5	Gün (tamsayı)	1
6	Yıl (tamsayı)	2001
7	İstatistik düğüm sayısı (tamsayı)	0
8	Terk düğüm sayısı (tamsayı)	0
9	Koşum sonu için terk düğümü serbest bırakılma sayısı (tamsayı)	Alan 7'deki değer
10	Bir koşumun sona erdirileceği zaman (gerçek sayı)	1.E20
11	Şebeke koşum sayısı (tamsayı)	1
12	Son özet raporuna ek olarak çıktığı raporları: ilk koşum ('F'), her koşum ('E'), kümülatif ('C') veya sadece özet ('S') rapor.	İlk koşum ('F')
13	Her koşumun başlangıcından itibaren istatistiklerin tutulacağı zaman (Gerçek sayı)	0
14	Şebekeden akan her gezen birim için max. özellik sayısı (tamsayı)	0

Diğer veri kartlarının özet düzeni Tablo 6.4'de verilmiştir(34).

TABLO 6.4. Veri kartlarının özet düzeni

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
REG veya SOU	Düğüm No.	Serbest bırakma için ilk sayı {1}	Serbest bırakma için daha sonraki sayı {∞}	Dallanma (D,P,F,A) {D}	İşaret (M) SOU ise (M)	Secim kriteri (F,L,S,B){L}/özellik{M}			
SIN veya STA	Düğüm No./ isim	Serbest bırakma için ilk sayı {1}	Serbest bırakma için daha sonraki sayı {∞}	Dallanma (D,P,F,A) {D}	İstenilen istatistikler (F,A,B,I,D) {F}	İlk sınıfın üst limiti {N}	Histogram sınıfının genişliği {N}	Secim kriteri (F,L,S,B){L}/özellik{M}	
QUE	Düğüm No./ isim	Kuyruk başlangıç uzunluğu {0}	Q-düğüm kapasitesi {∞}	Dallanma (D,P) {D}	Sıralama (F,L,S,B){F}/özellik {M}	Tıkanma veya kaçanlar için düğüm no.{8} {Kacanlar imha edilir}	İlk sınıfın üst limiti {N}	Histogram sınıfının genişliği {D}	İzleyen S-düğümü veya eşleyen düğümler
SEL	Düğüm No./ isim	Kuyruk secim kuralı {POR}	İsgören secim kuralı {POR}	Secim kriteri (S,B){B}/özellik {M}	Tıkanma veya kaçanlar için düğüm no.su (B)	İlişkin Q-düğümleri	(Alan 7'nin tekrarı)		
MAT	Düğüm No.	Esleyen özellik	Q-düğüm/rotalama düğümü	(Alan 4'ün tekrarı)					
PAR	Parametre seti no.	Parametre 1 {0}	Parametre 2 {-1020}	Parametre 3 {020}	Parametre 4 {0}	Dizi no.su {10}			
VAS	Düğüm numarası	Özellik no.su {1}	Bağlılık tipi {Co}	Parametre seti {0}	(Alan 3, 4 ve 5'in tekrarı)				
ACT	Başlangıç düğümü	Bitiş düğümü	Bağlılık veya fonksiyon tipi {Co}	Parametre seti veya sabit {0.0}	Faaliyet no./ isim	Paralel işgören sayısı {1}	Ölçülülük veya özellik no. veya sıra {5}	Kosul kodu {Ni,R} i:başlangıç düğ.	
MOD	Faaliyet No.	Çıkan düğüm	Giren düğüm	(Alan 3 ve 4'ün tekrarı)					

*Varsayılan değerler köseli parantez içinde verilmiştir. Varsayılan değer verilmemişse alan içine bilgi yazılması zorunludur. Bu alan için opsiyonlar parantez içinde verilmiştir. Bölüm işareti (/) iki bilgi parçası taşıyabileceğini gösterir. İkinci bilgi parçası verilmeyebilir.

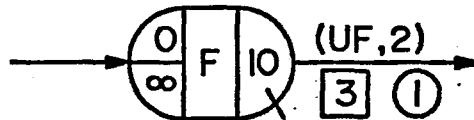
6.6. İLERİ Q-GERT KAVRAMLARI: PROGRAM EKLEMELERİ

İleri Q-GERT, analist tarafından dolaysız olarak şebeke yapısına sokulabilen FORTRAN'a dayalı model kurmayı içerir. Model kurucu karmaşık sistemlerin modelini kurmak isterse, Q-GERT sembol ve kavramlarını bazı yerlerde, kendi yazacağı ya da Q-GERT'te hazırlanmış bazı program eklemeleriyle zenginleştirmek zorunda kalır. İşte bu kısımda FORTRAN alt-programlarının Q-GERT şebeke modeline eklemeye yardımcı olacak altprogramlar açıklanmakta ve kullanılışı gösterilmektedir. Ayrıca, düğümlerin durumunu, faaliyetleri ve gezen birimleri tanımlayan Q-GERT değişkenleri de anlatılmaktadır.

Q-GERT modellerinde program eklemelerinin yapılacağı iki yer vardır. Bunlar:

- 1- Faaliyetin başladığı yer ve
- 2- Düğüm serbest bırakma anıdır.

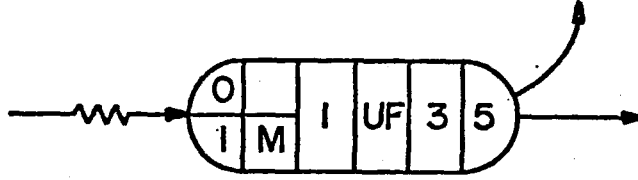
Kullanıcı fonksiyonu olduğunu göstermek için "UF" kodu kullanılır. Bir servis işleminin başladığı yerde kullanıcı fonksiyonu kullanımına örnek Şekil 6.24'te gösterilmiştir(35). Bu kullanım servis işlemi 3'ün başladığı her an 2 numaralı kullanıcı fonksiyonunun çağrılacağını gösterir. Bir servis işleminin süresini saptayan fonksiyon tipinin yerine kullanılan bu kullanıcı fonksiyonu'nun ana amacı işlem süresini belirlemektir.



ŞEKİL 6.24. Bir servis işleminde UF'nin kullanımı.

(35) a.g.e., s.236.

Kullanıcı fonksiyonu'nun düğümde kullanımına örnek Şekil 6.25'de gösterilmiştir(36). Bu halde düğümden geçen gezen birimin bir özelliğine belirli bir değer atama, fonksiyon tipinin yerine kullanılmıştır.



ŞEKİL 6.25. Düğümde kullanıcı fonksiyonunun kullanımı.

Kullanıcı fonksiyonu "UF" nin her kullanımında Q-GERT analiz programında, fonksiyon altprogramı UF (IFN) çağrılır. Buradaki IFN parametresi, kullanıcı fonksiyon numarasıdır. Bu parametre, şebekenin değişik yerlerinde kullanıcı fonksiyonlarını birbirinden ayırmaya yarar. Böylece kullanıcı fonksiyonu (UF) kullanılarak FORTRAN kodlaması ile bazı özel koşullar, sisteme katılabilmektedir.

6.6.1. Q-GERT Değişken Tanımları

UF fonksiyonunu FORTRAN kodlaması yapılırken kullanılacak bir kısım Q-GERT değişkenlerini tanıtmak gerekir. Tablo 6.5'de UF fonksiyonunda doğrudan kullanılacak Q-GERT değişkenleri ve tanımları verilmektedir(37).

(36) a.g.e., s.237.

(37) a.g.e., s.244.

TABLO 6.5. Q-GERT Değişken Tanımlarından Seçilmiş Bir Liste

<u>Değişken Adı*</u>	<u>Tanımı</u>
NDE	Gezen birime ilişkin özellik sayısı. İşaret anı bir gezen birimin NDE'inci özelliğidir.
NFTBU(NODE)	NODE düğümü serbest bırakıldığında istatistik toplamanın, değer atamaların ve dallanmanın olduğu düğüm no.su.
NREL(NODE)	Q-düğüm için kuyruktaki gezen birim sayısı, S-düğüm için kuyruk seçim kodu. Aksi halde düğümün serbest kalması için gerekli kalan eleman sayısı.
NRELP(NODE)	Q-düğüm için başlangıçtaki eleman sayısı, S-düğüm için nümerik kuyruk seçim kodu. Bunun dışında NODE'un ilk serbest kalışı için gerekli eleman sayısı.
NREL2(NODE)	Q-düğüm için maksimum kuyruk kapasitesi. S-düğüm için nümerik işgören seçim kodu. Diğer düğümler için NODE'un serbest kalması için daha sonraki adımlarda gerekli eleman sayısı.
NRUN	Cari koşum numarası, yani NRUN = 3 şebekenin üçüncü simülasyonunu belirler.
NRUNS	Toplam istenen koşum sayısı
NTC(NODE)	TBEG anından beri düğüm NODE'dan geçen gezen birim sayısı. NODE başka bir düğümle yer değiştirirse NTC(NODE) arttırılmaz.
PARAM(I,J)	Parametre grubu I'nin J'ninci değeri
TBEG	Veri toplamanın başlayacağı an (TBEG GEN kartında veridir).
TNOW	Cari simülasyon anı.

*Değişkenler listesinde, 'NODE' argümanı cari düğüm numarasını gösterir.

6.6.2. Olasılık Dağılımlarından Örnekler Elde Etmek için Mevcut Fonksiyonlar

Tablo 6.6 olasılık dağılımlarından örnekler elde etmek için Q-GERT'e katılmış fonksiyonları göstermektedir(38). Model kurucu UF'de bu fonksiyonları örnekler elde etmek için doğrudan kullanabilir.

TABLO 6.6. UF'de Kullanılabilecek Olasılık Dağılım Fonksiyonları

<u>Fonksiyon ismi ve Argümanları</u>	<u>Tanım</u>
BE(J)	Parametre grubu J'yi kullanan Beta dağılımı
DPROB(CP,VAL, NVAL,ISTRM)	Ayrık olasılık dağılımı. CP,VAL vektöründe depolanan değerler için kümülatif olasılıkların vektörüdür. NVAL, dağılımdaki değerlerin sayısı, ISTRM ise kullanılacak rassal sayı dizisidir.
DRAND(ISTRM)	ISTRM dizisini kullanan yapay rassal sayı üreticisi.
ER(J)	Parametre grubu J'yi kullanan Erlang dağılımı
EX(J)	Parametre grubu J'yi " Exponansiyel "
GA(J)	" " " " Gamma "
LO(J)	" " " " Lognormal "
NO(J)	" " " " Normal "
PO(J)	" " " " Poisson "
TR(J)	" " " " Üçgen "
UN(J)	" " " " Uniform "

{38} a.g.e., s.249.

6.6.3. UI Altprogramı

Bir şebekenin her analiz koşumundan önce Q-GERT analiz programı UI altprogramını çağırır. Bu program model kurucuya kullanıcı tarafından tanımlanmış değişkenlere başlangıç değerlerini verme ve özel başlangıç koşullarını yaratma olanağı sağlar.

Q-GERT veri kartları işlendikten sonra, UI altprogramı çağrılır. UI'de okunacak herhangi bir veri kartı FIN kartını izlemelidir. Eğer kullanıcının tanımladığı değişkenler için başlangıç değerleri verilmeyecek veya herhangi bir veri okutulamayacak ise UI altprogramı sadece RETURN komutundan oluşan bir dolgu altprogramı olarak Q-GERT analiz programının bir parçasıdır.

6.6.4. U0 Altprogramı

Şebekenin her analiz koşumundan sonra, U0 altprogramı çağrılır. Bu program model kurucuya koşum sonu hesaplamalarını yapma veya kullanıcının belirlediği bilgiyi çıktı olarak verme olanağı sağlar. Eğer kullanıcı Q-GERT'in standart özet raporu dışında herhangi bir bilgi istemiyor ise U0 altprogramı sadece RETURN komutundan oluşan bir dolgu altprogramı olarak Q-GERT programının bir parçasıdır.

6.6.5. UF'u Kodlarken Kullanılabilecek Özel Altprogramlar

UF'u kodlarken kullanıcıya yardımcı olabilecek Q-GERT'in özel altprogramları vardır. Bu programlar gezen birimlere, Q-düğümlere, faaliyetlere ve servis işlemlerine ilişkin olup alfabetik sırada Tablo 6.7'de verilmiştir(39).

(39) a.g.e., s.255-257.

Gezen birimlere ilişkin altprogramlar düğümdeki gezen birim veya düğümden rotalanmakta olan gezen birime özellik değerlerini atayacak veya atanmış değerleri bulmak amacıyla kullanılır. Q-düğümüleri ile ilgili altprogramlar Q-GERT'in Q-düğümüleri ile ilgili değişkenler ile ilgilidir. Faaliyetlere ilişkin altprogramlar, bir faaliyeti başlatma, durdurma ve süresini uzatmak için kullanılır. Servis işlemleri ile ilgili altprogramlar, servis işlerinin durumu ile ilgili, kalan servis süresini elde etmek ve servisi durdurmak amaçları için kullanılır.

TABLO 6.7. UF'da Kullanılabilecek Mevcut Altprogramların Tanımı

<u>Altprogram</u>	<u>Kullanımı ve Argümanların Tanımı</u>
FonksiyonCAPQ(MODE)	Q-düğüm NODE'un kapasitesini verir. NREL2 (NODE) Q-GERT değişkeni de aynı görevi yapar.
FonksiyonGATRB(J)	İşlenmekte olan gezen birimin J'inci özelliğinin değerini verir.
Altprogram GETAT(ATT)	ATT(.) vektörünü verir. ATT(j), işlenmekte olan gezen birimin J'inci özelliğinin değeridir. Kullanıcı UF'de ATT vektörünün boyutunu tanımlamalıdır.
Altprogram HALTA (NODE,NACT,REMTI, ATT)	HALTA çağrıldığı zaman, NODE düğümden çıkan devam etmekte olan faaliyet NACT'i durdurur. Bu faaliyete ilişkin gerekli kalan süre REMTI değeriyle ve gezen birimin özellikleri de ATT(.) vektörüyle verilir.
Fonksiyon ISTUS (NODE,NSERV)	MODE, Q-düğüm veya S-düğüm numarası, NSERV ise servis işlem numarası olmak üzere bu fonksiyon ilgili servisin durumunu verir. ISTUS'a aşağıdaki değerler atanabilir. +N meşgul işgörenlerin sayısı 0 işgören aylak <0 işgören tıkanık.

TABLO 6.7. (devam)

<u>Altprogram</u>	<u>Kullanımı ve Argümanların Tanımı</u>
Fonksiyon NACTY (IDUM)	Bu fonksiyon, bir düğümde kullanıcı fonksiyonu tarafından çağrıldığında, düğümü serbest bıraktıran faaliyet numarasını verir. Bir dal'dal çağrıldığında; dala ilişkin faaliyet numarasını verir.
Altprogram NODMOD (NOUT,NIN)	Düğüm NOUT, düğüm NIN ile yer değiştirmeyi yapar.
Fonksiyon NOFQ (IDUM)	Henüz tamamlanmış servisle ilgili Q-düğüm veya S-düğüm numarasını verir.
Altprogram PATRB (ATTR,J)	Cari gezen birimin J'inci özelliğine ATTR değerini atar.
Altprogram PTIN (NODE,TIME, TIMEM,ATT)	Şebekede bir gezen birimi TNOW+TIME zamanında NODE düğümüne yerleştirir. TIMEM gezen birimin işaret zamanı, ATT (I), I=1,...,(NDE-1). Gezen birimin özelliklerini içerir. ATT, UF'de indislenmelidir.
Altprogram PUTAT (ATT)	Gezen birimin özelliklerine ATT'de verilen değerler atanır.
Fonksiyon RCAPQ(NODE)	Q-düğüm NODE'daki kalan kapasiteyi verir.
Fonksiyon REMST (NSERV)	Bu fonksiyon NSERV servisinin kalan servis süresini verir. Eğer işgören NSERV aylak ise kalan servis süresi sıfır olarak alınır. Eğer paralel servisler varsa REMST kalan servis sürelerinin en küçüğüne eşitlenir.
Altprogram SNACT (ICA,NACT,REMT I)	Bir sonra tamamlanacak NACT faaliyetini ve REMT I kalan süresini belirler. ICA=1 ise faaliyetin tamamlanması iptal edilir. ICA=0 ise NACT iptal edilmez sadece NACT'in ve REMT I'nin değerleri verilir.
Altprogram STAGO (NSERV,NODE,TIME, ICATT,ATT)	Bu program NSERV nolu servisi durdurmak ve bu servisteki gezen birimi NODE düğümüne TIME gecikmesiyle rotalar. Eğer ICATT=1 ise rotalanan gezen birimin özellikleri; ATT vektörü ile değiştirilir. Eğer NODE=0 ise gezen birim sistemden atılır. Eğer NSERV servisi aylak ise hiçbir şey yapılmaz.

TABLO 6.7. (devam)

<u>Altprogram</u>	<u>Kullanımı ve Argümanların Tanımı</u>
Altprogram STARTA (NODE,NACT)	NODE düğümünden çıkan NACT faaliyetini başlatır. Bu program NACT faaliyeti için faaliyet sonu olayı çizelgeler.
Altprogram STSER (NSERV)	NSERV servisini durdurur ve bu servisteki gezen birimi sistemden çıkartır. NSERV servisinin durumunu güncelleştirir.
Fonksiyon TINIQ (NODE)	Bu fonksiyon Q-düğüm NODE'da TBEG anında cari TNOW anına kadar toplanan gezen birim sayısını verir. Bu Q-düğümdeki ortalama gezen birim sayısını hesaplamak için (TNOW-TBEG) ile bölünür.
Fonksiyon TISS (NODE,NSERV)	Bu fonksiyon, NSERV servisinin, TBEG'den TNOW'a kadar zamana göre entegre edilmiş durumunu verir. Burada NODE, NSERV servisinin başlangıç düğümüdür. Bu düğüm bir Q-düğüm veya S-düğümdür. NSERV'in ortalama kullanımını hesaplamak için (TNOW-TBEG) ile bölünür.
Fonksiyon TMARK (IDUM)	Cari gezen birimin son işaretlendiği zamanı verir.
Fonksiyon XNINQ (NODE)	Q-düğüm NODE'daki cari gezen birim sayısını verir.
Altprogram XTEND (NACT,TIME)	Bu altprogram, NACT faaliyetinin bitiş süresini TIME zaman birimi kadar uzatmak için kullanılır. Eğer XTEND çağrıldığında NACT süregelmeyen bir faaliyet ise çağrılı ihmal edilir. Not: NACT bir servis de olabilir.
Fonksiyon AVEWT (NODE)	Q-düğüm NODE'dan geçen her gezen birimin ortalama bekleme zamanını TBEG zamanından itibaren hesaplar.
Altprogram PACTY	Bu program çağrıldığı zaman süregelmekte olan faaliyetlerin listesini verir.

6.6.6. Kullanıcı Altprogramların Kullanımındaki Kısıtlamalar

FORTTRAN IV, altprogramların dönüşlü kullanımına izin vermez. Bu nedenle UF fonksiyonunda kodlamanın UF'u çağırmasına özen göstermek gerekir. PTIN, STARTA, STSER ve STAGO

altprogramları UF'da çağrıldığında ilgili faaliyet veya servis süresi UF tipinde dağılmış ise, UF fonksiyonu tekrar çağrılacaktır. Bu ikinci çağrı dönüşlü bir çağrıdır ve standart FORTRAN IV'de yapılamaz. Dönüşlü çağrılardan kaçınmak için US altprogramı kullanılmalıdır(40). US(ISN,DTIM) kullanıcı altprogramı yazma UF(IFN) kullanıcı fonksiyonuna benzerdir. ISN altprogram numarası, DTIM ise altprogramda belirlenecek değerdir.

6.7. Q-GERT UYGULAMALARI

Şebeke analizi tekniklerinin geliştirilmesi sonucu elde edilen Q-GERT tekniği çok farklı sistemlere uygulanabilmektedir. GERT şebekeleri tasarlanmış, geliştirilmiş ve aşağıdaki durumları çözümlmek için kullanılmıştır(41):

- 1- Sigorta şirketinde tazminat taleplerinin işlenmesi,
- 2- Üretim hatları,
- 3- İmalat sistemlerinde kalite kontrol,
- 4- İş performansının değerlendirilmesi,
- 5- Binalardaki alarm tertibatı,
- 6- Hava alanlarındaki kargo olanaklarının kapasitesi
- 7- Mahkemelerin planlanması,
- 8- İnşaat planlamasında donatım tahsisi,
- 9- Askeri hava filolarının yakıt ikmali,
- 10- Pazarlama araştırmasının planlama ve kontrolü,
- 11- Kontrat görüşmelerinin planlanması,
- 12- Petrol boru hattı inşaatında risk analizi,
- 13- Nükleer santral geliştirmede finanslama ve yönetim stratejilerinin etkileri

(40) a.g.e., s.268.

(41) a.g.e., s.5.

- 14- Araştırma ve geliştirme planlaması,
- 15- Sistem güvenirliğinin hesaplanması. .

Yaygın bir uygulama alanına sahip Q-GERT uygulamaları temelde kuyruk sistem analizi ve proje planlama ve yöntemi ile ilgilidir.



7. BİR SİPARİŞ ÜRETİM SİSTEMİNİN PLANLAMA VE KONTROLUNA YÖNELİK Q-GERT ŞEBEKE MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE BİLGİSAYAR ANALİZİ

Bu bölümde, Q-GERT şebeke analizinin üretim planlama ve kontrolünde uygulanabilirliğini saptamak amacıyla geliştirilen Q-GERT şebeke modeli tanıtılmakta ve bu modelin bilgisayarda çözümlenen sonuçları verilmektedir.

Dinamik özellikte bir sisteme uyarladığımız bu modelin kurulmasında gerçek işletme bilgilerinin kullanımı amaçlanmıştır. Bu nedenle, istenilen esneklikte bir sistem modelinin kurulabilmesine katkıda bulunan program eklemeleri yapılmıştır. Geliştirilen bu model üzerinde alternatif kararlar denenecek elde edilen bilgisayar sonuçları tartışılmıştır. Geliştirilen Q-GERT şebeke modelinin tanıtımına geçmeden önce seçtiğimiz bir işletmenin sistem yapısını ve özelliklerini tanıtmakta yarar vardır.

7.1. İŞLETME SİSTEMİNİN TANITIMI

İncelediğimiz işletme sistemi, sipariş üzerine dişli üretiminde bulunan PANKURT SANAYİ A.Ş.'dir. Bu işletme Ağır, Otomotiv ve Traktör Sanayii kuruluşlarının gereksinimi olan dişli ve dişli gruplarını sipariş üzerine üretmekte ve bu kuruluşlara milyarlar değerinde ithal ikamesi sağlamaktadır. Sipariş miktarları bir adetten binlerce adete kadar büyük de-

gişim göstermektedir. İşletmenin üretimi iki sipariş tipine dayanmaktadır:

1- Süreksiz siparişler: Bu siparişler işletmenin girdiği ihaleler ile alınmakta veya gereksinimi olan işletmelerin belirsiz zamanlardaki taleplerinden kaynaklanmaktadır.

2- Sürekli siparişler: Bu siparişler, Otomotiv Sanayii ile yapılan anlaşmalar ile alınmakta veya piyasa talebine göre, bir anlaşmaya bağımlı olmadan stoka çalışmak amacıyla imal edilmektedir.

Süreksiz siparişler, işletmeye belirsiz aralıklarda ve az miktarlarda gelmesine karşın sürekli siparişler, belirli aralıklarda periyodik olarak gelmektedir. Sipariş tekliflerinin alınmasından teslimine kadar olan tüm faaliyetler işletmenin tüm departmanlarını dolaylı ve dolaysız olarak ilgilendirmektedir. Bu işletme sistemini tanımak amacıyla işletme bir bütün olarak ele alınmış ve sipariş tekliflerinin alınmasından karşılanmasına kadar olan departmanlar arasındaki tüm bilgi akışı ve faaliyetleri yazılı ve şematik olarak Ek 1'de verilmiştir.

Alınan siparişlerin karşılanması ile ilgili faaliyetleri iki ana grup altında toplayabiliriz:

- 1- İmalat öncesi faaliyetler,
- 2- İmalat sırasındaki ve sonrasındaki faaliyetler.

İmalat öncesi faaliyetler, siparişlerin alınmasından fiili üretimlerinin başlangıcına kadar gerekli faaliyetleri içermektedir. Bu faaliyetlerin başlıcaları aşağıda verilmiştir:

- 1- İmal edilecek dişli veya dişli gruplarının teknik resimlerinin çizilmesi,
- 2- Kullanılacak malzeme listelerinin hazırlanması,
- 3- Satın alınacak malzemelerin belirlenmesi ve temini,
- 4- İş akışının ve işlem sürelerinin saptanması,
- 5- Kullanılacak takım, aparat ve masterların belirlenmesi ve temini,
- 6- Sürekli siparişlere ayrılacak kapasitenin planlanması,
- 7- İmalat programlarının hazırlanması.

Her türlü dişli taleplerini karşılayan bu işletmede süreksiz siparişlerin geliş zamanları ve talep miktarlarındaki belirsizlik gözönünde bulundurulduğunda sistem çok değişken bir özellik göstermektedir. Ancak sistem, mevcut kapasitesinin % 20'sini kullanan bu siparişlerdeki gecikmeler, yönetim açısından önemli sorunlar yaratmamaktadır. Müşterilerle olan anlaşmalara bağlı kalacak şekilde kabul edilen sürekli siparişlerin gecikmesi ise işletmeye tazminat ödeme yükümlülüğü getirmektedir. Sürekli siparişlere ayrılacak kapasitenin planlanması ve imalat programlarının hazırlanması faaliyetleri, hernekadar imalat öncesinde gerçekleştirilseler de bu faaliyetler imalat sürecinden bağımsız düşünülmemelidir. İmalat sürecinden alınabilecek bilgiler, sistem kapasitesini verimli kullanabilecek ve gecikmeleri önleyebilecek; plan ve programların hazırlanmasını etkinleştirecektir.

7.1.1. Problemlerin Belirlenmesi

Siparişi alınan birçok mamulün üretildiği üretim sistemlerinin kontrolü yönetimin karşılaştığı en güç problemlerden biridir. Bu işletmede talep edilen dişli çeşidinin ve miktarının fazla olması değişik sayıda işlem, değişik iş akış rotaları ve değişik işlem sürelerini gerektirmektedir. Bu durumda sistemin kontrolü ve imalat programlarının etkin bir şe-

kilde hazırlanması güçleşmektedir. Bu duruma siparişlerin gelişlerindeki süreklilik ve müşteri taleplerindeki değişiklikler de eklenince sistem dinamik bir özellik kazanmaktadır. Bu özelliklerdeki sistemin, kapasitesinden maksimum yararlanabilecek ve teslim tarihlerine sadık kalacak imalat programlarının hazırlanması zorunlu olduğu kadar güç de olmaktadır.

Sistemde görülen en büyük problem imalat sürecine bağımlı olduğunu düşündüğümüz sürekli siparişlere ayrılacak kapasitenin verimli bir şekilde planlanamaması ve sipariş gecikmelerinin önlenememesidir. Sipariş gecikmeleri ise aşağıdaki sonuçları doğurmaktadır:

- a) İşletmenin tazminat ödemelerini gerektirecektir,
- b) İmalatı geciken mamuller üzerinde enflasyonun etkisi görülecektir,
- c) Daha fazla sipariş tekliflerinin alınmasını engelleyecektir.

Sistemin kontrol altına alınamamasına ve ileriye dönük etkin plan ve programların yapılamamasına neden olarak imalat sürecinde bazı bilgilerin önceden elde edilememeleri gösterilebilir. İmalat sürecinde tahmin edilemeyen bilgiler şunlardır:

- 1- Ne zaman nerelerde darboğazların olabileceği tahmin edilememesi,
- 2- Kapasitelerin ne zaman kullanılabilir ve ne zaman atıl kalacaklarının belirlenememesi,
- 3- Siparişlerin ne zaman hangi safhada oldukları görülememesi,
- 4- Siparişlerin ne zaman, ne kadar üretilebileceklerinin tespit edilememesi.

7.1.2. Amaçların Belirlenmesi

Sistemde görülen en önemli problem sistem kapasitesinin verimli kullanılmaması ve sipariş gecikmelerinin önlenememesi olduğuna göre kapasiteden en çok yararlanabilecek ve sipariş gecikmelerini önleyecek sistem planlanması ve programlanması amaçlanmalıdır. Bu amaç üç aşamada gerçekleştirilebilir:

- 1- Belirli bir süre içinde sürekli siparişlere ayrılacak kapasite belirlenir,
- 2- Belirlenen kapasitede gecikmeleri azaltıcı öncelik kuralı saptanır,
- 3- Bu kurala uygun imalat programı hazırlanır.

Birinci Aşama: İlk aşamada sürekli siparişlere ayrılacak kapasitenin belirlenmesi için aşağıdaki kriterler esas alınacaktır:

- 1- İş istasyonlarında kullanılacak tezgah sayılarının azaltılması ve
- 2- Üretim seviyesinin yükseltilmesi.

İstenilen bu iki kriter birbirleriyle çelişmektedir. Yani iş istasyonlarında tezgah sayılarının azaltılması üretim hızını yükseltmeyecek fakat iş istasyonlarından yararlanma oranını arttıracaktır. Diğer bir deyişle iş istasyonlarının kullanım verimi artarken, üretkenlik azalacaktır. Diğer taraftan, kapasitenin arttırılması üretkenliği arttırmasına karşın mevcut kapasitenin kullanım verimini düşürecektir. İş istasyonlarının verimli kullanılmaması atıl sürelerin artması anlamındadır. İnsangücüne bağlı olan iş istasyonlarının atıl kalması işçilerin de verimli kullanılmamasına neden olacaktır. Sürekli siparişlere ayrılacak kapasitedeki fazlalık süresiz siparişlerin imalatını olumsuz yönde etkileyecektir.

İşte bu iki çatışan özelliği dengeleyen sürekli siparişlere ayrılacak kapasitenin belirlenmesi ilk aşamadaki amacımız olacaktır.

Üretim seviyesinin yükseltilmesi siparişlerin sistemde geçirdikleri sürenin azaltılması anlamındadır. Siparişlerin tezgahlardaki işlem süreleri sabit olduğuna göre sistemde akış süreleri, sistemde bekleme sürelerine bağlıdır. O halde üretim seviyesinin yükseltilmesi bekleme sürelerinin kısaltılmasına eşdeğer kabul edilebilir. Tabii ki bekleme süreleri de iş istasyonlarına tahsis edilen tezgah sayılarına bağlı olacaktır. Bu aşamada iş istasyonlarına alternatif sayılarda tezgah tahsis edilerek aşağıdaki performans ölçülerine göre amacımıza en uygun sistem davranışı seçilir. Bu ölçüler:

- 1- Sistemde tezgah kapasitesinin ortalama kullanım oranı,
- 2- Sistemin üretkenlik oranı,
- 3- Sistemde ortalama bekleyen parti sayısı(1) ve
- 4- Bir partinin sistemde ortalama bekleme süresidir.

Yukarıda belirtilen bu performans ölçüleri değerlendirilerek sistem davranışı yorumlanır ve işletmenin verimli bir şekilde yararlanabileceği, iş istasyonlarındaki tezgah sayıları belirlenir.

İkinci Aşama: Bu aşamada, belirlediğimiz kapasitede siparişlerin gecikmesinin önlenmesi veya en aza indirilmesi amaçlanır. Birinci aşamada üretim seviyesinin yükseltilmiş olması siparişlerin büyük bir kısmının karşılanması olacağından gecikmeleri de azaltacağı düşünülebilir. Fakat sürekli siparişlerde istenilen miktarın, istenilen zamanda karşılan-

(1) Partinin buradaki anlamı belirli sayılar ile imal edilecek gruplara karşı gelmektedir.

ması gerekmektedir. Bu nedenle, sipariş gecikmeleri termin sürelerine bağlı olacaktır. Termin sürelerine sadık kalacak şekilde bir imalat programının hazırlanmasında gecikmelerin azaltılması amaçlanır. Gecikmeler siparişlere verilecek önceliklere göre değişebilecektir. Alternatif öncelik kurallarının model üzerinde denenmesi ile gecikmeleri önleyen veya azaltan sistem düzeni seçilecektir. Bu seçim yapılırken değerlendirilecek performans ölçüleri şunlardır:

- 1- Siparişlerin gecikme sürelerinin toplamı,
- 2- Siparişlerin ortalama gecikmesi ve standart sapması,
- 3- Siparişlerin gecikme histogramı,
- 4- Herbir siparişin gecikme süresi.

Üçüncü Aşama: Son aşamada sürekli siparişlere ayrılan kapasitede gecikmeleri önleyen sistem düzenine uygun imalat programının hazırlanması amaçlanmaktadır. İmalat programı, herbir siparişe ait ilk partinin, iş istasyonlarında işleme başladığı gün ve son partisinin işlemleri bitirme günlerinin belirlenmesini içermektedir. Ayrıca siparişlerin hangi safhada olduklarını gösteren günlük raporlar üretilecektir. Böylece herbir siparişin iş istasyonlarındaki

- a) bekleyen parti adetleri,
- b) işlem görmekte olan parti adetleri,
- c) tamamlanmış parti adetleri,

günlük olarak alınabilecektir.

İstenilen amaca üç aşamada ulaşabilmek için bu sisteme uygun Q-GERT şebeke modeli geliştirilecek ve bu model, program eklemelerinin de yapıldığı, Q-GERT analiz programı ile simüle edilecektir. Böylece sistemi hiç bozmadan alternatif kararlar, geliştirilen model üzerinde denenerek sistemin ge-

leceğe yönelik davranışları gözlenecek ve performans ölçüleri değerlendirilerek amacımıza en uygun sistem düzeni seçilebilecektir.

7.1.3. Sistemin Elemanları ve Varsayımları

İncelediğimiz sistemde amacımızı etkileyen sistem elemanlarının belirlenmesi model kurma aşamamızın ilk işi olacaktır.

Siparişlerdeki imalat çeşidinin ve miktarının çok fazla olduğu bu işletmede, süreksiz siparişlerin geliş zamanları ve talep miktarlarındaki belirsizlik sistemin en karmaşık özelliğidir. Daha önce, sistem kapasitesinin küçük bir kısmını kullanan süreksiz siparişlerdeki gecikmelerin yönetim açısından büyük sorun yaratmadığını vurgulamıştık. Bu nedenle belirsiz zamanlarda az sayıda gelen siparişlerin ihmal edilmesiyle sadece sürekli siparişler göz önünde bulundurulacaktır. Ancak sürekli siparişleri süreksiz siparişlerden bağımsız düşünebilmek için sürekli siparişlere ayrılacak en uygun sistem kapasitesi belirlenerek süreksiz siparişlere olan etkisi ortadan kaldırılır. O halde sistemin en belirgin elemanları, sürekli siparişler ve bunların imalat sürecinde kullandıkları iş istasyonlarıdır. Sürekli siparişlerin imalat miktarları küçük partiler halinde imalata gelir ve önceden belirlenmiş iş akış rotalarına göre belirli işlemlerden geçer ve işlemleri tamamlanan partiler ambara gönderilir.

Kurulacak modelde, sipariş tekliflerinin alınmasından fiili üretimine başlamasına kadar gerekli faaliyetlerin öncelik ilişkileri ve gecikme süreleri saptanarak modele konabilmirdi. Fakat, imalat sürecindeki problemlerin çözümlenmesi amaçlandığı için bu faaliyetler ihmal edilmiştir. Sadece imalat sürecindeki faaliyetler ele alınmıştır.

Geçmiş yıllara ait tezgah arıza bilgileri incelendi-

ğinde, arızaların giderilmesinin uzun süre almadığı ve arızası giderilen tezgahların tekrar arızalanmalarına uzun süre rastlanmadığı saptanmıştır. Bu nedenle, tezgah arızalarının üretim hızına olan etkisinin çok fazla olmadığı düşünülmüş ve tezgah arızalarının sistem sınırları dışında kalabileceği varsayılmıştır.

Bütün işlemleri tamamlanan dişlilerin ölçüsünün uymaması veya diğer üretim bozukluklarından dolayı yeniden imali veya işlemlerinin düzeltilmesi faaliyetleri, Q-GERT şebeke modeline katılabilir veya sipariş miktarlarına % 3 gibi bir emniyet payı verilebilir. Fakat üretim bozuklukları, seçilen parti miktarından da az sayıda olması nedeniyle inceleme dışı bırakılmıştır.

Siparişlerin iş istasyonlarındaki hazırlık süreleri, işlem sürelerine katılmadan modele katılabilirdi. İşletmeden elde edilen işlem sürelerine hazırlık süreleri de katılmış olması nedeniyle modelde standart işlem süreleri (sabit) kullanılmıştır.

Siparişler önceden belirlenen iş akış rotasına göre rotalandırılır. Bir siparişin işlem göreceği iş istasyonu dolu ise bir başka iş istasyonunda işlem görmesi sistemde karşılaşılan bir durum olmadığı için modelimizin de dışında bırakılmıştır.

Aynı işi yapabilen fakat aynı kapasitede olmayan tezgahların ayrı iş istasyonlarında gösterilmesi gerekir. Çünkü her iş istasyonundaki tezgahların fonksiyonlarının ve özelliklerinin özdeş olduğu varsayılmıştır.

İşletmenin dişli üretiminde en büyük hammadde kaynağı çeliktir. Ellerinde yeterli kadar çelik stoğu bulunması dolayısıyla, hammadde yokluğu gecikmelere neden olmamaktadır. Diğer yan

malzemelerinde kısa sürede temin edilmesi malzeme yokluğu nedeniyle tezgah çalışmalarını engellememektedir.

İş istasyonları arasındaki ulaşım süreleri ihmal edilebilecek küçüklükte olduğu için modele konmamıştır. İş istasyonlarında hazırlık işlemleri devam ederken taşıma işlemleri yapılabilir. Bu nedenle ulaşım sürelerinin de işlem sürelerine katıldığı varsayılabilir.

İşlemlerin büyük ölçüde tezgahlara bağlı olduğu bu sistemde işçi kısıtı söz konusu değildir. Bir iş istasyonuna bir iş geldiği zaman işçinin daima hazır olduğu varsayılmıştır.

Bir iş yapılırken tezgahların arızalanması veya acil bir işin gelmesi nedeniyle işlem görmekte olan işin yarım bırakılması ve geriye kalan işlem süresinin sonra tamamlanması modele katılmamıştır. Tezgah arızalarının çok az görüldüğü bu sistemde, bir iş istasyonunda bir iş başladığı zaman tamamlanıncaya kadar devam edecektir.

İş istasyonlarının başlangıçta boş olduğu varsayılmıştır. Doğal olarak başlangıçta tutulacak istatistikler sağlıklı olmayacaktır. Bu istatistikler, simülasyon başlangıcından belli bir süre sonra toplanarak bu varsayımın etkisi ortadan kaldırılabilir. Belli bir süre sonra iş istasyonunda beklemekte, işlem görmekte ve tamamlanmış sipariş miktarları tahmin edilip fiili durumla karşılaştırılarak daha sonraki çalışmalar için modelin başlangıç koşulları oluşturulabilir.

Yukarıda yapılan varsayımlar, sistem modelinin kurulmasındaki amacımızı fazla etkilememektedirler. Geliştirilen model basit olduğu ölçüde gerçek sistemi temsil edecek niteliktedir. Bu varsayımlar ile kurulan modelin sonuçları belli bir oranda hata içerebilirse de bu hata ihmal edilebilecek

küçüklüktedir. Hatanın daha da küçültülmesi için varsayımlarımızda gecikmelere neden olabileceklerin tümü tezgah kapasitesinden düşülebilir. Bu işletmede tezgahların günlük tezgah çalışma süresi 9 saattir. Bu kapasitede yaklaşık % 10 kadar bir kapasite azaltılarak günlük tezgah çalışma süresi 8 saat alınacaktır.

Sistemin en temel elemanı sürekli siparişler, sistemin özellikleri ise bu siparişlerin özelliklerini taşımaktadır. Bu özellikler siparişlerin geliş zamanları, öncelik kodu, imalat miktarları, iş akış rotaları ve işlem sürelerini içermektedir. Bu sistem yapısına uygun olarak sipariş üretiminin planlama ve kontrolüne yönelik Q-GERT şebeke modeli geliştirilmiştir.

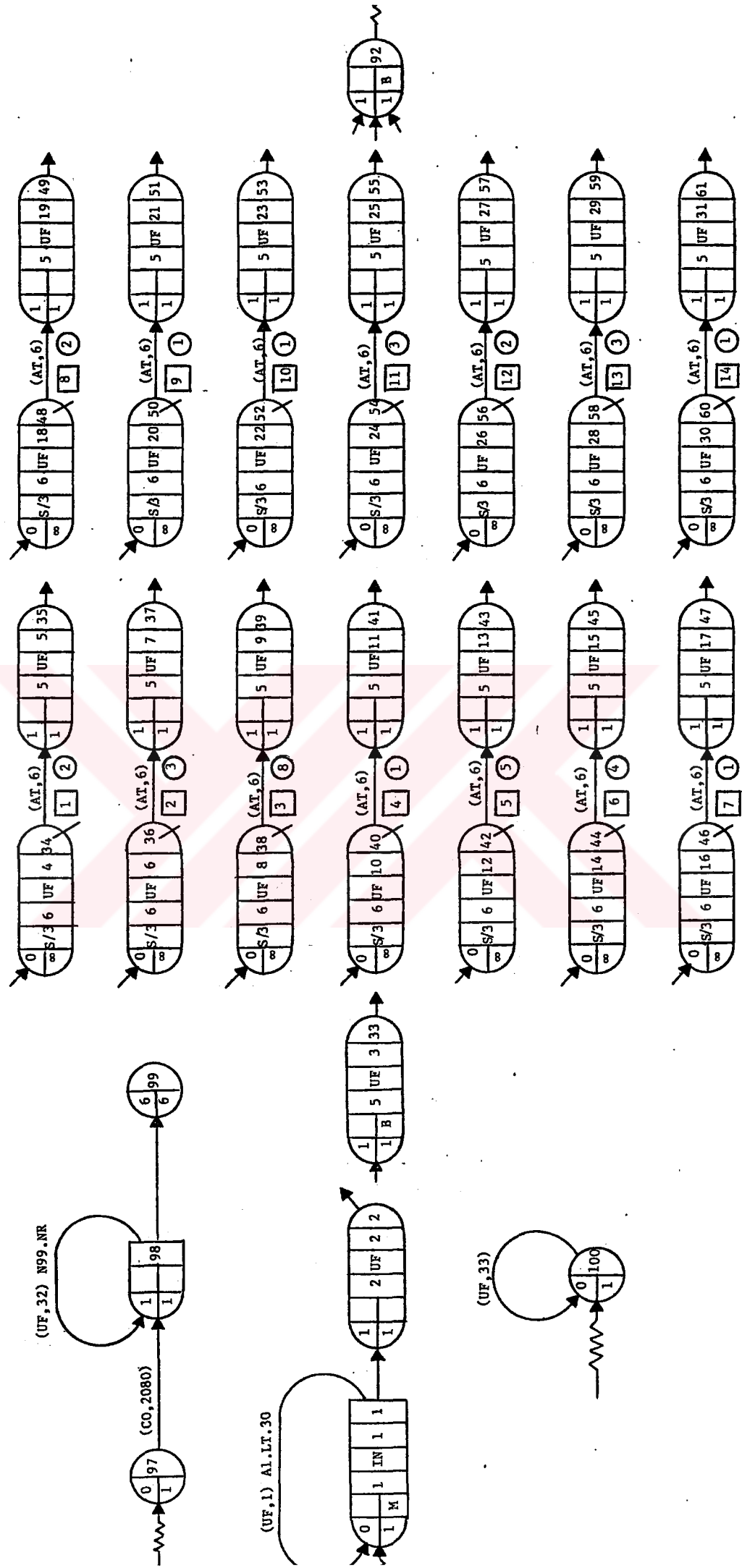
7.2. GELİŞTİRİLEN Q-GERT ŞEBEKE MODELİ

İncelediğimiz sistemin imalat süreci, siparişi alınan dişli gruplarının çeşitli iş istasyonlarında akan gezen birimlere karşı geldiği bir kuyruk sistemidir. İmalat sürecindeki her iş istasyonu bir işgören ve her iş istasyonu önünde biriken dişliler kuyruk oluşturur. İmalat sürecindeki problemleri çözmek amacıyla iş istasyonları, iş istasyonları önündeki kuyrukları ve işlem akış kararlarını modelleyen özel düğüm ve dallardan oluşan bir Q-GERT şebekesi geliştirilmiştir. Geliştirilen Q-GERT şebeke modeli Şekil 7.1'de verilmiştir.

7.2.1. Modelde Kullanılan Düğüm Tipleri ve Dalların Açıklanması

Kaynak Düğümü

Modelde kullanılan 1 nolu kaynak düğümü her serbest kalışında bir sipariş sisteme sokulur. İlk siparişin sisteme



ŞEKİL 7.1. Bir sipariş üretim sisteminin Q-CERT şebekesi modeli

sokulabilmesi için bu düğümün sol üst köşesinde ilk serbest bırakma sayısı 0 olarak tanımlanmıştır. Daha sonraki gelişleri modelleyen 1 nolu düğümden tekrar kendisine dönen kapalı bir dal kullanılmıştır. Bu dal üzerinde siparişlerin gelişlerarası gerçek sürelerini göstermek için 1 nolu kullanıcı fonksiyonu (UF, 1) kullanılmıştır (bkz. Şekil 7.1). Kaynak düğümü serbest bırakan her gezen birim (sipariş) işaretlenir. Yani gezen birimlerin sisteme geliş zamanları gezen birimlerin bir özelliği olarak kaydedilir. Kaynak düğümde kullanılan "M" sembolü bu düğümden geçen siparişlerin geliş zamanlarının kaydedildiğini göstermektedir. Bu düğümü terkeden her gezen birim için 1. özelliğin değeri 1 arttırılır (1, IN, 1). Böylece her gezen birime geliş sırasına göre bir numara verilmiş olur. Gezen birimlerin bu özelliği, siparişlerin gelişlerini modelleyen dal üzerinde 30 siparişin üretildiğini test etmek için kullanılmaktadır (A1.LT.30). Bu düğümün çıktı yönünde koşullu-tümünü al dallanması kullanılarak kaynak düğümü serbest bırakan her sipariş, 2 nolu düğüme rotalandırılmıştır (N1.R). Ayrıca, diğer siparişler üretilmek üzere 1 nolu düğümden kendine dönen bir kapalı dal kullanılmıştır.

Normal Düğümler

Modelde bu düğüm tiplerinin, gezen birimleri alıp göndermekten başka fonksiyonları yoktur. Fakat bu düğümlerde program eklemelerinin yapıldığı kullanıcı fonksiyonları kullanılarak bu düğümlerin fonksiyonları arttırılmıştır. Örneğin 2 nolu düğümü serbest bırakan her gezen birimle ilgili olarak 2 nolu kullanıcı fonksiyonu çağrılır (bkz. Şekil 7.1). Bu düğümden geçen siparişlerin özelliklerine ilişkin aşağıdaki bilgiler atanır:

2. özellik değeri ← Sipariş kodu
3. özellik değeri ← Öncelik kodu veya herhangi bir öncelik kuralı

4. özellik değeri \leftarrow imal edilecek parti miktarı(2)

Aynı düğümde, her siparişe ilişkin 4. özellik değeri kadar (imal edilecek parti miktarı) gezen birim üretilir. Şebekenin bundan sonraki gezen birimleri imalat sürecinde akan siparişlere ilişkin partilerdir. Her parti, ait olduğu siparişin özelliklerini taşımaktadır. İmal edilecek parti miktarları 5 ile 45 arasında değişmekte olup toplam 641 parti üretilecektir. İmalat miktarları, siparişlere göre değişmektedir. 2 numaralı düğümde kullanılan fonksiyon içinde PTIN alt-programı çağrılarak her sipariş için imal edilecek parti miktarı kadar gezen birim üretilebilmektedir.

Modelde kullanılan diğer normal düğümleri için (35, 37, 39, 41, 43, 45, 47, 49, 51, 53, 55, 57, 59, 61) düğüm numaraları tanımlanmıştır. Normal düğümleri terkeden her gezen birim için kullanıcı fonksiyonu çağrılarak gezen birimin gideceği Q-düğümdeki bekleyen parti sayısı hesaplatılır. Eğer tüm işlemleri bitirilmiş ise biten parti sayısı 1 arttırılır. Aynı zamanda Q-düğüme rotalandırılan gezen birimlerin Q düğümde bekleme zamanlarının hesaplanabilmesi için bu partinin Q-düğüme geliş zamanı 5. özelliğinde saklanır.

Kuyruk Düğümleri: Modelde her iş istasyonu öncesi bekleme zamanlarının yapılabildiği 14 Q-düğümü tanımlanmıştır. Q-düğümünün sol üst köşesindeki 0 rakamı başlangıçta hiçbir partinin kuyrukta beklemediğini, sol alt köşedeki ∞ ise kuyruk uzunluğunun maksimum sonsuz uzunlukta olduğunu göstermektedir(3). Modelde kullanılan kuyruk düğümleri: 34, 36, 38, 40,

- (2) Q-GERT analiz programının bir sınırlaması olarak Q düğümde bekleyen cari gezen birim sayısı 400'ü aşamaz. Her 100 dişli 1 parti olarak kabul edilerek Q-düğümde 40000 dişlinin aynı anda bekleme olanağı sağlanmıştır. Dişliler imalatta partiler halinde üretilecek ve bu elemanlar şebekede akan gezen birimlere karşı gelecektir.
- (3) Kuyruk uzunluğu hernekadar sonsuz uzunlukta tanımlanmışsa da Q-GERT analiz programında aynı anda bekleyen gezen birim sayısı 400 ile sınırlandırılmıştır (MAXTRS = 400).

42, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58 düğüm numaraları ile tanımlanmıştır. Herbir Q-düğümde, bekleyen partilerin servise alınışlarına göre sıralayan öncelik kuralı belirtilmiştir. Q-düğümünde belirtilen öncelik kuralı değişken olup alternatif öncelik kuralları verilebilir.

Herbir Q-düğümünden öncelik sırasına göre alınan parti, Q-düğümü terkederken kullanıcı fonksiyonunu çağırır. Kullanıcı fonksiyonunun ana amacı partinin işlem süresini belirlemektir. Bu işlem süresi partinin 6. özelliğine atanır:

Aynı zamanda Q-düğümü terkeden her partinin kuyruktaki bekleme süresi ve kuyrukta cari bekleyen parti sayısı belirlenir. Her siparişe ait işleme alınan ilk partinin başlama günü ve işlemi tamamlanan son partinin bitirme günü saptanır.

Servis Eylemleri: İş istasyonlarını gösteren servis eylemleri Q-düğümünü takip eden dallar ile modellenmiştir. Modelde başlangıç düğümleri Q-düğüm olan 14 servis eylemi tanımlanmıştır. Servis eylemini gösteren dalın üstünde, serviste işlem süresini gösteren fonksiyon tipi (AT,6) tanımlanmıştır. Yani işlem süresi, gezen birimin Q-düğümünden alınırken 6. özelliğine atanmış değeridir. Servis eylemini gösteren dal altında kare içinde servis eylem no.su ve daire içinde paralel işgören sayısı (iş istasyonundaki tezgah sayısı) gösterilmiştir (bkz. Şekil 7.1). İş istasyonlarında tanımlanan tezgahlar aynı özelliktedirler (fonksiyonları aynı). Bu tezgah sayıları modelin değişkenleri olup iş gücüne bağlı olarak alternatif tezgah sayıları tanımlanabilir.

Istatistik Düğüm

İmalat sürecine giren partilerin gelişlerarası süresinin saptanması amacıyla 33 nolu istatistik düğüm tanımlanmış-

tır. Böylece imalata gelen partilerin ortalama gelişler arası süre ve histogramı elde edilmiştir. Bu düğümde kullanıcı fonksiyon tanımlanarak imalata gelen partilerin ilk gidecekleri iş istasyonu belirlenir.

Terk Düğümü

Modelde işlemi biten tüm partilerin rotalandırıldığı 92 nolu terk düğümü tanımlanmıştır. Bu düğüm Q-GERT analiz programını durdurma koşulunun belirlenmesi için kullanılmıştır. Her siparişin gecikme sürelerinin hesaplanabilmesi için siparişlerin imalatı bitirme zamanları hesaplanmalıdır. İmalatı bitirme zamanlarını tesbit edebilmek için de simülasyon bitiş koşulu terk düğümüne bütün sipariş partilerinin gelmesi olarak tanımlanmıştır. Terk düğümü aynı zamanda düğümü serbest bırakma anı ile ilgili istatistikleri de üretir. Düğüme gelen her parti düğümü serbest bırakır. Toplanması istenen istatistik, serbest kalışlar arası süre olduğu için düğümün alt orta kısmında "B" sembolü kullanılmıştır.

Şekil 7.1'de gösterilen Q-GERT modeli, belirli zaman aralıklarında istatistikler toplayan iki bağlantısız şebeke parçasını da içermektedir. Bu bağlantısız şebekelerden biri, istenilen gün (veya günlerde) siparişlerin hangi safhada olduklarını görmemiz için geliştirilmiştir. 98 nolu kaynak düğüm kendi halkası ile (UF,32) fonksiyonunda belirlenen her 8 saatte serbest bırakılır. Bu 8'er saatlik süreler sonunda siparişlerin iş istasyonlarında bekleyen, işlem gören ve tamamlanan parti miktarları listelenir. Bu modelde simülasyon süresinin son 5 günü için siparişlerin durumunun verilmesi istenmiştir. Bunun için 97 nolu kaynak düğümden 98 nolu düğüme 2080 saatlik bir gecikmeyi gösteren dal tanımlanmıştır.

98 nolu normal düğümün çıktı yönünde koşullu - tümünü al dallanması kullanılmıştır. Düğüm serbest kaldığında koşul-

lardan en az birinin gerçekleşmesi gerekir. 98 nolu düğümü 99 nolu düğüme bağlayan dal hiç koşul tanımlanmamış olması nedeniyle her zaman gerçekleşecektir. Koşul tanımlanmayan bu dal üzerinde varsayılan koşul, 98 nolu düğümün serbest bırakılmasıdır (N98.R). 98 nolu düğümden kendine dönen dal üzerinde 99 nolu düğümün serbest kalmama koşulu konmuştur (N99.NR). 99 nolu düğümün serbest bırakma koşulu ise 6 gezen birimin gelmesidir. Böylece, beş gün için siparişlerin günlük durumlarının verilmesi modellenmiştir.

Diğer bağlantısız şebeke, işgörenlerin aylık kullanımları ile ilgili istatistikleri toplayan 100 numaralı kaynak düğüm ile tanımlanmıştır. Bu düğüm kendi halkası üzerinde tanımlanmış (UF,33) fonksiyonunda belirlenen her 176 saatte bir serbest bırakılır. 1 aylık (176 saatlik) aralıklarda işgörenlerin kullanım oranları, işgörenlerde ortalama bekleyen parti sayısı, partilerin ortalama bekleme süreleri, işgörenlerin kullanım süreleri ve işgörenlerde tamamlanan parti sayıları bu dal üzerinde tanımlanan (UF,33) fonksiyonu ile belirlenmiştir.

7.3. BİLGİSAYAR PROGRAMININ ÇALIŞTIRILMASI VE PROGRAMIN BİLEŞENLERİ

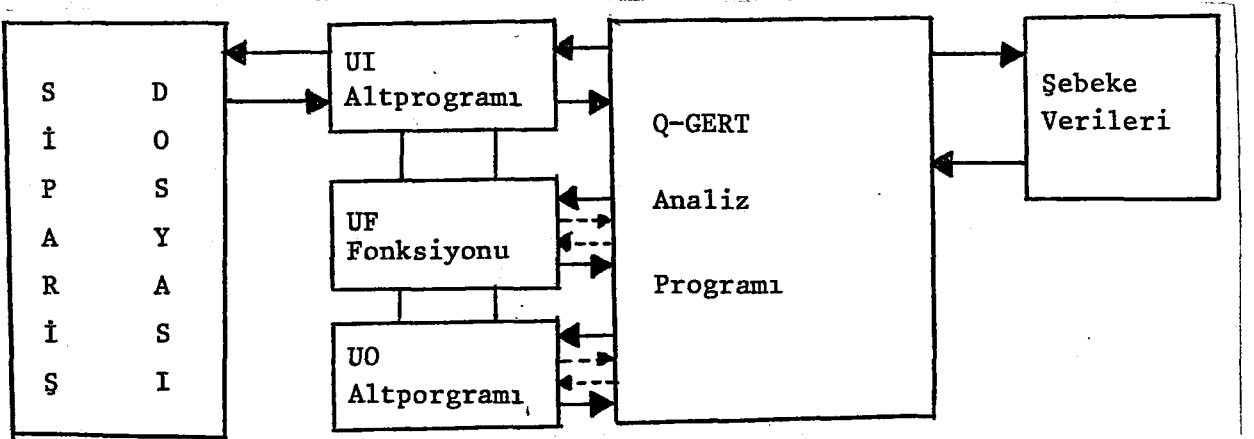
Gerçek sipariş bilgilerinin Q-GERT modeline etkin bir şekilde katılabilmesi için modelde kullanıcı fonksiyonları tanımlanmıştır. Bu nedenle, geliştirilen bu model, program eklemelerinin de yapıldığı Q-GERT Analiz Programı ile çözümlenir. Aynı zamanda, program eklemelerinin de yapılmasıyla Q-GERT Analiz Programının standart özet çıktı bilgilerine bağlı kalmayıp modelden istenilen bilgilerin üretilmesi sağlanabilmektedir.

108 altprogramdan oluşan Q-GERT Analiz Programının başlıca bileşenleri Şekil 7.2'de verilmiştir. Q-GERT Analiz

Programı bilgisayarda çalıştırıldığında ilk önce şebeke verilerinin kontrolunu ve değerlemesini yapar. Veriler ile ilgili herhangi bir hata bulunmadığında şebeke modelinin simülasyonu başlatılır. Simülasyonun yapısal mantığının kullanıcı tarafından değiştirilmesi söz konusu değildir.

Simülasyon başlatılmadan hemen önce UI kullanıcı altprogramı çağrılır. Bu programda bilgisayarda depolanmış sipariş dosyasından gerçek sipariş verileri okutulur ve tanımlanan değişkenlere başlangıç değerleri verilir. Şebeke verilerini temel alan Q-GERT Analiz Programı simülasyon sürecinde değişik zamanlarda kullanıcı fonksiyonlarını kullanarak sipariş verilerinin modele katılmasını ve istenen istatistiklerinin toplanmasını sağlar. Kullanıcı fonksiyonunda Q-GERT Analiz Programının tanımlanmış bir değişken değerine ulaşılabilenekte, Q-GERT Analiz Programının bir altprogramı kullanılabilmekte ve ara istatistik değerleri yazdırılabilmektedir.

Simülasyon bitiminde Q-GERT Analiz Programının standart özet çıktılarının yazdırılmasından önce istenilen simülasyon sonucu bilgilerin yazdırılması için U0 altprogramı çağrılır.



ŞEKİL 7.2. Q-GERT analiz programı bileşenleri.

Şebeke Verileri: Şekil 7.1'de verilen şebeke modeline dahil her bir düğüm, dal ve özellik atamaları için ayrı bir veri kaydı düzenlenmiştir. Şebeke verilerinin ilk veri kaydı genel proje bilgilerini tanımlayan "GEN" kayıdır. Bu kayıta bulunan başlıca bilgiler şunlardır:

- 1- İstatistik düğüm sayısı (7. alan)
- 2- Terk düğüm sayısı (8. alan)
- 3- Simülasyon bitiş koşulu
 - a) Terk düğümüne gelen parti sayısı (9. alan) veya
 - b) Simülasyon bitiş saati (10. alan)
- 4- Şebeke koşum sayısı (11. alan)(4)
- 5- İstatistiklerin tutulacağı zaman (13. alan)

Şebeke modelinde her bir düğüm, dal ve özellik atamaları ile ilgili diğer veri kayıtları Ek 2'de verilmiştir. Şebeke verilerinin en son kaydı "FIN", verilerin sonunu belirlemektedir.

7.3.1. Program Eklentileri

Sipariş verilerinin etkin bir şekilde modele katılabilmesi ve amaçlanan bilgilerin çıkartılması için Q-GERT Analiz Programına program eklentileri yapılmıştır. Q-GERT Analiz Programının altprogramları değişmez iken kullanıcı programları uygulama cinsine göre değişebilmektedir. Bu çalışma için FORTRAN IV dilinde yazılmış UI, UF ve UO program listeleri Ek 4'de verilmiştir.

UI Altprogramı: Şebeke verilerinin kontrolü ve değerlendirilmesi yapıldıktan sonra çağrılan bu programda gerçek sipariş verileri okutulur ve yazdırılır. Q-GERT Analiz Prog-

(4) Modelde işlem süreleri sabit alındığı ve herhangi probabilistik dallanma kullanılmadığı için koşum sayısı 1 alınmıştır.

ramının verdiği standart özet bilgiler dışında, modelden verilecek kararlara etkili bilgiler istenmektedir. Bu nedenle, tanımlanan değişkenlerin başlangıç değerleri de bu altprogramda verilmektedir.

Bu programda kullanılan değişkenler ve özellikleri aşağıda verilmiştir:

ISIP	: Sipariş sayısı
ITEZ	: İş istasyonu sayısı
IKEY	: Sipariş verilerinin ve ara istatistiklerin yazılıp yazılmayacağını belirleyen değişken (1 değerini aldığı zaman yazılacak)
GUN	: Bir günlük fiili üretim saati
AY	: Bir aylık fiili üretim saati
IROT1	: Partilerin imalatta ilk rotalamanın yapıldığı düğüm numarası (33)
IROT2	: İmalat süresinde partilerin rotalandırılacağı düğüm numarasını belirlemek için kullanılan başlangıç numarası (32)
IROT3	: İşlemleri tamamlanan partilerin rotalandırılacağı düğüm numarası (92)
ISTOP	: İş istasyonu sayısının bir fazlası
TOPUR	: Siparişlerin toplam üretim miktarı
TOPSIP	: Toplam sipariş miktarı
IGECIK	: Siparişlerin gecikme günlerinin toplamı
TQQQ	: İş istasyonlarında bekleyen partileri zaman içinde toplayan değişken
TSSS	: Kullanılan iş istasyonlarını zaman içinde toplayan değişken

- ITOP(I) : Her bir siparişin biten parti sayısını topla-
yan vektör (I = 1,...,ISIP)
- BASLA(I) : Her bir siparişin imalata başlama zamanını
saklayan vektör (I = 1,...,ISIP)
- BITIS(I) : Her bir siparişin imalatı bitirme zamanını
saklayan vektör (I = 1,...,ISIP)
- TWT(I) : Her bir siparişin bekleme sürelerini toplayan
vektör (I = 1,...,ISIP)
- IKUY(I,J) : Siparişlerin her bir iş istasyonunda bekleyen
parti miktarlarını sayan matris (I = 1,...,
ISIP; J = 1,...,ITEZ)
- WTIME(I,J) : Siparişlerin, her bir iş istasyonunda bekleme
sürelerini saklayan matris (J = 1,...,JSIP;
J = 1,...,ITEZ)
- IGIDEN(I,J) : Siparişlerin her bir iş istasyonu kuyruğundan
ayrılan partileri sayan matris (I = 1,...,
ISIP; J = 1,...,ITEZ)
- ISLEM(I,J) : Siparişlerin her bir iş istasyonunda işlem
görmekte olan parti sayısını saklayan matris
(I = 1,...,ISIP; J = 1,...,ITEZ)
- IGID(I,J) : Siparişlerin her bir iş istasyonunda tamam-
lanmış parti sayılarını saklayan matris
(I = 1,...,ISIP; J = 1,...,ITEZ)
- IBASLA(I,J) : Siparişlerin her bir iş istasyonunda başlama
gününü saklayan matris (I = 1,..., ISIP;
J = 1,...,ITEZ)
- IBITIR(I,J) : Siparişlerin her bir iş istasyonunda bitiş
gününü saklayan matris (I = 1,...,ISIP; J =
1,...,ITEZ)
- ITGRP(J) : Her bir iş istasyonundaki tezgah sayısını
saklayan vektör (J = 1,...,ITEZ), ITGRP
(ISTOP)'da toplam tezgah sayısı saklanır

- KODSIP(I) : Siparişlerin kodunu saklayan vektör (I = 1, ..., ISIP)
- SIPAD : Siparişin adını saklayan değişken
- KODFIR(I) : Siparişlerin firma kodunu saklayan vektör. Aynı zamanda siparişlere değişik öncelik derecelerinin atanması amacıyla da kullanılır (I = 1, ..., ISIP)
- FIRAD : Siparışı veren firmanın adını saklayan değişken
- MIKSIP(I) : Her bir siparişin miktarını tanımlayan vektör (I = 1, ..., ISIP)
- VARIŞ(I) : Her bir siparişin sisteme geliş zamanını saklayan vektör (I = 1, ..., ISIP)
- TERMIN(I) : Her bir siparişin termin zamanını saklayan vektör (I = 1, ..., ISIP)
- IROTA(I,J) : Siparişlerin (J-1) inci iş istasyonundan rotalandırılacağı iş istasyonu numarasını tanımlayan matris (I = 1, ..., ISIP, J = 1, ..., ISTOP)
- SURE(I,J) : Siparişlerin her bir iş istasyonundaki işlem süresini tanımlayan matris (I = 1, ..., ISIP; J = 1, ..., ITEZ), SURE(I,ISTOP)'da toplam işlem süreleri saklanır.
- IPART(I) : Her bir siparişin parti miktarını saklayan vektör (I = 1, ..., ISIP)

Bu program da okutulan ve simülasyon sürecinde modele sokulan sipariş verilerinin bilgisayar dökümü Ek 3'de verilmiştir.

UF Fonksiyonu: Şebeke modelinin değişik yerlerinde 33 kullanıcı fonksiyonu tanımlanmıştır. IFN parametre değerine

göre bu fonksiyonlar birbirlerinden ayrılırlar. Bu fonksiyonlar, modelin 33 farklı yerinde tanımlanmış olmasına rağmen 6 farklı amaç için çağırılırlar. Bu amaçların birbirinden ayrılabilmesi için kullanıcı fonksiyonunun ilk komutu olarak hesaplanmış GOTO komutu kullanılmıştır. Bu fonksiyonların kullanılma amaçlarını sırasıyla inceleyelim.

1- Sipariş Gelişlerinin Programlanması

1 nolu kaynak düğümden yine kendine dönen dal üzerinde, siparişlerin gerçek gelişler arası süreyi hesaplamak amacıyla 1 nolu kullanıcı fonksiyonu tanımlanmıştır. 1 nolu kaynak düğümün ilk serbest kalışında (0. zaman) ilk sipariş sisteme sokulur. Bundan sonraki siparişlerin gelişlerarası süre hesabı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$ARRIV = VARIS (J + 1) - VARIS (J)$$

2- Sipariş Özelliklerinin Verilmesi

2 nolu düğümü serbest bırakan her gezen birim (sipariş) 2 nolu kullanıcı fonksiyonunu çağırır. Bu gezen birimin geliş sırası tespit edilerek bu gezen birime ilişkin sipariş kodu, 2. özellik değeri olarak atanır. Firma kodu veya değişken öncelik derecelerini tanımlayan FIRKOD(I) vektörü kullanılarak 3. özellik değeri saptanır(5). Aynı zamanda bu fonksiyonu çağıran her bir sipariş için parti miktarları (IPART (I)) kadar gezen birim üretilir. Bu gezen birimlerin üretilmesi bir DO çevrimi içersinde, Q-GERT Analiz Programının PTIN altprogramı çağrılarak yapılır.

3- Partilerin İmalat Sürecinde Rotalandırılmaları

Partilerin imalat sürecinde rotalandırılmaları için

(5) Özellik değerlerinin atanması, Q-GERT Analiz Programının PATRB altprogramı ile yapılır.

modelimizde kullandığımız tek numaralı düğümler ve bu düğümlerdeki fonksiyon numaraları Tablo 7.1'de gösterilmiştir. Bu fonksiyon numaraları kullanılarak partilerin imalat sürecinde rotalandırılmaları sağlanır. Böylece geliştirilen Q-GERT şebeke modeli iş akış rotalarının bir fonksiyonu haline getirilmiştir.

TABLO 7.1- Rotalamaların Yapıldığı Düğüm Numaraları ve Kullanıcı Fonksiyonları

Düğüm No	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61
Fonksiyon No	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
Rota Adres No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

İmalata gelen partilerin hangi iş istasyonuna veya işlemleri tamamlanan partilerin hangi düğümlere rotalandırılacaklarını belirlemek için aşağıdaki yol izlenir:

- 1- Önce düğümden geçen gezen birimin 1. özelliği (ait olduğu siparişin sıra no.su) belirlenir(6).
- 2- Fonksiyon numarası (IFN) kullanılarak bilgisayarda yüklenmiş iş akış rota matrisinin (IROTA(J,L)) L adresi hesaplanır ($L = (IFN-1)/2$),
- 3- İş akış rota matrisinden partinin rotalandırılacağı iş istasyonu no.su (M) saptanır(7).
- 4- Rotalanacak istasyonda (M'de) beklemelerin yapıldığı Q-düğüm numarası aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$NYENI = IROT2 + M * 2$$

- (6) Cari gezen birimin 1. özellik değerine ulaşmak için Q-GERT Analiz Programının GATRB(1) fonksiyonu çağrılır.
- (7) Siparişlerin iş akış rotalarının bilgisayar dökümü için bkz. Ek-3.

Eğer parti tüm işlemlerinin tamamlamış ise ($M = 99$) parti terk düğümüne rotalandırılır ($NYENI = IROT3$).

Rotalanacak düğüm numaraları yukarıda belirtildiği gibi saptandıktan sonra Q-GERT Analiz Programının PTIN altprogramı çağrılır. Böylece geliştirilen modelde düğümler arasında faaliyet tanımlamaksızın partilerin rotalandırılmaları sağlanır.

Tablo 7.1'de verilen tek numaralı fonksiyonların kullanılmasıyla iş istasyonları önünde bekleyen parti sayıları güncelleştirilir. Eğer partinin tüm işlemleri tamamlanmamış ise ($M \neq 99$) partinin rotalandırılacağı iş istasyonu önündeki parti sayısı 1 arttırılır ($IKUY(J,M) = IKUY(J,M) + 1$). Aynı zamanda partinin kuyrukta bekleme sürelerinin hesaplanabilmesi için kuyruğa rotalandırma zamanı, partinin 5. özellik değeri olarak saklanır(8).

Tablo 7.1'deki fonksiyonlardan herhangi birini çağıran gezen birim, imalat sürecindeki tüm işlemlerini tamamlamış ise ($M = 99$) ait olduğu siparişin biten parti sayıları güncelleştirilir ($ITOP(J) = ITOP(J) + 1$). Siparişin tüm partileri tamamlanmış ise sipariş bitiş zamanı ($BITIS(J)$), cari simulasyon zamanına ($TNOW$) eşitlenerek bulunur.

4- Partilerin İş İstasyonlarında İşlem Sürelerinin Belirlenmesi

Tablo 7.2'de verilen çift numaralı Q-düğümlerde tanımlanan 14 kullanıcı fonksiyonunun ana amacı partilerin iş istasyonlarındaki işlem sürelerinin belirlenmesidir. İşleme alınmak üzere Q-düğümü terkeden her parti kullanıcı fonksiyonunu çağırarak işlem süresi belirlenir. Siparişlerin iş is-

(8) Bu fonksiyon çağırıldığında gezen birim başka bir düğüme fonksiyon içinde rotalandırıldığı için özellik atama da fonksiyon içinde yapılmıştır.

tasyonlarındaki işlem süreleri SURE(I,J) matrisiyle önceden bilgisayara yüklenmiştir. Şebekeden akan partilerin iş istasyonlarındaki işlem sürelerinin belirlenmesi, model ile işlem süreleri matrisi arasında bir ilişkinin kurulmasını gerektirmektedir. Bu nedenle Tablo 7.2'deki kodlama yöntemi kullanılmıştır.

TABLO 7.2- Fonksiyon Numaraları ve İş İstasyonu Numaraları Arasındaki İlişki

Q Düğüm No	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
Fonksiyon No	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
İş İstasyonu No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Tablo 7.2'de çift numaralı Q-düğümüleri terkeden partiler yine çift numaralı kullanıcı fonksiyonlardan birini çağırır. Aynı amaç için kullanılan bu fonksiyonlarda partinin işlem göreceği istasyondaki işlem süresinin elde edilmesi için aşağıdaki yol izlenir:

- 1- Önce Q-düğümü terkeden gezen birimin 1. özelliği (ait olduğu sipariş nosu) J değişkenine atanır,
- 2- Çağrılan fonksiyon numarası (IFN) kullanılarak hangi istasyonda işlem göreceği belirlenir. $(M = (IFN-2)/2)$,
- 3- Partinin ait olduğu sipariş sıra no.su (J) ve işlem göreceği iş istasyonu (M) kullanılarak işlem süreleri matrisinden (SURE(J,M)) işlem süresi saptanır(9).

Q-düğümü terkeden partilerin çağırdıkları bu fonksiyonlar ile ilgili iş istasyonunda bekleyen parti sayısı güncelleştirilir $(IKUY(J,M) = IKUY(J,M)-1)$. Aynı zamanda Q-düğümü

(9) İş istasyonlarındaki işlem sürelerinin bilgisayar dökümü Ek 3'de verilmiştir.

mü terkeden parti sayısı da güncelleştirilir ($IGIDEN(J,M) = IGIDEN(J,M) + 1$). Q-düğümü terkeden partilerin bekleme süreleri, kuyruğun terkediş zamanından (TNOW), partinin 5. özelliğinde saklanan kuyruğa geliş zamanı çıkartılarak hesaplanır ($WT = TNOW - GATRB(5)$). Her siparişin toplam bekleme süresi (TWT(J)), her bir iş istasyonundaki toplam bekleme süresi (WTIME(I,J)), iş istasyonlarındaki başlama günü (IBASLA(J,M)) ve bitirme günü (IBITIR(J,M)) bu altprogramda hesaplanmaktadır.

5- Siparişlerin Günlük Durum Raporu

İstenilen gün (veya günlerde) siparişlerin hangi safhada olduklarını görebilmek amacıyla 98 nolu düğümden kendine dönen dal üzerinde 32 nolu fonksiyon çağrılmıştır. Bu fonksiyon bir günlük fiili çalışma süresi periyodunda çağrılarak, her siparişin her bir iş istasyonunda beklemekte olan (IKUY(J,L)), işlem görmekte olan (ISLEM(J,L)) ve tamamlanan parti sayıları (IGID(J,L)) listelenmektedir (bkz. Ek 8).

6- İş İstasyonlarının Aylık Durum Raporu

İş istasyonlarının bir aylık fiili çalışma süresi içinde iş yüklerini görebilmek amacıyla modelde 33 nolu kullanıcı fonksiyonu tanımlanmıştır. Belirli periyodlarda (176 saat) çağrılan bu fonksiyonda Q-GERT Analiz Programı değişkenlerinin almış olduğu değerler kullanılarak; her bir iş istasyonunun ay içinde ortalama kuyruk uzunluğu (ORTKUY), ortalama bekleme süresi (ORWT), ortalama kullanım oranı (ORTSY), toplam kullanım süresi (SSS), biten parti sayısı (IBIT) ve ay sonunda cari bekleyen parti sayısı hesaplanır ve listelenir (bkz. Ek 9).

UO Altprogramı: Simülasyon bitişinde, istenilen istatistik bilgilerin yazdırılması için çağrılan bu altprogramın listesi Ek-2'de verilmiştir. Bu programda yazdırılan bilgiler şunlardır:

- 1- Siparişlerin her bir iş istasyonundaki bekleme süreleri (WTIME(I,J)),
- 2- Her bir siparişin imalata başlama zamanı (BASLA(I)), imalatı bitirme zamanı (BITIS(I)), ortalama bekleme süresi (OWT), üretilen miktarı (TOPMIK), üretkenlik oranı (VERIM)(10), gecikme günü (IGEC),
- 3- İmalat sisteminin tümünün performans ölçüleri:
 - a) Sistemde bir partinin ortalama bekleme süresi (OBEK),
 - b) Sistemde ortalama bekleyen parti sayısı (OKUY),
 - c) Sistemde ortalama iş istasyonu kullanım oranı (OSERY),
 - d) Sistemin üretkenlik oranı (URET),
 - e) Siparişlerin gecikme günlerinin toplamı (IGECIK),
- 4- Her siparişin iş istasyonunda başlama günü (IBASLA(I,J)) ve bitiş günü (IBITIR(I,J)),
- 5- Siparişlerin üretkenlik oranı, gecikme günü istatistikleri ve histogramları.

7.4. BİLGİSAYAR SONUÇLARININ YORUMLANMASI

Sistem kapasitesinden en çok yararlanabilecek ve sipariş gecikmelerini önleyecek bir sistem tasarımının amaçlandırılması ve bu amaca üç aşamada ulaşılabileceğini daha önce vurgulamıştık.

Birinci Aşama: Sürekli siparişlere ayrılacak kapasitenin belirlenmesi için maksimum üretim seviyesinde iş istasyonlarına tahsis edilecek tezgahların en aza indirilmesi amaçlanır. Sürekli siparişlere ayrılacak kapasitenin belirlenmesi için bu siparişlere ayrılabilir maksimum kapasite başlangıç noktamız olacaktır. Daha sonra alternatif tezgah sayılarının

(10) Buradaki üretkenlik oranının anlamı her bir siparişin bir yıl sonundaki üretimlerinin sipariş miktarlarına oranıdır.

denenmesi ile elde edilen sonuçlardan üretim seviyesini düşürmeyen en verimli tezgah kapasitesi belirlenecektir. Alternatif tezgah kapasiteleri verilirken kullanılan sezgisel yöntemimiz şu şekilde olacaktır:

- 1- Sürekli siparişlere ayrılabilen maksimum kapasitede, sistem performans ölçüleri ve iş istasyonlarının kullanım oranları saptanır(11),
- 2- Kullanımı en az olan iş istasyonunda tahsis edilecek tezgah sayısı 1 azaltılarak bu kapasitede sistem performans ölçüleri belirlenir. Ancak kullanımı en az olan iş istasyonundaki tezgah sayısı sadece 1 tane ise bu iş istasyonunda herhangi bir azaltma yapılamaz,
- 3- Bu kapasitede üretim seviyesi düşürülmeden sistemdeki tüm tezgahların kullanılma oranı arttırılmış ise 2. adımdaki işlemler tekrarlanır. Aksi takdirde işlemlere son verilir.

Böylece bu sezgisel yöntemin uygulanmasıyla maksimum üretim seviyesine, iş istasyonları verimli kullanılacak şekilde ulaşılabilecektir. Sürekli siparişlere ayrılabilen maksimum kapasiteden başlayarak yukarıdaki sezgisel yöntemle elde edilen alternatif tezgah sayıları Tablo 7.3'de verilmiştir. Model, her bir alternatif tezgah sayıları için 1 yıl (2112 saat) süre ile bilgisayarda simüle edilmiş ve bilgisayar sonuçları Tablo 7.5'de verilmiştir. Alternatif tezgah sayıları için yapılan her koşulda, şebeke verilerinde değişiklik yapılması gerekir. Modelimizde gösterdiğimiz iş istasyonlarını tanımlayan "ACT" kayıtlarının 6. alanında tezgah sayısı ile ilgili değişiklik yapılır. Ayrıca sipariş dosyasında her bir iş istasyonundaki tezgah sayısını saklayan ITGRP(I) dizisi değiştirilir.

(11) Her bir tezgahın kullanım miktarlarının bir örneği Ek-7'-de Q-GERT standart özet çıktılarında verilmiştir.

TABLO 7.3- Alternatif Tezgah Sayıları ile Alınan Performans Ölçüleri

İş İstasyonu Adı	Alternatif Tezgah Sayıları								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Testere	3	2	2	2	2	2	2	2	2
Dövme	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Torna	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Freze	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Azdırma	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Fellows	5	5	5	5	5	5	4	4	3
S-Konik	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tesviye	5	5	5	4	4	3	3	2	2
Broş	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Planya	2	2	1	1	1	1	1	1	1
Matkap	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Pah-Kır	3	3	3	3	2	2	2	2	2
Taşlama	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Paşpalama	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Toplam Tezgah Sayısı	44	43	42	41	40	39	38	37	36
Ortalama Bekleme Süresi (saat)	480.44	480.56	494.64	495.04	507.60	508.36	526.24	526.92	557.52
Ortalama Kuyruk Uzunluğu (parti)	145.82	145.85	150.12	150.25	154.06	154.29	159.71	160.53	169.21
Öretkenlik	0.7832	0.7832	0.7832	0.7832	0.7832	0.7832	0.7832	0.7816	0.7582
Kapasite Kullanımı	0.5031	0.5148	0.5270	0.5399	0.5534	0.5676	0.5826	0.5972	0.5990

Tablo 7.3'de görüldüğü gibi 8'inci alternatif, sürekli siparişlere ayrılacak sistem kapasitesini belirleyecektir. Çünkü bu kapasitede üretkenlik oranı 0.7816 iken kapasite kullanım oranı 0.5972'ye yükseltilmiştir. Böylece maksimum üretim seviyesine iş istasyonları daha verimli kullanılacak şekilde ulaşılmıştır. Bu kapasite herbir siparişin üretkenlik oranı ve sistem performans ölçüleri Ek-5'de, üretkenlik histogramı Ek-6'da, iş istasyonlarının aylara göre yükleri Ek-9 da verilmiştir.

ikinci Aşama: Bu aşamada, belirlediğimiz sistem kapasitesinde alternatif öncelik kuralları model üzerinde denenecek gecikmeleri önleyen veya azaltan öncelik kuralı seçilecektir. Tüm siparişlerin gecikme günlerinin tam olarak hesaplanabilmesi için siparişlerin üretimlerinin bitirme zamanlarının bilinmesi gerekir. Bu nedenle, terk düğümüne 641 parti gelinceye kadar model simule edilecektir. Alternatif öncelik kuralları aşağıda (Tablo 7.4)'de verilmiştir.

TABLO 7.4- Alternatif Öncelik Kuralları(*)

-
- 1- Kuyruğa ilk gelen ilk işleme alınır (F)
 - 2- Kuyruğa son gelen ilk işleme alınır (L)
 - 3- Sisteme ilk gelen ilk işleme alınır (S/1)
 - 4- Sisteme son gelen ilk işleme alınır (B/1)
 - 5- Serviste işlem süresi en küçük olan alınır (S/6)
 - 6- Serviste işlem süresi en büyük olan alınır (B/6)
 - 7- Öncelik kodu en küçük olan alınır (S/3)
 - 8- Termin zamanı en küçük olan alınır (S/3)
 - 9- {Termin zamanı - imalattaki toplam işlem süresi} en küçük olan alınır (S/3).
 - 10- {Parti miktarı * toplam işlem süresi}/{Termin zamanı - geliş zamanı} en büyük olan alınır (B/3)
-

(*) Parantez içinde gösterilen semboller şebeke verilerinde QUE kaydının 6. alanında girilecek sembolleri gösteriyor. 2. ve 4. alternatifler gecikmeleri azaltılmıyacağı belli olmasına rağmen deneme alternatifi olarak verilmiştir.

Tablo 7.4'de Q-düğümelerde, 3. özelliğe göre sıralanan değişik öncelik kuralları verilmiştir. Bu öncelik kurallarının denenebilmesi için 2 nolu kullanıcı fonksiyonunda 3. özelliğe atanan değer koşum öncesinde değiştirilmelidir. Alternatif öncelik kuralları, model üzerinde denenerak her koşumda toplam gecikme günleri değerlendirilecektir. Alternatif öncelik kurallarının model üzerinde denemesi ile bilgisayardan alınan sonuçlar Tablo 7.5'de verilmiştir.

TABLO 7.5- Öncelik Kuralları ve Gecikme İstatistikleri

Öncelik Kuralları	Toplam Gecikme (Gün)	Sipariş Başına Ortalama Gecikme (Gün)	Standart Sapma	Maksimum Gecikme (Gün)
Kural 1 (F)	681	22.7000	32.7584	109
Kural 2 (L)	951	31.7000	47.8252	177
Kural 3 (S/1)	421	14.0333	18.4119	61
Kural 4 (B/1)	936	31.2	62.7114	222
Kural 5 (S/6)	655	21.8333	36.6456	119
Kural 6 (B/6)	387	12.9	19.4056	68
Kural 7 (S/3)	447	14.9	19.6826	59
Kural 8 (S/3)	354	11.8	17.5192	53
*Kural 9 (S/3)	243	8.1	13.4635	49
Kural 10 (B/3)	888	29.6	44.1413	185

* Alternatif öncelik kuralları arasında gecikme günlerini en aza indiren öncelik kuralı

Tablo 7.5'de verilen bilgisayar sonuçlarına göre 9. kural amacımıza en uygun kuraldır. Yeni siparişler kuyrukta, termin zamanı ile imalattaki toplam işlem süresi arasındaki farkı küçük olanlara öncelik verilerek sıralanırlar. Bu sıralamaya göre herbir siparişin gecikme günü Ek 11'de gecikmelerinin histogramı Ek 12'de verilmiştir.

Herbir siparişe, alternatif öncelik dereceleri verilerek 7. kural ile ilgili değişik sonuçlar alınabilir. Gecikme

tazminatları veya ekonomik katkıları çok olan siparişlerin önceliklerinin arttırılabilmesi, öncelik sistemine değişkenlik kazandırmıştır.

En iyi sonuç veren 9. öncelik kuralında bile gecikmeler tamamen kaldırılamamıştır. Bu gecikmelerin de önlenmesi için uygulanabilecek işletme politikaları şunlar olabilir:

- 1- Siparişlerin termini geçmiş bilginin daha ayrıntılı analizi ve daha dikkatli hesap edilerek verilebilir. Ek 11'de siparişlerin bitiş zamanlarına göre termin verilebilir,
- 2- Belirli aylarda yükleri çok fazla olan iş istasyonlarında fazla mesai veya vardiya sistemi uygulanabilir,
- 3- Belirli aylarda yükleri çok fazla olan iş istasyonlarında tezgah sayıları arttırılabilir,
- 4- İş yükü fazla olan iş istasyonlarını kullanan bazı siparişlerin fason yaptırılmaları tercih edilebilir.

Üçüncü Aşama: İkinci aşamada saptanan en iyi öncelik kuralını önermek, imalatın programlanması için yeterli değildir. Bu nedenle, son aşamada bu öncelik kuralına uygun imalat programı hazırlanır.

Herbir iş istasyonunda siparişlerin başlama ve bitiş günlerini gösteren bu imalat programı Ek 13'de verilmiştir. Ayrıca iş istasyonlarında beklemekte, işlem görmekte ve tamamlanmış parti miktarlarını günlük olarak veren günlük durum raporu örneği Ek 8'de verilmiştir.

İmalat programından iş istasyonlarının ilk ve son kul-

lanım günleri saptanarak, iş istasyonlarının tamamen boş kalma günleri belirlenebilir.

İş istasyonlarındaki ortalama bekleyen parti sayısı, ortalama bekleme süresi, iş istasyonlarında kullanılan ortalama tezgah sayısı ile ilgili istatistik bilgileri simülasyon süresince otomatik olarak saklar. Bu istatistiklerin son değerleri simülasyon sonunda otomatik çıktı olarak verilir. Q-GERT Analiz Programının standart özet çıktıları Ek 6'da verilmiştir. Buna göre partilerin imalata gelişler arası ortalama süre 2.9250 dir. Ambara gelişler arası ortalama süre ise 4.3606 saat olarak bulunmuştur. 34 nolu testere kuyruğunda bir saatteki ortalama bekleyen parti sayısı 10.8246, aynı kuyrukta minimum bekleyen parti sayısı 0 (simülasyon başlangıcında), maksimum bekleyen 113, simülasyon sonunda bekleyen ise 0. ortalama bekleme süresi 162.3004 saat/parti olarak saptanmıştır.

Servis kullanımı ile ilgili elde edilen istatistiklere göre 3 nolu Torna iş istasyonunda 8 tezgahtan ortalama 6.1596 tezgah kullanılmaktadır.

7.5. ÇALIŞMA SONUÇLARI

Q-GERT Şebeke Analizi Tekniğın Sanayi'ye kazandırmak amacıyla başlanan bu çalışmada, Q-GERT Analiz Programı program eklemeleri ile birlikte çalışabilir duruma getirilmiştir. Böylece hem modelimizin, hem de üretim sisteminin etkinliklerinin artırılması olanağı elde edilmiştir.

7.5.1. Modelin Etkinlikleri

İncelediğimiz sipariş üretim sisteminin Q-GERT şebeke modelinin geliştirilmesine, program eklemeleri yapılmaksızın model kurma çalışmalarıyla başlanmıştır. Ancak bu modelin çö-

zümlemesinde kullanılan Q-GERT Analiz Programı, modelde kullanılan düğüm ve dal sayıları ile ilgili sınırlamalar getirmiştir. Q-GERT Analiz Programında saptanan sınırlamalar aşağıda verilmiştir:

- 1- 100 düğümlü şebekelerin analizi için uygundur (MXNODE = 100). Bu 100 düğümden 50'si Q-düğüm veya S-düğüm olabilir. Ayrıca, şebeke modelinde kullanılacak kaynak düğüm sayısı 20 ile sınırlandırılmıştır.
- 2- Şebeke modelindeki faaliyet sayıları 100 ile sınırlandırılmıştır (ID = 100). Tüm faaliyetlerin özelliklerinin saklanması için yeterli alan 700'dür (NSET(700)).
- 3- Şebekeden akan cari gezen birimlerin özelliklerinin saklanması için yeterli alan 1600'dür (MAXDS = 1600, DESCR (1600)).
- 4- Q-düğümde bekleyen cari gezen birim sayısı 400 ile sınırlandırılmıştır. 400 gezen biriminin özelliklerinin saklanması için yeterli alan 1600 olduğu için 400 gezen birimi aynı anda sistemde tutabilmek için en fazla 4 özellik değeri verilebilir.
- 5- Koşullu dallanma sayısı ve/veya kaynak düğüm sayısı ve/veya özellik atama ile ilgili sınırlama şu şekildedir.

$$3(\text{koşullu dallanma sayısı}) + 2(\text{kaynak düğüm sayısı}) + 3(\text{özellik atama}) \leq 300, \text{NDSTR (300)}.$$

FORTRAN IV dilinde yazılmış Q-GERT Analiz Programının bu versiyonu 9700 kayıttan oluşmuş ve 32.000 words bellek kullanımını gerektirmektedir.

Çalışmanın başlangıcında sipariş çeşidine bağlı olarak

kullanılacak koşullu dallanma sayıları, faaliyet sayıları ve gezen birimlerin özelliklerinin saklanması ile ilgili sınırlamalar ile karşılaşmıştır. Bilgisayar programında aşağıdaki değişkenlerin boyutları yükseltilerek bu problem ortadan kaldırılmıştır:

- 1- Faaliyet sayıları ile ilgili sınırlama 100'den 400'e yükseltilmiştir.
- 2- Faaliyet özelliklerini saklamak için gerekli alan 700'den 2800'e yükseltilmiştir.
- 3- Sistemde bekleyen cari gezen birim sayılarının özelliklerinin saklanması için gerekli alan 1600'den 3600'e yükseltilmiştir.
- 4- Koşullu dallanma ile ilgili sınırlama 300'den 1200'e yükseltilmiştir.

Daha sonraki çalışmalarımızda bilgisayar belleğini daha verimli kullanabilmek için daha etkin bir modelin kurulması amaçlanmıştır. Modelin değişik yerlerinde 33 kullanıcı fonksiyonu tanımlanarak modelin karmaşıklığına neden olan ve program sınırlarını aşan koşullu dallanmalar ortadan kaldırılmıştır. Model sipariş verilerinin bir fonksiyonu olarak kurulmuştur. Yani sipariş verileri değiştikçe ve yenilendikçe model de buna bağlı olarak değişebilmektedir. Modelde program eklemelerinin yapılmasıyla elde edilen başlıca yararlar şunlardır:

- 1- Farklı zamanlarda gelen siparişler, modelde sadece 1 nolu kullanıcı fonksiyon tanımlanarak sisteme gerçek geliş zamanlarında 1 nolu kaynak düğümden sokulmuşlardır.
- 2- Farklı miktarlardaki siparişlerin parti miktarlarını imalata rotalandırmak için PTIN altprogramı kullanılarak modele dinamiklik kazandırılmıştır.

- 3- Bilgisayara yüklenmiş bulunan iş akış rotaları ve işlem sürelerine; model simulasyon sürecinde ulaşan kodlama yöntemi kullanılarak modele esneklik kazandırılmıştır. Yeni siparişler geldikçe veya değişikçe sipariş verilerine bağlı olarak model de değişmektedir.
- 4- Ara istatistikleri veren şebeke parçalarının kullanılmasıyla modelden ara istatistik bilgiler üretilmiştir.
- 5- Modele program eklemelerinin yapılmasıyla Q-GERT Analiz Programının standart özet çıktılarına bağımlı kalmayıp amaçlanan bilgilerin simülasyon sonunda elde edilmesi sağlanmıştır.
- 6- Her sipariş için öncelik derecelerini gösteren bir değişkenin tamamlanması ile her siparişe alternatif öncelik ağırlıkları verilebilmiştir. Böylece yönetimin öngördüğü siparişlerin öncelikleri arttırılabilmektedir.
- 7- Sipariş miktarlarının üretilmesinde ve sipariş partilerinin imalat sürecinde rotalandırılmaları için PTIN altprogramının kullanılmasıyla şebeke veri kartları 400'den 92'ye indirilerek modelde büyük bir basitlik sağlanmıştır (bkz. Ek 2).

7.5.2. Üretim Sisteminin Etkinlikleri

İncelediğimiz kuyruk özellikli sipariş üretim sisteminin Q-GERT modelinin geliştirilmesi ve bilgisayar analizinin yapılması sonucunda üretim hattının etkinliğinin arttırılması olanağı sağlanmıştır. Aynı zamanda model'den siparişlerle ilgili birçok bilgi üretilerek üretimin kontrol altına alınabilmesi sağlanmıştır.

Üretim sürecinde elde edilen sonuçlar şunlardır:

- 1- Kapasite kullanımında verimlilik arttırılmıştır.
- 2- En iyi öncelik kuralı saptanarak gecikme süreleri ve dolayısıyla gecikme tazminatları azaltılmıştır.
- 3- Hangi siparişin ne zaman hangi istasyonda başlatılması ve bitirilmesi gerektiği imalat programları ile belirlenebilmektedir.
- 4- Günlük raporların çıkartılmasıyla siparişlerin hangi safhada olduğu görülebilmektedir. Herbir sipariş için iş istasyonlarında bekleyen, işlem gören ve tamamlanan miktarları günlük olarak verilebilmektedir.
- 5- Aylık raporların çıkartılmasıyla iş istasyonlarının hangi aylarda çok yüklü olduğu ve atıl kaldıkları saptanabilmektedir. Böylece atölye genelinde etkinliği büyük ölçüde belirleyen iş istasyonlarının Azdırma ve Torna olduğu belirlenmiştir.

Bu iş istasyonları ile ilgili öneriler şunlar olabilir:

- a) Bu iş istasyonlarındaki tezgah sayıları arttırılarak sistem rahatlatılabilir.
- b) Fazla mesai ve vardiya sistemi uygulanabilir.
- c) Bu iş istasyonundaki işlerin bir kısmı fason yaptırılabilir.

Ayrıca aylık raporların çıkartılmasıyla iş istasyonlarındaki atıl kalma süreleri belirlenebilmektedir. Atıl kalan iş istasyonları ile ilgili öneriler şunlar olabilir:

- a) Bu tezgahlar boş kalma sürelerinde süresiz siparişlerin kullanımına verilebilir.

b) Boş kalma sürelerinde, nadir görülen tezgah arızalarını daha da azaltmak için tezgah bakım ve kontrolleri yapılabilir.

6- Herbir siparişin sistemde ortalama bekleme süresi ile toplam işlem süresi toplanarak bir siparişin sistemde ortalama kalış süresi hesaplanabilmektedir.

7- Gecikmelerin azaltılması ile enflasyonun siparişleri üzerine etkisi azaltılmış ve daha fazla siparişlerin kabul edilebilmesi sağlanmıştır.

8- Sipariş verilerinde aylık terminler kullanılarak model, siparişlerin aylık planlama ve kontrolunda uygulanabilir. Bu durumda aylık raporlar yerine haftalık raporlar çıkartılmalıdır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- 1- Akmut,Üzdemir, "Proje Planlama ve Kontrol Yöntemleri", Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum, 1976.
- 2- Archibald,R.D., Villoria,R.L., "Network Based Management Systems (PERT/CPM)", John Wiley and Sons, Inc., New York, 1976.
- 3- Armstrong,A.T., Wright, "Critical Path Method", Longmans, Green and Co.Ltd. London, 1969.
- 4- Baker,Bruce,N., Eris,Rene L., "An Introduction to PERT-CPM", Richard D.Irwin, Inc., 1964.
- 5- Battersby,Albert, "Network Analysis for Planning and Scheduling", John Wiley and Sons, Inc., New York, 1970.
- 6- Bellas,C.J., Samli,A.C., "Improving New Product Planning With GERT Simulation", California Management Review, Vol. XV, No.4, 1973, s.14-21.
- 7- Bondy,J.A. and Murty,U.S.R., "Graph Theory with Applications" The Macmillan Press Ltd., London, 1976.
- 8- Brennas,Jas., "Applications of Critical Path Tecniques", The English Universities Press Ltd., London, 1968.

- 9- Burman,P.J., "Precedence Networks for Project Planning and Control", Mc-Graw Hill Book Comp., London, 1972.
- 10- Ceyhun,Yurdakul, "Çizge Kuramı Üzerine Kısa Bir İnceleme", O.D.T.Ü. Mühendislik Fak., Ankara, 1976.
- 11- Cleland,David I., King,William R., "System Analysis and Project Management", Mc Graw-Hill Book Comp., New York, 1975.
- 12- Crowston,W., Thompson,G.L., "Decision CPM: A Method for Simultaneous Planning, Scheduling and Control of Projects", Operations Research, Vol.15 No.3, 1967, s.407-426.
- 13- Davis,B.Gordon, "Management Information Systems: Conceptual Foundations, Structure and Development", Mc-Graw Hill Inc., 1974.
- 14- Eisner,Howard, "A Generalized Network Approach to the Planning and Scheduling of a Research Program", Operations Research, Vol.10, No.1, 1962, s.115-125.
- 15- Elmaghraby,S.E., "An Algebra for The Analysis of Generalized Activity Networks", Management Science, Vol.10, No.3, 1964, s.494-514.
- 16- Elmaghraby,S.E., "The Role of Modelling in IE Design", The Journal of Industrial Engineering", June, 1968, s.292-305.
- 17- Elmaghraby,S.E., "The Theory of Networks and Management Science: Part II", Management Science, Vol.17, No.2, October, 1970, s.B54-B71.

- 18- Elmaghraby,S.E., "On Generalized Activity Networks", Journal of Industrial Engineering, Vol.18, No.11, 1976, s.621-631.
- 19- Elmaghraby,S.E., "Activity Networks: Project Planning and Control by Network Models", John Wiley and Sons, New York, 1977.
- 20- Erişkon Hasan, Alev Turgut, Yücel Ertuğrul, "Üretim-Yatırım-Proje Planlama ve Kontrol Modern Teknikleri PERT-CPM", Aksu Ömer, Lütfi Sungan Kültür ve Eğitim Merkezi, İstanbul, 1973.
- 21- Esen,H.Öner, "İşletme Yönetiminde Sistem Yaklaşımının Önemi ve Bir Sistem Olarak İşletmenin Etkin Yönetimi İçin Bir Bilgi İletişim (Bilişim) Sisteminin Kurulması Aşamaları ve Bir Vak'a Çalışması" Doçentlik Tezi, İ.Ü.İşletme Fak., İstanbul, 1982.
- 22- Ferman,Cumhur, "İşletme İktisadına Giriş Ders Notları", İ.Ü.İktisat Fak., 1977.
- 23- Fırat,Ateş, "Şebeke Analizleri (PERT-CPM) Yardımı ile Finansal Tabloların Denetimi ve Bir Vak'a Çalışması", Doktora Tezi, İ.Ü.İşletme Fak., İstanbul, Haziran 1976.
- 24- Freeman,R.J., "A Generalized PERT", Operation Research, Vol.8, No.2, 1960, s.281.
- 25- Gençyılmaz,Güneş, "Çok İş İstasyonlu (Merkezli) Dinamik Karma İmalat Sistemlerinin Kontrolü İçin Geliştirilen Çok Amaçlı Bir Simulasyon Modeli", Doçentlik Tezi, İ.Ü.İşletme Fak., İstanbul, 1977.

- 26- Gülerman,Adnan, "PERT/Maliyet Tekniği İşletmede Bir Yönetim Aracı Olarak Kullanılması", Ankara İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayınları, Ankara, 1970.
- 27- Halaç,Osman, "Entegre Demir Çelik Üretim Sistemlerinin Optimizasyonu İçin Geliştirilmiş Bir Model", Doçentlik Tezi, İ.Ü.İşletme Fak., İstanbul, 1977.
- 28- Halaç,Osman, "Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması)", İ.Ü.İşletme Fak., İstanbul, 1978.
- 29- Halaç,Osman, "İşletmelerde Simülasyon Teknikleri", İ.Ü. İşletme Fak., İstanbul, 1982.
- 30- Hoare,H.R., "Project Management Using Network Analysis", Mc-Graw Hill Book Company Ltd., London, 1973.
- 31- Horowitz,E., Sahni,S., "Fundamental of Data Structures", Pitman Publishing Lmt., London, 1977.
- 32- Intriligator,Michael D., "Ekonometric Models Techniques and Applications, Prentice-Hall Inc., 1978.
- 33- Karayalçın,İlhami, "Harekat Araştırması Dersleri", İstanbul Teknik Üniversitesi Mat., Gümüşsuyu-İstanbul, 1968.
- 34- Karpak,Birsen, "Kantitatif Karar Verme Teknikleri Ders Notları", İ.Ü.İşletme Fakültesi, 1972.
- 35- Karpak,Birsen, "Mekanize Üretim Sistemlerinde Öncelikli Bakım Süreçleri Performansının Ekip Büyüklüğüne Göre Bir Zaman Boyutu içinde İncelenmesi ve Bakım Planı Saptanmasında Yeni Bir Yöntem Önerisi", Doktora Tezi, İ.Ü.İşletme Fak., İstanbul, Mart 1974.

- 36- Karpak,Birsen, Sürsal,Gökay, "Bir Üretim-Yatırım-Proje Planlama ve Kontrol Tekniği Q-GERT", Sanayi Mühendisliği, Yıl 1, Sayı 2, 1982, s.25-26.
- 37- Kobu,Bülent, "Uzun Vadeli Üretim Planlama Modelleri, Enerji Sektöründe Uygulama", Doçentlik Tezi, İ.Ü.İşletme Fak., İstanbul, 1975.
- 38- Kobu,Bülent, "Üretim Yönetimi", İ.Ü.İşletme Fak., 1979.
- 39- Levin,I.Richard, Kirkpatrick,A.Charles, "PERT ve CPM ile Planlama ve Denetim", O.D.T.Ü.İdari Bilimler Fak. Ankara, 1968.
- 40- Lowe,C.W., "Critical Path Analysis By Bar Chart The New Role of Job Progress Charts", Business Books Lmt., London, 1969.
- 41- Martino,R.L., "Proje İdaresi ve Kontrolü: Kritik Yolun Bulunması", Çev.: Yalgın,C.Cahit, Cilt I, K.G.M. Matbaası, Ankara, 1972.
- 42- Merih,Kutlu, "Sistemlerin Matematik Teorisine Giriş (Optimal Kontrol) Bir Firma Uygulaması", Doçentlik Tezi, İ.Ü.İşletme Fak., İstanbul, 1976.
- 43- Miller,Robert W., "Schedule, Cost and Profit Control With PERT", McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1963.
- 44- Moder,J.J., Phillips,C.R., "Project Management With CPM and PERT", Reinhold Pub.Co., New York, 1970.
- 45- Morris,W., "On The Art of Modelling", Management Science, August, 1967, s.B707-717.

- 46- Murdick,R.G., Ross,J.E., "Information Systems for Modern Management", Englewood Cliffs,N.J., Prentice-Hall, Inc., 1971.
- 47- Müller,H., Merbach, "Some Connections Between Graph Theory and Network Analysis", Derleyen: Lombaers, H.J.M., "Project Planning by Network Analysis", North-Holland Publ., Amsterdam, 1969.
- 48- Phillips,D.T., Pritsker,A.A.B., "GERT Network Analysis of Complex Production Systems", Int.J.Prod.Res., Vol.13, No.3, 1975, s.223-237.
- 49- Pritsker,A.A.B., Happ,W.W., "GERT: Graphical Evaluation and Review Technique Part I. Fundamentals", Journal of Industrial Engineering, Vol.17, No.5, 1966, s.267-274.
- 50- Pritsker,A.A.B., Whitehouse,G.E., "GERT: Graphical Evaluation and Review Technique Part II. Probabilistic and Industrial Engineering Applications", Journal of Industrial Engineering, Vol.17, No.5, 1966, s.293-301.
- 51- Pritsker,A.A.B., "The Status of GERT", Derleyen: Lombaers, H.J.M. "Project Planning by Network Analysis", North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1969.
- 52- Pritsker,A.A.B., "Modeling and Analysis Using Q-GERT Networks", John Wiley and Sons Inc., New York, 1979.
- 53- Starr,Martin K., "Management: A Modern Approach", Harcourt Brace Jovanovich, Inc., New York, 1971.
- 54- Sürsal,Gökay, "GERT (Grafik Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği) ve Bir Uygulama", İ.Ü.İşletme Fak. Dergisi, s.3, c.1, 1974, s.343-357.

- 55- Sürsal Gökay, Candan Ümit, Karpak Birsen, "Şebeke Analizi Teknikleri Seminer Notları", İ.O.İşletme Fak. Üretim Yönetimi Enstitüsü, İstanbul, Nisan 1981.
- 56- Taha,Hamdy,A., "Operations Research An Introduction", Mac Millian Publishing Co., Inc., New York, 1971.
- 57- Thornley,Gail, "Critical Path Analysis in Practice Collected Papers on Project Control", Tavistock Publications, London, 1968.
- 58- Tulunay,Yılmaz, "İşletme Matematiği", İ.O.İşletme Fakültesi, İstanbul, 1982.
- 59- Turner,G.J., Elliot,K.R.J., "Project Planning and Control in The Construction Industry", Cassel and Company Ltd., London, 1964.
- 60- Van Court Hare,JR., "Systems Analysis: A Diagnostic Approach", Harcourt, Brace and World, Inc., New York, 1967.
- 61- Whitehouse,Gary E., "Systems Analysis and Design Using Network Technique", Englewood Cliffs,N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1973.

EK - I

PANKURT SANAYİ A.Ş. DEPARTMANLAR ARASI BİLGİ AKIŞI

Pankurt Sanayi A.Ş. Ağır, Otomotiv ve Traktör Sanayi kuruluşlarının gereksinimi olan dişli ve dişli gruplarını sipariş üzerine üretmektedir. Bu siparişlerin alınmasından teslimine kadar olan faaliyetler işletmenin tüm departmanlarını dolaylı veya dolaysız olarak ilgilendirmektedir. Departmanlar arasındaki mevcut bilgi akışı belirlenmiş ve üç başlık altında toplanmıştır:

- 1- Ön Siparişlerin Değerlendirilmesi,
- 2- Kati Siparişlerin Değerlendirilmesi,
- 3- İmalata Bildirilen Siparişlerin Değerlendirilmesi.

1- Ön Siparişlerin Değerlendirilmesi

Sipariş yapan şahıs ya da kuruluşlar ister sürekli isterse süreksiz siparişte bulunsun firma fiyat teklifinde bulunur. Teklif edilen bu fiyat, firmanın zarar etmemesi ve siparişlerin kati siparişlere dönüştürülmesi için çok önem arz etmektedir.

Genel Md.Sekreterliğine gelen yazılı müracaatlar, Genel Müdür bilgi onayına sunulur. Genel Müdürün kararı "red" ise sipariş müracaatında bulunana siparişlerin karşılanamayacağı bildirilir.

Genel Müdürün kararı "kabul" ise müracaat formu pazarlama ve Satış Md.ne gönderilir. Pazarlama ve Satış Müdürlüğü teknik ve ticari şartnameleri talep eder ve teknik şartnameyi Planlama Müdürlüğüne gönderir. Planlama Md. teknik şartnameye göre gerekli mal, malzeme, işçilik, dış işçilik, imalat süresi v.b. bilgilerin standartlarını ön maliyet ve satış tutarı tesbit formuna yazar. Satılma, Mali ve İdari İşler Md. ve

İmalat Md. ile gerekli temasları kurarak sınıai ve ticari maliyet tutarını tespit eder ve bir nüshasını Pazarlama ve Satış Md.ne gönderir. Mali ve İdari İşler Md. bankadan temin ettiği geçici teminat mektubunu Pazarlama ve Satış Md.ne gönderir. Pazarlama ve Satış Md. bu teminat mektubu ve fiyatı içeren öneri mektubunu sipariş yapan kuruluşa gönderir.

Sipariş yapan kuruluş öneri mektubunu red ya da kabul ettiğini Genel Md.e bildirir. Bu bildirim Genel Md.den Pazarlama ve Satış Md. ve buradan da Planlama Md.ne bildirilir. Müşteriye daha önceden gönderilmiş geçici teminat belgesi Mali ve İdari İşler Md. tarafından talep edilir ve bankaya iade edilir.

Yukarıda izah edilen bu bilgi akışı Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir.

2- Kati Siparişlerin Değerlendirilmesi

Kati siparişlerin Planlama Md.ne bildiriminden sonra kati teminat ve avans teminat belgeleri Mali ve İdari İşler Md. bankalardan temin eder ve Pazarlama ve Satış Md.ne gönderir. Pazarlama ve Satış Müdürlüğü de teminat belgelerini sipariş yapan kuruluşa gönderir.

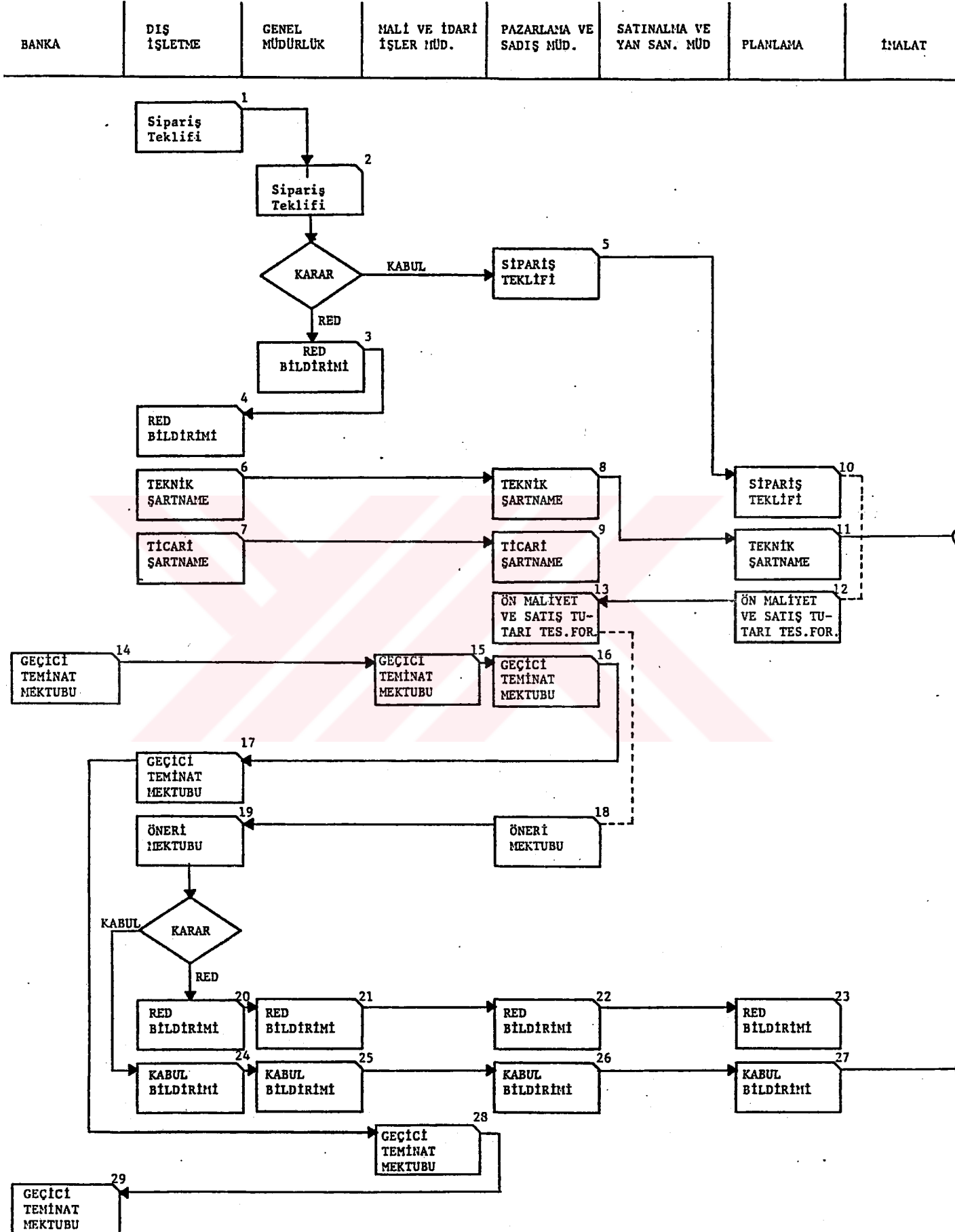
Planlama Md. üretim formu, zaman-etüd kartı, satın alınacak noksan hammadde, yardımcı hammadde ve malzemelerin temini için satınalma istek formunu Satın Alma ve Yan Sanayi Md.ne gönderir.

Eğer satıcıdan herhangi bir mal talep edilmişse satıcı mal teslim bildirimini Planlama Md.ne yapar. Geçici ambar giriş ve tesellüm formu Planlamadan Satın Almaya ve buradan da satıcıya gönderilir. Aynı zamanda Planlama, kontrol bildirimini Satın Alma Md.ne, buradan da bu bildirim Mali ve İdari İşler

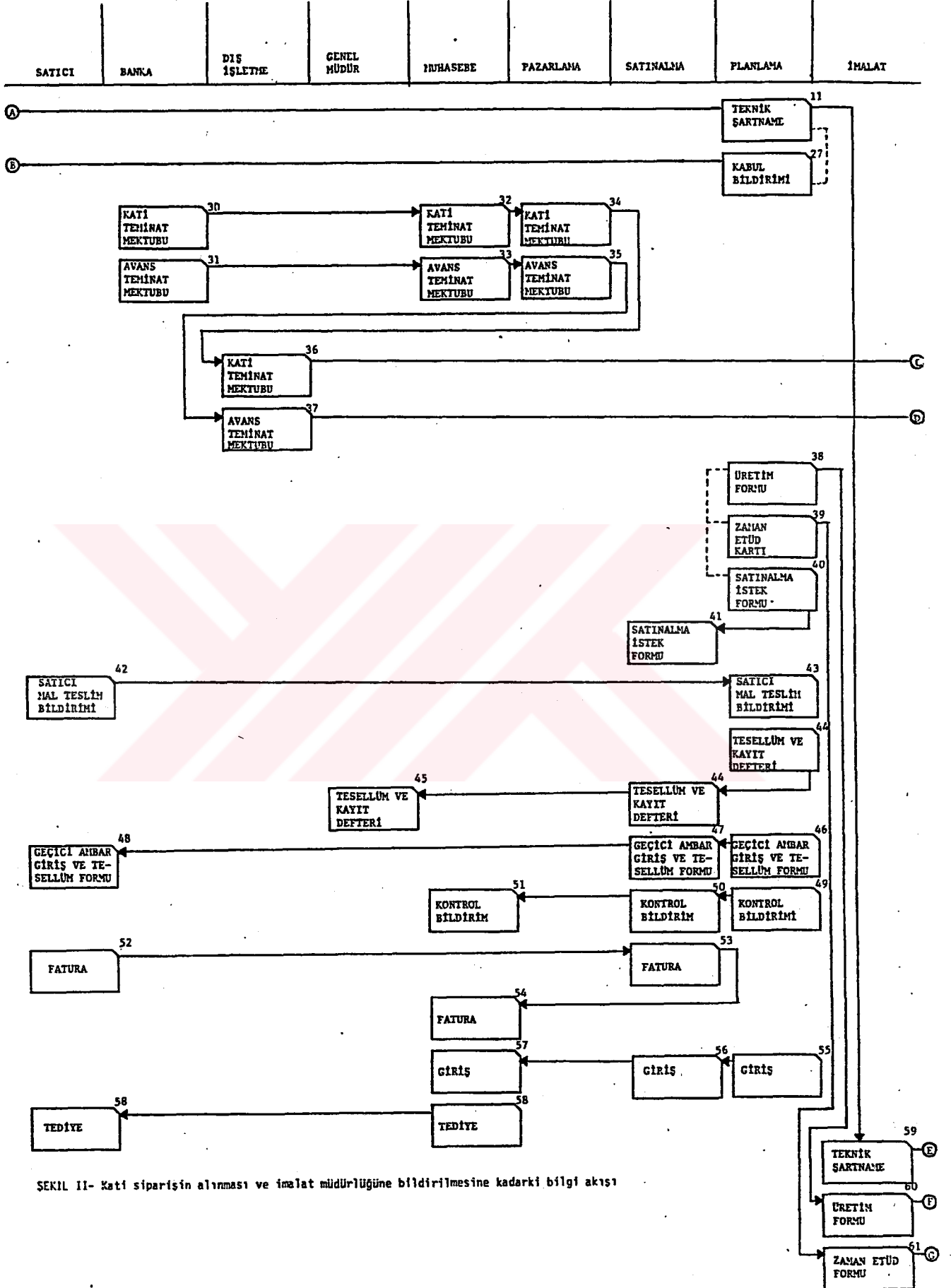
Md.ne gelir. Satıcı, faturasını Satın Alma Md.ne gönderir, buradan da Mali ve İdari İşler Md.ne gelir. Mali ve İdari İşler Md. satıcıya ödemesini yapar. İmalat için gerekli mal ve malzemeler de temin edildiğinden teknik şartname üretim formu ve zaman etüd formu İmalat Md.ne gönderilir (bkz. Şekil 2).

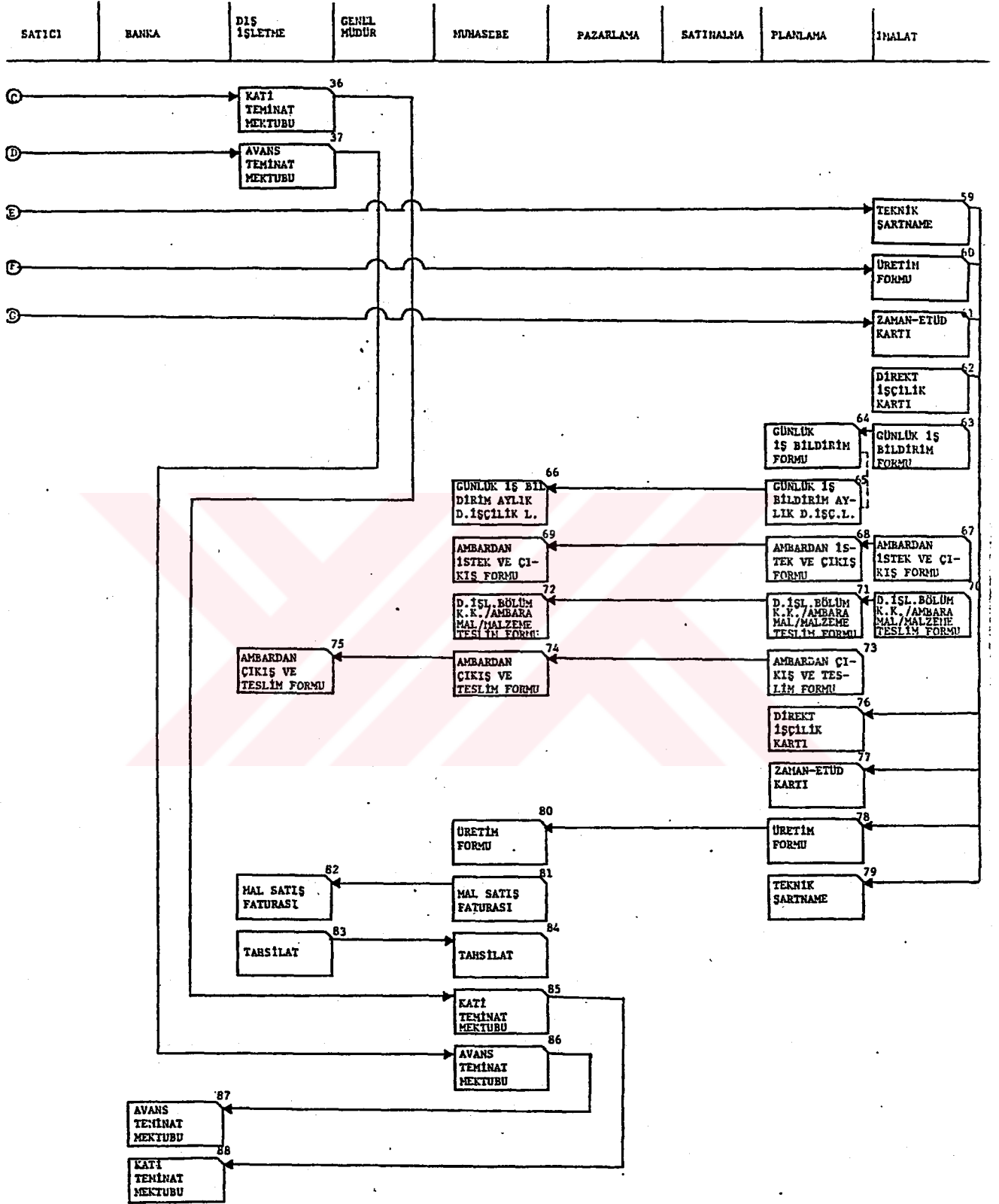
3- İmalat Departmanlığına Bildirilen Siparişlerin Değerlendirilmesi

İmalat departmanına teknik şartname, üretim formu ve zaman-etüd kartının gönderilmesini müteakip direkt işçilik kartı (iş yapım birimleri aylık dönemlerde yaptığı her iş için sarfettiği zamanı kayıtlar) tanzim edilir. Ayrıca günlük iş bildirim formunu (İmalat alanlarına gelen tüm siparişlerin hareketi not edilir) hergün sonunda Planlama Md.ne (İstihsal-Planlama'ya) gönderir. Planlama da günlük iş bildirim formundaki bilgilerden aylık direkt işçilik listesi çıkartır. Mali ve İdari İşler Müdürlüğüne maliyet hesaplarının yapılması için gönderir. İmalat Md. ambardan istek ve çıkış formu tanzim eder. Bu formu İmalat birimlerinde gerekli mal ve malzemeler ambardan istenir, noksan kısmı için sipariş verilmesini stok kontrolden ister. Bu form, Planlama ve buradan da Mali ve İdari İşler Md.ne gönderilir. Ayrıca dahili işletme bölümlerinden ambara mal ve malzeme teslim formu (Ambara intikal eden mal ve malzemeleri gösterir). İmalat Md.den Planlama ve daha sonra Planlama Md.den Mali ve İdari İşler Md.ne gönderilir. Planlama Md.ne bağlı ambarda tanzim edilen ambar çıkış ve teslim formu Dış İşletme ve Mali İdari İşler Md.ne gönderilir. Siparişin tümü bittiğinde direkt işçilik kartı, zaman-etüd kartı teknik şartname ve üretim formu İmalat Md.den Planlama Md.ne gönderilir. Planlama Md. üretim formunu Mali ve İdari İşler Md.ne gönderir ve burada mal satış faturası hazırlanıp Dış İşletmeye gönderilir ve tahsilatı yapılır. Son olarak Mali ve İdari İşler Md. dış işletmeden kati teminat ve avans teminat mektuplarını talep eder ve bankaya gönderir (bkz.Şekil 3).



SEKİL 1- Sipariş müracaatlarında ön maliyet ve satış tutarı tespitinde bilgi akışı





ŞEKİL III- İmalat Departmanına bildirilen siparişlerin teslimine kadarki bilgi akışı

EK II- ŞEBEKE VERİLERİ

*** INPUT CARDS ***

GEN, BALABAN, DOKTORA TEZİ, 10, 15, 1983, 1, 1, c4i., 2112., 1., 6*
SCU, 1, 0, 1, A* SİPAKİSLERİN ÜRETİLDİĞİ KAYNAK DUGUM
*SİPARİŞ PARTİLERİ ÜRETİLİR
REG, 2, 1, 1, D*
VAS, 1, 1, 1N, 1*
*SİPAKİ LERE ÖZELLİKLER VERİLİR
VAS, 2, 2, UF, 2*
STA, 33/İMALAT, 1, 1, F, B, 0., 0.1*
VAS, 33, 5, UF, 3*
*TEZGAHLAR CNCNDEKİ BEKLEMLERİ TANIMLAYAN
*KUYRUK DÜĞÜMLERİ
QUE, 34/TESTERE, (6)S/1*
QUE, 36/DCVME, (6)S/1*
QUE, 38/TOKMA, (6)S/1*
QUE, 40/FREZE, (6)S/1*
QUE, 42/AZDIRMA, (6)S/1*
QUE, 44/FELLOWS, (6)S/1*
QUE, 46/S_KONİK, (6)S/1*
QUE, 48/TESVİYE, (6)S/1*
QUE, 50/BAKCS, (6)S/1*
QUE, 52/PLANYA, (6)S/1*
QUE, 54/MATKAP, (6)S/1*
QUE, 56/ALAZOZ, (6)S/1*
QUE, 58/TASLAMA, (6)S/1*
QUE, 60/RASPALA, (6)S/1*
*İŞLEM SURELERİNİ BELİRLİYEN
*FONKSİYONLAR ÇAĞIRILIYOR
VAS, 34, 6, UF, 4*
VAS, 36, 6, UF, 6*
VAS, 38, 6, UF, 8*
VAS, 40, 6, UF, 10*
VAS, 42, 6, UF, 12*
VAS, 44, 6, UF, 14*
VAS, 46, 6, UF, 16*
VAS, 48, 6, UF, 18*
VAS, 50, 6, UF, 20*
VAS, 52, 6, UF, 22*
VAS, 54, 6, UF, 24*
VAS, 56, 6, UF, 26*
VAS, 58, 6, UF, 28*
VAS, 60, 6, UF, 30*
REG, 35, 1, 1, D*
REG, 37, 1, 1, D*
REG, 39, 1, 1, D*
REG, 41, 1, 1, D*
REG, 43, 1, 1, D*
REG, 45, 1, 1, D*
REG, 47, 1, 1, D*
REG, 49, 1, 1, D*
REG, 51, 1, 1, D*
REG, 53, 1, 1, D*
REG, 55, 1, 1, D*
REG, 57, 1, 1, D*

REG,59,1,1,D*
REG,61,1,1,D*
*PARTILERI RG TALAYAN FONKSIYONLAR
VAS,35,5,UF,5*
VAS,37,5,UF,7*
VAS,39,5,UF,9*
VAS,41,5,UF,11*
VAS,43,5,UF,13*
VAS,45,5,UF,15*
VAS,47,5,UF,17*
VAS,49,5,UF,19*
VAS,51,5,UF,21*
VAS,53,5,UF,23*
VAS,55,5,UF,25*
VAS,57,5,UF,27*
VAS,59,5,UF,29*
VAS,61,5,UF,31*
*ISTATISTIKLERI TOPLAYAN DUGUMLER
SIN,92/AMBAK,1,1,C,B,0.,0.5*
SCU,57*
REG,98,1,1,A*
REG,99,6,6*
SCU,100,0,1*
ACT,1,1,UF,1,,(9)A1-LT.30*
ACT,1,2*
*ISLEMLERİ GÖSTEREN FAALİYETLER
ACT,34,35,AT,6,1/TESTERE,2*
ACT,36,37,AT,6,2/LOVME,3*
ACT,38,39,AT,6,3/TORNA,8*
ACT,40,41,AT,6,4/FRZE,1*
ACT,42,43,AT,6,5/AZLIRMA,3*
ACT,44,45,AT,6,6/FELLOWS,4*
ACT,46,47,AT,6,7/S-KONIK,2*
ACT,48,49,AT,6,8/TESVIYE,2*
ACT,50,51,AT,6,9/EROS,1*
ACT,52,53,AT,6,10/PLANYA,1*
ACT,54,55,AT,6,11/MATKAP,3*
ACT,56,57,AT,6,12/PAH-KIR,2*
ACT,58,59,AT,6,13/TASLAMA,3*
ACT,60,61,AT,6,14/RASPALA,1*
*BITEN PARTILERİ TERK DUGUMLER
*RG TALAYAN FAALİYETLER
*GUNLUK RAPFLARI ÜRETEN FAALİYETLER
ACT,97,98,CC,2080.*
ACT,98,98,UF,32,(9)N99.NR*
ACT,98,99*
*AYLIK RAPFLARI ÜRETEN FAALİYETLER
ACT,100,100,UF,33*
COL,1/GECIKME*
COL,2/ÜRETKEN*
HIS,1/GECIKME,18.,0.,5.*
HIS,2/ÜRETKEN,19.,0.,0.05*
FIN*

*** NO ERRORS DETECTED IN INPUT DATA ***

*** EXECUTION WILL BE ATTEMPTED ***

EK III- SİPARİŞ VERİLERİ

SİPARİŞ SAYISI = 30
İŞ İSTASYONU SAYISI= 14

SIP. NO	SİPARİŞ ADI	FİRMA ADI	SIP. MİK.	PARTİ MİK.	VARİŞ ZAM.*	TERMIN ZAM.*
1	KRANK DIŞLI	BMC	2500	100	0.	990.
2	EKSANTİRİK DIŞLI	BMC	4500	100	0.	990.
3	AVARA DIŞLI	BMC	4500	100	0.	990.
4	ENJEKTÖR POMPA	BMC	4500	100	0.	990.
5	VOLAN DIŞLISI	BMC	3000	100	0.	990.
6	VOLAN DIŞLISI	BMC	2500	100	0.	990.
7	VOLAN DIŞLISI	HEMA	1500	100	630.	990.
8	KRANK MILİ	UZEL	2000	100	639.	1629.
9	VOLAN DIŞLISI	UZEL	2500	100	639.	1629.
10	KAM MILİ	UZEL	2500	100	639.	1629.
11	ARA DIŞLISI	UZEL	2500	100	639.	1629.
12	YAĞ POMPASİ	UZEL	2500	100	639.	1629.
13	ENJEKTÖR DIŞLI	UZEL	2500	100	639.	1629.
14	VOLAN DIŞLISI	T.O.E	1600	100	855.	1657.
15	VOLAN DIŞLISI	T.O.E	2100	100	855.	1657.
16	VOLAN DIŞLISI	T.O.E	500	100	855.	1657.
17	KRANK MILİ	UZEL	2500	100	1314.	2116.
18	AVARA DIŞLISI	UZEL	2500	100	1314.	2116.
19	KAM MILİ	UZEL	2500	100	1314.	2116.
20	YAKIT POMPA	UZEL	2500	100	1314.	2116.
21	AYNA DIŞLI	UZEL	1000	100	1557.	2151.
22	MAFRUTİ DIŞLI	UZEL	1000	100	1557.	2151.
23	MAFRUTİ FLANŞI	UZEL	1000	100	1557.	2151.
24	DİFERAN. KAPAGI	UZEL	1000	100	1665.	2853.
25	DİFERAN. KİLİDİ	UZEL	1000	100	1665.	2853.
26	AVARA GÖBEGİ	UZEL	2500	100	1665.	2853.
27	VOLAN DIŞLISI	T.Z.E.K	1500	100	1872.	2258.
28	DİREKSİYON MILİ	T.Z.E.K	1000	100	1872.	2258.
29	DIŞLI GÖBEGİ	T.Z.E.K	1000	100	1872.	2258.
30	PİM	T.Z.E.K	1000	100	1872.	2258.

*İlk siparişin varış zamanı 0. saat kabul edilmiştir. Diğer siparişlerin varış ve termin tarihleri ile, ilk siparişin alınış tarihi arasındaki gün farkları saat birimine dönüştürülmüştür.

SIPARISLERIN TEZGAHLARDAKI ISLEM SURELLERİ

SIP. NO	TESTERE	ÜÇVME	TORNA	FREZE	AZLIR.	FELLOWS	S-KONIK	TESVIYE	BROS	PLANYA	MATKAP	PAH-KIR	TASLAMA	RASPA.	TOPLAM
1	8.00	0.00	25.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	10.00	0.00	71.00
2	0.00	0.00	25.00	0.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.00
3	2.00	0.00	15.00	0.00	20.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.00
4	8.00	0.00	25.00	0.00	30.00	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	81.00
5	0.00	40.00	25.00	0.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	100.00
6	0.00	40.00	25.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	95.00
7	0.00	46.00	25.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	111.00
8	16.60	0.00	16.00	0.00	16.60	0.00	0.00	8.30	0.00	8.30	0.00	0.00	0.00	16.60	84.40
9	0.00	41.60	25.00	0.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	111.60
10	0.00	0.00	21.60	0.00	6.00	41.60	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.20
11	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	50.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.00
12	13.30	0.00	15.30	0.00	0.00	21.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.30	72.90
13	0.00	0.00	22.80	0.00	0.00	41.66	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	74.46
14	0.00	33.30	40.00	0.00	33.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	131.60
15	0.00	33.30	40.00	0.00	33.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	131.60
16	0.00	0.00	40.00	0.00	33.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	131.60
17	0.00	0.00	18.00	0.00	35.00	0.00	0.00	8.30	0.00	8.30	0.00	0.00	16.60	16.60	102.81
18	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	50.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.00
19	0.00	0.00	21.60	0.00	41.60	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.20
20	0.00	0.00	22.80	0.00	50.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	90.80
21	5.00	0.00	65.00	0.00	0.00	0.00	40.00	10.00	16.60	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	176.60
22	0.00	0.00	60.00	0.00	16.60	0.00	20.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.60	0.00	121.20
23	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	50.00
24	0.00	0.00	30.00	33.30	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	25.00	0.00	25.00	0.00	121.30
25	0.00	0.00	25.00	33.30	0.00	0.00	0.00	8.00	12.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	86.30
26	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	8.00	0.00	83.30
27	0.00	56.90	100.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.30	0.00	0.00	240.20
28	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	52.00
29	1.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	8.00	0.00	0.00	0.00	22.00
30	1.00	0.00	3.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	14.00

SIPARISLERIN IS AKIS ROTALARI

SIP. NU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	3	0	5	0	10	0	0	0	0	13	0	0	99	0
2	1	3	0	5	0	10	0	0	0	0	59	0	0	0	0
3	1	3	0	5	0	8	0	0	99	0	0	0	0	0	0
4	1	3	0	5	0	8	0	0	11	0	0	0	0	0	0
5	2	0	3	5	0	12	0	0	0	0	0	0	99	0	0
6	2	0	3	5	0	12	0	0	0	0	0	0	99	0	0
7	2	0	3	5	0	12	0	0	0	0	0	0	99	0	0
8	1	0	0	5	0	8	0	0	10	0	14	0	0	0	99
9	2	0	0	5	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	3	0	0	6	0	0	8	0	99	0	0	0	0	0	0
11	3	0	0	6	0	0	8	0	99	0	0	0	0	0	0
12	1	0	0	6	0	0	8	0	14	0	0	0	0	0	0
13	2	0	0	6	0	0	8	0	99	0	0	0	0	0	99
14	2	0	0	6	0	0	8	0	99	0	0	0	0	0	0
15	2	0	0	6	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
16	2	0	0	6	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	3	0	0	6	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	3	0	0	6	0	8	0	0	10	0	13	0	0	14	0
19	3	0	0	6	0	8	0	0	99	0	0	0	0	0	0
20	3	0	0	6	0	8	0	0	99	0	0	0	0	0	0
21	3	0	0	6	0	8	0	0	11	0	0	0	0	0	0
22	1	0	0	7	0	0	0	8	5	0	0	0	0	0	0
23	3	0	0	9	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0
24	3	0	0	4	8	0	0	0	11	0	0	13	0	0	0
25	3	0	0	4	6	0	0	0	11	0	0	13	0	0	0
26	3	0	0	11	0	0	0	0	13	0	0	13	0	0	0
27	2	0	0	5	0	12	0	0	0	0	0	0	99	0	0
28	2	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0
29	1	0	0	10	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0
30	1	0	0	4	13	0	0	0	0	0	0	99	0	99	0

EK IV- PROGRAM LİSTELERİ

```

SUBROUTINE U1
REAL*8 SIPAC1,SIPAD2,FIRAD
COMMON ISIP,ITLZ,GUN,KODSIP(30),MIKSIP(30),MIKPAR(30),VARIS(30),
1TWT(30),ITOP(30),BASLA(30),BITIS(30),IKUY(30,15),WTIME(30,15),KOD
2FIR(30),IKEY,IAY,IROTA(30,15),SURE(30,15),AY,TERMIN(30)
3,IGIDEN(30,15),IBASLA(30,15),IBITIR(30,15),TQQQ,TSSS,ITGRP(15)
4,ISLEM(30,15),ATT(10),IPART(30),IGIO(30,15),IROT1,IROT2,IFOT3,
5STOPUR,TOPSP,IGECIK,ISTOP
READ(7,126)ISIP,ITEZ,IKEY,GUN,AY
126 FCRMAT(315,2F5.0)
TQQQ=0.
TSSS=0.
ISTCP=ITEZ+1
IAY=0
IKCTI=33
IROT2=32
IROT3=92
TUPUH=0.
TOPSP=0.
IGECIK=0
CALL COLC(0)
CALL HTSC(0)
DO 3 I=1,ISIP
ITOP(I)=0
BASLA(I)=0.
BITIS(I)=0.
TWT(I)=0.
DC 4 J=1,ITEZ
IKUY(I,J)=0
WTIME(I,J)=0.
IGIDEN(I,J)=0
ISLEM(I,J)=0
IGIO(I,J)=0
IBASLA(I,J)=0
IBITIR(I,J)=0
4 CONTINUE
3 CONTINUE
READ(7,120)(ITGRP(I),I=1,ISTOP)
120 FCRMAT(1515)
IF(IKEY.NE.1)GO TO 80
WRITE(6,127)
127 FORMAT(1H1,/)
WRITE(6,125)ISIP,ITEZ
125 FORMAT(5X,'SIPARIS VERILERI'//5X,'SIPARIS SAYISI
1=',15/5X,'IS ISTASYONU SAYISI=',15/)
WRITE(6,105)
105 FCRMAT(5X,'SIP. SIPARIS ADI FIRMA SIP. PARTI VARIS
1 TERMIN'/5X,'NO ADI MIK. MIK. ZAM.
2 ZAM. '/5X,
3-- --'/)
80 CONTINUE
DO 5 I=1,ISIP
READ(7,100)KODSIP(I),SIPAD1,SIPAD2,KODFIR(I),FIRAD,MIKSIP(I),
1MIKPAR(I),VARIS(I),TERMIN(I)
READ(7,101)(IROTA(I,J),J=1,ISTOP)
READ(7,102)(SURE(I,J),J=1,ISTOP)
IPART(I)=MIKSIP(I)/MIKPAR(I)
IF(IKEY.NE.1)GO TO 5
WRITE(6,107)KODSIP(I),SIPAD1,SIPAD2,FIRAD,MIKSIP(I),MIKPAR(I),
1VARIS(I),TERMIN(I)
5 CONTINUE
100 FCRMAT(2X,12,4X,2A8,12,A8,215,F5.0,F5.0)
101 FCRMAT(1515)
102 FORMAT(15F5.2)
107 FCRMAT(5X,15,2X,2A8,2X,A8,2X,2(15,2X),F5.0,2X,F5.0)
IF(IKEY.NE.1)RETURN
WRITE(6,127)
WRITE(6,106)
106 FCRMAT(10X,'SIPARISLERIN TEZGAHLARDAKI ISLEM SURELERI'//5X,
1'SIP. NU TESTEKE GUVME TORNA FREZE AZDIR. FELLOWS S-KONIK TUI
2ESVIYE BRUS PLANYA MATKAP PAH-KIR TASLAMA KASPA. TOPLAM'/5X,
316('*****',1X))
DO 6 I=1,ISIP
WRITE(6,108)KODSIP(I),(SURE(I,J),J=1,ISTOP)
108 FCRMAT(5X,15,3X,15(F7.2,1X))
6 CONTINUE
WRITE(6,127)
109 FCRMAT(//)
WRITE(6,122)(I,I=1,ISTOP)
122 FCRMAT(10X,'SIPAKISLEKIN IS AKIS ROTALARI'//5X,
1'SIP. NO ',15(14,4X)/5X,16('*****',1X))
DO 7 I=1,ISIP
WRITE(6,121)KODSIP(I),(IROTA(I,J),J=1,ISTOP)
121 FCRMAT(5X,15,3X,15(14,4X))
7 CONTINUE
WRITE(6,109)
RETURN

```

FUNCTION UF(1FN) UF 00010
COMMON /QVAK/ADE,NFTBU(100),NREL(100),NKELP(100),NKEL2(100), UF 00020
1 NKUN,NRUNS,NTC(100),PARAM(100,4),TBEG,TNDW UF 00030
COMMON ISIP,ITEZ,GUN,KODSIP(30),MKSIP(30),MKPAK(30),VARIS(30), UF 00040
1WT(30),ITOP(20),BASLA(30),BITIS(30),IKUY(30,15),WTIME(30,15),KCO UF 00050
2F,K(30),IKEY,JAY,IKOTA(30,25),SUKA(30,15),AY,TERMIN(30) UF 00060
3,IGIDEN(30,15),IBASLA(30,15),IBITIR(30,15),TQQQ,TSSS,ITGRP(15), UF 00070
4ISLEM(30,15),ATT(10),IPART(20),IGID(30,15),IKGT1,IKGT2,IROT3, UF 00080
STUPUK,TUPSIP,IGECIK,ISTUP UF 00090
RIAL*8 ADTEZ(14) UF 00100
DIMENSION TLAST(14),QLAST(14),SLAST(14), IBITEN(14) UF 00110
DATA ADTEZ/BHTESTERE ,8HDOVPE ,8HTORNA ,8HFREZE ,8HAZDIRMA ,UF 00120
18HFELLOWS ,8HS-KGNIK ,8HTESVIYE ,8HBKUS ,8HPLANYA ,8HMATKAP ,UF 00130
28HPAM-KIR ,8HTASLAMA ,8HRASPALA / UF 00140
GC 1C(1,2,3,4,3,4,3,4,3,4,3,4,3,4,3,4,3,4,3,4,3,4,3,4,3,4,3,4,3,4,3,4, UF 00150
13,5,6),1FN UF 00160
C VARISLAR ARAS SUKE UKETILIR UF 00170
1 J=GATRB(1) UF 00180
ARRIV=VARIS(J+1)-VARIS(J) UF 00190
UF=ARRIV UF 00200
RETURN UF 00210
C GEZEN BIRIMLERE OZELLIKLER VERILIR UF 00220
2 J=GATRB(1) UF 00230
BASLA(J)=TMARK(IDUM) UF 00240
AT2=KODSIP(J) UF 00250
CALL PATKB(AT2,2) UF 00260
C AT3=(MKSIP(J)*SURE(J,ISTOP))/(TERMIN(J)-BASLA(J)) UF 00270
C AT3=KCOFIR(J) UF 00280
C AT3=TEKMIN(J) UF 00290
AT3=TERMIN(J)-SURE(J,ISTOP) UF 00300
CALL PATKB(AT3,3) UF 00310
AT4=IPART(J) UF 00320
CALL PATRB(AT4,4) UF 00330
IMIK=AT4 UF 00340
CALL GETAT(ATT) UF 00350
DD 25 I=1,IMIK UF 00360
CALL PTIN(IROT1,0.,TNDW,ATT) UF 00370
25 CONTINUE UF 00380
RETURN UF 00390
C ISGRENLERDEKI KUYRUK UZUNLUKLARI HESAPLATILIR VE UF 00400
C BITEN SIPARISLERIN BITIS ZAMANLARI HESAPLATILIR UF 00410
3 J=GATRB(1) UF 00420
UF=TNDW UF 00430
C AT3=(IPART(J)-ITOP(J))/(TEKMIN(J)-TNDW) UF 00440
C CALL PATKB(AT3,3) UF 00450
L=(1FN-1)/2 UF 00460
M=IROTA(J,L) UF 00470
IF(M.EQ.55)GO TO 31 UF 00480
AT5=TNDW UF 00490
CALL PATKB(AT5,5) UF 00500
IKUY(J,M)=IKUY(J,M)+1 UF 00510
NYENI=IROT2+2*M UF 00520
GO TO 32 UF 00530
31 ITOP(J)=ITOP(J)+1 UF 00540
IF((ITOP(J).EQ.IPART(J))BITIS(J)=TNDW UF 00550
32 CALL GETAT(ATT) UF 00560
C BU=BASLA(J) UF 00570
CALL PTIN(NYENI,0.,TNDW,ATT) UF 00580
RETURN UF 00590
C HER BIR SIPARISIN IS ISTASYONLARINDA BEKLEME ZAMANLARI UF 00600
C HESAPLATILIR VE ISLEM SURELERI TESPIT EDILIR UF 00610
4 J=GATRB(1) UF 00620
AA=0. UF 00630
WT=TNDW-GATRB(5) UF 00640
IF(WT.GT.0.)WT(J)=WT(J)+WT UF 00650
L=(1FN-2)/2 UF 00660
IKUY(J,L)=IKUY(J,L)-1 UF 00670
WTIME(J,L)=WTIME(J,L)+WT UF 00680
AA=SURE(J,L) UF 00690
UF=AA UF 00700
IGIDEN(J,L)=IGIDEN(J,L)+1 UF 00710
IF(IGIDEN(J,L).NE.1)GO TO 42 UF 00720
BB=TNDW/GUN UF 00730
IBASLA(J,L)=BB UF 00740
RETURN UF 00750
41 IF(IGIDEN(J,L).NE.IPART(J))RETURN UF 00760
CC=TNDW+AA UF 00770
ICC=CC/GUN UF 00780
ACC=ICC*GUN UF 00790
IF(CC.GT.ACC)IBITIR(J,L)=ICC+1 UF 00800
IBITIR(J,L)=ICC UF 00810
RETURN UF 00820
C GUNLUK OLARAK TEZGAHLARDA BEKLIYEN ISLEM GOREN VE UF 00830
C TAMAMLANAN PARTILER TESPIT EDILIR UF 00840

```
5 UF=GLN UF 00850
  IF(TNOW.EQ.C.)RETURN UF 00860
  IF(IKEY.NE.1)RETURN UF 00870
  IGUN=TNOW/GUN UF 00880
  DO 55 I=1,ISIP UF 00890
  M=IRCTA(I,1) UF 00900
52 IF(IGIDEN(I,M).EQ.0)GO TO 55 UF 00910
  ISLEM(I,M)=0 UF 00920
  MM=IROTA(I,M+1) UF 00930
  IF(MM.EQ.99)GO TO 53 UF 00940
  NTGP=IKUY(I,MM)+IGIDEN(I,MM) UF 00950
  IF(IGIDEN(I,M).GT.NTOP)ISLEM(I,M)=IGIDEN(I,M)-NTOP UF 00960
  GO TO 54 UF 00970
53 IF(IGIDEN(I,M).GT.ITOP(I))ISLEM(I,M)=IGIDEN(I,M)-ITOP(I) UF 00980
54 IGID(I,M)=IGIDEN(I,M)-ISLEM(I,M) UF 00990
  M=MM UF 01000
  IF(M.EQ.99)GO TO 55 UF 01010
  GO TO 52 UF 01020
55 CONTINUE UF 01030
  WRITE(6,309) UF 01040
309. FORMAT(I1,/) UF 01050
  WRITE(6,303)IGUN UF 01060
303. FORMAT(10X,13,'. GÜNDE TEZGAHLARDA BEKLIYEN,ISLEM GÖREN VE TAMAMLAUF 01070
  INAN PARTI MİKTARLARI' UF 01080
  2 //1X, 'SIP. TESTERE DUVME TORMA FREZE AZDIRMA FEUF 01090
  3LLOWS S_KONIK TESVIYE BROS PLANYA MATKAP PAH_KIR TASF 01100
  4MA RASPALA. '/1X,'NO',3X,14('BE DE TA ')/1X,'**** ',14('*****' UF 01110
  5,1X)) UF 01120
  DO 50 I=1,ISIP UF 01130
  WRITE(6,304)KODSIP(I),(IKUY(I,J),ISLEM(I,J),IGID(I,J),J=1,ITEZ) UF 01140
  50 CONTINUE UF 01150
304. FORMAT(1X,73,2X,14(12,1X,12,1X,12,'*')) UF 01160
  WRITE(6,305) UF 01170
305. FORMAT(/) UF 01180
  RETURN UF 01190
C TEZGAHLARIN AYLIK KULLANIM KAPASİTELERİ ALINIR UF 01200
6 UF=AY UF 01210
  I=0 UF 01220
  K=IROT2 UF 01230
  IF(TNOW.GT.G.) GO TO 600 UF 01240
  DO 60 L=1,ITEZ UF 01250
  TLAST(L)=0. UF 01260
  QLAST(L)=0. UF 01270
  SLAST(L)=0. UF 01280
  IBITEN(L)=0 UF 01290
  60 CONTINUE UF 01300
  RETURN UF 01310
600 IAY=IAY+1 UF 01320
  IF(IKEY.NE.1)GO TO 601 UF 01330
  IF(IAY.EQ.1.OR.IAY.EQ.4.OR.IAY.EQ.7.OR.IAY.EQ.10)WRITE(6,309) UF 01340
  WRITE(6,301)IAY UF 01350
301. FORMAT(15X,13,'.AY TEZGAH GRUPLARI KONTROL RAPORU', UF 01360
  1 //5X,'TEZGAH TEZGAH UF 01370
  2 GRU. KUYRUK ORT. BEKLEME ORT. TEZGAH TEZGAH KUL. BITEN PAUF 01380
  3RTI AY SONU'/5X,'GRUPLARI',4X, UF 01390
  4 'SAYISI (PARTI MİK.) SURESI(SAAT) KUL.DRANUF 01400
  5I SURESI(SAAT) SAYISI BEK.PARTILER' UF 01410
  6 /5X,9('**'),3X,6('**'),3X,11('**'),3X,12('**'),3X,4(11('**'),3X)) UF 01420
601 K=K+2 UF 01430
  I=I+1 UF 01440
  GNOW=TINIO(K) UF 01450
  TIMEI=TNOW-TLAST(I) UF 01460
  CQQ=GNOW-QLAST(I) UF 01470
  TQCC=TQCC+QCC UF 01480
  SNOW=TISS(K,K) UF 01490
  ORTKUY=CQQ/TIMEI UF 01500
  SSS=SNOW-SLAST(I) UF 01510
  TSSS=TSSS+SSS UF 01520
  ORTSEK=SSS/TIMEI UF 01530
  ORTSY=ORTSEK/ITGRP(I) UF 01540
  IBIT=NTC(K)-IBITEN(I) UF 01550
  TCP=NREL(K)+IBIT UF 01560
  ORWT=0. UF 01570
  IF(TCP.LE.0.) GO TO 602 UF 01580
  ORWT=(ORTKUY*TIMEI)/TOP UF 01590
602 IF(IKEY.NE.1)GO TO 69 UF 01600
  WRITE(6,302)ADIEZ(I),ITGRP(I),ORTKUY,ORWT,ORTSY,SSS,IBIT,NREL(K) UF 01610
302. FORMAT(5X,A8,3X,14,5X,F9.4,7X,F9.4,2X,F9.4,5X,F9.4,5X,16,8X,16) UF 01620
69 IBITEN(I)=NTC(K) UF 01630
  QLAST(I)=GNOW UF 01640
  TLAST(I)=TNOW UF 01650
  SLAST(I)=SNOW UF 01660
  IF(I.LT.ITEZ)GO TO 601 UF 01670
  RETURN UF 01680
  END UF 01690
```

```

C          UD 00010
C          UD 00020
C          UD 00030
C          UD 00040
SUBROUTINE UC
COMMON /CVAR/NDL,NFTBU(100),NREL(100),NREL1(100),NREL2(100),
1 NRUN,NKUNS,NTC(100),PARAM(100,4),TBEG,TNOW
COMMON /SIP/ITEZ,GUN,KODSIP(30),MIKSIP(30),MIKPAR(30),VARIS(30),
17WT(30),ITOP(30),BASLA(30),BITIS(30),IKUY(30,15),WTIME(30,15),KGD
2FIR(30),IKEY,IAY,IROTA(30,15),SURE(30,15),AY,TERMIN(30)
3,IGIDEN(30,15),IBASLA(30,15),IBITIR(30,15),TQQQ,TSSS,ITGRP(15)
4,ISLEM(30,15),ATT(10),IPART(30),IGID(30,15),IROT1,IROT2,IROT3,
5TOPUR,TOPSIP,IGECIK,ISTOP
IF(IKEY.NE.1)GO TO 15
WRITE(6,203)
UD 00130
UD 00140
203 FORMAT(1H1, //10X, 'SIPARISLERIN TEZGAHLARDA BEKLEME ZAMANLARI' /2X,
1 'SIP NO TESTERE DOVME TORNA FREZE AZDIR. FELLUO
2GWS S-KONIK TESVIYE BROS PLANYA MATKAP PAH-KIR TASLAMA RASPA.UD
3 /2X, 15('*****',1X))
UD 00150
UD 00160
UD 00170
DO 10 I=1,1SIP
WRITE(6,204)KODSIP(I), (WTIME(I,J),J=1,ITEZ)
UD 00180
UD 00190
204 FORMAT(2X,15,3X,14(F7.1,1X))
UD 00200
UD 00210
10 CONTINUE
WRITE(6,205)
UD 00220
UD 00230
205 FORMAT(//)
UD 00240
15 CONTINUE
WRITE(6,219)
UD 00250
UD 00260
219 FORMAT(1H1, //)
UD 00270
WRITE(6,200)
UD 00280
200 FORMAT(5X, 'SIPARIS SIPARIS PARTI IMALATA IMALATI ORT.BEK
1TAHMINI GRETKENLIK GECIKME' /5X,
2 'NO MIKTARI MIKTARI BASLAMA BITIUC
3RME SA./PAR. GRETIM ORANI GUNU' /5X,
4 2(7(' '),2X),9(' '),1X,4(7(' '))UD
5,2X),10(' '),2X,7(' '))UD
UD 00300
UD 00310
UD 00320
UD 00330
DO 15 I=1,1SIP
GEC=0.
IGEC=0.
VERIM=0.
IF(BITIS(I).LE.TERMIN(I))GO TO 49
GECIK=BITIS(I)-TERMIN(I)
IGEC=GECIK/GUN
GEC=IGEC
IGECIK=IGECIK+IGEC
UD 00340
UD 00350
UD 00360
UD 00370
UD 00380
UD 00390
UD 00400
UD 00410
UD 00420
UD 00430
49 CALL COL(IGEC,1)
UD 00440
CALL HIS(GEC,1)
UD 00450
TOPMIK=ITOP(I)*MIKPAR(I)
UD 00460
VERIM=TOPMIK/MIKSIP(I)
UD 00470
CALL COL(VERIM,2)
UD 00480
CALL HIS(VERIM,2)
UD 00490
TOPUR=TOPUR+TOPMIK
UD 00500
TOPSIP=TOPSIP+MIKSIP(I)
UD 00510
OWT=C.
UD 00520
TAKIS=0.
UD 00530
LWT=1WT(I)/IPART(I)
UD 00540
TAKIS=OWT+SURE(I,1STOP)
UD 00550
C CALL CGL(TAKIS,3)
UD 00560
C CALL HIS(TAKIS,3)
UD 00570
20 WRITE(6,201)KODSIP(I),MIKSIP(I),IPART(I),BASLA(I),BITIS(I),OWT,
1TOPMIK,VERIM,IGEC
UD 00580
UD 00590
201 FORMAT(6X,2(16,3X),5(F7.2,2X),3X,15)
UD 00600
15 CONTINUE
UD 00610
KK=IROT1
UD 00620
URET=TOPUR/TOPSIP
UD 00630
DKUY=TQQQ/TNOW
UD 00640
USEK=TSSS/TNOW
UD 00650
OBEK=TQQQ/NTC(KK)
UD 00660
USERY=OSER/ITGRP(1STOP)
UD 00670
WRITE(6,202)OBEK,DKUY,URET,ITGRP(1STOP),OSERY,IGECIK
UD 00680
202 FORMAT(//6X, 'ORTALAMA BEKLEME SURESI(SAAT) =' ,F7.2/6X,
1'ORTALAMA KUYRUK UZUNLUGU(PARTI)=' ,F7.2/6X,
2'SISTEM GRETKENLIGI ' ,F7.4/6X,
3'TOPLAM TEZGAH SAYISI ' ,15/6X,
4'KAPASITE KULLANIM ORANI ' ,F7.4/6X,
5'TOPLAM GECIKME GUNU ' ,15/1
WRITE(6,219)
UD 00700
WRITE(6,210)
UD 00710
UD 00720
UD 00730
UD 00740
UD 00750
UD 00760
210 FORMAT(10X, 'IMALAT PROGRAMI (TEZGAHLARDA BASLAMA VE BITIS GUNLERI)'UD
1 /2X, 'SIP NO TESTERE DOVME TORNA FREZE AZDIR. FELLUC
2WS S-KONIK TESVIYE BROS PLANYA MATKAP PAH-KIR TASLAMA RASPA.'UD
3 /10X, 14('BAS BIT ')/2X, 15('*****',1X))
UD 00770
UD 00780
UD 00790
DO 30 I=1,1SIP
WRITE(6,211)KODSIP(I), (IBASLA(I,J),IBITIR(I,J),J=1,ITEZ)
UD 00800
UD 00810
211 FORMAT(2X,15,3X,14(I3,1X,13,1X))
UD 00820
UD 00830
30 CONTINUE
UD 00840
CALL COLP(0)
UD 00850
CALL HISP(0)
UD 00860
RETURN
UD 00870
END
UD 00880

```

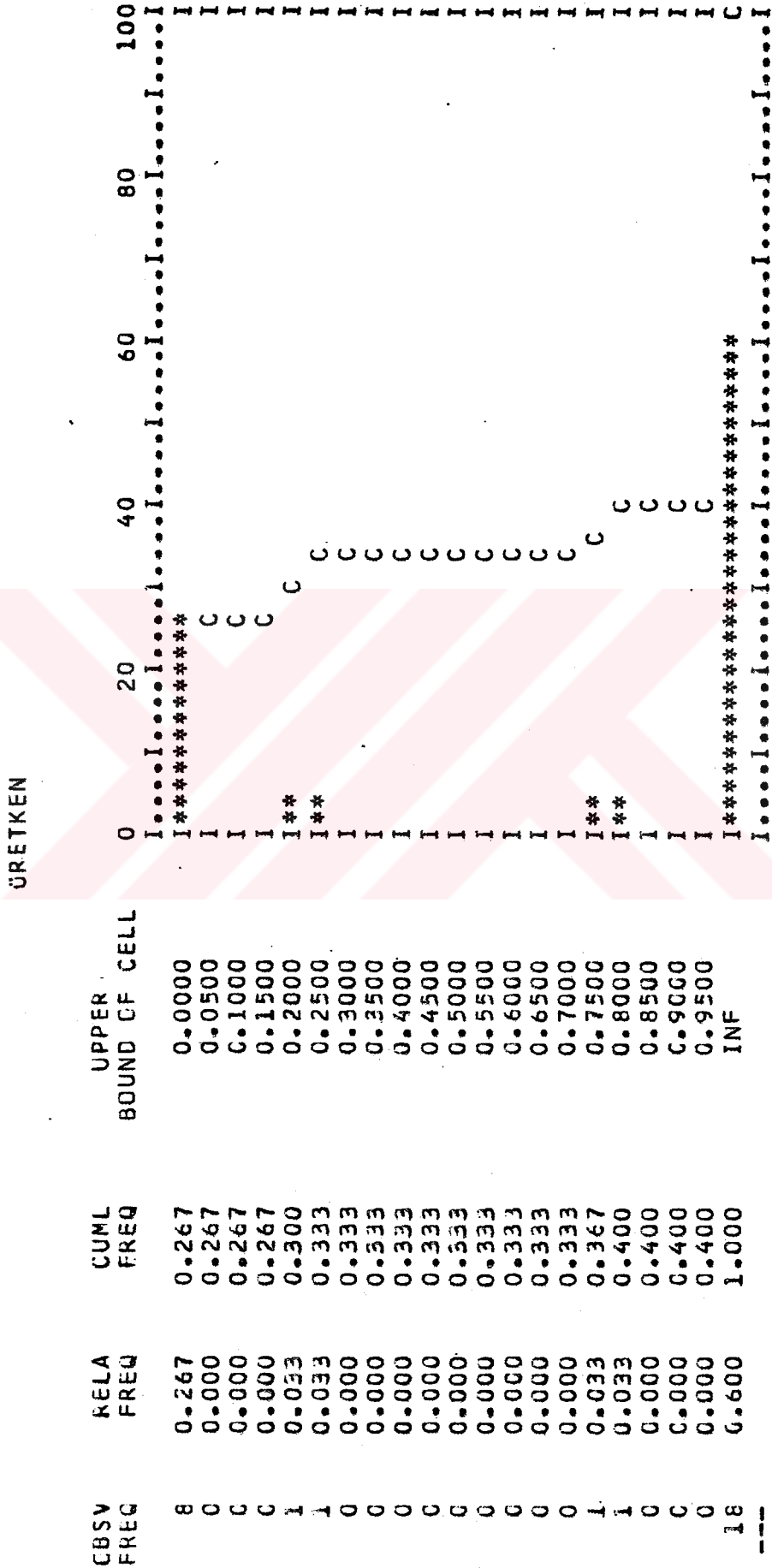
EK V- SİPARİŞLERİN BİR YILLIK ÜRETİKENLİK ÖZÜMLERİ

SİPARİŞ NO	SİPARİŞ MİKTARI	PARTİ MİKTARI	İMALATA DAŞLAMA	İMALATI BITİRME	ORT.BEK SA./PAR.	TAHMİNİ ÜRETİM	ÜRETİKENLİK ORANI	GEÇİKME GÜNÜ
1	2500	25	0.00	292.00	124.36	2500.00	1.00	0
2	4500	45	0.00	610.00	358.58	4500.00	1.00	0
3	4500	45	0.00	543.00	413.00	4500.00	1.00	0
4	4500	45	0.00	834.20	621.20	4500.00	1.00	0
5	3000	30	0.00	975.00	802.17	3000.00	1.00	0
6	2500	25	0.00	1100.00	945.00	2500.00	1.00	13
7	1500	15	630.00	1255.00	441.67	1500.00	1.00	33
8	2000	20	639.00	1473.80	592.65	2000.00	1.00	0
9	2500	25	639.00	1500.00	631.80	2500.00	1.00	0
10	2500	25	639.00	961.80	129.81	2500.00	1.00	0
11	2500	25	639.00	1298.20	415.28	2500.00	1.00	0
12	2500	25	639.00	1806.29	934.79	2500.00	1.00	22
13	2500	25	639.00	1658.82	817.94	2500.00	1.00	3
14	1600	16	855.00	1700.00	623.40	1600.00	1.00	5
15	2100	21	855.00	1970.00	854.82	2100.00	1.00	39
16	500	5	855.00	2025.00	1016.39	500.00	1.00	46
17	2500	25	1314.00	0.00	496.88	1800.00	0.72	0
18	2500	25	1314.00	1972.40	419.79	2500.00	1.00	0
19	2500	25	1314.00	2040.80	542.56	2500.00	1.00	0
20	2500	25	1314.00	0.00	579.29	600.00	0.24	0
21	1000	10	1557.00	0.00	365.74	200.00	0.20	0
22	1000	10	1557.00	0.00	334.56	0.00	0.00	0
23	1000	10	1557.00	0.00	405.96	800.00	0.80	0
24	1000	10	1665.00	0.00	346.26	0.00	0.00	0
25	1000	10	1665.00	0.00	359.80	0.00	0.00	0
26	2500	25	1665.00	0.00	229.34	0.00	0.00	0
27	1500	15	1872.00	0.00	89.84	0.00	0.00	0
28	1000	10	1872.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
29	1000	10	1872.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0
30	1000	10	1872.00	0.00	7.00	0.00	0.00	0

ORTALAMA BEKLEME SÜRESİ(SAAT) = 528.92
 ORTALAMA KUYRUK UZUNLUĞU(PARTİ) = 160.53
 SİSTEM ÜRETİKENLİĞİ = 0.7616
 TOPLAM TEZGAH SAYISI = 37
 KAPASİTE KULLANIM ORANI = 0.5972
 TOPLAM GEÇİKME GÜNÜ = 161

EK VI- SİPARİSLERİN ÜRETKENLİK HİSTOGRAMI

USER HISTOGRAM NUMBER 2 AT TIME 2112.0000 IN RUN I



EK VII- Q-GERT STANDART ÖZET ÇIKTILARI

GERT SIMULATION PROJECT DOKTÖRA TEZİ BY BALABAN
DATE 10/ 15/ 1983

FINAL RESULTS FOR FIRST SIMULATION

TOTAL ELAPSED TIME = 2648.7952

NODE STATISTICS

NODE	LABEL	AVE.	STD.DEV.	NO OF OBS.	STAT TYPE
52	AMBAR	4.3606	4.8618	640.	B
53	IMALAT	2.9250	34.5416	640.	B

NUMBER IN Q-NODE

** WAITING TIME **
IN QUEUE

NODE	LABEL	AVE.	MIN.	MAX.	CURRENT NUMBER	AVERAGE
34	TESTERE	10.8246	0.	113.	0	162.3004
35	CCVME	24.3661	0.	74.	0	418.1565
38	TCRMA	37.4643	0.	111.	0	169.1412
40	FREZE	2.0785	0.	16.	0	197.3715
42	AZDIRMA	28.6111	0.	91.	0	193.6038
44	FELLCWS	11.7277	0.	68.	0	267.2783
46	S_KONIK	0.5893	0.	7.	0	83.9451
48	TESVIYE	0.9917	0.	9.	0	8.0722
50	BRGS	0.1552	0.	6.	0	14.7264
52	PLANYA	1.4440	0.	12.	0	32.9093
54	MATKAP	0.4231	0.	10.	0	9.6432
56	ALAZCZ	0.7643	0.	6.	0	13.9573
58	TASLAMA	0.0059	0.	2.	0	0.1152
60	RASPALA	5.4233	0.	31.	0	220.7135

SERVER UTILIZATION

SERVER	LABEL	NO. PARALLEL SERVERS	AVE.	MAX. IDLE (TIME OR SERVERS)	MAX. BUSY (TIME OR SERVERS)
1	TESTERE	2	0.4860	2.0000	2.0000
2	CCVME	3	2.4255	3.0000	3.0000
3	TCRMA	8	6.1556	8.0000	8.0000
4	FREZE	1	0.2584	2084.7991	735.9961
5	AZDIRMA	5	4.2339	5.0000	5.0000
6	FELLCWS	4	1.7925	4.0000	4.0000
7	S-KONIK	1	0.2106	1627.5996	400.0000
8	TESVIYE	2	1.1263	2.0000	2.0000
9	BRGS	1	0.1355	1684.2573	133.1997
10	PLANYA	1	0.3382	754.9961	472.0000
11	MATKAP	3	0.5985	3.0000	3.0000
12	PAH-KIR	2	1.0646	2.0000	2.0000
13	TASLAMA	3	0.6708	3.0000	3.0000
14	RASPALA	1	0.3769	1183.1995	1079.4885

B STAT HISTOGRAM FOR NODE 33

INALAT

CBSV	RELA	CUML	UPPER	0	20	40	60	80	100
FREQ	FREQ	FREQ	BOUND OF CELL	I	I	I	I	I	I
623	0.989	0.989	0.00	I*****I					
C	0.000	0.989	0.10	I					CI
0	0.000	0.989	0.20	I					CI
0	0.000	0.989	0.30	I					CI
C	0.000	0.989	0.40	I					CI
0	0.000	0.989	0.50	I					CI
C	0.000	0.989	0.60	I					CI
0	0.000	0.989	0.70	I					CI
C	0.000	0.989	0.80	I					CI
0	0.000	0.989	0.90	I					CI
0	0.000	0.989	1.00	I					CI
C	0.000	0.989	1.10	I					CI
0	0.000	0.989	1.20	I					CI
C	0.000	0.989	1.30	I					CI
0	0.000	0.989	1.40	I					CI
C	0.000	0.989	1.50	I					CI
0	0.000	0.989	1.60	I					CI
0	0.000	0.989	1.70	I					CI
0	0.000	0.989	1.80	I					CI
7	0.011	1.000	+1NF	I*					CI
				I*					C
				I					I

TAL

B STAT HISTOGRAM FOR NODE 92

AMBAR

CBSV	RELA	CUML	UPPER	0	20	40	60	80	100
FREQ	FREQ	FREQ	BOUND OF CELL	I	I	I	I	I	I
64	0.100	0.100	0.00	I*****I					I
29	0.061	0.161	0.50	I***	C				I
55	0.086	0.247	1.00	I****		C			I
29	0.045	0.292	1.50	I**		C			I
48	0.075	0.367	2.00	I****		C			I
33	0.052	0.419	2.50	I***		C			I
65	0.108	0.527	3.00	I*****		C			I
19	0.030	0.556	3.50	I*		C			I
33	0.052	0.608	4.00	I***		C			I
15	0.023	0.631	4.50	I*		C			I
42	0.066	0.697	5.00	I***		C			I
21	0.033	0.730	5.50	I**		C			I
20	0.031	0.761	6.00	I**		C			I
10	0.016	0.777	6.50	I*		C			I
15	0.023	0.800	7.00	I*		C			I
3	0.005	0.805	7.50	I		C			I
44	0.069	0.874	8.00	I***		C			I
5	0.014	0.887	8.50	I*		C			I
8	0.012	0.900	9.00	I*		C			I
64	0.100	1.000	+1NF	I*****					C
				I					I

TAL

EK IX- TEZGAH GRUPLARI AYLIK KONTROL RAPORLARI

1. AY TEZGAH GRUPLARI KONTROL RAPORU

TEZGAH GRUPLARI	TEZGAH SAYISI	URT. KUYRUK (PARTI MIK.)	URT. BEKLEME SURESI(SAAT)	ORT. TEZGAH KUL. DRANI	TEZGAH KUL. SURESI(SAAT)	BITEN PARTI SAYISI	AY SONU BEK. PARTILER
TESTERE	2	52.0000	14G.8000	1.0000	352.0000	44	71
DOVME	2	40.0182	145.0181	1.0000	528.0000	15	40
TORN	8	39.0000	65.3333	1.0000	1408.0000	64	35
FREZE	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
AZDIRMA	5	5.6522	30.4642	0.0000	755.0000	30	26
FELLOWS	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
S-KONIK	1	0.0000	0.0000	0.0000	60.0000	0	0
TESVIYE	2	0.0966	1.7000	0.2273	0.0000	10	0
BROS	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PLANVA	1	0.5545	18.6637	0.4051	72.0000	9	0
MATKAP	2	0.0114	0.2000	0.1761	53.0000	10	0
PAH-KIR	2	0.0568	1.6667	0.1551	56.0000	6	0
TASLAMA	3	0.0000	0.0000	0.0185	10.0000	1	0
RASPALA	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0

2. AY TEZGAH GRUPLARI KONTROL RAPORU

TEZGAH GRUPLARI	TEZGAH SAYISI	URT. KUYRUK (PARTI MIK.)	URT. BEKLEME SURESI(SAAT)	ORT. TEZGAH KUL. DRANI	TEZGAH KUL. SURESI(SAAT)	BITEN PARTI SAYISI	AY SONU BEK. PARTILER
TESTERE	2	35.1816	97.1267	0.8466	258.0000	71	0
DOVME	3	22.7273	148.3555	1.0000	528.0000	12	28
TORN	8	48.8577	71.7166	1.0000	1408.0000	56	64
FREZE	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
AZDIRMA	5	34.2841	73.5853	1.0000	880.0000	32	50
FELLOWS	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
S-KONIK	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
TESVIYE	2	0.1192	1.0500	0.4347	153.0000	20	0
BROS	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PLANVA	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
MATKAP	3	0.0000	0.0000	0.3447	182.0000	18	0
PAH-KIR	2	0.0852	1.2500	0.3523	124.0000	12	0
TASLAMA	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
RASPALA	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0

3. AY TEZGAH GRUPLARI KONTROL RAPORU

TEZGAH GRUPLARI	TEZGAH SAYISI	URT. KUYRUK (PARTI MIK.)	URT. BEKLEME SURESI(SAAT)	ORT. TEZGAH KUL. DRANI	TEZGAH KUL. SURESI(SAAT)	BITEN PARTI SAYISI	AY SONU BEK. PARTILER
TESTERE	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
DOVME	3	20.5000	128.6571	1.0000	528.0000	15	13
TORN	8	44.2641	56.6582	1.0000	1408.0000	65	14
FREZE	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
AZDIRMA	5	61.1250	92.5478	1.0000	860.0000	34	81
FELLOWS	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
S-KONIK	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
TESVIYE	2	0.0509	1.0667	0.3666	127.0000	15	0
BROS	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PLANVA	1	0.0170	0.7500	0.1060	15.0000	3	1
MATKAP	3	0.0000	0.0000	0.3314	175.0000	17	0
PAH-KIR	2	0.1420	1.6667	0.4261	150.0000	15	0
TASLAMA	3	0.0000	0.0000	0.0284	15.0000	2	0
RASPALA	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0

4. AY TEZGAH GRUPLARI KONTROL RAPORU

TEZGAH GRUPLARI	TEZGAH SAYISI	URT. (PARTI MIK.)	URT. BEKLEME SURESI(SAAT)	ORT. TEZGAH KUL.DRANI	TEZGAH SURESI(SAAT)	BITEN PARTI SAYISI	AY SONU BEK.PARTILER
TESTERE	2	14.7965	57.8709	0.3653	130.0000	8	37
DOVME	3	22.5148	76.0543	1.0000	528.0000	12	41
TERNA	8	25.7124	42.2533	0.6856	571.0000	44	63
FREZE	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
AZDIRMA	5	81.9325	128.7517	1.0000	880.0000	42	70
FELLOWS	4	1.4682	15.8765	0.2466	173.6006	8	5
S-KONIK	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
TESVIYE	2	0.0205	0.5001	0.0102	3.6006	2	2
BROS	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PLANYA	1	4.6420	26.3548	1.0000	176.0000	22	9
MATKAP	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PAH-KIR	2	0.0852	1.2500	0.3405	120.0000	12	0
TASLAMA	3	0.0000	0.0000	0.4125	218.0000	22	0
RASPALA	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0

5. AY TEZGAH GRUPLARI KONTROL RAPORU

TEZGAH GRUPLARI	TEZGAH SAYISI	URT. (PARTI MIK.)	URT. BEKLEME SURESI(SAAT)	ORT. TEZGAH KUL.DRANI	TEZGAH SURESI(SAAT)	BITEN PARTI SAYISI	AY SONU BEK.PARTILER
TESTERE	2	25.0781	119.2903	1.0000	352.0000	24	13
DOVME	3	41.5795	88.1686	1.0000	528.0000	12	71
TERNA	8	47.3055	64.0586	1.0000	1408.0000	64	35
FREZE	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
AZDIRMA	5	66.4487	114.6566	1.0000	880.0000	37	65
FELLOWS	4	17.7546	84.4541	1.0000	764.0000	12	25
S-KONIK	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
TESVIYE	2	0.6845	7.8000	0.6023	212.0000	14	0
BROS	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PLANYA	1	5.4034	50.2515	1.0000	176.0000	22	11
MATKAP	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PAH-KIR	2	0.3405	4.6154	0.6106	215.0000	15	0
TASLAMA	3	0.0000	0.0000	0.0123	7.0000	0	0
RASPALA	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0

6. AY TEZGAH GRUPLARI KONTROL RAPORU

TEZGAH GRUPLARI	TEZGAH SAYISI	URT. (PARTI MIK.)	URT. BEKLEME SURESI(SAAT)	ORT. TEZGAH KUL.DRANI	TEZGAH SURESI(SAAT)	BITEN PARTI SAYISI	AY SONU BEK.PARTILER
TESTERE	2	3.0747	41.6265	0.5184	182.4522	13	0
DOVME	3	65.2000	161.6224	1.0000	528.0000	12	59
TERNA	8	17.8757	50.7439	0.7154	1254.4766	62	0
FREZE	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
AZDIRMA	5	49.4170	112.9531	1.0000	880.0000	43	34
FELLOWS	4	45.7000	100.5359	1.0000	764.0000	16	64
S-KONIK	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
TESVIYE	2	1.3575	5.5514	0.6136	286.5554	42	2
BROS	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PLANYA	1	4.3668	54.1428	0.6648	117.0000	14	0
MATKAP	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PAH-KIR	2	0.0000	1.2500	0.5142	181.0000	12	0
TASLAMA	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
RASPALA	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0

7. AY TEZGAH GRUPLARI KONTROL RAPORU

TEZGAH GRUPLARI *****	TEZGAH SAYISI *****	LRT. KUYRUK (PARTI MIK.) *****	ORT. BEKLEME SURESI(SAAT) *****	ORT. TEZGAH KULORANI *****	TEZGAH KUL. SURESI(SAAT) *****	BITEN PARTI SAYISI *****	AY SONU BEK. PARTILER *****
TESTERE	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
DCVME	3	52.4999	150.5058	1.0000	528.0000	12	47
TORNA	8	0.0000	0.0000	0.2166	504.5844	12	0
FREZE	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
AZDIRMA	5	19.8702	74.3704	1.0000	880.0000	45	4
FELLOWS	4	56.5540	153.5234	1.0000	764.0000	16	48
S-KCNIK	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
TESVIYE	2	1.8766	6.7404	0.8141	286.5608	42	7
BROS	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PLANYA	1	0.4567	8.9311	0.3020	53.1606	7	2
MATKAP	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PAH-KIR	2	1.6057	20.1857	0.6153	248.0000	12	2
TASLAMA	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
RASPALA	1	0.2955	8.6676	0.2773	48.8005	3	3

8. AY TEZGAH GRUPLARI KONTROL RAPORU

TEZGAH GRUPLARI *****	TEZGAH SAYISI *****	LRT. KUYRUK (PARTI MIK.) *****	ORT. BEKLEME SURESI(SAAT) *****	ORT. TEZGAH KULORANI *****	TEZGAH KUL. SURESI(SAAT) *****	BITEN PARTI SAYISI *****	AY SONU BEK. PARTILER *****
TESTERE	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
DCVME	3	35.2834	147.0288	1.0000	528.0000	15	32
TORNA	8	44.1215	67.5251	0.6406	501.5922	44	71
FREZE	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
AZDIRMA	5	4.5226	19.8595	0.7675	675.3867	25	15
FELLOWS	4	35.6969	145.5552	1.0000	704.0000	16	32
S-KCNIK	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
TESVIYE	2	3.0647	14.5762	0.5075	319.4353	35	2
BROS	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PLANYA	1	2.4386	25.2470	0.8265	145.5356	17	0
MATKAP	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PAH-KIR	2	0.7985	10.8156	0.7658	278.0000	13	0
TASLAMA	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
RASPALA	1	6.6100	64.6315	0.0000	40.5012	3	0
					176.0000	11	7

9. AY TEZGAH GRUPLARI KONTROL RAPORU

TEZGAH GRUPLARI *****	TEZGAH SAYISI *****	LRT. KUYRUK (PARTI MIK.) *****	ORT. BEKLEME SURESI(SAAT) *****	ORT. TEZGAH KULORANI *****	TEZGAH KUL. SURESI(SAAT) *****	BITEN PARTI SAYISI *****	AY SONU BEK. PARTILER *****
TESTERE	2	0.5662	10.0000	0.1420	50.0000	10	0
DCVME	3	23.7752	130.7634	1.0000	528.0000	16	16
TORNA	8	58.1400	87.4564	1.0000	1408.0000	48	69
FREZE	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
AZDIRMA	5	27.0056	84.8753	1.0000	660.0000	25	31
FELLOWS	4	21.4672	96.8777	1.0000	764.0000	25	14
S-KCNIK	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
TESVIYE	2	1.6323	7.5600	0.8838	311.0811	33	3
BROS	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PLANYA	1	0.2358	4.1459	0.4744	83.4571	10	0
MATKAP	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PAH-KIR	2	1.4381	15.6194	0.5005	317.1006	14	2
TASLAMA	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
RASPALA	1	11.7602	64.7512	1.0000	151.6967	11	0
					176.0000	12	20

10. AY TEZGAH GRUPLARI KONTROL RAPORU

TEZGAH GRUPLARI	TEZGAH SAYISI	ORT. KUYRUK (PARTI MIK.)	ORT. BEKLEME SURESI(SAAT)	ORT. TEZGAH KUL. DRANI	TEZGAH KUL. SURESI(SAAT)	BITEN PARTI SAYISI	AY SONU BEK. PARTILER
TESTERE	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
COVME	3	7.6956	86.8543	0.5545	525.2530	16	0
TORNA	8	87.5442	117.5475	1.0000	1408.0000	32	99
FREZE	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
AZDIRMA	5	26.1124	59.5081	1.0000	880.0000	25	21
FELLOWS	4	3.4455	28.8555	0.5532	671.0830	19	2
S-KONIK	1	3.1637	55.8804	0.7523	132.4004	4	6
TESVIYE	2	3.7565	18.5652	1.0000	352.0000	33	3
BROS	1	0.0000	0.0000	0.1886	33.1957	2	0
PLANYA	1	0.8806	14.0859	0.5167	51.2979	11	0
MATKAP	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
PAH-KIR	2	3.1291	34.4158	1.0000	352.0000	14	2
TASLAMA	3	0.0000	0.0000	0.4567	241.1416	13	0
RASPALA	1	26.5444	107.7774	1.0000	176.0000	13	31

11. AY TEZGAH GRUPLARI KONTROL RAPORU

TEZGAH GRUPLARI	TEZGAH SAYISI	ORT. KUYRUK (PARTI MIK.)	ORT. BEKLEME SURESI(SAAT)	ORT. TEZGAH KUL. DRANI	TEZGAH KUL. SURESI(SAAT)	BITEN PARTI SAYISI	AY SONU BEK. PARTILER
TESTERE	2	0.5114	4.5000	0.0568	20.0000	20	0
COVME	2	5.3555	56.6477	0.4668	243.2891	6	23
TORNA	8	88.0941	125.0368	1.0000	1408.0000	41	83
FREZE	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
AZDIRMA	5	20.5215	72.1597	1.0000	880.0000	21	30
FELLOWS	4	3.7742	50.6902	0.9855	656.5937	13	0
S-KONIK	1	3.5909	117.0664	1.0000	176.0000	4	2
TESVIYE	2	1.5128	8.5203	0.5321	328.1162	27	5
BROS	1	0.0000	0.0000	0.4614	81.2002	5	0
PLANYA	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
MATKAP	3	0.0000	0.0000	0.1415	74.7021	10	0
PAH-KIR	2	3.5842	45.0587	1.0000	352.0000	14	0
TASLAMA	3	0.0000	0.0000	0.3325	175.7583	4	0
RASPALA	1	24.8067	140.6380	1.0000	176.0000	12	19

12. AY TEZGAH GRUPLARI KONTROL RAPORU

TEZGAH GRUPLARI	TEZGAH SAYISI	ORT. KUYRUK (PARTI MIK.)	ORT. BEKLEME SURESI(SAAT)	ORT. TEZGAH KUL. DRANI	TEZGAH KUL. SURESI(SAAT)	BITEN PARTI SAYISI	AY SONU BEK. PARTILER
TESTERE	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
COVME	3	15.4554	148.8760	1.0000	528.0000	9	14
TORNA	8	64.0096	122.4531	1.0000	1408.0000	49	43
FREZE	1	0.7853	13.6207	0.1546	27.2009	4	6
AZDIRMA	5	33.8803	121.6525	1.0000	860.0000	22	27
FELLOWS	4	0.0000	0.0000	0.0642	45.1992	0	0
S-KONIK	1	0.6668	14.5376	0.9155	161.5011	6	2
TESVIYE	2	1.6267	11.4521	0.8048	283.2579	25	0
BROS	1	2.5115	34.0071	0.8114	142.6003	15	0
PLANYA	1	0.0375	0.6558	0.1705	50.0000	10	0
MATKAP	3	0.1445	0.7500	0.5426	286.4955	34	0
PAH-KIR	2	0.0591	3.4674	0.2155	76.0056	2	1
TASLAMA	3	0.0635	0.8166	0.5333	281.4014	18	0
RASPALA	1	13.6857	126.2254	1.0000	176.0000	10	9

EK X- SİPARİŞLERİN İŞ İSTASYONLARINDA TOPLAM BEKLEME SÜRELERİ

SIP.NO	SİPARİŞLERİN TESTERE DOVME	TEZGAHLARDA TORNALAMA	BEKLEME FREZE	ZAMANLARI AZDIR.	FELLOWS	S-KONİK	TESVİYE	BRÜŞ	PLANYA	MATKAP	PAH-KIR	TASLAMA	RASPA.
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1	5288.0	0.0	537.0	0.0	6750.0	0.0	0.0	0.0	606.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	12700.0	0.0	14160.0	0.0	0.0	0.0	2795.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	13568.0	0.0	5642.0	0.0	21505.0	0.0	187.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	4232.0	0.0	683.0	0.0	5355.0	0.0	54.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	5400.0	450.0	0.0	325.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.0	0.0	0.0
6	0.0	15250.0	180.8	0.0	239.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0
7	0.0	1530.0	131.0	0.0	55.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0
8	1494.0	0.0	1098.0	0.0	7984.0	0.0	127.4	0.0	476.4	0.0	0.0	0.0	1502.2
9	0.0	11922.2	26.2	0.0	471.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	423.2	0.0	0.0
10	0.0	0.0	4566.8	0.0	0.0	5786.2	155.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	1565.0	0.0	0.0	2690.0	227.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	6065.1	0.0	2516.0	0.0	0.0	13426.7	174.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2222.7
13	0.0	0.0	5382.4	0.0	0.0	6168.8	503.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	8418.3	62.1	0.0	102.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	15382.4	180.3	0.0	107.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	294.0	0.0	0.0
16	0.0	4351.8	36.5	0.0	24.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	850.1	0.0	0.0
17	0.0	0.0	702.0	0.0	2926.2	0.0	584.2	0.0	229.7	0.0	290.5	0.0	0.0
18	0.0	0.0	9243.0	0.0	0.0	1338.2	624.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	15023.0	0.0	5205.4	0.0	32.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	3448.4	0.0	10198.9	0.0	54.4	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0
21	100.0	0.0	383.6	0.0	0.0	1322.4	47.2	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	2665.8	0.0	1536.7	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	4356.8	0.0	0.0	0.0	0.0	431.6	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	4505.8	1590.7	0.0	0.0	8.3	0.0	0.0	38.1	0.0	0.0	0.0
25	0.0	0.0	5354.0	4082.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	17325.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1139.8	0.0	0.0	0.0
27	0.0	2501.9	210.6	0.0	122.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	175.5	0.0	0.0
28	0.0	4177.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	20.0	0.0	1813.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	22.1	0.0	0.0	0.0
30	70.0	0.0	2085.0	248.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.0

EK XI- SIPARIŞLERİN GECİKME GÜNLERİ VE PERFORMANS UYUMLARI

SIPARIŞ NO	SIPARIŞ MİKTARI	PARTİ MİKTARI	İMALATA BAŞLAMA	İMALATI BİTİRME	ORT.BEK SA./PAR.	TAHMİNİ ÜRETİM	ÜRETKENLİK CRANI	GEÇİKME GÜNÜ
1	2500	25	0.00	711.00	527.24	2500.00	1.00	0
2	4500	45	0.00	997.00	659.00	4500.00	1.00	0
3	4500	45	0.00	1123.00	984.51	4500.00	1.00	16
4	4500	45	0.00	523.00	229.47	4500.00	1.00	0
5	3000	30	0.00	505.00	207.33	3000.00	1.00	0
6	2500	25	0.00	1060.00	629.80	2500.00	1.00	8
7	1500	15	630.00	960.00	121.33	1500.00	1.00	0
8	2000	20	639.00	1515.20	634.09	2000.00	1.00	0
9	2500	25	639.00	1412.00	513.73	2500.00	1.00	0
10	2500	25	639.00	1521.76	596.32	2500.00	1.00	0
11	2500	25	639.00	1071.00	179.31	2500.00	1.00	0
12	2500	25	639.00	1847.69	976.19	2500.00	1.00	27
13	2500	25	639.00	1323.54	482.15	2500.00	1.00	0
14	1600	16	855.00	1633.60	554.83	1600.00	1.00	0
15	2100	21	855.00	1900.30	786.69	2100.00	1.00	30
16	500	5	855.00	1958.60	948.68	500.00	1.00	37
17	2500	25	1314.00	2262.69	646.65	2500.00	1.00	18
18	2500	25	1314.00	2055.10	448.23	2500.00	1.00	0
19	2500	25	1314.00	2511.20	970.34	2500.00	1.00	49
20	2500	25	1314.00	2088.80	545.75	2500.00	1.00	0
21	1000	10	1557.00	2100.80	186.37	1000.00	1.00	0
22	1000	10	1557.00	2266.30	498.32	1000.00	1.00	14
23	1000	10	1557.00	2140.80	475.04	1000.00	1.00	0
24	1000	10	1665.00	2550.20	614.29	1000.00	1.00	0
25	1000	10	1665.00	2848.80	947.64	1000.00	1.00	0
26	2500	25	1665.00	2608.20	738.60	2500.00	1.00	0
27	1500	19	1872.00	2458.10	179.73	1900.00	1.00	25
28	1000	10	1872.00	2415.40	417.98	1000.00	1.00	19
29	1000	10	1872.00	2104.80	186.17	1000.00	1.00	0
30	1000	10	1872.00	2157.80	241.70	1000.00	1.00	0

ORTALAMA BEKLEME SÜRESİ(SAAT) = 554.95
 ORTALAMA KUYRUK UZUNLUĞU(PARTİ) = 124.87
 SİSTEM ÜRETKENLİĞİ = 1.0000
 TOPLAM TEZGAH SAYISI = 37
 KAPASİTE KULLANIM CRANI = 0.5370
 TOPLAM GEÇİKME GÜNÜ = 243

EK XII - SİPARİŞLERİN GECİKME HİSTOGRAMI

USER HISTOGRAM NUMBER 1 AT TIME 2848.7952 IN RUN 1

GECIKME

CDSV FREQ	RELA FREQ	CUML FREQ	UPPER BOUND OF CELL	UPPER	0	20	40	60	80	100
20	0.667	0.667	0.0000	I	I	I	I	I	I	I
0	0.000	0.667	5.0000	I	I	I	I	I	I	I
1	0.033	0.700	10.0000	I	I	I	I	I	I	I
1	0.033	0.733	15.0000	I	I	I	I	I	I	I
3	0.100	0.833	20.0000	I	I	I	I	I	I	I
1	0.033	0.867	25.0000	I	I	I	I	I	I	I
2	0.067	0.933	30.0000	I	I	I	I	I	I	I
0	0.000	0.933	35.0000	I	I	I	I	I	I	I
1	0.033	0.967	40.0000	I	I	I	I	I	I	I
0	0.000	0.967	45.0000	I	I	I	I	I	I	I
1	0.033	1.000	50.0000	I	I	I	I	I	I	I
0	0.000	1.000	55.0000	I	I	I	I	I	I	I
0	0.000	1.000	60.0000	I	I	I	I	I	I	I
0	0.000	1.000	65.0000	I	I	I	I	I	I	I
0	0.000	1.000	70.0000	I	I	I	I	I	I	I
0	0.000	1.000	75.0000	I	I	I	I	I	I	I
0	0.000	1.000	80.0000	I	I	I	I	I	I	I
0	0.000	1.000	85.0000	I	I	I	I	I	I	I
0	0.000	1.000	90.0000	I	I	I	I	I	I	I
0	0.000	1.000	INF	I	I	I	I	I	I	I

USER STATISTICS FOR VARIABLES BASED ON OBSERVATION AT TIME 2848.795 IN RUN 1

GECIKME	AVE	STD DEV	SD GF AVE	MINIMUM	MAXIMUM	OBS
GECIKME	8.1000	13.4635	2.4581	0.0000	49.0000	30
URETKEN	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	30

Ö Z G E Ç M İ Ş

1953 yılında Sakarya'da doğan aday, ilk ve orta öğrenimini orada tamamlayıp, 1977 yılında H.Ü.Fen Fakültesi Yüksek Lisans Matematik Bölümünü bitirmiştir. Aynı yıl B.Ü.Temel Bilimler Fakültesi Bilgisayar Bilimlerinde Lisansüstü öğrenim görmüş ve öğrenim süresince B.Ü.Bilgi İşlem Merkezinde yardımcı asistanlık görevinde bulunmuştur. Pekiyi derece ile lisansüstü öğrenimini tamamladıktan sonra bir işletmenin Bilgi İşlem Merkezi Müdürlüğü ve Sistem Analistliği görevinde bulunmuştur. 1980 yılında İ.Ü.İşletme Fakültesi "İşletme Matematiği Kürsüsü"ne asistan olarak atanmıştır. 1980 yılından beri İ.Ü.İşletme Fakültesinde "İşletme Matematiği", "Bilgisayar Programlama", derslerinin uygulamalarını vermektedir. Harp Akademileri ve Deniz Harp Okulu'nda "Olasılık ve İstatistik" derslerini vermiştir.

Aday evli ve bir çocuk babasıdır.

33

ÜRETİM SİSTEMLERİ, Bilgisayar programları
BİLGİSAYAR PROGRAMLARI, Üretim sistemi
ŞEBEKE ANALİZİ TEKNİKLERİ, Q-Gert
Q-GERT TEKNİĞİ, Şebeke analizi

3

ÜRETİM SİSTEMİ-SİPARİŞ
PLANLAMA
KONTROL
SİSTEM TASARIMI
SİSTEM ANALİZİ
MODELLEME
GERT-İMALAT ŞEBEKE MODELİ
BİLGİSAYAR PROGRAMLARI