

# Çizelgelemenin Verimliliğe Katkısı

Ömer KIRCA

Y.Doç.Dr.  
Endüstri Mühendisliği Bölümü  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Ankara

Bu makalede üretim ve hizmet sektöründe rastlanan çizelgeleme olgusunun verimliliğe katkısı tartışılmaktadır. Önce verimlilik tanımlanmış ve bunu etkileyen unsurlar belirlenmiştir. Bu belirlenen unsurları çizelgelemenin nasıl etkilediği tartışılmıştır ve örnekler verilmiştir. Son olarak, çizelgeleme problemleri sınıflandırılmış ve değişik sektörlerde ortaya çıkan çeşitli boyutlardaki çizelgeleme problemleri tartışılmıştır.

## GİRİŞ

Bütün ekonomik faaliyetler belirli miktarda ve çeşitli kaynaklar kullanılarak, zaman içinde oluşmaktadır. Bu nedenle de ekonomik faaliyetlerin etkinliği kaynakların verimli kullanılması ile orantılı olmaktadır. Kaynakların verimli kullanılmasını etkileyen araçlardan bir tanesi de çizelgeleme olgusudur. Çizelgelemenin verimlilik üzerindeki etkilerini incelemeden önce verimlilik tanımına ve özelliklerine kısaca göz atalım.

### Verimlilik Tanımı

Verimlilik veya diğer bir deyişle **üretgenlik** belirli bir **girdi** sonucu ortaya çıkan **çıkıtının** ölçütü olarak tanımlanabilir. Örneğin bir işçinin bir saatte monte ettiği radyo sayısı bir verimlilik ölçüsüdür. Yukarıdaki verimlilik tanımının çıktısı ve girdi gibi iki ana unsuru bulunmaktadır. Çıktılar üretilen veya ortaya çıkarılan mal ve hizmetler, girdiler ise, bu ürün ve hizmetleri oluşturmak için kullanılan üretim faktörleri yani kaynaklardır. Ancak yukarıdaki tanımda açıkça yer almayan, fakat örnekte belirlenen, bir diğer verimlilik unsuru da zamandır. Üretim faaliyetleri belirli bir zaman aralığında, belirli miktarda kaynak kullanımı ile ortaya çıkar. Bu nedenle de verimlilik ölçütünde zaman da önem kazanmaktadır. Böyle bir saptamadan sonra verimliliği daha açık bir şekilde şöyle tanımlayabiliriz. **Verimlilik**, birim kaynakların birim zamanda ürettiği mal ve değerlerdir. Diğer bir ifade ile

$$\text{Verimlilik} = \frac{\text{Ürün Miktarı (Değeri)}}{\text{Kaynak Miktarı} \times \text{Zaman}} \quad (1)$$

olmaktadır.

Yukarıda genel olarak tanımlamaya çalıştığımız verimlilik ölçütünün pratikte kullanılmasında çeşitli

güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bu güçlükler daha çok iki unsurun girdi ve çıktıların tanımlanmasından ve ölçümlendirilmesinden kaynaklanmaktadır. Radyo örneğinde işçinin verimliliği saatte monte ettiği radyo sayısı olarak tanımlanmıştır. Eğer bu işçi aynı zamanda hem radyo hem de teyp üretiyor olsa o zaman çıktı tanımında bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Veya radyo üretiminde işçilikle birlikte başka kaynaklarda kullanıldığında verimlilik nasıl tanımlanacaktır. Örneğin bir işçi bir alet yardımı ile radyo monte ediyor, diğer bir işçi de alet kullanmadan aynı işi yapıyorsa bu iki işçinin verimlilik tanımları nasıl olacaktır? Burada ana konumuz verimliliğin ölçümü ve tesbiti olmadığı için bu zorluklara ayrıntılı olarak girmek yerine verimliliği etkileyen unsurlara ve verimliliği artırmaya yönelik konulara ağırlık vereceğiz.

Verilen verimlilik tanımına göre bir üretim biçiminin diğer bir üretim biçiminden **verimli** olması ancak şu hallerde mümkündür.

1. Aynı sürede ve eş kaynaklarla daha çok üretim
2. Aynı miktarda ürünü aynı sürede daha az kaynakla üretmek
3. Aynı miktarda ürünü eş kaynaklarla daha kısa bir sürede üretmek.

Yukarıda görüldüğü gibi verimliliği artırmak genel olarak (1) ifadesindeki oranı artırmak yani bu orandaki payı artırmak ve/veya paydayı azaltmakla mümkün olmaktadır. Diğer bir deyişle bir işi yaparken daha az kaynak kullanmakla verimlilik artırılabilir. İşte bu noktada çizelgelemenin önemi ortaya çıkmaktadır.

## Çizelgeleme Tanımı

Çizelgeleme belirli bir takım görevleri yerine getirmek için kaynakların zaman içinde tahsisi olarak tanımlanabilir, [1]. Bu tanımda, görevler içinde bulunulan ortama bağlı olarak değişik şekillerde adlandırılabilir. Genel olarak görevler belirli ürün veya hizmetleri meydana getirmek için gerekli olan faaliyetler olarak tanımlanabilir. Bu tanıma göre de çizelgelemenin üç ana unsuru ortaya çıkmaktadır ve bunlar verimlilik tanımında olduğu gibi üretim, kaynak ve zamandır. Bu nedenle de çizelgeleme, verimliliği artırma yönünde kullanılacak çok önemli araçlardan biri olmaktadır. Daha açık bir deyişle, çizelgeleme belirli bir takım işleri yapmak için hangi kaynakların, ne zaman ve nasıl kullanılacaklarını tesbiti olarak da tanımlanabilir. Böylece etkin bir çizelgeleme sayesinde belirli faaliyetlerin daha az kaynak kullanımı veya daha kısa zamanda yapılabilme olanağı ortaya çıkmaktadır. Verimlilik ve çizelgeleme etkileşimini daha açık görebilmek amacı ile şu örneğe bakalım.

Bir üretim birikiminde üretilecek A ve B gibi iki ürünümüz ve bu her iki ürün de aynı akış işlemleri ile üretiliyor olsun. Şekil 1'deki gibi ürünler kesme, torna, freze ve son olarak da boyama işlemlerinden geçiyor ve her iki ürünün işlem zamanları da Çizelge 1'deki gibi olsun.

Çizelge 1'den de görülebileceği gibi her iki ürün de toplam olarak 10 saatlik bir işlem süresi ve her işlem de bu iki ürün için toplam olarak 5 saatlik bir süre gerektirmektedir. Çizelgeleme açısından sorun bu iki ürün hangi sırada işlenecek veya bu işlemler (tezgahlar) hangi sırada bu ürünleri işleyecektir. Tabii en iyi çizelgelemenin tesbiti için belirli bir amaç konulması ve bu amacı en iyileyecek çizelgenin tesbit edilmesi gerekmektedir. Şimdilik çizelgeleme amaçlarına girmeden, sadece çizelgeleme olayına bakalım.

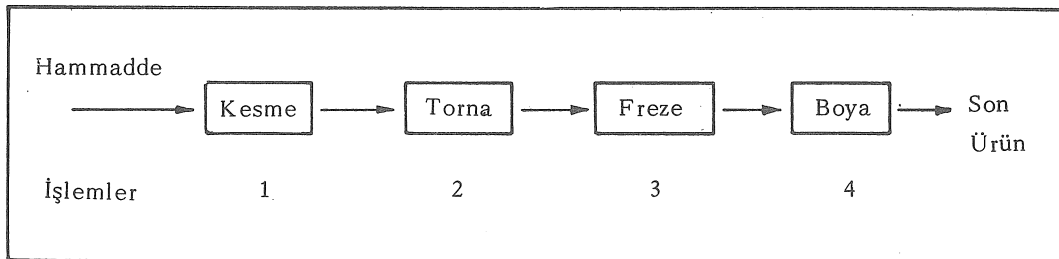
Tekrar örneğe dönersek, sorun bu iki ürünü, verilen dört işlem üzerinde hangi sırada yapılacağına tesbitidir ve iki alternatif ürün işleme sırası bulunmaktadır. Bunlar önce A sonra B veya önce B sonra A sıralarıdır. Şekil 2'de bu iki alternatif için Gantt Şemaları verilmiştir. Her iki alternatif ürün işleme sırasında da yapım zamanı (son ürünün çıkış zamanı) 14 saattir. Ancak (a) çizelgesinde tezgahların atıl kalma süreleri (b) çizelgesine oranla daha fazladır. Acaba kaynakları en verimli kullanan çizelge hangisidir? Bu sorunun cevabını aramadan önce bir başka çizelgeye bakalım. Şekil 2 (c)'de ürünlerin her iş-

## Çizelge 1 Örnek problem işlem süreleri

İşlem	Ürün	
	A	B
1 Kesme	1 (saat)	4
2 Torna	4	1
3 Freze	4	1
4 Boya	1	4

lemeden hep aynı sırada geçmesi yerine işlemlerden değişik sıralarda geçmesi alternatifi verilmiştir. Buna göre ürünler 1 ve 2 ci işlemlerden A B sırasında son iki işlemde ise, B A sırasında geçmektedir. Böyle bir çizelgede yapım süresi 12 ve tezgah atıl kalma süresi de 14 saate inmektedir. İncelenen üç alternatif çizelgenin bazı özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelgeye göre (c) çizelgesi bütün değerlendirme kriterlerine göre daha başarılı olarak görülmektedir. Verimlilik açısından bakılınca da (c) çizelgesi ile toplam 12 saatte bu iki ürün üretilmekte, diğer iki çizelge ile ise bu süre 14 saat olmaktadır.

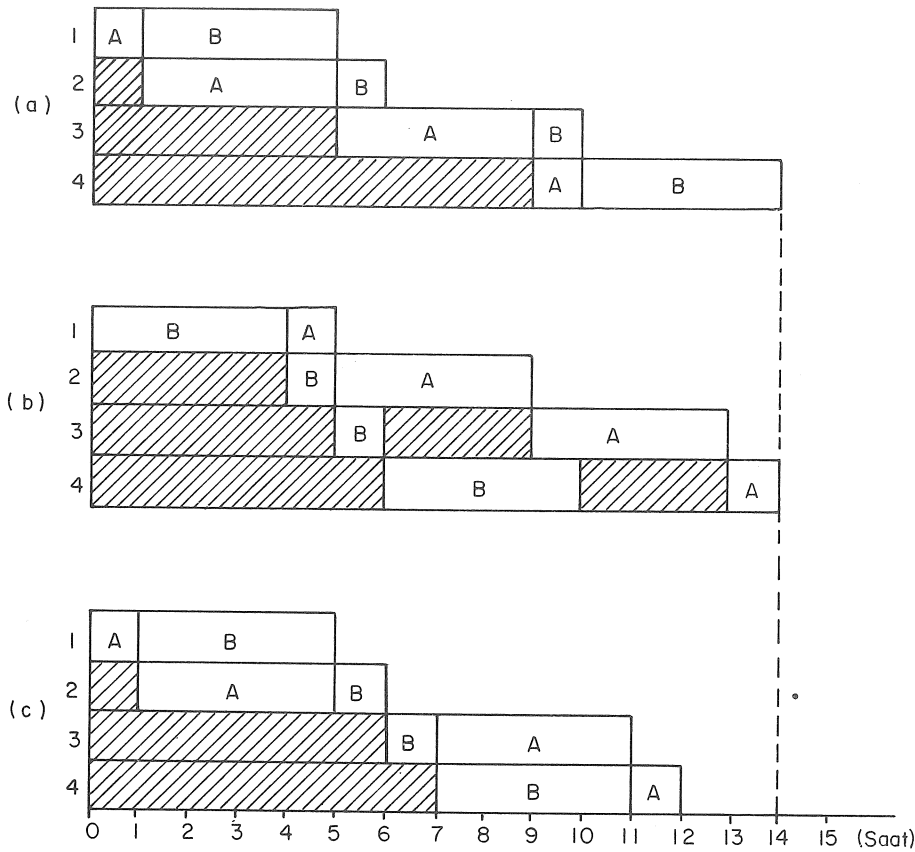
Yukarıdaki örnekten de görülebileceği gibi çizelgeleme fonksiyonu belirli bir amacı en iyileyecek şekilde belirli işlerin yapılması için kaynakların tahsisini içermektedir. Değişik üretim ve hizmet ortamlarında kaynak, ürünlerin yapı ve özelliklerine göre değişik çizelgeleme problemleri ile karşılaşmaktadır. Bu değişik problem yapılarına bağlı olarak da çizelgelemenin kriterleri olarak çeşitli amaç fonksiyonları ortaya çıkmaktadır. Bu amaçlar bazen verimliliği doğrudan etkileyen unsurlar, üretim, kaynak miktarı veya üretim süresi, olduğu gibi çoğu kere de verimliliği dolaylı olarak etkileyen fonksiyonlar olarak ortaya çıkabilir. Bunlar, kar, maliyet, envanter miktarı ve zamana bağlı olan diğer fonksiyonlar olabilir. Ancak amaç fonksiyonları ne olursa olsun bunların hepsi çizelgeleme tekniklerinin kaynak kullanımında verimliliğin artırılması yönünde kullanılmalarını içermektedir.



Şekil 1 Örnek problemin iş akış şeması

Çizelge 2 Çizelgelerin değerlendirilmesi

Çizelge	Bitim Zamanı	Toplam Tezgah Atıl Zamanı <sup>1</sup>	Toplam Akış Zamanı <sup>2</sup>	Toplam İşlem Arası Envanter BirimxSaat <sup>3</sup>
(a) A B	14	15	24	4
(b) B A	14	21	24	4
(c) Karışık	12	14	23	3



Şekil 2 örnek problem için çizelgeler

### ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN SINIFLANDIRMASI

Daha önce de açıklandığı gibi içinde bulunulan ortama bağlı olarak çeşitli çizelgeleme problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu problemler çeşitli amaç ve kısıtlarla bir çok değişik şekilde sınıflandırılabilir. Teknik yazında böyle çeşitli sınıflandırma tabloları bulunmaktadır. Bu sınıflandırma kriterleri başlıca şöyle özetlendirilebilir:

- Taleplerin oluşumu biçimi
- İşlem karmaşıklığı

- Çizelge değerlendirme ölçütleri
- Problem parametrelerinin belirginlik düzeyi
- Çizelgeleme ortamı

Şimdi bu kriterleri tek tek inceleyerek çeşitli çizelgeleme problemlerine değinelim.

#### Taleplerin Oluşma Biçimi

Taleplerin oluşma biçimine göre üretim çizelgelemesi modellerinin sınıflandırılması **açık** ve **kapalı** sistemler olmak üzere ikiye ayrılabilir. Açık sistemlerde talep yalnız müşteri siparişleri ile oluşmakta ve envantere üretim yapılmamaktadır. kapalı sistemlerde ise, müşteri talepleri tamamen stoklardan karşılanmakta ve üretim kararları stok düzeylerine göre verilmektedir. Dolayısıyla açık sistemlerde problem bir sıralama problemine dönüşmektedir. Ka-

<sup>1</sup> Taralı alanlar toplamı

<sup>2</sup> Ürünlerin bitiş zamanları toplamı

<sup>3</sup> İşlem için bekleyen iş sayısı x bekleme süresi

palı sistemlerde problem, sıralamanın yanı sıra sıra öbek büyüklüklerinin saptanmasını da içermektedir. Ayrıntılı üretim planlamasındaki çizelgeleme problemleri için genellikle açık sistem çalışma biçimleri uygun olmaktadır.

### İşlem Karmaşıklığı

İşlem karmaşıklığı ise, işin gerektirdiği işlem sayısı ve iş akışının karmaşıklığı ile ilgilidir. Bunlara ek olarak her işlem aşaması için kullanılabilir tezgah sayısı da sınıflandırmada bir faktör olmaktadır. Bu açıdan üretim çizelgeleme problemleri dört ana sınıfa ayrılmaktadır:

- Tek aşama/tek makina
- Tek aşama/paralel makinalar
- Çok aşama/seri iş akışı
- Çok aşama/karışık iş akışı

### Çizelge Değerlendirme Ölçütleri

Çizelgelerin değerlendirilmesi, çizelgelerin maliyet ve performans'ları açısından yapılabilir. Çizelgelerin maliyetleri etkileyen başlıca faktörler şunlardır:

- Hazırlama ve ürün tipi değiştirme ile ilgili sabit maliyetler
- Değişken üretim ve fazla mesai maliyetleri
- Stok taşıma maliyetleri
- Çizelgenin dinamik bir ortamda uygulanmasından doğan iş hızlandırma maliyetleri
- Çizelgenin hazırlanması ve uygulanmasının oluşturduğu sistem maliyetleri

Performans değerlendirme ölçütleri ise iş ile ilgili ve atelye ile ilgili olmak üzere iki grupta irdelenebilir.

#### İş ile ilgili olanlar:

Tamamlama Zamanı	: İşin son işleminin tamamlandığı zaman,
Akış Zamanı	: İşin atelyede toplam bulunduğu süre,
Bekleme Zamanı	: İşlerin tezgahların önünde bekledikleri toplam zamanı,
Gecikme	: İşin bitiş zamanı ile söz verilen teslim zamanı arasındaki fark,
Tehir	: Gecikme artı değer aldığında gecikmeye eşit, eksi ise sifıra eşit.

#### Atelye ile İlgili Olanlar:

Kullanım Oranı	: Tezgahın bir işlem üzerinde çalıştığı zamanın toplam zamana oranı,
----------------	--

Ara Stok Miktarı : Örneğin, kuyrukta bekleyen iş sayıları.

Performans ölçütlerine bağlı amaç fonksiyonları ise bu ölçütlerin çizelgenin sonucu olarak çıkan "ortalama", "toplam" veya "maksimum" (veya "minimum") değerlerinin minimize (veya maksimize) edilmesidir. en sık raslanan amaç fonksiyonları "maksimum akış zamanının minimize edilmesi" ve "toplam tehir miktarının minimize edilmesi"dir.

### Parametrelerin Belirginlik Düzeyi

Parametrelerin belirginlik düzeylerine göre problemler deterministik ve rassal olmak üzere iki sınıfta irdelenebilir. Bu sınıflandırmada esas olan parametre, işlerin her aşamadaki işlem süreleridir. Deterministik problemlerde işlem süreleri önceden bilinen sabit değerler olarak varsayılır. Rassal problemlerde ise, bu süreler belli olasılık dağılımlarına göre değerler alan rassal değişkenlerdir.

### Çizelgeleme ortamı

Çizelgeleme ortamı ise, dinamik ve statik olmak üzere iki biçimde tanımlanmaktadır. Statik ortamda çizelgenecek tüm işler, miktar ve özellikleri itibarıyla, önceden kesin olarak bilinir. Bu işler kümesinde sonradan herhangi bir ekleme veya özelliklerinde bir değişiklik yapılmaz. Statik ortamda sabit olan iş listesi, dinamik ortamda yeni gelişen taleplerin etkisi ile sürekli olarak değişikliklere uğrayabilir. Zaman içerisinde sürekli olarak yeni işlerin iş listesine eklenebileceği gibi işlerin özellikleri (örneğin, işlem süreleri, iş akışları) de değişebilir.

### ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN UYGULAMA ALANLARI

Bir önceki bölümde çizelgeleme problemleri çeşitli sınıflandırma kriterlerine göre incelenmişti. Bu bölümde değişik ekonomik faaliyet ortamlarında ortaya çıkan çizelgeleme problemlerine değineceğiz. Hemen her ekonomik faaliyetin bulunduğu ortamlarda bu faaliyetlerin en uygun bir kaynak kullanımı ile yapılması gerekmektedir. Bu nedenle de çeşitli çizelgeleme problemleri ile karşılaşılmaktadır. Ortamlara bağlı olarak ortaya çıkan çizelgeleme problemlerini aşağıdaki gibi inceleyebiliriz.

#### İmalat Sektöründe Çizelgeleme

Genel olarak imalat sektöründe raslanan çizelgeleme problemleri faaliyetlerin yapılması için kaynakların (iş gücü, tezgah, alet, makina) tahsisi olarak tanımlanabilir. Bu sektördeki çizelgeleme problemleri stratejik ve taktik düzeylerde ortaya çıkabilir. Stratejik düzeydeki problemler daha çok imalatta kullanılacak kaynak düzeyini tesbit etmeye, taktik problemler ise, imalat aşamasında iş sıralarının ve kullanılacak kaynakların tesbitine yönelik olmaktadır. Bu sektörde raslanabilecek bazı çizelgeleme problemlerini şöyle tanımlayabiliriz:

### a) Dinamik Üretim Planlama Problemleri:

Bu problemler, belirli bir planlama ufkunda hangi ürünlerin ne zaman ve ne miktarda üretilmesi gerektiğini tesbit etmeğe yöneliktir. Ürün taleplerinin planlama ufkunda düzgün seyretmemesi (mevsimsel veya değişgen talep) ve imalat hazırlama maliyetlerinin yüksek olması durumunda, çoğu zaman talebin olduğu dönemlerde üretmek ekonomik olmamaktadır. Bu gibi durumlarda stok için üretim gerekmektedir ve toplam maliyetleri (üretim ve envanter maliyetleri) en azlayacak bir üretim çizelgesinin tesbiti gerekmektedir. Talep ve kaynak özelliklerine bağlı olarak çeşitli çizelgeleme problemleri bulunmaktadır. Bunlar genel olarak tek veya çok ürünlü, kapasite sınırlı veya sınırsız problemler olarak sınıflandırılabilir.

### b) Faaliyet Çizelgelemesi:

Bu tip problemler, daha çok taktik düzeyde, atelye ortamında ortaya çıkmaktadır. Bölüm 2'de değişik sınıflandırmaya kriterleri altında incelenen hemen bütün problemler bu düzeyde tanımlanabilir. En çok raslanan çizelgeleme problemleri çok aşamalı sistemlerde ortaya çıkar.

### c) Montaj Hattı Dengelemesi

Stratejik düzeyde olan bu problem, standart ürün üreten bir montaj hattında kaynakların tahsisi ve düzenlenmesi kararlarına yöneliktir. Montaj hattı üretilen ürünün bir iş istasyonundan diğer bir iş istasyonuna akışı olarak tanımlanabilir. Bitmiş ürünü meydana getirmek için gerekli olan faaliyetler ayrı ayrı tesbit edilmiş ve bunlar iş istasyonlarında yerine getirilmektedir. Montaj hattı dengeleme problemi, belirli bir değerlendirme ölçütünü en iyileyecek şekilde faaliyetlerin iş istasyonlarına atanması ve bu istasyonların sayısını tesbit etmeye yöneliktir.

### Proje Çizelgelemesi

Bir proje, belirli bir amaçla birden fazla faaliyetin belirli bir öncelik sırası ile yapılmasını gerektiren faaliyetler topluluğu olarak tanımlanabilir. Projelerin en belirgin örneklerine inşaat sektöründe rastlanmaktadır. Bir bina inşaatı, çok çeşitli inşaat faaliyetlerinin belirli bir koordinasyon ve öncelik sırası ile yapılmasını içerir. Projeler belirli bir üretim amacı güttüğü gibi kavramsal düzeylerde, araştırma-geliştirme, reklamcılık, pazarlama gibi alanlarda da ortaya çıkar. İnşaat sektörü dışında da özellikle sipariş üzerine veya özel ürün üreten sistemlerde de proje çizelgeleme problemlerine rastlanmaktadır. Gemi inşaatı, standart ürün üretmeyen sistemler proje çizelgeleme kapsamı içinde görülebilir. Bu gibi hallerde ortaya çıkan karar problemleri şöyle sıralanabilir:

- Projelerin en erken ve en geç bitim tarihlerinin tesbiti
- Kritik faaliyetlerin tesbiti ve kontrolü
- Zaman ve maliyet unsurlarını içeren faaliyet süresi tesbiti
- Kaynak dağılımı tesbiti

### Ulaştırma Sektöründe Çizelgeleme

Ulaştırma sektöründe ortaya çıkan çizelgeleme problemleri genel olarak araç güzergahlaması problemleri olarak adlandırılabilir. Bu problemler ortama bağlı olarak şöyle incelenebilir [2].

### a) Ürün Dağıtım Sistemleri:

Bu problemler elde bulunan bir araç filosu ile coğrafi bir alana dağılmış müşteri noktalarının taleplerini, belirli bir değerlendirme ölçütünü en iyileyecek şekilde, karşılamak amacı ile araçların hangi müşterileri, ne zaman ve hangi sırada ziyaret etmesi gerektiğini saptamaya yöneliktir.

### b) Kentsel Ulaşım (Otobüs) Çizelgelemesi:

Kent içi ulaşımı sağlayan araçların güzergahlarının, araçların güzergahlar üzerindeki hareketlerinin saptanmasına yönelik problemleri içerir.

### c) Diğer Ulaşım Çizelgeleme Problemleri:

Daha çok şehirler ve ülkeler arası ulaşımı sağlayan araçların (uçak, gemi, tren) hareketlerini düzenlemeye yönelik problemlerdir.

### Bilgisayar Çizelgelemesi

Gün geçtikçe gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte bilgisayarların en etkin bir biçimde kullanılması sorunları da önem kazanmaktadır. Özellikle paralel ve seri bağlantılı sistemlerde iş bölümü ve iş yüklemesi problemlerinin çözümü gerekli görülmektedir. Bu alandaki çizelgeleme problemleri de sistemde bekleyen işlerin (faaliyetlerin), bilgisayar (kaynak) tarafından nasıl ve ne zaman yapılacağını tesbitine yöneliktir.

### THE ROLE OF SCHEDULING IN PRODUCTIVITY

In this paper the role of scheduling in productivity of the production and service systems are discussed. First, productivity is defined and factors effecting productivity are determined. The effect of scheduling to those factors are analysed and some examples are given. Finally, a classification of the scheduling problems are given and problems faced in different economical sectors are discussed.

### KAYNAKÇA

- Baker, K.E., *Introduction to Sequencing and Scheduling*, John Wiley, New York, 1974.
- Bodin, L., Golden, B., Assad, A., and Ball, M., "The State of the Art in the Routing and Scheduling of Vehicles and Crew", University of Maryland, Rapor UMTA/BMGT/MS 81-001, 1981.