

71638

**T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞ - YL - 1998 - 0006**

**TEK KANALLI KUYRUK MODELLERİNDE
SİMULASYON UYGULAMASI**

HAZIRLAYAN: Hüseyin ŞENKAYAS

DANIŞMAN: Prof. Dr. Selim BEKÇİOĞLU

AYDIN - 1998

Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu çalışma aşağıda isimleri bulunan jüri üyeleri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

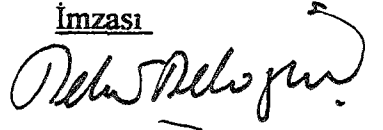
Ünvanı Adı Soyadı

Üniversitesi

İmzası

Başkan, Danışman Prof. Dr. Selim Bekçioğlu

Adnan Menderes



Üye Yard. Doç. Dr. Mustafa ÖZTÜRK

Adnan Menderes



Üye Yard. Doç. Dr. Feriştah SÖNMEZ

Adnan Menderes



Yukarıda jüri üyeleri tarafından kabul edilen bu Yüksek Lisans Tezi, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 31.07.1998 tarih ve .../2 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Enstitü Müdürü.

Prof. Dr. Abdullah Yaylalı

ÖZ

Kuyruk teorisi, bir sistemden hizmet almak amacıyla bekleyen müşterilerin gelişler arası zamanlarını, hizmet zamanlarını ve bunların olasılık dağılımlarını belirleyen bir yöntemdir. Böylelikle, zaman kaybını ve maliyetleri en aza indirmek isteyen yönetime gerekli verileri temin etmektedir. Kuyruk modellerinde simülasyon tekniğinin kullanılması ise, karmaşık sistemlerin analizinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır.

Bu çalışmada, tek kanallı kuyruk modelinde simülasyon tekniğinin uygulanabilirliğinin sınanması amacıyla, bir otomatik para çekme makinesinde gözlem yapılmıştır. Simülasyon analizi sonuçlarına göre, kuyruk sistemine gelen müşteri sayısı arttıkça, bekleme zamanları ve sistemde harcanan toplam zaman artmıştır.

ABSTRACT

Queueing theory is a method that determines the interarrival times and the service times of the users and their probability distributions. Thus, it supplies the necessary data to the management who desires to minimize the cost and the waste of time. To use the simulation technique in queueing models, on the other hand, is to provide saving the cost and the time.

In this study, an ATM has been observed in order to test the applicability of the simulation technique in a one server queue. According to the results of the simulation analysis, the waiting times and the total times spent in the queueing system increased as the number of the users arriving the system increased.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ, ABSTRACT	1
ÇİZELGELER LİSTESİ	11
ŞEKİLLER LİSTESİ	111
KISALTMALAR ve SİMGELER	111
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE METOT	3
2.1. Materyal	3
2.2. Metot	3
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	4
3.1. Kuyruk Sistemi Ve Temel Kavramlar	4
3.1.1. Kuyruk Sistemi Ve Elemanları	11
3.1.2. Temel Kavramlar	16
3.1.2.1. Kendall-Lee-Taha notasyonu	20
3.2. Kuyruk Modellerinde Kullanılan Olasılık Dağılımları	22
3.2.1. Poisson Dağılımı	23
3.2.2. Üslü Dağılım	27
3.2.3. Erlang Dağılımı	30
3.2.4. Diğer Olasılık Dağılımları	30
3.2.4.1. Gamma Dağılımı	31
3.2.4.2. Weibull Dağılımı	31
3.2.4.3. Normal Dağılım	32
3.3. Kuyruk Modelleri Ve Simülasyon Tekniği	33
3.3.1. Kuyruk Modelleri Ve Ekonomik Analiz	33
3.3.1.1. Kuyruk Modelleri	33
3.3.1.2. Kuyruk Modellerinde Genel Bağlıntılar	36
3.3.1.3. Kuyruk Modellerinde Ekonomik Analiz	38

3.3.1.4. Kuyruk Şebeke Modelleri	41
3.3.2. Tek Kanallı Kuyruk Modelleri	43
3.3.2.1. Tek Kanallı Kuyruk Modellerinde İşlem Karakteristikleri	44
3.3.2.2. Tek Kanallı Kuyruk Modeli Örneği	46
3.3.3. Simülasyon Tekniği Ve Simülasyon Dilleri	47
3.3.3.1. Simülasyon Süreci	57
3.3.3.2. Simülasyon Modelleri	60
3.3.3.3. Simülasyon Programlama Dilleri	62
3.3.3.4. Tek Kanallı Kuyruk Modellerinde Simülasyon Tekniğinin Kullanılması	68
3.4. Tek Kanallı Kuyruk Modellerinde Simülasyon Uygulaması	73
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78

ÖZET

SUMMARY

TEŞEKKÜR

KAYNAKLAR

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1. Kuyruk Problemleri Örnekleri	10
Çizelge 2. Kuyruk Modelleri	34
Çizelge 3. Gelişler arası zaman için kümülatif olasılık dağılımı ve tesadüfi sayılar aralığı	70
Çizelge 4. Hizmet zamanı için kümülatif olasılık dağılımı ve tesadüfi sayılar aralığı	70
Çizelge 5. Tek kanallı kuyruk modeli simülasyonu (100 kullanıcı)	72
Çizelge 6. Müşterilerin gelişler arası zamanları ve hizmet süreleri	74
Çizelge 7. Gelişler arası zaman için kümülatif olasılık dağılımı ve tesadüfi sayılar aralığı	75
Çizelge 8. Hizmet zamanı için kümülatif olasılık dağılımı ve tesadüfi sayılar aralığı	75
Çizelge 9. Tek kanallı kuyruk modeli simülasyonu uygulaması (20 kullanıcı)	77

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. Genel Kuyruk Sistemi	14
Şekil 2. Servis Düzeyi - Maliyet İlişkisi	19
Şekil 3. Normal Olasılık Dağılımı Eğrisi	32
Şekil 4. Kuyrukların Sınıflandırılması	35
Şekil 5. Bir Sistemin İncelenme Yöntemleri	53
Şekil 6. Simülasyon Süreci	59
Şekil 7. GPSS/ H Blok Diyagramı	65

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

∞	sonsuz
λ	geliş hızı
μ	hizmet hızı
ρ	kullanım faktörü
σ	standart sapma
a.g.e.	adı geçen eser
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
dak.	dakika
FIFO	ilk giren ilk çıkar
GD	genel hizmet disiplini
LIFO	son giren ilk çıkar
L_n	hizmet sistemindeki ortalama müşteri sayısı
L_q	kuyruktaki ortalama müşteri sayısı
L_s	sistemdeki ortalama müşteri sayısı
P_w	kullanım faktörü
s.	sayfa
SIRO	tesadüfî düzene göre hizmet
sn.	saniye
ST	hizmet zamanı
TA	geliş zamanı
TE	hizmete başlama zamanı
TL	sistemden ayrılış zamanı
TM	toplam maliyet
TS	sistemde harcanan zaman
USA	United States of America
vb.	ve benzerleri
W_n	bir müşterinin ortalama bekleme süresi
W_q	kuyrukta bekleme süresi
W_s	sistemde bekleme süresi
WT	bekleme zamanı

1. GİRİŞ

Zaman ve maliyet kavramları, işletmelerin, faaliyetlerini yürütürken dikkat etmeleri gereken ve minimize etmeye çalıştıkları en önemli iki faktördür. Hizmet görmek üzere bekleyen birimlerin (insan, makine, evrak, vb.) oluşturduğu kuyruklar ya da bekleme hatları, ne kadar uzun olursa, maliyet ve zaman kaybı da o derece fazla olacaktır. Müşterinin, hizmet elemanlarının, işletmenin ve hatta ülke ekonomisinin, oluşan kuyruklar nedeniyle uğradığı zaman ve para kaybı, Kuyruk Teorisi'nin uygulanmasının gerekliliğini doğrulamaktadır.

Hizmet görmek için bekleyen insanlar, nesneler ya da işlemler, kuyruk probleminin temelini oluşturur ve genellikle “müşteri” olarak adlandırılırlar. Müşterilerin kuyrukta geçirdikleri süre sonucunda zaman kaybı, fırsat maliyeti ve psikolojik olumsuzluklar gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında, verimlilikte büyük bir düşüş gözlenmektedir. Kamu hizmetleri başta olmak üzere, hizmet sektöründe; imalat ve bakım hatlarında; istasyonlarda ve otobüs terminallerinde; postanelerde; vergi dairelerinde; hastanelerde; otomatik para çekme makinelerinde, vb. sistemlerde oluşan kuyruklar, ülke ekonomisi için çok önemli boyutta maliyetlere yol açmaktadır. Söz konusu maliyetlerin en aza indirilmesi, zaman kayıplarının ve psikolojik olumsuzlukların azaltılması ve verimliliğin artırılarak hizmet kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla “kuyruk modelleri” oluşturulmaktadır.

Hizmetin şekline göre tek ya da çok kanallı olarak sınıflandırılan kuyruk modelleri, müşteri gelişlerinin ve hizmet süresinin olasılık dağılımlarından etkilenmektedir. Kuyruk modellerinin analizinde, gelişler arası zamanın ve hizmet süresinin azaltılması yanında, iş yeri tasarımının da önemi büyüktür. Söz konusu sürelerin azaltılması için kuyruk teorisi formülleri kullanılmaktadır. Ancak, karmaşık kuyruk sistemlerinin analizinde, bir sistemin davranışlarının, kendi bileşenlerinden nasıl etkilendiğini inceleyen bir model kurma yöntemi olan “simülasyon” tekniğinin kullanılması gerekir.

Bu çalışmanın amacı, kuyruk modellerinde kullanılan olasılık dağılımlarını ele alarak, kuyruk modellerinin çözümünde simülasyon tekniğinin kullanılmasının sonuçlarını incelemektir. Bu kapsamda, kurulacak bir tek-kanallı kuyruk modeli üzerinde simülasyon uygulamasının sonuçları yorumlanacaktır.

Söz konusu amaç dahilinde yapılan çalışmada, konu araştırma bulguları ve tartışma bölümünde, dört başlık altında incelenecektir.

Birinci bölümde, kuyruk sisteminin genel yapısı ortaya konarak, sistemi açıklamada kullanılan temel kavramlar üzerinde durulmakta ve sistemi tanımlamaya yardımcı olan notasyon verilmektedir.

İkinci bölümde, kuyruk modellerini etkileyen olasılık dağılımları ele alınmaktadır. Söz konusu olasılık dağılımlarının karakteristik yapısı, formülleri ve kuyruk modellerinde kullanım şekli üzerinde durulmaktadır.

Üçüncü bölümde, kuyruk modellerinin çeşitleri tanımlanarak, tek-kanallı kuyruk modellerinin yapısı açıklanmaktadır. Bunun yanında, simülasyon tekniği, simülasyon modelleri ve simülasyon programlama dilleri incelenerek, tek-kanallı kuyruk modellerinde simülasyon tekniğinin kullanımı ele alınmaktadır.

Dördüncü ve son bölümde, bir tek-kanallı kuyruk modeli üzerinde simülasyon tekniğinin uygulanması gerçekleştirilecektir. Bir otomatik para çekme makinesi önünde yapılan gözlemler sonucu, sisteme gelen yirmi müşterinin gelişler arası zamanı ve hizmet zamanları gözlenerek, bunların olasılık dağılımları belirlenecektir. Söz konusu kümülatif olasılık dağılımlarının yüzdelik dilimlerine tekabül eden tesadüfi sayı aralıkları saptanacak ve simülasyon yöntemi ile ortalama bekleme zamanı ve sistemde harcanan ortalama zaman bulunacaktır.

Konuyla ilgili yapılan incelemeler ve uygulama sonucunda, elde edilen bulgular sonuç bölümünde değerlendirilmekte ve yorumlanmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmanın ana materyalini, gözlemler sonucu elde edilen, kuyruk sistemindeki müşterilerin gelişler arası süreleri, hizmet süreleri ve simülasyon yönteminde kullanılan tesadüfi sayılar oluşturmaktadır.

Çalışmanın teorik çerçevesinin oluşturulabilmesi için ilgili literatürden yararlanılmıştır.

2.1. Metot

Çalışmada ilk önce, kuyruk modellerinin ve simülasyon tekniğinin teorik çerçevesi oluşturulmuş, daha sonra da uygulamaya geçilmiştir.

Uygulamada, bir otomatik para çekme makinesi önünde gözlem yapılarak, müşterilerin gelişler arası zamanları ve hizmet zamanları tespit edilmiştir. Bu veriler, tesadüfi sayılar yardımıyla simüle edilerek ortalama bekleme zamanları ve sistemde harcanan ortalama zamanlar hesaplanmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Kuyruk Sistemi ve Temel Kavramlar

“Kuyruk” kelimesinin sözlük anlamı, “sıralarını bekleyen kişiler, ya da araçlar doğrusu; dizi, çizgi”dir. Yöneylem araştırması yönünden ise, “kuyruk”, sınırlı bir hizmet nedeniyle geciken bir bekleme dizisi durumudur¹.

Ekonomik sorunların önem kazanması, rekabetin artması ve bilgisayarların gelişmesi ile sayısal yöntemler, yöneticiler açısından önem kazanmaya başlamıştır. İşletmelerde kullanılan sayısal yöntemler, uygulama alanları ve yöntem açısından üç genel grupta incelenebilir²:

- Kuyruk teorisi (bekleme hatları) ve stok kontrolü.
- Matematiksel programlama.
- Karar kuramı ve simülasyon.

Birçok mal ya da hizmet üreten kuruluşlarda kuyrukla karşılaşmak mümkündür. Önemli bir futbol maçı için çok erken saatlerden gişeden başlayıp yüzlerce metre uzayan seyirci kuyruğu, hastanelerindeki hasta kuyruğu, süpermarketlerde kasiyere ödemede bulunmak için sıraya girmiş müşteri kuyruğu, günün yoğun saatlerinde trafikte oluşan araç kuyruğu, aynı saatlerde duraklarda taşıtlara binmek için bekleyen yolcu kuyruğu, limanlarda yük boşaltmak veya almak için bekleyen gemi kuyruğu, vergi dairesinde vergisini ödemek üzere bekleyen mükellef kuyruğu, maaşını almak için bekleyen emekli kuyruğu vb. örnek olarak gösterilebilir.

Yaygın olarak “yöneylem araştırması” adıyla bilinen sayısal yöntemler, II. Dünya Savaşı sırasında geliştirilmiştir. Ancak, bu araştırmaların bilimsel temelleri

¹ S. Akalın, Yöneylem Araştırması. Ege Üniversitesi Matbaası (1979) 23.

² H. H. Tütek ve Ş. Gümüşoğlu, Sayısal Yöntemler - Yönetimsel Yaklaşım. Beta Basım yayım Dağıtım (1994) VII.

daha eskilere dayanmaktadır. Dinamik modellerin ilk biçimi 1856-1922 yılları arasında yaşamış olan Markov, kuyruk kuramı ile ilgili ilk çalışmalar ise, 1878-1929 yılları arasında yaşayan Erlang tarafından geliştirilmiştir³. 1900'lü yılların başlarında Danimarkalı bir mühendis olan A. K. Erlang, telefon konuşmaları esnasında oluşan bekleme zamanı ve izdihamı azaltmak amacıyla bir çalışma başlatmıştır⁴.

Kuyruk sistemlerinin araştırılması 1940'lı yılların sonu ve 1950'li yılların başında araştırma işlemlerinin yapılmasıyla gündeme gelmiştir. Morse, konuyla ilgili ilk kitabı, "Queues, Inventories, and Maintenance" (Kuyruklar, Stoklar ve Bakım) 1958 yılında yazmıştır. Daha sonraki dönemlerde "Elements of Queueing Theory With Applications" (Uygulamalarla Kuyruk Teorisinin Elemanları) adlı kitap Saaty ve "Queueing Systems" (Kuyruk Sistemleri) adlı kitap ise, Kleinrock tarafından yazılmıştır. Bugün bu konu üzerine yazılmış 40'dan fazla kitap bulunmaktadır⁵.

Kuyruk teorisi ile ilgili problemler, yığılma olaylarından kaynaklanır. Bir süpermarkette kaç kasa bulundurulacağı, bir şehir merkezinde kaç adet otomatik para çekme makinesi kurulacağı, bir vergi dairesinde tahsilat için kaç vezne açılacağına ilişkin sorunlara kuyruk teorisi ile çözüm getirilebilir. Kuyruk teorisinin analizinden önce, "sistem" kavramına açıklık getirilmesi gerekmektedir.

Ergonomik yaklaşımda sistemler, "insan-makine-çevre ilişkileri içinde düşünülürler. Sistem kavramı ayrıca; psikolojik, sosyolojik ve biyolojik gibi farklı yaklaşımlar, teknolojik gereksinimler, ya da yönetim sorunları gibi, özel bakış açılarına da yer vermek zorundadır. Ergonomi uğraş alanında temel amaç, insan faktörünün verimliliği, sistem içinde entegrasyonu ve iş yaşamının insanlaştırılması

³ H. H. Tütek ve Ş. Gümüsoğlu, a.g.e., VI.

⁴ D. R. Anderson, D. J. Sweeney, T. A. Williams, An Introduction to Management Science - Quantitative Approaches to Decision Making. (1991).

⁵ R. W. Hall, Queueing Methods for Service and Manufacturing. (1991) 3.

olduğundan insan-makine sistemlerinin bu amaca uygun prensiplerle kurulması da önemlidir⁶.

En basit şekli ile bir sistem, insan ve onu kullandığı araç ya da gereç olarak düşünülebilir. Basitten karmaşık sistemlere doğru giderken; bir daktilo makinesi, hesap makineleri, motorlu araçlar, elektronik cihazlar ve bilgisayarlar gibi giderek daha karmaşık özellikler gösteren insan-makine sistemlerini düşünebiliriz⁷.

Bunlara ilaveten, hizmet verenin iş alanını tasarlarken, çalışma çevresindeki bileşenlerin (aleti makine, insan, vs.) nasıl yerleştirileceği önem taşır. Burada fayda ve zaman kavramları ön plandadır. Eğer zaman bir faktörse, hizmet verenin hızlı tepkilerinden çok, çalışma çevresindeki hareketliliği önem taşır. Hizmet verenin oturup oturmayacağı, çalışanların birbirleriyle olan sosyal ilişkileri ve iletişimleri iş yeri tasarımında önemli faktörlerdir⁸.

Çalışanın çalışma alanının düzenlenmesinde iki faktör önemlidir. Birincisi; iş arkadaşları, müşteriler ve makinalarla iletişim gereksinimidir. İkincisi ise; o anda çevredeki insanların pozisyonuna dayanan rahatlık ve kolaylık hissiyle ilgilidir. Bu durumda, şahsi yer ve bölge gibi kavramlar, bu faktörlerin performansına nasıl yardımcı olacaklarını açıklamak için hayvan davranışları analizlerinden alınmıştır⁹.

Kuyruk teorisi, bekleme hatlarının matematiksel çalışmasıdır. Hizmet kanallarında verilen hizmete olan talep, hizmet verenin kapasitesini aşınca bekleme hatları oluşur. Aynı zamanda, hizmet imkanlarının boş (atıl) kalması da, bir çeşit kuyruk oluşturur. Hizmetin gerektiğinden fazla sağlanması, işgücü maliyetinin yükselmesine yol açar. Yetersiz hizmet ise, uzun kuyruklara ve iş kaybına neden

⁶ N. Erkan, Ergonomi - Verimlilik, Sağlık ve Güvenlik İçin İnsan Faktörlüğü Mühendisliği. (1995) 159.

⁷ N. Erkan, a.g.e., 159.

⁸ D.J. Osborne, Ergonomics at Work. (1991) 188.

⁹ D.J. Osborne, a.g.e., 205.

olur. Bu nedenle, kuyruk sistemlerinde hedef, hizmete olan taleple sağlanan hizmet arasında finansal olarak kararlı bir denge sağlamaktır¹⁰.

Yapılarında kuyruk oluşumu gösteren problemleri ikiye ayırabiliriz¹¹:

1. Birinci tip problemlerde sisteme önceden belirlenemeyen girişler yapılmaktadır ya da hizmetler belirsiz sürelerde gerçekleştirilmektedir. Modelin kurulmasında ve çözümündeki amaç, hizmet imkanlarının optimum sayısının ve optimum giriş debisinin saptanmasıdır. Bu tip problemlerin modelleri bekleme hattı teorisi ile kurulabilmektedir.

2. İkinci tip problemlerde giriş debileri ve imkan sayıları yerine, birimlere yapılacak hizmetin sıra ve aşamaları önemlidir. Bu tip problemlere sıra veya safha problemi ismi verilir.

İnsanlar her gün süpermarkette, trafikte, postanede kuyrukta beklemektedirler. Hizmet beklerken geçirilen zaman, kuyrukta bulunulan zamandır. Ancak, kuyruklar sadece bunlardan ibaret olmayabilir ve insanları içermeyebilir. Temizlenmeyi bekleyen takım elbise, daktilo edilmeyi bekleyen evrak, mahkemede sonucu beklenen dava da bir çeşit kuyruktur. Kuyruk, hizmet edilmesi gereken insan, görev ve objeler topluluğudur. Kuyruk olmanın asıl ögesi beklemektir¹².

Günümüz işletmelerinin önemli sorunlarından biri, müşterilerine etkin bir hizmet sistemi yönetimini oluşturamamaktır. Kuyruk modelleri bu konuda yöneticilere oldukça faydalı olabilmektedir. Hizmet için gelen müşteriler taleplerinin biran önce karşılanmasını isterler. Çünkü, müşteriler fazla beklediklerinde psikolojik bir tedirginliğe girdikleri gibi, zamanlarını boşa harcamalarının da bir maliyeti

¹⁰ J. Oberstone, Management Science - Concepts, Insights, Applications. (1990).

¹¹ İ. İ. Karayalçın, Endüstri Mühendisliği ve Üretim Yönetimi El Kitabı - II. Cilt. (1986) 408.

¹² R. W. Hall, a.g.e., 1.

vardır. Müşteriler gereğinden fazla bekletildiğinde, işletme büyük bir olasılıkla, müşterilerinin bir çoğunu kaybedecektir¹³.

Hizmet sistemlerinin yapısı, imalat sistemlerine göre farklılıklar göstermesine rağmen, kaliteli bir çıktıya ulaşmak her ikisinde de en önemli amaçtır. Hizmet sisteminde kalitenin iyileştirilmesi, hizmet süresini kısaltacak, beklemeyi azaltacak ve böylelikle müşteri memnuniyetini artıracaktır.

Kalite iyileştirme sistemi, bir ürün, hizmet ya da araştırma ortaya koyan ve yaptığı işin kalitesini ve miktarını artırmak, aynı zamanda işgücünü ve maliyeti azaltmak isteyen herkese yardımcı olabilir. Hizmet de imalat gibi iyileştirilmeye ihtiyaç duyar. Hizmet organizasyonlarında verimsizlik, tıpkı imalatta olduğu gibi tüketici için fiyatları yükseltir ve yaşam standardını düşürür. İyileştirme ilke ve yöntemleri, hizmet ve imalat için aynıdır. Bunun yanında, imalat şirketlerinin birbirinden farklı olması gibi, uygulamanın kendisi üründen ürüne, hizmetten hizmete farklılık gösterir¹⁴.

Hizmet kuruluşlarındaki performans eksikliğine ilişkin yaygın olan üç açıklama mevcuttur: yöneticileri ciddi ve sistemli değildir, elemanlar olmaları gerektiği kadar iyi değildir ve elde edilen sonuçlar yetersiz ve elle tutulabilecek nitelikte değildir. Söz konusu üç nedenin hepsi de geçersiz ve sadece bir mazeret niteliğindedir. Hizmet kuruluşlarının temel problemi, performanstan çok, verilen sözlere önem vermesinden ve elde edilecek sonuçlardan çok bütçeye bel bağlamasından kaynaklanmaktadır¹⁵.

Hizmet kuruluşlarıyla hizmet elemanlarının görevlerini yerine getirmelerini sağlamak için deha olmaya gerek yoktur. Öncelikle bu tür kurumların somut

¹³ A. Öztürk, Yöneylem Araştırması. (1994) 263.

¹⁴ W.E. Deming, Krizden Çıkış. (1996) 150.

¹⁵ P.F. Drucker, Yönetimin Görevleri, Sorumlulukları, Uygulamaları. (1994) 127.

hedeflere ve amaçlara ihtiyacı vardır. Sonra da hangi kaynakların üstünde yoğunlaştırılması gerektiğini bildiren öncelikli konuların saptanması gerekir. Ayrıca, başarıda somut değerlerin oluşturulması da gerekmektedir. Bunlara ek olarak, modası geçmiş ve kullanılmayan yöntemlerden kurumun kendisini düzenli bir şekilde arındırması zorunludur. Söz konusu dört gereklilik de, iş kolundaki hizmet elemanları kadar toplumdaki hizmet kuruluşları için de geçerli ve önemlidir¹⁶.

Hizmeti veren kişi, ya da makine oldukça meşgulse, kuyruklar gitgide uzar ve sistemi engeller. Daha uzun bir süre bekleyeceğinin farkına varan müşteriler başka bir sistemden hizmet almak üzere kuyruğu terk edebilirler. Bu nedenle yöneticiler, daha fazla memur, ya da makineyi sisteme sokarlar. Bu görevlendirme, elbette müşterilerin bekleme zamanını azaltır ve kuyrukları kısaltır. Ancak, maliyetleri de artırır. Daha fazla memur, ya da makineye ödeme yapacak olan yöneticiler, görevlendirmenin ortalama bekleme zamanı ve kuyruk uzunluğu üzerindeki nihai etkisini bilmek isterler¹⁷.

Daha fazla banka memuru, gişe görevlisi, ya da garson sayısının artırılması, hizmeti geliştirmede her zaman en ekonomik strateji olmadığından, bekleme hattının karakteristiğini anlamak ve bekleme zamanlarını uygun limitler arasında tutmanın yolları araştırılmalıdır. Yöneticilerin, bekleme hatlarının faaliyetlerini anlamaları ve onlarla ilgili daha doğru kararlar verebilmelerine yardımcı olmak amacıyla kantitatif modeller geliştirilmiştir. Yönetim bilimi terminolojisinde bir bekleme hattı, bir “kuyruk” olarak tanımlanır ve bekleme hatlarıyla ilgilenen bilime de “kuyruk teorisi” adı verilir¹⁸.

Çizelge 1.’de çeşitli kuyruk problemleri gösterilmektedir. Geliş kaynaklarından hizmet talep eden müşteriler gelmektedir. Hizmet verenler, gelen

¹⁶ P.F. Drucker, a.g.e., 144-145.

¹⁷ P. G. Moore, Basic Operational Research. (1983) 64.

¹⁸ D. R. Anderson; D. J. Sweeney; T. A. Williams, a.g.e., 513.

müşterilere talep ettikleri hizmeti vermektedirler. Hizmet mekanizması yapılan işlerdir. Geliş kaynağı çok büyükse, ya da hizmet verenler yeteri kadar hızlı değillerse, müşteri kuyrukları oluşmaya başlar. Uzayan kuyruklar müşteriler açısından maliyet ve zaman kaybı doğurur. Fazla uzun kuyruğa dayanamayan müşteri kuyruğu terk edebilir. Yöneticiler ise, çoğu zaman bunun etkilerini hemen kavrayamazlar.

Çizelge 1. Kuyruk Problemleri Örnekleri.

Hizmet Yeri	Geliş Kaynağı	Hizmet Verenler	Hizmet Mekanizması
Benzin istasyonu	Taşıtlar	Dolum işçisi	Otomobile benzin, ya da
Liman	Gemiler	İskelede çalışanlar	Gemilerin tahmil ve tahliyesi
Klinikler	Hastalar	Doktorlar ve Hemşireler	İlaçla ilgili tedavi
Sinema	Sinema izleyicileri	Gişe görevlisi	Bilet satışı
Otel	Turistler ve işadamları	Resepsiyon görevlisi	Müşteri ağırlama olanakları
Tamir-Bakım Servisi	Bozulan makinalar	Tamirci ustası	Makinaların tamiri ve bakımı
Otopark	Otomobiller	Otopark görevlisi	Otomobillerin park edilmesi
Sekreter masası	Dosyalar	Sekreter	Dosyaların daktilo edilmesi
Bankamatikler	Para çekecek müşteriler	Otomatik para çekme makinaları	Para çekilmesi

3.1.1. Kuyruk sistemi ve elemanları

Müşteriler kuyruğa dışarıdan gelir. Hizmet veren personel meşgul ise, hizmet disiplinine göre sıra kendisine gelinceye kadar bekler. Sırası gelen müşteri hizmet veren personel boş olduğunda sisteme girer ve ihtiyacı karşılandıktan sonra kuyruk sisteminden ayrılır. Kuyruk sistemi çalışmaya başladığında, sistemin geçici durum koşulunda olduğu söylenir. Yeterli bir süre geçtikten sonra sistemin durumu, belirli beklenmeyen koşullar dışında, ilk duruma ve geçen süreye bağımlı olmaz¹⁹. Bu çalışmada, kuyruk kuramının durağan durumda işlediği düşünülecektir; çünkü zamanın çoğunda sistem durağan durumda işlediği için geçici durumları analitik model haline getirmek güç olmaktadır.

Kuyruk sistemlerindeki gelişler arası ve hizmet zamanlarındaki belirsizlik, olasılık ve istatistik yöntemlerini analizini gerekli hale getirir. Kuyruk sistemi içinde ele alınan sorular, genellikle sistem performansının ölçüleriyle ilgilidir ve aşağıdaki gibi sıralanabilir²⁰:

- Hizmet verilmeden önce bir müşterinin kuyrukta ne kadar süre beklemesi umulur, ve hizmet tamamlanmadan önce ne kadar süre beklemek zorunda kalacaktır?
- Hizmet verilmeden önce, bir müşterinin verilen bir zaman aralığından daha fazla beklemek zorunda olma olasılığı nedir?
- Kuyruğun ortalama uzunluğu nedir?
- Kuyruğun belli bir uzunluğu aşma olasılığı nedir?
- Hizmet verenin beklenen kullanım oranı ve tam olarak meşgul olduğunda, beklenen zaman nedir?

¹⁹ A. Öztürk, a.g.e., 266.

²⁰ J. E. Beasley, Operation Research Notes. (1997).

Bu soruların cevaplanması, sistemi kontrol etmek üzere, yönetime bir denemede alternatifleri değerlendirme imkanı verir. Uygulamada araştırılan bazı problemler ise şu şekildedir²¹:

- Hizmet zamanını azaltmada harcanan çabaya değer mi?
- Kaç adet hizmet veren işe yerleştirilmelidir?
- Belirli tip müşteriler için öncelikler ileri sürülmeli midir?
- Müşteriler için bekleme alanı yeterli midir?

Yukarıdaki sorulara cevap bulmak için iki temel yaklaşım vardır: analitik yöntem, ya da formüle dayanan kuyruk teorisi; ve bilgisayara dayalı simülasyon. Birden fazla yaklaşım olmasının nedeni, analitik metotların sadece nispeten daha basit kuyruk sistemleri için elverişli olmasıdır. Karmaşık yapıdaki kuyruk sistemleri hemen hemen her zaman simülasyon tekniği kullanılarak incelenir²².

Genel anlamda, bir kuyruk sisteminin sadece üç temel ögesi vardır: *müşteri*, *hizmet veren ve kuyruk*. Yalın olmasına rağmen, temel öğeleri tanımlamak her zaman kolay değildir. Hatta bazen müşteri ve hizmet verenin rolleri değişir. Örneğin, boş bir tezgahın bir “müşteri” gibi görünüp, gerçek bir müşteriye hizmet için bekliyor olabilir.

Kuyruk sistemlerinin ana elemanlarını aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

1. **Müşteri**, hizmet için bekleyen kişidir. Mektup atmak için sıra bekleyen bir insan kuyruğu durumunda, “müşteri”, kelimenin tam anlamıyla bir müşteridir. Ancak, müşteriye tanımlamak her zaman kolay değildir. Bir süpermarket kasasında, kişilerin algılamalarına göre, müşteri hem kuyruktaki alışveriş eden kişi, hem de

²¹ J. E. Beasley, a.g.e.

²² J. E. Beasley, a.g.e.

satın alınan mallar olabilir. Her ikisi de hizmet için beklemektedir. Diğer bir deyişle, “Bir müşteri mutlaka bir insan olmak zorunda değildir”²³.

Kuyruk sistemine gelen birimlerin hangi ilkelere göre geldiğiyle ilgilenen işleme girdi işlemi denilmektedir. Girdi işlemleri, hizmet talebinde bulunan müşterilerin sisteme gelişinin akışını belirtir. Sistemin girdi sürecinin belirlenebilmesi için gelişlerin zaman aralıklarının, sayısının ve kaynağının bilinmesi gerekir. Girdi işleminin gelişleri ve kuyruk sistemi değişik biçimde olabilmektedir²⁴:

- a) Belirli bir zamandaki varışların sayısı tek, sabit sayıda gruplar veya değişken sayıda gruplar halinde olabilmektedir.
- b) Potansiyel müşterilerin sayısı belirli veya sonsuz olabilmektedir.
- c) Müşterilerin varışları arasındaki zaman aralıkları sabit, tesadüfi, üslü ya da başka bir dağılım şeklinde olabilmektedir.
- d) Varışların ortalama oranı üç şekilde olabilir. Bu oran; sabit, zamanla birlikte değişken ve kuyruktaki durumdan etkilenebilir özellikte olabilir.
- e) Dış etkenlerin müşterilerin varışları üzerinde etkisi olabilir veya olmayabilir.

2. *Hizmet veren*, hizmeti sağlayan kişidir. Müşteride olduğu gibi bu terimi de tanımlamak bazen zor, bazen kolaydır. Yine, mektup kuyruğu için, hizmet veren kişi en yakın bir posta memuru olabilir. Ancak, daha geniş bir şekilde algılandığında, hizmet veren, planlı şekilde müşteriye hizmet eden tezgahtarı, kasa defterini ve diğer makineleri de kapsar. Çünkü, bunların hepsi de hizmet vermek için gerekli ve hizmet verenin bir parçasıdır.

3. *Kuyruk (bekleme hattı)*, hizmet için bekleyen müşteri grubudur. Hizmet imkanlarına gelen müşteri sayısının, kanalın o andaki kapasitesini aştığı zaman ortaya çıkan bekleme hattıdır²⁵. Kuyruk, düzgün bir sıra olmak zorunda değildir.

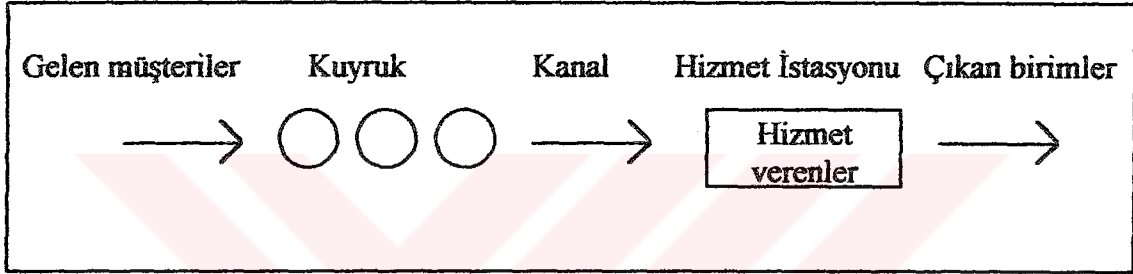
²³ R. W. Hall, a.g.e., 4.

²⁴ M. Tekin, *Kantitatif Karar Verme Teknikleri* (1991) 230-231.

²⁵ J. Oberstone, *Management Science*. (1990) 491.

Hatta görünür olması da gerekmez. En basit olarak kuyruk, isteğini belirtmiş ancak hizmeti henüz alamamış müşteri grubudur. Hizmet için talepte bulunma bir çok farklı şekilde olabilir: bir insanın kuyruğun sonundaki varlığı, bir telefon görüşmesi, bir parça işin sunulması gibi.

Kuyruk sisteminin ana elemanlarını içeren genel yapısı Şekil 1.'de gösterilmektedir. Söz konusu genel kuyruk yapısı kuyruk problemlerinin hemen hemen hepsi için geçerlidir.



Şekil 1. Genel kuyruk sistemi.

Kuyruk modellerinin yapısal yönleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir²⁶:

1. Geliş Süreci: Bu, müşterilerin sisteme gelişlerini tanımlayan süreçtir. Geliş süreci, gelişler arası zamanların dağılımı tarafından karakterize edilir. En basit durum, gelişlerin tamamen tesadüfi olarak aynı anda meydana gelmesidir. Söz konusu durum gelişler arası süreler için üstel dağılımı ortaya çıkartır. Diğer olasılıklar genel gelişler arası dağılımları veya bir seferde birden fazla geliş içerir.

2. Hizmet Süreci: Hizmet süreci, bir müşteriye hizmet vermek için gereken sürenin dağılımı tarafından belirlenir. Yine, analiz edilecek en basit durum, hizmet süresi dağılımının üstel olduğu zamandır. Diğer hizmet süresi dağılımları daha karmaşık kuyruk modellerine sebep olurlar.

3. Hizmet Disiplini: Kuyruktaki müşteriler bu kurala göre hizmet görürler. Servis sistemlerinde ortaya çıkan kuyruk problemlerinin çoğu “ilk gelen, ilk hizmet

²⁶ S. Nahmias, Production and Operations Analysis (1997) 427-428.

görür” kuralına uyar. Bu, genellikle adil olduğu düşünülen kuraldır. Bununla birlikte, diğer hizmet disiplinleri de yaygın olarak kullanılır. Örneğin, marketten süt satın alırken kutudaki tarihleri kontrol edebilir ve en geç son kullanma tarihine sahip olanını alabiliriz. Süt kutularını kuyruk gibi düşünürsek, hizmet disiplini “son gelen, ilk hizmet görür” kuralına uyar. Hastanelerin acil servisleri, travması bulunan hastalara, daha az ciddi sorunları bulunan hastalara göre öncelik tanıyacaktır. Bu da, öncelikli hizmet disiplini olarak adlandırılır.

4. Kuyruğun Kapasitesi: Bazı durumlarda kuyruğun büyüklüğü sınırlı olabilir. Örneğin, lokantalar ve tiyatro salonları sadece sınırlı sayıda müşteriye ağırlayabilirler. Matematiksel bir bakış açısıyla, en basit varsayım, kuyruk büyüklüğünün sınırsız olmasıdır. Sonlu bir kapasite olduğunda bile, kuyruğun dolması beklenmiyorsa, kapasite baskısını göz ardı etmek mümkündür.

5. Hizmet Verenlerin Sayısı: Kuyruklar, tek kanallı ve çok kanallı olabilir. Bir banka çok kanallı kuyruğa iyi bir örnektir. Müşteriler tek bir sıra oluştururlar ve bir sonraki elverişli kanal (hizmet veren) tarafından hizmet edilirler. Buna karşılık, tipik bir süpermarketin kasalarının bulunduğu alan, çok kanallı bir kuyruk değildir. Çünkü, bir müşteri belirli bir sıraya dahil olmak zorundadır; bu tek kanallı kuyrukların bir paralel sistemidir. Çok kanallı kuyruğun diğer bir örneği de, havaalanı pistleridir; uçaklar birçok pistten birine inerler, ya da pistlerin birinden kalkarlar.

6. Şebeke Yapısı: Bir kuyruklar şebekesi (ağı), bir kuyruğun çıktısı diğer bir kuyruğun girdisi olduğunda ortaya çıkar. Bir çok imalat süreci genellikle bir kuyruk şebekesinin çeşitli biçimleridir. Otoyol sistemleri ve telefon bağlama sistemleri diğer örneklerdir. Şebeke kuyruk yapılarını matematiksel olarak incelemek oldukça zordur.

3.1.2. Temel kavramlar

Kuyruk modelleriyle ilgili bu çalışmada kullanılacak temel kavramlar aşağıda verilmiştir. Söz konusu kavramlar, genel olarak yerli kaynaklardan faydalanılarak isimlendirilmiş, fakat açıklamalarda yabancı literatürden de yararlanılmıştır.

1. **Müşteri (girdi kaynağı):** Hizmetten yararlanmak üzere sisteme gelen birimlerdir. Kişiler, makineler, yarı mamuller ve diğer nesneler müşterilere örnek olarak verilebilir. Girdi kaynağının (müşterilerin) büyüklüğü sonlu, ya da sonsuz olabilir. Hizmet talep eden müşteri sayısı, hizmet alanlardan bağımsızsa kitle sonsuz olarak düşünülebilir. Hizmet alanlar, talep edenlerin önemli bir bölümünü temsil ediyorsa kitle sonludur. Girdi kaynağının yapısı, girdi kaynağındaki birimlerin tutum ve davranışlarıyla uyusmaktadır.
2. **Hizmet kanalı:** Müşterilere hizmeti veren sistem, ya da süreçtir. Kuyruk teorisinde sistemler kanal sayısına göre sınıflanmaktadır. Servis kanalları tek, ya da çok kanallı olabilirler. Tek kanallı hizmet kanalında hizmet verilen tek bir yer bulunmakta ve hizmeti alan müşteri sistemden ayrılmaktadır. Çok kanallı sistemlerde birden fazla hizmet yeri bulunur ve müşteriler her hizmet yerinin önünde kuyruk oluştururlar. Sıra merkezli kanallarda bir müşteri birkaç hizmet merkezinden sırayla geçerken, paralel kanallı sistemlerde birçok müşteri birer hizmet merkezinden geçmektedir. Bu çalışmada “tek kanallı” kuyruk sistemleri incelenecektir.
3. **Geliş hızı (λ):** Birim zamanda hizmet almak üzere gelen müşteri sayısı geliş hızı olarak tanımlanır. Bu değer dağılımına bakarak yapılacak olan varsayımların matematik modellere etkisi son derece önemlidir²⁷. Bu çalışmada geliş hızının Poisson dağılımına göre, tesadüfi dağıldığı varsayılmış ve geliş hızı ortalama değeri “ λ ” olarak kabul edilmiştir.

²⁷ O. Halaç, Kantitatif Karar Verme Teknikleri. (1995) 235.

4. **Hizmet hızı (μ):** Gerekli müşteri hizmetlerini gerçekleyen hizmet kanalındaki müşteri sayısıdır ve birim zamandaki müşteriler olarak belirlenir. Hizmet kanalı daima meşgulse veya diğer bir deyişle boş zaman yoksa, mutlaka gerçekleşmesi gereken hizmet hızı vardır. Bu oran değerinin dağılımı, matematik karmaşıklık derecesinin belirlenmesinde oldukça önemlidir²⁸. Bu çalışmada hizmet hızının Poisson sürecine göre tesadüfi dağıldığı varsayılacaktır.
5. **Hizmet disiplini (öncelik):** Bir kuyruk sistemi tanımlanırken, ilk önce bekleyen birimlerin hizmet için sıraya konma davranışı açıklanmalıdır. Farklı sistemlerde farklı öncelikler (kuyruk disiplinleri) uygulanabilmektedir²⁹. Müşterilerin hizmet için seçilme düzenine hizmet (kuyruk) disiplini denir. Hizmet için gelen müşteriler kuyruğa girdiğinde, belirli bir zamanda servise girmeleri hizmet disiplinince belirlenir³⁰. Uygulanacak hizmet disiplinini belirlemede çeşitli yöntemler kullanılır. Söz konusu yöntemler analizler için kullanılan denklemlerin türevlerini de etkiler. Bunlardan en çok kullanılanları FIFO, LIFO ve SIRO kuralıdır. FIFO (ilk giren-ilk çıkar) en yaygın disiplindir. SIRO (tesadüfi düzene göre hizmet) disiplininde ise, hizmet sırası rasgeledir ve müşterilerin geliş sırası ile bağlantılı değildir. Bunlara ek olarak, önce sıra alanlar (rezervasyon yaptıranlar) kuralı, hizmetin ivedilik özelliği kuralı, en kısa servis zamanı gerektiren işler için gelenler ilk önce servis görür kuralı da servis disiplininde kullanılır.
6. **Geliş kaynağı (anakütle hacmi):** Müşterilerin oluşturduğu grubun büyüklüğü, ya da hacmidir. Az sayıda muhtemel müşteri varsa anakütle sonludur. Muhtemel müşteri sayısı çoksa, örneğin, ellinin üzerinde müşteri varsa, müşteri geliş kaynağı sonsuzdur.

²⁸ O. Halaç, a.g.e. 236.

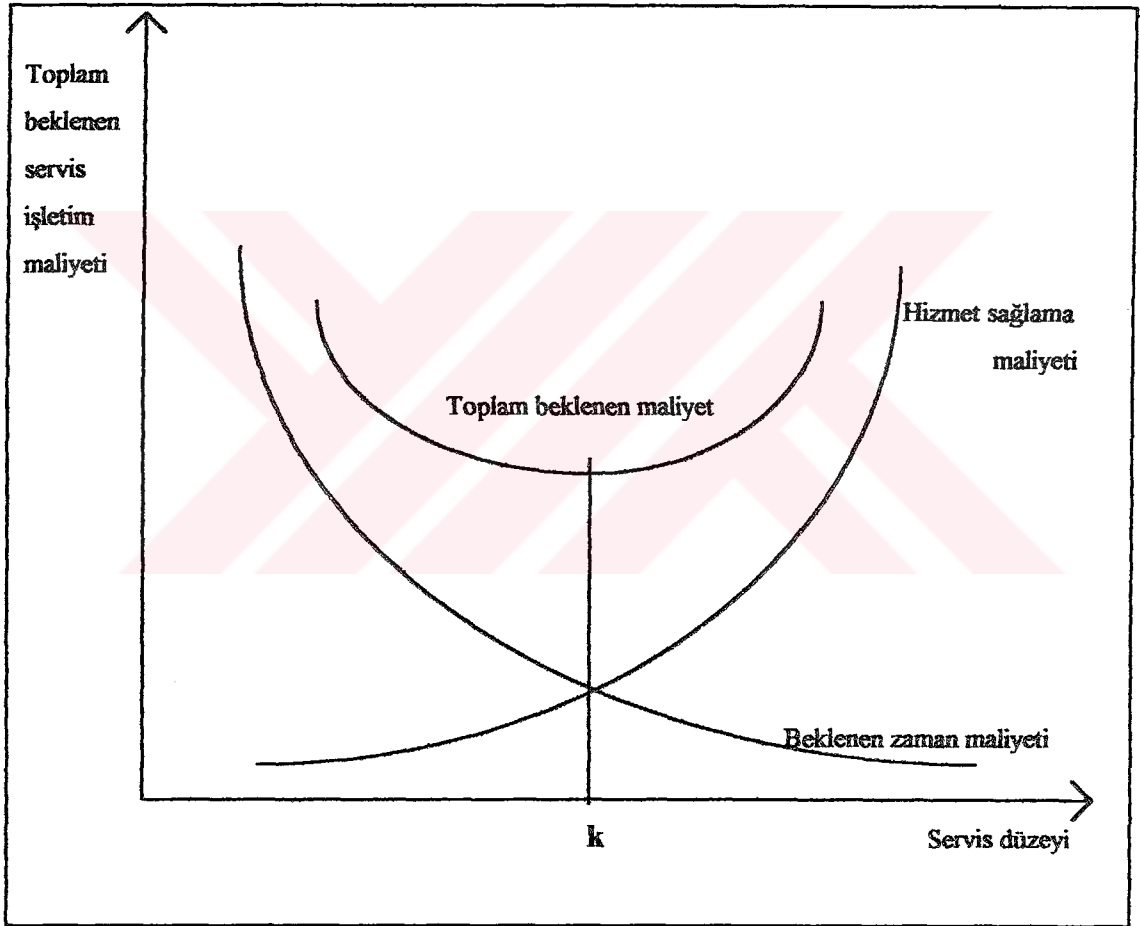
²⁹ D. R. Anderson; D. J. Sweeney; T. A. Williams, a.g.e., 518.

³⁰ A. Öztürk, a.g.e., 264.

7. **Geliş hızı dağılımı:** Müşterilerin servis sistemine gelişleri çeşitli özellikler göstermektedir. Müşterilerin gelişleri bazen kontrol edilebilir, bazen de kontrol edilemez. Ayrıca gelişler belirli bir zamanda tek kişi veya gruplar halinde olabilir. Müşterilerin gelişlerinin olasılık dağılımının genel olarak Poisson dağılımına uyduğu varsayılır. Bu varsayım sonucu servis veya geliş olaylarının birbirinden tamamen bağımsız oldukları düşünülür. Gelişleri açıklamak için üstel dağılım, sabit dağılım ve Erlang dağılımı da kullanılmaktadır. Söz konusu dağılımlar Bölüm 3.2.'de incelenecektir.
8. **Kuyruktaki ortalama müşteri sayısı (L_q):** Hizmet görmek üzere bekleyen müşteri sayısıdır. Buna kuyruk uzunluğu da denmektedir.
9. **Sistemdeki ortalama müşteri sayısı (L_s):** Hizmet görmekte olan ve kuyruktaki bekleyen müşteri sayısıdır.
10. **Kuyruktaki bekleme süresi (W_q):** Bir müşterinin kuyruktaki bekleyerek harcadığı ortalama süredir.
11. **Sistemdeki bekleme süresi (W_s):** Müşterinin kuyruktaki bekleme süresi ile serviste harcayacağı sürenin toplamıdır. $W_s = W_q + 1/m$ olarak hesaplanmaktadır.
12. **Hizmet sistemindeki ortalama müşteri sayısı (L_n):** Bekleme hattında (kuyruktaki) hiç müşteri olmadığı süreler düşünülmez, kuyruktaki bekleyen ortalama veya ümit edilen müşteri sayısıdır. Örneğin, kuyruktaki bekleyen müşteriler sayılarak ve ortalamaya yalnız sıfır olmayan süreleri alan bir örnekleme yapılırsa $L_n = L_s$ olacaktır³¹.
13. **Bir müşterinin ortalama bekleme süresi (W_n):** Boş olmayan kuyruk sistemlerinde bir müşteri daima kuyruktaki beklerse, müşterinin kuyruktaki bekleme süresidir. Bu değer, servis kanalı dolu olduğunda, kuyruğa giren bütün müşteriler için ortalama bekleme süresidir. Kanal boş olduğu zaman gelen müşteriler sıfır bekleme süresine sahip olurlar ve bu değer W_n 'in ortalamasını hesaplarken göz önüne alınmaz.

³¹ O. Halaç, Kantitatif Karar Verme Teknikleri. (1995) 236.

Kuyruk modellerinde iki çeşit maliyet vardır. Birincisi, müşterilerin hizmet görmek için bekledikleri zaman kaybının maliyetidir. Buna bekleme zamanı maliyeti adı verilir. İkincisi ise, müşteri hizmetini sağlama maliyetidir. Hizmet düzeyi artarken, bekleme maliyeti azalır, ancak hizmet sağlama maliyeti artar. Yöneticiler hizmet düzeyini artırırken bekleme zamanı maliyetini en düşük seviyede tutmayı amaçlar. Bu iki maliyetin toplamının en az olduğu noktada (k) hizmet düzeyi işletme için en iyi miktar olmaktadır³². Maliyetler arası ilişkiler Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil.2: Servis düzeyi - maliyet ilişkisi.

³² A. Öztürk, a.g.e., 265.

3.1.2.1. Kendall-Lee-Taha notasyonu

Kuyruk problemleri için modellerin oluşturulmasında bazı notasyonlar geliştirilmiştir. Bunların en çok kullanılanı, üç bilim adamının katkılarıyla oluşan Kendall-Lee-Taha notasyonudur.

1953 yılında D. Kendall, çok kanallı kuyruklarda geliş dağılımı, hizmet süresi dağılımı ve sistemde bulunan paralel hizmet sayısını tanımlamak üzere faydalı bir notasyon önermiştir. Çeşitli kuyruk modellerini sınıflamada yardımcı olan üç sembolü bu notasyon şu şekildedir:

A/B/s

Burada “A” sembolü, gelişlerin sayısı için olasılık dağılımını; “B” sembolü, hizmet süresi için olasılık dağılımını ve “s” sembolü de, kanal sayısını temsil etmekteydi. Kendall notasyonu kullanılarak, Poisson gelişli ve üstel hizmet süreli tek-kanallı kuyruk, bir M/M/1 modeli olarak sınıflanmaktadır³³.

Daha sonra, 1966’da A. Lee, notasyona dördüncü ve beşinci karakteristikler olan, hizmet disiplini ve sistemde bulunan azami müşteri sayısını eklemiştir. Hamdy A. Taha, altıncı bir karakteristik olan geliş kaynağını 1968 yılında notasyona katarak, formülü daha kapsamlı hale getirmiştir³⁴.

Kendall-Lee-Taha notasyonunu şu şekilde gösterebiliriz³⁵:

(a/b/c) : (d/e/f)

Burada:

a : Geliş (veya gelişler arası) dağılımını,

b : Ayrılış (veya hizmet süresi) dağılımını,

³³ D. R. Anderson; D. J. Sweeney, T. A. Williams, a.g.e., 532.

³⁴ O. Halaç, a.g.e. 238-239.

³⁵ H. Taha, Operations Research - An Introduction. (1997) 627.

c : Sistemde bulunan paralel hizmet kanalları sayısını,
 d : Hizmet (kuyruk) disiplini,
 e : Sistemde (hizmet ve kuyrukta) müsaade edilen azami müşteri sayısını,
 f : Geliş kaynağı (anakütlesi) büyüklüğü, ya da müşteri sayısını göstermektedir.

Uygulamada a,b ve d sembolleri yerine, alışılmış kodlar kullanılır. c'nin yerine ise pozitif sayılar kullanılmaktadır. e ve f ise sonlu sayılar, ya da sonsuz işareti ile gösterilebilir. Verilen notasyonda bulunan özellikleri şu şekilde açıklayabiliriz:

a ve b simgeleri için:

M : Poisson geliş ve ayrılış dağılımı (bu, gelişler arası sürenin veya hizmet süresinin üslü dağılması ile aynı anlamdadır).

D : Deterministik gelişler arası süre veya hizmet süresi.

Ek : Gelişler arası veya hizmet süresi dağılımının Erlang veya Gamma dağılımı.

GI : Gelişlerin (veya gelişler arası sürenin) bağımsız dağılımı.

G : Ayrılış (veya hizmet süresinin) genel dağılımı.

d simgesi için:

FIFO : İlk giren - ilk çıkar (first in - first out).

LIFO : Son giren - ilk çıkar (last in - first out).

SIRO : Tesadüfi düzene göre hizmet (service in random order).

GD : Genel hizmet disiplini (general service discipline).

c simgesi, paralel servis kanalı sayısını belirleyen pozitif bir değerdir. Tek kanallı kuyruk modellerinde bu değer bire eşittir ($c = 1$). Çok kanallı modellerde c simgesi birden büyük bir değer alır.

e simgesi, daha önce de belirtildiği üzere, sistemde bulunacak en çok müşteri sayısını verirken, f simgesi de geliş kaynağının büyüklüğünü, ya da miktarını belirtmektedir.

Bir örnek verelim: (M/M/1) : (FIFO/30/500)

Bu yazılıma göre, kuyruk sisteminde gelişler ve hizmet zamanı Poisson dağılım göstermekte olup, sistemde sadece tek bir kanal vardır. Hizmet FIFO (ilk giren - ilk çıkar) kuralı ile yapılacaktır. Sistemde en çok 30 müşteri bulunabilecektir ve geliş kaynağının büyüklüğü 500 birimdir.

3.2. Kuyruk Modellerinde Kullanılan Olasılık Dağılımları

Düzeyi şans tarafından belirlenen değişkene, tesadüfi değişken adı verilir. Bir sonucun ortaya çıkması belirsiz ise, bu sonuç değişken olarak ele alınabilir. Bir deneyin sonuçları tesadüfi değişken olarak ifade edilebilir. Deneyin her sonucuna belirli bir kurala göre atanan sayıya da tesadüfi değişkenin değeri denir. Tesadüfi değişkenin değerleri ve bu değerlerin ortaya çıkma olasılıkları arasındaki ilişkiler olasılık dağılımlarını belirler³⁶.

Olasılık dağılımları kesikli ve sürekli olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Binom dağılımı, poisson dağılımı, hipergeometrik dağılım ve multinom dağılım işletme uygulamalarında kullanılan kesikli olasılık dağılımlarındandır. Üslü dağılım ve normal dağılım ise, sürekli olasılık dağılımlarındandır.

Kuyruk modellerinde müşterilerin geliş yapısının ve onlara verilen hizmet yapısının bilinmesi önemlidir. Müşterilerin kuyruk sistemlerine gelişleri tesadüfi olabileceği gibi önceden de bilinebilir. Müşterilerin kuyruk sistemlerine gelişleri genellikle tesadüfi kabul edilir ve gelişler ile gelişler arasındaki süreyi açıklamada olasılık dağılımlarından daha çok “poisson” ve “üslü” dağılım kullanılır. Müşterilerin kuyruk sistemine geliş süreçleri, geliş oranları ve gelişler arasındaki süre bulunarak açıklanır. Geliş oranı (λ) zaman birimi başına müşterilerin kuyruk

³⁶ H. H. Tütek ve Ş. Gümüşoğlu, a.g.e. 27.

sistemine geliş sayısıdır. Gelişler arası süre ise müşterilerin gelişlerine göre aradaki geçen süredir³⁷.

Bir kuyruğu incelerken, her zaman onun uzun dönemdeki davranışı ile ilgileniriz. Aşıkarak, kuyruk herhangi bir zamanda harekete başlar, fakat durulduğu dönemi göz ardı ederiz, bu bir Markov zincirinin sadece sabit olasılıklarını çalışmaya eşdeğerdir. Denge halindeyken, kuyruk hakkında bilmek istediklerimiz bir kaç şey vardır: hizmet verenin kullanım oranı, ortalama müşteri bekleme zamanı, kuyruktaki ortalama müşteri sayısı ve hizmet verenin meşgul olduğu ortalama dönem sayısı³⁸.

Kuyruk sisteminde tamamen tesadüfi gelişlerden bahsettiğimizde, geliş sürecinin bir Poisson süreci olduğunu kastederiz. Tamamen tesadüfi bir hizmet süreci, hizmet sürelerinin üslü dağılıma sahip olduğu anlamına gelmektedir³⁹.

Stokastik süreç, çevremizdeki ilişkilerin ortak bir özelliğidir. Belli olaylara ilişkin gözlediğimiz değerler stokastik süreçlerin sonuçlarıdır. Tesadüfiliği incelemek istatistiğin en önemli uğraşısıdır. Genelde, tesadüfi değişkenler, bir olasılık uzayındaki ilkel olayların alması muhtemel olan değerleri gösterir⁴⁰.

3.2.1. Poisson dağılımı

Poisson ve üslü dağılımları kuyruk kuramında önemli bir rol oynar ve kuyruk modelleri bu iki dağılıma dayanır. Poisson ve üslü dağılımlar Poisson süreci

³⁷ A. Öztürk, a.g.e., 267.

³⁸ I.P. Schagen, Statistics and Operations Research. (1991) 222-223.

³⁹ S. Nahmias, Production and Operations Analysis (1997) 430.

⁴⁰ U. Korum, Matematiksel İstatistiğe Giriş. (1977) 48.

tarafından sağlanır. Poisson süreci tesadüfi bir süre olup, aşağıdaki koşulları sağlamalıdır⁴¹:

1. Süreç bellekli değildir. Bir başka deyişle, bir zaman aralığında meydana gelen olayların sayısı daha önceki dönemlerde meydana gelen olaylardan bağımsızdır.

2. Süreç oranları (geliş oranı λ ve servis oranı μ) ele alınan tüm zaman döneminde sabit sayılır.

3. Küçük zaman biriminde meydana gelen bir olayın olasılığı süreç oranı ile süre zaman birimi çarpımıdır.

4. Sürecin belirli bir zaman aralığında meydana geliş ve servislerin tamamlanma sayılarının olasılığını sağlayan dağılım Poisson dağılımıdır.

5. Süreç olaylarının (geliş ve hizmetin tamamlanması) meydana gelişleri arasındaki sürelerin olasılığını sağlayan dağılım üslü dağılımdır.

Poisson sürecini matematiksel olarak aşağıdaki gibi de tanımlayabiliriz:

Sayma süreci $\{N(t), t \geq 0\}$, $\lambda > 0$ iken, λ oranına sahip bir Poisson süreci olarak adlandırılır. Bunun için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir⁴²:

1. $N(0) = 0$.
2. Süreç bağımsız artışlara sahiptir.
3. Herhangi bir "t" zaman aralığındaki olayların sayısı, λt ortalamaya sahip olarak Poisson dağılımı gösterir. Bir başka deyişle, her $s, t \geq 0$ için,

$$P\{N(t+s) - N(s) = n\} = e^{-\lambda t} \cdot \frac{(\lambda t)^n}{n!} \quad (n = 0, 1, \dots) \quad (1)$$

Bir $\{N(t), t \geq 0\}$ stokastik süreci, eğer $N(t)$, "t" zamanında ortaya çıkmış olayların toplam sayısını gösteriyorsa, sayma süreci olarak adlandırılır⁴³.

⁴¹ A. Öztürk, a.g.e., 268.

⁴² S.M. Ross, Introduction to Probability Models. (1985) 197-198.

Poisson dağılımı, hizmet işlemlerinde bekleme kuyruklarının analizi, stok kalemlerinin talebi, bir zaman aralığında ölüm sayısı ile ilgili sigorta analizi gibi sık sık karşılaşılmayan tesadüfi olayların özel durumları için geliştirilmiştir. Deney sayısının çok fazla, fakat meydana gelme ihtimali çok düşük olan tesadüfi olaylar için Poisson ihtimal fonksiyonundan yararlanmak mümkündür. Bir Poisson işleminde ihtimaller, birim aralıktaki belli bir başarı sayısına ve belli bir aralıktaki başarı sayısına bağlanmıştır⁴⁴.

Yöneylem araştırması, stok kontrolü, bekleme kuyrukları gibi iş idaresi ile ilgili pek çok konuda bu dağılımdan yararlanılmaktadır. Büyük bir mağazada tezgahlar üzerinde müşterilerin talepleri, çok işlek bir havaalanında iniş pistlerine uçak inişleri, bir telefon santraline telefon edilmesi, bir hizmet istasyonuna araçların gelişi gibi pek çok örnek bu dağılımın potansiyel olarak kullanılabileceği alanları göstermektedir. Bunu dışında, bu dağılımın, doğal bilimlerde de çeşitli kullanımları vardır⁴⁵.

Poisson dağılımı ile t uzunluğunda belirli bir zaman aralığında bir şirketin santraline gelen telefon sayısının olasılık dağılımı, ortalama değeri ve varyansı saptanmak isteniyor olabilir.

Ortalama gelişler arası süre (U) = $1/\lambda$, (λ = ortalama geliş oranı). Eğer müşterilerin geliş sayıları (ortalama geliş oranı λ) Poisson dağılımında ise gelişler arasındaki süre ($U = 1/\lambda$) üstel dağılımdır. Bunun karşısı olarak denilebilir ki, gelişler arası süre üstel dağılım ise müşterilerin gelişleri Poisson dağılımı olmalıdır⁴⁶. Bütün geliş süreçlerini açıklamak için ortalama geliş oranı ve ortalama

⁴³ S.M. Ross, a.g.e., 196.

⁴⁴ S. Akalın ve İ.İ. Hasgür, a.g.e., 108-109.

⁴⁵ U. Korum, a.g.e., 132.

⁴⁶ A. Öztürk, a.g.e., 267.

gelişler arası süre yetersiz kaldığından, yapılacak işlem geliş süreçlerinin tüm olasılık dağılımlarını kullanmaktır.

Bir kuyrukta geliş sürecini tanımlamak, verilen bir zaman aralığındaki gelişlerin sayısı için olasılık dağılımını belirlemek demektir. Birçok bekleme hattı durumu için, gelişler tesadüfi bir tarzda oluşur. Bir başka deyişle, her bir geliş, diğer gelişlerden bağımsızdır ve gelişin zamanı tahmin edilemez. Bu gibi durumlarda, yönetim bilimciler, Poisson olasılık dağılımının gelişlerin biçimini iyi bir şekilde tanımlayacağını bulmuşlardır⁴⁷.

Poisson olasılık fonksiyonunu kullanarak belirli bir zaman aralığında “x” gelişlerinin olasılığı ($x = 0, 1, 2, \dots$ için) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır⁴⁸:

$$P(x) = \frac{\lambda^x \cdot e^{-\lambda}}{x!} \quad (2)$$

$P(1)$: birim zamanda sisteme bir müşteri katılma olasılığı.

x : zaman aralığındaki gelişlerin sayısı.

λ : zaman aralığı başına gelişlerin ortalama sayısı (ortalama geliş oranı).

$e = 2,71828$.

$e^{-\lambda}$ değerleri Ek’te verilmiştir.

Burada, x ’in ortalaması ve varyansı, (λt) ’ye eşittir. Bu sayılabilen sonsuz dağılım, bir santralde bir dakika içinde yapılan telefon konuşma sayısı, büyük bir kitabın sayfalarında çıkan yanlışlıklar ve radyoaktif maddelerce emilen “a” partikülleri gibi çeşitli durumlarda ortaya çıkar⁴⁹.

⁴⁷ D. R. Anderson, D. J. Sweeney, T. A. Williams, a.g.e., 514-515.

⁴⁸ Anderson et al., (1991) 515 ve Lipschutz, (1979) 108.

⁴⁹ S. Lipschutz, Olasılık; Teori ve Problemlerle - Schaum’s Outline Series (1979) 108.

Örneğin, bir şirketin santraline gelen telefon sayısı saatte 7 adet ise, herhangi bir saatte 8 telefon gelme olasılığı şöyle hesaplanır:

$$P(x=8) = \frac{e^{-7(1)} [7(1)]^8}{8!}$$

$$= 0,1304$$

Herhangi bir saatte santrale 8 telefon gelme olasılığı yüzde 13,04'dür.

Bu çalışmada, sonraki örneklerde müşteri gelişlerini tanımlamak için Poisson dağılımı kullanılacaktır.

3.2.2. Üslü (eksponansiyel) dağılım

Üslü tesadüfi değişken özellikle bir hizmet tesisinde gereken hizmet süresini simgelemek üzere kullanılır. Örneğin, bir bankada para yatırmak için gereken zaman, hastanede kayıt işlemlerinin tamamlanması ya da doktorun hastayı muayene etme süresi üslü dağılımlı olarak kabul edilebilir.

Hizmet süresi, hizmet bir kere başladığında müşteri ya da birimin hizmet imkanında harcadığı süredir. Örneğin, hamburger satan bir lokantada, hizmet süresi müşterinin hizmet verene siparişini vermesiyle başlar ve müşteri siparişi alıncaya kadar devam eder. Hizmet süreleri nadiren sabittir. Sipariş edilen nesnelerin sayısı ve çeşidi müşteriden müşteriye farklılık gösterir. Küçük siparişler birkaç saniyede halledilebilirken, daha büyük siparişlerin yerine getirilmesi 2-3 dakikadan fazla sürebilir.

Yönetim bilimciler, kuyruk durumlarında “üslü (eksponansiyel) olasılık dağılımı”nın hizmet sürelerinin iyi bir yaklaşımını genellikle sağladığını belirlemişlerdir. Eğer hizmet süreleri için olasılık dağılımı bir üstel olasılık

dağılımını takip ederse, hizmet süresinin bir “t” zaman uzunluğuna eşit ya da ondan küçük olma olasılığı şu şekilde verilmiştir⁵⁰.

$$P(\text{Hizmet zamanı} \leq t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (3)$$

μ = zaman aralığı başına hizmet edilebilen birimlerin ortalama sayısı (ortalama hizmet oranı).

Yukarıda hizmet süresi dağılımı için verilen formül Poisson gelişli bir kuyruk sisteminde geçerlidir. Gelişlerin Poisson dağılımlı olduğu durumlarda ilk müşterinin gelişine kadar geçen süreye T diyelim. T tesadüfi bir değişkendir ve 0 ile $+\infty$ arasında herhangi bir değer olabilir: $0 \leq T \leq +\infty$.

İlk gelişin t zamanından sonra olması ($T > t$), olayı ele alınsın. İlk gelişin t zamanından sonra olması için t süresinde gelişlerin sıfıra eşit olması ($x = 0$) gerekir. Bunun tersi de doğrudur; diğer bir deyişle, $x = 0$ ise (t süresi içinde hiç geliş yoksa) $T > t$ ’dir. Bu durumda;

$$P(T > t) = P(x = 0) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^0}{0!}$$

$$= e^{-\lambda t}$$

$$P(T \leq t) + P(T > t) = 1$$

$$P(T \leq t) = 1 - P(T > t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Buna göre, üstel dağılımlı bir tesadüfi değişkenin kümülatif dağılımı şu şekilde yazılabilir⁵¹:

$$F(t) = P(T \leq t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4)$$

⁵⁰ D. R. Anderson; D. J. Sweeney; T. A. Williams, a.g.e., 517.

⁵¹ H. Tütek ve Ş. Gümüşoğlu, a.g.e., 52.

Örneğin, bir hamburger lokantasının sipariş alma ve siparişi yerine getirme sürecini araştırdığını ve tek yiyecek hizmet vereninin (tek kanalı) saatte ortalama 60 müşteri siparişini işleme koyduğunu belirlediğini varsayalım. Bir dakikalık zaman aralığı esas alındığında, ortalama hizmet oranı $\mu = 60/60 = 1$ müşteri/dakika olacaktır. $\mu = 1$ eşitliğini kullanarak, yukarıda verilen eşitlik, bir siparişin ½ dakika veya daha az, 1 dakika veya daha az, ve 2 dakika veya daha az zamanda bitirilebileceğinin olasılığı gibi olasılıkları hesaplamada kullanılır⁵².

$$P(\text{hizmet süresi} \leq 0,5 \text{ dak.}) = 1 - e^{-\lambda(0,5)} = 1 - 0,6065 = 0,3935$$

$$P(\text{hizmet süresi} \leq 1 \text{ dak.}) = 1 - e^{-\lambda(1,0)} = 1 - 0,3679 = 0,6321$$

$$P(\text{hizmet süresi} \leq 2 \text{ dak.}) = 1 - e^{-\lambda(2,0)} = 1 - 0,1353 = 0,8647$$

Formüllerden çıkarılan sonuca göre, bir siparişin 2 dakika ya da daha az bir sürede yerine getirilmesi olasılığı 0,8647'dir. Hizmet süresi kıaldıkça, bu olasılık değeri düşecektir. Çünkü, siparişlerin çok kısa bir sürede yerine getirilme olasılığı oldukça düşüktür.

Poisson süreci ve üslü dağılımın özellikleri kuyruk sisteminin oldukça açık bir analizine müsaade etmektedir. Geliş süreci, ya da hizmet süreci tamamen tesadüfi olmadığında, matematik yöntemler daha karmaşık bir hale gelmekte ve elverişli sonuçlar seyrekleşmektedir. Poisson gelişlerin ve üslü dağılıma sahip hizmetlerin ne derece gerçekçi olduğu önemli bir konudur. Uygulamada, müşteri yoğunluğunun büyük olduğu ve gelişlerin birer birer meydana geldiği durumlarda, Poisson gelişler makul bir varsayımdır. Ancak, üslü dağılan hizmet sürelerinin varsayımı daha şüphelidir. Çoğu durumda, bir kişi hizmette çok zaman geçirdiğinde, bu kişinin hizmeti biran önce tamamlayacağı umulur⁵³.

⁵² D. R. Anderson; D. J. Sweeney; T. A. Williams, a.g.e., 517.

⁵³ S. Nahmias, a.g.e., 431.

Bu çalışmada sunulacak kuyruk modellerinde hizmet süresinin olasılık dağılımının üstel dağılımı takip ettiği varsayılacaktır.

3.2.3. Erlang dağılımı

Erlang dağılımı bozulmaların ve hizmet süresinin dağılımına çok uyan bir dağılım türüdür. Erlang dağılımının formülünü şu şekilde verebiliriz:

$$f(t) = \frac{(\mu k) \cdot (\mu k t)^{k-1} \cdot e^{-k t \mu}}{(k-1)!} \quad (5)$$

m: ortalamayı gösteren parametre.

k: dağılımı gösteren parametre.

t: zaman birimi değişkeni.

Burada k değişkeni, tam sayı olarak alındığında, bu dağılım Gamma dağılımının özel bir şekli olarak görülebilir.

Eğer servis çok sayıda ayrı işleri (k), bir dizi içinde yerine getirir ve gelen işler bir tam sayı özelliğini gösterirse bu durumda Erlang dağılımı kullanılır. Erlang dağılımının üstel dağılımdan daha küçük varyansı vardır. Erlang dağılımında varyans şu şekilde formüle edilir⁵⁴:

$$\sigma^2 = 1 / k \mu^2 \quad (6)$$

3.2.4. Diğer olasılık dağılımları

Kuyruk modellerinde servis yapısını ve müşteri gelişlerini açıklamada kullanılan dağılımlar arasında; Gamma dağılımı, Weibull dağılımı ve normal dağılım bulunmaktadır. Söz konusu dağılımları kısaca, aşağıdaki şekilde açıklayabiliriz.

⁵⁴ A. Öztürk, a.g.e., 268.

3.2.4.1. Gamma dağılımı

Bu dağılım, “k” sayıda Poisson başarıları için aralık sayısına ait ihtimal fonksiyonu olan Gamma sıklık fonksiyonuyla ifade edilir.

$$f(t) = \frac{\mu(\mu t)^{k-1} \cdot e^{-\mu t}}{(k-1)!} \quad (7)$$

Bu yoğunluk fonksiyonuna sahip t tesadüfî değişkenine Gamma Dağılımı değişkeni denir. Burada μ ve k parametrelerdir. μ , aralık başına ortalama başarı sayısını; t, aralıkların sayısını; k, başarı sayısını göstermektedir. k başarı elde edilmesi için, t veya daha az zaman ihtiyacı ihtimali bu formül yardımıyla hesaplanır. Burada k = 1 için Gamma dağılımı bir üslü dağılıma dönüşür⁵⁵.

3.2.4.2. Weibull dağılımı

Weibull dağılımı adını, çok çeşitli uygulamalar için kullanılan bir dağılım olduğunu belirten İsveçli Waloddi Weibull’dan almıştır. Weibull, bir çeliğin üretim gücü, Hint pamuğunun lif dayanıklılığı, İngiltere’de doğan yetişkin erkeklerin statüleri gibi problemlerle ilgilendi. Dağılım ilk olarak 1933’te Rosin ve Rammler tarafından maden kömürü tozlarının idaresi konularında kullanıldı. Wiebull dağılımı özel bir durum olarak üslü dağılımı içerir ve bazen üstel dağılımın genel bir hali olarak düşünülebilir⁵⁶.

Weibull dağılımı, imalatta kullanılan ekipmanın bozulma karakteristiklerine oldukça uygundur. Weibull dağılımını, şu şekilde formüle edebiliriz:

⁵⁵ S. Akalın ve İ.İ. Hasgür, a.g.e., 150.

⁵⁶ S. Akalın ve İ.İ. Hasgür, a.g.e., 150.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad (8)$$

β : Dağılımın şeklini veren parametre ($\beta = 1$ durumunda negatif üstel dağılımla eşdeğer duruma dönüşür. $\beta > 1$ durumunda ise, normal dağılıma yaklaşır).

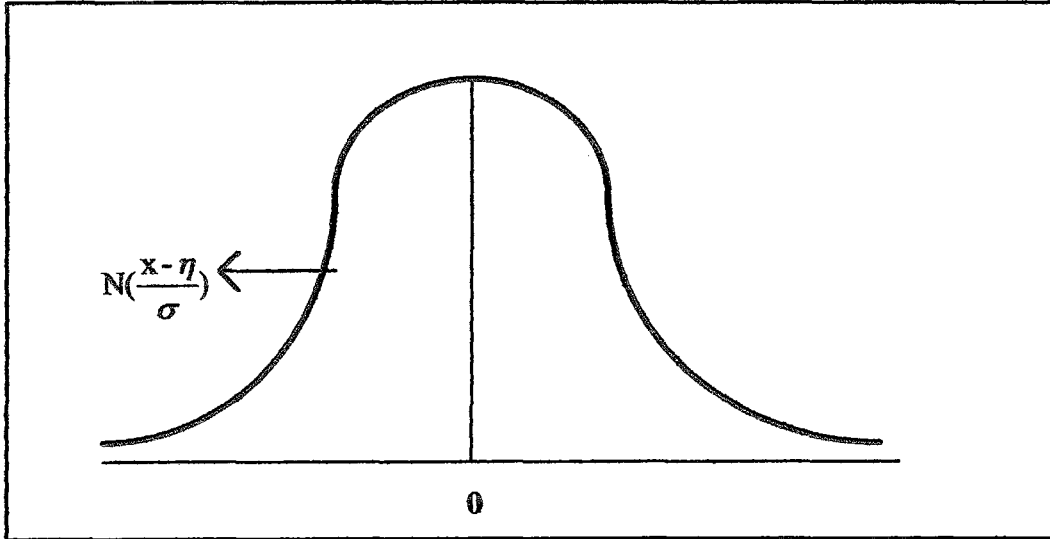
η : Ölçek parametresi, ya da karakteristik ömür.

3.2.4.3. Normal dağılım

Normal dağılım, işletmecilikte bir çok uygulaması olan bir dağılımdır. İşletmecilik konularında çoğu durumlarda olaya özgü olasılık dağılımlarını yaklaşık olarak mükemmel bir biçimde simgeler. Normal dağılım fonksiyonu, düzgün, simetrik, çan biçiminde bir eğridir. Şekil 3'te normal dağılım gösterilmiştir. Dağılım aşağıdaki gibi ifade edilir⁵⁷:

$$P(X \leq x) = \frac{x - \mu}{\sigma} N\left(\frac{x - \eta}{\sigma}\right) \quad (9)$$

Eşitliğin sağ tarafında yer alan kesir, Şekil.3'te gösterilen normal eğri altındaki taralı alandır.



Şekil. 3: Normal olasılık dağılım eğrisi.

⁵⁷ H. Tütek ve Ş. Gümüsoğlu, a.g.e., 55.

Normal dağılımın bazı önemli özellikleri vardır. Bir normal dağılım ortalaması μ ve standart sapması σ ile temsil edilebilir. Bir başka deyişle, μ ve σ bilindiğinde normal dağılım belirlenebilir.

Ortalaması $\mu = 0$ ve standart sapması $\sigma = 1$ olan normal dağılıma standart normal dağılım denir. Eğer bir normal dağılımın ortalaması sıfırdan farklı ve standart sapması birden farklı ise bu dağılım standardize edilerek standart normal dağılıma dönüştürülebilir. Normal dağılımın bu özelliği, standart normal dağılım tablolarının kullanılabilmesini ve olasılıkların kolaylıkla hesaplanabilmesini olanaklı kılar⁵⁸.

3.3. Kuyruk Modelleri ve Simülasyon Tekniği

Çalışmanın bu bölümünde, öncelikle kuyruk modelleri hakkında genel açıklamalar ve formülasyon verilecektir. Bunlara ek olarak, toplam maliyet bazında kuyruk sistemleri ekonomik açıdan analiz edilecektir. Daha sonra, Tek Kanallı Kuyruk Modelleri'ne giriş yapılacaktır ve Simülasyon Tekniği açıklanarak, simülasyon uygulamalarında kullanılan bilgisayar dilleri tanıtılacaktır.

3.3.1. Kuyruk modelleri ve ekonomik analiz

3.3.1.1. Kuyruk modelleri

Kuyruk sistemlerinin temel kavramları kullanılarak çeşitli kuyruk modelleri, kurulmuş olan problem tiplerine dayanarak gruplandırılabilir. Konunun tümünü daha iyi bir şekilde ortaya koymak amacıyla aşağıdaki gibi bir gruplamaya gidilebilir:

Aslında tek kanallı modeller daha basit yapıdadır ve çok kanallı modellerin özel halidir. Ayrıca, geliş zamanı ve servis zamanı dağılımları da değiştirilebilir. Bu çalışmada, Poisson geliş ve çıkışlı kuyruklar incelenecektir.

⁵⁸ H. Tütek ve Ş. Gümüsoğlu, a.g.e. 56.

Çizelge 2. Kuyruk modelleri:

<u>Geliş Kaynağı Büyüklüğü:</u>	Sonlu	Sonsuz
Kanal Sayısı:		
Tek Kanal	Tek kanallı-sonlu gelişli	Tek kanallı-sonsuz gelişli
Çok Kanal	Çok kanallı-sonlu gelişli	Çok kanallı-sonsuz gelişli

Buna ilaveten, genellikle kuyruklar tek kanal-tek hizmet, tek kanal-çoklu hizmet, çok kanal-tek hizmet, çok kanal-çoklu hizmet olarak sınıflandırılabilir. Şekil.4, bu sınıflandırmayı göstermektedir⁵⁹.

Kuyruk modellerinin bir çoğu, kuyruk sisteminin girdilerinin (gelen müşteriler) ve çıktılarının (ayrılan müşteriler) “doğum-ve-ölüm süreci”ne göre meydana çıktığını varsayar. İhtimal teorisindeki bu önemli sürecin bir çok alanda uygulamaları vardır. Bununla beraber, kuyruk teorisi kapsamında, “doğum” kuyruk sistemine yeni bir müşterinin gelişini tanımlar, ve “ölüm” hizmet gören müşterinin ayrılışını tanımlar. t ($t \geq 0$), $N(t)$, anındaki sistemin konumu, t anında kuyruk sisteminde bulunan müşterilerin sayısıdır. Doğum-ve-ölüm süreci, t arttıkça $N(t)$ 'nin nasıl değiştiğini ihtimal hesabı olarak tanımlar. Birey doğum ve ölümünün tesadüfi oluşurken, ortalama meydana gelme oranlarının sadece sistemin mevcut konumuna dayandığını söyler. Daha kesin olarak, doğum-ve-ölüm sürecinin varsayımları aşağıdaki gibidir⁶⁰:

Varsayım 1: $N(t) = n$ verildiğinde, bir sonraki doğuma (gelişe) kadar kalan sürenin mevcut olasılık dağılımı λn parametrelili üslü dağılımdır.

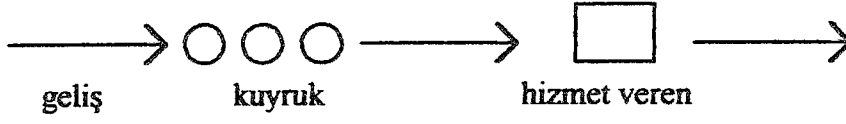
Varsayım 2: $N(t) = n$ verildiğinde, bir sonraki ölüme (hizmet tamamlanmasına) kadar kalan sürenin mevcut olasılık dağılımı μn parametrelili üslü dağılımdır.

Varsayım 3: Bir seferde sadece bir doğum ya da ölüm meydana gelebilir.

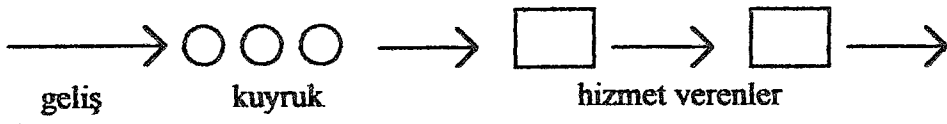
⁵⁹ T.E. Vollmann, Operations Management. (1973) 250.

⁶⁰ F.S. Hillier and G.J. Lieberman, Introduction to Operations Research. (1986) 606-607.

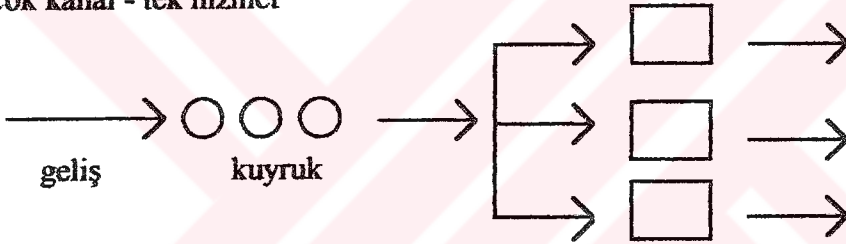
1. Tek kanal - tek hizmet



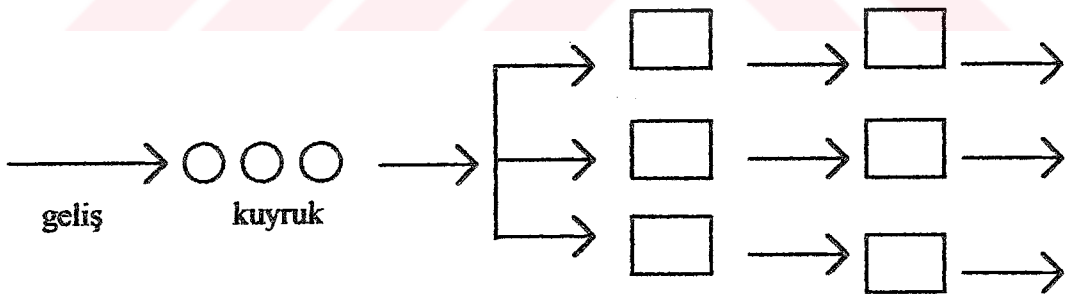
2. Tek kanal - çoklu hizmet



3. Çok kanal - tek hizmet



4. Çok kanal - çoklu hizmet



Şekil.4: Kuyrukların sınıflandırılması.

Bir çok gerçek kuyruk sistemi, sabit geliş oranlarına sahip değildir. Aslında, tahmin edilebilir ve genellikle talebin zamanla değiştiği devri modellere sahip sistemlere rastlamak çok kolaydır. Bilgisayar sistemleri, telekomünikasyon ağları, bankalar, havayolları, jeton kabinleri ve acil sistemler bunun gibi zamanla değişen talep süreçlerine sahip kolaylıklara örnek olarak gösterilebilir. Ancak, kuyruk teorisindeki literatürün büyük kısmı, sabit geliş süreciyle ilgilenmektedir. Uygulamayla uğraşanların ve mühendislerin değişkenlikle ilgilenmek için özel metotlar kurmalarına rağmen, zamanla değişen geliş süreciyle ilgilenen az miktarda teori vardır. Buna ilaveten, tek kanallı değişken Markov sistemleri için bile, beklenen gecikme gibi performans ölçülerini hesaplamak için bilinen genel formüller yoktur⁶¹.

Bir tek kanallı kuyruk sistemi işlevi gören bir üretim faaliyetine, nesneler tesadüfi olarak gelirler. Nesneler; parçaları, hammaddeleri, yarı mamulleri temsil edebilir ve hizmet veren de bir fabrika işçisi ya da üretim hattındaki bir makine olabilir. Hizmetten sonra, nesneler, müşteriye teslimattan önce ya da üretim hattındaki takip eden bir işleme girmeden önce bir taşıyıcıda biriktirilir. Uygulamada, taşıyıcı, bir doldurma hunisi olarak adlandırılabilir. Bu, bir el arabası ya da bir çatallı kaldırıcının taşıdığı istif rafları şeklinde olabilir⁶².

3.3.1.2. Kuyruk modellerinde genel bağıntılar

Kuyruk modelleri için temel işlem karakteristiklerini şu şekilde verebiliriz:

L_q = Kuyruktaki birimlerin ortalama sayısı,

L = Sistemdeki birimlerin ortalama sayısı,

W_q = Bir birimin kuyrukta harcadığı ortalama zaman,

W = Bir birimin sistemde harcadığı ortalama zaman.

⁶¹ L. Green and P. Kolesar, The Pointwise Stationary Approximation for Queues with Nonstationary Arrivals, Management Science, (1991) 84.

⁶² E.G. Coffman and E.N. Gilbert, Service by a Queue and a Cart, Management Science. (1992) 867.

John D.C. Little, çok çeşitli kuyruk modellerine uygulanan genel bağıntılarla yukarıdaki dört karakterin birbiriyle ilgili olduğunu göstermiştir. “Little’ın Akış Denklemleri” olarak adlandırılan genel bağıntılardan ikisi aşağıdaki gibidir⁶³:

$$L = \lambda \cdot W \quad \text{ve} \quad Lq = \lambda \cdot Wq \quad (10)$$

Bu denklemlere göre; sistemdeki birimlerin ortalama sayısı (L), ortalama geliş oranı (λ) ile bir birimin sistemde harcadığı ortalama zamanın çarpımıyla bulunabilir. Aynı genel bağıntı, Lq ve Wq için de geçerlidir.

Wq değişkenini denklemden çekersek, $Wq = Lq / \lambda$ olur. Little’ın akış denklemlerinden çıkarılan bu eşitlik, tek kanallı ve çok kanallı kuyruk modelleri için kullanılır. Bu modellerin herhangi biri için Lq hesaplandığında, söz konusu eşitlik Wq’yu bulmada kullanılabilir.

Kuyruk modellerinde kullanılan başka bir genel ifade de sistemdeki ortalama zamanın (W); kuyruktaki ortalama zamanla (Wq) ortalama hizmet süresinin toplamına eşit olmasıdır. Ortalama hizmet oranı μ olan bir sistemde ortalama servis süresi $1 / \mu$ olur. Böylece aşağıdaki genel bağıntı elde edilir:

$$W = Wq + \frac{1}{\mu} \quad (11)$$

Little’ın akış denklemleri; gelişlerin Poisson olasılık dağılımı ve hizmet sürelerinin üslü olasılık dağılımı gösterip göstermediğine aldırmaksızın her türlü kuyruk modeline uygulanmaktadır. Söz konusu değişkenlerin herhangi biri belirlendiğinde, diğer üçü de hesaplanabilir. Bu nedenle, yöneticiler hesaplaması en kolay olanı hesaplarlar. Bununla ve genel bağıntılar yardımıyla diğerleri kolayca belirlenebilir⁶⁴.

⁶³ D.R. Anderson; D.J. Sweeney; T. A. Williams, a.g.e., 527.

⁶⁴ D.R. Anderson; D.J. Sweeney; T. A. Williams, a.g.e. 528.

3.3.1.3. Kuyruk modellerinde ekonomik analiz

Bir bekleme probleminde, müşteri gelişleri ve hizmet imkanları sabit tutulduğu takdirde, kuyruğun uzunluğu, zamanın fonksiyonudur. Bundan dolayı kuyruk oluşumu, bir “stokastik süreç”tir⁶⁵.

$$\text{Bekleme hattı uzunluğu} = f(\text{zaman}) \quad (12)$$

Bekleme hattı (kuyruk) ortaya çıkması durumunda, problem aşağıdaki nedenlerden dolayı meydana gelmektedir:

1. Çok fazla hizmet talebi vardır. Ancak hizmet imkanları yeterli değildir.
2. Hizmet talebi yüksek değildir. Bu nedenle, tesis ve hizmet istasyonları boş olarak beklemektedir.

Bu koşullar altındaki bir kuyruk modelinin kuruluşunun amacı, hizmet görececek birimlerin bekleme zamanlarının ve hizmet istasyonlarının boş bekleme zamanlarının doğurduğu maliyeti minimum yapacak şekilde gerekli hizmet istasyonu sayısı ve hizmet politikasının bulunmasıdır. Şu halde bir kuyruk probleminde iki tip maliyet söz konusudur⁶⁶:

1. Yatırım ve işletme maliyeti,
2. Beklemenin doğurduğu maliyet.

Önceden kestirilemeyen gelişler ve belirsiz sürelerde yapılan hizmetler etkili olur. Hizmet imkanlarının optimum sayısı ve optimum geliş debisi belirlenmelidir. Minimum maliyeti sağlayacak, hizmet istasyonu sayısı (kanal sayısı) ve hizmet politikası belirlenmelidir.

Toplam Maliyet = (yatırım ve işletme maliyeti) + (beklemenin doğurduğu maliyet)

⁶⁵ İ. Karayalçın, a.g.e., 408.

⁶⁶ İ. Karayalçın, a.g.e., 408.

Maliyetler arasında optimum denge, hizmet isteyen birimlerin akışını programlayarak veya en uygun miktarda tesisler (hizmet istasyonları) kullanılarak sağlanabilir. Yani akış debisinin kontrol edilemediği hallerde, donatım veya personel sayısı ayarlanarak, hizmet istasyonları sabit olduğu takdirde ise akış debisi programlanarak toplam maliyetin minimum kılınmasına çalışılır⁶⁷.

Çoğu kez, kuyruk sisteminin işletmeye maliyetini belirlemeye çalışmak, ve sonra saat başına ya da günlük işlem maliyeti kriterine dayanan sistem dizaynını göz önüne alan kararları vermek gerekir. Kuyruk sisteminin ekonomik analizini yürütmek için, bekleme maliyeti ve hizmet maliyetini içeren bir toplam maliyet modeli geliştirilebilir⁶⁸.

Hizmet ve bekleme maliyetlerinin planlanmasında iki farklı durum mevcuttur⁶⁹:

1. Hem bekleme, hem de hizmet maliyeti söz konusudur. Çözüm, kuyruğun optimum uzunluğu alınarak elde edilir. Burada toplam maliyeti şu şekilde ifade edebiliriz:

$$TM = \bar{n} M_1 + M_2 \quad (13)$$

TM : Toplam maliyet.

M_1 : Birimin sistemde birim zaman bekleme maliyeti,

M_2 : Hizmet imkanlarının birim zamandaki maliyeti.

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} \quad , \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (14)$$

2. Daha çok hizmet istasyonunun boş kalması maliyeti veya satış ve stok planlamada malın elde bulundurma ve bulundurmama maliyetleri önem

⁶⁷ İ. Karayalçın, a.g.e., 409.

⁶⁸ D.R. Anderson; D.J. Sweeney; T. A. Williams, a.g.e., 529.

⁶⁹ İ. Karayalçın, a.g.e., 409.

taşıır. Genellikle sürekli imalat hatlarında ortaya çıkan bir durumdur. Bu takdirde toplam maliyet:

$$TM = \bar{n} M_1 + P_0 M_2 \quad (15)$$

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho}, \quad P_0 = 1-\rho \quad (16)$$

Denklemler yerine konulduğunda toplam maliyet eşitliği şu şekilde bulunur:

$$TM = \frac{M_1 \rho}{1-\rho} + M_2 (1-\rho) \quad (17)$$

Sürekli imalat hatlarında λ kontrol edilebilir, fakat μ kontrol dışıdır. Kolaylık sağlanması için μ sabit kabul edilecektir. Toplam maliyetin minimum olduğu noktanın bulunması için TM denkleminin ρ 'ya göre türevi sıfıra eşitlenir.

$$\frac{d(TM)}{d\rho} = \frac{M_1}{1-\rho} - M_2 = 0 \quad (18)$$

$$r = \frac{\lambda}{\mu} = 1 + \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} \quad (19)$$

Buradan da anlaşılacağı üzere, toplam maliyetin minimum olması için, μ sabit kabul edildiğine göre, λ değeri aşağıdaki şekilde ifade edilecektir:

$$\lambda = \left[1 + \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} \right] \mu \quad (20)$$

Bu çalışmada model, bir tek hizmet istasyonu göz önüne alınarak ve bu istasyona giriş ve çıkışların tesadüfi olduğu kabul edilerek kurulacaktır. Kuyruğa

giren birimler geliş sırasına göre hizmet görmekte ve hizmet hızı, kuyruktaki elemanların sayısına bağlı olmamaktadır.

Kuyruk sisteminin ekonomik analizini idare etmedeki kritik bir sonuç, zaman aralığı başına bekleme maliyeti ve hizmet maliyetinin makul değerlerini elde edebilmemizdir. Bu maliyetler içinde, zaman aralığı başına bekleme maliyeti her zaman daha zor hesaplanır. Zaman aralığı başına bekleme maliyeti, hizmet için bekleyen bir müşterinin dakika başına maliyeti olacaktır. Bu işletme için doğrudan bir maliyet değildir. Ancak işletme söz konusu maliyetleri göz ardı ederse ve uzun kuyrukların oluşmasına izin verirse, müşteriler sonuçta işlerini başka yere götüreceklerdir. Böylece, kaybedilen satışlar ve beklemeden doğan maliyetler ortaya çıkacaktır. Zaman aralığı başına hizmet maliyeti genellikle daha kolay hesaplanır. Bu maliyet, her bir hizmet kanalının işletilmesiyle ilgili olan, değişken ya da ilişkili maliyettir⁷⁰.

Kanal sayısı arttıkça hizmet maliyeti de artar. Ancak, daha fazla kanalla hizmet daha iyidir. Sonuç olarak, bekleme zamanı gibi bekleme maliyeti de kanal sayısı arttıkça azalır. Minimum toplam maliyet yapısının iyi bir yaklaşımını sağlayacak kanal sayısı, bir çok yapı alternatifi için toplam maliyet hesaplanarak bulunabilir.

Kamu kuruluşlarında müşteriler işlerini başka yerlere götüremezler. Burada kayıp iş yoktur. Bu nedenle, hizmet kalitesi düşüktür ve kuyruklar uzundur.

3.3.1.4. Kuyruk şebeke modelleri

Şimdiye kadar ele aldığımız kuyruk sistemleri bir, ya da daha fazla hizmet verenden oluşan hizmet faaliyetleriydi. Ancak, yöneylem araştırmasında ele alınan kuyruk sistemleri bazen bir şebeke halinde olabilirler. Örneğin, bir iş istasyonunda

⁷⁰ D.R. Anderson; D.J. Sweeney, T. A. Williams; a.g.e., 529.

işlem gören siparişler, bir dizi makine grubuna (hizmet imkanları) yönlendirilirler. Bu nedenle, beklenen müşteri bekleme zamanı, tüm sistemdeki müşterilerin beklenen sayısı vb. gibi bilgileri elde etmek için bütün şebekeyi incelemek gerekir. Kuyruk şebekelerinin öneminden dolayı, bu alandaki araştırmalar çok hareketlidir. Bununla birlikte, bu zor bir alandır ve işin çoğu bir Poisson girdi süreci ve üslü hizmet zamanı olaylarıyla ilgilidir. Elde edilen sonuçların bir çoğu genel rutin kullanım için ister istemez çok karmaşık ve elverişsizdir⁷¹.

Kuyruk şebeke modelleri bilgisayar ve iletişim ağlarında, hizmet imkanlarında, kesikli ve esnek imalat sistemlerinde çok çeşitli sistemlerin modelini yapmak için kullanılır. Bununla birlikte, bu gibi sistemlerin analizlerinin kesin sonuçları kalıp şebekeler üretmek için sınırlıdır. Daha genel sistemler için odak noktası, yaklaşımın gelişmesinde ve simülasyon yöntemindedir. Kuyrukların açık şebekeleri yardımıyla modeli kurulan imalat sistemlerinin analizinde, parametrik ayrılma metodu kullanılmaktadır⁷².

Belirli aşamaların diziler halinde düzenlenmesiyle oluşturulan, birbiri ardına sıralanmış bir kuyruk şebekesini ele alın. Aşamalar arasında boş bekleme alanları yoktur ve her bir aşama tek kanallı, ya da paralel çok kanallı hizmet verenlerden oluşabilir. Şebekenin önünde, ilk aşamaya arz edilmek için elverişli olan sınırsız bir iş arzı vardır. Bu beklemeli, birbiri ardına sıralanmış kuyruk sistemi için, ürünü maksimize eden hizmet verenler, ya da istasyonların optimal olarak düzenlenmesiyle ilgilenilmelidir. Sınırlı bekleme alanlı, ya da bekleme alanı olmayan, birbiri ardına sıralanmış kuyruk şebekeleri, bir çok imalat hattı ve karmaşık montaj hattı olarak kullanılabilir⁷³.

⁷¹ F.S. Hillier and G.J. Lieberman, a.g.e., 640-641.

⁷² G.R. Bitran and D. Tirupati, Approximation for Networks of Queues with Overtime, Management Science, (1991) 282.

⁷³ G. Yamazaki, H. Sakasegawa and G. Shantikumar, On Optimal Arrangement of Stations in a Tandem Queueing System with Blocking, Management Science, (1992) 137.

3.3.2. Tek kanallı kuyruk modelleri

Tek kanallı kuyrukla hizmet veren kuyruk problemlerinin sonsuz geliş kaynaklı olanı en basit kuyruk modeli olarak incelenmektedir. Bu bölümde, bir tek kanallı kuyruk modeli için düzenli-akım (steady-state) çalışma özelliklerini belirlemede kullanılabilecek formüller sunulacaktır. Formüllerin kullanılabilirliği, aşağıdaki kuyruklara ait varsayımlara bağlıdır⁷⁴:

1. Kuyrukta bir tek kanal vardır.
2. Gelişlerin biçimi Poisson olasılık dağılımı gösterir.
3. Hizmet süreleri üslü olasılık dağılımı gösterir.
4. Kuyruk disiplini, “ilk gelen ilk hizmet görür” şeklindedir.

Bir işletme, sabah açıldığında hiçbir müşterisi yoktur. Zaman geçtikçe iş hareketliliği normal, ya da düzenli bir duruma ulaşır. Başlangıç dönemi, geçici dönem olarak tanımlanır. Geçici dönem, sistem normal, ya da düzenli-akım (steady-state) faaliyetine ulaştığında sona erer. Kuyruk modelleri, kuyruğun düzenli-akım faaliyeti özelliklerini tanımlayan sonuçları sağlamaktadır.

Bu varsayımlar altında, bir işletmenin işlem karakteristiklerini belirlemek ve böylece yönetime yardımcı olarak karar verme bilgisi sağlamak için formüllerin nasıl kullanılacağı gösterilecektir. Kuyrukların işlem karakteristikleri için formülleri çıkarmada kullanılan matematiksel metodoloji daha karmaşıktır. Burada sadece formüllerin karakteristikler hakkında bilgi sağlamada nasıl kullanılabileceği gösterilecektir.

⁷⁴ D.R. Anderson; D.J. Sweeney; T. A. Williams, a.g.e., 517.

6. Gelen birimin hizmet için bekleme olasılığı;

$$P_w = \frac{\lambda}{\mu} \quad (26)$$

7. Sistemde n birim bulunma olasılığı;

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \cdot P_0 \quad (27)$$

Kuyruk sisteminin işlem karakteristiklerini belirlemede, ortalama geliş oranı λ ve ortalama hizmet oranı μ değerleri oldukça önemli değişkenlerdir. $P_w = \lambda / \mu$ eşitliğinden görüldüğü gibi, ortalama geliş oranının ortalama hizmet oranına bölünmesi, hizmet imkanı meşgul olduğu için gelen birimin beklemek zorunda olması olasılığını sağlar. λ / μ oranı, hizmet imkanının meşgul olma olasılığını sağladığından, genellikle hizmet imkanı için “kullanım faktörü” olarak anılır⁷⁶.

Yukarıda verilen işlem karakteristiklerinden 1. ve 7. maddelerde bulunan eşitlikler, sadece ortalama hizmet oranı μ , ortalama geliş oranı λ 'den büyük olduğunda -bir başka deyişle, $\lambda / \mu < 1$ olduğunda- uygulanabilir. Bu durum gerçekleşmezse, kuyruk, hizmet imkanının gelen birimleri idare edecek yeterli kapasitesi kalmayınca kadar sınırsız olarak büyümeye devam edecektir. Bu nedenle, $\mu > \lambda$ olmalıdır. Eğer müşterilerin geliş oranı, hizmet verme oranından büyükse kuyruk belirsizce büyüyecektir. Böylece kuyruk yapısı sonsuz olma özelliği gösterecektir.

Kuyruk sisteminin işleyişi başlangıç koşullarına, bir başka deyişle müşterilerin sayısı, kuyruğun sonlu ya da sonsuz oluşu, hizmet sayısı ile müşterilerin geliş dağılımına ve hizmet süresinin dağılımına dayanır. Kuyruk sisteminin davranışı, uzun dönemde önemli olacağından kuyruk modelinde denge durumu

⁷⁶ D.R. Anderson; D.J. Sweeney, T. A. Williams, a.g.e., 520.

sonuçları üzerinde durulur. Sistemin faaliyetleri zamana bağlı olmadığına özellikle denge durumu koşulları geçerlidir⁷⁷.

3.3.2.2. Tek kanallı kuyruk modeli örneği

Kuyruk sistemlerinin M / M / 1 yapısındaki bir örneği olarak, bilgisayara bağlanmış bir yazıcıyı verebiliriz. Örneğimiz için bir takım varsayımlarda bulunmamız gerekmektedir. Varsayalım ki, sekiz saatlik bir iş gününde ortalama olarak 50 adet dosya yazdırdık. Dosya adedi cinsinden sistemin ortalama geliş oranı (λ) aşağıdaki gibi hesaplanır⁷⁸:

$$\lambda = \frac{50}{8 \text{ sa.}} \quad \lambda = 0.00174 \cdot \frac{1}{\text{sn.}}$$

Ortalama hizmet oranını (μ) bulmak için, yazıcının hızını ve ortalama dosya büyüklüğünü bilmemiz gerekir. Varsayalım ki yazıcımız dakikada dört sayfa yazabilsin ve belgelerin ortalama sayfa adedi otuzsekiz olsun. Buna göre hizmet oranı ve kullanım faktörü (P_w) aşağıdaki gibi hesaplanır⁷⁹:

$$\mu = \frac{4 \text{ say./dak.}}{38} \quad \mu = 0.00175 \cdot \frac{1}{\text{sn.}}$$

$$P_w = \frac{\lambda}{\mu} \quad P_w = \frac{0.00174}{0.00175} = 0.99$$

Yukarıdaki hesaplamalar sonucu, kuyruk sisteminin ortalama geliş oranı, 0.00174/sn olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle, sisteme bir saniyede 0.00174 müşteri gelmektedir. Bu da, $1 / 0.00174 = 574.7$ saniyede bir müşterinin sisteme geldiğini gösterir. Aynı şekilde, ortalama hizmet oranı, 0.00175/sn. olarak

⁷⁷ A. Öztürk, a.g.e., 270.

⁷⁸ Mathcad, Queueing Theory maddesi, Mathsoft Applications (1994).

⁷⁹ Mathcad, a.g.e.

bulunmuştur. Yani, bir saniyede 0.00175 müşteriye hizmet verilmektedir. Bir başka deyişle, $1 / 0.00175 = 571.4$ saniyede bir müşteriye hizmet verilmektedir. Dolayısıyla, $574.7 - 571.4 = 3.3$ saniyelik bir bekleme söz konusudur ve kullanım faktörü de yüzde 99 oranındadır.

3.3.3. Simülasyon tekniği ve simülasyon dilleri

İşletme problemlerinin analizi için tanımlanan bir sistemin modeli bazen çok karmaşık olabilir. Bunu yanında kurulan modeli analitik ve nümerik olarak çözmek güç olabilir. Buna benzer durumlarda “simülasyon” önemli bir model kurma ve çözüme tekniği olarak kullanılır. Simülasyon sözcüğünün dilimize kelime anlamı olarak benzetme olarak tercüme edilmesi anlamlı olmayacağından, bu çalışmada yaygın bir kullanım olan “simülasyon” kelimesi kullanılacaktır.

Oxford Üniversitesi’nin yayını olan “Shorter Oxford English Dictionary”de yapılan tanıma göre simülasyon, genel anlamıyla, daha uygun bir şekilde bilgi edinmek, ya da çalışanları eğitmek için benzer bir durum, model, ya da alet yardımıyla durum veya sistemlerin davranışlarını taklit etme tekniğidir. Simülasyon modellemesi ise, bir sistemin davranışlarını onun çeşitli bileşenlerinin birbirlerini nasıl etkilediğini detaylı bir şekilde açıklayarak bir bütün halinde inceleme yöntemidir.

Bir sistemin belirli şartlar altında, zamana göre değişen davranışlarını incelemek amacı ile model kurmaya “sistem simülasyonu” denir. Simülasyon kelimesinin anlamına dayanarak daha basit bir tanım çıkarılabilir. Gerçekte simülasyonu, “matematik formüllerle kesin çözümü bulunamayan sistem, ya da faaliyetlerin kağıt üzerinde canlandırılması” şeklinde tanımlamak mümkündür⁸⁰.

Simülasyonun tüm çeşitleri, yönetim biliminde en yaygın kullanıma sahip araçlardan biri olarak bilinmektedir. Simülasyon modellerinin diğerlerinden farkı,

ilginin zaman boyunca sistemin davranışının cevabında olmasıdır. “En iyi”yi aramaktan çok, “şöyle olursa ne olur” amacı güdülmektedir⁸¹.

Simülasyonun yapısında her zaman, mümkün olan yerde, doğrudan deney yapmaktan kaçınma isteği vardır. Örneğin, bir ev hanımı yatak odasındaki mobilyaların yerini değiştirmek için farklı yerleşim şekillerini doğrudan deneyebilir. Zorunlu olarak mobilyaları taşır ve sonuçları gözler. Bu süreç tekrar edilebilir, ve belki de tüm mantıklı olasılıklar tükeninceye kadar bir çok taşıma işlemi gerçekleştirilir. Sonunda bu yerleşimlerden birisi en iyi olarak kabul edilince, mobilyalar söz konusu şekline taşınır ve deneme sona erer. Bu tip doğrudan deneme işlemleri, teorik olarak, bir fabrikadaki makinaların yerleşimi için de kullanılabilir. Böyle bir süreç, zaman kaybettirici, maliyetli ve yorucudur. Bu nedenle, fabrikayı ve taşınacak makinaları temsil eden bir model kullanan simülasyon ya da dolaylı deneme tekniği uygulanır⁸².

Aynı şekilde, uçak tasarımındaki doğrudan deneme, gerçek koşullar altında uçuş testinin yapılacağı tam donanımlı bir prototip imalini içerir. Bu, yeni bir tasarımın gelişiminde önemli bir adım olmasına rağmen, ilk adım için çok masraflıdır. Genel olarak kullanılan yöntem, her bir kurulu yapı için bir model oluşturarak ve sonra bunu bir rüzgar kanalında test ederek bir çok yapıyı değerlendirmektir. Bu, simülasyon sürecidir⁸³.

İncelenen süreç, ya da faaliyet bir “sistem” olarak adlandırılır ve üzerinde bilimsel bir şekilde çalışmak için, genellikle sistemin nasıl işlediği hakkında bir takım varsayımlarda bulunmak gerekir. Genelde, matematiksel, ya da mantıksal bağıntılar şeklinde olan söz konusu varsayımlar, ilgili sistemin nasıl davrandığını

⁸⁰ B. Kobu, Üretim Yönetimi. (1996) 304.

⁸¹ J. R. Burns and L.M. Austin, Management Science Models and the Microcomputer. (1985) 221.

⁸² P.G. Moore, Basic Operational Research. (1983) 79.

⁸³ P.G. Moore, a.g.e., 79.

anlamaya çalışmak amacıyla kullanılan bir “model” teşkil ederler. Modeli meydana getiren bağıntılar yeteri kadar basit ise, sistemle ilgili sorulara karşılık doğru bir bilgi elde etmek için (cebir, kalkülüs, ya da ihtimal teorisi gibi) matematiksel metotların kullanılması mümkün olabilir; bu bir “analitik” çözümdür. Bununla birlikte, gerçek hayattaki sistemlerin çoğu, gerçekçi modellerin analitik olarak değerlendirilmesi için çok karmaşıktır ve bu modeller simülasyon yardımıyla incelenmelidir. Bir simülasyonda, bir modeli sayısal olarak değerlendirmek için bir bilgisayar kullanılır ve modelin istenen gerçek özelliklerini tahmin etmek üzere veriler toplanır⁸⁴.

Simülasyon, matematik modellerin kullanılmadığı her yerde uygulanabilen çok esnek ve etkili bir yöntemdir. Bir problemin simülasyon yöntemi ile çözülebilmesi için tek şart, sistemin davranışlarına ait bilgi toplayabilmektir. Ayrıca simülasyon ile elde edilen çözümlerin optimal olmadığı, ancak yeterli sayıda tekrardan sonra optimala yaklaşılabileceği unutulmamalıdır. İmalat sistemlerinde, kapasite problemlerinin pek çoğunda belirsizlik vardır. Talep, işlem, ya da tamir-bakım sürelerinde değişimler, arızalar, müşterilerin hizmet ünitesine varışları, uçakların iniş-kalkış zamanları gibi olaylarda belirsizlik olağan sayılır. Eğer belirsizlik, belirli bir olasılık dağılımı ile temsil edilemiyorsa, simülasyona başvurmadan başka çare yoktur⁸⁵.

Tamir-bakım planlaması da, arızalardaki belirsizlik nedeni ile, simülasyonun en fazla uygulandığı alanlardan biridir. Karmaşık problemlerde bilgisayar kullanılması, simülasyon tekrarlarının çok kısa zamanda yapılmasını sağladığından duyarlı sonuçlar elde etmek mümkündür⁸⁶.

Simülasyon tekniğinde, istatistiksel teori ve olasılık teorisi, hem girdi verileriyle hem de simülasyonun ürettiği sonuçlarla ilgili olarak önemli rol oynarlar.

⁸⁴ A.M. Law and W.D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*. (1991) 1.

⁸⁵ B. Kobu, *Üretim Yönetimi*. (1996) 250.

⁸⁶ B. Kobu, a.g.e., 271.

Örneğin, süpermarket kasalarındaki müşteri akışının simülasyonunda, alışveriş yapan müşterilerin sayısı gibi, toplanan girdi verileri istatistiksel bir dağılımla sunulur ve bekleme zamanı, kuyruk uzunluğu gibi nesnelerle ilgili sonuçlar da olasılık dağılımlarıyla gösterilirler. Simülasyon modelleriyle ilgili olarak bir çok problem mevcuttur. İstatistiksel açıdan önemli sonuçlar elde etmek için, bir simülasyon modeli uzun bir süre bilgisayarda işlem görmelidir, bu nedenle simülasyonlar bilgisayar kullanma zamanı açısından fazla maliyetlidir⁸⁷.

Simülasyon, ele alınan problemin bileşenleri tesadüfi olduğunda, karar problemlerinin performansının ölçüsünü geliştirmek için kullanılan bir tekniktir. Genellikle, problemin, bir sonuca ulaşmak amacıyla uygulanan analitik metotlar için fazla karmaşık olduğu durumlarda uygulanır. Pratikte, analitik bir çözüm, eğer elde edilebiliyorsa, daima tercih edildiğinden bir çok kişi simülasyonu adeta son bir çare olarak düşünürler. Bununla birlikte, tesadüfi olaylar içeren gerçek hayattaki bir çok karar problemi, analitik metotlarla ele alınamayacak kadar çok karmaşıktır, ancak simülasyon yöntemleriyle daha kolay işlem görürler⁸⁸.

Bir analitik modelle bir simülasyon modeli arasında temel bir farklılık vardır. Genelde, analitik bir model performans değişkeni ölçüsünü kontrol edilebilir değişkenlere bağlayan nesnel bir fonksiyonu tanımlayacaktır. Bu fonksiyon, bazı tesadüfi değişkenlerin beklenen değerlerinden oluşabilir. Diğer yandan, bir simülasyon modeli, performans değişkeni ölçüsünün tipik gözlemlerini hasıl etmek için sadece bir araç sağlar. Böylece, bir dizi örnek değer elde ettiğimiz örnekleri hasıl etmek için simülasyon modelini kullanma sürecini tekrar etmek gereklidir. Daha sonra, gözlemlerin ortalama değerini hesaplarız, ve bunu performans ölçüsü tesadüfi değişkeninin ortalamasının en iyi sonucu olarak alınız. Arka arkaya gözlemler hasıl eden bu süreç, modelin işletilmesi ya da yürütülmesi olarak adlandırılabilir. Genellikle, işlemler elle yapılmak için çok fazla zaman kaybettirici

⁸⁷ J. E. Beasley, a.g.e.

olduğundan, modeli işletmek için bilgisayar kullanılır. Açık ki, ne kadar gözlem yapılırsa, hesabımız da o kadar iyi olacaktır⁸⁹.

Simülasyon; doğrusal programlama, envanter (stok) analizi ve kuyruk teorisi gibi diğer analiz araçlarından farklıdır. Diğer tüm teknikler, soruna optimal bir çözüm bulmak için karar verenlere yardım etmek için kullanılır. Bu, simülasyonda söz konusu değildir, çünkü simülasyon bir optimizasyon tekniği değildir. Simülasyonun amacı, sistemin özelliklerini daha iyi anlamak ve sonuç olarak sistem hakkında daha iyi kararlar vermek amacıyla sistemi tecrübe etmesi ya da taklit etmesi konusunda yönetici ya da analizciye yardım etmektir⁹⁰.

Simülasyonun uygulama alanları çok fazladır ve çeşitlidir. Simülasyonun faydalı ve güçlü bir araç olarak kabul edildiği bazı özel çeşitleri aşağıda verilmiştir⁹¹:

1. İmalat sistemlerinin tasarımı ve analizi,
2. Bir bilgisayar sistemi için gerekli donanımları tahmini,
3. Yeni bir askeri silahlar sistemi veya taktiğinin değerlendirilmesi,
4. Bir stok sistemi için sipariş politikalarının belirlenmesi,
5. İletişim sistemleri ve bunlar için mesaj protokolleri tasarlamak,
6. Havayolları, otoyollar ya da limanlar gibi ulaşım kolaylıklarını tasarlamak ve işletmek,
7. Hastaneler, postaneler ya da hazır yiyecek lokantaları gibi hizmet organizasyonları için tasarımları değerlendirmek,
8. Finansal ya da ekonomik sistemleri analiz etmek.

⁸⁸ G. Gordon, I. Pressman, S. Cohen, Quantitative Decision Making For Business. (1990) 535.

⁸⁹ G. Gordon, I. Pressman, S. Cohen, a.g.e., 535.

⁹⁰ H. Şenkayas, Simülasyonun İmalat Sistemlerinde Kullanımı, Makine Market Dergisi. (Mart 1997) 82.

⁹¹ A.M. Law and W.D. Kelton, a.g.e., 2.

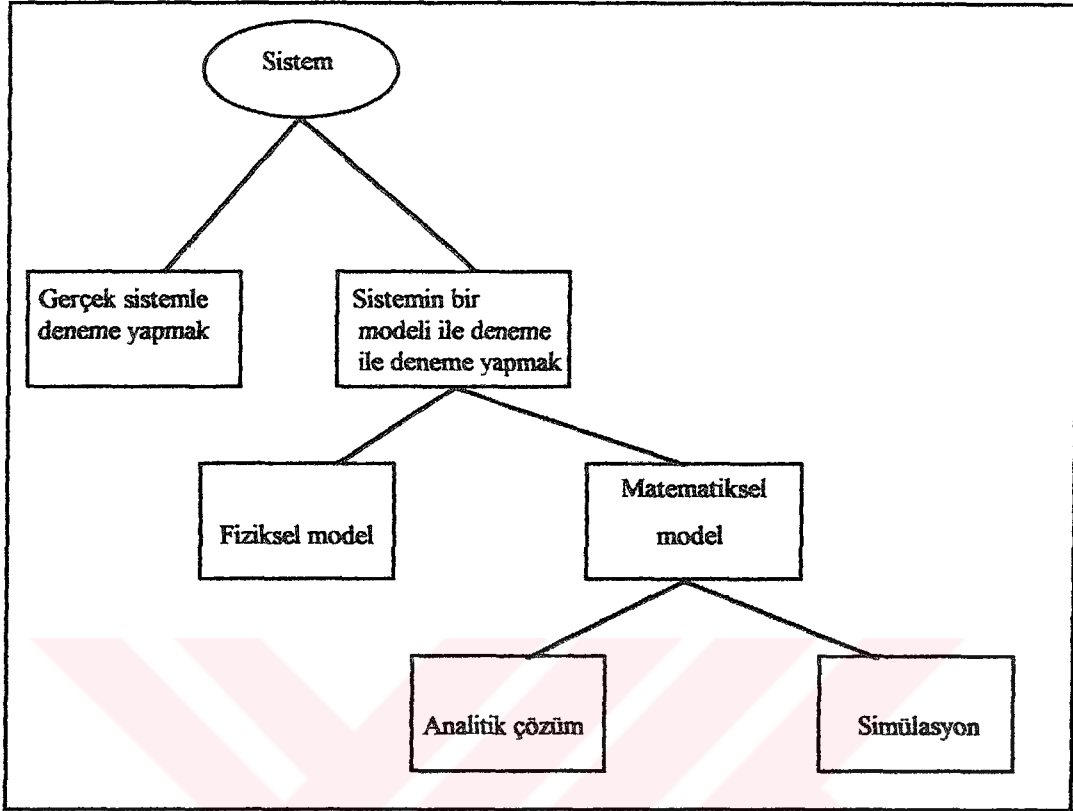
Simülasyon ile modelleme; sistemin davranışını tanımlama, teori ya da hipotez kurma, kurulan teoriyi sistemin gelecekteki davranışlarını tahmin etmek için kullanmak şeklinde bir deneme ve uygulama metodolojisidir. Simülasyon, bir çok bilim dalına uygulanabilen bir tekniktir. Örnek olarak işletmecilik, ekonomi, pazarlama, eğitim, politika, sosyal bilimler, ulaşım, şehircilik, imalat gibi uygulama alanları gösterilebilir. Aşağıdaki koşullardan biri veya birkaçı bulunduğu zaman simülasyona başvurulmalıdır⁹²:

1. Problemin tam bir matematik formülasyonu mevcut değildir, ya da matematik modelin analitik yöntemlerle çözümü henüz bulunamamıştır. Çoğu kuyruk modelleri bu grupta yer almaktadır.
2. Analitik yöntemler çözüm için elverişlidir, ancak matematik yöntemler çok karmaşıktır.
3. Analitik çözümler vardır ve kullanılabilir, fakat problem üzerinde çalışan kişilerde söz konusu bilgiler yoktur.
4. Belirli parametrelerin tahmin edilmesi için simülasyona başvurulabilir.
5. Deneme yapma açısından simülasyon tek yol olabilir.
6. Sistemlerin, ya da süreçlerin davranış karakteristiklerini ortaya koymak zaman gerektirebilir.

Bir çok sistemin işleyişinde, çeşitli bileşenler arasındaki bağıntıları kavramak ya da göz önüne alınan bir takım yeni koşullar altında sistemin performansını tahmin etmek için sistemi incelemek gerekir. Şekil.5, bir sistemin incelenebileceği değişik yolları göstermektedir⁹³.

⁹² O. Halaç, İşletmelerde Simülasyon Teknikleri. (1993) 2.

⁹³ A.M. Law and W.D. Kelton, a.g.e., 4.



Şekil.5: Bir sistemi inceleme yöntemleri.

Simülasyon kelimesinin modern anlamda kullanılışı 1940 yılının sonlarında John Von Neumann ve Stanislaw Ulam'ın, kendi çalışmalarına "Monte Carlo Simülasyonu" adını vermeleri ile başlamaktadır. Bu teknik sayesinde analitik işlemleri çok karışık ve deneysel işlemleri de çok pahalı olan nükleer savunma problemleri başarı ile çözülmüştür. 1950 yılının başlarında sayısal bilgisayarların gelişimi ile simülasyon kelimesi başka anlamlar da kazanmıştır. Bu sayede sosyal bilimciler de fizik ve kimyacılar gibi laboratuvar deneylerine benzer deneyleri bilgisayarda gerçekleştirme olanağı bulmuştur⁹⁴.

Simülasyon tekniği, bilgisayar alanındaki teknolojik gelişmelere ve değişmelere bağlı olarak hızlı bir gelişme göstermiştir. Bu duruma bağlı olarak özellikle başta işletmecilik olmak üzere birçok alanda geniş bir uygulama alanı

⁹⁴ O. Halaç, a.g.e., (1995) 335.

bulmuştur. Örneğin, A.B.D.'nin önde gelen uçak imalat firmalarından biri olan The Boeing, Mc Donnell Douglas ve Lockheed uçaklarla ilgili aerodinamik, hız gibi konularda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarında simülasyon modellerinden yararlanılmaktadır. Simülasyon tekniği, başlıca iki grup problemin analizinde ve çözümünde kullanılmaktadır. Birinci grup problemler; matematik, fizik ve kimya gibi temel bilim dallarındaki teorik nitelikteki problemlerdir. İkinci gruptakiler ise; gerçek hayatta karşılaşılan uygulamalı problemlerdir. Simülasyon metodunun uygulandığı bu durumları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz⁹⁵:

1. Matematik, fizik ve kimya gibi temel bilimlerdeki teorik problemlerin çözümünde;

- a) Bir eğri altında kalan alanın tahmininde,
- b) Matrisle ilgili hesaplamalarda,
- c) Matematikte π (pi) sayısı ile ilgili eşitliklerin hesaplanmasında,
- d) Kısmi diferansiyel hesaplamalarında,
- e) Bir uçak kanadının hareketi ile ilgili çalışmalarda,
- f) Difüzyonla ilgili çalışmalarda,
- g) Doğrusal eşitliklerle ilgili hesaplamalarda.

2. Gerçek hayatla ilgili uygulamalı durumlarda;

- a) Stok kontrolü, süreç tasarımı, dağıtım sistemlerinin tasarımı, tamir-bakım planlaması, iş akım şemaları, haberleşme sistemlerinin tasarımı ve kuyruk sistemleri gibi sanayide karşılaşılan problemlerin çözümünde,
- b) Tüketici davranışları, Pazar araştırması, sermaye bütçelemesi, milli ekonomideki değişimin seyrinin analizi, ekonomik tahminler, az gelişmiş ekonomilerdeki ödemeler dengesi problemlerinin çözümünde,
- c) Nüfus hareketleri, birey ve grup davranışları gibi davranış ve sosyal bilimlerle ilgili problemlerin analizinde,

⁹⁵ M. Tekin, Kantitatif Karar Verme Teknikleri. (1991) 257-258.

- d) İnsan vücudundaki elektrik dağılımının dengelenmesi, beyin yapısı, kan hücrelerinin yapısı gibi biyotıpla ilgili sistemlerde,
- e) Savaş taktik ve stratejilerinin belirlenmesinde.

“Simülasyon, sistemin modelini kurarak bu model üzerinde denemeler yapmayı ve denemeleri yöneltmeyi kapsar” (Halaç, 1995; 335).

Simülasyon modellerinin uygulanmasında teorik dağılımlar kullanılmaktadır. Bunlar arasında Poisson dağılımı, üslü dağılım ve normal dağılım bulunmaktadır. Söz konusu dağılımlar Bölüm 3.2.’de incelenmiştir.

Tesadüfi elemanlar içeren ve simülasyona müsait olan durumların iki temel çeşidi vardır. Bununla birlikte, her biri simülasyon açısından çok az farklılıkla ele alınır. Problemin ilk çeşidi, zaman unsuru olmadığında, değişkenlerin olasılık dağılımlarını (ortalamaları, standart sapmaları) bulmayı içerir. Örneğin, uzunlukları değişen iki parçayı birleştirerek oluşturulan bir parçanın uzunluğunun bulunması, bu çeşit bir problemin asıl sorunudur. Bu durumda, uzunlukların zaman boyunca nasıl değiştiğiyle ilgilenmeyiz. Problemin bu çeşidi, bir “statik problem” olarak adlandırılır⁹⁶.

“Dinamik ya da zamana bağlı problem” olarak adlandırılan problemin ikinci çeşidi, sadece tesadüfi varyasyonlar değil, zaman boyunca ortaya çıkan değişiklikleri de içerir. Matematikçiler bu tip problemler için “stokastik” terimini kullanırlar. Böyle bir değişkene örnek, bir şirketin ortalama olarak gitgide artan, ve buna ek olarak, günden güne tesadüfi olarak değişen günlük satışlarıdır. Model, satışların hem tesadüfi, hem de zamana bağlı unsurlarını ihtiva etmelidir. Diğer bir örnek, ücretlerini ödemek üzere bilet gişelerinde bekleyen araçların sayısıdır. Sayı

⁹⁶ G. Gordon, I. Pressman, S. Cohen, a.g.e., 536.

tesadüfidir ve aynı zamanda, zamanla değişir, ve böylece her iki unsurun da göz önüne alınması gerekir⁹⁷.

Simülasyon, faaliyet planının gelişmiş kavrayışıyla sonuçlanabilir. Bunun ortaya çıktığı bazı yöntemler aşağıda verilmiştir⁹⁸:

1. Bir simülasyon modeli oluşturma süreci, simüle edilen faaliyetin detaylı bir şekilde kavranmasını ve belgelenmesini gerektirir. Örneğin, bir mağaza boyunca bilgi akışı, ilk bakışta tipik olarak açık gözükmemektedir. Bununla birlikte, bir defa bu bilgi akışının simülasyonu geliştirildiğinde, bir çok istisnalar ve alternatif bilgi akışları tanımlanır.
2. Değişkenler arasındaki ilişkilerin karmaşıklığı nedeniyle bazı kavramların öğretimi çok zordur. Bu karmaşık ilişkileri bağlamak için, bir kumar mantığıyla simülasyon kullanılabilir. Örneğin, bir markete hizmet veren dağıtım merkezlerinin sayısının ve yerleşiminin belirlenmesi, sağlanabilen müşteri hizmetine, ulaşım maliyetine ve stok taşıma maliyetine dayanır.
3. Çalışanların bir sisteme oryantasyonu sık sık önemli sorunlar yaratabilir. Simülasyon, mevcut çalışanları yeni sistemlere, ya da yeni çalışanları mevcut sistemlere yönlendirmek için kullanılabilir. Örneğin, parçaların bir taşıma sistemine yüklenmesinin tasarımının, farklı boyama kabinlerindeki güç dengesi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Eğer parçalar yanlış yerleştirilirse, bazı boya istasyonları önündeki uzun kuyruklar, diğer istasyonlar boşken, taşıyıcıyı durduracaktır. Bu dengesizlik, sadece boyama kabinlerini değil, aynı zamanda kurutma ve montaj istasyonlarını da etkileyecektir. Parçaların gerçek yüklenmesinden önce, taşıyıcının yüklenmesinde tecrübe kazanma çabası sırasında, bir operatör bir simülatör yardımıyla eğitilebilir. Burada, yükleme hatalarının tek etkisi, sistemin daha iyi kavranması olacaktır.

⁹⁷ G. Gordon, I. Pressman, S. Cohen, a.g.e., 536.

⁹⁸ J.A. Tompkins and J.A. White, Facilities Planning. (1984) 605.

3.3.3.1. Simülasyon süreci

Simülasyon, gerçek bir sistemin modelini tasarlama süreci ve sistemin işlemesi için sistemin davranışlarını anlamak veya değişik stratejileri değerlemek amacı ile bu model üzerinde denemeler yapmaktır. Bu nedenle, model kurma ve modelin analitik olarak kullanımı simülasyon sürecini oluşturmaktadır⁹⁹.

Gerçek sistemlerinin davranışlarını araştırmak için kullanılan simülasyon çalışmalarının aşamaları aşağıdaki gibi verilmiştir¹⁰⁰:

1. Sistemin Tanımı: Sistemin sınırlarını, kısıtlarını ve etkinlik ölçüsünü belirleme aşamasıdır.
2. Modeli Formüle Etme: Sistemi soyutlamak veya indirgemek için mantıksal akış diyagramına aktarma işlemidir.
3. Veri Derleme: Modelin gerektirdiği verileri tanımlama ve onları kullanabilecek ölçülere indirgeme aşamasıdır.
4. Modelin Dönüştürülmesi: Simülasyonun yapılacağı bilgisayarın diline modelin tercüme edilmesidir.
5. Modelin Geçerliliğini Araştırma: Modelin güven seviyesini kabul edebilir hale getirme ve gerçek sistem hakkında modelden yorum yapma aşamasıdır.
6. Stratejik Planlama: İstenilen bilgiyi sağlayacak olan bir denemenin tasarımıdır.
7. Taktik Planlama: Tasarımı yapılan denemede tanımlanan koşullara ait testlerin nasıl yapılacağını belirlenmesidir.
8. Deneme: İstenilen veriler ile simülasyonu gerçekleştirme ve duyarlılık analizlerini yapma aşamasıdır.
9. Yorum: Simülasyon sonuçlarından çıkarımda bulunma aşamasıdır.
10. Uygulama: Modeli ve sonuçlarını kullanıma koymaktır.

⁹⁹ O. Halaç, İşletmelerde Simülasyon Teknikleri. (1993) 1.

¹⁰⁰ O. Halaç, a.g.e., (1993) 2-3.

11.Belgeleme: Proje faaliyetlerini raporlama ve modelin kullanımını belgeleme aşamasıdır.

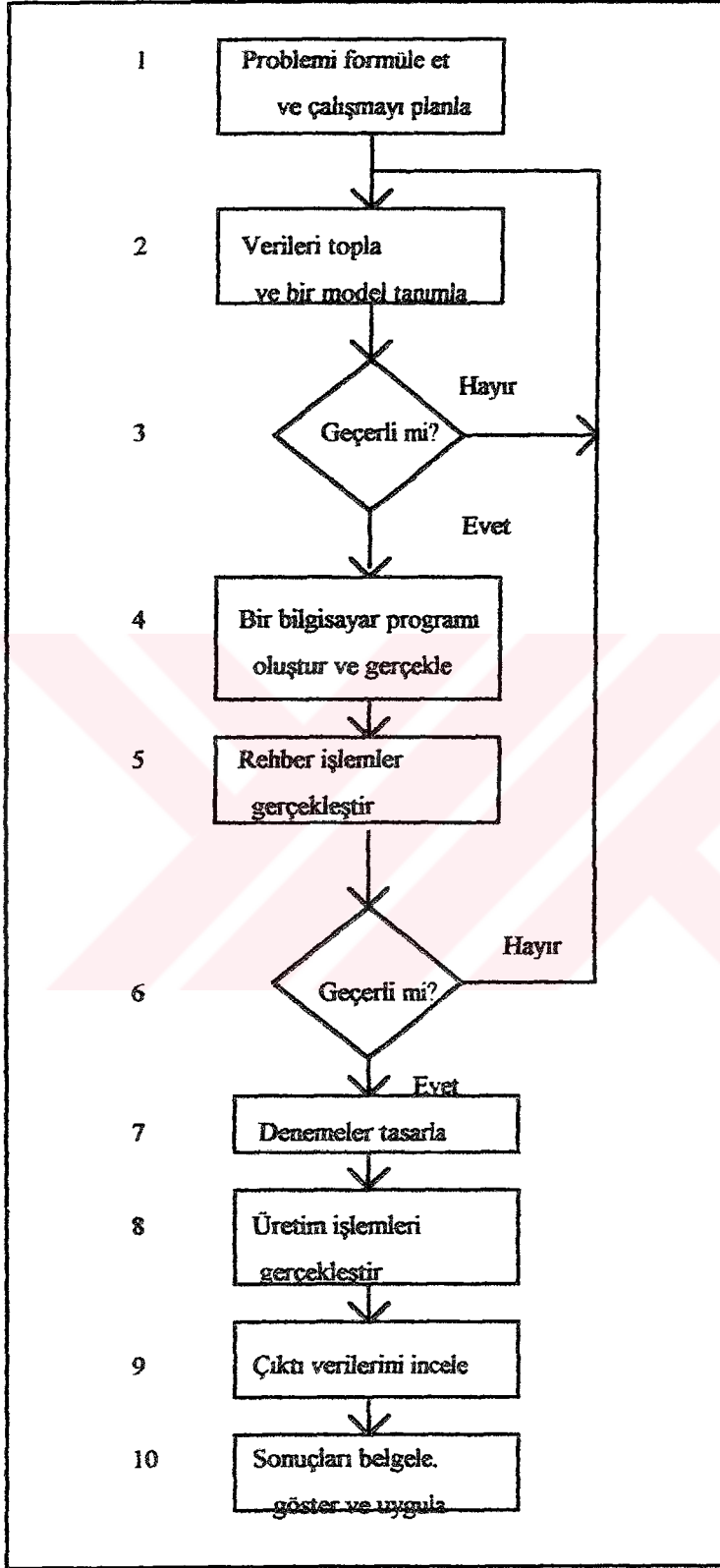
Şekil.6'da etkili bir simülasyon çalışmasının basamakları ve bunlar arasındaki ilişkiler gösterilmektedir. Belirli bir basamak için gerekli zaman miktarı modellenen sisteme dayanmaktadır. Bazı simülasyon projeleri, şekilde gösterilmeyen basamaklar gerektirebilir. Buna ilaveten, bir simülasyon çalışması basit bir şekilde takip eden basamaklardan oluşmaz¹⁰¹.

Bir simülasyon projesinin başarılı bir şekilde tamamlanabilmesi için aşağıdaki faktörler göz önüne alınmalıdır¹⁰²:

- Simülasyon metodolojisi, yöneylem araştırmasının stokastik modelleri, ihtimaller teorisi ve istatistik bilgisi,
- Problemin doğru formüle edilmesi,
- Sistem işleyiş prosedürü ve kontrol mantığı hakkında doğru bilgi edinilmesi,
- Sistemin tesadüfiliğini akla yatkın bir yolla modellemek,
- Uygun bir simülasyon programlama dili seçmek ve bunu doğru bir şekilde kullanmak,
- Modelin geçerliliğini ve doğrulunu oluşturma,
- Simülasyon çıktısını yorumlamak için düzgün bir istatistiksel prosedür kullanmak,
- Etkili proje yönetimi tekniklerinin uygulanması.

¹⁰¹ A.M. LAW and M. G. McCOMAS, *Secrets of Successful Simulation Studies*. Industrial Engineering (1990) 47.

¹⁰² A.M. LAW and M. G. McCOMAS, a.g.e., 47.



Şekil.6: Simülasyon çalışmasının aşamaları.

Bir problemin simülasyon ile çözümünde yapılacak işler şunlardır¹⁰³:

1. Problemdeki değişkenlere ait olasılık dağılımları bulunur.
2. Her değişkene ait kümülatif olasılık dağılımı bulunur.
3. Tesadüfi sayı aralıkları tespit edilir.
4. Tesadüfi sayılar çekilerek olayın meydana gelişi taklit edilir.
5. Olay sonunda ortaya çıkan değerlerin analizi yapılır.
6. Simülasyon yeterli sayıda tekrar edilerek optimala yakın sonuçların bulunmasına çalışılır.

3.3.3.2. Simülasyon modelleri

Simülasyon modelleri, kullanım alanları ve yapısal özellikleri açısından üç farklı sınıflandırmaya tabi tutulabilir. Söz konusu sınıflandırmaları şu şekilde gösterebiliriz:

1. Statik (zamandan bağımsız) ve dinamik (zamana bağımlı) simülasyon modelleri,
2. Deterministik ve stokastik simülasyon modelleri,
3. Sürekli ve kesikli simülasyon modelleri.

Bir “statik” simülasyon modeli, bir sistemin belirli bir zamandaki tasviridir ya da zamanın hiç bir rol oynamadığı bir sistemi tanımlamada kullanılır. Monte Carlo simülasyonu, statik simülasyona bir örnek olarak verilebilir. Diğer yandan, bir “dinamik” simülasyon modeli, bir fabrikadaki taşıma sistemi gibi, zaman boyunca değişme gösteren bir sistemi tasvir eder¹⁰⁴.

Zamandan bağımsız olan statik modelde, olayların tam olarak ne zaman meydana geldiği önemli değildir. Zamana bağlı olarak değişerek, birbirini etkileyen değişkenlerle ilgilenen dinamik simülasyonların iyi bilinen örneklerinden bazıları:

¹⁰³ B. Kobu, a.g.e., 270.

¹⁰⁴ A.M. Law and W.D. Kelton, a.g.e., 6.

makro ekonomik büyüme modellerinin simülasyonu, firmanın simülasyon modelleri, dinamik doğanın kuyruk, çizelgeleme, stok ve iş akışı modelleri olarak sayılabilir¹⁰⁵.

Eğer bir simülasyon modeli hiç bir ihtimalli unsur içermiyorsa, “deterministik” olarak adlandırılır. Örneğin, kimyasal bir tepkimeyi tanımlayan diferansiyel denklemlerin karmaşık bir sistemi, deterministik bir modeldir. Deterministik modellerde, hesaplanması çok fazla bilgisayar çalışması gerektirmesine rağmen, modeldeki girdi miktarı ve bağıntılar bir kez tespit edildiğinde, çıktı miktarı da belirlenmiş olur. Bununla birlikte, bir çok sistem en azından bir kaç tesadüfi girdi unsuru içerir şekilde modellenmelidir ve bu da “stokastik” simülasyon modellerini ortaya çıkarır. Bir çok kuyruk ve stok modeli stokastik olarak modellenir. Stokastik simülasyon modelleri kendiliğinden tesadüfi olan çıktılar üretir ve böylece sadece modelin gerçek karakteristiklerinin tahmini olarak ele alınmalıdır. Bu, simülasyonun temel sakıncalarından birisidir¹⁰⁶.

Stokastik bir simülasyonda, değişkenlerin biri, ya da daha fazlası stokastiktir ve bu nedenle belirli bir olasılık dağılımı gösterir. Söz konusu dağılımlar iki sınıfta toplanabilir: sürekli ve kesikli dağılımlar¹⁰⁷.

Sürekli ve kesikli simülasyon modellerini, kesikli ve sürekli sistemlere benzer şekilde tanımlayabiliriz. Ancak, kesikli bir model, her zaman kesikli bir sistemi modellemede kullanılmaz. Bunun tersi de doğrudur. Belirli bir sistem için sürekli ya da kesikli bir modelin kullanılıp kullanılmayacağı kararı, çalışmanın tayin edilmiş amaçlarına dayanır. Örneğin, bir otoyol üzerindeki trafik akışı, eğer şahsi araçların hareketi ve karakteristikleri önemliyse, kesiklidir. Buna karşılık, eğer araçlar bir

¹⁰⁵ G.D. Eppen, F.J. Gould and C.P. Schmidt, *Introductory Management Science* (1993).

¹⁰⁶ A.M. Law and W.D. Kelton, a.g.e., 6.

¹⁰⁷ G.D. Eppen, F.J. Gould and C.P. Schmidt, a.g.e.

bütün olarak ele alınabiliyorsa, trafik akışı sürekli bir model içindeki diferansiyel denklemlerle tanımlanabilir¹⁰⁸.

3.3.3.3. Simülasyon programlama dilleri

Simülasyon sistemlerinin analizinde, kesikli simülasyon modellerini programlarken aşağıdaki faktörlere dikkat etmek gerekir¹⁰⁹:

1. U (0,1) olasılık dağılımından tesadüfi sayılar üretmek,
2. Belirli bir olasılık dağılımından (üslü, Poisson, vs.) tesadüfi değerler üretmek,
3. Simüle edilmiş zamanı geliştirmek,
4. Olay listesinden gelecek olayı belirlemek ve kontrolü uygun şifre bloklarına geçirmek,
5. Bir listeye kayıtlar eklemek, ya da kayıtları silmek,
6. Verileri toplamak ve analiz etmek,
7. Sonuçları rapor etmek,
8. Hata durumlarını ortaya çıkarmak.

Bunlar ve diğer faktörler, özel amaçlı simülasyon programlarının ortaya çıkmasına neden olur. Buna ilaveten, söz konusu programlama dillerinin gelişimi, standardizasyonu ve elverişliliği geçmiş yıllarda simülasyonun artan rağbetinde önemli faktörler olmuştur. FORTRAN gibi genel amaçlı bilgisayar dillerinin yerine simülasyon programlama dilleri kullanmanın yararları çok fazladır. Bugün kullanımda olan simülasyon dillerinden çoğu iki yaklaşımdan birini uygulamaktadır. Bu iki yaklaşım *olay-listeleme* ve *süreç* olarak adlandırılır¹¹⁰.

¹⁰⁸ A.M. Law and W.D. Kelton, a.g.e., 7.

¹⁰⁹ A.M. Law and W.D. Kelton, a.g.e., 234.

¹¹⁰ A.M. Law and W.D. Kelton, a.g.e., 235.

Simülasyon uygulamaları bilgisayar kullanmayı gerektirdiğinden; tesadüfi sayıların üretimi, sayılar planının uyarlanması, hesaplamalar, özel veri çıktıları gibi ayrıntıların programlanması aşırı kapsamlı olabilen bir simülasyonu gerektirmektedir. Geliştirilen özel diller, bilgisayar simülasyon modellerinde gerekli ayrıntıların çoğunda programcıyı serbest bırakır, ya da ona yardımcı olur. Simülasyon için kullanılan bilgisayar programlama dillerini şu şekilde sıralayabiliriz: GPSS, SIMSCRIPT, SIMPAC, DYNAMO, GASP, SIMULATE, GSP, ESP, CSL, MONTECODE, CLP¹¹¹.

Simülasyon için elverişli olan bilgisayar dillerinden en çok kullanımda olanları aşağıda açıklanmıştır:

1. GPSS (General Purpose Simulation System): GPSS, kuyruk sistemlerine uygun olan süreç bazlı bir simülasyon dilidir. 1961 yılında, Geoffrey Gordon tarafından IBM şirketinde geliştirilmiştir. 1960'lı ve 1970'li yıllarda, bir çok simülasyon modelinin kuyruksal niteliği, IBM şirketinin bilgisayar endüstrisindeki güçlü etkisi ve GPSS dilinin bir çok üniversitenin simülasyon derslerinde öğretilmesi sonucu GPSS çok rağbet gören bir simülasyon dili haline gelmişti. 1972 yılında IBM, GPSS programını ilerletmeyi ve desteklemeyi bıraktıktan sonra, diğer satıcılar tarafından GPSS/ H ve GPSS/ PC versiyonları boşluğu doldurdular¹¹².

GPSS, hareket yönlü bir kesikli simülasyon dilidir. Bu programlama dili sistemi tanımlamak için blok diyagramı kullanır. Bloklar faaliyetleri göstermek için kullanılırlar ve her bir blok, bir şifre, ya da bloğu tayin eden bir komut ile tanımlanır¹¹³.

¹¹¹ O. Halaç, a.g.e. (1995) 357-358.

¹¹² A.M. Law and W.D. Kelton, a.g.e., 243.

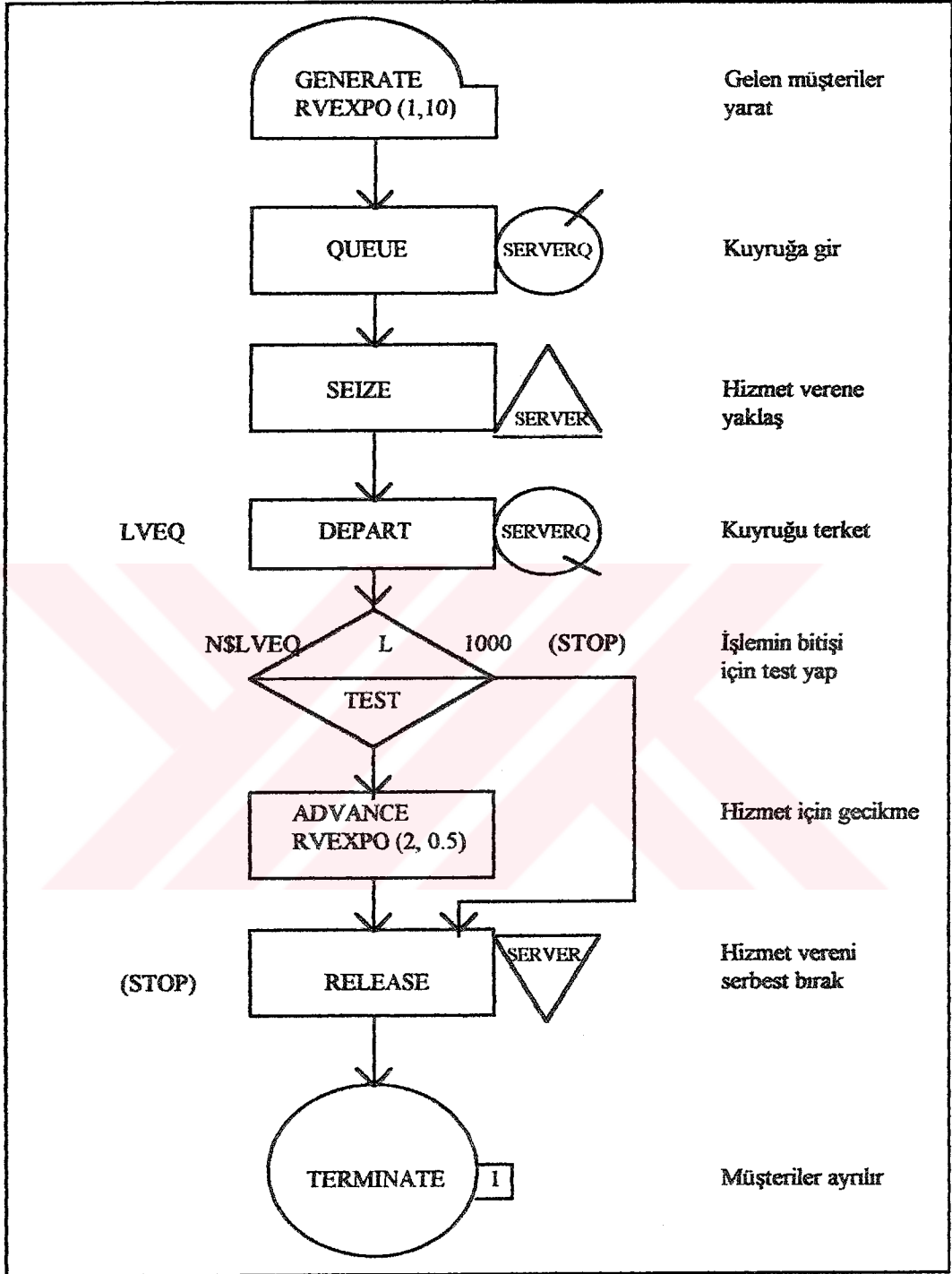
¹¹³ L. M. Austin and J. R. Burns, Management Science - An Aid for Managerial Decision Making. (1985) 327.

GPSS programcısı, kullanıcının sisteme girmesinden itibaren sistemi terk edişine kadar katedeceğı aşamaların sırasını belirtir. İfadelerin yapısı şu şekildedir: GENERATE (gelişler), QUEUE (kuyruğa katıl), ENTER (hizmet sistemine gir), DEPART (kuyruktan ayrıl), ADVANCE (zamanı geliştir), LEAVE (hizmet sisteminden ayrıl), ve TERMINATE (sistemi terket). Bu basit ifadelerden daha karmaşık yapıdaki simülasyon programı derlenmiştir. GPSS bu kadar güçlü olduğu için, öğrenilmesi ve kullanımı çok kolaydır¹¹⁴.

GPSS/ H, GPSS dilinin derlenmiş bir versiyonudur ve beş kat daha hızlı çalıştığı rapor edilmiştir. Bunun yanında, gerçek değerli saat, harici dosyaları okuma ve yazma yeteneğı, birleştirilmiş çıktı raporları, gelişmiş kontrol sistemleri, matematiksel fonksiyonlar ve olasılık dağılımlarından tesadüfi değerler elde etmek için sınırlı sayıda yöntemle sahip olmak gibi üstünlükleri mevcuttur. GPSS/ H dili, *blok* olarak adlandırılan resimli sunumlara sahip 60 kadar standart ifadeden oluşmaktadır. GPSS modelinin kurulması, sistem içinde geliştikçe oluşturduğu yolu gösteren bir blok diyagramı içindeki, bir dizi standart blokların birleştirilmesi gibi düşünülebilir. Blok diyagramı oluşturulduktan sonra, kullanıcı tarafından bilgisayarda işletilmek üzere GPSS ifadelerinin ilişkili kümelerine çevrilir. GPSS dilinde, sistemden hizmet bekleyen müşteriler ya da varlıklar “işlem” olarak adlandırılırken, bunların niteliklerine de “parametre” adı verilir. İşlemler tarafından talep edilen hizmeti sağlayan Hizmet verenler ya da kaynaklar “imkanlar” ya da “depolar” olarak adlandırılır¹¹⁵.

¹¹⁴ G. Gordon, I. Pressman, S. Cohen, a.g.e., 563-564.

¹¹⁵ A.M. Law and W.D. Kelton, a.g.e., 244.



Şekil.7: GPSS/ H blok diyagramının kuyruk modeli.

Şekil.7’de GPSS/ H programının kuyruk modeli için oluşturulan blok diyagramı verilmiştir. Burada, RVEXPO simgesi, gelişler arası zamanın dağılımının üslü (exponential) olduğunu belirtmektedir. Gelen müşteriler ilk önce kuyruğa dahil olmaktadır (QUEUE). Daha sonra müşteri, hizmet vereni boş bulduğu zaman onu yakalamakta (SEIZE) ve kuyruktan ayrılmaktadır (DEPART). Bu aşamada, hizmetin tamamlanıp tamamlanmadığı ve bir gecikmenin söz konusu olup olmadığı test edilmelidir (TEST). Eğer bir gecikme varsa, hizmet zamanı geliştirilmelidir (ADVANCE). Hizmet tamamlandıktan sonra da hizmet vereni serbest bırakır (RELEASE). Hizmet alan müşteriler, nihai olarak sistemi terkederler (TERMINATE).

2. SIMSCRIPT II.5: SIMSCRIPT, 1962 yılında Harry Markowitz ve arkadaşları tarafından Rand şirketinde geliştirilmiştir. Bir çok versiyonu geliştirilen bu dilin en son pazarlanan versiyonu SIMSCRIPT II.5 dilidir. SIMSCRIPT II.5 kesikli, sürekli, ya da birleştirilmiş simülasyon modellerini kurma yeteneği taşıyan bir programlama dilidir. Bunun yanında, İngilizce benzeri ve serbest yapıdaki söz dizimi, SIMSCRIPT II.5 simülasyon programlarını okunması ve belgelenmesi kolay bir hale getirir. Genel süreç yaklaşımı, gelişmiş veri yapıları ve güçlü kontrol ifadeleri nedeniyle SIMSCRIPT II.5 genellikle büyük ve karmaşık simülasyon modelleri için kullanılmaktadır. Örneğin, bir çok askeri muharebe modelleri SIMSCRIPT II.5, ya da FORTRAN dillerinin biriyle yazılmaktadır¹¹⁶.

GPSS’den farklı olarak, bu program, kesikli simülasyonu düzenlemek için özel faaliyetlerle kullanılan genel amaçlı bir programlama dilidir. Yaklaşım, hareketten çok olaya dayanmaktadır¹¹⁷.

SIMSCRIPT diliyle program yazmak, GPSS diline nazaran daha karmaşıktır, çünkü sistemin tanımı sistemin olaylarına (gelişler, hizmetin sona ermesi, sistemin

¹¹⁶ A.M. Law and W.D. Kelton, a.g.e., 253.

¹¹⁷ L. M. Austin and J. R. Burns, a.g.e., 329.

terkedilmesi, vb.) bağlıdır. Programlamanın daha karmaşık olmasına rağmen çok fazla esneklik vardır. SIMSCRIPT dilinde yazılan programlar, GPSS dilinde mümkün olmayan işlemleri başarıyla yerine getirebilir¹¹⁸.

3. SLAM (Simulation Language for Alternative Modeling): Bu program, GASP ve GERT programlarının önceki versiyonlarından geliştirilmiştir. Söz konusu programlar da simülasyon yapısındadır. SLAM, kullanıcıya, bir şebeke simülasyonunu bir kesikli simülasyon olarak belirleme seçeneği verir¹¹⁹.

SLAM II, kullanıcının süreç bazlı, olay bazlı, ya da ikisinin birleşiminden oluşan modelleri kurmasını sağlayan bir simülasyon dilidir. Tipik bir uygulamada, simülasyon modellerinin bir çoğu süreç bazlı model kullanılarak geliştirilir. Süreç yaklaşımında elverişsiz ya da imkansız olan karmaşık karar mantığı, olay yöntemleriyle kodlanır ve sonra süreç modelinden çağrılır. SLAM II programı, bilgisayar yapısına ve animasyon yeteneğinin istenip istenmediğine dayanan bir çok farklı yapıda elverişlidir¹²⁰.

4. QUEUES: Bu program, bir dizi kuyruk modelinin istatistiksel analizini sağlayan, tamamen etkileşimli bir programdır. Programın işleyişinde Kendall notasyonu kullanılmaktadır ve aşağıdaki faktörleri gösterebilir¹²¹:

1. Tek, ya da çok sayıda paralel hizmet verenler,
2. Sonlu, ya da sonsuz müşteri kaynağı,
3. Sonlu, ya da sonsuz kuyruk uzunluğu,
4. Üslü, keyfi, ya da bilinen ortalama ve varyansa sahip bilinmeyen bir hizmet zamanı dağılımı,

¹¹⁸ G. Gordon, I. Pressman, S. Cohen, a.g.e., 564.

¹¹⁹ L. M. Austin and J. R. Burns, a.g.e., 330.

¹²⁰ A.M. Law and W.D. Kelton, a.g.e., 258.

¹²¹ J. R. Burns and L.M. Austin, Management Science Models and the Microcomputer. (1985) 208.

5. FIFO kuyruk disiplini, ya da öncelikli FIFO disiplini.

QUEUES programı geliş oranının üslü dağıldığını varsayar. Yukarıda listelenen beş seçeneğe bağlı olarak, her birinin ayrı bir model gerektirdiği 48 permütasyon, ya da olasılık vardır.

Bir BASIC programı olan ve James R. Burns tarafından bulunan QUEUES programı, aşağıdaki modeller için kapalı yapıda çözümler sağlar¹²²:

1. $M / M / s / N / \text{FIFO} / C$

2. $M / G / 1 / \infty / \text{FIFO} / 1$

Burada; $s = 1, 2, \dots$ (paralel servis sayısı)

$N = 0, 1, \dots$ (kuyruk sistemindeki yer sayısı)

$C = 1, 2, \dots$

3.3.3.5. Tek kanallı kuyruk modellerinde simülasyon tekniğinin kullanılması

Tek kanallı kuyruk modellerinde müşterilerin, sabit bir oran olan, birim zaman başına " λ " adet müşteri oranında geldiği varsayılır. Hizmet oranı da sabittir ve birim zaman başına " μ " adet müşteriye eşittir. Burada, sistemin büyüklüğünün sınırlı olup olmamasına göre iki çeşit model önerilebilir¹²³.

Tek kanallı kuyruk modellerinde simülasyon tekniğinin kullanılması, bir örnek yardımıyla açıklanacaktır. İlk önce, problem ifade edilerek, zamanlara ait dağılımlar verilecektir. Daha sonra, simülasyon metodolojisi açıklanarak, istenen değerler simülasyon yardımıyla hesaplanacaktır.

¹²² L.M. Austin and J.R. Burns, a.g.e., 292.

¹²³ H.A. Taha, a.g.e., 632.

Tek kanallı bir kuyruk sisteminin simüle edileceğini varsayın. Söz konusu sistem aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır¹²⁴:

1. Tek kanal mevcuttur.
2. Sınırsız bir kuyruktur, ilk giren - ilk çıkar (FIFO) kuralı işler, öncelikli kullanıcılar yoktur, vazgeçme yoktur.
3. Gelişler arası zaman ($1/\lambda$) dağılımı aşağıdaki gibidir:

Gelişler arası zaman (saniye)	10	15	20	25	30
Olasılık	0.10	0.25	0.30	0.25	0.10

ortalama = 20.0 saniye

4. Hizmet zamanı ($1/\mu$) dağılımı aşağıdaki gibidir:

Hizmet zamanı (saniye)	5	10	15	20	25	30
Olasılık	0.08	0.14	0.18	0.24	0.22	0.14

ortalama = 19.0 saniye

Problem bundan sonra, sistemin 100 adet kullanıcısını simüle edecek ve ortalama bekleme zamanı ile sistemde harcanan ortalama zamanı hesap edecektir.

Bu aşamada, sistemin her bir kullanıcısını takip eden ve her birinin geliş zamanını (TA), hizmete başladığı zamanı (TE) ve hizmeti tamamlayıp ayrıldığı zamanı (TL) belirleyen bir model geliştirilecektir. Bunu yapmak için, daha yüksek değerleri zaman ilerlemesi olarak ele alan bir “saat” tarafından temsil edilen zaman hareketlerini dikkate alınacaktır. Saati, simülasyonun başlangıcında sıfıra eşit bir zamanda çalıştırmaya başlamak ve zamanı ölçmeye yarayacak bir birim seçmek gerekmektedir. Gelişler arası zamanlar ve hizmet zamanları dağılımları saniye cinsinden verildiğinden, zaman birimi olarak 1 saniyeyi seçebiliriz. Böylelikle, eğer verilen bir kullanıcı için, geliş zamanının (TA) 25 değerine eşit olduğunu söylersek, kullanıcının, simülasyonun başlamasından 25 saniye sonra sisteme geldiği anlamına gelir¹²⁵.

¹²⁴ G. Gordon, I. Pressman, S. Cohen, a.g.e., 552.

¹²⁵ G. Gordon, I. Pressman, S. Cohen, a.g.e., 552.

Her bir kullanıcı için tesadüfi olarak bir gelişler arası zaman seçeceğiz ve bir önceki kullanıcının geliş zamanıyla şimdiki kullanıcının gelişler arası zamanını toplayarak, geliş zamanını belirleyeceğiz. Hizmete başladığı zamanı belirlemek için, geldiğinde hizmette kimsenin olup olmadığını belirleyeceğiz. Bu değer, önceki kullanıcının hizmeti terkettiği zamanın (TL) gözlenmesiyle belirlenebilir. Mevcut kullanıcı, önceki kullanıcının ayrılış zamanından daha önce hizmete başlayamaz. Kullanıcının hizmetini tamamlayıp sistemi terkettiği zamanı (TL) belirlemek için, tesadüfi olarak bir hizmet zamanı seçeriz ve $TL = TE + ST$ formülünden TL değerini hesaplarız. Gelişler arası zamanların ve hizmet zamanlarının tesadüfi üretimi, Monte Carlo Tekniği'nin kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Kümülatif dağılımlar ve tesadüfi sayı aralıkları Çizelge 3 ve Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Gelişler arası zaman (IAT) için kümülatif olasılık dağılımı ve tesadüfi sayı aralığı

Gelişler Arası Zaman (saniye)	Olasılık	Kümülatif Olasılık	Tesadüfi Sayı Aralığı
10	0.10	0.10	0.0000-0.0999
15	0.25	0.35	0.1000-0.3499
20	0.30	0.65	0.3500-0.6499
25	0.25	0.90	0.6500-0.8999
30	0.10	1.00	0.9000-0.9999

Çizelge 4. Hizmet zamanı (ST) için kümülatif olasılık dağılımı ve tesadüfi sayı aralığı

Hizmet Zamanı (saniye)	Olasılık	Kümülatif Olasılık	Tesadüfi Sayı Aralığı
5	0.08	0.08	0.0000-0.0799
10	0.14	0.22	0.0800-0.2199
15	0.18	0.40	0.2200-0.3999
20	0.24	0.64	0.4000-0.6399
25	0.22	0.86	0.6400-0.8599
30	0.14	1.00	0.8600-0.9999

100 adet müşteri için simülasyon, Çizelge 5'te gösterilmiştir. Çizelge 5'teki sütun başlıkları TA, TE ve TL değerlerinin "saat zamanı" olarak gösterildiğine dikkat edilmesi gerekir. Bu değerler, saat üzerinde, zaman içinde noktalardır. Müşteri istatistiklerinin örnek değerleri, bekleme zamanı (WT) ve sistemde harcanan zaman (TS), aşağıdaki formüller yardımıyla TA, TE ve TL değerlerinden hesaplanabilir¹²⁶:

$$WT = TE - TA \quad (28)$$

$$TS = TL - TA \quad (29)$$

Örneğin, eğer ilk müşteri saat zamanı olarak 15 birim değerinde sisteme gelirse, hizmet gören hiç kimse yoktur ve hemen hizmete başlayacaktır. Diğer bir deyişle, ilk müşterinin hizmete başlama zamanı, TE = 15 olacaktır. İkinci kullanıcı saat zamanı TA = 40 olduğunda sisteme gelirse, yine beklemeyecektir. Üçüncü kullanıcı TA = 55 olduğunda sisteme gelirse, ikinci kullanıcının hizmetini tamamlamasını bekleyecektir. Bu nedenle, üçüncü kullanıcının hizmete başladığı saat zamanı TE = 60 olacaktır; sisteme vardığı zaman olan TA = 55 olmayacaktır. O halde, WT = TE - TA = 60 - 55 = 5 saniye bekleyecektir. Sistemde harcadığı zaman, TS = TL - TA, ya da TS = WT + ST denklemlerinden hesaplanabilir ve 35 saniyeye eşittir¹²⁷.

Yukarıdaki toplam değerler göz önüne alınırsa, bekleme zamanının (WT) ve sistemde harcanan zamanın (TS) ortalama değerleri, 100 defa gözlem yapıldığında aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\overline{WT} = \frac{\sum WT}{100} = 35.84 \text{ saniye ve } \overline{TS} = \frac{\sum TS}{100} = 55.85 \text{ saniye}$$

¹²⁶ G. Gordon, I. Pressman, S. Cohen, a.g.e., 553.

¹²⁷ G. Gordon, I. Pressman, S. Cohen, a.g.e., 553.

Yukarıdaki değerler, gerçek ortalama bekleme zamanı ve gerçek sistemde harcanan zaman hesaplamalarıdır. Tüm simülasyon hesaplamalarında olduğu gibi, bunlar da örnek çeşitliliğine bağlıdır. Ne kadar fazla sayıda gözlem yapılırsa, o derece hassas hesaplamalar elde edilir.

Çizelge 5. Tek kanallı kuyruk modeli simülasyonu (100 kullanıcı için)

Müşteri sayısı	Tesadüfi sayı - 1	Gelişler arası	Gelişin saat zamanı	Hizmetin başladığı saat zamanı	Tesadüfi sayı - 2	Hizmet zamanı	Ayrılışın saat zamanı	Bekleme zamanı (WT =	Sistemde Harcanan Zaman
1	0.2068	15	15	15	0.2648	15	30	0	15
2	0.7384	25	40	40	0.4350	20	60	0	20
3	0.3026	15	55	60	0.9841	30	90	5	35
4	0.9983	30	85	90	0.8712	30	120	5	35
5	0.6648	25	110	120	0.5827	20	140	10	30
6	0.8304	25	135	140	0.9013	30	170	5	35
7	0.3276	15	150	170	0.8436	25	195	20	45
8	0.7519	25	175	195	0.6093	20	215	20	40
9	0.0468	10	185	215	0.0846	10	225	30	40
10	0.1580	15	200	225	0.5063	20	245	25	45
11	0.2984	15	215	245	0.3762	15	260	30	45
12	0.6281	20	235	260	0.4246	20	280	25	45
13	0.3746	20	255	280	0.2893	15	295	25	40
14	0.6835	25	280	295	0.8461	25	320	15	40
15	0.9467	30	310	320	0.6587	25	345	10	35
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
100	0.5032	20	2.010	2.040	0.7407	25	2.065	30	25
						Toplam =		3.584	5.585
						Kullanıcı sayısı =		100	100
						Ortalama =		35.84	55.85

3.4. Tek Kanallı Kuyruk Modellerinde Simülasyon Uygulaması

Günümüz koşullarında, zaman ve para kaybının en çok rastlandığı kuyruk sistemleri bankalarda görülmektedir. Bunun nedeni, para işlemlerinin diğer hizmet işlemlerine oranla daha fazla sayıda gerçekleştirilmesidir. Bankalarda verilen hizmetlerin para ve menkul değerler bazında olması, kaybedilen zamanı daha değerli hale getirmektedir. Vakit darlığı nedeniyle kaybedilen müşteriler, bankalar için sermaye kaybıdır. Eğer bu kayıp sürekli devam ederse, bankalar müşterilerini rakiplerine kaptırabilirler ya da git gide işlem yapamaz hale gelebilirler. Otomatik para çekme makinaları önünde biriken müşteriler, kuyrukta bekleme zamanları arttıkça sıkılmakta, hatta kuyruğu terketmektedirler. Bu da, işletme için müşteri ve para kaybı anlamına gelmektedir.

Söz konusu zaman kaybını hesaplamak amacıyla Nazilli’de, bir otomatik para çekme makinesi önünde gözlem yapılmıştır. Gözlemin yapıldığı günün maaş alımından bir gün sonra olması ve makinenin şehrin en işlek caddelerinden birinde bulunması nedeniyle, kuyruk oluşumunun gözlenmesi için uygun bir mevki olduğu kararına varılmıştır. Bu gözlemde, kuyruğu terkeden müşteriler ve çeşitli nedenlerden dolayı makine başında aşırı zaman harcayan kullanıcılar göz ardı edilmiştir. Hizmet yerine gelen müşterilerin gelişler arası zamanları ve makine başında geçirdikleri hizmet zamanları gözlenerek not edilmiştir.

Otomatik para çekme makinesi önünde yapılan gözlemler sonucunda, müşterilerin gelişleri arası zamanları ve hizmet zamanları hakkında Çizelge 6’daki değerler elde edilmiştir. Sınıflandırma kolaylığı açısından, zamanlar beş saniyelik dilimler halinde düzenlenmiştir.

Çizelge 6. Gelişler arası zaman ve hizmet zamanları.

Müşteri sayısı	Gelişler arası zaman (sn.)	Hizmet zamanı (sn.)
1	20	35
2	40	40
3	30	35
4	35	50
5	40	40
6	20	45
7	25	35
8	25	30
9	30	40
10	25	45
11	35	30
12	30	35
13	20	50
14	25	40
15	40	35
16	30	45
17	35	35
18	20	40
19	40	45
20	30	30

Yukarıdaki çizelgedeki değerlerin olasılık yüzdelerini alırsak, gelişler arası zaman ve hizmet süresi için olasılık dağılımlarını elde etmiş oluruz. Bu dağılımları da aşağıdaki gibi gösterebiliriz:

Gelişler arası zaman (saniye)	20	25	30	35	40
Olasılık	0.20	0.20	0.25	0.15	0.20

Hizmet zamanı (saniye)	30	35	40	45	50
Olasılık	0.15	0.30	0.25	0.20	0.10

Burada, iki müşterinin gelişleri arasındaki zamanın 20 saniye olma olasılığının yüzde yirmi olduğu görülebilir. Aynı şekilde, bir müşterinin 30 saniyede hizmetini tamamlama olasılığı yüzde on beştir.

Simülasyon yöntemini uygulayabilmemiz için, tesadüfi sayı aralıklarına ihtiyacımız vardır. Tesadüfi sayı aralıklarını, gelişler arası zaman ve hizmet süresinin kümülatif olasılık dağılımlarından elde edebiliriz. Çizelge 7 ve Çizelge 8 söz konusu süreler için kümülatif olasılık dağılımlarını ve bunlara tekabül eden tesadüfi sayı aralıklarını göstermektedir. Tesadüfi sayı aralıkları, kümülatif olasılıkların arasında kalan yüzde dilimleridir. Örneğin, 20 saniyelik bir gelişler arası zamanın kümülatif olasılığı yüzde yirmi olduğundan, bunun tesadüfi sayı aralığı yüzde sıfırla yüzde yirmi arasında olacaktır. Yani, 0.0000 ve 0.1999 arasındaki değerler için gelişler arası zaman 20 saniyedir.

Çizelge 7. Gelişler arası zaman için kümülatif olasılık dağılımı ve tesadüfi sayı aralığı

Gelişler Arası Zaman (saniye)	Olasılık	Kümülatif Olasılık	Tesadüfi Sayı Aralığı
20	0.20	0.20	0.0000-0.1999
25	0.20	0.40	0.2000-0.3999
30	0.25	0.65	0.4000-0.6499
35	0.15	0.80	0.6500-0.7999
40	0.20	1.00	0.8000-0.9999

Çizelge 8. Hizmet zamanı için kümülatif olasılık dağılımı ve tesadüfi sayı aralığı

Hizmet Zamanı (saniye)	Olasılık	Kümülatif Olasılık	Tesadüfi Sayı Aralığı
30	0.15	0.15	0.0000-0.1499
35	0.30	0.45	0.1500-0.4499
40	0.25	0.70	0.4500-0.6999
45	0.20	0.90	0.7000-0.8999
50	0.10	1.00	0.9000-0.9999

Bu aşamada, otomatik para çekme makinesine gelen her bir müşteri için tesadüfi olarak bir gelişler arası zaman seçilecektir. Sonra da, bir önceki müşterinin geliş zamanıyla şimdiki müşterinin gelişler arası zamanını toplayarak, şimdiki müşteri için geliş zamanı belirlenecektir. Hizmete başladığı zamanı bulmak için de, müşteri sisteme geldiğinde hizmet yerinde kimsenin olup olmadığını belirlememiz gerekir. Bu değer, önceki müşterinin sistemden ayrıldığı zamanın (TL) gözlenmesiyle belirlenebilir. Şimdiki müşteri, önceki müşteri hizmet yerinden ayrılmadan önce hizmete başlayamaz. Müşterinin hizmetini tamamlayıp sistemden ayrıldığı zamanı (TL) belirlemek için, tesadüfi olarak bir hizmet zamanı seçilir ve $TL = TE + ST$ formülünden TL değerini hesaplanır. Kümülatif dağılımlar ve tesadüfi sayı aralıkları Çizelge 7 ve Çizelge 8’de gösterilmiştir.

20 müşteri için simülasyon, Çizelge 9’da gösterilmiştir. Çizelge 9’daki sütun başlıkları TA, TE ve TL değerleri “saat zamanı” olarak verilmiştir. Müşteri istatistiklerinin örnek değerleri, bekleme zamanı (WT) ve sistemde harcanan zaman (TS), aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanabilir:

$$WT = TE - TA$$

$$TS = TL - TA, \text{ ya da } TS = ST + WT$$

Burada, yirmi müşteri için toplam bekleme zamanı, 1.775 saniye, yani yaklaşık 30 dakika olarak bulunmuştur. Müşteri başına ortalama bekleme zamanı ise, $1.775/20 = 88.75$ saniyedir. Müşterilerin sistemde harcadıkları toplam zaman, 2.570 saniye, yani yaklaşık 43 dakikadır. Sistemde harcanan ortalama zaman ise, $2.570/20 = 128.5$ saniye, yani iki dakikadan fazladır.

Müşteri sayısı artıkça bekleme zamanının artması, kuyrukların sonsuza dek uzayacağını gösterir. Bu da, işletme için zaman ve müşteri kaybı anlamına gelir. Banka, belirli bir süre içinde, zaman geçtikçe, daha az sayıda müşteriye hizmet verir hale gelecektir. Böylece, para kaybına da uğrayacaktır.

Çizelge 9. Tek kanallı kuyruk modeli simülasyonu (20 müşteri için)

Müşteri sayısı	Tesadüfi sayı - 1	Gelişler arası zaman	Gelişin saat zamanı (TA)	Hizmetin başladığı saat zamanı (TE)	Tesadüfi sayı - 2	Hizmet zamanı (ST)	Ayrılışın saat zamanı (TL)	Bekleme zamanı (WT = TE - TA)	Sistemde harcanan zaman (TS= ST + WT)
1	0.2068	25	25	25	0.2648	35	60	0	35
2	0.7384	35	60	60	0.4350	35	95	0	35
3	0.3026	25	85	95	0.9841	50	145	10	60
4	0.9983	40	125	145	0.8712	45	190	20	65
5	0.6648	35	160	190	0.5827	40	230	30	70
6	0.8304	40	200	230	0.9013	50	280	30	80
7	0.3276	25	225	280	0.8436	45	325	55	100
8	0.7519	35	260	325	0.6093	40	365	65	105
9	0.0468	20	280	365	0.0846	30	395	85	115
10	0.1580	20	300	395	0.5063	40	435	95	135
11	0.2984	25	325	435	0.3762	35	470	110	145
12	0.6281	30	355	470	0.4246	35	505	115	150
13	0.3746	25	380	505	0.2893	35	540	125	160
14	0.6835	35	415	540	0.8461	45	585	125	170
15	0.9467	40	455	585	0.6587	40	625	130	170
16	0.5689	30	485	625	0.4765	40	665	140	180
17	0.7742	35	520	665	0.1734	35	700	145	180
18	0.4128	30	550	700	0.5492	40	740	150	190
19	0.0875	20	570	740	0.2345	35	775	170	205
20	0.5032	30	600	775	0.7407	45	820	175	220
						Toplam =		1.775	2.570
						Kullanıcı sayısı =		20	20
						Ortalama =		88.75	128.5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Hizmet almak için bekleyen birimlerden oluşan kuyruklar, müşteri gelişlerinin oranının, hizmet oranından fazla olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. İmalat ve hizmet sistemlerinde görülen kuyruklar, yüksek maliyetlere ve zaman kaybına neden olmaktadır.

Kuyruk modelleri ve bu alanda kullanılan simülasyon tekniği, kuyrukların yapısını inceleyerek, maliyetleri ve zaman kaybını azaltmak amacıyla yönetime gerekli verileri sunmaktadır. Bir yandan hizmet maliyetlerinin düşük olmasını isteyen, bir yandan da hizmet kalitesini yükselterek müşteri bekleme zamanını azaltmayı amaçlayan yöneticiler, işletmenin yararları ile müşterilerin yararlarını fazla çatıştırmayan ekonomik bir dengeye ulaşmaya çalışırlar.

Tek kanallı bir kuyruk modelinde simülasyon yönteminin uygulanması amacıyla, bir otomatik para çekme makinesi önünde gözlem yapılmıştır. Makineye hizmet için gelen müşterilerin gelişler arası zamanları ve hizmet zamanları kaydedilerek, beş saniyelik dilimler halinde sınıflandırılmış ve olasılıkları hesaplanmıştır. Her bir müşteri için seçilen tesadüfi sayılara tekabül eden gelişler arası zamanlar ve hizmet zamanları yardımıyla kuyruk sisteminin yapısı belirlenmiştir.

Otomatik para çekme makinesi sisteminde, sisteme gelen müşteri sayısı arttıkça, ortalama bekleme zamanı ve dolayısıyla sistemde harcanan ortalama zaman da artmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, müşteri başına ortalama bekleme zamanı 88.75 saniye, yani yaklaşık 1.5 dakika olmakla birlikte, yirminci müşteri 175 saniye, yani yaklaşık 3 dakika beklemektedir. Müşteri gelişleri, gözlemlenen verilere uygun olarak sürdüğü takdirde, bekleme zamanları daha da artacak ve müşterinin hizmetten vazgeçip kuyruktan ayrılmasına neden olabilecektir. Bekleme zamanlarının artışına, hizmet zamanlarının fazla olması neden olmaktadır.

Kuyruk modellerinin simülasyonu sonucu elde edilen bulgular, yönetimin karar verme sürecinde etkili bir rol oynar. Mümkün olan en düşük maliyetle, en kaliteli hizmeti vermeye çalışan yönetim, bunu gerçekleştirirken kuyruk modelinin simülasyonundan elde edilen sayısal sonuçlara ihtiyaç duyar. Sisteme bir otomatik para çekme makinesinin daha eklenmesi, bekleme zamanını ve dolayısıyla maliyetleri azaltabilir. Ancak, ikinci makinenin maliyeti de göz önüne alınmalıdır. Ayrıca, iş yeri tasarımıyla makinenin kullanımının kolay hale getirilmesi sağlanabilir.

Bunlara ilaveten, verilen hizmetle ilgili açıklayıcı bilgilerin yazılı olarak müşteriye ilan edilmesi, bir başka deyişle, müşterinin hizmet kanalına girmeden önce bilgilendirilmesi, hizmet zamanını kısaltır. Böylece, diğer müşterilerin bekleme zamanları da kısalmaya ve maliyetler düşecektir.

Kuyruk sistemlerindeki zaman ve maliyet kayıplarının azaltılması, ülke ekonomisine de olumlu katkılar sağlayacaktır. Türkiye'nin AB'ne girme sürecinde ve işletmelerimizin ISO 9000 Kalite Güvence Belgesi alması yolunda kuyruklardaki kayıpların en aza indirilmesi gerekmektedir.

Tek kanallı kuyruk modellerinde simülasyon yönteminin uygulanması, optimal bir çözüm vermemesine rağmen, özellikle karmaşık sistemlerde, sistemi yakından analiz edip karar vermeye yardımcı olması açısından yönetime karar verme sürecinde büyük katkı sağlar.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖZET

Bekleyen birimlerden meydana gelen kuyruklar, gerek imalat sistemlerinde, gerekse hizmet sektöründe büyük zaman ve para kayıplarına neden olmaktadır. Kuyruklar ve hizmet verenlerden oluşan kuyruk sistemlerinin analizi, kuyruk teorisi yardımıyla yapılmaktadır. Bunun yanında, sınırsız kuyruklarda ve karmaşık sistemlerde simülasyon tekniğinin kullanımı zorunlu hale gelmektedir.

Bu çalışmada, kuyruk modellerinin genel yapısı, bunları etkileyen olasılık dağılımları ve simülasyon tekniğinin kullanımı tartışılmıştır. Ancak, araştırmanın ana konusu, bir tek kanallı kuyruk modeli üzerinde simülasyon tekniğinin uygulanabilirliğinin sınanmasıdır. Simülasyon sonucunda elde edilen bulgular yorumlanarak, yönetimin karar verme sürecinde, kuyruk sisteminin işleyişi hakkında temel verilere ulaşılmıştır.

Araştırmada, öncelikle ilgili literatürden yararlanılarak teorik kısım oluşturulmuştur. Daha sonra, bir otomatik para çekme makinesinde yapılan gözlemler ve bunun sonucunda gerçekleştirilen simülasyon yöntemi yardımıyla çalışma sonuçlandırılmıştır.

Gerçekleştirilen gözlem ve simülasyon sonucunda, kuyruk sistemine gelen müşteri sayısındaki artışın, bekleme zamanını ve sistemde harcanan toplam zamanı attırdığı saptanmıştır. Bunun sonucu olarak, işletme ve müşteri açısından maliyet kayıpları ortaya çıkmaktadır. Söz konusu kayıpları önlemek için, hizmet veren makine sayısı artırılabilir, ya da verilen hizmetle ilgili olarak müşteriler önceden bilgilendirilerek hizmet süresi kısaltılabilir.

SUMMARY

Queues that consist of waiting units cause a great deal of waste of time and money in manufacturing systems and service systems. The analysis of the queuing systems involving waiting lines and servers is realized by means of the queuing theory. In addition, applying the simulation technique in unlimited queues and complex systems has been getting necessary.

In this study, the general construction of the queues, probability distributions that affect them and the application of the simulation technique have been discussed. However, the main concept of the research is to experiment the feasibility of the simulation technique on a one server queuing model. By means of interpreting the findings obtained as a result of the simulation, the basic data about the running of the queuing system has been obtained in the process of managerial decision making.

In the study, first, the theoretical part has been composed by benefiting from the literature about the subject. Then, it is resulted by the observation made in front of an ATM and the simulation method realized at the end of this observation.

As a result of the observation and simulation, we found that the increase in the number of the users arriving the system increases the waiting time and the total time spent in the system. As a result of this, the waste of time and money according to the users and the firm appears. In order to stop this waste, the number of server machines can be increased, or service time can be decreased by informing the users about the service before their entrance.

TEŞEKKÜR

Tezimin başlangıcından tamamlanıncaya kadar geçen süre içinde, göstermiş olduğu yardımlardan ve sağladığı destekten dolayı danışmanım Prof. Dr. Selim BEKÇİOĞLU'na; uygun çalışma koşulları sağlayan dekanımız Prof. Dr. Halil ÇİVİ'ye teşekkür ederim.

Eğitimimin ve araştırmamın her aşamasında bana manevi destek sağlayan aileme ve çalışma arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.



KAYNAKLAR

- AKALIN, S., 1979. Yöneylem Araştırması. Ege Üniversitesi Matbaası, İzmir, 572 s.
- AKALIN, S. ve İ.İ. HASGÜR, 1988. İhtimaller Hesabı. Güçbirliği Yayıncılık ve Ticaret, İzmir, 225 s.
- ANDERSON, D.R., D.J. SWEENEY and T.A. WILLIAMS, 1991. An Introduction To Management Science - Quantitative Approaches To Decision Making. West Publishing Co., USA, 900 s.
- AUSTIN, L.M. and J.R. BURNS, 1985. Management Science - An Aid For Managerial Decision Making. MacMillan Publishing Company, NewYork, 560 s.
- BEASLEY, J.E., 1997. Operations Research Notes. [http: // mscmga.ms.ic.ac.uk / jebllor / queue.html](http://mscmga.ms.ic.ac.uk/jebllor/queue.html).
- BITRAN, G.R. and D. TIRUPATI, 1991. Approximations For Networks Of Queues With Overtime. Management Science, Journal of the Institute of Management Sciences, 37 (3): 282-299.
- BURNS, J.R. and L.M. AUSTIN, 1985. Management Science Models and the Microcomputer. MacMillan Publishing Comp., NewYork, 432 s.
- COFFMANN, E.G., Jr. and E.N. GILBERT, 1992. Service By a Queue and a Cart. Management Science, Journal of the Institute of Management Sciences, 38 (6): 867-873.
- DEMING, W.E., 1996. Krizden Çıkış. Arçelik A.Ş. (Editör: Nevzat Erkmen, Çeviren: Cem Akas), İstanbul, 418 s.
- DRUCKER, P.F., 1994. Yönetimin Görevleri, Sorumlulukları, Uygulamaları. ODTÜ (Çeviren: Fatoş Dilber), Ankara, 528 s.
- EPPEN, G.D., F.J. GOULD and C.P. SCHMIDT, 1993. Introductory Management Science. Printice Hall Int., 4th edition, 810 s.
- ERKAN, N., 1995. Ergonomi - Verimlilik, Sağlık ve Güvenlik İçin İnsan Faktörü Mühendisliği. Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, No: 373, Ankara, 285 s.
- GREEN, L. and P. KOLESAR, 1991. The Pointwise Stationary Approximation For Queues With Nonstationary Arrivals. Management Science, Journal of the Institute of Management Sciences, 37 (1): 84-97.
- GORDON, G., I. PRESSMAN and S. COHEN, 1990. Quantitative Decision Making For Business. Prentice Hall Int. Edt., 3rd edition, USA.

- HALAÇ, O., 1993. İşletmelerde Simülasyon Teknikleri. Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 272 s.
- HALAÇ, O., 1995. Kantitatif Karar Verme Teknikleri. Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 580 s.
- HALL, R.W., 1991. Queueing Methods For Service and Manufacturing. Prentice Hall International Series, New Jersey, 476 s.
- HILLIER, F.S. and G.J. LIEBERMAN, 1986. Introduction to Operations Research. McGraw-Hill Publishing Company, 4th edition, USA, 888 s.
- KARAYALÇIN, İ., 1986. Endüstri Mühendisliği ve Üretim Yönetimi El Kitabı, II. Cilt. Çağlayan Basımevi, İstanbul, 510 s.
- KOBU, B., 1996. Üretim Yönetimi. İ.Ü. İşl. Fak. İ.İ.E.A.Y.V. Yayını, 9. Baskı, İstanbul, 607 s.
- KORUM, U., 1977. Matematiksel İstatistiğe Giriş. Türkiye ve Ortadoğu Amme İdaresi Enstitüsü, Ankara, 447 s.
- LAW, A.M. and M.G. McCOMAS, 1990. Secrets of Simulation Studies. IIE Transactions, Industrial Engineering Research and Development, 22 (5): 47-53.
- LAW, A.M. and W.D. KELTON, 1991. Simulation Modeling and Analysis. McGraw Hill Int. Edt., 2nd edition, 759 s.
- LIPSCHUTZ, S., 1979. Olasılık - Teori ve Problemlerle. Schaum's Outline Series (Çeviren: Hacer Kutluk), Güven Kitabevi Yayınları, Ankara, 151 s.
- MATHCAD, 1994. Queueing Theory maddesi. Mathsoft Applications.
- MOORE, P.G., 1983. Basic Operational Research. Pitman International Text, London, 203 s.
- NAHMIAS, S., 1997. Production and Operations Analysis. Irwin Inc., 2nd edition, USA, 807 s.
- OBERSTONE, J., 1990. Management Science - Concepts, Insights, Applications. West Publishing Company, St. Paul, 661 s.
- OBORNE, D.J., 1991. Ergonomics at Work. John Wiley and Sons Ltd., 2nd edition, USA, 386 s.
- ÖZTÜRK, A., 1994. Yöneylem Araştırması. Ekin Kitabevi Yay., Bursa, 364 s.
- ROSS, S.M., 1985. Introduction to Probability Models. Academic Press Inc., 3rd edition, USA, 502 s.

SCHAGEN, I.P., 1991. Statistics and Operations Research. Chartwell-Bratt Limited, Sweden, 299 s.

ŞENKAYAS, H., 1997. Simülasyonun İmalat Sistemlerinde Kullanımı. Makine Market Dergisi, (8): 82-84.

TAHA, H.A., 1997. Operations Research - An Introduction. Prentice-Hall Inc., USA, 822 s.

TEKİN, M., 1991. Kantitatif Karar Verme Teknikleri. Arı Matbaası, Konya.

TOMPKINS, J.A. and J.A. WHITE, 1984. Facilities Planning. John Wiley and Sons Inc., USA, 675 s.

TÜTEK, H.H. ve Ş. GÜMÜŞOĞLU, 1994. Sayısal Yöntemler - Yönetmel Yaklaşım. Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 372 s.

VOLMANN, T.E., 1973. Operations Management. Addison-Wesley Publishing Company, USA, 716 s.

YAMAZAKI, G., H. SAKASEGAWA and J.G. SHANTIKUMAR, 1992. On Optimal Arrangement of Stations In a Tandem Queueing System With Blocking. Management Science, Journal of the Institute of Mangement Scinces, 38 (1): 137-153.

EK $e^{-\lambda}$ değerleri tablosu

λ	$e^{-\lambda}$
0.05	0.9512
0.50	0.6065
1.00	0.3679
1.50	0.2231
2.00	0.1353
2.50	0.0821
3.00	0.0498
3.50	0.0302
4.00	0.0183
4.50	0.0111
5.00	0.0067
5.50	0.0041
6.00	0.0025
6.50	0.0015
7.00	0.0009
7.50	0.0005
8.00	0.0003

ÖZGEÇMİŞ

23 Temmuz 1972 tarihinde Aydın ili Ortaklar beldesinde doğdu. İlk öğrenimini Ortaklar Kurtuluş İlkokulu'nda; orta öğrenimini İzmir Özel Türk Lisesi Orta Kısım ve Bornova Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 1994 yılında mezun oldu. 1995 yılında Adnan Menderes Üniversitesi Nazilli İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı.

Kamu Personeli Dil Sınavı (KPDS)'nden 86 puan alarak "B" düzeyini tutturdu. Lisansüstü Eğitimi Giriş Sınavı (LES)'den 74.749 eşit ağırlıklı puan aldı.



T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ