

T.C.  
Marmara Üniversitesi  
Sosyal Bilimler Enstitüsü  
Ekonometri Anabilim Dalı  
Yöneylem Araştırması Bilim Dalı

**SİMULASYON TEKNİĞİNİN İNCELENMESİ  
VE BİR MONTE CARLO ÇALIŞMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Latif ÖZTÜRK

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Fatma URFALIOĞLU

İstanbul - 1997

## **İÇİNDEKİLER**

|  | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|--|------------------------|
| <b>BÖLÜM.1. GİRİŞ</b>                                | <b>1</b>               |
| <b>BÖLÜM.2. SİSTEM YAKLAŞIMI VE SİMULASYON</b>       | <b>4</b>               |
| 2.1. Sistem ve Simulasyonun Tanımlanması             | 4                      |
| 2.2. Statik Simulasyon Modelleri                     | 5                      |
| 2.3. Dinamik Simulasyon Modelleri                    | 6                      |
| 2.4. Deterministik Simulasyonlar                     | 6                      |
| 2.5. Stokastik Simulasyonlar                         | 7                      |
| 2.6. Sürekli Modeller                                | 8                      |
| 2.7. Kesikli Modeller                                | 9                      |
| 2.7.1. Sonraki Olayların Planlanması                 | 10                     |
| 2.7.2. Faaliyetlerin Taranması                       | 15                     |
| 2.7.3. Amaca Uydurma Yaklaşımı                       | 16                     |
| 2.8. Simulasyonun Avantaj ve Dezavantajları          | 17                     |
| <b>BÖLÜM.3. SİMULASYON MODELİNİN</b>                 |                        |
| <b>FORMÜLASYONU</b>                                  | <b>20</b>              |
| 3.1. Problemin Belirlenmesi                          | 20                     |
| 3.2. Verilerin Toplanması ve İşlenmesi               | 23                     |
| 3.3. Bilgisayar Programının Hazırlanması             | 25                     |
| 3.4. Bilgisayardaki Yaygın Simulasyon Dilleri        | 26                     |
| <b>BÖLÜM.4. RASGELE SAYILARIN ÜRETİLMESİ VE</b>      |                        |
| <b>TEST EDİLMESİ</b>                                 | <b>29</b>              |
| 4.1. Rasgele Sayıların Elde Edilmesi                 | 29                     |
| 4.2. Üretilen Sayıların Rasgeleliğinin Test Edilmesi | 31                     |

|  |    |
|--|----|
| 4.2.1. Ki-Kare Uygunluk Testi                                  | 32 |
| 4.2.2. Kolmogorov-Smirnov Uygunluk Testi                       | 33 |
| 4.3. Rasgele Sayıların Dönüştürülmesi                          | 34 |
| 4.3.1. Ters Dönüşüm Metodu                                     | 36 |
| 4.3.2. Reddetme Metodu   | 37 |
| 4.4. Geometrik Dağılım İçin Rasgele Sayıların<br>Elde Edilmesi | 39 |
| 4.5. Weibull Dağılımı İçin Rasgele Sayıların<br>Elde Edilmesi  | 40 |
| 4.6. Poisson Dağılımı İçin Rasgele Sayıların<br>Elde Edilmesi  | 42 |
| 4.7. Üstel Dağılım İçin Rasgele Sayıların<br>Elde Edilmesi     | 43 |
| 4.8. Beta Dağılımı İçin Rasgele Sayıların<br>Elde Edilmesi     | 44 |
| 4.9. Monte-Carlo Metodu  | 46 |

## ***BÖLÜM.5. MODELİN TEST EDİLMESİ VE GEÇERLİ***

### ***HALE GETİRİLMESİ*** **48**

|  |    |
|--|----|
| 5.1. Modelin Test Edilmesi                                 | 48 |
| 5.2. Modelin Geçerli Hale Getirilmesi                      | 50 |
| 5.3. Dağılımın Belirlenmesi                                | 51 |
| 5.4. Simulasyon Deneyinin Tasarlanması                     | 53 |
| 5.5. Simulasyonun Deneme Sayısının Belirlenmesi            | 55 |
| 5.5.1. Ortalama ile Deneme Sayısının Belirlenmesi          | 57 |
| 5.5.2. Standart Sapma ile Deneme Sayısının<br>Belirlenmesi | 58 |

|  |            |
|--|------------|
| 5.6. Simulasyon Deneyinde Başlangıç Şartları                       | 58         |
| 5.6.1. Simulasyon Deneyinde Geçiş Durumu ve Sabit Durum Şartları   | 59         |
| 5.6.2. Simulasyon Deneyinde Geçiş Durumu Etkilerinin Giderilmesi   | 61         |
| 5.7. Parametre Tahminleri  | 62         |
| 5.7.1. Anakütle Ortalamasının Tahmini                              | 63         |
| 5.7.2. Anakütle Varyansının Tahmini                                | 64         |
| 5.8. Simulasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi                     | 65         |
| 5.9. Varyans İndirgeme Teknikleri                                  | 66         |
| <b>BÖLÜM.6. UYGULAMA</b>   | <b>69</b>  |
| 6.1. Uygulama Alanının ve Problemin Tanımlanması                   | 69         |
| 6.2. Uygulamada Kullanılan Gözlem Değerleri ve Bilgisayar Programı | 70         |
| 6.2.1. Kullanılan Rasgele Sayıların Test Edilmesi                  | 77         |
| 6.3. Simulasyon Uygulamalarından Elde Edilen Sonuçlar              | 79         |
| 6.3.1. Sonuçların Modele Uygunluğunun Test Edilmesi                | 81         |
| <b>SONUÇ</b>   | <b>85</b>  |
| <b>EKLER</b>   | <b>87</b>  |
| <b>KAYNAKÇA</b>  | <b>102</b> |

## **BÖLÜM 1**

### **GİRİŞ**

Simulasyon, karmaşık sistemleri analiz etmek için etkin bir şekilde kullanılabilen, yüksek esnekliğe sahip bir yöntemdir. Fakat, simulasyonun dezavantajı sonuçların istatistiksel hatalara maruz kalması, dolayısıyla da uygun istatistiksel testler tarafından yorumlanmasını gerektirmesidir. Simulasyon deneylerinin özel bir durumu olan gözlemlerin hem bağımsız hem de Sabit-durum şartlarının göstergisi olma özelliği simulasyon uygulamalarını zorlaştırmaktadır.

Simulasyon süreci modeli kurma ve modelin analitik olarak kullanılmasından oluşmaktadır. Simulasyon modelini kurarken sistemin sınırları ve etkinlik ölçüleri doğru belirlenmelidir. Bu sınırlar ve etkinlik ölçüleri belirlendikten sonra verilerin derlenmesi ve modelin bilgisayar diline tercüme edilmesi aşaması tamamlanır. Modeli bilgisayar diline çevirirken ister simulasyon uygulamaları için hazırlanmış (GASP, GPSS, SIMSCRIPT, SLAM v.b) simulasyon dillerinden istenilirse diğer programlama dilleri olan FORTRAN,PASCAL,BASIC gibi dillerden faydalanılır.

Bu aşamadan sonra modelimizin üzerinde çalıştığımız sistemi doğru yansıtır yansıtmadığını belirlemek için modelin test edilip geçerli hale getirilmesi durumu söz konusudur. Model test edilirken çeşitli istatistiksel testlerden geçirilmelidir. Modelimizin geçerliliğini tespit ettikten sonra modelimizi uygulamaya koyup simulasyon deneyini gerçekleştirebiliriz.

Simulasyon uygulamasında son aşama, simulasyon deneyinden elde edilen sonuçların analiz edilip yorumlanmasıdır.

Bu çalışmada, ikinci bölümde sistem yaklaşımı ve simulasyonun genel çerçevede tanımlanması yapılmış, simulasyon uygulamalarında kullanılan modeller üzerinde durulmuştur. Bu modellerden kesikli modeller alt başlıklar halinde ayrıntılarıyla incelenmiş, simulasyon uygulamalarının avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde, yapılacak bir simulasyon çalışmasında ilk aşama olan problemin tanımlanması, uygulamada kullanılacak gözlem değerlerinin elde edilmesi ve simulasyonun ikinci aşamasını oluşturan bilgisayar programının hazırlanması ile bu program hazırlanırken faydalanabileceğimiz bilgisayar yazılımları ve programlama dilleri hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde, stokastik bir simulasyon çalışmasında rasgele sayıların elde edilmesi ve bu sayıların rasgeleliğinin istatistiksel bazı testler kullanarak test edilmesi incelenmiştir. Devamında, elde edilen rasgele sayıların simulasyon uygulamalarında kullanılan dağılımlara dönüştürülmesi ele alınmış, ilaveten bu dağılımlardan sıkça kullanılanların dönüşüm formülleri verilmiştir. Nihayetinde simulasyon uygulamamızın temelini oluşturan Monte Carlo metodu incelenmiştir.

Beşinci bölümde ise kullandığımız simulasyon modelinin doğruluğunun test edilmesi, modelin geçerli hale getirilmesi ve başlangıç şartlarının sağlanıp modelin denenmesi aşamaları incelenmiştir. Bu deneme sırasında uygulayacağımız deneme sayısının belirlenmesi, parametrelerin tahmini ve kurduğumuz simulasyon modelinin gerçek modeli temsil edip etmediğinin test edilmesi işlenmiştir. Sonuçta oluşturduğumuz

modelin, teorik verilerinin varyansı ne kadar küçük olursa gerçek modelimizi o derece iyi temsil edeceği vurgulanarak varyans indirgeme teknikleri üzerinde durulmuştur.

Çalışmanın sonunda bu açıklamalar ışığında Monte Carlo simülasyon tekniğinin kullanımıyla bir simülasyon çalışması yapılmış ve yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar geniş bir şekilde analiz edilerek yorumlanmıştır.



## BÖLÜM 2

### SİSTEM YAKLAŞIMI VE SİMULASYON

#### 2.1. Sistem ve Simulasyon'un Tanımlanması

Bilimlerdeki aşırı uzmanlaşma, verimlilik kavramının önem kazanması, otomasyon, problemin çok boyutlu ve karmaşık hale gelmesi gibi nedenlerle çeşitli disiplinlerdeki arayışların neticesi olarak yeni bir yaklaşım doğmuştur. Bu yaklaşım sistem yaklaşımı veya yöneylem araştırması yaklaşımı olarak adlandırılmaktadır.<sup>1</sup>

Sistem, araştırmacılar tarafından bir veya daha çok amaca veya sonuca ulaşmak üzere aralarında ilişkiler olan fiziksel veya kavramsal, birden çok bileşenin oluşturduğu bir bütün olarak tanımlanmaktadır.

Yöneylem araştırması ise sistem yaklaşımı ile paralel olarak sistemde ortaya çıkacak problemlere eniyi çözümü bulmak için, sistemin kontrol edilebilen bileşenlerine, çeşitli yöntem, teknik ve araçların uygulanması olarak tanımlanmaktadır.

Bu yaklaşımlardaki temel amaç; sistemin ve sistemdeki problemlerin belirlenmesi, daha sonrada sistemin tanımından hareketle sistemdeki problemin bir bütünlük içerisinde ele alınıp olabilir çözüm seçeneklerinin geliştirilmesidir. Bu çözüm seçeneklerini belirlemede etkin olarak kullanılan bir teknikte simulasyon tekniğidir.

---

<sup>1</sup> H.Öner ESEN, " İşletme Yönetiminde Sistem Yaklaşımı ", Avcıol Basım Yayın, İstanbul, 1994, s. 27

Simulasyon, genişletilmiş zaman periyodu içinde, mantıksal ve matematiksel ilişkiler içerisindeki karmaşık gerçek hayat sistemlerinin yapısını, davranışını incelemek ve açıklamak için olayı bilgisayar ortamında canlandırıp, olay üzerinde kontrol kurma gayretlerinin bütünüdür.<sup>2</sup> Yani, yöneticilerin karar almalarında alternatifleri daha iyi görebilmeleri için kararlarına temel oluşturacak iyi bir araçtır.<sup>3</sup>

Simulasyon tekniği bir teoriden öte problemlerin çözümünde kullanılan bir metodolojidir. Simulasyon tekniğinin problemlere yaklaşımı sistemin yapısına ve bu yapıya bağımlı olarak kurulacak modele göre değişiklik göstermektedir.

## ***2.2 Statik Simulasyon Modelleri***

Bir sistemin bir andaki veya dönemdeki durumu söz konusu ise buna ilişkin olarak (zaman boyutunu içermeyecek biçimde) kurulan model statik bir model olacaktır.<sup>4</sup> Genellikle statik simulasyon modelleri Monte-Carlo simulasyonu olarak adlandırılmaktadırlar.

Statik modellerde zaman değişkeni tam olarak ele alınmaz. Yöneylem araştırmalarında sınırlı bekleyişler ile doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama ve oyun teorisi alanlarındaki çalışmaların birçoğu statik modellerle ilgilidirler. Statik modellerin analizinde simulasyon tekniğinin kullanılmasının amaçlarından biri de statik modellerin hemen hemen tamamının deterministik olması ve çözümlerinin belirli bir doğrultudaki analitik teknikler yardımı ile bulunabilmesidir.

<sup>2</sup> İ.İlhami KARAYALÇIN, "Yöneylem (Hareket) Araştırması Kantitatif Planlama ve Karar Verme Yöntemleri", 3.Baskı, Menteş Yayınevi, İstanbul, 1993, s.279

<sup>3</sup> K.HOWARD, "Quantitative Analysis for Planning Decisions", Mcdovald and Evans Ltd., London, 1975, s.176

<sup>4</sup> H.Öner ESEN, a.g.e., s. 22

### **2.3. Dinamik Simulasyon Modelleri**

Zaman üzerinde gelişen sistemlerin gösterimini sağlayan simulasyon modellerine dinamik modeller adı verilmektedir.<sup>5</sup>

Bu modeller zaman değişimi ile karşılıklı olarak etkileşimi olan matematiksel modellerdir. Bu modeller kendi aralarında aşağıdaki gruplarada ayrılabilirler.<sup>6</sup>

- Statik ve durağan
- Statik ve tarihsel
- Dinamik ve nedensel
- Dinamik ve tarihsel
- Stokastik ve tarihsel olmayan
- Stokastik ve tarihsel

### **2.4. Deterministik Simulasyonlar**

Davranışı daha önceden tahmin edilebilen ve gelecekte ne tür davranışlara gireceği bilinen modeller deterministik modellerdir. Deterministik modellerde ne dışsal (eksojen) nede içsel (endojen) değişkenler tesadüfi değişken olarak tanımlanırlar ve işlem karakteristikleri olasılık yoğunluk fonksiyonlarından ziyade tam ilişkili oldukları varsayılır.

<sup>5</sup> Wayne L. WINSTON, "Operations Research Application And Algorithms", Kent Publishing Company, Boston, 1991, s.1115

<sup>6</sup> Mustafa SEVÜKTEKİN, "Ekonometrik Simulasyon Modelleri", Uludağ Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt:XIII, Sayı:1-2, Bursa, 1992, s.235

Deterministik simulasyon modeli şematik bir şekilde aşağıdaki gibi girdi ve çıktı ilişkisine sahip genel bir kara kutu olarak gösterilebilir.



Şekil 2.1. Deterministik Simulasyon Modeli

Bu sistemin (kara kutuların) daha iyi karakterize edilebilmesi için, elemanlar, elemanların özellikleri ve ilişkiler ayrımlarından yararlanmak gerekmektedir.

## 2.5. Stokastik Simulasyonlar

Davranışı daha önceden bütünüyle kestirilemeyen modeller stokastik modellerdir. Yani, bazı olayların hangi olasılıklarla meydana geleceği hakkında çeşitli söylemler oluşturulabilir.<sup>7</sup>

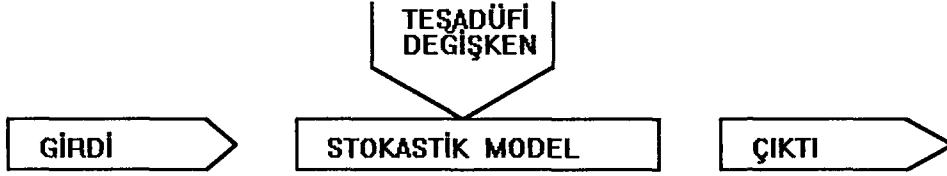
Bu tip modellerde girdi değerleri ve süreç, olasılık dağılımları ile temsil edilebilmektedirler.

Stokastik modeller deterministik modellerden daha karmaşık olduğu için bu modellere çözümler bulmak ve bulunan çözümlerin analitik olarak yeterli olması

<sup>7</sup> Michael PİDD, "Computer Simulation In Management Science", John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 1990, s.22

oldukca güçtür. Bu açıdan simulasyon tekniği stokastik modellerin analizi ve çözümünde en çok başvurulan temel tekniklerden biri olmuştur.<sup>8</sup>

Bu şekildeki simulasyon modelini aşağıdaki kutu sistemi ile ifade edebiliriz.



Şekil 2.2. Stokastik Simulasyon Modeli

Deterministik modellerin aksine burada özellikleri tesadüfi değişkenler ile açıklanabilen ilave elemanlar ortaya çıkmaktadır. Bu şekildeki elemanların özellikleri bir tesadüfi deneyin sonuçları olarak tespit edilebilmektedir.<sup>9</sup>

## 2.6. Sürekli Modeller

Sürekli simulasyonda zaman içerisinde her noktada sistem takip edilir. Sürekli ve kesikli simulasyon modellerinin her ikisinde de en son amaç simule edilen sistemin davranışını açıklamak için kullanılacak uygun istatistikleri toplamaktır.

<sup>8</sup> T.H.NAYLOR, J.L.BALINTFY, D.S.BURDICK and K.CHU, "Computer Simulation Techniques", Mustafa SEVÜKTEKİN, a.g.e içerisinde s.236

<sup>9</sup> Zekai YILMAZ, "Sayısal Yöntemler", Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa, 1995, s.206

Sürekli sistemlerde, durum değişkenleri zaman üzerinde sürekli değiştiğinden dolayı, istatistikler yalnızca sistemdeki durumu sürekli bir şekilde gözlemleyerek elde edilir.

Bu değişkenler zaman süresince sürekli bir şekilde değiştiğinden bu yönüyle kesikli durumlardakilerden farklılaşmaktadırlar. Sürekli simülasyonun yerine getirilmesi temelde doğrudan doğrudur ve buradaki simülasyon dilinin rolü görevlerin hazırlanmasında çeşitli kolaylıklar önererek modelin yorumcu hesaplamalarını azaltmaktadır.<sup>10</sup>

## **2.7. Kesikli Modeller**

Zaman içerisinde kesikli veya sayılabilir noktalarda sistemin temel değişkenlerinin değerleri değişime uğruyorsa bu sistemler kesikli sistemler olarak tanımlanmaktadırlar.<sup>11</sup>

Kesikli sistemlerin simülasyonlarında, simülasyon zamanı içerisinde yalnızca seçilen belirli noktalarda simüle edilen sisteme bakılır ve veriler toplanır. Verileri toplarken kullandığımız yöntem simülasyonun kesikli' mi yoksa sürekli' mi olduğuna karar vermede ana etkidir. Yani, kesikli sistemlerde durumun istatistikleri yalnızca bazı olaylar meydana geldiğinde değişebilir. Bu durumda yalnızca böyle olaylar meydana geldiğinde sistemi gözlemeye ihtiyacımız vardır. Diğer zamanlarda, sistem durgun vaziyette olduğundan istatistikleri toplama açısından gözlem yapmaya gerek yoktur.

---

<sup>10</sup> H.A.TAHA, "Operations Research An Introduction", Macmillan Publishing Co., Inc, New York, 1987, s.695

<sup>11</sup> Wayne L. WINSTON, a.g.e., s.1115-1116

"Kesikli Simulasyon" isminin kaynağı, zaman aralığında istatistikler bir noktadan diğer bir noktaya atlanarak toplandığından oluşmaktadı. Kesikli simulasyonda, modelin geliştirilmesi için yüksek derecede kullanıcının yaratıcılığına ihtiyaç duyulmaktadır. Kesikli modellerin yerine getirilmesini ve oluşturulmasını kolaylaştıracak, özel avantajlar sağlayan geliştirilmiş  tane kesikli simulasyon yaklaşımı vardır.<sup>12</sup>

- *Sonraki olayların planlanması*

- *Faaliyetlerin taranması*

- *Yöntem-uyum yaklaşımı*

Bu üç yaklaşımında, anahtar olayların meydana gelişlerinde istatistiklerin toplanması genel görüşü temeline dayandırıldığını belirtmekte fayda vardır. Bu yaklaşımları görünürde birbirinden farklı kılan Şey, kullanıcı adına yaklaşımlardaki otomatikleşmenin ne kadar performans gösterdiği (hesaplama ve mantıksal kararlarda) yani ne kadar detaylı çalışmanın yapıldığıdır.

### **2.7.1. Sonraki-Olayların Planlanması (Next-Event Scheduling)**

Buradaki ana düşünce, bir sonraki olay gerçekleşinceye kadar belli bir zaman dilimi içerisinde ilerleyerek gelecek olayın tipine bağlı olarak uygun olan durumların (pozisyonun) alınmasıdır. Olay meydana geldiğinde bu hareketlerin hepsinin tamamlanmış olması ve meydana gelecek olasılıklar için bütün hesaplamaların yapılmış olması gerekmektedir.

---

<sup>12</sup> H.A.TAHA, a.g.e. , s.696

Sistemdeki istatistiklerin, sisteme bir giriş (varış) olayının gerçekleşmesi veya sistemden bir çıkış (ayrılış) olayının meydana gelmesi durumunda değişimi söz konusu olmaktadır.

Bu veri elemanlarını simule ederken sabit veya çoğu zaman durumu tanımlayan olasılık dağılımlarından örnekler alınmaktadır. Bulduğumuz zaman itibarı ile içvarış ve servis zamanlarının korunduğu varsayılmaktadır.

Sonraki olayların planlanması yönteminde başlangıç olarak zaman aralığındaki birinci olayı seçilip, o zaman aralığında sırasıyla bütün yeniden çıkarılan olayların yerleştirilmesinde içeren bütün faaliyetler hazırlanmalıdır. Daha sonra, güncellenen zaman aralığındaki olay ile, bir sonraki olay seçilir ve onun faaliyetleri hazırlanır. Bu işlemler gerekli olan simulasyon zamanına ulaşınca kadar tekrarlanmalıdır.

Simulasyon normalde bilgisayar ile yapıldığı için, olaylar listesi her satırın bir olay ile birleştirilmesi şeklinde iki boyutlu bir düzende depolandığı (sabit ebatta) düşünülmelidir. Sütunlar ise olayın tipini ve meydana geliş zamanını göstermelidirler.

Dolayısı ile yeni olayların depolanması, daha önce incelemeye aldığımız olaylar için kullanılan yapmacık metodun silinmesi, önceki olayların silinen yerlerine kullanılacak yeni olayların kaydedilmesidir. Olayların kronolojik bir sırada gibi yerleştirilmiş olarak tutulması için sistem göstergelerinin kullanılması gerekmektedir.<sup>13</sup>

Sonraki-Olay simulasyon tekniği, dizi halinde meydana gelen olaylardan ziyade uyumlu bir şekilde meydana gelen çeşitli stokastik olaylara uygulanabilmektedir. Bu

---

<sup>13</sup> H.A.TAHA, a.g.e., s.697

teknikte zaman, meydana gelen bir olayın zamanından bir sonraki olayın zamanına ilerletildiğinden, Sonraki-Olay yaklaşımı daha çok kesikli olayların simülasyonlarında kullanılmaktadır.<sup>14</sup> Simülasyonun başlangıç şartları tahmin değerlerini büyük ölçüde etkilediğinden, etkiyi azaltmak için simülasyon süresinin mümkün olduğu kadar uzun tutulması gerekmektedir.

Sonraki olayın planlanması yaklaşımında zaman ilerletme olayını iki şekilde tanımlayabiliyoruz. Birincisi, sabit-zaman arttırımı (fixed time incrementation) , ikincisi ise, adımsal-faaliyet arttırımı (event-step incrementation) veya değişken-zaman arttırımı (variable-time incrementation) dır.

Birinci durumda, olayların belirlenen bir periyod esnasında zamanı gelince, verilen bir noktada meydana geldiği varsayılmaktadır. Her periyodun başlangıcında girdi verileri alınmalı ve periyodun sonunda alınan bu veriler tekrar rapor edilmelidir. Bu yöntemle simülasyon zamanının tutulmasına Sabit-Zaman arttırımı (Fixed-Time Incrementation) adı verilmektedir. Eğer çoğu periyotlarda bazı olaylar meydana geliyorsa veya eğer her periyotta kesin belli bir zamanda meydana gelen bir olay simüle edilen işlemlerin verimliliğini önemli derecede etkiliyorsa bu yöntem elverişlidir.

İşletmenin performansının önemli bir unsuru olan, çeşitli olayların meydana geldiği, kesin bir zamanın mevcut olduğu birçok dinamik durum vardır. Bu bekleme hattı problemlerinin bir durumudur veya çoğu periyodunda hiç olay meydana gelmeyen problemler içindir. Simülasyon zamanını bir sabitle (genelde küçük) ilerletmekten ziyade, her olayın işlemi tamamlandıktan sonra, simülasyon zamanını, simülasyonda bir sonraki

---

<sup>14</sup> Andrew W. SHOGAN, "Management Science", Printice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, 1988, s.771

enyakında meydana gelecek olayın planlanan zamanına ilerletilmektedir. Bu şekilde zaman ilerletme Adımsal-Faaliyet arttırımı (Event-Step Incrementation) veya Değişken-Zaman Arttırımı (Variable-Time Incrementation) olarak adlandırılmaktadır.

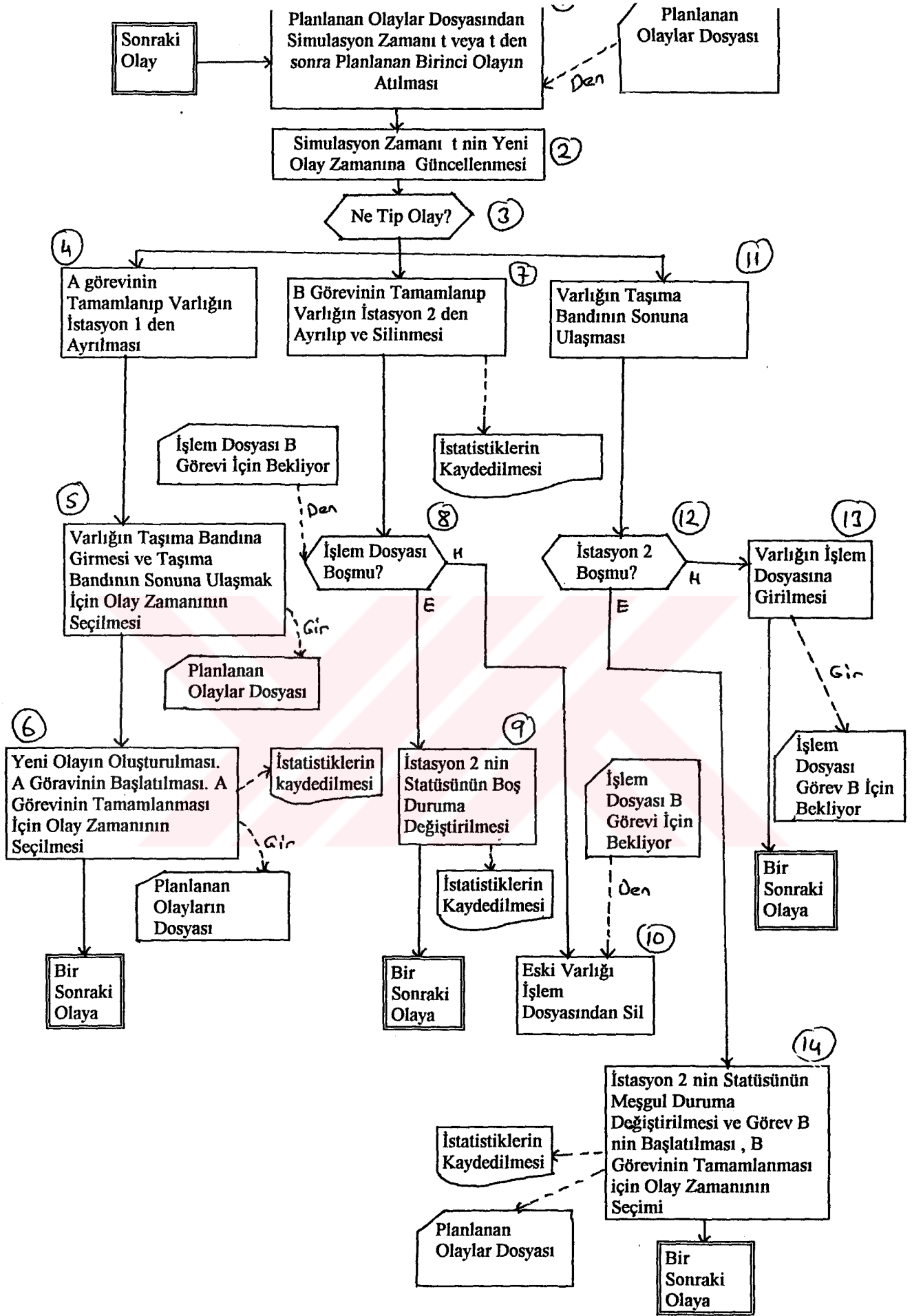
Değişken-Zaman Arttırımını kullanarak uygulanan bir simülasyonunun akış diyagramı Şekil.2.3'de ki gibi geliştirilmiştir.<sup>15</sup> Burada zaman bir gün baz alınarak bütün olayların önceden belirlenmiş sabit bir dizi halinde her periyotta meydana geldiği varsayılmaktadır. Burada bütün olaylar baştan sona kadar kontrol edilerek akış diyagramının sonuna ulaşılmakta ve simülasyon zamanı bir periyod ilerletilerek tekrar başlangıca dönülmektedir. Bu işlemlere belirlenen periyod sayısına ulaşıncaya kadar devam edilmektedir. Adımsal-Olay arttırımı kullanılan simülasyonlar için çok yönlü döngülü bir yapı kullanılması daha elverişli olmaktadır. Her döngüde simülasyon üç safhadan geçmektedir.

A safhasında simülasyonda ki bir sonra meydana gelecek enyakın olay tespit ediliyor. Eşitlikler bazı uygun öncelik kurallarına göre kırılabilir. B safhasında simülasyon işlemleri tamamlanıyor veya belirlenen olaylardan şartsız olarak ortaya çıkan faaliyetler başlatılıyor. C safhasında ise, diğer olayların tamamlanmasına veya başlamasına yol açacak şartların sağlanıp sağlanmadığı kontrol ediliyor.<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> Hans G. DAELLENBACH, John A. GEORGE, Donald C. McNICKLE, "Introduction To Operations Research Techniques", Allyn And Bacon, Inc., Massachusetts, 1983, s.477

<sup>16</sup> Hans G. DAELLENBACH, John A. GEORGE, Donald C. McNICKLE, a.g.e., s.474-477



Şekil.2.3.Adımsal-Olay Arttırımı İçin Akış Diyagramı

### 2.7.2. Faaliyetlerin Taranması (Activity Scanning)

Faaliyetlerin taranması yaklaşımı Sonraki-Olay planlaması yaklaşımına çok benzerdir. Bu simulasyonda model kurucu üç olayla ilgilenmektedir.

Birinci olayda sisteme giren varlıklar sıraya koyulur ve bir sonraki sisteme girecek olayın planlaması yapılır. İkinci olayda, sistemdeki işlemlerin tamamlandığı ve sistemin boş olduğu belirtilir. Üçüncü olayda ise, yeni bir giriş için servis başlatılır, bir sonraki varlık sıraya alınır ve işlemleri biten varlığın sistemden ayrılışı gerçekleştirilir.<sup>17</sup>

Sonraki-Olayın planlanması yaklaşımında olduğu gibi, faaliyetlerin gözden geçirilmesi yaklaşımında'da zamanın geliştirilmesi veya ilerletilmesi sisteme giriş ve çıkış olayları tarafından kontrol edilmektedir. Ana farklılık olayların faaliyetlerini tamamlarken usulde meydana gelmektedir. Sonraki-olayın planlanması yaklaşımında, olayın meydana gelişi, olayın şartlı veya şartsız faaliyetlerinin tümünün detaylı bir şekilde ifasından sonuçlanmaktadır. Faaliyetlerin gözden geçirilmesinde ise yalnızca şartsız faaliyetler icra edilmektedir. Bütün şartlı faaliyetler, gerçek bir olay meydana geldikten sonra icra edilme olabirirliği gözden geçirilmesi gereken faaliyetlere aktarılmaktadırlar. Bu sebepten dolayı, faaliyet icra edilmeden önce bütün faaliyetler sağlanması gereken şartlar kümesi ile tanımlanırlar.

Faaliyetleri gözden geçirme yaklaşımının avantajı daha sade bir yapısının olmasındandır. Dezavantajı ise bir olayı icra etmeden önce bütün faaliyetlerin gözden geçirilip, onların şartlı faaliyetlerinin icra edilip edilemeyeceğinin kontrol edilmesidir. Doğrusu, orjinal faaliyetleri gözden geçirme yaklaşımı, bütün gerçek ve şartlı faaliyetleri

---

<sup>17</sup> H.A.TAHA, a.g.e, s.701

tek bir faaliyetler listesi yapmak için gündeme getirir ve her defasında icra edilebilir bir şartlı faaliyetin olup olmadığından emin oluncaya kadar tekrar tekrar gözden geçirilmesini sağlar.

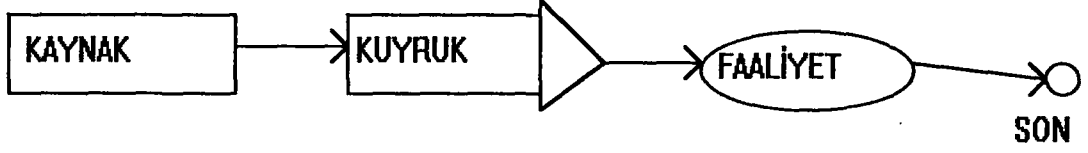
Böyle bir yolun takip edilmesinde gerçek olayların kronolojik bir sırada tutulmasına ihtiyaç yoktur. Bu yol hesaplama açısından pek kullanışlı değildir. En azından şartlı ve şartsız faaliyetlerin ayrı ayrı listelerde yerleştirilmesi durumu geliştirilebilir. Bu yaklaşımın sıkıcı hesaplamaları onun avantajlarını da yok ettiği için araştırmacılar ve uygulamacılar tarafından pek fazla tercih edilmemektedir.

### ***2.7.3. Amaca-Uyurma Yaklaşımı (Object-Oriented Approach )***

Amaca uyurma yaklaşımı ilk iki yaklaşımdan, modeli oluştururken kullanıcı tarafından harcanan çabayı minimize etmesi açısından farklılaşmaktadır. Bunu açıklamak açısından tek servisli bir modeli ele alacak olursak, sistemi üç aşamada tanımlayabiliriz.

- ***Kaynak***: Sisteme girdilerin hazırlanması.
- ***Kuyruk***: Sistemdeki bekleme disiplinini ve düzenini sağlamak.
- ***Faaliyet***: Servisin tamamlanmasını sağlamak.

Bunu şekil yoluyla açıklayacak olursak,



Şekil 2.4. Amaca-Uydurma Yaklaşımı

Bu metotta işlemci kendi içinde olayların planlanması yaklaşımının yolunu izlemektedir.

Amaca uydurma simülasyonunun da belirgin avantajı yine sadeliğidir. Kullanıcı modelin verilerinin özet kapsülünü temin etmekte ve buda faaliyetlerin icrasını bütünüyle hafifletmektedir. Bunun dezavantajı ise, daha önceden belirlenmiş şartlara dayanılarak geliştirilen işlemlerin zamanla çok tekdüze kalması ve karmaşık durumlardaki çeşitli modellere uyum gösterememesidir. Buna ilaveten, zekice geliştirilecek olan bir işlemci, gerçek hayatta meydana gelecek durumların çoğuna cevap verecek duruma getirilebilir.<sup>18</sup>

## 2.8. Simülasyonun Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları:<sup>19</sup>

-Simüle edilecek sistemin modeli kurulduktan sonra, değişik durumların analizi için istenildiği kadar kullanılabilir.

<sup>18</sup> Michael PIDD, "Object-Orientation, Discrete Simulation and the Three-Phase Approach", Journal of the Operational Research Society, vol.46, s.362-374, 1995

<sup>19</sup> Bülent KARPAK, "Mekanize Üretim Sistemlerinde Öncelikli Bakım Süreçleri Performansının Ekip Büyüklüğüne Göre Bir Zaman Peryodu İçinde İncelenmesi ve Bakım Planı Saptanmasında Yeni Bir Yöntem Önerisi" Nisan, 1974, Basılmamış Doktora Tezi, Osman HALAÇ, a.g.e içerisinde s.7

-Simulasyon yöntemleri, sistemden detaylı düzeyde veri elde edilemediği durumlarda elverişlidir.

-Simulasyon modeli üzerinde daha sonra yapılacak analiz için veri, çoğu kez gerçek hayattakinden daha ucuz ve kolay elde edilir.

-Simulasyon bir sistemdeki dahili karmaşık etkileşimleri etüd etme ve bunlar üzerinde çok sayıda deney yapma olanağını sağlar.

-Simule edilen sistemin bilgisayar ortamında ayrıntılı bir şekilde gözlenebilmesi sistemin daha iyi anlaşılmasını, daha önce görülmemiş eksikliklerin giderilmesini, daha etkin fiziksel ve operasyonel sistemin kurulmasını sağlayabilir.

-Simulasyon, değişik şartlar altında sistemin nasıl olacağı hakkında çok az veriye sahip olduğumuz veya hiç bir veriye sahip olmadığımız yeni durumlar üzerinde deney yapma amacı ile kullanılabilir.

-Simulasyon tekniği analitik çözümlerin doğruluğunu ispatlamak için kullanılabilir.

-Simulasyon ile dinamik sistemlerin gerçek zamanı, daraltılmış veya genişletilmiş süre içinde incelenebilir.

-Simulasyon, analistleri daha genel düşünmeye zorlar.

#### Dezavantajları:

-Bir sistemin bilgisayar simulasyonunu kurmak ve geçerli olduğunu ispatlamanın maliyeti çok yüksektir. Genel olarak her bir sistem için ayrı bir program yazma gereği vardır. Simulasyon dilleri bu mahsurları bir dereceye kadar ortadan kaldırmıştır.

-Kurulan bir simulasyon programının bilgisayarda çalıştırılması çok zaman alabilir. Bunun ise maliyeti yüksektir.

-Araştırcılar simulasyon tekniğini öğrendikten sonra onu analitik yöntemlerin daha uygun olduğu durumlarda da kullanma eğilimindedirler.



## BÖLÜM 3

### SİMULASYON MODELİNİN FORMÜLASYONU

#### 3.1. Problemin Belirlenmesi

Simulasyon denemesini planlamadan önce gerçekleştirilmesi gereken olay araştırmanın açık olarak tanımlanmasıdır. Bu aşama simulasyon uygulaması boyunca problemin yeniden ifade edilmesini gerektirebilir.<sup>20</sup>

Bu safhada sistem modelinde nelerin kapsamı kapsamayacağının tanımlanmasına yer verilmelidir. Yani, sistemin sınırları ile detaylarının düzeyleri belirlenmelidir. Burada ki amaç sistemin nasıl parçalara ayrılıp sistemin detayına ne kadar girileceği veya benzer sistem elemanları arasındaki ayrımların nasıl yapılacağıdır.

Model kurma yöntemindeki ikinci adım, modeli planlamak ve simulasyon modelini kurmaktır. Geçerli bir simulasyon modelini geliştirmenin yolu, modeli kurulacak sistemin işleyişini iyi anlamak ve sistemin davranışını etkileyen rasgele değişken değerlerini meydana getirme kabiliyetidir.<sup>21</sup>

Bu safhada modelin gerçek sistemin bir göstericisi olması için gerekli olan verilerin elde edilmesi gerekmektedir. Modelin detayı ne kadar fazla ise veya alanı ne kadar geniş ise veri toplama problemi de o kadar büyük olmaktadır.

---

<sup>20</sup> Osman HALAÇ , a.g.e, s. 3

<sup>21</sup> David M. MILLER, J.W. SCHMIDH, " Industrial Engineering And Operational Research " ,John Willy & Sons. Inc.,1984, s.296

Model kurulurken dikkate alınması gereken diğerk bir önemli faktör, model ile test edilen karar alternatiflerinin tipidir. Eğer detayına inilmiş kararlar test edilecekse, böyle kararlara temel oluşturmak için modelin verileri de gerekli olan detay seviyesinde olmalıdırlar.<sup>22</sup>

Model, amacına bağılı olarak sistemin genelinin yalnızca belli bir alt sistemini yada alt sistemlerin işleyişini temsil edecek bir şekilde de formüle edilebilir.<sup>23</sup> Model teşkil safhasında stokastik elemanların veya rassal değişkenlerin belirlenmesi gerekli olup, rassal değişkenlerin davranışını açıklayan dağılım fonksiyonu belirlenmelidir.<sup>24</sup>

Aynı zamanda simülasyon modelini kurmak ve modeli denemede kullanılacak istatistiksel yöntemi tanımlamak gerekmektedir. Simülasyon, örnekleme deneylerinin bir gerçek sistem üzerindeki bir modelle ilişkisinin sağlanmasını gerektirdiğinden, simülasyonun sonuçları örnek gözlemler veya örneklem istatistikleridir. Buradaki istatistiksel analizin amacı, elde edilen sonuçlardan, denenen model şartlarının ve durumlarının istatistiksel bir çıkarım yapmak için yeterli olduğundan ve modeli yeterli derecede temsil ettiğinden emin olmaktır.<sup>25</sup>

Bir simülasyon modelleme yöntemi aşağıdaki akış-diyagramındaki yolu takip etmelidir.

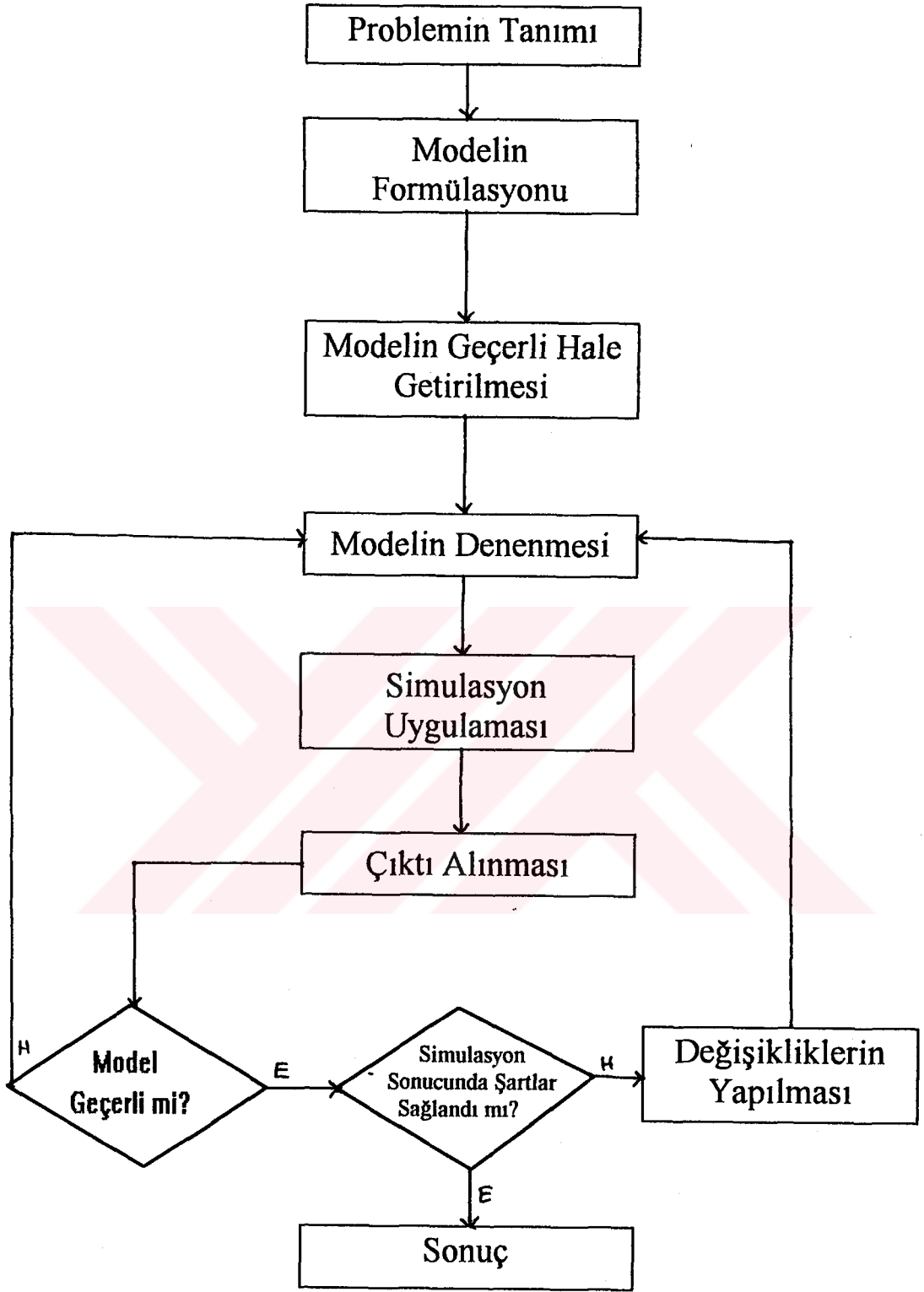
---

<sup>22</sup> David G. DANNENBRİNG, Martin K. STARR, "Management Science An Introduction ", McGraw-Hill,Inc, Tokyo, 1981 s.695

<sup>23</sup> Halil SARIASLAN, " Sıra Bekleme Sistemlerinde Simülasyon Tekniğı", Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları, Ankara, 1986 , s.46

<sup>24</sup> Zekai YILMAZ , a.g.e, s.211

<sup>25</sup> K. Roscoe DAVIS, Patrik G. McKEOWN, Terry R.RAKES, "Management Science An Introduction", Kent Publishing Company A Division Of Wodsworth,Inc., Boston, 1986 s.647



Şekil 3.1. Simulasyon Modelleme Yönteminin Akış Diyagramı

### 3.2. Verilerin Toplanması ve İşlenmesi

Modeli oluşturacak herhangi bir problem tanımlanmadan önce yeterince verinin derlenmesi ve işlenmesi gereği vardır. Bilgisayarda yapılacak bir simülasyon projesini başarabilmek için aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır.

i- *Kantitatif veriler önceden hazır hale getirilmelidir.*

ii- *Anlamli bir düzeye indirgenen verilerin, sistemin davranışlarını araştırmak için matematiksel bir model kurmaya imkan verip vermediği kontrol edilmelidir.*

iii- *Veriler simüle edilmekte olan sistemin matematiksel modelini iyileştirmek için uygun olmalıdırlar yani, bu değişikliğe imkan tanımalıdırlar.*

iv- *Verileri sistemin durum değişkenlerinin çalışma karakteristiklerinin parametrelerini tahmin etmek için kullanılabilir özellikte olmalıdırlar.*

v- *Veri olmaksızın simülasyon modellerinin geçerliliğini araştırmanın imkanı yoktur.*

Stokastik simülasyon modellerinin tasarımında öncelikle tecrübeler dayanan verilerin veya teorik olasılık dağılımlarının kullanılmasına karar verilmelidir. Bu seçim önemli bir aşamadır ve araştırmanın temelini oluşturur. İşlem görmemiş ham verilere göre çalışma geçmişin simülasyonudur. Modelin işlenmesi için gerekli rasgele değişkenleri üretirken tablolar yerine teorik dağılımların kullanılması sırasında bilgisayar zamanı ve

bellek etkin biçimde kullanılmalıdır. Çözümleyici modelinin duyarlılığını çalıştığı olasılık dağılımlarına göre belirlemelidir.

O halde kullanılan veriler geçerlilik, verilerin dağılımı, teorik dağılımlara uygunluk simülasyonun başarısını etkileyen faktörlerdir.<sup>26</sup>

Temelde simülasyon bir deney olduğundan, simüle edilen sistem hakkında uygun istatistiksel sonuçlar çıkarabilmek için , gözlemler istatistiksel olarak bağımsız ve aynı şekilde dağılmış olmaları gerekmektedir.

Herhangi bir fiziksel deneyde, çıktı değişkeninin takdiri normalde n tane bağımsız gözlem değerinin ortalaması temeline dayanır. Simülasyonda, simülasyon sisteminin performansının ölçüsünü takdir yine n tane gözleme dayandırılmaktadır.

Simülasyonda bağımsız gözlemlerin elde edilmesi normal bir laboratuvar deneyinden çok daha zordur. Simülasyon deneylerinin ilk çıktılarında sabit-durum olmaz sonra ulaşılır. Burada dikkate alınması gereken şey, gözlemlerin simülasyonun ilk evrelerinde alınmaması gerektiğidir. Çünkü, bu safhada edinilen bilgiler büyük değişimlere maruz kalmaktadır, dolayısıyla sistemin gerçek davranışını ortaya koyamayabilirler.<sup>27</sup>

Bizim ana amacımız gözlemleri mümkün olduğu kadar küçük örnekleme hatası ile elde etmek olduğundan, bu sonuca ideal olarak ulaşmamız,

-Sabit-durum'a ulaşma şansını yakalamak için uzun müddetli

---

<sup>26</sup> Osman HALAÇ, a.g.e, s.4

<sup>27</sup> H.A. TAHA, a.g.e, s. 714

simulasyon uygulaması yapılmasını,

-Simulasyon'un icrasının rasgele sayıların değişik dizinleri ile yapılmasını ve her bir uygulamanın tek gözlemi göstermesi için kullanmayı gerektirir.

Rasgele sayıların değişik dizinlerini kullanmak, sonuç gözlemlerini simulasyon deneylerinde istenildiği gibi, gerekli şekilde bağımsız yapmaktadır. Her ne kadarda sabit-durum şartları altında gözlemlerin elde edilmesi örnekleme hatasını düşürse de, bu gözlemlerin ortalamasını alarak, örnekleme hatasını daha da düşürebiliriz. n tane gözlemin ortalamasının standart sapması tek tek gözlemlerin standart sapmasının  $\frac{1}{\sqrt{n}}$  ine eşit olduğundan dolayı bu sonuca varmaktayız.

### ***3.3. Bilgisayar Programının Hazırlanması***

Simulasyon modelinin bilgisayar ile yapılması şu aşamalardan oluşur.<sup>28</sup>

- Akış diyagramının çizilmesi
- Kodlama
  - Genel amaçlı derleyici
  - Özel amaçlı simulasyon dilleri
- Hataların ayıklanması
- Verilerin kullanılması ve başlama şartları
- Verilerin üretilmesi
- Çıktı raporunun üretilmesi

---

<sup>28</sup> Osman HALAÇ, a.g.e, s.5

Akış diyagramının hazırlanmasından sonra özel amaçlı bir simülasyon dilinin kullanılması daha çok bilgisayar zamanından tasarruf sağlamak içindir.

Bilgisayar programının geçerliliğini araştırmak için, bilgisayar çıktıı, bilgisayar uygulamasında kullanılan verileri kullanarak el işlemleri ile yapılan simülasyonun sonuçlarıyla karşılaştırılabilir.

### **3.4. Bilgisayardaki Yaygın Simülasyon Dilleri**

Tipik bir simülasyon modelinde, ister servis beklerken isterse serviste iken olsun, simülasyon esnasındaki zaman içerisinde herhangi bir noktada işleri ve varlıkları da kapsayarak sistemi tetkik ediyoruz. Bekleyen işleri istenilen sırada işleme koymak için, bir bilgisayar dili, dosyaları veya sıralanmış listeleri kullanarak ihtiyaç duyduğu zaman bu işleri işleme sokacak veya sıralayacak bir otomatik işlemi yerine getirmelidir.

Günümüzde mevcut olan simülasyon dillerini dört grupta toplamak mümkündür.<sup>29</sup>

- Olayların planlanması temeline dayalı,
- Faaliyetlerin taranması temeline dayalı,
- Yöntem-İşlem temeline dayalı,
- Yöntem ve Olayların planlanmasının birleştirilmesi temeline dayalı bilgisayar dilleri.

---

<sup>29</sup> H.A.TAHA, a.g.e, s.726

Faaliyetlerin taranması ve olayların planlanması temeline dayalı simülasyon dilleri en çok esnek olanlarıdır. Buradaki esnekliğin anlamı karmaşık durumlara modelin uydurulabilme kabiliyetidir. Bu esneklikle beraber kullanıcı modelin geliştirilmesinde ek emek sarf etmek durumundadır. Yöntem-uydurma dilleri faaliyetleri tarama ve olayların planlanması dillerinden daha çok kullanıcıya kolaylık sağlarlar, çoğunlukla küçük ve iyi organize edilmişlerdir. Esneklik kaybetme pahasına da olsa böyle bir avantaja ulaşılabilir. Yöntem ve Olayların planlanması dillerinin birleştirilmiş şekliyle amaç, kullanımda kolaylık ve esneklik arasında bir uzlaşma sağlamaktır. Bu dillerin yöntem modelleme kabiliyetleri modelin oluşturulmasındaki harcanan çabayı azaltmaktadır.

*a) Olayların planlanması dilleri,*

- SIMSCRIPT : Kendi derleyicisi mevcuttur,
- GASP IV : Fortran yazılımlıdır,
- SLAM : Network ve sürekli simülasyonlar için, Fortran yazılımlı.

-Dillerin dizaynları,

-Ana program, içeriği, modelin dosyaları, başlatma, simülasyon süresi,

-Alt programlar, modelin her olayı için ayrı ayrı hazırlanmış,

-Çıktı durumları,

-SIMSCRIPT : Kullanıcı düzenleyebilir,

-SLAM : Standart çıktı, kullanıcı alt programla çıktı alabilir.

*b) Faaliyetlerin taranması dilleri (ECSC),*

-ECSC : (Extended Control and Simulation Language), Fortran yazılımlı her makine de çalışabilir, küçük modeller için ideal .

*c) Yöntem uyum dilleri,*

Yöntem uydurma dillerinde, model gösteriminin üç çeşidi vardır.

-Bloklar

-Node ve Dallar ile Network

-Raporlar

Blok temeline dayalı diller GPSS ve SIMAN Network temeline dayalı olanlar ise Q-PERT;SLAM ve SIMNET dir.

*-Muhtelif Simulasyon dilleri arasındaki temel farklar:*

-Faaliyet ve zamanın organize edilmesi durumunda farklılık

-Özelliklerin yapısı ve adlandırılması yönünden farklılık

-Faaliyetlerdeki şartların testindeki farklılık

-Uygulanacak istatistiklerin tipi bakımından farklılık

-Modelin yapısında yapılacak bir değişiklik durumunda harcanacak emek bakımından farklılık.

## BÖLÜM 4

### RASGELE SAYILARIN ÜRETİLMESİ VE TEST EDİLMESİ

#### 4.1. Rasgele Sayıların Elde Edilmesi

Simulasyon modellerindeki stokastik olayların, olasılık dağılımları ile üretilmesi için, rasgele sayılara gereksinme vardır. Düzgün rasgele sayılar ile olasılık dağılımlarından rasgele değişkenler aşağıdaki gibi elde edilir.<sup>25</sup>

##### a) Kesikli Dağılımlar İçin:

Önce verilen dağılımın birikimli olasılık fonksiyonu elde edilir. Sonra rasgele değişkenin her değerine karşılık olan birikimli olasılık değerleri ile orantılı olarak, rasgele sayılar tahsis edilir. Üretilen rasgele sayı hangi aralığa giriyorsa, buna karşılık olan birikimli olasılık, (dolayısıyla rasgele değişken değeri) istenilen rasgele değişkendir.

##### b) Sürekli Dağılımlar İçin:

Süreç, tamamen kesikli dağılımlardaki gibidir. X rasgele bir değişken olmak üzere önce

$$F(x) = P(X \leq x)$$

birikimli yoğunluk fonksiyonu elde edilir. Sonra 0 ile 1 arasında değişen düzgün bir rasgele sayı üretilir.

Sonuncu adım,

$$P(X \leq x)' i$$

rasgele sayıya eşitleyip x'e göre çözmektir.

<sup>25</sup> S.F.HILLIER, J.G.LIEBERMAN, "Operations Research", Osman HALAÇ, a.g.e. içerisinde s.98

Stokastik problemlerin pratik olarak daha kolay hesaplanabilmesi için belirli bir dağılıma uyum gösteren yeterli büyüklükte tesadüfi sayılara ihtiyaç vardır. Tesadüfi sayıların üretilebilmesi için gerekli olan ve kullanılan metodu, tesadüfi sayılar üreticisi olarak adlandırabiliriz. Bir tesadüfi sayı üreticisinde aşağıdaki özellikler bulunmalıdır.<sup>26</sup>

i- Elde edilen rasgele sayıların sonucu, önceden verilen dağılım fonksiyonuna mümkün olduğunca uyum sağlaması gerekir.

ii- Takip eden rasgele sayıların tekrar üretilebilmesi imkanı.

iii- Bir küme halinde üretilmiş takip eden rasgele sayılar, yeteri kadar büyüklükten sonra tekrar etmesi gerekir.

iv- Kısa sürede sayı üretme.

v- Az kayıt yeri işgal etme.

Eğer tablo kullanmadan rasgele sayılar çıkarılacaksa bu matematiksel bir yöntem gerektirmektedir. Bu matematiksel yöntemlerle elde edilen rasgele sayılar Pseudo-Rasgele sayıları olarak adlandırılmaktadırlar. Bu sayılar çeşitli istatistiksel testlerden geçirilerek rasgele oldukları ispatlanır. Her rasgele sayı tekrarlanan bir matematiksel ilişkiden sonra elde edildiğinden, bir önceki rasgele sayıyı tekrar elde etmek mümkündür. Simulasyon açısından sade rasgele sayıları kullanmak yerine Pseudo-Rasgele sayılarını

---

<sup>26</sup> Zekai YILMAZ, a.g.e., s.211

kullanmak daha elverişlidir. Pseudo-Rasgele sayılarını uygulayarak çok sayıda deney yapma imkanı vardır.<sup>27</sup>

Bilgisayarların çoğunda rasgele sayılar üreten alt programlar mevcuttur. Bunlara örnek olarak RANDU(ISEED), RN(0), ve RND(x) i verebiliriz.

#### ***4.2. Üretilen Sayıların Rasgeleliğinin Test Edilmesi***

Stokastik modellerle ilgilenildiği sürece rasgele değişkenler yapay tablolardan veya parametreleri verilen teorik olasılık dağılımlarından elde edilirler. Bilgisayarda rasgele sayı üretildiği zaman rasgele sayılar dizisinin gerçekten rasgele olup olmadığını anlamak için bazı testler uygulanmaktadır. Bunlardan bazıları , frekans testi, seri testi, aralık testi vb. gibi testlerdir.

Üretilmiş bir sayı dizisinin rasgele olup olmadığını test etmek için önce düzgünlüğünün test edilmesi gerekir. Bu iş için esas olan iki temel test vardır. Bunlar sırasıyla Ki-Kare ve Kolmogorov-Smirnov testleridir. Bu iki testte üretilmiş olan rasgele sayı dizisinin meydana getirdiği örnek dağılım ile teorik düzgün dağılım arasındaki uygunluğun derecesi ile ilgilenir. Aslında bu iki test de rasgele sayıların oluşturduğu dağılım ile teorik dağılım arasında dikkate değer fark olmadığını ifade eden sıfır hipotezine dayanır. Bunları sırasıyla detaylı olarak inceleyeceğiz.

---

<sup>27</sup> K.R. DAVIS, P.G. McKEOWN, T.R. RAKES, a.g.e., s.659

#### 4.2.1. Ki-Kare Uygunluk Testi

$\chi^2$  testi gözlenen frekanslar ile teorik frekanslar arasında bir karşılaştırma yapmayı esas alır. Bunun için, önceden bir hipoteze göre teorik frekansların hesaplanması gerekir.<sup>28</sup>

Söz konusu kıyaslama yapılırken “tek yönlü tablolar” da,

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(g_i - t_i)^2}{t_i}$$

formülüne ve “çift yönlü tablolarda” da

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(g_{ij} - t_{ij})^2}{t_{ij}}$$

formülüne göre hesaplanır.

Burada,

$g_i$  = i'inci sınıftaki gözlem değeri

$t_i$  = i'inci sınıftaki teorik (beklenen) değeri

$r$  =toplam satır sayısını

$c$ =toplam sütun sayısını göstermektedir.

Yukarıdaki hesaplamalarda elde ettiğimiz  $\chi^2$  değeri ile tablodan bulacağımız,  $n-1$  serbestlik dereceli ve  $\alpha$  anlamlılık düzeyindeki,  $\chi^2_{n-1, \alpha}$  değeri ile karşılaştırmalıyız. Bunun sonunda, hesapladığımız  $\chi^2$  değeri tablodan bulduğumuz  $\chi^2_{n-1, \alpha}$  değerinden büyük ise düzgün rasgele sayı üreticisi şüphe ile karşılanmalıdır.

<sup>28</sup> Özer SERPER, “Uygulamalı İstatistik-2”, 2.Baskı, Filiz Kitabevi , İstanbul, 1993, s.113

#### 4.2.2. Kolmogorov-Smirnov Uygunluk Testi

Uygunluk testleri genel grupları arasında yer alan diğer bir testte birikimli frekans dağılımını kullanmayı gerektiren Kolmogorov-Smirnov testidir. Bu test 1933 de Rus matematikçisi A.N.Kolmogorov tarafından önerilmiştir. Kolmogorov tek örnek için uyum iyiliği testini önerdikten sonra 1939 da yine bir Rus matematikçisi olan N.V.Smirnov iki bağımsız örnek için uyum iyiliği testini önermiştir. Kolmogorov testi ve Smirnov testi benzerlik nedeniyle uygulamada Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri olarak bilinirler.<sup>29</sup>

Bu testin uygulanışı ise,<sup>30</sup>  $X_1, X_2, \dots, X_n$ ,  $F(x)$  gibi bilinmeyen bir dağılımdan rasgele çekilmiş verilerdir. Buradaki varsayımımız örneklemin rassal olduğudur.  $F^*(x)$  tamamıyla tanımlanmış bir dağılım fonksiyonu olmak üzere hipotezimizi aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz.

Çift-terafli testlerde:

$$H_0 : F(x) = F^*(x) \quad \text{bütün } x\text{'ler için} \quad -\infty < x < \infty$$

$$H_1 : F(x) \neq F^*(x) \quad \text{enaz } x\text{'in bir değeri için}$$

Tek-terafli testlerde:

$$H_0 : F(x) \geq F^*(x) \quad \text{bütün } x\text{'ler için} \quad -\infty < x < \infty$$

$$H_1 : F(x) < F^*(x) \quad \text{enaz } x\text{'in bir değeri için}$$

veya

$$H_0 : F(x) \leq F^*(x) \quad \text{bütün } x\text{'ler için} \quad -\infty < x < \infty$$

$$H_1 : F(x) > F^*(x) \quad \text{enaz } x\text{'in bir değeri için}$$

<sup>29</sup> Hamza GAMGAM, "Parametrik Olmayan İstatistiksel Teknikler", Gazi Üniversitesi, Ankara, 1989, s.195

<sup>30</sup> W.J.CONOVER, "Practical Nonparametric Statistics", John Wiley and Sons, New York, 1980, s.347

Hipotezleri böyle tanımladıktan sonra,  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 'in ampirik dağılımının  $S(x)$  olduğunu varsayarsak test istatistikleri aşağıdaki gibi tanımlanır.

T test istatistiği olmak kaydıyla,

Çift- taraflı test için;

$$T = \text{Max}_x |F^*(x) - S(x)|$$

Tek- taraflı testler için;

$$T^+ = \text{Max}_x |F^*(x) - S(x)|$$

veya

$$T^- = \text{Max}_x |S(x) - F^*(x)|$$

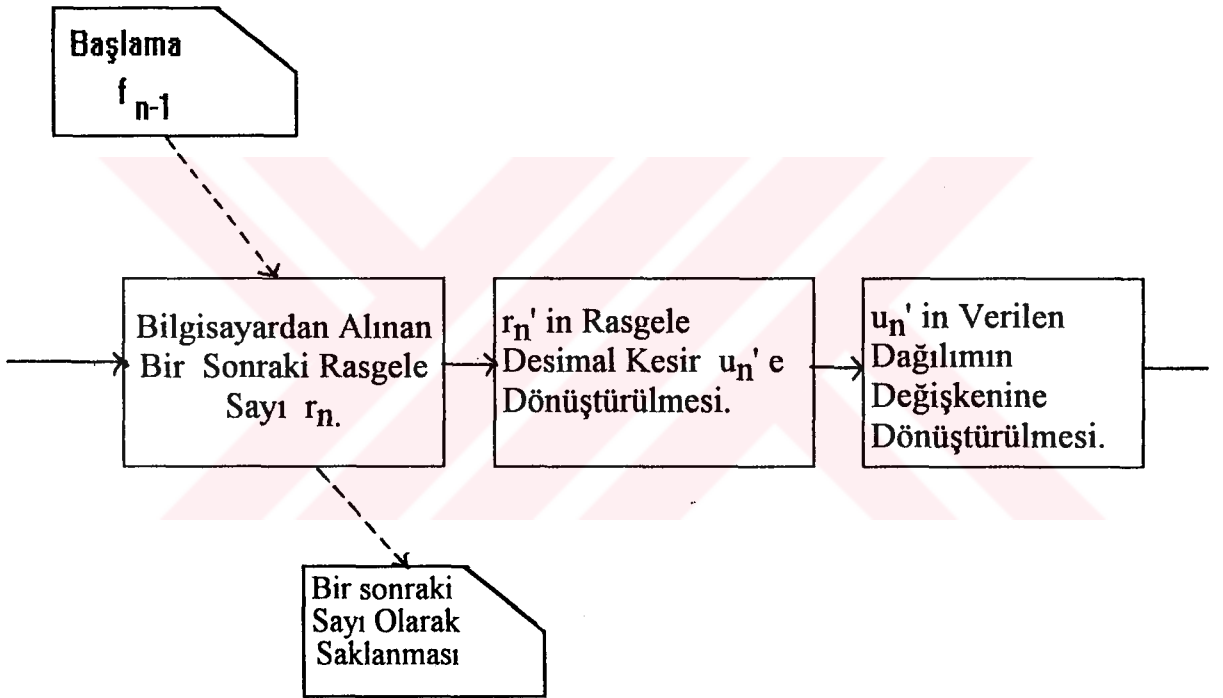
dir.

Bu test istatistiklerine göre eğer  $\alpha$  düzeyinde  $T$ ,  $T^+$  veya  $T^-$  test istatistikleri tablodan aldığımız  $T_{1-\alpha}$  değerinden büyük ise  $H_0$  hipotezini reddediyoruz.

#### **4.3. Rasgele Sayıların Dönüştürülmesi**

Gerçek sistemlerin niteliklerinin tamamının stokastik davranışı düzgün dağılımla karakterize edilemezler. Aslında bir sistem içerisinde düzgün dağılımdan daha sık kullanılan teorik (Normal, Üstel, Gamma v.b.) dağılımlara rastlamak mümkündür. Sistemi temsil edecek uygun bir teorik dağılımın bulunmamasından dolayı ampirik (deneysel) dağılım kullanılabilir. Sistemin stokastik özelliğinden dolayı düzgün dağılımdan elde edilen rasgele sayıların, teorik yada ampirik dağılımlara dönüşümlerini gerektirir.

Pratikte uygulamaların bir çoğunda düzgün dağılımlardan başka, teorik dağılımlara uygun rasgele sayılar kullanılır. Bu amaç için önce düzgün dağılımlı sayılar alınır yada bilgisayarda meydana getirilerek bir dönüşüm yöntemi ile istenilen dağılıma geçilir. Dönüşüm, istatistiksel anlamda herhangi bir dağılımdan örnek almak demektir. Bu iş için üzerinde çalışılan dağılımı tanımlayan parametrelerinde verilmesi şarttır. Bu yöntemi aşağıdaki şekilde akış diyagramı ile gösterebiliriz:<sup>31</sup>



Şekil.4.1. Rasgele Değişken Elde Edilmesinin Akış Diyagramı ile Gösterimi.

<sup>31</sup> H.G. DAELLENBACH, a.g.e. s.473

#### 4.3.1. Ters Dönüşüm Metodu

Sürekli dağılıma sahip olan bir rasgele değişkenin simülasyonu için genel metot olan Ters Dönüşüm Metodu aşağıda açıklayacağımız yöntemler temeline dayanır.

Burada  $U$ 'nun  $(0,1)$  aralığında düzgün dağılan rasgele değişken olduğunu kabul edelim. Herhangi bir sürekli dağılım fonksiyonu  $F$  için  $X$  rasgele değişkeni

$$X = F^{-1}(U)$$

olarak tanımlarsak. Rasgele değişken olan  $X$  in dağılım fonksiyonu  $F$  dir. Burada  $F^{-1}(U)$  ,  $X$  değerine eşit kabul edilmektedir ve  $F(X) = U$  olmaktadır<sup>32</sup>

Örnek olarak, üstel bir rasgele değişkeni simule etmek istersek , eğer

$$F(X) = 1 - e^{-x}$$

ise,

$$F^{-1}(U), X \text{ in}$$

$$1 - e^{-x} = U$$

değerine eşittir veya

$$X = -\log(1 - U),$$

$U$   $(0,1)$  aralığında düzgün rasgele bir değişken olduğundan

$$F^{-1}(U) = -\log(1 - U)$$

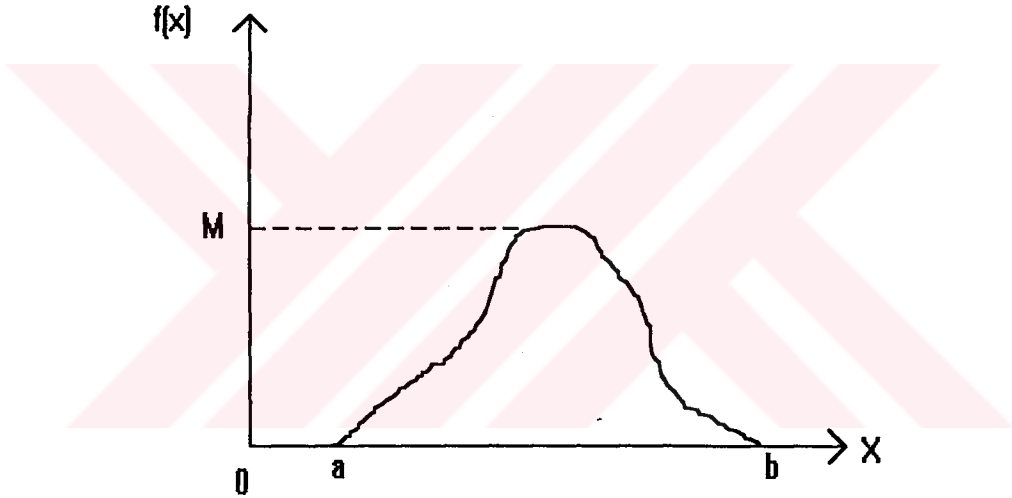
fonksiyonu ortalama 1 ile dağılmıştır diyoruz.  $(1-U)$  da  $(0,1)$  aralığında düzgün dağıldığından  $-\log U$  da ortalama 1 değeri ile üstel dağılmıştır.  $X$  ortalama 1 ile üstel dağılıyorsa ,  $cX$  de ortalama  $c$  ile üstel dağılmaktadır ve bunu da  $-\log U$ 'nun ortalama  $c$  ile üstel dağıldığı takip etmektedir.

<sup>32</sup> S.M. ROSS, " Introduction To Probability Models", Academic Press, Inc. ", Florida, 1985, s.438

### 4.3.2. Reddetme Metodu

Reddetme yöntemi, uygun bir dağılımdan rasgele bir değer seçilmesi ve bunun kullanılması, kabul veya reddedileceğinin tespit edilmesi için bir seri testten oluşur. Kısaca  $x$  değişkeni  $(a,b)$  ile sınırlı aralığında değişiyorsa ve  $f(x)$  yoğunluk fonksiyonu bu aralıkta sınırlı ise bu yöntem kullanılabilir.

Yukarıdaki tanımdan ;  $f(x)$ 'in  $x < a$  ve  $x > b$  için;  $f(x) = 0$  gibi yoğunluk fonksiyonu olduğunu varsayalım ve  $a \leq x \leq b$  için  $0 \leq f(x) \leq M$  'i aşağıdaki şekilde gösterelim.<sup>33</sup>



Şekil.4.2. Varsayılan Yoğunluk Fonksiyonu.

Şimdi yöntemin aşamalarını sıralayabiliriz:<sup>34</sup>

- 1) İki tane  $r_1$  ve  $r_2$  gibi düzgün rasgele sayı üretilmelidir,
- 2) Daha sonraki değişim için  
 $f(x); x = a + (b - a) r_1$  'i bulmamız gerekiyor

<sup>33</sup> S.M. ROSS, a.g.e, s.439

<sup>34</sup> A.RAVINDRAN, D.T.PHILLIPS, J.J.SOLBERG, "Operational Research Principles And Practice", John Wiley & Sons.Inc, Singapore, 1987, s.404

$$3) r_2 \leq f(a + (b - a)r_1) / M$$

olup olmadığını kontrol ediyoruz.

4) Şayet (3) de belirtilen eşitsizlik sağlanıyorsa,

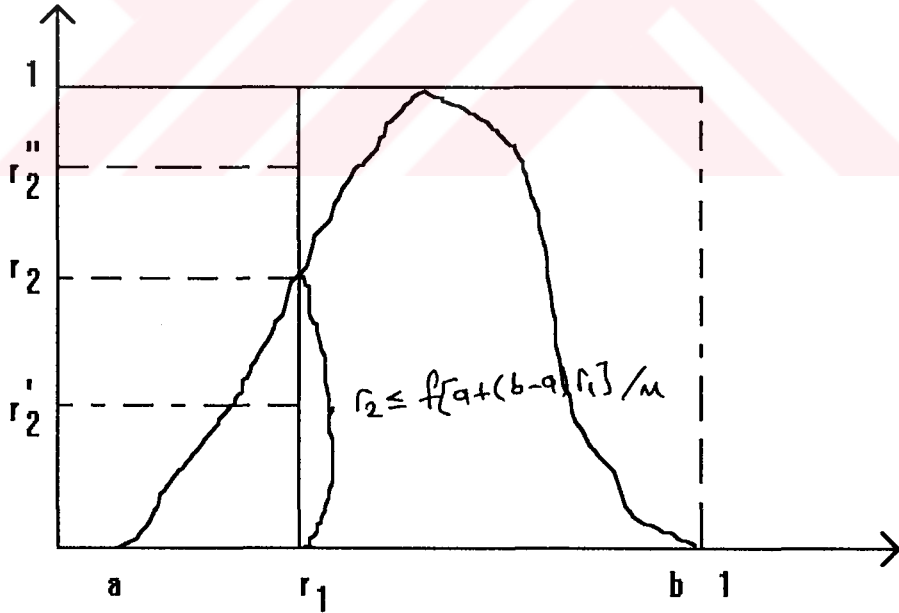
$$x = a + (b - a)r_1$$

$f(x)$  yoğunluk fonksiyonundan üretilen bir değişken olarak kabul edebiliriz.

5) Şayet (3)'de belirtilen eşitsizlik sağlanmıyorsa, bu takdirde

$$x = a + (b - a)r_1$$

$f(x)$  yoğunluk fonksiyonundan elde edilen bir değişim olarak alamayız. Bu durumda (3) reddedilir. İşlemlere böylece devam edilir. Burada  $M$ ' in,  $f(x)$ 'in modu olduğuna dikkat etmek gerekir.



Şekil.4.3. Reddetme Yönteminin Açıklanması<sup>35</sup>

<sup>35</sup> O.HALAÇ, a.g.e, s.108

Bu yöntemin esasını oluşturan teori,  $(1/M) f(x)$ 'den daha az veya buna eşit olan  $r_2$ 'nin bulunma olasılığının  $(1/M) f(x)$  olduğu esasına dayanır.

Dolayısıyla bir aşama sonra,

$$x = a + (b - a) r_1'e$$

uygun olarak rasgele seçilirse ve eğer

$$r_2 > (1/M) f(x)$$

olursa reddedilir. Bu yöntemle kabul edilen  $x$ 'lerin olasılık yoğunluk fonksiyonu  $f(x)$ 'e eşit olacaktır. Şayet yaptığımız çalışmada hiç reddetme durumu olmadığı takdirde (yani, ikinci aşama uygulanırken),  $x$ ;  $a$  ile  $a + b$  arasında düzgün bir şekilde dağılmış olacaktır. Bununla beraber, kullanılacak reddetme yöntemi ile  $f(x)$ 'e uygun  $x$ 'ler kabul edilecektir.

#### ***4.4. Geometrik Dağılım İçin Rasgele Sayıların Elde Edilmesi***

İlk başarı meydana gelmeden önce bir seri Bernoulli deneyindeki başarısızlık sayısı olarak tanımlanan  $x$  rasgele değişkeni, geometrik rasgele değişken olarak tanımlanır. Sonucu ikili olan olaylarda, sonucun birisi, olasılığı  $p$  olan başarı, diğeri de olasılığı  $q$  olan başarısızlık olarak nitelendirilirse; yapılan deneylerde başarının ilk kez görülmesinden önceki deneme sayısı olan  $x$  rasgele değişkeni geometrik değişkendir.

Geometrik dağılım için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$x = 0, 1, 2, \dots$  için  $f(x) = p q^x$ . Tanım olarak  $p$  Bernoulli deneyindeki başarı olasılığıdır ve  $q = 1 - p$ 'dir. Birikimli dağılım fonksiyonu aşağıdaki şekilde belirlenir:

$k = 0, 1, 2, \dots, x$  için;

$$F(x) = \sum_{k=0}^x p q^k$$

Geometrik dağılımdan rasgele bir değişken üretebilmek için

$$[ 1 - F ( x ) ] / q$$

birim aralığa sahip olduğundan

$$1 - F ( x ) = q^{x+1}$$

yazabiliriz. Ters dönüşüm yöntemi ile

$$r = q^x$$

yazılabilir. Böylece

$$\ln r = x \ln q \text{ ve}$$

$$x = \ln r / \ln q$$

arzu edilen geometrik değişkendir.

#### 4.5. Weibull Dağılımı İçin Rasgele Sayıların Elde Edilmesi

Weibull dağılımının yoğunluk fonksiyonu,

$x \geq 0$  için ;

$$f ( x ) = \alpha \beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta}$$

$x > 0, \alpha > 0, \beta > 0$  için , Weibull yoğunluk fonksiyonu  $\alpha$  ve  $\beta$  değer değiştirdikçe bir grup olasılık yoğunluk eğrisi üretir.

Bir Weibull rasgele değişkeni üretebilmek için , ters dönüşüm yöntemi kullanılabilir. Bunun için birikimli dağılım fonksiyonunun tanımında,

$$F ( x ) = \alpha \beta \int_{t=0}^x t^{\beta-1} e^{-\alpha t^\beta} dt \text{ olur.}$$

$$y = \alpha t^\beta$$

diyelim . Bu taktirde,

$$dy = \alpha \beta t^{\beta-1} dt \text{ olur.}$$

$$F(x) = \alpha \beta \int_0^x t^{\beta-1} e^{-y} \frac{dy}{\alpha \beta t^{\beta-1}}$$

dolayısıyla

$$F(x) = 1 - e^{-\alpha x^\beta} \text{ dir.}$$

Şimdi ters dönüşümü yani  $F^{-1}(r)$ 'ı bulmaya çalışalım.

$$F(x) = r = 1 - e^{-\alpha x^\beta}$$

$$1 - r = e^{-\alpha x^\beta}$$

$$r = e^{-\alpha x^\beta}$$

Burada,  $r$  düzgün dağılıma ait olup,  $(1-r)$  de düzgün bir dağılıma aittir.

Böylece

$$x = \left[ -\frac{1}{\alpha} \ln r \right]^{1/\beta}$$

bizim Weibull dağılımı için istediğimiz rasgele değişkendir.

#### 4.6. Poisson Dağılımı İçin Rasgele Sayıların Elde Edilmesi

Poisson dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu ;

$x = 0, 1, 2, \dots, \infty$  için

$$f(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \text{ dir.}$$

Burada  $\lambda$ , her zaman birimi için, beklenen olay sayısıdır. Böylece olaylar arasındaki zamanın,  $1/\lambda$  ortalaması ile üstel olarak dağılmış olduğu anlaşılır.

Üstel ve Poisson dağılımları arasındaki bu ilişki Poisson dağılımından değişkenlerin üretilmesi için kullanılabilir. Bir poisson değişkeni olan  $x$  şu şekilde tanımlanabilir:

$$\sum_{i=1}^x y_i \leq 1 \leq \sum_{i=1}^{x+1} y_i$$

Buradaki  $y_1, y_2, \dots, y_{x+1}$ , ortalaması ile üstel dağılımdan elde edilen rasgele değişkenlerdir. Bunlar ters dönüşüm yöntemi ile üretilirler.

$$y_i = -\frac{1}{\lambda} \ln r_i \text{ dir.}$$

$r_i$  düzgün dağılımdan elde edilen değişkendir. Birikimli toplamlar eşitsizlik sağlanıncaya kadar üretilir. Eşitsizlik sağlandığında  $x$ , istediğimiz rasgele Poisson değişkenidir.

#### 4.7. Üstel Dağılımı İçin Rasgele Sayıların Elde Edilmesi

$\lambda > 0, x \geq 0$  için;

Üstel dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$$

dir. Birikimli olasılık fonksiyonu;

$$F(X) = \int_0^x e^{-\lambda t} dt = 1 - e^{-\lambda x} \text{ dir.}$$

Üstel dağılımdan rasgele değişken üretmek için de ters dönüşüm yöntemi uygulanabilir.

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$$

olduğuna göre, düzgün rasgele ( $r$ ) değişken için

$$r = F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$$

dir.

Ters dönüşümü bulmak için

$$r = 1 - e^{-\lambda x},$$

$$1 - r = e^{-\lambda x}$$

yazılır.  $(1-r)$  da düzgün bir dağılım olduğundan dolayı

$$r = e^{-\lambda x}$$

veya

$$x = - \frac{\ln r}{\lambda}$$

üstel dağılım için rasgele değişkendir.

#### 4.8. Beta Dağılımı İçin Rasgele Sayıların Elde Edilmesi

Beta dağılımının yoğunluk fonksiyonu;

$0 \leq x \leq 1$  için

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha) \Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} dx$$

dir.

Burada  $\alpha$  ve  $\beta$  dağılımın parametreleridir, ve

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

dir.

Olasılık yoğunluk fonksiyonu  $f(x)$ ' in şekli  $\alpha$  ve  $\beta$  tarafından belirlenir.

Birikimli dağılım fonksiyonu

$$F(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha) \Gamma(\beta)} \int_0^x x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} dx$$

dir.

Beta dağılımından rasgele değişken üretilebilmek için öncelikle reddetme yönteminde açıklanan  $M$ 'nin değerinin belirlenmesi gerekir.

$$M = \text{mod} \left. \frac{df(x)}{dx} \right|_{x=0}$$

$$M = \frac{\alpha - 1}{\alpha + \beta - 2}$$

M'nin sadece bazı  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri için tanımlandığına dikkat edilmelidir. Reddetme yönteminin uygulama aşamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir.<sup>36</sup>

- 1)  $\alpha$  ve  $\beta$ 'nin saptanması.
- 2)  $M = (\alpha - 1) / (\alpha + \beta - 2)$ 'nin hesaplanması.
- 3) Normal reddetme yönteminin uygulanması ve işlemlerin sürdürülmesi.
- 4)  $r_1$  ve  $r_2$  gibi iki ayrı rasgele sayının üretilmesi.

5) a) Şayet;

$r_2 M \leq f(x = r_2) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} r_2^{\alpha-1} (1 - r_2)^{\beta-1}$  sağlanıyorsa,  
rasgele değişken  $r_2'$  ye eşittir.

b) Şayet eşitsizlik sağlanmıyorsa, yani

$$r_2 M > f(x = r_2)$$

ise o takdirde, 4 üncü aşamaya geri dönüp işlemleri yeniden tekrarlamak gerekecektir.

<sup>36</sup> F.Francis MARTIN, "Computer Modelling And Simulation", John Willey, New York, 1968, s.72

#### 4.9. Monte-Carlo Metodu

Monte Carlo metodu düzgün dağılımdan rasgele değişkenler elde etmek ve bunları uygun bir şekilde ilgilenilen dağılıma taşımaktır. Bir düzgün dağılım, değişken değerlerinin özel bir alanla sınırlandırılmış olması ve eşit şanslara sahip olması durumunda veya aynı olasılıklara sahip olması durumunda mevcuttur. Çoğunlukla bu düzgün rasgele değişkenlerden rassal sayılar olarak bahsedilir. Bu sayılar iki önemli şartı sağlamaktadırlar;<sup>37</sup>

1) Bütün değerlerin meydana gelmesi eşit şansa sahiptir.

2) Bütün yeni değerler bütün önceki çıkarılan değerlerden bağımsızdır.

Diğer bir deyişle, eğer biz tek haneli rasgele sayıları çıkarıyorsak , sıfırdan dokuza kadar olan sayıların çıkarılma olasılığı geçmişte çıkarılan sayılardan bağımsız olarak birbirine eşittir. Yani 3 sayısının %10 luk gelme olasılığı 0-9 arasındaki sayıların hepsiyle aynıdır. Simulasyon modeli için rasgele düzgün sayıların ihtiyacımız olan rasgele değişkenlere çevrilmesini çeşitli yollarla meydana getirebiliriz. En basiti sayıları alt kümeler şeklinde özel olaylara tahsis etmektir. Öyle ki alt kümedeki sayıların olasılıklarının birleşimi modeli kurulan olayın olasılığına tam olarak karşı gelmelidir.

Monte Carlo örnekleme bir simulasyondan ziyade olasılıklı simulasyon modelleri ile birleşik olarak kullanılan bir yöntem veya metottur.

---

<sup>37</sup> David G. DANNENBRÍNG, Martin K. STARR, a.g.e., s.698

Monte Carlo metodunu gerçek bir durumun stokastik modelini oluşturup, bu model üzerinden örnekleme deneyleri hazırlama tekniği olarak tanımlayabiliriz. Bu tip simülasyonlar, stokastik yapıda birbiriyle ilişkili çok sayıda değişkene sahip sistem çıktılarının çalışılmasında kullanılmaktadırlar.<sup>38</sup>



---

<sup>38</sup> Arthur C. LAUFER, “Operations Management”, South-Western Publishing Co, Ohio, 1979, s.168

## BÖLÜM 5

### **MODELİN TEST EDİLMESİ VE GEÇERLİ HALE GETİRİLMESİ**

#### **5.1. Modelin Test Edilmesi**

Planlama çalışmasından sonra, arzu edilen bilgiyi elde etmek için model çalıştırılır. Bu aşamada planlamadaki kusurlar aranmaya başlanır. Simulasyon modellerinde önemli kavramlardan biride duyarlılık analizleridir. Kullanılan parametrelerin en son değerini belirlemek için duyarlılık analizinden yararlanılır. Duyarlılık analizi, parametrelerin değişim aralığını sistematik olarak araştırma ve modelin bu değerlere karşı alacağı değerleri belirleme işlemidir. Simulasyon modelinde uygulamalar çok sayıda değişkenle denenir. Çok duyarlı tahminlerde bulunmak ise aşırı zaman ve harcama gerektirmektedir.

Ne yazık ki çalışılan sistem veya problemin modelinin geçerli olduğunu gösteren kesin bir yöntem mevcut değildir. Buna karşılık modelin kabul edilme olasılığını güçlendirecek olan çeşitli testler vardır. Eğer elimizde geçmiş veriler varsa, modelin önceki verilerin sonuçlarını tekrarlaması modelin kabul edilebilirliğini veya modelin sonuçlarının mantıklı olduğunu gösterir.<sup>34</sup>

Modellenen gerçek sistemde olduğu gibi parametreleri değiştirdiğimiz zaman modelin buna cevap verip vermediği kontrol edilmelidir. Aynı zamanda modelin cevabının akla mantığa uygun olması gerekmektedir. Bahsedilen akla mantığa uygunluk, modelin verdiği cevabın gerçek büyüklüğünden ziyade, böyle bir değişikliğe modelin

<sup>34</sup> K. Roscoe DAVIS, Patrik G. McKEOWN, Terry R.RAKES, a.g.e., s.671

cevabının yönü ile ilgilidir. Eğer gerçek sistemin kesin cevabı bilinmiyor ise , simulasyon modeli geliştirmeye çok az ihtiyaç vardır veya gerek yoktur.<sup>35</sup>

Diğer bir yaklaşımda, gerçek sistemin çalışmasıyla yakından ilgili ve sistemi tanıyan bir kişi ile model hakkında görüşmek ve modeli gözden geçirmektir. Doğal olarak modelin sonuçlarını ve modelin mantıklılığını uygun kişi ile gözden geçirmek subjektif bir olaydır.<sup>36</sup>

Model mantığının doğru olması, geliştirilen modelin doğruluğunu ve incelenen sisteme uygunluğunu garantilemez. Ancak modelin bilgisayar işleyişi ile analistin düşüncesinin birbirine uygun olduğunu belirtir. Simulasyon modelinin programlanmasında dikkatli olmak gerekmektedir. Model doğru formüle edilmişse bile yanlış veya yetersiz programlama bizi hatalı sonuçlara götürebilir.

Sistemi kullanacak olanlara modelde kullanılan varsayımların, modelin yapısının ve parametre değerlerinin kabul edilebilir olduğu doğrulanmalıdır. Eğer, bu yerine getirilseye, modellenen sistemin hakkında bu kişiler bilgilendirilmelidir. Bu bilgilenmenin söz konusu modelin kullanımından sorumlu olacak kişileri tatmin etmesi gerekmektedir.

---

<sup>35</sup> David G. DANNENBRING, Martin K. STARR, a.g.e., s.696

<sup>36</sup> D.R. Anderson, D.J. Sweeny, T.A. Williams., "An Introduction to Management Science Quantitative Approaches to Decision Making", West Publishing Company, New York, 1985, s.495

## 5.2. Modelin Geçerli Hale Getirilmesi

Simulasyon çalışmasında önemli adımlardan biride simulasyon modelinin geçerli hale getirilmesidir. Modelin geçerli hale getirilmesi, simulasyon modelinin gerçek sistemi doğru gösteriminin ortaya çıkarılmasıyla sağlanmaktadır. Gerçek sistem davranışlarını yeterli derecede yansıtmayan modeller "doğru bilgi üretmiyor" olarak kabul edilmektedirler. Bir simulasyonun sonuçlarını değerlendirmeden önce modelin geçerli hale getirilmiş olduğundan emin olmak gerekmektedir.

Bir simulasyon modelinin geçerliliğini araştırmak için üç yöntem kullanılabilir:

- Modelin parametrelerine sınır değerleri verildiğinde modelden olumlu cevap almak.
- Varsayımların testi.
- Girdi-Çıktı dönüşümünün testi.

Son iki yöntem ; ortalama testi, regresyon analizi, faktör analizi, spektral analizi, oto-korelasyon, ki-kare gibi parametrik olmayan istatistiki testler ile ilgilidir.

Olasılık dağılımı ile ilgili olarak yapılacak çalışmalar şunlardır.<sup>37</sup>

- Ortalama testi
- Bir örnek ile ortalamanın testi
- Ortalamalar arasındaki farkların testi
- Varyans testi
- Ki-kare testi
- F testi
- Verilerin testi
- Oran testi

---

<sup>37</sup> Osman HALAÇ, a.g.e., s.5

- k oran arasındaki farkların testi
- Kontenjans tabloları
- Uygunluk testleri
- Parametrik olmayan testler
- İşaret testi
- Toplamların derecelendirilmesi
- Medyan testi
- U-testi
- Koşum testleri
- Sıralı korelasyon testleri

Kuşkusuz model mantığının doğrulanması için en uygun yol , araştırmacının el ile işlenebilecek miktarda bir veri kümesi ile hesaplamaları kendisinin yapması ve daha sonra aynı verileri bilgisayarda model aracılığı ile işleyip elde edilen sonuçları karşılaştırmasıdır.<sup>38</sup>

Ayrıca model mantığının doğru olması geliştirilen modelin doğru, yani incelenen sisteme uygun olduğunu garantilemez. Ancak modelin bilgisayar işleyişi ile analistin düşüncesinin birbirine uygunluğunu belirtir.

### ***5.3. Dağılımın Belirlenmesi***

Normal, Poisson, Binomial, Gamma v.b gibi dağılımlarla belirlenen olayların gözlem veya tecrübe verilerine bu dağılımlar uydurulabilir. Uydurma işlemi ise dağılım

---

<sup>38</sup> Halil SARIASLAN, a.g.e., s.103

parametrelerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Aday dağılım iki parametrenin fonksiyonudur, çoğu durumda bu parametreler örnek ortalaması ve örnek varyansdır.<sup>39</sup>

Gruplanmış veriler için :

$$n = \text{toplam örnek hacmi} = \sum_{i=1}^k F_i$$

k = sınıf veya aralık sayısı

$M_i$  = kesikli veri üzerinde çalışılması halinde i. aralıktaki orta değeri veya i. sınıfın değeri

$F_i$  = i. sınıf veya aralıktaki frekans olmak üzere, ortalama ve varyans aşağıdaki formüllerle hesaplanabilmektedirler:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k M_i F_i}{n},$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^k M_i^2 F_i - n \bar{X}^2}{n - 1}$$

Sistem elemanlarının bazıları stokastik davranış gösterirse, simulasyon çalışmaları sırasında çoğu kez ortaya çıkan problem, gözlem frekanslarının teorik frekanslar kümesine uygunluğunun test edilmesidir. Bu durumda problem, eldeki veriler veya örnek değerlerin teorik olasılık dağılımından gelip gelmediğinin araştırılmasıdır. Gözlem verilerinin frekansı teorik frekanslara uygunsa anakütleyi temsil etmek üzere kurulan model kullanılabilir.

---

<sup>39</sup> R.E. SHANNON, "System Simulation: The Art and Science", Osman HALAÇ, a.g.e. içerisinde, s.10

Geçmişe ilişkin veya deneysel veriler derlenip analiz edilinceye kadar anlamlı bir tahminde bulunulamaz ve hipotez kurulamaz. Derlenen veriler bir frekans dağılımında özetlenir. Kesikli değişken üzerinde çalışılıyorsa her bir değer frekansı kaydedilir. Değişken sürekli ise değerler uzayı eşit aralıklara veya sınıflara ayrılır, ve her bir aralıkta ortaya çıkan frekan kaydedilir.

#### ***5.4. Simulasyon Deneyinin Tasarlanması***

Simulasyon modeli kurulduktan sonra, modelin çeşitli çalışmalarının düzenlenmesi ve bu çalışmalardan çıkan verilerin analiz edilmesi gibi bir problemle karşılaşılır. Bu aşamada aşağıdaki hususlara karar verilmelidir:

- Modelin başlangıç şartlarına
- Değişik sistem tepkilerini açığa çıkarmak için parametre tahsis etmeye
- Her uygulamanın uzunluğuna (simule edilen zaman aralıklarının sayısı ve harcanan bilgisayar zamanının büyüklüğüne)
- Aynı parametre tahsisi ile uygulanan uygulama sayısına
- Ölçmek için değişkenlere ve bu değişkenlerin nasıl ölçüleceğine.

Eğer dikkatli olunmazsa, değişik parametre tahsisleri için, modelin sistem cevaplarının tahmin edilmesi, bu parametreler arasındaki ilişkilerin cevaplarının keşfedilmesi, modelin gerçek sistem gibi davranıp davranmadığının kontrolü ve modelin geçerli hale getirilmesinde büyük boyutlarda bilgisayar zamanı harcanabilir. Hatta geniş boyutlarda veri topladıktan sonra, hala bir işletme kararına kılavuzluk etmek için yeterli ve doğru bilgi elde edilmemiş olunabilir.

Görüldüğü gibi, simülasyon deneylerinin etkili planlanmasını hedefleyen istatistiksel tekniklerin geliştirilmesi gerçekte yeterli düzeyde değildir. Büyük boyutta, profesyonel işletme bilimcileri, simülasyonlardan elde edilen verileri analiz etmeyi standart istatistiksel araçlara yaptırmayı denemişlerdir. Bu teknikler en iyi durumda bile ancak kısmi bir başarı sağlarlar. Çünkü bu tekniklerin çoğu çok yönlü zaman serisi verileri için oluşturulmamışlardır. Özellikle, sık kullanılan istatistiksel araçların birçoğu ölçülmekte olan değişkenlerin farklı gözlemlerinin bağımsız olduğu ve aynı parametrelerle normal dağılımdan çekildikleri varsayımına dayanmaktadır.<sup>40</sup>

Model geliştirilip, test edilip geçerli bir hale getirildikten sonra, model ile hazırlanacak deneyler dikkatli bir şekilde tasarlanmalıdır. Simülasyon yaklaşımının sevk ettiği karar probleminin çözümünde en ucuz yolu bulmak tasarım probleminin özüdür. Çoğu simülasyon deneyleri bir araştırmadır, bu deneylerde sistemin kontrol edilebilen elemanları -karar noktaları- bazı sistematik tarzlarda değişmelidir ve bu değişimlerin verimlilik ölçüleri üzerindeki etkileri de gözlenmelidir. Gereksinim duyulan deneyin tipi karar değişkenlerinin tipine bağlıdır. Normalde kullanılması mümkün seçeneklerin çokluğu maliyet problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu bütün mümkün kombinasyonların denenmesini engellemektedir.

Karar seçeneklerinin iç içe girmiş yapısına ilaveten, aynı şekilde kaale alınması gereken çeşitli taktik sorularda mevcuttur. Simülasyon genelde belirlenmiş zaman aralığı süresince sistemin verimliliğinin gözlenmesi durumu olduğundan, değişik verimlilik ölçüleri için elde edilen değerler, istatistiksel örneklem elde etmenin sonuçlarına denktir. Diğer istatistik uygulamalarında da olduğu gibi, tahmin etmeye çalıştığımız anakütle

---

<sup>40</sup> Harwey M. WAGNER, "Principles Of Operations Research With Applications To Managerial Decision", Englewood Cliffs, New Jersey, 1969, s.910

parametresi ile gözlenen örneklem değeri arasındaki uyumluluk örneğin büyüklüğünden etkilenmektedir. Simulasyonda, örneklem hacmi genellikle simulasyon tarafından kapsanan zaman periyoduna denktir.

Yani, eğer biz alternatif dağılımın sistem yapısının fiyatını tahmin etmek için bir simulasyon modeli kullanıyor isek, bu fiyatların ölçüleceği zaman uzunluğunu belirlemek zorundayız. Fiyatlar 1 hafta, 1 ay, 1 yıl vs. temeline dayandırılmalıdır. Daha kısa zaman periyodları daha ucuzdur fakat, daha uzun zaman periyoduyla da dağılım sisteminin fiyatını daha doğru tahmin etmek mümkündür.

Diğer bir taktik problem ise, modelin başlangıç davranışı ile ilgilidir. Modelleyeceğimiz sistemin boş durumuyla simulasyona başlamak hesaplamalar açısından daha uygun ve rahattır.

Açıkcası, başlangıç periyodu için istatistiklerin verimliliği sadece yeni bir sistem için uygundur, çalışan bir sistem için uygun değildir. Yani, çalışma verimliliği üzerinde çeşitli karar alternatiflerinin etkisini hesaplarken başlangıç istatistikleri ihmal edilmelidir.<sup>41</sup>

### ***5.5. Simulasyonun Deneme Sayısının Belirlenmesi***

Bir simulasyonu bilgisayarda çalıştırmadan önce verilecek en önemli kararlardan biri örnek hacminin belirlenmesidir. Fakat simulasyon çalıştırılıncaya kadar örnek hacminin kesin olarak belirlenememesi, gerekli bilginin yeterince olmamasından doğmaktadır. Bu nedenle bazı varsayımların yapılması gereklidir.

<sup>41</sup> David G. DANNENBRING, Martin K. STARR, a.g.e., s.696

Simulasyonlar örnekleme gerektirdiğinden, simulasyon deneylerinden elde edilen sonuçların , her hangi bir örnekleme deneyinde olduğu gibi, hataya maruz kalması olasıdır. Tanımlanan şartlar kümesi için simulasyon çıktısının doğruluğu modelin örnekleme hacminin veya iterasyon sayısının bir fonksiyonudur.

Değişken-zaman artırma simulasyonları için, simulasyon zamanı, iterasyon (olay) sayısı ile ilişkili olduğundan, örnekleme hatası simulasyon uygulama zamanını uzun tutarak minimize edilebilir. Fakat, birçok simulasyon modelleri için, bu yöntem gereksiz bilgisayar kullanımlarına sebep olmaktadır. Yani, bu uygulama arzu edilen bir alternatif değildir. Örnekleme hatasını kontrol etmek için temel istatistik tekniklerini uygulamak daha geçerli bir yaklaşımdır.<sup>42</sup>

Bu amaç için,

$\sigma$  = simule edilen çıktının standart sapması

$Z_{\alpha/2}$  = verilen bir güven düzeyi ile ilişkili standart sapmanın sayısı

hata = simulasyon çıktısında müsaade edilen maksimum hata olmak üzere

$$n = \left( \frac{\sigma Z_{\alpha/2}}{\text{hata}} \right)^2$$

denklemini kullanılabilir.

Yukarıdaki denklemleri uygulamak için kabul edilebilir örnekleme hatası güven düzeyi belirlenmesi gerekmektedir. Bu denklemler  $\sigma$  yı kullanarak n için çözümlenmelidir.<sup>43</sup>

<sup>42</sup> Joelee OBERSTONE, "Management Science, Concepts, Insights and Application", West Publishing Company, St.Paul, 1990, s.559

<sup>43</sup> K.Roscoe DAVIS, Patrik G. McKEOWN, Terry R.RAKES, a.g.e., s.672

### 5.5.1. Ortalama ile Deneme sayısının Belirlenmesi

Yeterince büyük örnek hacmi seçildiğini ve örnekleme ortalamalarının normal dağıldığını varsayarak, amacımız gerçek ortalamanın  $(1-\alpha)$  olasılık ile

$\bar{X}$  : gözlemlerin ortalaması

$Z_{\alpha/2}$  : her iki uçta  $\alpha/2$  olasılık bırakan normal sapma sayısı

$S$  : gözlemlerin standart sapması

$n$  : gözlem sayısı olmak kaydıyla

$$\bar{X} \pm Z_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

güven aralığı içinde olacağı bir deneme sayısında örneklemeyi durdurmaktadır.<sup>44</sup> Güven aralığını gerçek ortalama ile örnek ortalaması arasında kabul edeceğimiz en büyük farkı,  $d$ 'ye eşitlersek,

$$d = \frac{Z_{\alpha/2} S}{\sqrt{n}}$$

gerekli örnek sayısı  $n$ ,

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 S^2}{d^2}$$

olmaktadır.

Bu durumda her yeni gözlemden sonra yeni varyansı belirleyip yukarıdaki eşitlik sağlandığı zaman örneklemeyi durdururuz.

<sup>44</sup> Seyhan TUĞCU, "İstanbul Limanı Yatırım Planının Belirlenmesinde Bir Benzetim Yöntemi Uygulaması", Yöncülem Araştırması 6.Ulusal Kongresi, İstanbul, 1980, s.61

### 5.5.2. Standart Sapma ile Deneme Sayısının Belirlenmesi

Yaklaşık örnek hacmi, anakütlenin varyans duyarlılığı ve tanımlanan güvenlik seviyesi kavramlarından bulunabilir. Genel yaklaşım, (n-1) serbestlik derecesinde ve normal dağıldığı varsayılarak  $\chi^2$  dağılımı olarak adlandırılan

$$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2}$$

bağıntısının istatistiki testine göre örnek hacminin belirlenmesidir.

Bununla beraber büyük örnek hacimleri için normal dağılım olduğu gerekçesiyle örnek hacmi için

$$Z_{\alpha/2} = \frac{d'(n-1)}{\sqrt{2(n-1)}}$$

bağıntısı yazılır ve

$$Z_{\alpha/2} = \frac{2(z_{\alpha/2})^2}{(d')^2} + 1$$

haline dönüştürülebilir.

$d'$ , örnek varyansı ve gerçek varyans arasındaki simetrik izafi farkı ifade etmektedir. Örnek hacminin belirlenmesinde elbette başka yaklaşımlarda mevcuttur. Simulasyon sonuçları kullanılarak güvenlik sınırı saptanabilir.<sup>45</sup>

### 5.6. Simulasyon Deneyinde Başlangıç Şartları

Çoğu simulasyon çalışmaları, sistemin normal veya sabit-durum şartlarındaki işleyişiyle ilgilenmektedirler. Gözlenen veriler sistemin birinci bölümünde farklı, daha

<sup>45</sup> Osman HALAÇ, "Kantitatif Karar Verme Teknikleri", Evrim Dağıtım, İstanbul, 1993, s.355

sonraki zaman aralıklarında farklı olabilmektedir. Genelde başlangıç zorluklarından kurtulmanın yolu simulasyonu bir süre çalıştırdıktan sonra gözlemleri (verileri) almaktır. Yani, sistemin sabit-durum şartlarına ulaşması beklenmelidir.<sup>46</sup>

Simulasyon modeline başlamak için en güzel yol, sistemin boş olduğu zamanı seçmektir. Simulasyon sonunda bir geçiş periyodu düşünölmeyecektir. Gerçek sistemlerin bazıları için bu şart sistemin ilk kez çalıştırılması halinde geçerlidir. Verilerin sahip olduğu eğilim etkisini minimize etmek için geçiş periyodu etkisini azaltmak üzere asgari üç yol vardır:<sup>47</sup>

i - Mümkün olduğu kadar fazla bilgisayar uygulaması yapmak. Bu ise geçiş periyodundan elde edilen veriler denge koşulu verisinden anlamsız ölçüde bağımlı olması için gereklidir.

ii- Başlangıç periyodunun uygun bir parçasını atmak.

iii- Tipik denge şartı olan ilk başlama şartlarını seçmek ve geçiş periyodunu azaltmak.

### ***5.6.1. Simulasyon Deneyinde Geçiş Durumu ve Sabit Durum Şartları***

Simulasyon istatistiksel bir deney olmakla birlikte, tipik olarak çıktılardaki değişimleri sergilemektedir. Bu değişimler zamanın bir fonksiyonu olarak oluşmaktadırlar. Aşağıda Şekil.5.1 de gösterilen simulasyon çıktısının davranışı bütün simulasyon modellerine tipik bir örnektir. Bu çıktı normalde iki alanı kapsamaktadır,

<sup>46</sup> David R. ANDERSON, Dennis J. SWEENEY , Thomas A. WILLIAMS, a.g.e., s.96

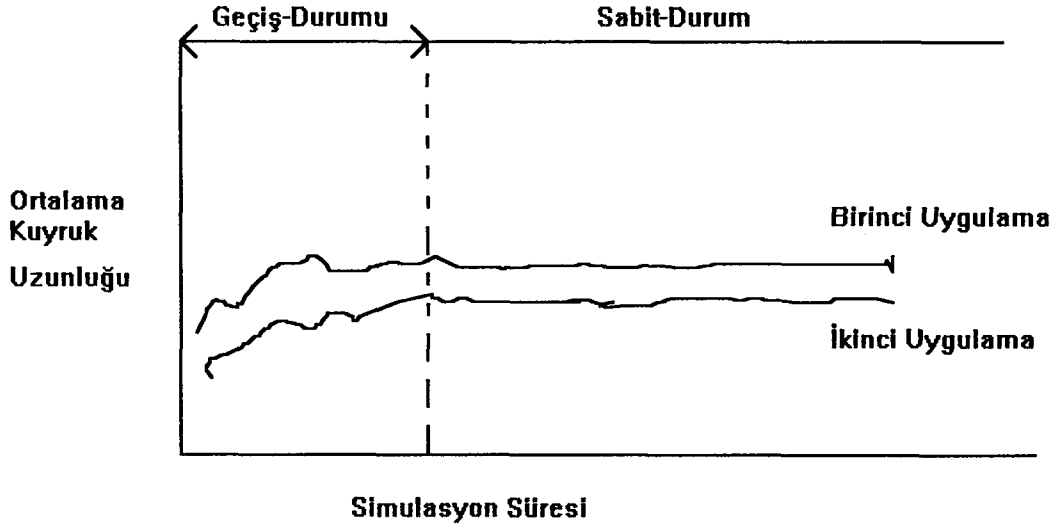
<sup>47</sup> Osman HALAÇ, a.g.e, s.71

geçiş-durumu ve sabit-durum. Geçiş durumu simülasyon süresinin bir fonksiyonu olan çıktı tarafından tanımlanmaktadır. Sabit durumda ise çıktı zamandan bağımsız olarak meydana gelir.

Genelde çoğu sistemin yapısı sabit-durum sonuçları üzerine kurulmaktadır. Dolayısıyla, simülasyon çıktısının sabit-durum'a ulaştıktan sonra ölçülmesinde fayda vardır. Ne yazık ki, tipik bir simülasyon modelinde, geçiş-durumu'nun uzunluğu ileriye doğru kestirilememektedir.

Doğrusu, geçiş-durumu'nun uzunluğunu çok sayıda etken etkileyebilmektedir. Bunların arasında en önemlisi sabit-durum'u gösteren şartlara başlangıç şartlarının nasıl yaklaşacağıdır. Diğer bir etken sistemi oluşturan parametrelerle ilgilidir. Örneğin, tek servisli bir modelde servis süresine göre varış zamanının artması durumunda sabit-durum'a daha hızlı ulaşılmaktadır. Hakikaten eğer servis süresi varış zamanından daha uzunsa sabit-durum'a hiç bir zaman ulaşılamaz.

Maalesef, geçiş-durumu'nun bittiğine ve sabit-durum'un başladığına karar vermek için pratik bir yol da yoktur. Bu kararı simülasyon modelinin içinde yerine getirmek bütün mevcut yöntemlerde zordur. Belki bu durumda önerilecek tek genel yöntem, sabit-durum'un pek çok tanımlamasında olduğu gibi, daha uzun süreli simülasyon uygulamaları, daha büyük bir şansla, sistemi sabit-durum'a doğru ilerletmektedir.



Şekil 5.1. Simulasyonda Geçiş-Durumu ve Sabit-Durum<sup>48</sup>

### 5.6.2. Simulasyon Deneyinde Geçiş Durumu Etkilerinin Giderilmesi

Simulasyon modelini geliştirirken, genelde simülasyonu “boş” olarak başlatma eğilimi nin amacı, değişken değerlerinin uzun-dönem uygulamaları altında ki şartlarının bilinmemesindedir.

Simulasyon'dan kullanışlı çıktı elde etmek için ;

i- Model sonuçlarının sabit-durum'a ulaşıncaya kadar simülasyon uygulamasına devam etmek,

ii- Geçiş safhasındaki istatistiklerin atılması gereklidir.

Simulasyon zamanı içerisinde ilerledikçe, model değişkenlerinin değerleri sabit-durum düzeyine yaklaşmaktadır.

<sup>48</sup> Hamdy A. TAHA, a.g.e., s.713

Eğer geçiş-durumu etkileri en son istatistikler hesaplandığında yok edilmemişse, bu bütün sonuçları önemli derecede etkileyecektir. Her ne kadarda, sabit-durum başlangıcını ve şartlarını yüzde yüz belirleyen bir teknik yoksa da, elde edilen verilerin ne zaman atılacağını belirleyen birçok istatistiksel teknik mevcuttur. Bunlardan biride ilişkili örneklemedir. Bu teknikte verilen çıktıdan ilk k tanesini alıyoruz ve korelasyon katsayısını bularak önemli derecede korelasyon olup olmadığına bakıyoruz. Önemli derecede korelasyon varsa, bu k tane verinin geçiş-durumu safhasında alındığını varsayıp atıyoruz ve sonraki k taneyi alıp aynı işlemlerden geçiriyoruz. Bu işlemler k tane değeri aldığımızda önemli derecede korelasyon tespit edilemeyinceye kadar devam ettirilir. Kalan n-k tane gözlem, simülasyon değerinin sabit-durum tahmini olarak kullanılır.

Geçiş durumu periyodunun süresini kısaltmak için,<sup>49</sup>

- i- Sistemi boş olarak başlatmak,
- ii- Seri şekilde kısa uygulamalar yapmak,
- iii- Her uygulamanın değişkenlerinin en son sabit-durum değerlerini bir sonraki uygulama için başlangıç şartları olarak kullanmak gerekir.

### **5.7. Parametre Tahminleri**

Anakütle parametreleri çoğu durumda bilinmez. Çünkü anakütle parametrelerine ulaşılması bazı durumlarda imkansızdır, bazı durumlarda ise elde edilmeleri çok fazla zaman kullanımını gerektirir veya yüksek maliyete yol açar. Bu gibi durumlarda örneklem değerlerinden hareketle anakütle parametreleri tahmin edilmeye çalışılır ve hesaplamalar da tahmin değerleri kullanılır.

---

<sup>49</sup> K.Roscoe DAVIS, Patrik G. McKEOWN, Terry R.RAKES, a.g.e., s.674

### 5.7.1. Anakütle Ortalamasının Tahmini

X örnek ortalaması,  $\mu$  anakütle ortalaması ve  $(1-\alpha)$ , X in  $\mu \pm d$  aralığında bulunma olasılığı olmak üzere

$$p(\mu - d \leq X \leq \mu + d) = 1 - \alpha$$

yazılır. Burada problem deneme sayısının (örnek hacminin) bulunmasıdır. Normalite varsayımı geçerli ise,

$$n = \frac{(\sigma Z_{\alpha/2})^2}{d^2}$$

dir. n değerini hesaplamak için  $\sigma$ ,  $Z_{\alpha/2}$  ve d değerlerinin bilinmesi gerekir.

Bu ise

- i- sistemde ne kadar değişkenlik olduğu
- ii- ne kadar riske katlanılacağı ve
- iii- tahmin ve gerçek parametre arasındaki farkın büyüklüğünü bilmeyi gerektirir.<sup>50</sup>

Deneme sayısını önceden belirlemek için  $\sigma^2$  bilinmez ise varyans ( $S^2$ ) tahmin edilebilir. Bunun için bir deneme yapılarak n hesaplanır.

$t$ = ilk deneme için istenilen serbestlik derecesi ve güven seviyesi için tablodan alınacak olan (t) değeri.

d= istenilen güven aralığının yarısı

$S^2$ = ilk denemeden elde edilen tahmin varyansı ise

<sup>50</sup> J.H.MIZE, J.G.COX, "Essentials of Simulations", Prentice-Hall, 1968, Osman HALAÇ, a.g.e içerisinde s.74

$$n = \frac{S^2 t^2}{d^2}$$

olur.

### 5.7.2. Anakütle Varyansının Tahmini

Anakütlenin standart sapması dağılıma ölçüsü olarak önemli bir parametre olduğundan, tahmin edilen varyansın kesinliği ile ilgilenilir.

(d), (0,1) aralığında bir sayı olmak üzere tahmin varyansı ( $S^2$ ) nin anakütle varyansı ( $\sigma^2$ ) ya yakınlığı

$$p \{ (1-d) \sigma^2 \leq S^2 \leq (1+d) \sigma^2 \} = 1-\alpha$$

ifadesi ile belirlenir.<sup>51</sup>

Bu bağıntı  $\chi^2$  dağılımını elde etmek için kullanılabilir. (n) oldukça büyük seçilirse  $\chi^2$  dağılımını normal dağılıma yaklaşıyor ve aşağıdaki denklem elde edilir.

$$Z_{\alpha/2} = \frac{d(n-1)}{2(n-1)}$$

buradan,

$$n = 1 + \frac{2(Z_{\alpha/2})^2}{d^2}$$

---

<sup>51</sup> Osman HALAÇ, a.g.e., s.77

### 5.8. Simulasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Simulasyon yönteminin son safhası, simulasyon sonuçlarının yorumlanması ve analiz edilmesini kapsamaktadır. Deney tasarımı yapıldığı zaman bu adım için temel çalışmaların çoğu ortaya konulmuş oluyor. Modelin sonuçlarının güvenilirliği istatistiksel anlamlılığını yükseltmekle mümkündür. Bunun içinde bu sonuçların varyanslarının mümkün olduğu kadar küçük tutulması gerekmektedir. Eğer iki karar alternatifinden sonuçlanan temsil gücü arasında dikkatli bir ayırım yapılacaksa, yukarıda bahsedilen durum dahada önem kazanmaktadır. A seçeneği B seçeneğinden daha iyidir demek yeterli değildir. Şunu söyleyebilmeliyiz ki gözlemlenen farklılık istatistiksel olarak anlamlıdır ve bu bir basit örneklem hatasının sonucu değildir. Örneklem hatasının büyüklüğü hem örneklemin büyüklüğü hem de temsil ölçümünün varyansı ile ilişkilidir. Diğer durumda, verilen bir örnek hacminin varyansını daha küçük tutmak için varyans indirgeme teknikleri kullanılmalıdır.<sup>52</sup>

Gerçek simulasyon problemlerinin pek çoğu için ayrıntılı veri toplama ve inceleme olanağı yoktur. Bu nedenle de model kurmada soyutlama işlemi yapılır. Bir sistemin elemanları seçildikten sonra hipotez kurulur veya problem denemeye bırakılır ve elemanların etkileri gözlenir.<sup>53</sup> Kurulacak hipotez genelde,

$H_0 =$  gözlem değerleri ile teorik değerler arasında anlamlı bir fark yoktur  
ve alternatif olarak da,

$H_1 =$  gözlem değerleri ile teorik değerler arasında fark vardır şeklindedir.

<sup>52</sup> David G. DANNENBRING, Martin K. STARR, a.g.e., s. 697

<sup>53</sup> R.E. SHANNON, "System Simulation: The Art and Science", Osman HALAÇ, a.g.e. içerisinde, s.84

Bu hipotezleri test etmek içinde, daha önceki bölümde incelediğimiz testlerden Ki-Kare uygunluk testi veya Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi kullanılabilir. Bu testlerle yine gözlem değerlerimizle teorik değerlerimizi karşılaştırıyoruz ve aralarında fark olup olmadığını araştırıyoruz. Diğer bir deyişle teorik değerlerimizin gözlem değerlerimize uygunluğunu test ediyoruz. Testin sonucunda kurduğumuz modelin gerçek sistemi temsil edip etmediğine karar veriyoruz.

### **5.9. Varyans İndirgeme Teknikleri**

Simulasyon deneyleri, çalışılan sistemin çeşitli görünüşleri hakkında anlamlı bilgiler elde etmek için düzenlenir. Simulasyonun kendisi bir rasgele işlem olduğundan, simulasyon çıktıları da rasgele değişken olarak tanımlanmaktadırlar. Rasgele değişken olduğundan, simulasyon çıktıları doğal olarak birbirinden farklı istatistiksel sonuçlar içerecektir. Bunun içinde bu sonuçları kullanırken büyük dikkat harcanmalıdır. Her ne kadarda farklı istatistiksel sonuçlar içerse de simulasyon çıktılarının mümkün olduğu kadar doğru olması arzu edilir. Bu şüpheli ölçümün indirgenmesinin en çok kullanılan yolu deneyleri tekrarlayarak simulasyon çıktılarının ortalamasını almaktır. Temel istatistikte bilindiği gibi , rasgele değişken  $x$  ve bir takdirci olan  $\bar{X}$  için aşağıdaki eşitlik doğrudur.

$$E(\bar{X}) = E(x)$$

ve

$$\text{Var}(\bar{X}) = \frac{\text{Var}(x)}{n}$$

n defa daha fazla örnek ile çalışmak bizim varyansımızı 1/n oranında azaltacaktır. Dolayısıyla varyans indirgeme teknikleri doğal olarak bizim istatistiksel çıktımızdaki rasgele değişimi indirmektedir.<sup>54</sup> Bunun sonucu olarak varyansın azalması yapılacak bütün istatistik tahminlerinin duyarlılığını arttıracaktır.

Temel amaç, alternatif karar kurallarının, tasarımın ve parametrelerin en iyisini seçmek ise, buradaki önem mutlak değerlerin belirlenmesinden ziyade izafi kıyas üzerine olacaktır. İki simulasyon uygulamasının sonucundan elde edilen  $X_1$  ve  $X_2$  örnek ortalamaları,  $\gamma$  korelasyon kat sayısı olmak üzere farkların varyansı,<sup>55</sup>

$$V(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) = V(\bar{X}_1) + V(\bar{X}_2) - 2\gamma\sqrt{V(\bar{X}_1)V(\bar{X}_2)}$$

şeklindedir.

Buna göre örnek ortalamaları farklarının varyansı, örnekler arası korelasyon derecesinin ters fonksiyonudur. Örnek ortalamalarının farklarına ait olan bu varyans değeri, uygun bir pozitif korelasyon değeri ile azaltılabilir.

Örnekleme hatasını azaltmanın direk yolu örnek sayısını çoğaltmak ve simulasyon süresini uzatmaktır.

Simulasyonda en pratik varyans küçültme tekniği (antithetic) “direk ve tamamen tersi” metodudur. Bu metot "bir rasgele sayı elde ettiğimizde R1 bunun komplementi 1-

<sup>54</sup> A. RAVİNDRAN, Don T. PHILLIPS, James J. SOLBERG, “Operational Resourch Principles And Practice”, John Wiley & Sons.Inc, Singapore, 1987, s.426

<sup>55</sup> R.E. TRUEMAN, “An Introduction to Quantitative Methods for Decision Making”, O. HALAÇ, a.g.e. içerisinde, s.81

R1 dir ve buda bir rassal sayıdır" temeline dayanmaktadır. Bu tekniğin amacı, bir simulasyon uygulamasını  $R_1, R_2, \dots, R_k$  gibi bir dizi ile yapıyorsak, diğerini bu dizinin komplementi olan  $1-R_1, 1-R_2, \dots, 1-R_k$  dizini ile yapmaktır.<sup>56</sup>

---

<sup>56</sup> Hamdy A. TAHA, a.g.e., s.721

## BÖLÜM 6

### UYGULAMA

#### 6.1. Uygulama Alanının ve Problemin Tanımlanması

Güntaş İplik Fabrikası, ham pamuktan iplik elde eden bir fabrikadır. Fabrikada piyasadan alınan pamuk iplik makinalarında iplik haline dönüştürüldükten sonra piyasaya sunulmaktadır.

Güntaş İplik Fabrikasında kullanılan makinaların her birinin üzerinde 1000 adet iğ bulunmaktadır. Bu iğlerin ipliği sarmasında kullandıkları kopçalar zamanla aşınarak kopmaktadırlar. Bu kopmalar makinanın verimini düşürmekte ve maddi olarak kayıplara sebebiyet vermektedir.

Güntaş İplik Fabrikası bu zararı minimize etmek için iğlerde bulunan kopçaların ömrünün ne kadar olduğunu tayin etmek ve hangi aralıklarla bu kopçaların değiştirilmesi gerektiğini saptamak istemektedir.

Fabrikanın uzun yıllar bekleyip bu sonucu görme olanağı olmadığından, burada bir yöneylem araştırması tekniği olan Monte Carlo simülasyonunu kullanarak bilgisayar ortamında fabrikayı varsayılan malzemeler ve varsayılan paraları kullanarak istediğimiz kadar uzun yıllar çalıştırıp istediğimiz verileri elde etme olanağına sahibiz. Bunun içinde bu simülasyon uygulaması için problem hakkında bazı ön bilgileri elde etmemiz gerekmektedir.

6.2. Uygulamada Kullanılan Gözlem Değerleri Ve Bilgisayar Programı

| <i>Değiştirme<br/>Günü</i> | <i>Kopçalardaki<br/>Bozulma Adedi</i> | <i>Olasılıklar</i> | <i>Karşılık gelen<br/>Rasgele Sayılar</i> |
|----------------------------|---------------------------------------|--------------------|---|
| <i>10. Gün</i>             | <i>30</i>                             | <i>0.05</i>        | <i>00-04</i>                              |
|                            | <i>31</i>                             | <i>0.15</i>        | <i>05-19</i>                              |
|                            | <i>32</i>                             | <i>0.60</i>        | <i>20-79</i>                              |
|                            | <i>33</i>                             | <i>0.15</i>        | <i>80-94</i>                              |
|                            | <i>34</i>                             | <i>0.05</i>        | <i>95-99</i>                              |
| <i>11. Gün</i>             | <i>31</i>                             | <i>0.05</i>        | <i>00-04</i>                              |
|                            | <i>32</i>                             | <i>0.15</i>        | <i>05-19</i>                              |
|                            | <i>33</i>                             | <i>0.60</i>        | <i>20-79</i>                              |
|                            | <i>34</i>                             | <i>0.15</i>        | <i>80-94</i>                              |
|                            | <i>35</i>                             | <i>0.05</i>        | <i>95-99</i>                              |
| <i>12. Gün</i>             | <i>32</i>                             | <i>0.05</i>        | <i>00-04</i>                              |
|                            | <i>33</i>                             | <i>0.15</i>        | <i>05-19</i>                              |
|                            | <i>34</i>                             | <i>0.60</i>        | <i>20-79</i>                              |
|                            | <i>35</i>                             | <i>0.15</i>        | <i>80-94</i>                              |
|                            | <i>36</i>                             | <i>0.05</i>        | <i>95-99</i>                              |
| <i>13. Gün</i>             | <i>33</i>                             | <i>0.05</i>        | <i>00-04</i>                              |
|                            | <i>34</i>                             | <i>0.15</i>        | <i>05-19</i>                              |
|                            | <i>35</i>                             | <i>0.60</i>        | <i>20-79</i>                              |
|                            | <i>36</i>                             | <i>0.15</i>        | <i>80-94</i>                              |
|                            | <i>37</i>                             | <i>0.05</i>        | <i>95-99</i>                              |
| <i>14. Gün</i>             | <i>37</i>                             | <i>0.05</i>        | <i>00-04</i>                              |
|                            | <i>38</i>                             | <i>0.15</i>        | <i>05-19</i>                              |
|                            | <i>39</i>                             | <i>0.60</i>        | <i>20-79</i>                              |
|                            | <i>40</i>                             | <i>0.15</i>        | <i>80-94</i>                              |
|                            | <i>41</i>                             | <i>0.05</i>        | <i>95-99</i>                              |

|               |    |      |       |
|---------------|----|------|-------|
| <b>15.Gün</b> | 41 | 0.05 | 00-04 |
|               | 42 | 0.15 | 05-19 |
|               | 43 | 0.60 | 20-79 |
|               | 44 | 0.15 | 80-94 |
|               | 45 | 0.05 | 95-99 |
| <b>16.Gün</b> | 45 | 0.05 | 00-04 |
|               | 46 | 0.15 | 05-19 |
|               | 47 | 0.60 | 20-79 |
|               | 48 | 0.15 | 80-94 |
|               | 49 | 0.05 | 95-99 |
| <b>17.Gün</b> | 49 | 0.05 | 00-04 |
|               | 50 | 0.15 | 05-19 |
|               | 51 | 0.60 | 20-79 |
|               | 52 | 0.15 | 80-94 |
|               | 53 | 0.05 | 95-99 |
| <b>18.Gün</b> | 53 | 0.05 | 00-04 |
|               | 54 | 0.15 | 05-19 |
|               | 55 | 0.60 | 20-79 |
|               | 56 | 0.15 | 80-94 |
|               | 57 | 0.05 | 95-99 |
| <b>19.Gün</b> | 57 | 0.05 | 00-04 |
|               | 58 | 0.15 | 05-19 |
|               | 59 | 0.60 | 20-79 |
|               | 60 | 0.15 | 80-94 |
|               | 61 | 0.05 | 95-99 |
| <b>20.Gün</b> | 61 | 0.05 | 00-04 |
|               | 62 | 0.15 | 05-19 |
|               | 63 | 0.60 | 20-79 |
|               | 64 | 0.15 | 80-94 |
|               | 65 | 0.05 | 95-99 |

Yukarıdaki tabloda kullanılan veriler fabrikada iplik makinası 10 ile 20 gün arasında ayrı ayrı gözlenerek elde edilmiştir. 10. günde makine da bulunan kopçalardan

(toplam 1000 adet kopça) ortalama olarak 32 adet kopmaktadır. Oluşturduğumuz modelin gerçeğine daha yakın olması ve sonuçların modeli tam yansıtması açısından meydana gelen kopmaları ortalama olarak değil, gerçekte meydana gelen yüzdeleriyle ifade etmek uygun görülmüştür. 10. gün için bu yüzdeler %5 olasılıkla 30 adet, %15 olasılıkla 31 adet, %60 olasılıkla 32 adet, %15 olasılıkla 33 adet ve nihayetinde %5 olasılıkla 34 adet olarak gerçekleştiği görülmüştür.

Düzenli dağılımdan çektiğimiz rasgele sayılara göre bu olasılıkların dağılımı da , 00-04 arasında çekilecek rasgele sayı için kopçalardaki kopma adedinin 30 adet olacağı devamında 05-19 arasında çekilecek rasgele sayı için kopma adedi 31, 20-79 arasında çekilecek rasgele sayı için 32, 80-94 arasında çekilecek rasgele sayı için 33 ve 95-99 arasında çekilecek rasgele sayı içinde kopma adedinin 34 olarak gerçekleşeceği düşünülmüştür.

Sadece 10. gün için verilen yukarıdaki bilgiler 10-20 arasındaki bütün günler için gerçekleştirilmiş olup , yöntem olarak aynı yol izlenmiştir. Bilgisayar programında ise düzenli dağılımdan çekilen 0-1 arasındaki sayı 00-99 rakamlarına dönüştürülerek uygulama yapılmıştır.

CLS

```
FOR i = 1 TO 1: FOR j = 1 TO 79: LOCATE i, j: COLOR 3, 11
```

```
PRINT " "; : NEXT: NEXT
```

```
FOR i = 1 TO 24: FOR j = 1 TO 1: LOCATE i, j: COLOR 3, 11
```

```
PRINT " "; : NEXT: NEXT
```

```
FOR i = 1 TO 24: FOR j = 79 TO 79: LOCATE i, j: COLOR 3, 11
```

```
PRINT " "; : NEXT: NEXT
FOR i = 24 TO 24: FOR j = 1 TO 79: LOCATE i, j: COLOR 3, 11
PRINT " "; : NEXT: NEXT
COLOR 2, 9
```

```
REM*****
```

```
REM **   Bu program GÜNTAŞ İPLİK FABRİKAS'INDA iplik
REM**   makinalarının iğlerindeki kopçaların ömrünü tayin için Basic
REM**   programlama dilinin bir versiyonu olan QBX dilinde simülasyon
REM**   amaçlı kodlanmıştır.
```

```
REM*****
```

```
RANDOMIZE TIMER
```

```
DIM a(5), c(100), ol(5)
```

```
LOCATE 2, 3
```

```
PRINT "           Simülasyon Süresi :
```

```
LOCATE 2, 45
```

```
INPUT n
```

```
DIM B(1000)
```

```
LOCATE 3, 3
```

```
PRINT "           Değişirme Aralığı:
```

```
LOCATE 3, 45
```

```
INPUT d
```

```
LOCATE 4, 3
```

```
PRINT "           Bozulma Sayıları :
```

```
    B = d + 20
```

```

FOR i = 1 TO 5
a(i) = B + i - 1
PRINT USING "## "; a(i);
NEXT

FOR l = 1 TO 100
s = 0: i = 0
OPEN "kopca1.dat" FOR OUTPUT AS #1
PRINT #1, "Simulasyon Süresi "; n
PRINT #1, "Değiştirme Aralığı "; d
PRINT #1, "Muh.Kopma Sayıları "; a(1); " "; a(2); " "; a(3); " ";
a(4); " "; a(5)
PRINT #1, "Olasılık Değerleri "; " 0.05 "; "0.15 "; "0.60 ";
"0.15 "; "0.05"
PRINT #1, "-----"
PRINT #1, "Sim.Sayısı:"; " Ras.Sayı:"; " Kopma Ad.:"; " Değ
mal.:"; " G.Zarar:"; " Top.Mal.:"
PRINT #1, "-----"

FOR T = 1 TO n STEP d
IF s >= n GOTO 100
x = INT(100) * RND
IF x < 5 THEN
B = a(1)
ELSEIF x < 19 THEN B = a(2)
ELSEIF x < 79 THEN B = a(3)
ELSEIF x < 94 THEN B = a(4)
ELSE B = a(5)

```

```

END IF
i = i + 1
s = s + d
LOCATE 6, 3
COLOR 4, 7
PRINT , "      İlk Simulasyon Döngüsü:      "
LOCATE 8, 20
COLOR 4, 2
PRINT USING "      ####      #####      "; i; s;

```

#### ***Değiştirme Maliyetinin Hesaplanması:***

*Kopça Maliyeti = 100.000 TL*

*İşçilik = 800.000 TL*

*Makina 2 saat duruyor. Makina %100 kapasiteyle çalıştığında 4500 Kg/İğ saati üretim gerçekleştiriyor. Bir makinada 1000 adet İğ bulunduğundan İğ başına günlük üretim 4.5 Kg olmaktadır. Bir Kg ipliğin karının 50.000 TL olduğunu kabul edersek bir gün için bir iğ için günlük çalışmama maliyeti  $4.5 * 50.000 = 225.000$  TL olmaktadır. Bir iğ için 2 saatlik üretimi ise  $4.5/24 * 2 = 0.375$  Kg dir. Durma halinde 2 saatlik zarar =  $0.375 * 50.000 = 18.750$  TL dir.*

*Açıklamalar ışığında, Değiştirme Maliyeti = Kopça Maliyeti + İşçilik + (1000-Kopan Kopça Adedi) \* 18750 TL dir.*

$$d_{mal} = 900000 + (1000 - B) * 18750$$

$$OKOPMA = (30 + B) / 2$$

$$GZARAR = OKOPMA * 4.5 * 50000 * d$$

TMAL = dmal + GZARAR

B(i) = TMAL

PRINT #1, USING "### ## ## #,###,###,###

#,###,###,### #,###,###,###"; i; x; B; dmal; GZARAR; B(i)

NEXT

100

LOCATE 10, 3

COLOR 4, 7

PRINT , " İlk Döngü Maliyetlerinin Hesaplanması:

COLOR 4, 2

FOR k = 1 TO i

top = top + B(k)

LOCATE 12, 20

PRINT USING " ##### #,###,###,###,### TL "; k; top;

NEXT

toport = top / s

PRINT #1, "-----"

PRINT #1, USING "Günlük ortalama Maliyet: #,###,###,###";

toport

CLOSE #1

c(l) = toport

top = 0

LOCATE 14, 3

COLOR 4, 7

PRINT , " İlk Döngüdeki Maliyetlerin Stoklanması:

COLOR 4, 2

LOCATE 16, 20

```

PRINT USING " ##### ##,###,###,###,### TL ";
                    l; toport;

toport = 0

NEXT

FOR m = 1 TO 100
topmal = topmal + c(m)
LOCATE 18, 3
COLOR 4, 7
PRINT , "          Günlük Ortalamaların Hesaplanması: "
LOCATE 20, 20
COLOR 4, 2
PRINT USING " ##### ##,###,###,###,### TL ";
                    m; topmal;

NEXT

gmal = topmal / 100
LOCATE 22, 3
COLOR 4, 7
PRINT USING "Günlük Maliyet= ##,###,###,### TL "; gmal;
COLOR 2, 9

END

```

### ***6.2.1. Kullanılan Rasgele Sayıların Test Edilmesi***

Kullandığımız rasgele sayıları 0 ile 1 arasında değerler alan bir düzgün dağılımdan aldığımızdan dolayı, bu sayıların rasgeleliğinin test edilmesi, çekilen sayıların ortalamasının 0.5 e yaklaşması ile mümkündür.

Büyük sayılar kanununa göre bir uygulama yaparsak, örnek hacmimizi ne kadar büyük tutarsak bu rasgele sayıların ortalamasının 0.5 ten daha az bir sapmayla gerçekleşeceğini göreceğiz. Bu amaçla aşağıdaki programla çeşitli sayıda deneme yaparak bunu göstermeye çalışılmıştır.

```
CLS
RANDOMIZE TIME
DIM a(100), s(100)
INPUT "deneme sayısını giriniz:"; n
sayac = 0
FOR j = 1 TO 10
t = 0
    FOR i = 1 TO n
        x = RND(1)
        t = t + x
    NEXT
    ort = t / n
    a(j) = ort
    sapma = .5 - ort
    s(j) = sapma
    sapma = 0: ort = 0
    sayac = sayac + 1
LOCATE 20, 20
PRINT , sayac
NEXT
    FOR k = 1 TO 10
        ort = ort + a(k)
        sapma = sapma + s(k)
    NEXT
    ort = ort / 10
    sapma = sapma / 10
PRINT , "Deneme Sayısı:"; " Ortalama:"; " Sapma : "
PRINT , USING "##### #.### #.###"; n; ort; sapma
END
```

Programı çeşitli değerler için çalıştırıp aldığımız sonuçları aşağıdaki tablo ile gösterirsek, kullandığımız sayıların ortalamasının uygulama sayısı arttıkça 0.5'e yaklaştığını görmekteyiz.

| Uygulama Sayısı | Elde Edilen Ortalama | 0.5 'ten Sapma |
|-----------------|----------------------|----------------|
| 300             | 0.488                | 0.012          |
| 500             | 0.490                | 0.010          |
| 1.000           | 0.496                | 0.004          |
| 2.000           | 0.499                | 0.001          |
| 10.000          | 0.500                | 0.000          |

Bu tablodaki gösterimde virgülden sonra 3 rakam alınmıştır.

### 6.3. Simulasyon Uygulamalarından Elde Edilen Sonuçlar

| <i>Simulasyon Süresi İş Saati(Gün)</i> | <i>Kopçaların Değiştirilme Aralığı(Gün)</i> | <i>Günlük Maliyet (TL)</i> |
|--|---|----------------------------|
| <b>300 İş Saati (=Gün)</b>             | <b>10</b>                                   | <b>8.883.356</b>           |
|  | <b>11</b>                                   | <b>8.820.382</b>           |
|  | <b>12</b>                                   | <b>8.780.873</b>           |
|  | <b>13</b>                                   | <b>8.773.740</b>           |
|  | <b>14</b>                                   | <b>9.115.361</b>           |
|  | <b>15</b>                                   | <b>9.465.798</b>           |
|  | <b>16</b>                                   | <b>9.836.778</b>           |
|  | <b>17</b>                                   | <b>10.214.300</b>          |
|  | <b>18</b>                                   | <b>10.593.080</b>          |
|  | <b>19</b>                                   | <b>10.990.020</b>          |
|  | <b>20</b>                                   | <b>11.380.810</b>          |

| <i>Simulasyon Süresi İş Saati(Gün)</i> | <i>Kopçaların Değiştirilme Aralığı(Gün)</i> | <i>Günlük Maliyet (TL)</i> |
|--|---|----------------------------|
| <b>600 İş Saati (=Gün)</b>             | 10  | 8.880.095                  |
|  | 11  | 8.817.738                  |
|  | 12  | 8.784.802                  |
|  | 13  | 8.772.966                  |
|  | 14  | 9.112.548                  |
|  | 15  | 9.470.334                  |
|  | 16  | 9.834.056                  |
|  | 17  | 10.212.470                 |
|  | 18  | 10.595.100                 |
|  | 19  | 10.988.070                 |
|  | 20  | 11.383.630                 |

| <i>Simulasyon Süresi İş Saati(Gün)</i> | <i>Kopçaların Değiştirilme Aralığı(Gün)</i> | <i>Günlük Maliyet (TL)</i> |
|--|---|----------------------------|
| <b>900 İş Saati (=Gün)</b>             | 10  | 8.879.966                  |
|  | 11  | 8.817.831                  |
|  | 12  | 8.785.887                  |
|  | 13  | 8.774.013                  |
|  | 14  | 9.111.174                  |
|  | 15  | 9.468.564                  |
|  | 16  | 9.835.273                  |
|  | 17  | 10.212.740                 |
|  | 18  | 10.596.710                 |
|  | 19  | 10.989.050                 |
|  | 20  | 11.386.880                 |

| <i>Simulasyon Süresi İş Saati(Gün)</i> | <i>Kopçaların Değiştirilme Aralığı(Gün)</i> | <i>Günlük Maliyet (TL)</i> |
|--|---|----------------------------|
| <i>1200 İş Saati (=Gün)</i>            | <i>10</i>                                   | <i>8.881.453</i>           |
|  | <i>11</i>                                   | <i>8.817.659</i>           |
|  | <i>12</i>                                   | <i>8.784.573</i>           |
|  | <i>13</i>                                   | <i>8.773.734</i>           |
|  | <i>14</i>                                   | <i>9.111.667</i>           |
|  | <i>15</i>                                   | <i>9.469.346</i>           |
|  | <i>16</i>                                   | <i>9.836.168</i>           |
|  | <i>17</i>                                   | <i>10.212.130</i>          |
|  | <i>18</i>                                   | <i>10.596.900</i>          |
|  | <i>19</i>                                   | <i>10.987.670</i>          |
|  | <i>20</i>                                   | <i>11.383.560</i>          |

Yukarıdaki 4 ayrı uygulamada da görüldüğü gibi işletme minimum maliyeti 13 günde bir değişiklik yaptığında elde etmektedir.

### **6.3.1. Sonuçların Modele Uygunluğunun Test Edilmesi**

Modelimizin gerçek sistemi temsil edip etmediğini istatistiksel olarak göstermenin en geçerli yolu Ki-Kare uygunluk testini uygulamaktır. Burada Ki-Kare uygunluk testini uygularken simulasyon deneyimizin 300 ve 1200 günlük sonuçlarını ele alacağız. Gözlem değerlerimiz ile bu sonuçlar arasında farkın olmadığını göstermek aynı zamanda modelimizin geçerliliğini onaylamaktır.

Bu test içinde aşağıdaki  $H_0$  hipotezinin kabul edilmesi gerekmektedir.

$H_0$ : Gözlem değerleri ile beklenen değerler arasında fark yoktur.

$H_1$ : Gözlem değerleri ile beklenen değerler arasında fark vardır.

| 300 Günlük<br>(10.Günler<br>Gözlem İçin) |                  |
|--|------------------|
| Gözlem Aralığı                           | Gözlenen Frekans |
| 00-04                                    | 1.5              |
| 05-19                                    | 4.5              |
| 20-79                                    | 18               |
| 80-94                                    | 4.5              |
| 95-99                                    | 1.5              |

| 1200 Günlük<br>(10.Günler<br>Gözlem İçin) |                  |
|---|------------------|
| Gözlem Aralığı                            | Gözlenen Frekans |
| 00-04                                     | 6                |
| 05-19                                     | 18               |
| 20-79                                     | 72               |
| 80-94                                     | 18               |
| 95-99                                     | 6                |

| 300 Günlük<br>(10.Günler<br>Uygulama İçin) |                  |
|--|------------------|
| Uygulama Aralığı                           | Beklenen Frekans |
| 00-04                                      | 1                |
| 05-19                                      | 4                |
| 20-79                                      | 16               |
| 80-94                                      | 8                |
| 95-99                                      | 1                |

| 1200 Günlük<br>(10.Günler<br>Uygulama İçin) |                  |
|---|------------------|
| Uygulama Aralığı                            | Beklenen Frekans |
| 00-04                                       | 6                |
| 05-19                                       | 15               |
| 20-79                                       | 76               |
| 80-94                                       | 14               |
| 95-99                                       | 9                |

Bu veriler ışığında Ki-Kare testini %99 ( $1-\alpha$ ,  $\alpha=0.01$ ) anlamlılık düzeyinde ve 3 serbestlik derecesinde uygulayacak olursak.\*

300 gün için hesaplanan Ki-Kare değeri:

$$\begin{aligned}\chi_{\text{hes}}^2 &= \sum_1^k \frac{(f_g - f_b)^2}{f_b} = \frac{(1.5-1)^2}{1} + \frac{(4.5-4)^2}{4} + \frac{(18-16)^2}{16} + \frac{(4.5-8)^2}{8} + \frac{(1.5-1)^2}{1} \\ &= 0.25 + 0.0625 + 0.25 + 1.53125 + 0.25 \\ &= 2.34375\end{aligned}$$

1200 gün için hesaplanan Ki-Kare değeri:

$$\begin{aligned}\chi_{\text{hes}}^2 &= \sum_1^k \frac{(f_g - f_b)^2}{f_b} = \frac{(6-6)^2}{6} + \frac{(18-15)^2}{15} + \frac{(72-76)^2}{76} + \frac{(18-14)^2}{14} + \frac{(6-9)^2}{9} \\ &= 0.0 + 0.6 + 0.21 + 1.143 + 1.0 \\ &= 2.953\end{aligned}$$

%99 anlamlılık düzeyinde 3 serbestlik derecesindeki Ki-Kare tablo değeri:

$$\chi_{\text{tablo}}^2 = 11.34 \text{ ve}$$

$$\chi_{\text{hes.1.2}}^2 < \chi_{\text{tablo}}^2$$

olduğundan ve her iki uygulama içinde hesapladığımız Ki-Kare değerleri

\* Not: Serbestlik Derecesi  $V=k-m-1$  dir. Burada k aralık Sayısını, m ise deney sayısını göstermektedir

Ki-Kare tablo değerinden küçük olduğundan  $H_0$  hipotezini kabul ediyoruz. Dolayısıyla gözlem değerleri ile beklenen değerler arasında fark yoktur diyor modelimizin sistemi geçerli bir Şekilde yansittiğini ispatlamış oluyoruz.



## SONUÇ

Bu çalışmada bir yöneylem araştırması tekniği olan simülasyon konusu incelenmiş, daha çok kesikli simülasyonlar üzerinde durulmuştur. Sırasıyla simüle edeceğimiz sistemin tanımlanması, sistemdeki problemin belirlenmesi ve modelin geliştirilip simülasyon sonuçları alındıktan sonra istatistiksel testlerden geçirilip geçerliliğinin araştırılması incelenmiştir.

Bu teoriler doğrultusunda, Güntaş İplik fabrikasındaki ring makinalarında kopça ömrü tayini ve periyodik değişimi problemini içeren bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulamada ring makinalarındaki kopçaların hangi zaman aralıklarında değiştirildiğinde işletmeye maliyetinin minimum olacağı araştırılmıştır. Bunun için işletmedeki ring makinaları bir süre (10-20 günleri arasında) gözlenmiş ve veriler elde edilmiştir.

Bu veriler, kopçaların değişeceği zaman makinanın durma saati ve durmadan kaynaklanan üretim kaybı, kopça maliyeti, işçilik ücreti olarak ele alınmıştır. Üretimden doğan kaybı hesaplamak için makinanın %100 kapasiteyle çalıştığında gerçekleştirdiği üretimden hareketle iş başına günlük üretim ve makina değiştirme esnasında 2 saat duracağından iş başına 2 saatlik üretim tespit edilmiştir. Kopçalarda ne kadar çok kopma olursa günlük üretimde orantılı bir şekilde o kadar azalmaktadır. Bu veriler doğrultusunda simülasyon modeli oluşturulup QBX bilgisayar programlama dilinde bilgisayar programı hazırlanmıştır.

Simülasyon tekniğinin önemli avantajlarından biri olan bilgisayarda işletmenin uzun süre hayali maddi kaynaklarla çalıştırılıp geleceğe yönelik sonuçlar alma

avantajından faydalanarak, simulasyon uygulaması 300 , 600, 900 ve 1200 günlük süreler için denenmiş ve sonuçları alınmıştır.

Uygulamadan alınan sonuçların gerçek sistemimizi tam olarak yansıtıp yansıtmadığını istatistiksel olarak ispatlamak için aşağıdaki hipotez kurulmuştur:

H<sub>0</sub>: Gözlem verileri ile uygulama sonuçları arasında fark yoktur

H<sub>1</sub>: Uygulama verileri gözlem verilerinden farklıdır.

Bu hipotezi test etmek için % 99 güven düzeyinde Ki-Kare uygunluk testi kullanılmış ve bu test sonucunda hesaplanan Ki-Kare değerlerimizin Ki-Kare tablo değerinden küçük çıktığı görülmüştür. Dolayısıyla H<sub>0</sub> hipotezinde belirtilen gözlem değerleri ile uygulama sonuçları arasında fark yoktur hipotezi kabul edilmiştir.

Sonuçta uyguladığımız simulasyon süreçlerinin hepsinde bilgisayar çıktılarımız birbirine çok yakın rakamlar vermiştir. Bu rakamlar simulasyon uygulamasından alınan sonuç tablolarında gösterildiği gibi Ek-13 teki grafikten de kolaylıkla gözlenebilir. Birinci günden itibaren artma eğilimi gösteren günlük maliyet 13.günde minimum noktaya ulaşmakta ve bu günden sonra tekrar yükselmeye başlamaktadır. Buradaki rakamların sadece bir makinayı yansıttığını düşünürsek işletmedeki makina sayısı arttıkça değişik politikaların uygulanmasından sonuçlanan kâr veya zarar aynı oranda artacaktır. Burada küçük gibi gözükse maliyetler aslında önemlidir.

Güntaş İplik fabrikasına simulasyon uygulama sonuçları doğrultusunda, ring makinalarındaki kopçaların 13 günde bir değiştirilmesi durumunda bu periyodik değişimin işletmeye maliyetinin minimum olacağı belirtilmiştir.

## EK-1

| Sim.No:                 | R.Sayı: | K Ad.: | Deg mal.: | G.Zarar: | Top.Mal.: | Cüm.Top.Mal.: |
|-------------------------|---------|--------|-----------|----------|-----------|---------------|
| 1                       | 80      | 33     | 19031250  | 70875000 | 89906248  | 89906248      |
| 2                       | 67      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 178706240     |
| 3                       | 92      | 33     | 19031250  | 70875000 | 89906248  | 268612480     |
| 4                       | 08      | 31     | 19068750  | 68625000 | 87693752  | 356306240     |
| 5                       | 54      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 445106240     |
| 6                       | 22      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 533906240     |
| 7                       | 17      | 31     | 19068750  | 68625000 | 87693752  | 621600000     |
| 8                       | 85      | 33     | 19031250  | 70875000 | 89906248  | 711506240     |
| 9                       | 90      | 33     | 19031250  | 70875000 | 89906248  | 801412480     |
| 10                      | 37      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 890212480     |
| 11                      | 31      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 979012480     |
| 12                      | 93      | 33     | 19031250  | 70875000 | 89906248  | 1068918720    |
| 13                      | 43      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 1157718784    |
| 14                      | 75      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 1246518784    |
| 15                      | 47      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 1335318784    |
| 16                      | 71      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 1424118784    |
| 17                      | 50      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 1512918784    |
| 18                      | 60      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 1601718784    |
| 19                      | 06      | 31     | 19068750  | 68625000 | 87693752  | 1689412480    |
| 20                      | 84      | 33     | 19031250  | 70875000 | 89906248  | 1779318784    |
| 21                      | 72      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 1868118784    |
| 22                      | 35      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 1956918784    |
| 23                      | 77      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 2045718784    |
| 24                      | 97      | 34     | 19012500  | 72000000 | 91012496  | 2136731264    |
| 25                      | 68      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 2225531392    |
| 26                      | 58      | 32     | 19050000  | 69750000 | 88800000  | 2314331392    |
| 27                      | 00      | 30     | 19087500  | 67500000 | 86587504  | 2400918784    |
| 28                      | 81      | 33     | 19031250  | 70875000 | 89906248  | 2490824960    |
| 29                      | 88      | 33     | 19031250  | 70875000 | 89906248  | 2580731136    |
| 30                      | 10      | 31     | 19068750  | 68625000 | 87693752  | 2668424960    |
| Günlük Ortalama Maliyet |         |        |           |          |           | :8894750      |

## EK-2

| Simulasyon Süresi       | : 300  |        |           |          |           |               |
|-------------------------|--------|--------|-----------|----------|-----------|---------------|
| Değiştirme Aralığı      | : 11   |        |           |          |           |               |
| Muh.Kopma Sayıları      | : 31   | 32     | 33        | 34       | 35        |               |
| Olasılık Değerleri      | : 0.05 | 0.15   | 0.60      | 0.15     | 0.05      |               |
| Sim.No:                 | Ras.S: | K.Ad.: | Deg mal.: | G.Zarar: | Top.Mal.: | Cum.Top.Mal.: |
| 1                       | 13     | 32     | 19050000  | 76725000 | 95775000  | 95775000      |
| 2                       | 26     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 192768736     |
| 3                       | 45     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 289762496     |
| 4                       | 52     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 386756224     |
| 5                       | 02     | 31     | 19068750  | 75487504 | 94556256  | 481312480     |
| 6                       | 35     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 578306240     |
| 7                       | 09     | 32     | 19050000  | 76725000 | 95775000  | 674081216     |
| 8                       | 16     | 32     | 19050000  | 76725000 | 95775000  | 769856192     |
| 9                       | 80     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 866849920     |
| 10                      | 24     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 963843648     |
| 11                      | 99     | 35     | 18993750  | 80437504 | 99431256  | 1063274880    |
| 12                      | 92     | 34     | 19012500  | 79200000 | 98212496  | 1161487360    |
| 13                      | 26     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 1258481152    |
| 14                      | 82     | 34     | 19012500  | 79200000 | 98212496  | 1356693632    |
| 15                      | 58     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 1453687424    |
| 16                      | 47     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 1550681216    |
| 17                      | 03     | 31     | 19068750  | 75487504 | 94556256  | 1645237504    |
| 18                      | 57     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 1742231296    |
| 19                      | 46     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 1839225088    |
| 20                      | 69     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 1936218880    |
| 21                      | 97     | 35     | 18993750  | 80437504 | 99431256  | 2035650176    |
| 22                      | 18     | 32     | 19050000  | 76725000 | 95775000  | 2131425152    |
| 23                      | 62     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 2228418816    |
| 24                      | 50     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 2325412608    |
| 25                      | 91     | 34     | 19012500  | 79200000 | 98212496  | 2423625216    |
| 26                      | 46     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 2520619008    |
| 27                      | 68     | 33     | 19031250  | 77962496 | 96993744  | 2617612800    |
| 28                      | 84     | 34     | 19012500  | 79200000 | 98212496  | 2715825408    |
| Günlük Ortalama Maliyet |        |        |           |          |           | : 9052751     |

## EK-3

| Simulasyon Süresi       | : 300   |        |           |          |           |               |
|-------------------------|---------|--------|-----------|----------|-----------|---------------|
| Değiştirme Aralığı      | : 12    |        |           |          |           |               |
| Muh.Kopma Sayıları      | : 32    | 33     | 34        | 35       | 36        |               |
| Olasılık Değerleri      | : 0.05  | 0.15   | 0.60      | 0.15     | 0.05      |               |
| Sim.No:                 | R.Sayı: | K.Ad.: | Deg mal.: | G.Zarar: | Top.Mal.: | Cüm.Top.Mal.: |
| 1                       | 80      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 105412496     |
| 2                       | 90      | 35     | 18993750  | 87750000 | 106743752 | 212156256     |
| 3                       | 57      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 317568768     |
| 4                       | 10      | 33     | 19031250  | 85050000 | 104081248 | 421650016     |
| 5                       | 58      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 527062528     |
| 6                       | 83      | 35     | 18993750  | 87750000 | 106743752 | 633806272     |
| 7                       | 18      | 33     | 19031250  | 85050000 | 104081248 | 737887488     |
| 8                       | 28      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 843299968     |
| 9                       | 22      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 948712448     |
| 10                      | 63      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 054124928     |
| 11                      | 87      | 35     | 18993750  | 87750000 | 106743752 | 160868736     |
| 12                      | 22      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 1266281216    |
| 13                      | 65      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 1371693696    |
| 14                      | 81      | 35     | 18993750  | 87750000 | 106743752 | 1478437504    |
| 15                      | 13      | 33     | 19031250  | 85050000 | 104081248 | 1582518784    |
| 16                      | 20      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 1687931264    |
| 17                      | 61      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 1793343744    |
| 18                      | 48      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 1898756224    |
| 19                      | 74      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 2004168704    |
| 20                      | 74      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 2109581184    |
| 21                      | 09      | 33     | 19031250  | 85050000 | 104081248 | 2213662464    |
| 22                      | 96      | 36     | 18975000  | 89100000 | 108075000 | 2321737472    |
| 23                      | 80      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 2427150080    |
| 24                      | 38      | 34     | 19012500  | 86400000 | 105412496 | 2532562688    |
| 25                      | 05      | 33     | 19031250  | 85050000 | 104081248 | 2636643840    |
| Günlük Ortalama Maliyet |         |        |           |          |           | : 8788813     |

## EK-4

| Simulasyon Süresi       | : 300   |        |           |          |           |               |
|-------------------------|---------|--------|-----------|----------|-----------|---------------|
| Değiştirme Aralığı      | : 13    |        |           |          |           |               |
| Muh.Kopma Sayıları      | : 33    | 34     | 35        | 36       | 37        |               |
| Olasılık Değerleri      | : 0.05  | 0.15   | 0.60      | 0.15     | 0.05      |               |
| Sim.No:                 | R.Sayı: | K Ad.: | Deg mal.: | G.Zarar: | Top.Mal.: | Cum.Top.Mal.: |
| 1                       | 22      | 35     | 18993750  | 95062496 | 114056248 | 114056248     |
| 2                       | 63      | 35     | 18993750  | 95062496 | 114056248 | 228112496     |
| 3                       | 86      | 36     | 18975000  | 96525000 | 115500000 | 343612480     |
| 4                       | 23      | 35     | 18993750  | 95062496 | 114056248 | 457668736     |
| 5                       | 58      | 35     | 18993750  | 95062496 | 114056248 | 571724992     |
| 6                       | 11      | 34     | 19012500  | 93600000 | 112612496 | 684337472     |
| 7                       | 1       | 33     | 19031250  | 92137504 | 111168752 | 795506240     |
| 8                       | 28      | 35     | 18993750  | 95062496 | 114056248 | 909562496     |
| 9                       | 23      | 35     | 18993750  | 95062496 | 114056248 | 1023618752    |
| 10                      | 2       | 33     | 19031250  | 92137504 | 111168752 | 1134787456    |
| 11                      | 91      | 36     | 18975000  | 96525000 | 115500000 | 1250287488    |
| 12                      | 91      | 36     | 18975000  | 96525000 | 115500000 | 1365787520    |
| 13                      | 60      | 35     | 18993750  | 95062496 | 114056248 | 1479843712    |
| 14                      | 41      | 35     | 18993750  | 95062496 | 114056248 | 1593899904    |
| 15                      | 49      | 35     | 18993750  | 95062496 | 114056248 | 1707956096    |
| 16                      | 15      | 34     | 19012500  | 93600000 | 112612496 | 1820568576    |
| 17                      | 14      | 34     | 19012500  | 93600000 | 112612496 | 1933181056    |
| 18                      | 25      | 35     | 18993750  | 95062496 | 114056248 | 2047237248    |
| 19                      | 90      | 36     | 18975000  | 96525000 | 115500000 | 2162737152    |
| 20                      | 40      | 35     | 18993750  | 95062496 | 114056248 | 2276793344    |
| 21                      | 26      | 35     | 18993750  | 95062496 | 114056248 | 2390849536    |
| 22                      | 58      | 35     | 18993750  | 95062496 | 114056248 | 2504905728    |
| 23                      | 8       | 34     | 19012500  | 93600000 | 112612496 | 2617518336    |
| 24                      | 62      | 35     | 18993750  | 95062496 | 114056248 | 2731574528    |
| Günlük Ortalama Maliyet |         |        |           |          |           | : 8755047     |

## EK-5

| Simulasyon Süresi       | : 300   |        |            |           |           |               |
|-------------------------|---------|--------|------------|-----------|-----------|---------------|
| Değiştirme Aralığı      | : 14    |        |            |           |           |               |
| Muh. Kopma Sayıları     | : 37    | 38     | 39         | 40        | 41        |               |
| Olasılık Değerleri      | : 0.05  | 0.15   | 0.60       | 0.15      | 0.05      |               |
| Sim.No:                 | R.Sayı: | K Ad.: | Deg. mal.: | G.Zarar:  | Top.Mal.: | Cum.Top.Mal.: |
| 1                       | 52      | 39     | 18918750   | 108675000 | 127593752 | 127593752     |
| 2                       | 05      | 38     | 18937500   | 107100000 | 126037504 | 253631264     |
| 3                       | 12      | 38     | 18937500   | 107100000 | 126037504 | 379668768     |
| 4                       | 39      | 39     | 18918750   | 108675000 | 127593752 | 507262528     |
| 5                       | 84      | 40     | 18900000   | 110250000 | 129150000 | 636412544     |
| 6                       | 62      | 39     | 18918750   | 108675000 | 127593752 | 764006272     |
| 7                       | 07      | 38     | 18937500   | 107100000 | 126037504 | 890043776     |
| 8                       | 81      | 40     | 18900000   | 110250000 | 129150000 | 1019193792    |
| 9                       | 01      | 37     | 18956250   | 105525000 | 124481248 | 1143675008    |
| 10                      | 09      | 38     | 18937500   | 107100000 | 126037504 | 1269712512    |
| 11                      | 99      | 41     | 18881250   | 111825000 | 130706248 | 1400418816    |
| 12                      | 31      | 39     | 18918750   | 108675000 | 127593752 | 1528012544    |
| 13                      | 02      | 37     | 18956250   | 105525000 | 124481248 | 1652493824    |
| 14                      | 80      | 39     | 18918750   | 108675000 | 127593752 | 1780087552    |
| 15                      | 94      | 40     | 18900000   | 110250000 | 129150000 | 1909237504    |
| 16                      | 48      | 39     | 18918750   | 108675000 | 127593752 | 2036831232    |
| 17                      | 66      | 39     | 18918750   | 108675000 | 127593752 | 2164424960    |
| 18                      | 65      | 39     | 18918750   | 108675000 | 127593752 | 2292018688    |
| 19                      | 26      | 39     | 18918750   | 108675000 | 127593752 | 2419612416    |
| 20                      | 15      | 38     | 18937500   | 107100000 | 126037504 | 2545649920    |
| 21                      | 01      | 37     | 18956250   | 105525000 | 124481248 | 2670131200    |
| 22                      | 78      | 39     | 18918750   | 108675000 | 127593752 | 2797724928    |
| Günlük Ortalama Maliyet |         |        |            |           |           | : 9325750     |

## EK-6

| Simulasyon Süresi       | : 300                      |         |           |           |           |               |
|-------------------------|----------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| Değiştirme Aralığı      | : 15                       |         |           |           |           |               |
| Muh.Kopma Sayıları      | : 41                       | 42      | 43        | 44        | 45        |               |
| Olasılık Değerleri      | : 0.05 0.15 0.60 0.15 0.05 |         |           |           |           |               |
| Sim.No:                 | R.Sayı:                    | K. Ad.: | Deg mal.: | G.Zarar:  | Top.Mal.: | Cum.Top.Mal.: |
| 1                       | 48                         | 43      | 18843750  | 123187504 | 142031248 | 142031248     |
| 2                       | 10                         | 42      | 18862500  | 121500000 | 140362496 | 282393728     |
| 3                       | 26                         | 43      | 18843750  | 123187504 | 142031248 | 424424960     |
| 4                       | 11                         | 42      | 18862500  | 121500000 | 140362496 | 564787456     |
| 5                       | 20                         | 43      | 18843750  | 123187504 | 142031248 | 706818688     |
| 6                       | 95                         | 44      | 18825000  | 124875000 | 143700000 | 850518656     |
| 7                       | 88                         | 44      | 18825000  | 124875000 | 143700000 | 994218624     |
| 8                       | 05                         | 42      | 18862500  | 121500000 | 140362496 | 1134581120    |
| 9                       | 32                         | 43      | 18843750  | 123187504 | 142031248 | 1276612352    |
| 10                      | 08                         | 42      | 18862500  | 121500000 | 140362496 | 1416974848    |
| 11                      | 30                         | 43      | 18843750  | 123187504 | 142031248 | 1559006080    |
| 12                      | 52                         | 43      | 18843750  | 123187504 | 142031248 | 1701037312    |
| 13                      | 93                         | 44      | 18825000  | 124875000 | 143700000 | 1844737280    |
| 14                      | 46                         | 43      | 18843750  | 123187504 | 142031248 | 1986768512    |
| 15                      | 75                         | 43      | 18843750  | 123187504 | 142031248 | 2128799744    |
| 16                      | 72                         | 43      | 18843750  | 123187504 | 142031248 | 2270831104    |
| 17                      | 98                         | 45      | 18806250  | 126562496 | 145368752 | 2416199936    |
| 18                      | 61                         | 43      | 18843750  | 123187504 | 142031248 | 2558231296    |
| 19                      | 66                         | 43      | 18843750  | 123187504 | 142031248 | 2700262656    |
| 20                      | 12                         | 42      | 18862500  | 121500000 | 140362496 | 2840625152    |
| Günlük Ortalama Maliyet |                            |         |           |           |           | : 9468751     |

## EK-7

| Simulasyon Süresi       | : 300   |         |           |           |           |               |
|-------------------------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| Değiştirme Aralığı      | : 16    |         |           |           |           |               |
| Muh.Kopma Sayıları      | : 45    | 46      | 47        | 48        | 49        |               |
| Olasılık Değerleri      | : 0.05  | 0.15    | 0.60      | 0.15      | 0.05      |               |
| Sim.No:                 | R.Sayı: | K. Ad.: | Deg mal.: | G.Zarar:  | Top.Mal.: | Cum.Top.Mal.: |
| 1                       | 17      | 46      | 18787500  | 136800000 | 155587504 | 155587504     |
| 2                       | 72      | 47      | 18768750  | 138600000 | 157368752 | 312956256     |
| 3                       | 29      | 47      | 18768750  | 138600000 | 157368752 | 470324992     |
| 4                       | 37      | 47      | 18768750  | 138600000 | 157368752 | 627693760     |
| 5                       | 46      | 47      | 18768750  | 138600000 | 157368752 | 785062528     |
| 6                       | 12      | 46      | 18787500  | 136800000 | 155587504 | 940650048     |
| 7                       | 50      | 47      | 18768750  | 138600000 | 157368752 | 1098018816    |
| 8                       | 75      | 47      | 18768750  | 138600000 | 157368752 | 1255387520    |
| 9                       | 47      | 47      | 18768750  | 138600000 | 157368752 | 1412756224    |
| 10                      | 81      | 48      | 18750000  | 140400000 | 159150000 | 1571906176    |
| 11                      | 52      | 47      | 18768750  | 138600000 | 157368752 | 1729274880    |
| 12                      | 70      | 47      | 18768750  | 138600000 | 157368752 | 1886643584    |
| 13                      | 88      | 48      | 18750000  | 140400000 | 159150000 | 2045793536    |
| 14                      | 05      | 46      | 18787500  | 136800000 | 155587504 | 2201381120    |
| 15                      | 60      | 47      | 18768750  | 138600000 | 157368752 | 2358749952    |
| 16                      | 24      | 47      | 18768750  | 138600000 | 157368752 | 2516118784    |
| 17                      | 18      | 46      | 18787500  | 136800000 | 155587504 | 2671706368    |
| 18                      | 71      | 47      | 18768750  | 138600000 | 157368752 | 2829075200    |
| 19                      | 26      | 47      | 18768750  | 138600000 | 157368752 | 2986444032    |
| Günlük Ortalama Maliyet |         |         |           |           |           | : 9954813     |

## EK-8

|                         |         |         |           |           |           |               |
|-------------------------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| Simulasyon Süresi       | : 300   |         |           |           |           |               |
| Değiştirme Aralığı      | : 17    |         |           |           |           |               |
| Muh.Kopma Sayıları      | : 49    | 50      | 51        | 52        | 53        |               |
| Olasılık Değerleri      | : 0.05  | 0.15    | 0.60      | 0.15      | 0.05      |               |
| Sim.No:                 | R.Sayı: | K. Ad.: | Deg mal.: | G.Zarar:  | Top.Mal.: | Cum.Top.Mal.: |
| 1                       | 21      | 51      | 18693750  | 154912496 | 173606240 | 173606240     |
| 2                       | 77      | 51      | 18693750  | 154912496 | 173606240 | 347212480     |
| 3                       | 61      | 51      | 18693750  | 154912496 | 173606240 | 520818720     |
| 4                       | 94      | 52      | 18675000  | 156824992 | 175500000 | 696318720     |
| 5                       | 10      | 50      | 18712500  | 153000000 | 171712496 | 868031232     |
| 6                       | 13      | 50      | 18712500  | 153000000 | 171712496 | 1039743744    |
| 7                       | 68      | 51      | 18693750  | 154912496 | 173606240 | 1213350016    |
| 8                       | 50      | 51      | 18693750  | 154912496 | 173606240 | 1386956288    |
| 9                       | 34      | 51      | 18693750  | 154912496 | 173606240 | 1560562560    |
| 10                      | 88      | 52      | 18675000  | 156824992 | 175500000 | 1736062592    |
| 11                      | 29      | 51      | 18693750  | 154912496 | 173606240 | 1909668864    |
| 12                      | 43      | 51      | 18693750  | 154912496 | 173606240 | 2083275136    |
| 13                      | 56      | 51      | 18693750  | 154912496 | 173606240 | 2256881408    |
| 14                      | 46      | 51      | 18693750  | 154912496 | 173606240 | 2430487552    |
| 15                      | 13      | 50      | 18712500  | 153000000 | 171712496 | 2602200064    |
| 16                      | 45      | 51      | 18693750  | 154912496 | 173606240 | 2775806208    |
| 17                      | 17      | 50      | 18712500  | 153000000 | 171712496 | 2947518720    |
| 18                      | 90      | 52      | 18675000  | 156824992 | 175500000 | 3123018752    |
| Günlük ortalama Maliyet |         |         |           |           |           | : 10410060    |

## EK-9

|                         |         |         |           |           |           |               |
|-------------------------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| Simulasyon Süresi       | : 300   |         |           |           |           |               |
| Değiştirme Aralığı      | : 18    |         |           |           |           |               |
| Muh.Kopma Sayıları      | : 53    | 54      | 55        | 56        | 57        |               |
| Olasılık Değerleri      | : 0.05  | 0.15    | 0.60      | 0.15      | 0.05      |               |
| Sim.No:                 | R.Sayı: | K. Ad.: | Deg mal.: | G.Zarar:  | Top.Mal.: | Cum.Top.Mal.: |
| 1                       | 17      | 54      | 18637500  | 170100000 | 188737504 | 188737504     |
| 2                       | 78      | 55      | 18618750  | 172124992 | 190743744 | 379481248     |
| 3                       | 86      | 56      | 18600000  | 174150000 | 192750000 | 572231232     |
| 4                       | 35      | 55      | 18618750  | 172124992 | 190743744 | 762974976     |
| 5                       | 41      | 55      | 18618750  | 172124992 | 190743744 | 953718720     |
| 6                       | 61      | 55      | 18618750  | 172124992 | 190743744 | 1144462464    |
| 7                       | 03      | 53      | 18656250  | 168075008 | 186731264 | 1331193728    |
| 8                       | 11      | 54      | 18637500  | 170100000 | 188737504 | 1519931264    |
| 9                       | 53      | 55      | 18618750  | 172124992 | 190743744 | 1710674944    |
| 10                      | 21      | 55      | 18618750  | 172124992 | 190743744 | 1901418752    |
| 11                      | 59      | 55      | 18618750  | 172124992 | 190743744 | 2092162560    |
| 12                      | 70      | 55      | 18618750  | 172124992 | 190743744 | 2282906368    |
| 13                      | 30      | 55      | 18618750  | 172124992 | 190743744 | 2473650176    |
| 14                      | 64      | 55      | 18618750  | 172124992 | 190743744 | 2664393984    |
| 15                      | 35      | 55      | 18618750  | 172124992 | 190743744 | 2855137792    |
| 16                      | 43      | 55      | 18618750  | 172124992 | 190743744 | 3045881600    |
| 17                      | 25      | 55      | 18618750  | 172124992 | 190743744 | 3236625408    |
| Günlük Ortalama Maliyet |         |         |           |           |           | : 10788750    |

## EK-10

|                         |         |         |           |           |           |               |
|-------------------------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| Simulasyon Süresi       | : 300   |         |           |           |           |               |
| Değiştirme Aralığı      | : 19    |         |           |           |           |               |
| Muh.Kopma Sayıları      | : 57    | 58      | 59        | 60        | 61        |               |
| Olasılık Değerleri      | : 0.05  | 0.15    | 0.60      | 0.15      | 0.05      |               |
| Sim.No:                 | R.Sayı: | K. Ad.: | Deg mal.: | G.Zarar:  | Top.Mal.: | Cum.Top.Mal.: |
| 1                       | 68      | 59      | 18543750  | 190237504 | 208781248 | 208781248     |
| 2                       | 54      | 59      | 18543750  | 190237504 | 208781248 | 417562496     |
| 3                       | 80      | 60      | 18525000  | 192375008 | 210900000 | 628462464     |
| 4                       | 91      | 60      | 18525000  | 192375008 | 210900000 | 839362432     |
| 5                       | 54      | 59      | 18543750  | 190237504 | 208781248 | 1048143680    |
| 6                       | 74      | 59      | 18543750  | 190237504 | 208781248 | 1256924928    |
| 7                       | 11      | 58      | 18562500  | 188100000 | 206662496 | 1463587456    |
| 8                       | 52      | 59      | 18543750  | 190237504 | 208781248 | 1672368640    |
| 9                       | 39      | 59      | 18543750  | 190237504 | 208781248 | 1881149952    |
| 10                      | 41      | 59      | 18543750  | 190237504 | 208781248 | 2089931264    |
| 11                      | 68      | 59      | 18543750  | 190237504 | 208781248 | 2298712576    |
| 12                      | 31      | 59      | 18543750  | 190237504 | 208781248 | 2507493888    |
| 13                      | 79      | 59      | 18543750  | 190237504 | 208781248 | 2716275200    |
| 14                      | 19      | 58      | 18562500  | 188100000 | 206662496 | 2922937600    |
| 15                      | 65      | 59      | 18543750  | 190237504 | 208781248 | 3131718912    |
| 16                      | 67      | 59      | 18543750  | 190237504 | 208781248 | 3340500224    |
| Günlük Ortalama Maliyet |         |         |           |           |           | : 11135000    |

## EK-11

|                                   |          |           |               |           |            |            |
|-----------------------------------|----------|-----------|---------------|-----------|------------|------------|
| Simulasyon Süresi                 | : 300    |           |               |           |            |            |
| Değiştirme Aralığı                | : 20     |           |               |           |            |            |
| Muh.Kopma Sayıları                | : 61     | 62        | 63            | 64        | 65         |            |
| Olasılık Değerleri                | : 0.05   | 0.15      | 0.60          | 0.15      | 0.05       |            |
| Sim.No: R.Sayı: K. Ad.: Deg mal.: | G.Zarar: | Top.Mal.: | Cum.Top.Mal.: |           |            |            |
| 1                                 | 74       | 63        | 18468750      | 209250000 | 227718752  | 227718752  |
| 2                                 | 96       | 65        | 18431250      | 213750000 | 232181248  | 459900000  |
| 3                                 | 65       | 63        | 18468750      | 209250000 | 227718752  | 687618752  |
| 4                                 | 01       | 61        | 18506250      | 204750000 | 223256256  | 910875008  |
| 5                                 | 39       | 63        | 18468750      | 209250000 | 227718752  | 1138593792 |
| 6                                 | 82       | 64        | 18450000      | 211500000 | 229950000  | 1368543744 |
| 7                                 | 00       | 61        | 18506250      | 204750000 | 223256256  | 1591800064 |
| 8                                 | 47       | 63        | 18468750      | 209250000 | 227718752  | 1819518848 |
| 9                                 | 68       | 63        | 18468750      | 209250000 | 227718752  | 2047237632 |
| 10                                | 17       | 62        | 18487500      | 207000000 | 225487504  | 2272725248 |
| 11                                | 53       | 63        | 18468750      | 209250000 | 227718752  | 2500443904 |
| 12                                | 39       | 63        | 18468750      | 209250000 | 227718752  | 2728162560 |
| 13                                | 67       | 63        | 18468750      | 209250000 | 227718752  | 2955881216 |
| 14                                | 16       | 62        | 18487500      | 207000000 | 225487504  | 3181368832 |
| 15                                | 86       | 64        | 18450000      | 211500000 | 229950000  | 3411318784 |
| Günlük Ortalama Maliyet           |          |           |               |           | : 11371060 |            |

## EK-12

| Simulasyon Süresi  | : 1200   |        |            |          |           |
|--------------------|----------|--------|------------|----------|-----------|
| Değiştirme Aralığı | : 10     |        |            |          |           |
| Muh.Kopma Sayıları | : 30     | 31     | 32         | 33       | 34        |
| Olastık Değerleri  | : 0.05   | 0.15   | 0.60       | 0.15     | 0.05      |
| Sim.Say:           | Ras.Say: | K Ad.: | Değ. Mal.: | G.Zarar: | Top.Mal.: |
| 1                  | 43       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 2                  | 40       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 3                  | 34       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 4                  | 45       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 5                  | 1        | 30     | 19087500   | 67500000 | 86587504  |
| 6                  | 58       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 7                  | 36       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 8                  | 96       | 34     | 19012500   | 72000000 | 91012496  |
| 9                  | 0        | 30     | 19087500   | 67500000 | 86587504  |
| 10                 | 30       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 11                 | 30       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 12                 | 8        | 31     | 19068750   | 68625000 | 87693752  |
| 13                 | 12       | 31     | 19068750   | 68625000 | 87693752  |
| 14                 | 80       | 33     | 19031250   | 70875000 | 89906248  |
| 15                 | 53       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 16                 | 46       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 17                 | 95       | 34     | 19012500   | 72000000 | 91012496  |
| 18                 | 59       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 19                 | 54       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 20                 | 49       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 21                 | 94       | 34     | 19012500   | 72000000 | 91012496  |
| 22                 | 66       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 23                 | 48       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 24                 | 51       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 25                 | 60       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 26                 | 79       | 33     | 19031250   | 70875000 | 89906248  |
| 27                 | 1        | 30     | 19087500   | 67500000 | 86587504  |
| 28                 | 37       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 29                 | 93       | 33     | 19031250   | 70875000 | 89906248  |
| 30                 | 28       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 31                 | 36       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 32                 | 19       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 33                 | 16       | 31     | 19068750   | 68625000 | 87693752  |
| 34                 | 75       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 35                 | 66       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 36                 | 36       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 37                 | 69       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 38                 | 36       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 39                 | 55       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 40                 | 81       | 33     | 19031250   | 70875000 | 89906248  |
| 41                 | 26       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 42                 | 14       | 31     | 19068750   | 68625000 | 87693752  |
| 43                 | 96       | 34     | 19012500   | 72000000 | 91012496  |
| 44                 | 53       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |
| 45                 | 45       | 32     | 19050000   | 69750000 | 88800000  |

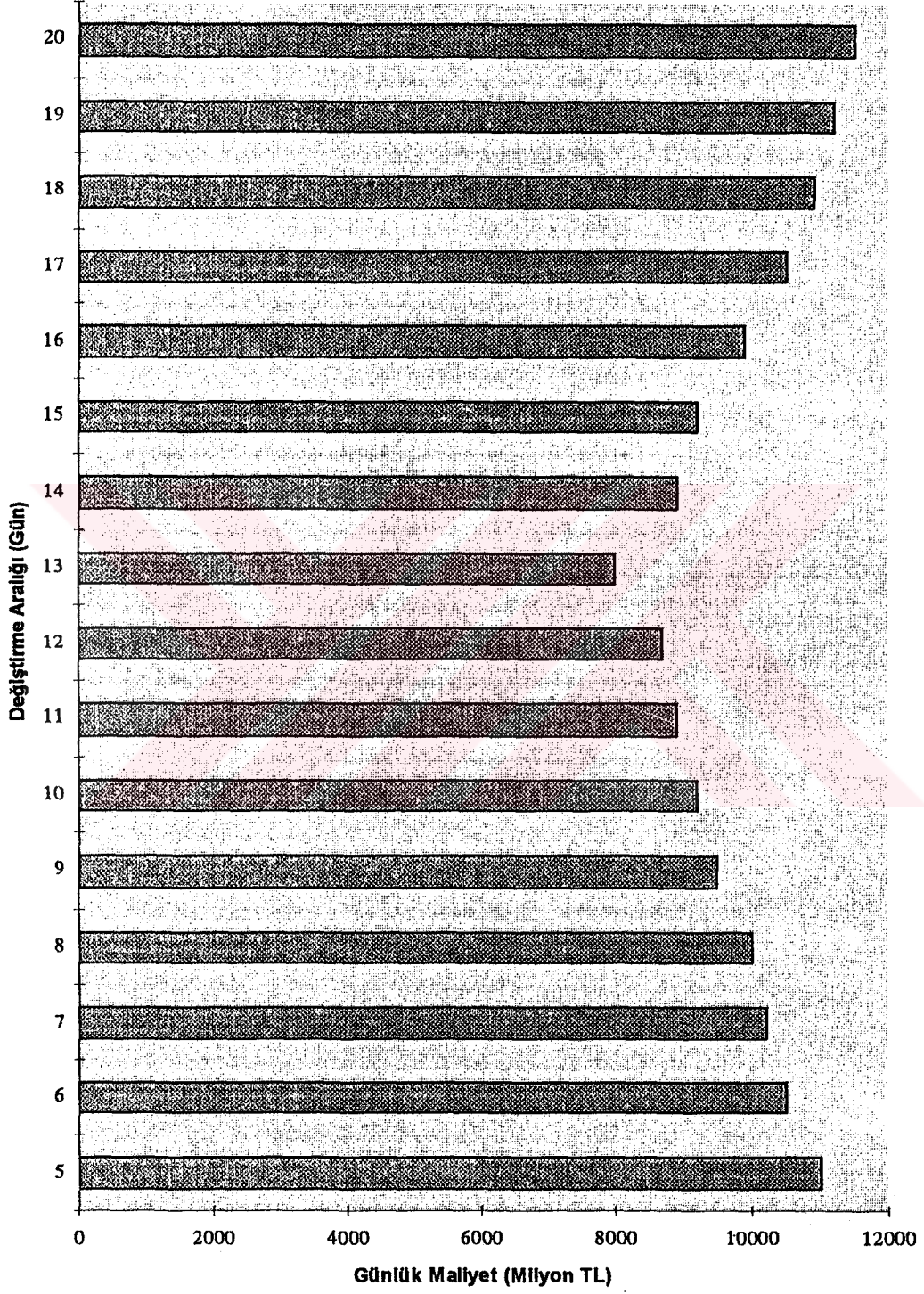
EK-12(Devam)

|    |    |    |          |          |          |
|----|----|----|----------|----------|----------|
| 46 | 68 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 47 | 22 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 48 | 36 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 49 | 38 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 50 | 98 | 34 | 19012500 | 72000000 | 91012496 |
| 51 | 39 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 52 | 94 | 33 | 19031250 | 70875000 | 89906248 |
| 53 | 61 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 54 | 60 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 55 | 81 | 33 | 19031250 | 70875000 | 89906248 |
| 56 | 4  | 30 | 19087500 | 67500000 | 86587504 |
| 57 | 41 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 58 | 8  | 31 | 19068750 | 68625000 | 87693752 |
| 59 | 97 | 34 | 19012500 | 72000000 | 91012496 |
| 60 | 7  | 31 | 19068750 | 68625000 | 87693752 |
| 61 | 18 | 31 | 19068750 | 68625000 | 87693752 |
| 62 | 55 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 63 | 52 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 64 | 78 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 65 | 14 | 31 | 19068750 | 68625000 | 87693752 |
| 66 | 61 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 67 | 70 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 68 | 36 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 69 | 32 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 70 | 53 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 71 | 81 | 33 | 19031250 | 70875000 | 89906248 |
| 72 | 66 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 73 | 73 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 74 | 57 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 75 | 12 | 31 | 19068750 | 68625000 | 87693752 |
| 76 | 72 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 77 | 84 | 33 | 19031250 | 70875000 | 89906248 |
| 78 | 65 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 79 | 90 | 33 | 19031250 | 70875000 | 89906248 |
| 80 | 52 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 81 | 25 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 82 | 26 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 83 | 78 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 84 | 0  | 30 | 19087500 | 67500000 | 86587504 |
| 85 | 68 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 86 | 57 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 87 | 30 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 88 | 36 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 89 | 15 | 31 | 19068750 | 68625000 | 87693752 |
| 90 | 84 | 33 | 19031250 | 70875000 | 89906248 |
| 91 | 75 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 92 | 51 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 93 | 43 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |
| 94 | 4  | 30 | 19087500 | 67500000 | 86587504 |
| 95 | 26 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000 |

EK-12(Devam)

|                         |    |    |          |          |           |
|-------------------------|----|----|----------|----------|-----------|
| 96                      | 90 | 33 | 19031250 | 70875000 | 89906248  |
| 97                      | 77 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000  |
| 98                      | 77 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000  |
| 99                      | 11 | 31 | 19068750 | 68625000 | 87693752  |
| 100                     | 49 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000  |
| 101                     | 81 | 33 | 19031250 | 70875000 | 89906248  |
| 102                     | 38 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000  |
| 103                     | 31 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000  |
| 104                     | 6  | 31 | 19068750 | 68625000 | 87693752  |
| 105                     | 84 | 33 | 19031250 | 70875000 | 89906248  |
| 106                     | 36 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000  |
| 107                     | 45 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000  |
| 108                     | 67 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000  |
| 109                     | 19 | 31 | 19068750 | 68625000 | 87693752  |
| 110                     | 99 | 34 | 19012500 | 72000000 | 91012496  |
| 111                     | 74 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000  |
| 112                     | 48 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000  |
| 113                     | 98 | 34 | 19012500 | 72000000 | 91012496  |
| 114                     | 23 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000  |
| 115                     | 38 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000  |
| 116                     | 71 | 32 | 19050000 | 69750000 | 88800000  |
| 117                     | 7  | 31 | 19068750 | 68625000 | 87693752  |
| 118                     | 86 | 33 | 19031250 | 70875000 | 89906248  |
| 119                     | 10 | 31 | 19068750 | 68625000 | 87693752  |
| 120                     | 97 | 34 | 19012500 | 72000000 | 91012496  |
| Günlük Ortalama Maliyet |    |    |          |          | : 8884613 |

### Ek-13 Uygulama Sonuçlarının Grafikselsel Gösterimi



## KAYNAKLAR

- ANDERSON, D.R., SWEENEY, D.J., WILLAMS, T.A.*, “ An Introduction to Management Science Quantitative Approach to Decision Making”, West Publishing Company, St.Paul, 1985.
- CONOVER, W.J.*, “Practical Nonparametric Statistics”, John Wiley and Sons, New York, 1980.
- DAELLENBACH, H.G., GEORGE, J.A., McNICKLE, D.C.*, “Introduction To Operations Research Techniques”, Allyn And Bacon,Inc., Massachusetts, 1983.
- DANNENBRING, D.G., STARR, M.K.*, “Management Science An Introduction”, McGraw-Hill.Inc, Tokyo, 1981.
- DAVIS, K.R., McKEOWN, P.G., RAKES, T.R.*, "Management Science An Introduction", Kent Publishing Company A Division Of Wadsworth, Inc, Boston, 1986.
- ESEN, H.Ö.*, “ İşletme Yönetiminde Sistem Yaklaşımı”, Avcıol Basım Yayın,İstanbul, 1994.
- GAMGAM, H.*, “Parametrik Olmayan İstatistiksel Testler”, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1989.
- HALAÇ, O.*, “ Kantitatif Karar Verme Teknikleri”, Evrim Dağıtım, İstanbul ,1993.
- HALAÇ, O.*, “ İşletmelerde Simulasyon Teknikleri”,Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 1993.
- HILLIER, S.F, LIEBERMAN, J.G.*, "Operations Research", Holdon-Day Inc, 1974.
- HOWARD, K.*, “Quantitative Analysis for Planning Decisions”, Mcdonald and Evans Ltd., London, 1975.
- KARAYALÇIN, İ.*, “Yöneylem (Hareket) Araştırması Kantitatif Planlama ve Karar Verme Yöntemleri”, Menteş Yayınevi, İstanbul, 1993.

**KARPAK, B.**, “Mekanize Üretim Sistemlerinde Öncelikli Bakım Süreçleri Performansının Ekip Büyüklüğüne Göre Bir Zaman Peryodu İçinde İncelenmesi ve Bakım Planı Saptanmasında Yeni Bir Yöntem Önerisi”, Basılmamış Doktora Tezi, Nisan-1974.

**LAUFER, A.C.**, “Operations Management”, South-Western Publishing.Co, Ohio, 1979.

**MARTIN, F.F.**, “Computer Modelling And Simulation”, John Willey, New York, 1968.

**MILLER, D.M., SCHMIDH, J.W.**, “ Industrial Engineering And Operational Research” ,John Willy & Sons. Inc.,1984.

**MIZE, J.H., COX, C.G.**, “Essentials of Simulations”, Prentice-Hall,1968.

**NAYLOR, T.H., BALINTFY, J.L., BURDICK, D.S., and CHU, K.**, “Computer Simulation Techniques”, John Wiley and Sons Inc., New York, 1986

**OBERSTONE, J.**, “Management Science Concepts, Insights and Application”, West Publishing Company, St.Paul, 1990.

**PIDD, M.**, “Computer Simulation In Management Science”, John Wiley & Sons Ltd.,Chichester,1990.

**PIDD, M.**, “Object-Orientation, Discrete Simulation and the Three-Phase Approach”, Journal of the Operational Research Society, vol.46, 1995.

**RAVINDRAN, A., PHILLIPS, D.T., SOLBERG, J.J.**, “Operations Research Principles And Practice”, John Wiley & Sons.Inc, Singapore, 1987.

**ROSS, S.M.**, “ Introduction To Probability Models”, Academic Press, Inc.”, Florida, 1985.

**SARIASLAN, H.**, " Sıra Bekleme Hatlarında Simulasyon Tekniği", Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları, Ankara, 1986.

**SERPER, Ö.**, “Uygulamalı İstatistik-2”, Filiz Kitabevi, İstanbul, 1993.

**SEVÜKTEKİN, M.**, “Ekonometrik Simulasyon Modelleri”, Uludağ Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt:XIII, Sayı:1-2, Bursa, 1992.

**SHANNON, R.E.**, “System Simulation: The Art and Science”, Prentice-Hall, 1975.

**SHOGAN, A.W.**, “Management Science”, Printice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, 1988.

**TAHA, H.A.**, “Operations Research An Introduction”, Macmillan Publishing Co., Inc, New York, 1987.

**TRUEMAN, R.E.**, “An Introduction to Quantitative Methods for Decision Making”, Holt, Rinehard-Winston, 1977.

**WAGNER, H.M.**, “Principles Of Operations Research With Applications To Managerial Decision”, Englewood Cliffs, New Jersey, 1969.

**WINSTON, W.L.**, “Operations Research Application and Algorithms”, Kent Publishing Company, Boston, 1991.

**YILMAZ, Z.**, " Sayısal Yöntemler", Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa, 1995.