

1398/1

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KESİKLİ VE SÜREKLİ SİSTEMLERİN MODELLENMESİ
VE ANALİZİNDE GÖRSEL SİMÜLASYON TEKNİĞİ VE
UYGULAMASI**

- 1398/1 -

Endüstri Müh. Doğu KEZER

FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL

Y. Doç. Dr. Tufan Demirel

Prof. Dr. M. Bülent Duralıoğlu

İSTANBUL, 2003

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. SİMÜLASYON	5
2.1 Simülasyonun Tanımı	5
2.2 Simülasyonun Amacı	5
2.3 Simülasyonun Mantıksal Yapısı	7
2.4 Simülasyonun Kullanıldığı Alanlar	8
2.5 Simülasyon Tekniğinin Uygun Olduğu Durumlar.....	11
2.6 Simülasyon Yapabilmek İçin Gerekli Yetkinlik Kriterleri	13
2.7 Simülasyonun Ekonomiklik Açısından İncelenmesi	13
2.8 Sistem Dinamiği.....	15
2.8.1 Sistemin Tanımı	16
2.8.2 Sistemin Elemanları	17
2.8.2.1 Gezen Birimler	17
2.8.2.2 Faaliyetler	18
2.8.2.3 Kaynaklar	18
2.8.2.4 Düzenleyici Kontrol Birimleri	18
2.8.3 Sistemin Karmaşıklığı.....	19
2.8.4 Sistemin Performans Kriterleri	20
2.8.4.1 Akış Süresi	20
2.8.4.2 Yararlanma Yüzdesi.....	21
2.8.4.3 Katma Değer Yaratılan Süre.....	21
2.8.4.4 Bekleme Süresi	21
2.8.4.5 Akış Oranı	21
2.8.4.6 Envanter ve Kuyruk Seviyesi.....	22
2.8.4.7 Verim	22
2.8.4.8 Müşteri İsteklerinin Cevaplandırılabilmesi.....	22
2.8.4.9 Sapma.....	23
2.8.5 Sistemin Değişkenleri	23
2.8.5.1 Karar Değişkenleri	23
2.8.5.2 Çıktı Değişkenleri	24
2.8.5.3 Durum Değişkenleri.....	24
2.8.6 Sistem Analizi Teknikleri	24
2.8.6.1 Gerçek Sistem Üzerinde veya Sistemin Modeli Üzerinde Deneyler Yapma	25
2.8.6.2 Fiziksel Model veya Matematiksel Model.....	26
2.8.6.3 Analitik Çözüm veya Simülasyon	26

2.9	Simülasyon Çeşitleri	27
2.9.1	Statik Simülasyon – Dinamik Simülasyon	27
2.9.2	Stokastik Simülasyon – Deterministik Simülasyon	28
2.9.3	Kesikli Olay Simülasyonu – Sürekli Sistem Simülasyonu	29
2.9.4	Melez Sistemlerin Simülasyonu	30
2.10	Bir Simülasyon Projesinin Safhaları	31
2.10.1	Simülasyon Projesi Ön Hazırlık Safhası	32
2.10.2	Problemin Tanımlanması, Amaçların, İhtiyaçların ve Proje Kapsamının Belirlenmesi	32
2.10.3	Çözüm Metodolojisinin Seçimi	33
2.10.4	Sistem ve Simülasyon Detaylarının Belirtilmesi	34
2.10.5	Modelin Formülasyonu ve Kurulması	37
2.10.6	Modelin Doğrulanması ve Geçerliliğinin Kanıtlanması	37
2.10.7	Modelin Denenmesi ve Sonuçlarının Analizi	38
2.10.8	Sonuçların Sunumu ve Dokümantasyonu	38
2.10.9	Modelin Çoğaltılması ve Yayılması	39
3.	SİMÜLASYONDA İSTATİSTİKSEL TEKNİKLER	40
3.1	Veri Toplanması ve Simülasyon İçin Girdi Analizi	40
3.1.1	Veri İhtiyaçlarının Belirlenmesi	40
3.1.1.1	Yapısal Veri	41
3.1.1.2	Operasyonel Veri	41
3.1.1.3	Nümerik Veri	41
3.1.2	Veri Kaynaklarının Belirlenmesi	42
3.1.3	Verinin Toplanması	42
3.1.3.1	Gezen Birimlerin Sistem İçerisindeki Akışlarının Tanımlanması	43
3.1.3.2	Operasyonun Tanımının Yapılması	43
3.1.3.3	Rastlantısal Olarak Gerçekleşen Olayların Belirlenmesi	44
3.1.4	Gerekli Görülen Yerlerde Tahmin Yürütülmesi	44
3.1.5	Simülasyon İçin Girdi Analizi	45
3.1.5.1	Deterministik ve Rassal Girdiler	46
3.1.5.2	Input Analyzer ile Girdi Değerlerinin Olasılık Dağılımlarına Uydurulması	46
3.1.5.3	Data Olmadığı Durumlarda Uygun Olasılık Dağılımının Belirlenmesi	53
3.1.6	Verinin Dokümantasyonu ve Onaylanması	54
3.2	Rassal Sayı Üretimi	55
3.3	Simülasyon Modelinin Doğrulanması ve Geçerliliğinin Kanıtlanması	58
3.3.1	Modelin Doğrulanması	59
3.3.1.1	Modelin Parçalara Ayırıştırılması	59
3.3.1.2	Bağımsız Gözlem	60
3.3.1.3	Farklı Girdi Değişkenleri	60
3.3.1.4	Modelin Adım Adım İşletilmesi	60
3.3.1.5	Kabul ve Varsayımların Sadeleştirilmesi	60
3.3.1.6	Animasyon	60
3.3.1.7	Ortalama ve Varyansların Karşılaştırılması	61
3.3.1.8	Doğru Simülasyon Yazılımının Seçimi	61
3.3.2	Modelin Geçerliliğinin Kanıtlanması	61
3.3.2.1	Animasyon Tekniği	62
3.3.2.2	Simülasyon Modelinin Gerçek Sistem ile Karşılaştırılması	63
3.3.2.3	Simülasyon Modelinin Diğer Modellerle Karşılaştırılması	63
3.3.2.4	Bozulma ve Uç Nokta Testleri	63
3.3.2.5	Yüzeysel Geçerlilik Testi	63

3.3.2.6	Geçmiş Veriler ile Karşılaştırma	63
3.3.2.7	Hassasiyet Analizi.....	63
3.3.2.8	Simülasyon Modelinin Adım Adım İşletilmesi	64
3.3.2.9	Bilgi ve Deneyimlerden Faydalanma.....	64
3.4	Simülasyonda Çıktı Analizi	64
3.4.1	Simülasyon Çıktılarının İstatistiksel Analizi	65
3.4.1.1	Nokta Tahmini	66
3.4.1.2	Aralık Tahmini.....	69
3.4.2	Simülasyon Koşum Sayısının Belirlenmesi (Örnek Büyüklüğü)	70
3.4.3	Sonlandırılan Simülasyon ve Kararlı Durum Simülasyonu.....	73
3.4.3.1	Sonlandırılan Simülasyon	74
3.4.3.2	Kararlı Durum Simülasyonu.....	75
4.	KESİKLİ SİSTEMLERİN MODELLENMESİ VE ANALİZİNDE GÖRSEL SİMÜLASYON TEKNİĞİ	81
4.1	Kesikli Sistemlerde Genel Prosesler ve Modellenmeleri.....	81
4.2	Gezen Birim Yaratılması ve Yok Edilmesi	81
4.2.1	Gezen Birim Yaratılması	81
4.2.2	Gezen Birimlerin Yok Edilmesi.....	82
4.3	Gezen Birim Yaratımı ve Yok Edilmesinin Simülasyonel Olarak Modellenmesi	82
4.4	Gezen Birimlerin Rotalanması.....	83
4.5	Gezen Birimlerin Rotalanmasının Simülasyonel Olarak Modellenmesi	84
4.6	Gezen Birimlerin Hareketleri ve Taşınması (Transportasyon).....	85
4.7	Gezen Birimlerin Taşınmasının Simülasyonel Olarak Modellemesi.....	85
4.8	Gezen Birim Artırımı ve Azaltılması (Paketleme, Gruplama ve Bozma)	87
4.9	Gezen Birimlerin Artırılması ve Azaltılmasının Simülasyonel Olarak Modellemesi.....	88
4.10	Kaynakların Gezen Birimler Tarafından Kullanılması.....	88
5.	SÜREKLİ SİSTEMLERİN SİMÜLASYONU.....	91
5.1	Kesikli ve Sürekli Simülasyon Modelleri	91
5.2	Sürekli Sistemler.....	92
5.3	Sürekli Sistemlerin Arena ile Modellenmesi	95
5.4	Sürekli Sistemlerin Modellenmesinde Kullanılan Diferansiyel Denklem Çözüm Metotları	97
5.4.1	Taylor Metodu	97
5.4.2	Runge-Kutta Metodu	98
5.4.3	Euler Metodu	102
6.	UYGULAMA	104
6.1	Kesikli Sistem Uygulaması.....	104
6.1.1	İşletmeyi Tanıtıcı Bilgi	104
6.1.2	Gövde İçin Mantıksal Model Yapısı.....	105
6.1.3	Gövde İçin Fiziksel Model Yapısı	106
6.1.4	Gövde İçin Çıktı Analizi.....	107
6.1.5	Sap, Enjektör ve Vida İçin Mantıksal Model Yapısı	117
6.1.6	Sap, Enjektör ve Vida İçin Fiziksel Model Yapısı	118
6.1.7	Sap, Enjektör ve Vida İçin Çıktı Analizi	119
6.1.8	Erkek İçin Mantıksal Model Yapısı.....	124
6.1.9	Erkek İçin Fiziksel Model Yapısı	125

6.1.10	Erkek İçin Çıktı Analizi.....	126
6.2	Melez Sistem Uygulaması	132
6.2.1	Sıcak Haddeleme ve Endüstriyel Fırın Prosesi.....	132
6.2.2	Melez Sistem İçin Mantıksal Model Yapısı.....	134
6.2.3	Melez Sistem İçin Fiziksel Model Yapısı.....	135
6.2.4	Melez Model Diferansiyel Denklem Çözümü İçin Komut Satırı	136
6.2.5	Melez Model İçin Çıktı Analizi	137
6.3	Sürekli Sistem Uygulaması.....	141
6.3.1	Sürekli Simülasyon Modeli.....	142
6.3.2	Sürekli Model Diferansiyel Denklem Çözümü İçin Komut Satırı.....	142
6.3.3	Sürekli Model Çıktı Analizi.....	143
7.	SONUÇLAR.....	144
	KAYNAKLAR.....	147
	EKLER.....	149
Ek 1	Ocak musluğu ürün ağacı.....	150
	ÖZGEÇMİŞ	151



SİMGE LİSTESİ

a	Rassal sayı üretiminde kullanılan sabit
c	Rassal sayı üretiminde kullanılan sabit
e	Hata değeri
m	Rassal sayı üretiminde kullanılan sabit
n	Örneklem hacmi
n'	Gerekli koşum sayısı
s	Örneklem standart sapması
s^2	Örneklem varyansı
Δt	Adım büyüklüğü
U_i	Sözde rassal sayı
U_n	n. rassal sayı değeri
v	Durum değişkeni
w	Hareketli ortalama penceresi
$\bar{x}$	Örneklem ortalaması
Y_{ji}	j . simülasyon koşumundaki i . gözlem değeri
Z_i	LCG algoritması tarafından üretilen rassal tam sayı değeri
Z_0	Keyfi başlangıç değeri
α	Güven düzeyi
μ	Popülasyon ortalaması
μ_m	Simülasyon modeline ait gerçek çıktı değerinin ortalaması
$\hat{\mu}_m$	Simülasyon modeli çalıştırılarak elde edilen tahmini ortalama
μ_s	Gerçek sistem üzerinde incelenen çıktı değerinin ortalaması
σ	Popülasyon standart sapması
σ^2	Popülasyon varyansı

KISALTMA LİSTESİ

BETA	Beta dağılımı
CMRG	Birleşik çoklu rassal sayı üretici – Combined multiple recursive generator
CONT	Sürekli dağılım
DISC	Kesikli dağılım
ERLA	Erlang dağılımı
GAMM	Gamma dağılımı
HW	Yarı genişlik – Half width
K-S	Kolmogorov-Smirnov hipotez testi
LCG	Lineer uygunlaştırma üretici – Lineer congruential generator
LOGN	Lognormal dağılım
NORM	Normal dağılım
TRIA	Üçgen dağılım



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Simülasyon deney prosesi	8
Şekil 2.2	Sistemi geliştirmek üzere yapılan değişimlerin maliyeti	14
Şekil 2.3	Sistem maliyetlerinin karşılaştırılması	15
Şekil 2.4	Simülasyon perspektifinden sistemin elemanları	17
Şekil 2.5	Sistem karmaşıklığını meydana getiren faktörler	19
Şekil 2.6	Sistem analizi için kullanılabilecek yaklaşımlar	25
Şekil 2.7	Deterministik ve stokastik simülasyon karşılaştırması	28
Şekil 2.8	Kesikli ve sürekli durum değişkenlerinin karşılaştırılması	29
Şekil 2.9	Simülasyon projesinin safhaları	31
Şekil 3.1	Temsili bir gezen birim akış şeması	43
Şekil 3.2	Olasılık dağılımlarının sınıflandırılması	46
Şekil 3.3	Temsili gözlem değerlerine ait histogram	48
Şekil 3.4	Temsili gözlem değerlerinin Erlang dağılımına uydurulmuş hali	49
Şekil 3.5	Temsili gözlem değerlerinin Triangular dağılımına uydurulmuş hali	50
Şekil 3.6	Temsili gözlem değerlerinin Empirik dağılımına uydurulmuş hali	51
Şekil 3.7	İki boyutlu LCG kafes yapısı	57
Şekil 3.8	Gerçek sistemin simülasyon modeline çevirimi	58
Şekil 3.9	Model geçerliliği için optimal nokta	64
Şekil 3.10	Kararlı düzeye ulaşılan kadar model çıktısındaki değişim	76
Şekil 3.11	Bir simülasyon modeline ait çıktı değişkeninin zaman içindeki değişimi	77
Şekil 3.12	Bir simülasyon modeline ait çıktı değişkeninin düzeltilmiş değişimi	77
Şekil 3.13	Kümelenmiş simülasyon koşumu analizi için bir örnek	79
Şekil 5.1	Otopilot denetimindeki uçak	93
Şekil 5.2	Tolerans ile zaman ilerletme mekanizması arasındaki ilişki	94
Şekil 5.3	Sürekli bir değişken için sayısal bir yaklaşık değer belirlenmesi	96
Şekil 6.1	Konveyördeki parça sayısı	116
Şekil 6.2	Çapaklama makinesi kuyruk uzunluğu	116
Şekil 6.3	Wolf 1 makinesi için ortalama kuyrukta bekleme süresi	131

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	252 adet temsili gözlem değeri	48
Çizelge 3.2	Temsili gözlem değerlerine ait istatistikler	48
Çizelge 3.3	Erlang dağılımına uydurulmuş temsili gözlem değerlerine ait istatistikler	49
Çizelge 3.4	Üçgen dağılıma uydurulmuş temsili gözlem değerlerine ait istatistikler	50
Çizelge 3.5	Empirik dağılıma uydurulmuş temsili gözlem değerlerine ait istatistikler	51
Çizelge 3.6	Tüm dağılımlar için temsili gözlem değerlerine ait istatistikler	52
Çizelge 3.7	Data olmadığı durumlarda yaygın olarak kullanılan olasılık dağılımları	54
Çizelge 3.8	12 hafta boyunca cumartesi günleri elde edilen temsili gözlem değerleri	68
Çizelge 3.9	18 hafta boyunca cumartesi günleri elde edilen gözlem değerleri	72
Çizelge 6.1	Gövde için stokastik zamanlar	109
Çizelge 6.2	Gövde çıktı oranları	110
Çizelge 6.3	Gövde için sistem içi süreler	110
Çizelge 6.4	Hatalı gövde için sistem içi süreler	111
Çizelge 6.5	Gövde için parçalar arası süre	111
Çizelge 6.6	Gövde için çevrim zamanı	111
Çizelge 6.7	Gövde için kaynak kapasite kullanım oranları	112
Çizelge 6.8	Gövde modelinde malzeme taşıyan işçiler için kapasite kullanım oranları	112
Çizelge 6.9	Gövde için konveyör kaynak kullanım oranları	112
Çizelge 6.10	Gövde için konveyör parça birikim uzunlukları	113
Çizelge 6.11	Lokma makinesi kuyruk uzunluğu	113
Çizelge 6.12	Pres 1 kuyruk uzunluğu	113
Çizelge 6.13	Pres 2 kuyruk uzunluğu	114
Çizelge 6.14	Pres 3 kuyruk uzunluğu	114
Çizelge 6.15	Çapaklama makinesi kuyruk uzunluğu	114
Çizelge 6.16	Kumlama makinesi kuyruk uzunluğu	115
Çizelge 6.17	Gövde transfer tezgahı #1 kuyruk uzunluğu	115
Çizelge 6.18	Gövde transfer tezgahı #2 kuyruk uzunluğu	115
Çizelge 6.19	Sap, enjektör ve vida için stokastik zamanlar	120
Çizelge 6.20	Sap, enjektör ve vida çıktı oranları	121
Çizelge 6.21	Enjektör için sistem içi süreler	121
Çizelge 6.22	M3 Vida için sistem içi süreler	121
Çizelge 6.23	Sap için sistem içi süreler	122
Çizelge 6.24	Hatalı parçalar arası süre	122
Çizelge 6.25	Sap, enjektör ve vida için kapasite kullanım oranları	122
Çizelge 6.26	Malzeme taşıma sistemleri kaynak kullanım oranları	123
Çizelge 6.27	Sap, enjektör ve vida için kuyruk istatistikleri	123
Çizelge 6.27	Erkek için stokastik zamanlar	127
Çizelge 6.28	Erkek çıktı oranları	129
Çizelge 6.29	Erkek için sistem içi süreler	129
Çizelge 6.30	Erkek parçalar arası süre	129
Çizelge 6.31	Erkek için kaynak kapasite kullanım oranları	130
Çizelge 6.32	Erkek için konveyör kaynak kullanım oranları	130
Çizelge 6.33	Malzeme taşıyan işçiler için kapasite kullanım oranları	130
Çizelge 6.34	Wolf 1 makinesine ait kuyruk istatistikleri	131
Çizelge 6.35	Erkek transfer tezgahlarına ait kuyruk istatistikleri	131
Çizelge 6.36	Melez model çıktı oranları	137
Çizelge 6.37	Ürünler arası süre	138
Çizelge 6.38	Pota yenileme süresi	138
Çizelge 6.39	Stoksuz kalma sayısı	139
Çizelge 6.40	Fırın sıcaklığı	139

Çizelge 6.41	Havuzdaki metal seviyesi.....	139
Çizelge 6.42	Melez model için kapasite kullanım oranları	140
Çizelge 6.43	Isıtma kuyruk istatistikleri.....	140
Çizelge 6.44	Popülasyon istatistiği	143



ÖNSÖZ

Günümüzde artan müşteri beklentileri, üretim kaynaklarının elde edilmesinde ve değerlendirilmesinde yaşanan zorluklar, sertleşen global rekabet, yüksek kalite bilinci ve hızla değişen teknoloji, işletmeleri ürettikleri ürün veya sundukları hizmette daha hızlı, daha verimli, daha düşük maliyetli, çok çeşitli ve daha kaliteli çözümler bulmaya zorlamaktadır. Stratejik, taktik ve operasyonel kararların hızlı ve doğru bir şekilde verilmesi işletmeler açısından rekabet üstünlüğünün sürdürülmesinde hayati önem taşımaktadır. Endüstri mühendislerinin sistem analizi konusunda sahip oldukları en güçlü araçlardan bir tanesi simülasyondur.

Bu tez kapsamında, görsel simülasyon tekniğinin, karar verme süreçleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kesikli üretim sistemi simülasyonu uygulaması gaz armatürleri üreten bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Melez sistem uygulamasında sıcak haddeleme ile sac levha üretimi için bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Sürekli sistemlerin modellenmesi ve analizinde bulaşıcı hastalık taşıyan bir genin popülasyon dinamiği üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında değerli görüşlerini benimle paylaşan ve bana yol gösteren sayın hocam Prof. Dr. Hüseyin Başlıgil'e, sistem geliştirme mühendisi Hakan Yıldızöz'e ve çalışmalarım süresince yakın destekleri ile bana güç veren aileme çok teşekkür ederim.

ÖZET

Bu tez çalışmasında, karar verme süreçlerinin etkinliğinin artırılmasında bilgisayar destekli görsel simülasyon tekniğinin katkısı incelenmiştir. Gezen birimlerin yaratılması, yok edilmesi, rotdlanması, hareketleri, taşınması, birleştirilmesi ve ayrıştırılması gibi sistem içi faaliyetlerin modellenmesinde Arena 5.0 programı ile görsel simülasyon tekniğinin kullanımı tanımlanmıştır. Bir simülasyon projesinin girdi analizi, modelin doğrulanması, modelin geçerliliğinin kanıtlanması ve çıktı analizi aşamalarında görsel simülasyon tekniği kullanımının sağladığı avantajlar belirtilmiştir. Kesikli, sürekli ve melez tipteki endüstriyel sistemlerin modellenmesinde ve analiz edilmesinde görsel simülasyon tekniğinin kullanımı incelenmiştir. Kesikli üretim sistem simülasyonu için yapılan uygulama, gaz armatürleri üretimi yapan bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Ocak musluğu ürün ağacındaki her bir ürün bileşeni için görsel simülasyon modelleri oluşturulmuş ve bu modeller analiz edilerek günlük montaj hattı çıktı kapasitesini maksimize edecek çözüm önerileri sunulmuştur. Bünyesinde hem kesikli hem de sürekli değişim gösteren öğeler içeren melez sistemlerin simülasyonu için yapılan uygulama çalışmasında sıcak haddeleme yöntemi ile sac levha üretimi için bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Günlük rulo üretimini maksimize edecek ve endüstriyel fırın prosesinin verimliliğini arttıracak olan politikalar test edilmiştir. Sürekli sistem simülasyonu uygulamasında hastalıklı bir gen tipinin popülasyon dinamiği üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Görsel simülasyon, kesikli sistem simülasyonu, sürekli sistem simülasyonu, melez sistem simülasyonu, arena.

ABSTRACT

In this study, the contribution of computer aided visual simulation methodology to the enhancement of effectiveness in decision making process is examined. By means of Arena 5.0 software, system activities such as generating, disposing, routing, moving, transporting, assembling and dismantling entities are investigated in terms of visual simulation technique. The numerous benefits sought from utilization of visual simulation at input analysis, model verification, model validation and output analysis stages of a simulation project were scrutinized. The applicability of visual simulation technique to discrete, continuous and hybrid types of industrial systems was deeply investigated. Discrete production system simulation application model was executed in a company producing gas valves. According to the bill of materials of a cooker valve, simulation models were constructed and analyzed including each individual components aiming to maximize the daily production capacity of the final assembly line. Proposals regarding the augmentation of resource productivity were also stated in the content of the study. The systems that comprises not only discrete event variables but also continuously changing variables can be named as hybrid systems. The hybrid system simulation model constructed in the application stage deals with a continuous hot rolling metal sheet production process. Operational policies aiming the maximization of daily coil production and the utilization of the industrial furnace process were tested. Finally, the effects of an infectious disease on population dynamics were examined as a continuous system simulation application.

Key Words: Visual simulation, discrete system simulation, continuous system simulation, hybrid system simulation, arena.

1. GİRİŞ

Günümüzde rekabette başarılı olmanın yolu bilgiye dayalı karar verme ve hızlı uygulamadan geçmektedir. Yanlış veya yavaş verilen kararlar şirketlere çok büyük maliyetler yükleyebilmektedir. Üretim ve hizmet işletmelerinde gittikçe karmaşılaşan stratejik, taktik ve operasyonel kararların doğru ve zamanında alınması ihtimalini yükseltebilecek araçlar gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Günümüzde, yönetim son derece güç bir işlev haline gelmiş bulunmaktadır. Bunun önemli nedenlerinden birisi de örgütlerdeki ve fiziksel sistemlerdeki öğelerin sayısı ve bu öğeler arasındaki etkileşimin yoğunluğudur. Sistem içerisindeki öğelerin sayısı ve bu öğeler arasındaki etkileşimin yoğunluğu attıkça, belirsizlik ve rassallık gibi faktörler ön plana çıktıkça sistem performansının geliştirilmesinde geleneksel sistem analizi yöntemlerinin yerine simülasyon tekniğine başvurulur.

Simülasyon, gerçek sistemin modelinin tasarlanması ve bu model ile, sistemin işletilmesi amacına yönelik olarak, sistemin davranışlarını anlayabilmek veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi süreci olarak tanımlanabilir.

Her geçen gün daha fazla önem kazanan ve uygulama alanı genişleyen simülasyon, endüstri mühendislerinin sistem analizi konusunda sahip oldukları en güçlü araçlardan bir tanesi durumundadır. Geleneksel tasarım ve analitik metotların, karmaşık sistemlerdeki bileşenler arası yoğun ilişkilerin incelenmesi konusundaki yetersizliğinin kabul edildiği günümüzde bu sistemlerin faaliyete geçirilmesinden önce veya faaliyetleri sırasında gerekli dinamik analizlerin yapılabilmesi amacıyla simülasyonun kullanılması organizasyonlar arasında hızla kabul görmektedir. Gerek üretim gerekse de hizmet sektöründe karşılaşılan matematiksel olarak modellemenin mümkün olmadığı, mümkün olsa bile çok fazla zaman aldığı ve maliyetli olduğu durumlarda sistem modellenmesi ve analizi simülasyon tekniği kullanılarak etkili bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Kolaylıkla anlaşılabilir basit yapısı sayesinde, yönetici ve müşterilere anlatılmasının diğer analitik modellere göre daha basit olması, modeller kurulurken gerçek sisteme daha sadık kalınması, rassal davranışların dikkate alınması ve analitik modellere göre daha az basitleştirici kabullenmeler yapılması simülasyon modellerini analitik modellere göre daha gerçekçi ve güvenilir kılmaktadır. Bu büyük gücü ve esnekliği sayesinde simülasyon her tür yöneylem araştırması uygulamalarında tercih sebebi olmakta üretim sistemlerinden, bilgisayar sistemlerine, biyolojik araştırmalardan, ekonometrik modellere, ekolojik araştırmalardan,

sosyal sistem analizlerine kadar hemen hemen her tür sistemin modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yöneticiler, sistem simülasyonunu kullanarak, mevcut sistem şartları üzerinde yenilikçi kararlar alabilirler ve böylece, gerçek bir alternatif işlemi içeren kararı yürürlüğe koymadan önce, onun etkinliğinin ne olacağını önceden görebilirler.

Simülasyon kullanılarak, önce değişik koşullar ya da değişik kararlar karşısında sistemin davranışı görülmekte, daha sonra simülasyondan elde edilen bu bilgi ışığında sistemin tasarımı veya en uygun yönetim kararının seçimi mümkün olmaktadır. Ayrıca simülasyon yardımıyla yapısal değişiklikler karşısında sistemin tepkisini de değerlendirmek mümkün olmaktadır.

Simülasyon tekniğinin üretim yönetimi alanında kullanım yerlerinden bazıları şu şekilde sıralanabilir: Bir mal veya hizmet üretimine başlanırken üretim sürecinin tasarımı aşamasındaki iş gücü büyüklüğünün belirlenmesi, fabrika yer seçimi, fabrika yerleştirme, makine kapasitesi seçimi ve hizmet birimlerinin sayısının belirlenmesi, atölye tipi üretim süreçlerinde iş programlarının hazırlanması, tamir-bakım programlarının hazırlanması, tamir-bakım ekiplerinin büyüklüklerinin belirlenmesi, üretim parti büyüklüklerinin belirlenmesi, talep tahmini, kapasite seçimi, kuruluş yeri seçimi, fabrika yerleştirme, üretim plânlaması, stok denetimi.

Simülasyon, yöneticilere gelecekteki beklenen sonuçları görme olanağı sağlamaktaysa da, en iyi sonucu vereceği ve elde edilen sonuçların ileride aynen ortaya çıkacağı garantisi yoktur. Ayrıca, simülasyon tekniğinden yararlı sonuçlar elde edilmesi için birtakım ön koşulların sağlanması gerekir. Bunlar, önemli tüm değişkenlerin modellenmesi, modelin, bu değişkenler arasındaki etki tepki ilişkilerini doğru bir şekilde yansıtması ve girdi olarak kullanılan verilerin gerçek verileri temsil eder nitelikte olmasıdır.

Gerçek sistemlerin simülasyonel olarak modellenmesinde görsellik ve bilgisayar animasyonlarının önemi ise giderek artmaktadır. Animasyonlarla beraber bir sistemin modellenen operasyonları hareket eden resimlerle temsil edilebilmekte, kuyruklarda meydana gelen beklemeler, istasyonlar arasında hareketler, mevcut kaynakların kullanımı gibi olaylar gözlemlenebilmekte ve bu sayede istatistiksel çıktıların incelenmesi ile elde edilemeyecek olan sistem davranışlarına ait önemli bilgilere ulaşılabilir. Gelişen bilgisayar teknolojisi ile paralel olarak önem kazanan görsel simülasyon tekniği ile birlikte simülasyonel modelleme bilgisi olmayan yöneticilerin de karar verme süreçlerine aktif olarak katılmaları sağlanmaktadır.

Görsel öğeler ve bilgisayar animasyonları kullanılarak geliştirilen modeller, simülasyon koşumu sırasında dinamik sistem davranışlarının incelenmesine olanak sağlamakla birlikte, sistem performansında yapılabilecek iyileştirme ve önerilerin üst yönetime raporlanmasında da büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Bir simülasyon projesinin en önemli aşamalarından birisi de modelin doğrulanması ve geçerliliğinin kanıtlanması safhasıdır. Görsel simülasyon tekniği ile gerçek sistem davranış anlık olarak izlenebildiğinden modellemeden kaynaklanan hataların belirlenmesi ve elimine edilmesi kolaylaşmakta, sonuç olarak simülasyon projesinin başarı şansı arttırılmaktadır.

Proses temelli simülasyonel modelleme araçları çeşitli gerçek hayat senaryolarında sıklıkla karşılaşılan prosesleri temsil etmek üzere daha önceden yazılmış ve hazırlanmış program modülleri sağlarlar. Bu sayede sistem analizcisinin sıkça tekrar eden bu prosesleri farklı simülasyon projelerinde tekrar tekrar yazması engellenmiş olmakta, böylelikle modelleme çalışması kolaylaştırılmakta ve simülasyonel programlama işi hazır modülleri uygun olarak seçme, mantıksal bir şekilde bağlama ve ilgili parametrik değerleri belirlemeye indirgenmektedir.

Yöneylem araştırması konusu kapsamında üretim ve hizmet işletmelerinin performansının iyileştirilmesinde başvuru alan lineer programlama, transport model, dinamik programlama, tamsayılı programlama, nonlinear programlama gibi pek çok teknik mevcuttur. Yöneylem araştırması tekniklerinden bir çoğu analitik yöntemlere ve matematiksel algoritmalara dayanmaktadır. Teorik anlamda oldukça etkili sonuçlar üreten matematiksel modellerin gerçek hayat problemlerine uygulanmasında genellikle problemler yaşanmaktadır. Çünkü, matematiksel modeller deterministik bazlı olarak çalışırlar, bu nedenle gerçek sistem dinamiğindeki değişkenliği ve rassallığı temsil etmekte çoğu zaman yetersiz kalmaktadırlar. Analitik tekniklerin her biri farklı matematiksel algoritmalara dayanmaktadır. Algoritmaların öğrenilmesi ve karşılaşılan gerçek hayat problemlerine uygulanmasında yaşanan zorluklar pek çok endüstri mühendisinin ortak sorunu olmaktadır.

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerleme ile birlikte günümüzde görsel simülasyon yazılımları her türlü üretim ve hizmet işletmesinde karşılaşılabilecek problemlerin modellenmesi ve analiz edilmesinde endüstri mühendislerine büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Görsel simülasyon tekniğinin analizciye sağladığı en önemli avantajlardan bir tanesi esneklik bir diğeri de öğrenim kolaylığıdır. Bilgisayar destekli simülasyon tekniği, üretim rotalarının belirlenmesinden, montaj hatlarının dengelenmesine, kapasite planlamasından, üretim

izelgelenmesine, fabrika yerleşim planlamasından, envanter yönetimine kadar pek çok farklı alanda uygulama imkanı sağlamaktadır.

Bu tez kapsamında, Arena 5.0 simülasyon programı kullanılarak kesikli, sürekli ve melez sistemlerin modellenmesi ve analizinde görsel simülasyon tekniğinin uygulanması incelenmiştir. Sürekli ve melez sistemlerdeki sürekli değişimleri temsil eden diferansiyel denklemler Visual Basic programlama dili kullanılarak modellenmiş ve Arena 5.0 kullanılarak hazırlanan modellere entegre edilmiştir. Uygulama bölümünde her bir sistem tipi için görsel simülasyon modelleri oluşturulmuş, analiz edilmiş ve sistem performansını iyileştirme yönündeki tavsiyeler sunulmuştur.



2. SİMÜLASYON

2.1 Simülasyonun Tanımı

Oxford Amerikan Sözlüğü'nde simülasyon, model vasıtasıyla bir durumun ya da koşulun yeniden sağlanarak incelenmesi ve test edilmesi faaliyeti olarak tanımlanmaktadır.

Simülasyon gerçek sistemin modelinin tasarlanması ve bu model ile sistemin işletilmesi amacına yönelik olarak, sistemin davranışını anlayabilmek veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi sürecidir (Shannon ve Robert, 1975).

Bu bağlamda simülasyon, sistem performansını değerlendirmek ve geliştirmek amacıyla bir bilgisayar modeli kullanarak dinamik sistemlerin davranışlarını taklit edecek bir yapının oluşturulması işlemi olarak ifade edilebilir. Modelin davranışları üzerinde çalışarak gerçek sistemin davranışları ile ilgili çıkarımlarda bulunmak mümkün olmaktadır (Erkut, 2000).

2.2 Simülasyonun Amacı

Alternatifler arasından en iyi kararın seçilmesinin kolay olmadığı durumlarda, karar verme prosesini şansa bırakmamak için kullanılan temel sistem analizi tekniklerinden birisi de simülasyondur. Simülasyon günümüzde, pahalı, zaman gerektiren, tahribatlı ve geleneksel deneme yanılma tekniklerinin önüne geçmiştir.

Günümüzde işletmeler arasında yaşanan zaman bazlı rekabette, karar verme süreçlerinde geleneksel deneme yanılma metotlarının kullanılması artık geçerliliğini yitirmiştir. Üretim sistemlerinin tasarımı aşamasında deneme-yanılma metotlarının kullanılmasının sakıncaları şu şekilde özetlenebilir:

Üretim sistemlerinin performansının geliştirilmesinde deneme-yanılma yoluyla öğrenim tekniğinin kullanılması, günümüzde sistemi etkileyen çevresel faktörlerin öğrenme sürecinden daha hızlı bir şekilde değişmesi nedeniyle artık geçerliliğini kaybetmiştir. Sebep-sonuç ilişkilerinin daha iyi öğrenilmesinde tahmine ve öngörüne dayalı metodolojilerin seçilmesi günümüzde önem kazanmaktadır.

Simülasyon tekniğinin gücü işte bu noktada bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Simülasyon yolu ile kompleks sistemlerin bile performanslarının doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve model üzerinde öngörüne dayalı teknik analizlerin yapılabilmesi mümkündür. Günümüzün rekabetçi piyasalarında ön plana çıkan toplam kalite gerçeği ile “ilk seferde doğruyu yapma” arayışı profesyonelleri simülasyon teknolojisini kullanmaya yöneltmiştir.

Sistem gerçekte faaliyete geçirilmeden ya da işletme politikaları uygulamaya konulmadan önce sistemin bir bilgisayar modelinin oluşturulması ile, karşılaşılabilecek olan potansiyel engellerin ve problemlerin analiz edilmesi ve ortadan kaldırılması mümkün olmaktadır. Geleneksel deneme-yanılma yöntemleri uygulanarak büyük maliyetler oluşturacak ve sonuçlarına ancak aylar hatta yıllar sonra ulaşılabilen politikaların simülasyon metodolojisi kullanılarak birkaç saat ya da birkaç haftada analiz edilerek değerlendirilmesi mümkündür. Gerçek çalışma periyodu içerisinde saatlerle ya da haftalarla ifade edilen faaliyetler simülasyon modeli içerisinde saniyelerle ya da dakikalarla modellenenbilmektedir.

Simülasyonu, bu kadar güçlü bir planlama ve karar verme tekniği kılan özellikler şöyle özetlenebilir:

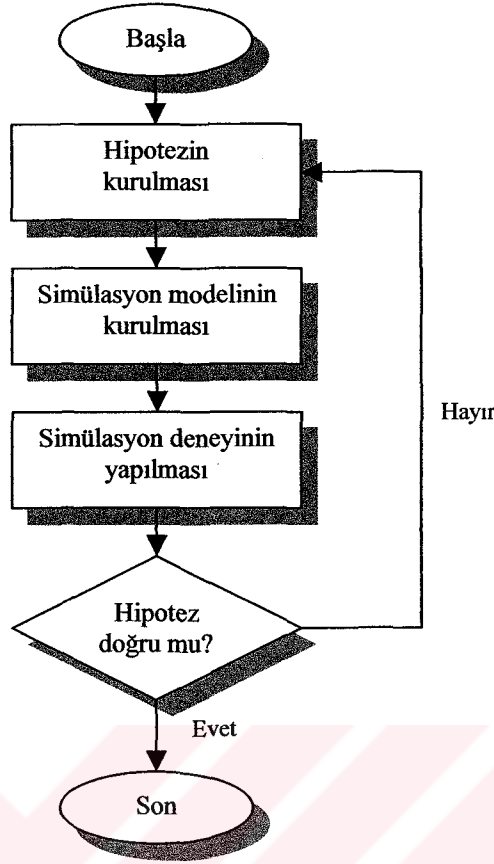
- Sistem öğeleri arasındaki bağıntıyı ortaya çıkartır,
- Sistem üzerinde kontrollü deneyler yapma imkanı sağlayarak, değişen koşullar altında sistemin sergileyeceği davranışın test edilmesine olanak tanır,
- Gerçek sistem üzerinde deney yapmaya göre daha az masraflıdır, daha az zaman gerektirir ve daha az hasar oluşturur,
- Pek çok performans kriteri ile ilgili bilgiler sunar,
- Gerçekte var olmayan tasarım modellerinin ve yatırım politikalarının değerlendirilmesine imkan sağlar,
- Analitik teknikler kullanılarak modellenmesi mümkün olmayan, stokastik değişim gösteren bileşenler içeren karmaşık yapıya sahip gerçek sistemlerin modellenmesine ve analizine olanak sağlar,
- Matematiksel modellere kıyasla anlaşılması ve sunulması daha kolaydır,
- Gerçek sistem üzerinde denendiğinde sonuçları ancak aylar ya da yıllar sonra alınabilecek politikalar simülasyon ile çok kısa sürede analiz edilebilir,
- Görsel olarak dikkat çekicidir,
- Sistem üzerinde pek çok faktörün etkisi aynı anda ve etkileşimli olarak incelenebilir,
- Kullanıcı simülasyonu istenen zamanda durdurup yeniden başlatabildiğinden deney koşulları üzerinde tam bir kontrole sahiptir, oysa gerçek sistemlerin içinde çalıştığı saat geriye alınamaz, durdurulamaz,
- Zaman bazında sistemdeki değişimleri gözlemlememiz mümkündür,
- Simülasyon etkili bir eğitim aracıdır.

Simülasyon, ögeler arası bağımlılık ve değişimleri göz önünde bulundurarak, sistemlerin kompleks dinamiklerinin incelenmesinde diğer analiz tekniklerinden elde edilmesi pek mümkün olmayan çözümler sunar. Simülasyon tekniği sistem planlamacılarına sınırsız bir esneklik sağlayarak sistemlerin geliştirilmesi için her türlü alternatif politikanın risksiz ve maliyetsiz bir şekilde, zaman harcamadan ve gerçek sisteme zarar vermeden test edilebilmesine imkan sağlar. Ayrıca, her bir simülasyon koşumu sonucunda performans istatistiklerinin sayısal ve görsel olarak değerlendirilebilmesi mümkündür (Harrell vd., 2000).

2.3 Simülasyonun Mantıksal Yapısı

Simülasyon genellikle sistem tasarımı ya da proses geliştirme faaliyetlerinin bir parçası olarak değerlendirilir. Tasarımda ortaya çıkan problemlerin ya da proste yapılmaması düşünülen geliştirme faaliyetlerinin belirlenmesinde, alternatif çözümlerin üretilmesinde ve alternatiflerin değerlendirilerek en uygun olanının seçilmesinde simülasyon tekniği kullanımının yeri büyüktür. Bir simülasyon çalışmasında ilk olarak ele alınan sistemi için alternatif bir çözüm yönteminin geliştirilebilmesi için temsili bir modeli oluşturulur. Oluşturulan bu simülasyon modeli ilgilenilen zaman periyodu boyunca bir çok defa çalıştırılır, kapasite kullanım yüzdeleri, proses süreleri, ortalama kuyruk uzunlukları gibi pek çok performans kriterine ilişkin veriler derlenerek simülasyon sonucunda raporlanır. Genellikle pek çok koşul için simülasyon modeli çalıştırılarak koşumlar arasındaki ortalama ve varyans değerleri hesaplanarak modelin istatistiksel performansı değerlendirilir. En iyi sonuç veren çözüm politikasının seçilebilmesi için modelleme, simülasyon ve analiz aşamalarından oluşan bu iteratif prosesin bir çok kez tekrarlanması gerekir.

Simülasyon çalışması, bilimsel bir prosedürü takip eden bir dizi adımdan meydana gelir. (1) Hipotezin kurulması, (2) Deneyin yapılması, (3) Hipotezin test edilmesi, (4) Hipotezin geçerliliği ile ilgili sonuçların değerlendirilmesi. Simülasyonda hipotez kurulurken, hangi tasarımın ya da işletme politikasının en iyi çalışacağı göz önünde bulundurulur. Daha sonra kurulan hipotez simülasyon modeli vasıtasıyla test edilir. Model bir çok defa çalıştırılarak simülasyon deneyi tekrarlanır. Sonuç olarak simülasyon deneylerinden elde edilen çıktılar değerlendirilerek başlangıçta kurulan hipotezin geçerliliği karara bağlanır. Eğer hipotez doğrulanmışsa tasarımda ya da işletme politikalarında düşünülen değişiklikler gerçek sistem üzerinde de uygulanarak hayata geçirilebilir. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar tatmin edici olana kadar bu proses tekrarlanır (Harrell vd., 2000).



Şekil 2.1 Simülasyon deney prosesi (Harrell vd., 2000)

Buraya kadar olan kısımda da belirtildiği gibi simülasyon bir çözüm tekniği değil bir değerlendirme yöntemidir. Simülasyon, incelenen sistemin nasıl tasarlanması gerektiğini değil, modellenen sistemin nasıl davrandığını ortaya koyar. Simülasyon sonuçlarından yararlanarak sistemin nasıl tasarlanması gerektiğine dair çıkarımlarda bulunmak ve alternatif politikalar geliştirmek analizcinin görevidir. Simülasyon sadece analizciye tüm bu imkanları sağlar. Simülasyon bir sistemin kompleks dinamiğini anlamamızı sağlayan bir sistematik düşünce yöntemidir (Kljajic vd., 2000).

2.4 Simülasyonun Kullanıldığı Alanlar

Simülasyonun ticari uygulamalarda kullanılmaya başlanması 1960'lara dayanır. İlk modeller Fortran dili kullanılarak programlanmış olup binlerce komut satırından meydana gelmekteydi. Bu dönemde model yazma süreci hem oldukça zordu hem de modellerin doğru bir şekilde çalışabilmesi için programdaki hataların ayıklanması uzunca bir süre almaktaydı. Oluşturulan modeller esnek değildi. Modeller bir defa kurulduktan sonra üzerlerinde değişiklik yapmak oldukça uzun zaman almaktaydı. Modellerin düşük esneklikte olması analiz sürecini oldukça

olumsuz yönde etkilemekteydi. Ayrıca, o dönemin bilgisayar teknolojisi göz önünde bulundurulduğunda, bir modelin simülasyon koşumunun yapılması için büyük çaplı bilgisayarlarda bile çok uzun sürelerle ihtiyaç duyulmaktaydı.

Simülasyon özellikle son 10-15 yılda üretim ve servis endüstrilerinde bir karar verme aracı olarak büyük popülerite kazandı. Artık, günümüzde simülasyon pek çok işletme için, yeni bir tesis kurulması tasarlandığında ya da proseste bir değişiklik yapılması düşünüldüğünde başvurulması gereken temel bir kaynak olmuştur.

Bilgisayar simülasyonuna duyulan ilginin giderek artmasının altında yatan faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Simülasyon teknolojisinin bilinirliğindeki ve anlaşılabilirliğindeki artış,
- Simülasyon yazılımlarının yetenekleri, kolay bulunabilirliği ve kullanım kolaylığı,
- Kişisel bilgisayarların hafızalarında ve işlem hızlarındaki gelişim,
- Bilgisayar yazılım ve donanım maliyetlerinde azalma.

Simülasyon yakın bir geçmişe kadar alternatif teknikler arasında en son baş vurulması düşünülen ve sadece uzman kişilerin kullanabildiği bir kaynak olarak görülmekte iken günümüzde bilgisayar donanım ve yazılım teknolojisinde yaşanan hızlı gelişme ile birlikte yöneticilerin ve planlamacılar için karar destek sistemleri arasında hak ettiği konuma yükselmiştir. Bir çözüm tekniğinin kullanımı eğer problemin kendisinden de büyük bir sıkıntıya ya da külfete neden oluyorsa o çözüm tekniğinin kullanılması beklenemez. Basitleştirilmiş veri giriş tabloları, otomatik raporlama ve grafik arabirimleri sayesinde simülasyon programlarının kullanımı gittikçe kolaylaşmakta ve yaygın bir hal almaktadır.

Simülasyonun en başta gelen kullanım alanlarından birisi şüphesiz üretim sistemleridir. Depolama ve dağıtım sistemlerini de içerecek şekilde üretim sistemleri, öğeler arası ilişkileri formal prosedürlerle belirlenmiş olup simülasyon modellemesi için çok uygundur. Ayrıca, üretim sistemleri, sermaye yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve analiz amaçlı olarak sistemde yapılacak değişimlerin büyük etkilere yol açabileceği düşünüldüğünde simülasyonun en uygun analiz tekniklerinden birisi olduğu bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Sipariş, faturalandırma ve müşteri desteği gibi alanlarda da yapılan standartlaştırma çalışmaları ile simülasyonun kullanım alanları genişlemektedir (Kelton vd., 2002).

Her ne kadar simülasyonun temel çıkış noktası karar proseslerine destek olmak için olsa da günümüzde simülasyon bir karar almayı gerektirmeyen durumlar için de rahatlıkla kullanılmaktadır. Bu tip kullanıma örnek olarak iletişim ve göz önünde canlandırma ile ilgili

uygulamalar sayılabilir. Modern simülasyon yazılımları ile birlikte geliştirilen görsel animasyon teknikleri ile birlikte karmaşık sistem dinamiklerinin ve davranışlarının model üzerinden etkili bir şekilde gözlenmesi mümkün olmaktadır. Yeni bir sistem için geliştirilen bir tasarımın nasıl çalıştığı animasyonlar yolu ile karar verici mekanizmaya gösterilerek kanıtlanırsa önerilen tasarımın hem inandırıcılığı hem de anlaşılabilirliği artacaktır. Simülasyon ile model kurma prosesi belli bir uzmanlık gerektirmektedir. Simülasyon ve modelleme konusunda bilgi sahibi olmayıp da güzel fikirleri ile sistemin geliştirilmesine katkıda bulunabilecek kişilerin karar mekanizmasına katılmaları gelişmiş animasyon teknikleri ile daha da kolay olmaktadır.

Simülasyonun bir diğer kullanım alanı ise eğitimidir. Günümüzde rekabette başarılı olmanın yolu bilgiye dayalı karar verme ve hızlı uygulamadan geçmektedir. Yanlış veya yavaş kararlar şirketlere çok büyük maliyetler yükleyebilmektedir. Gittikçe karmaşılaşan bir ortamda stratejik kararların doğru alınma ihtimalini yükseltebilecek araçlar daha sık kullanılmaktadır. Stratejik hata maliyeti şirketleri batmaya sürükleyebilecek kadar yüksek olabilir. Simülasyon modellerinin bir başka faydası da bu maliyetlere katlanmaksızın üst yönetimin değişik alternatifleri değerlendirmesine fırsat sağlamasıdır (Erkut, 1992).

Ürün evrim sürelerinin gittikçe kısaldığı bir dönemde stratejik kararların hızı da gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Piyasada birkaç dönemi yaşayarak elde edilecek bilgiler simülasyon modelleri ile birkaç saat veya günde öğrenilebilmektedir. Belirlenen bir stratejinin rakiplerin olası uygulamaları karşısındaki tutarlılığının test edilmesi için de simülasyon yaygın olarak kullanılmaktadır. Böylelikle risk profili daha düşük stratejilerin geliştirilmesine imkan sağlanabilir.

Simülasyon, yöneticilerin verdikleri kararların şirketin iş sonuçları ve değeri üzerindeki etkilerini daha net bir şekilde algılamalarına da yardımcı olmaktadır. Model bir kez kurulduktan sonra şirketin değişik bölümlerinde çalışanların da kendi konularıyla ilgili verdikleri kararların işin diğer bölümlerine ve sonuçlara nasıl yansıdığı konusunda eğitilmeleri kolaylaşmaktadır. Böylelikle şirkette karar alma sürecinin kalitesi iyileştirilmiş olmaktadır. Belki de en önemlisi, simülasyon modelleri ile yapılan çalışmaların yöneticileri rakiplerin bakış açısı ile bakmaya zorlamasıdır. Rakiplerini daha iyi tanıyan yöneticilerin onların stratejik hareketlerini daha hızlı ve daha iyi değerlendirme imkanı da artmaktadır. Bir karar destek sistemi olarak simülasyon, gerek üretim gerekse servis sistemlerinde planların hazırlanmasında ve proses iyileştirmelerinin yapılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Harrell vd., 2000).

Simülasyon için tipik uygulama alanlarından bazıları şunlardır:

- İş akışının planlanması,
- Kapasite planlanması,
- Çevrim zamanının azaltılması,
- Personel ve işçi planlaması,
- İş önceliklendirilmesi,
- Darboğaz analizi,
- Kalite iyileştirmeleri,
- Maliyetlerin azaltılması,
- Envanter azaltılması,
- Çıktı analizi,
- Verimlilik iyileştirmeleri,
- Yerleşim planı analizi,
- Optimal parti büyüklüklerinin hesaplanması,
- Üretim çizelgeleme,
- Kaynak çizelgeleme,
- Bakım çizelgelemesi,
- Kontrol sistemlerinin tasarımı.

2.5 Simülasyon Tekniğinin Uygun Olduğu Durumlar

Simülasyon her türlü sistem probleminin çözümünde uygulanacak bir yöntemdir demek oldukça iddialı bir yaklaşımdır. Yine de karşılaşılan problemlerin büyük bir çoğunluğu simülasyon tekniği kullanılarak çözüme kavuşturulabilir. Burada önemli olan doğru kapılar için doğru anahtarların seçilmesidir. Yani pek çok metodoloji kullanılarak bir sistem problemi çözülebilir ama asıl önemlisi en düşük maliyetli, en iyi çözümü en kısa sürede sunan en etkili alternatif metodolojiyi seçmektir. Bazı tip problemlerin çözümünde simülasyon tekniğine başvurmak, tabanca kullanarak sineği öldürmeye çalışmak gibi yersiz olabilir.

Simülasyon tekniğinin de kendi için de pek çok kısıtlamaları mevcuttur. Analizcinin tüm bu faktörleri göz önünde bulundurarak uygun analiz tekniğini seçmesi gerekir. Simülasyon her derde deva bir ilaç olarak görülmemelidir. Genel olarak aşağıdaki koşullar sağlandığında, sistem problemlerinin çözümünde simülasyona başvurmak mantıklı olacaktır:

- Faaliyetler ile ilgili mantıksal ve kantitatif kararların verilmesi gerekli olduğunda,
- Analiz edilecek olan proses ayrıntılı bir biçimde tanımlanmış olduğunda,
- Analiz edilecek olan sistem tekrarlanan proseslerden meydana geldiğinde,
- Faaliyetler ve olaylar birbirlerini etkilediğinde ve zamanla değişim gösterdiğinde,
- Kararın sonucunda elde edilecek getiri simülasyon projesini yürütmenin maliyetinden fazla olduğunda,
- Gerçek sistem üzerinde deney yapma maliyeti simülasyon projesinin maliyetinden fazla olduğunda.

Simülasyon ile çalışabilmek için incelenmesi düşünülen proseslerin birbirini takip eden ve tekrarlanan adımlardan meydana gelmesi gerekir. Simülasyon ile incelenen sistemin iyi bir şekilde tanımlanmış olması gerekir. Simülasyon ancak tekrarlı ve iyi tanımlanmış sistemlerin modellenmesinde başarılı olabilir. Eğer proses mantıksal bir sıra takip etmiyorsa ve faaliyetler önceden belirlenmiş olan kurallar çerçevesinde meydana gelmiyorsa sistemin modellenmesi de zor olacaktır. Simülasyon ancak ve ancak ele alınan prosesin ne şekilde çalıştığı tanımlanabiliyorsa yapılabilir. Bu sistemde hiçbir belirsizlik olmamalı anlamına gelmemektedir. Eğer sistemin içerdiği rassal davranışlar olasılık dağılımları kullanılarak ifade edilebiliyorsa simülasyonun yapılabilmesi mümkündür. Eğer sistem tekrarlı bir yapıya sahip değilse ve modeli kurulan senaryo aynı şekilde bir kez daha gerçekleşmeyecekse bu durumda simülasyonun uygun bir analiz tekniği olduğunu düşünmek yanlış olacaktır.

Simülasyon ile incelenecek sistemin faaliyetleri ve öğeleri arasında etkileşim, bağımlılık ve değişkenlik olmadır. Eğer sistemi meydana getiren faaliyetler arasında bir bağımlılık yoksa, faaliyetler birbirlerini etkilemeyecek şekilde deterministik bir yapıdaysa ve sistemde bir değişiklik meydana gelmiyorsa simülasyon kullanımı mantıksız olacaktır. Sistemin modellenmesini zorlaştıran faktörler içerdiği faaliyetlerin sayısındaki fazlalık değil bu faaliyetlerin arasındaki bağımlılık ve etkileşim biçimidir. Eğer faaliyetlerde bir değişim gözlenmiyorsa bazı basit faaliyetler arası bağıllığın çözülmesi ve modellenmesi kolay olmaktadır (Grabau ve Sadowski, 2000).

Kararın sonucunda elde edilecek getiri simülasyon projesini yürütmenin maliyetinden fazla olduğunda simülasyon tekniğinin kullanımı makul olacaktır. Bazen alınacak kararın etkisi ya da getirisi simülasyon projesi için harcanan zaman ve paradan daha az olabilir. Böyle durumlarda alternatif karar destek sistemlerinin değerlendirilmesi daha uygun olacaktır.

Gerçek sistem üzerinde deney yapma maliyeti simülasyon projesinin maliyetinden fazla olduğu durumlarda simülasyon tekniğinin kullanılması bir zorunluluktur. Her ne kadar simülasyon kullanıldığında gerçek sistem üzerinde deney yapmanın getirdiği zaman kayıpları ve maliyetler elimine edilmiş olsa da bazı durumlarda deneylerin gerçek sistem üzerinde yapılması daha hızlı ve daha ekonomik olacaktır. Eğer gerçek sistem üzerinde deney yapmak daha az zaman ve maliyet gerektirecekse ve sistemde herhangi bir önemli aksaklığa neden olmayacaksa simülasyon tekniği kullanmak mantıksız olacaktır. Ayrıca gerçek sistem üzerinde deney yapmak ile simülasyon çalışmasıyla ortaya çıkacak modelin geçerliliğinin kanıtlanması gibi bir takım engeller de ortadan kalkmış olacaktır.

2.6 Simülasyon Yapabilmek İçin Gerekli Yetkinlik Kriterleri

Pek çok kişi kendisini yeterince yetkin hissetmediği için simülasyon tekniğini uygulamaktan çekinmektedir. Elbette, simülasyon tekniğini kullanabilmek belli bir temel eğitim almayı gerektirir fakat bu simülasyon sadece yöneylem araştırması uzmanları ya da istatistikçilere yöneliktir demek değildir. Karar destek teknikleri sistemin işleyişini ve faaliyetler arası etkileşimi tüm yönleriyle tanıyan proses sahiplerinin ya da yöneticilerin ellerinde daha etkili çözümler üretmektedir. Çünkü incelenen sistemi tüm yönleriyle tanıyan yönetici model kurulması safhasında hangi faaliyetlerin ne şekilde modellenmesi gerektiğini çok daha iyi bir şekilde algılayabilmekte ve probleme alternatif çözüm yolları önerebilmektedir. Bu da simülasyon projesinin etkinliğini oldukça arttırmaktadır. Simülasyondan beklenen faydayı sağlayabilmek için aşağıda belirtilen bazı alanlarda belli bir ölçüde bilgi sahibi olmak gerekmektedir:

- Proje yönetimi,
- İletişim,
- Sistem mühendisliği,
- İstatistiksel analiz ve deney tasarımı,
- Modelleme ilkeleri ve kavramları,
- Temel programlama ve bilgisayar bilgisi,
- Bir ya da daha fazla simülasyon programı üzerinde eğitim,
- İncelenecek olan sistemle ilgili bilgi ve tecrübe.

Yapılan çalışmalar bazı insanların simülasyon tekniğini öğrenmeye diğerlerine göre daha yatkın olduğunu göstermiştir. İyi bir modelleyicide bulunması gereken en önemli özellik, ağaçlar ile tek tek ilgilenirken ormanı bütün olarak görebilme yeteneğidir.

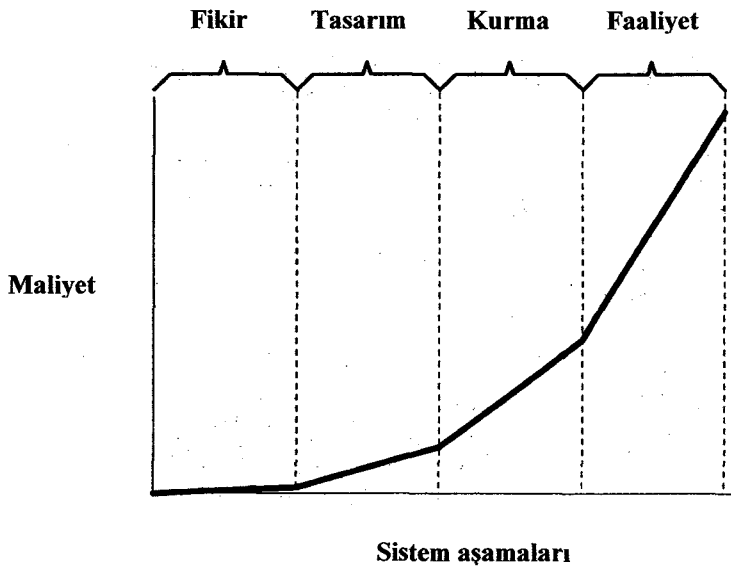
2.7 Simülasyonun Ekonomiklik Açısından İncelenmesi

Yeni bir bilgisayar yazılımının seçilmesinde maliyet her zaman önemli bir faktör olmuştur. Bu gerçek, simülasyon için de geçerlidir. Simülasyon uygulamasının doğuracağı maliyet simülasyondan elde edilecek getiriye aşmadığında simülasyon tekniğinin kullanılmasının herhangi bir mantıklı izahı yoktur. Bu da demektir ki her hangi bir çalışmaya girişmeden önce kazanç ve maliyetlerin ayrıntılı olarak değerlendirilmesi gerekir. Simülasyon ile ilgili yanlış görüşlerden birisi de simülasyonun büyük yatırım maliyetleri ve uzun zaman gerektiren bir karar destek tekniği olduğudur. Bu ön kabul gerçekten uzaktır, çünkü simülasyon uzun dönemli düşünüldüğünde ürettiği katma değer ile maliyetini fazlasıyla karşılamaktadır.

Organizasyonel hedefler ile simülasyon uygulamalarından sağlanan faydalar arasında bir bağlantı kurulduğunda, yöneticilerin karar verme aşamalarında neden simülasyona başvurdıklarını anlamak daha kolay olacaktır. Kendini sürekli gelişim ve iyileştirmeye adanmış olan bir işletmenin tedarik ve hazırlık sürelerinin azaltılmasında katma değer yaratmayan proseslerin elimine edilerek maliyet tasarrufu sağlanmasında etkinliği daha önceden kanıtlanmış olan simülasyon tekniğine yönelmesi bir sürpriz olmamalıdır. Simülasyon son zamanlardaki popülerliğini şirketleri organizasyonel hedeflerine ulaştırmada gösterdiği başarıya borçludur. Şirketler, uygulamadan sağlanacak performans iyileştirmeleri ile organizasyonel hedeflerine daha da yaklaşacaklarına inandıklarında, simülasyon teknolojisine yatırım yapmaktan çekinmeyeceklerdir.

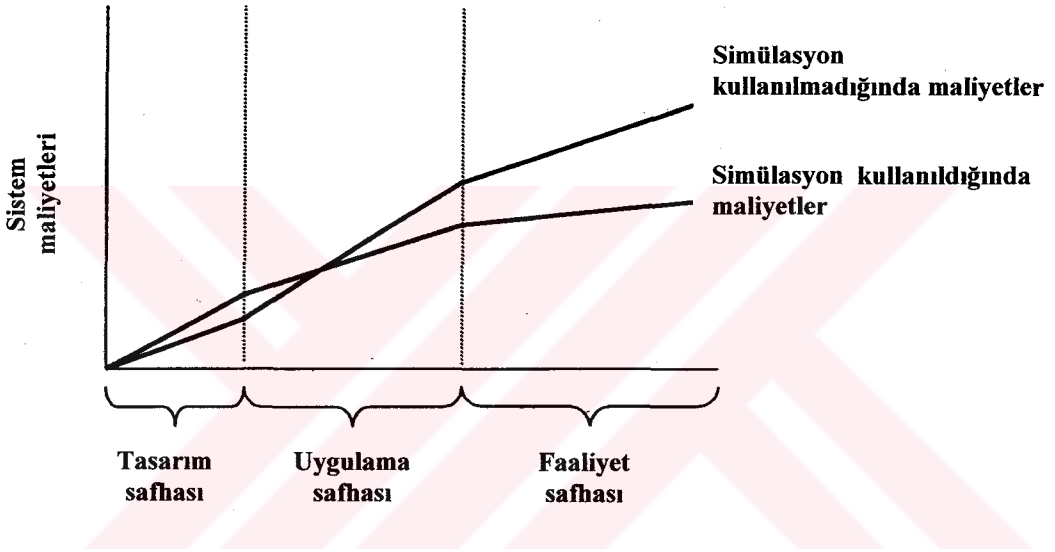
Simülasyonun sağladığı en önemli imkanlardan birisi de sistem tasarımcılarına model üzerinde hata yapma şansı tanınmasıdır. Unutulmaması gerekir ki her hatadan öğrenilmesi gereken bir ders vardır ve asıl önemli olan simülasyon sonucu ortaya çıkan hataların altında yatan sebep-sonuç ilişkilerini anlayarak aynı hataların gerçek sistem üzerinde de tekrarlanmasını önlemektir.

Sistemde ortaya çıkan problemlerin tasarım aşamasından sonraki aşamalarda düzeltilmesinin maliyeti her bir aşamada katlanarak çoğalmaktadır. 10'lar kanununa göre problemin tasarım aşamasından sonraki bir aşamada düzeltilmesinin maliyeti bir önceki aşamaya göre 10 kat fazladır (Harrell vd., 2000).



Şekil 2.2 Sistemi geliştirmek üzere yapılan değişimlerin maliyeti (Harrell vd., 2000)

Aşağıdaki şekil sistem tasarımında simülasyonun kullanıldığı ve kullanılmadığı her iki durum için karşılaştırmalı olarak kümülatif maliyet değerlerini göstermektedir. Şekilden de görülebileceği gibi her ne kadar simülasyon kullanılan durumda ilk tasarım safhasındaki maliyetler yatırım ve eğitim maliyetleri dolayısıyla daha fazla olsa da, uzun dönemde sistem performansında sağlanan artışa bağlı olarak simülasyon kullanılan durumda daha az sermaye yatırımlarına ve operasyon maliyetlerine gerek duyulmaktadır. Sadece etiket fiyatına bakarak simülasyon tekniği uygulamaktan vazgeçme ve uzun dönemde sağladığı imkan ve tasarrufları göz ardı etme yönetim miyopluğundan başka bir şey değildir.



Şekil 2.3 Sistem maliyetlerinin karşılaştırılması (Harrell vd., 2000)

Simülasyon işletme bünyesindeki varlıkların ve kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılmasına imkan sağlayarak prodüktivitede artış sağlar. Simülasyon sayesinde sistemde daha önce göze çarpmayan, darboğazlar, gereksiz fazlalıklar ve verimsizlikler gözle görülür hale getirilir ve elimine edilir. Kaizen felsefesinin mimarlarından Shingo, “asıl önemli olan sistemde israfı (muda) bulmaktır” ve “her şeyden öte, en tehlikeli israf, henüz keşfedilmemiş olan israftır” demektedir.

2.8 Sistem Dinamiği

Başarısız simülasyon projelerinin altında yatan faktörler incelendiğinde başarısızlığın en önemli nedeninin sistem dinamiğinin yeterince iyi algılanamaması olduğu görülür. Sistemin nasıl işlediği anlaşıldığında, sistemden elde edilmesi gereken beklentiler belirlendiğinde ve amaca ulaşmada kat edilmesi gereken kritik başarı noktaları tespit edildiğinde başarı da

beraberinde gelecektir. Yöneticiler pek çok açıdan ellerinden gelenin en iyisini yaparak en doğru kararları vermek isterler. Doğru kararlar vermede anahtar faktör sistemin işleyişinin yeterince iyi anlaşılması, hedeflerin eksiksiz bir şekilde belirlenmesi ve sistem öğeleri arasındaki sebep-sonuç ilişkilerinin çok iyi bir şekilde algılanmasıdır.

Her sistem birbirinden farklı olsa da, temel elemanlar ve ilişkilerin türleri benzerlik göstermektedir. Sistemi meydana getiren öğeler arasındaki etkileşimi bilerek ve tüm sistem performansının nasıl geliştirilebileceğini kestirerek başarılı bir simülasyon uygulamasının önündeki engeller kaldırılabilir.

2.8.1 Sistemin Tanımı

Hedeflenen amaca ulaşmak için, birlikte faaliyet gösteren elemanların bir araya gelmeleriyle oluşturdukları yapıya sistem denir (Blanchard, 1991).

Bu tanımdaki kilit noktalar şunlardır:

- (1) bir sistem çok sayıda elemandan meydana gelir,
- (2) bu elemanlar işbirliği içinde faaliyet gösterirler ve karşılıklı ilişki içindedirler,
- (3) sistemin var olma nedeni spesifik bir hedefe ulaşmaktır.

Günlük hayatımızda pek çok sistemle iç içe yaşarız hatta çoğumuz bu sistemlerin bir parçası olarak faaliyet gösteririz. Trafik sistemi, politik sistemler, ekonomik sistemler, üretim sistemleri ve servis sistemleri sıklıkla karşılaştığımız sistemlere örnek olarak gösterilebilir.

Üretim sistemleri, küçük atölye ve işleme merkezlerinden, büyük üretim tesislerine ve montaj hatlarına kadar çeşitli değişik yapılarda karşımıza çıkabilir. Depolama, dağıtım ve tedarik zinciri sistemleri de üretim sistemleri şemsiyesi altında incelenebilir. Servis sistemleri, sağlık kuruluşlarını, çağrı merkezlerini, eğlence parklarını, toplu taşıma sistemlerini, restoranları, bankaları ve sayamadığımız daha nice örnekleri bünyesinde barındırır. Servis ve üretim sistemlerinin tümü işleme sistemleri olarak adlandırılabilir çünkü bu sistemler çeşitli parçaların bir dizi faaliyeti takip ederek proses edilmesini içerir. Üretim sistemlerinde hammaddeler çeşitli işlemlerden geçerek nihai ürüne dönüştürülürler. Bir bisiklet imalatı yapan üreticiyi düşündüğümüzde, üretici hammadde olarak aldığı boruları uygun ölçülerde kesmekte, kaynak ile birleştirmekte ve boyadıktan sonra bisiklet iskeletini oluşturmaktadır (Harrell vd., 2000).

2.8.2 Sistemin Elemanları

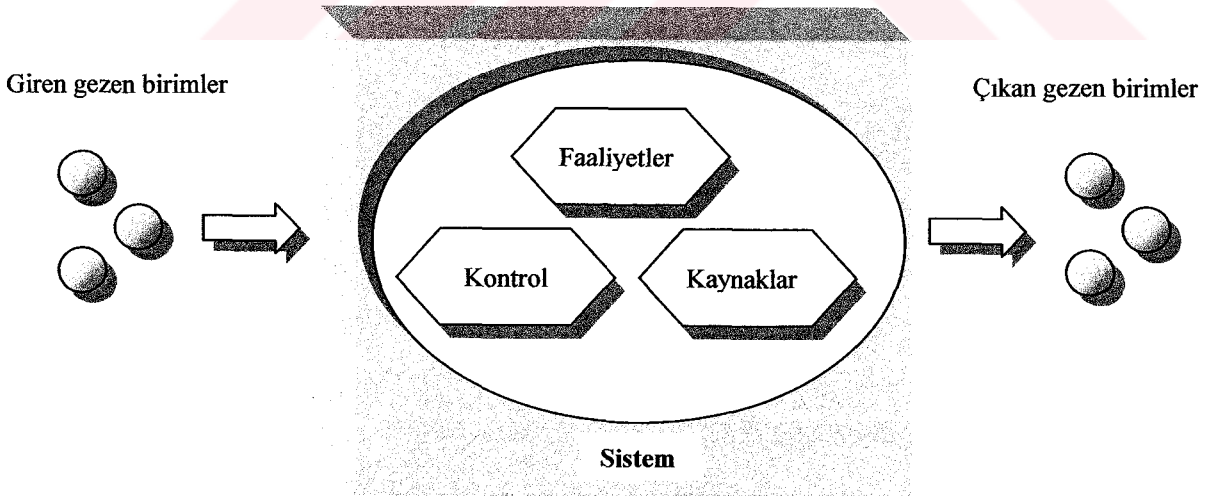
Simülasyon perspektifinden değerlendirildiğinde, sistemin gezen birimler, faaliyetler, kaynaklar ve düzenleyici kontrol birimlerinden meydana geldiği söylenebilir. Bu elemanların her biri, gezen birimlerin işlenmesi süresince kimin, neyi, nerede, ne zaman ve ne şekilde yapması gerektiğini tanımlar. IDEF modelleme dizisi sistemi, girdiler, çıktılar, faaliyetler, dönüştürücü mekanizmalar (kaynaklar) ve düzenleyici kontrol birimlerinden oluşan bir yapı olarak tanımlar.

2.8.2.1 Gezen Birimler

Gezen birimler sistem faaliyeti boyunca işlem gören parçalardır. Ürünler, müşteriler ya da dokümanlar bir sistem içerisindeki gezen birimlere örnek olarak gösterilebilir. Farklı gezen birimler kendilerine özgü, maliyet, şekil, öncelik, kalite ya da durum gibi karakteristiklere sahiptir.

Gezen birimler başlıca üç ana başlık altında toplanabilirler:

- insan ya da diğer canlılar (müşteriler, hastalar, vs.)
- cansızlar (parçalar, dokümanlar, çöp kutuları, vs.)
- elle tutulamayan varlıklar (telefon çağrısı, elektronik posta, vs.)



Şekil 2.4 Simülasyon perspektifinden sistemin elemanları (Harrell vd., 2000)

2.8.2.2 Faaliyetler

Faaliyetler, gezen birimlerin sistem içerisinde direkt yada dolaylı olarak proses edilmesiyle ilgili olan görevlerdir. Bir müşteriye servis yapılması, makinede parçaların kesilmesi ya da bir ekipmanın tamir edilmesi sistem içerisindeki faaliyetlere örnek olarak gösterilebilir. Faaliyetler çoğunlukla zaman ve kaynak tüketilerek gerçekleştirilirler.

Faaliyetler başlıca şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Gezen birimlerin proses edilmesi (kontrol, deney, denetim, imalat, vs.)
- Gezen birimlerin ya da kaynakların hareketi (forkliftlerin hareketi, asansörün kullanılması, vs.)
- Kaynak ile ilgili ayarlamalar, bakım ve tamirler (makine ayarları, fotokopi makinesinin tamiri, vs.)

2.8.2.3 Kaynaklar

Faaliyetlerin gerçekleştirilmesi için kaynakların kullanılmasına ihtiyaç duyulur. Kaynaklar faaliyetlerin yerine getirilmesinde personel ve ekipman için destekleyici ve kolaylaştırıcı bir fonksiyon üstlenirler. Kaynaklar, gezen birimlerin işlenmesine ve değerlendirilmesine fırsat tanırken, yetersizlikleri durumunda faaliyetlerin kesintiye uğramasına ya da kısıtlanmasına neden olurlar. Kaynaklar kapasite, hız, çevrim süresi ve güvenilirlik gibi karakteristiklere sahiptir. Gezen birimlerde olduğu gibi kaynaklar da üç başlık altında sınıflandırılabilir:

- İnsan ya da diğer canlılar (işçiler, doktorlar, bakım personeli vs.)
- Cansızlar (ekipmanlar, aletler, tezgahlar, vs.)
- Elle tutulamayan varlıklar (elektrik enerjisi, bilgi, vs.)

2.8.2.4 Düzenleyici Kontrol Birimleri

Kontrol birimleri faaliyetlerin nasıl, ne zaman ve nerede gerçekleştirileceğini belirtirler. Kontrol birimleri sistem üzerinde düzenleyici bir fonksiyon üstlenirler. En üst hiyerarşide, kontrol birimleri çizelgeler, planlar ve işletme politikaları olarak karşımıza çıkar. Hiyerarşinin en alt basamağında düzenleyici kontrol birimleri yazılı prosedürler, rota kartları ve iş tanımları şeklindedir. Hiyerarşinin her seviyesinde düzenleyici kontrol birimlerinin görevi sistem içerisindeki faaliyetlerin ne şekilde gerçekleştirilmesi gerektiğini belirtecek bilgiyi ve karar mantığını sunmaktır (Blanchard, 1991).

Düzenleyici kontrol birimleri için örnekler aşağıdaki gibidir:

- Rota sırası,
- Üretim planı,
- İş çizelgesi,
- Görev öncelikleri,
- Kontrol yazılımları,
- Eğitim raporları.

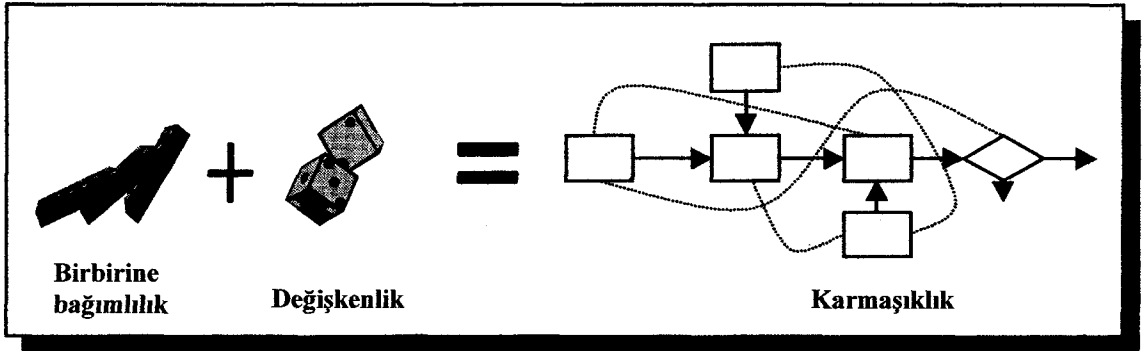
2.8.3 Sistemin Karmaşıklığı

Sistemi meydana getiren elemanlar arasındaki ilişki ve etkileşimin türü yoğunlaştıkça sistem kompleks bir yapıya bürünür. Kompleks kelimesi Latince'deki *complexus* kelimesinden türemiştir ve birbirine geçmiş, bağlantılı anlamına gelmektedir. Ne yazık ki insani sezgiler kompleks sistemlerin davranışlarının anlaşılmasında ve analiz edilmesinde yeterli olmamaktadır. Bir sistemi kompleks yapan ve analizini zorlaştıran en büyük etmen, sistemi meydana getiren gezen birimlerin, faaliyetlerin, kaynakların ve düzenleyici kontrol birimlerinin arasındaki etkileşimdir.

Sistemin karmaşıklığı temel olarak iki faktörden kaynaklanmaktadır.

Bunlar:

- (1) *Birbirine bağımlılık*: Elemanların birbirine bağımlılığı, elemanların birbirlerini etkileyebilme güçleridir.
- (2) *Değişkenlik*: Elemanların davranışlarındaki değişkenlik belirsizliği beraberinde getirmektedir (Erkut, 2000).



Şekil 2.5 Sistem karmaşıklığını meydana getiren faktörler (Harrell vd., 2000)

Bu iki faktör tüm insan yapısı sistemleri etkilemekte, sistem davranışının anlaşılmasını zorlaştırmakta, analizi ve tahmini güçleştirmektedir. Şekil 2.5'den de görüldüğü gibi sistem elemanları arasındaki bağımlılık ve değişkenlik arttığında sistemi çözümlemenin zorluğu da artmaktadır.

2.8.4 Sistemin Performans Kriterleri

Performans kriterleri adından da anlaşılacağı gibi bir sistemin performansının değerlendirilmesinde kullanılan bir ölçüdür. Organizasyonun ya da işletmenin en üst hiyerarşisinde ilgili performans kriterleri, karlar, gelirler, bütçeye göre maliyetler ve yatırımların geri ödeme oranları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tip performans kriterleri sadece finansal tabanlılardır, belirli zaman aralıkları ile düzenlenirler ve ne yazık ki operasyonel performansın detaylı bir şekilde değerlendirilmesinde yeterli değildirler. Operasyonel perspektiften sistem performansının değerlendirilebilmesi için, kalite, miktar, verim ve kapasite kullanımı gibi faktörlerin takip edilmesi gerekir. Yukarıda sayılan operasyonel performans kriterleri, faaliyetlerin anlık olarak sürekli bir şekilde takip edilebilmesine imkan sağlamakla birlikte, kontrol edilebilirler. Üretim ve servis sistemlerinin etkinliğinin ve verimliliğinin değerlendirilmesinde kullanılan temel performans kriterleri aşağıda belirtilmiştir (Law ve Kelton, 2000).

2.8.4.1 Akış Süresi

Bir parçanın veya bir müşterinin işlem görmek yada servis almak üzere sistemde geçirdiği ortalama süreye akış süresi denir. Akış süresi ile aynı anlamda olan bazı diğer ifadeler çevrim süresi ve çıktı zamanıdır. Sipariş tipi üretim yapan veya servis veren işletmelerde siparişin kabulünden prosesin tamamlanmasına kadar geçen süre akış süresi olarak adlandırılabilir. Üretim jargonunda sıklıkla kullanılan bir diğer terim de üretim süresidir. Üretim süresi belirli sayıdaki işin tamamlanması için geçen süre olarak kullanılmaktadır. Akış zamanı prosesi meydana getiren hazırlık, taşıma, imalat ve denetleme gibi faaliyetlerin süresi kısaltılarak düşürülebilir. Akış zamanını azaltmanın bir diğer yöntemi de birim zamanda sistem içerisinde bulunan ortalama gezen birim sayısını ya da işlenmekte olan gezen birim sayısını azaltmaktır. Çevrim süresinin %80'den büyük bir kısmını depolama, kuyrukta bekleme ve tampon stoklama gibi katma değer yaratmayan aktiviteler için harcanan zamanlar meydana getirmektedir. Bu faaliyetlerin ortadan kaldırılması akış süresinin düşürülmesinde en önemli katkıyı sağlayacaktır. Bir başka yöntem de darboğaz oluşturan noktalara yeni kaynakların eklenmesidir fakat bu maliyetli bir çözümdür ve her zaman mümkün olmamaktadır.

2.8.4.2 Yararlanma Yüzdesi

Personelin, ekipmanların, makinelerin ve diğer kaynakların çizelgelenmiş olan zamanının yüzde kaçında üretken kullanımda olduğunun ifadesidir. Eğer bir kaynak üretken kullanımda değilse, bu başlıca üç nedenden kaynaklanmaktadır. Kaynak (1) aylak durumda olabilir, (2) bloke edilmiş olabilir veya (3) bozulmuş olabilir. Kaynaktan yararlanma yüzdesinin artırılması için ya kaynağa olan talep arttırılmalıdır ya da kaynak kapasitesi düşürülmelidir. Kaynaktan yararlanma yüzdesinin artırılması makineler veya işçiler arasındaki iş yükünün dengelenmesi için de yararlı olacaktır. Faaliyet sürelerinin fazla değişim gösterdiği sistemlerde yüksek kaynak kullanım oranlarına ulaşmak daha zordur. Özellikle atölye tipi üretim sistemlerinde düşük kaynak kullanım yüzdeleri görülmektedir. Kaynaktan yararlanma yüzdesinin bilinçsiz bir şekilde artırılması bazen yarar yerine zarara neden olur. Eğer gerçekte darboğaz oluşturmeyen bir kaynağın üretken kullanım yüzdesi arttırılmak istendiğinde fazladan stok ve envanter birikmesine neden olunacaktır ve bu da beraberinde katma değer yaratmayan büyük bir maliyet doğuracaktır.

2.8.4.3 Katma Değer Yaratılan Süre

Üretim sisteminde parçaya, servis sisteminde müşteriye değer katmak üzere geçirilen süreye denir. Katma değer, müşterinin parasını ödemeye istekli olduğu her şeydir. Operasyonel bakış açısıyla değerlendirmek gerekirse, katma değer yaratılan süre işleme süresi veya bir fiziksel değişim ya da servis için geçen süredir. Denetim süresi, kontrol süresi veya bekleme süresi katma değer yaratmayan süreler olarak adlandırılır.

2.8.4.4 Bekleme Süresi

Malzemelerin, müşterilerin, parçaların ve diğer birimlerin proses edilmek üzere beklerken harcanan süreye bekleme süresi denir. Bekleme süresi katma değer yaratmayan sürelerin en başında gelmektedir. Bekleme süresi sistemdeki parça sayıları (müşteriler, envanterler vs.) azaltılarak düşürülebilir. Sistemdeki elemanların birbirine bağımlılığı ve değişkenlik azaltıldığında da bekleme süreleri düşürülebilir. Bir başka çözüm de sisteme yeni kaynak ilavesidir. Fakat, burada yeni kaynak eklemek ile bekleme zamanından yapılacak tasarrufun getirisi ile yeni kaynak ekleme maliyetinin karşılaştırılarak karar verilmesi uygun olacaktır.

2.8.4.5 Akış Oranı

Birim zamanda üretilen parça sayısı ya da birim zamanda servis verilen müşteri sayısıdır. Üretim oranı, proses oranı ve çıktı oranı da aynı kavramı ifade etmek için yaygın bir şekilde

kullanılır. Akış oranı daha iyi bir yönetimle ve özellikle kısıt ya da darboğaz oluşturan kaynağın üretken kullanım yüzdesinin artırılması ile artırılabilir. Bu, darboğaz oluşturan kaynağın bir daha bloke olmaması veya boş kalmaması garanti altına alınarak sağlanabilir. Eğer sistem akış oranı darboğaz oluşturan kaynaktaki akış oranına eşitse, bu durumda ilave çıktı kapasitesinin sağlanabilmesi için darboğaz oluşturan kaynağın operasyon hızının artırılması, hazırlık zamanlarının, tamir sürelerinin azaltılması, darboğaz oluşturan operasyona yeni kaynak eklenmesi ya da darboğaz kaynağın iş yükünün hafifletilmesi gerekmektedir.

2.8.4.6 Envanter ve Kuyruk Seviyesi

Depolama ve bekleme bölgelerindeki parça ya da müşteri sayısıdır. Hedeflenen çıktı oranlarını sağlamak şartıyla kuyruk seviyelerinin minimumda tutulması gerekmektedir. Kuyruk seviyesinin dalgalanma gösterdiği durumlarda minimum ve maksimum kuyruk uzunluklarının kontrol edilmesi arzulanmaktadır. Kaynak kapasitesinin yetersiz olduğu ya da ihtiyaç duyulduğunda kaynağa ulaşım imkanı olmadığında sistemde kuyruklar oluşur. Envanter ve kuyruk seviyeleri, iş akışı dengelenerek veya darboğaz oluşturan operasyonlardaki üretim kısıtlanarak azaltılabilir veya artırılabilir. Envanter seviyelerinin kontrolü için geliştirilmiş bir diğer yöntem de JIT olarak adlandırılan tam zamanında üretim tekniğidir.

2.8.4.7 Verim

Üretim bakış açısından değerlendirildiğinde verim, hammadde olarak sisteme girerek üretilen ve ürün spesifikasyonlarına uygun olarak sistemi terk eden parçaların yüzdesidir. Eğer sistemden çıkan her 100 parçadan 95'i kusursuz ise bu sistem için verim %95'tir. Verim kendisinin tamamlayıcıları olan – kusur veya hurda oranı kullanılarak da hesaplanabilir.

2.8.4.8 Müşteri İsteklerinin Cevaplandırılabilmesi

Müşterinin bekleme zamanını minimum düzeyde tutmak üzere ihtiyaçlarını zamanında karşılayabilme yeteneğinin ölçüsüdür. Müşteri siparişlerinin envanterden derhal karşılanması anlamına gelen karşılama oranı kullanılarak da hesaplanabilir. Her bir iş için gecikmeler azaltıldığında, sistemin tümü için olan gecikme de azaltılmış olacaktır. Makul envanter seviyelerini bulundurmak üzere stoka üretim metodu kullanılarak müşteri istekleri geciktirilmeden karşılanabilir. Sipariş tipi üretim sistemlerinde müşteri isteklerinin karşılanması envanter seviyelerinin ve çevrim sürelerinin azaltılması ile mümkündür.

2.8.4.9 Sapma

Yukarıda ifade edilen performans kriterlerinden herhangi birinde görülen dalgalanmanın derecesidir. Sapma, belirsizliği ve hedeflere ulaşmada riski de beraberinde getirir. Örneğin, çevrim süreleri, çıktı oranları değişime çok açıktır. Sapmalar, faaliyet süreleri daha sıkı kontrol edilerek, kaynak güvenilirliği artırılarak ya da çizelge ve planlara sıkı sıkıya bağlı olarak çalışmak suretiyle azaltılabilir.

Bu performans kriterleri sistemin bütünü için verilebileceği gibi tek bir kaynak, gezen birim ya da diğer karakteristik bazında da incelenebilir. Mevcut performans kriterleri diğer faktörler ile ilişkilendirilerek, karşılaştırmalı analizde veya kıyaslamada kullanılmak üzere yeni performans kriterleri türetilir. Minimum teorik akış zamanının gerçek akış zamanına bölünmesiyle akış zamanı verimliliği, toplam maliyetlerin üretilen parça sayısına bölünmesiyle parça başına maliyet ve yıllık satılan envanter miktarının ortalama envanter miktarına bölünmesi ile envanter çevrim oranı gibi yeni performans kriterlerinin geliştirilmesi mümkündür (Harrell vd., 2000).

2.8.5 Sistemin Değişkenleri

Yeni bir sistemin tasarlanması ya da mevcut bir sistemde iyileştirmelerin yapılması sistemin elemanları ve performans kriterlerinin belirlenmesinden çok daha fazlasını gerektirmektedir. Sistem dinamiğinin anlaşılabilmesi için, sistem elemanlarının birbirini nasıl etkilediklerinin ve performans kriterlerini ne şekilde değiştirdiklerinin ayrıntılı olarak bilinmesi gerekir. Tüm bu ilişkilerin anlaşılabilmesi için üç tip sistem değişkeninin detaylı bir şekilde öğrenilmesi gerekir:

1. Karar değişkenleri,
2. Çıktı değişkenleri,
3. Durum değişkenleri.

2.8.5.1 Karar Değişkenleri

Bir deney yapılırken karar değişkenleri olarak adlandırılan değişkenler, bağımsız girdi faktörleridir. Bağımsız karar değişkenlerinin değiştirilmesi sistemin davranışını etkilemektedir. Bağımsız değişkenler, deneyi yapan kişinin değişkenleri belirleyebilme erkinin olup olmaması durumuna göre, kontrol edilebilir ve kontrol edilemez değişkenler olarak sınıflandırılır. Üretim hattına atanması düşünülen operatörlerin sayısı ya da çalışması düşünülen vardiya sayısı, kontrol edilebilir değişkenlerine örnek olarak gösterilebilir. Kontrol edilebilen bağımsız değişkenler karar değişkeni olarak adlandırılır. Çünkü, deneyi yapacak

olan kişi veya karar verici, kendi inisiyatifiini kullanarak bu değişkenin değerini belirlemede zgrdr. Kontrol edilemeyen değişkenlere örnek olarak, bir mşteriyeye yapılan servisin tamamlanmasına kadar geçen süre veya montaj hattı çıktılarının kalite kontrolü sonucunda reddedilme oranı gösterilebilir.

2.8.5.2 ıktı Değişkenleri

Performans ya da çıktı değişkenleri, belirli bir karar değişkeni ayarlamasının sistem performansı üzerinde yarattığı etkiyi ifade eder. Belirlenen bir periyotta üretilen parça sayısı, kaynağın ortalama üretken kullanım oranı, çıktı değişkenlerine örnek olarak gösterilebilir.

Bir deneyde çıktı değişkenleri bağımlı değişkenlerdir. ıktı değişkenleri, bağımsız değişkenlere ait değer ayarlamalarına bağımlı olarak çalışır. Deneyi yapan kişi ya da karar verici bağımlı değişkenler üzerinde bir ayarlama yapma imkanına sahip değildir. Sistem planlama yaklaşımının hedeflerinden birisi de arzu edilen çıktı değerlerini sağlamak üzere, karar değişkenleri için doğru değer ve ayarlamaları belirlemektir.

2.8.5.3 Durum Değişkenleri

Durum değişkenleri, sistemin zamanının herhangi bir anındaki durumunu belirtirler. İşlenmek üzere bekleyen gezen birimlerin sayısı ya da bir kaynağın anlık durumu durum değişkenlerine örnek olarak gösterilebilir. ıktı değişkenleri çoğunlukla, sistemdeki durum değişkenlerinin zaman içerisinde gösterdikleri değişimin bir zet ifadesidir. rnek vermek gerekirse, bir makinenin incelenen süre periyodunda üretken durumda olduğu süre, o periyottaki toplam kullanılabilir üretim saatine bölünerek makine kullanım oranı hesaplanabilir.

Durum değişkenleri de çıktı değişkenleri gibi bağımlı değişkenler sınıfı içerisinde yer alırlar ve bağımsız değişkenler için yapılan ayarlama ve düzenlemelere bağlı olarak değişim gösterirler. Sistemin durumu aslında, belirlenen bir zamanda sistemin davranışını etkileyen değişkenlerin tümü tarafından belirlenir. Örneğin bir bankaya müşterilerin gelişi incelenecek ise, belirlenen bir zaman için bankanın durumu o anda bankada bulunan müşteri sayısı, her bir memurun o anki faaliyet durumu ve her bir müşterinin o ana kadar bankada geçirdikleri süreler göz önünde bulundurulularak belirlenir (Law ve Kelton, 2000).

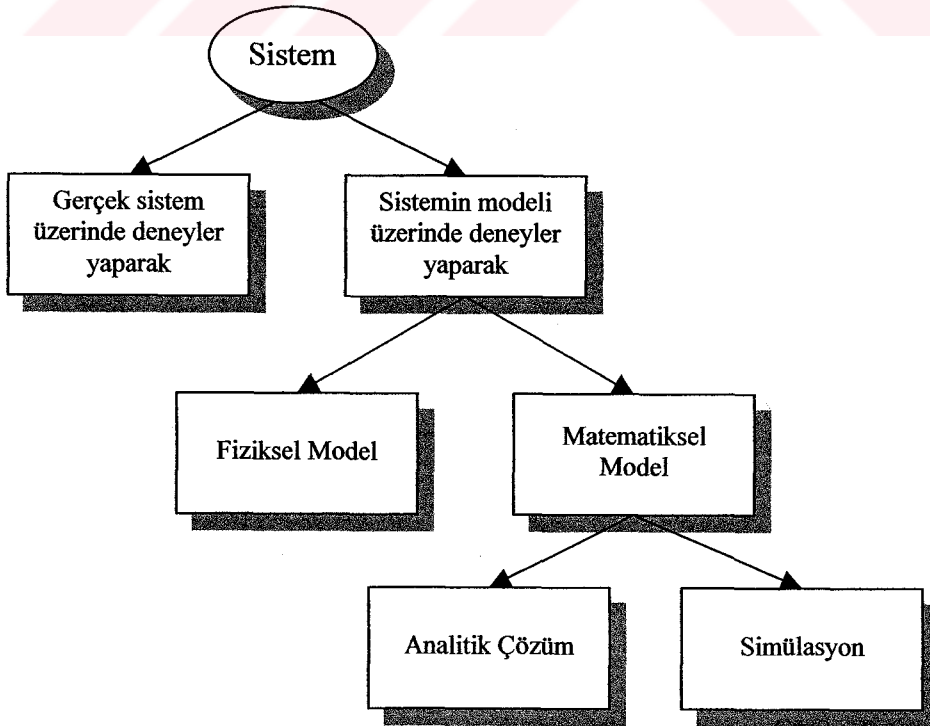
2.8.6 Sistem Analizi Teknikleri

Her ne kadar, simülasyon çok yönlü ve güçlü bir sistem analizi tekniği olsa da sistem planlama amaçlı olarak kullanılabilecek pek çok alternatif teknik mevcuttur. Bu tekniklerden birçoğu düşük bağımlılık ve değişkenlik gösteren basit sistemler üzerinde çözümler getiren

matematiksel tekniklerdir. Fakat, incelenmesi gereken sistemler karmaşıklıklaştıkça bu teknikler doğruluktan uzaklaşmakta ve kaba tahminlerde bulunmaktan öte gidememektedir. İşte bu durumda simülasyon tekniği bir kez daha ön plana çıkmaktadır. Sistem içerisindeki bağımlılık ve değişkenlik arttıkça, hem sistem performansında hem de sistem performansını doğru olarak önceden tahmin etmede güçlüklerle karşılaşılır. Simülasyon bu noktada analizciye, sistem performansını ve davranışını doğru bir şekilde tahmin edebilme imkanı sağlayarak, doğru kararların verilmesini kolaylaştırır.

2.8.6.1 Gerçek Sistem Üzerinde veya Sistemin Modeli Üzerinde Deneyler Yapmak

Eğer mümkünse ve ekonomik olarak daha rasyonel ise gerçek sistem üzerinde değişiklikler yaparak sistemin değiştirilen koşullar altında nasıl bir davranış gösterdiğini incelemek en uygun alternatif olacaktır. Ayrıca, deneyler gerçek sistem üzerinde gerçekleştirildiğinden, yapılan çalışmaların doğruluk ya da geçerliliklerinin ispatlanmasına gerek duyulmaz. Her ne kadar, pek çok yönden en makul alternatif olarak görülse de aslında gerçek sistem üzerinde deneyler yapmak, her zaman mümkün değildir. Gerçek sistem üzerinde deney yapmak çok maliyetli bir alternatiftir ve çoğu zaman sistemde aksamalara ve hasarlara neden olmaktadır. Bazı durumlarda incelenen sistem gerçekte bulunmayabilir ve alternatif sistem tasarımlarının değerlendirilmesine ihtiyaç duyulabilir (Law ve Kelton, 2000).



Şekil 2.6 Sistem analizi için kullanılabilecek yaklaşımlar (Law ve Kelton, 2000)

Böyle durumlarda sistem tasarımının bir modeli oluşturularak sistem davranışları üzerinde çıkarımlarda bulunmak mümkün olabilir. Örnek olarak bir stratejik nükleer silah sisteminin test edilmesi için gerçek sistem üzerinde deneyler yapmak çok büyük sorunlar doğurabilir, çoğu zaman da imkansızdır. Bu tip araştırmalar için gerçek sistemlerin temsili modellerinin kurulması uygun olacaktır. Modelle birlikte sorulması gereken bir diğer soru da modelin incelenen sistemi ne ölçüde doğru olarak temsil edebildiğidir. İşte bu noktada simülasyon projelerinin önemli aşamalarından biri olan modelin doğrulanması safhasına geçilir.

2.8.6.2 Fiziksel Model veya Matematiksel Model

Pek çok insan için model kavramı ile zihinlerinde rüzgar tünellerinde test edilen kilden arabalar, pilot eğitiminde kullanılan ve uçağın gövdesinden ayrılmış kokpitler ya da küçük havuzlarda yüzdürülen devasa tankerlerin minyatür modelleri canlanmaktadır. İşte bu tip örneklere fiziksel modeller ya da ikonik modeller denmektedir. Fiziksel modeller, yöneylem araştırması veya sistem analizi kapsamında incelenen model tiplerinden değildir. Bazı istisna durumlarda mühendislik veya yönetim sistemlerinin incelenmesinde fiziksel modellere başvurularak masa üstü ölçekli olarak malzeme taşıma sistemlerinin veya depolama sistemlerinin fiziksel modelleri oluşturulabilir. Fakat mühendislik ve yönetim amaçlı olarak geliştirilen modellerin büyük bir çoğunluğu matematiksel modellerdir. Matematiksel modellerde, sistem işleyişi ve mantıksal yapısı kantitatif ilişkiler matematiksel olarak ifade edilir. Daha sonra matematiksel modeldeki değişkenler üzerinde yapılan ayarlamaların model çıktısı üzerindeki etkisi değerlendirilerek gerçek sisteme yönelik olarak tahminlerde bulunulur (Law ve Kelton, 2000).

2.8.6.3 Analitik Çözüm veya Simülasyon

Matematiksel model kurulduktan sonra temsil ettiği sistemle ilgili olarak kendisinden beklenen sorulara ne şekilde çözüm getirdiğinin incelenmesi gerekir. Eğer model yeterince basit ise, modeldeki mantıksal ilişkiler ve sayısal ifadeler kullanılarak analitik bir çözüm üretilmesi mümkün olabilir. Kapalı formdaki matematiksel modeller kâğıt ve kalem kullanılarak kolaylıkla çözülebilirken, bazı analitik çözümlere ulaşmak çok karmaşık olabilir ve çok uzun hesaplamalar gerektirebilir. Eğer bir matematiksel modele analitik çözüm tekniği kullanarak yaklaşmak kolay ve makul ise böyle bir durumda simülasyonun kullanılmasına gerek yoktur. Fakat, genellikle karşılaştığımız üretim ve servis sistemlerinin büyük bir çoğunluğu analitik teknikler kullanılarak çözülemeyecek kadar karmaşık bir mantıksal yapıya sahiptir. Bu durumda, simülasyon kullanılarak modelin incelenmesi, girdi değişkenlerinde

yapılan bir değişikliğin çıktı değişkenleri üzerinde yarattığı etkinin anlaşılmasında analizciye hatırı sayılır bir kolaylık ve hızlilik sağlayacaktır (Law ve Kelton, 2000).

2.9 Simülasyon Çeşitleri

Simülasyonun çalışma şekli, kullanım amaçlarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Simülasyon tekniklerini sınıflandırmak için pek çok alternatif mevcut olmakla beraber en yaygın sınıflandırma şekli aşağıdaki gibidir.

- ❖ Statik simülasyon – Dinamik simülasyon,
- ❖ Stokastik simülasyon – Deterministik simülasyon,
- ❖ Kesikli olay simülasyonu – Sürekli sistem simülasyonu.

Günlük hayatımızda karşılaştığımız üretim ve servis sistemlerinden pek çoğu dinamik, stokastik ve kesikli bir yapı gösterse de bu tez kapsamında hem kesikli olay simülasyonu hem de sürekli sistem simülasyonu üzerinde durulacaktır. Simülasyon konusunda yapılan çalışmalar ve yayınlanan makalelerin büyük çoğunluğu kesikli olay simülasyonuna dayanmaktadır. Petrol rafinerileri, çimento üretimi, gıda maddesi üretimi, cam üretimi, iplik üretimi, tel üretimi, boya üretimi ve ilaç üretimi gibi pek çok sistem bünyesinde sürekli yapılar bulundurmaktadır. Bu tip proseslerin kesikli sistem simülasyonu ile modellenmesi mümkün değildir.

2.9.1 Statik Simülasyon – Dinamik Simülasyon

Statik simülasyon zamanı baz almayan simülasyondur. Genellikle istatistiksel sonuçlar elde etmek üzere rassal örneklerin türetilmesi esasına dayanır bu nedenle bazen Monte Carlo simülasyon olarak da adlandırılır. Monte Carlo simülasyon özellikle portföy enstrümanlarının seçimleri için kullanılır. Belirli bir portföy için her enstrümanın probablistik getirisi göz önünde bulundurularak portföyün beklenen getirisi hesaplanabilir.

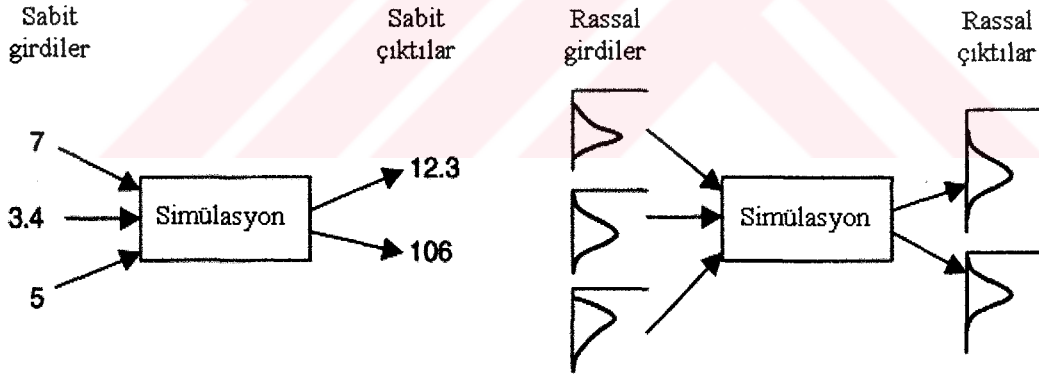
Dinamik simülasyonu statik simülasyondan farklı kılan temel etken zaman faktörüdür. Dinamik simülasyon zaman eksenini baz alır. Zaman içerisinde sistem durum değişkeninde gözlemlenen değişimleri inceler. Simülasyon boyunca saat mekanizması ileriye doğru işletilerek belirli zaman aralıklarında sistem durum değişkeninin değeri güncellenir. Dinamik simülasyon tekniği zaman bazında faaliyet gösteren üretim ve servis sistemlerinin analizi için çok uygundur (Harrell vd., 2000).

2.9.2 Stokastik Simülasyon – Deterministik Simülasyon

Girdi değişkenlerinden en az biri rassal değişim gösteren simülasyon tipi stokastik ya da probablistik simülasyon olarak adlandırılır. Stokastik simülasyonun kendisi de rassal çıktılar üretir. Stokastik simülasyonun çıktılarında kesinlik yerine olasılırlılık mevcuttur.

Girdi bileşenlerinin hiçbirinde rassal değişim göstermeyen simülasyon tipi deterministik simülasyon olarak adlandırılır. Deterministik simülasyon modelleri de stokastik simülasyon modelleri gibi hazırlanır, tek farkları deterministik simülasyon girdi değişkenlerinin rassallık içermemesidir. Deterministik simülasyonda, sistem başlangıç koşulu ve girdi datası doğru olarak modellendiğinde gelecekteki tüm sistem durumları ve davranışları belirlenebilir.

Aşağıdaki şekilde de görülebildiği gibi deterministik simülasyon için sabit girdiler kullanılır ve simülasyon sonucunda sabit değerli çıktılar elde edilir. Stokastik simülasyon için rassal girdi değerleri kullanılır ve simülasyon sonucunda rassal çıktı değerleri elde edilir. Simülasyon için başlıca girdi değerleri, faaliyet süreleri, gezen birimlerin sisteme varış süreleri ve rota sıralarıdır. Başlıca simülasyon çıktıları ise, ortalama akış süresi, akış oranı ve kaynak kullanım yüzdeleridir. Rassal bir girdi değişkeninden etkilenen performans kriterlerinin tümü rassal çıktılar üretecektir (Pooch ve Wall, 1993).



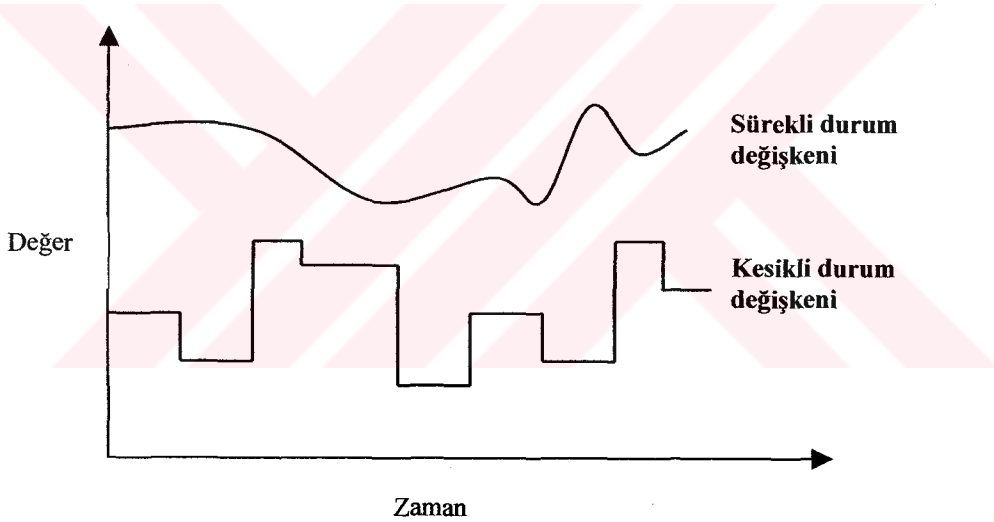
Şekil 2.7 Deterministik ve stokastik simülasyon karşılaştırması (Harrell vd., 2000)

Deterministik bir simülasyon ne kadar koşum yapılırsa yapılsın devamlı aynı sonuçları üretecektir. Stokastik simülasyonda ise her bir koşum istatistiksel olarak farklılık gösterdiğinden doğru performans tahminlerine ulaşmak için çok sayıda koşum yapmak gerekir. Stokastik simülasyonda nihai performans tahmini farklı koşumlardan elde edilen performans kriterlerine ait farklı değerlerin ortalaması alınarak yapılır. Deterministik simülasyonda ise kesin sonuçlara ulaşmak için modeli bir defa çalıştırmak yeterli olacaktır.

2.9.3 Kesikli Olay Simülasyonu – Sürekli Sistem Simülasyonu

Simülasyon tiplerini sınıflandırmada sıklıkla kullanılan tanımlamalardan birisi de kesikli olay simülasyonu ve sürekli sistem simülasyonudur. Kesikli olay simülasyonunda sistem durumundaki değişimler zamanın olaylarla tetiklenen belirli aralıklarında meydana gelirler.

Parçanın iş istasyonuna gelmesi, kaynaklardan birinin faaliyetinin arıza nedeniyle durması, faaliyetin tamamlanması veya vardiyanın sona ermesi, tipik simülasyon olaylarına örnek olarak gösterilebilir. Olay gerçekleştiğinde sistem durumunda bir değişiklik meydana gelir. Modelin durumu, modeli oluşturan elemanların belirli bir zamandaki durumları bütünsellik açısından değerlendirilerek belirlenir. Kesikli olay simülasyonundaki durum değişkenleri, kesikli durum değişkenleri olarak adlandırılır. Bir restoran simülasyonu kesikli olay simülasyonu için güzel bir örnektir. Çünkü, restoranda bekleyen müşteri sayısı gibi modeldeki durum değişkenlerinin tümü kesikli durum değişkenidir. Üretim ve servis sistemlerinin büyük çoğunluğu kesikli olay simülasyonu kullanılarak modellenir (Taha, 1997).



Şekil 2.8 Kesikli ve sürekli durum değişkenlerinin karşılaştırılması (Harrell vd., 2000)

Sürekli sistem simülasyonunda sisteme ait durum değişkenleri zaman boyunca sürekli bir değişim gösterirler. Sürekli sistem simülasyonundaki durum değişkenleri, sürekli durum değişkenleri olarak adlandırılır. Bir tanktaki yakıt miktarının dolum ve boşaltım oranlarına bağlı olarak değişimi veya bir akvaryumun ısısının akvaryumdaki ısıtıcının yaydığı ısıya, güneş ısısına ve odanın sıcaklığına bağlı olarak değişimi sürekli durum değişkenlerine örnek olarak gösterilebilir. Şekil 2.8’de kesikli ve sürekli durum değişkenlerinin zaman içerisindeki değişimleri karşılaştırmalı olarak gözlenmektedir.

Sürekli sistem simülasyonunda, sürekli durum değişkeninde zamanla yaşanan değişimlerin hesaplanabilmesi için diferansiyel denklemlerden faydalanılır. Eğer diferansiyel denklemler

nispeten basit ise, sürekli durum değişkeninin $t=0$ anındaki değerinden faydalanılarak zamanın herhangi bir anında alacağı değer analitik yöntemlerden yararlanılarak kolaylıkla hesaplanabilir. Fakat sürekli sistem modellerinin pek çoğunda analitik hesaplamalar yoluyla çözüme ulaşmak mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda Euler veya Runge-Kutta gibi matematiksel diferansiyel denklem çözüm metodolojilerinden faydalanılır. Örneğin, durum değişkeni v hem kendisinin (v) hem de zamanın (t) bir fonksiyonu olarak değişim gösterebilir.

$$\frac{dv(t)}{dt} = v^2(t) + t^2 \quad (2.1)$$

v 'nin başlangıç durumunun tanımlanması için ikinci bir eşitlik kullanılacaktır.

$$v(0) = K \quad (2.2)$$

Belirli bir çıktı değişkeninde zaman içerisinde yaşanan değişimlerin hesaplanması için numerik integrasyon tekniği kullanılır (Harrell vd., 2000).

2.9.4 Melez Sistemlerin Simülasyonu

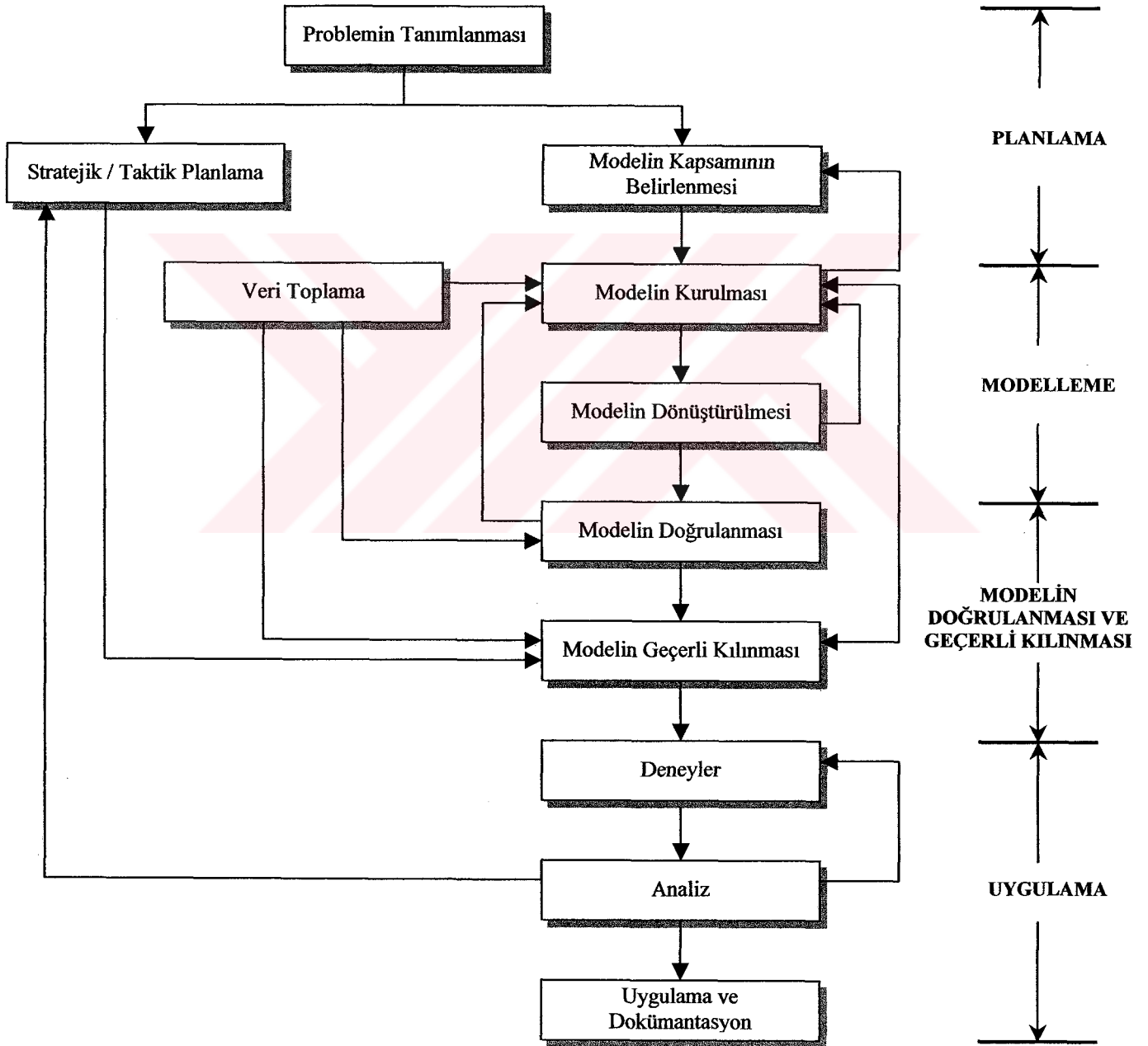
Eğer bir sistem bünyesinde hem sürekli hem de kesikli durum değişkenlerini barındırıyorsa, bu tip sistemlere melez sistemler denir. Günümüzde geliştirilen simülasyon paket yazılımlarının pek çoğu hem kesikli hem de sürekli sistemlerin modellenmesine olanak sağlamaktadır. Sürekli durum değişkenleri içeren proseslerin pek çoğunda kesikli durum değişkenleri de mevcuttur. Örneğin yakıt tankerlerinin veya müşterilerin benzin istasyonuna gelişleri kesikli bir proses iken yakıt tanklarının doldurulması sürekli bir prosestir.

Sürekli ve kesikli durum değişkenleri arasında dört tip etkileşim bulunur:

1. Kesikli olaya bağlı olarak sistemdeki sürekli değişkenin değeri ani olarak artabilir veya azalabilir (bir envanter modelinde stokun yenilenmesi),
2. Kesikli olayın gerçekleşmesiyle sürekli değişkende eşik değerine ulaşılabilir (envanter modelinde yeniden sipariş noktasına ulaşılması),
3. Sürekli değişkendeki değişim oranı kesikli olayın meydana gelmesi sonucunda değişebilir (talepteki ani bir değişime bağlı olarak envanter kullanım oranındaki değişim),
4. Kesikli olayın meydana gelmesi sonucunda sürekli değişkendeki değişim başlatılabilir veya kesintiye uğratılabilir (envanterin yenilenmesi veya tüketilmesinin sürekli değişkendeki sürekli değişimi başlatması veya sonlandırması) (Kelton vd., 2002)

2.10 Bir Simülasyon Projesinin Safhaları

Simülasyon, gerçek sistemin modelinin tasarlanması ve bu model ile, sistemin işletilmesi amacına yönelik olarak, sistemin davranışlarını anlayabilmek ve değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi sürecidir. Simülasyon ile modelleme; (1) sistemin davranışını tanımlama, (2) teori ve hipotez kurma, (3) kurulan teoriyi sistemin gelecekteki davranışlarını tahmin etmek için kullanmak, şeklinde bilimsel bir deneme ve uygulama metodolojisidir. Simülasyon sürecini meydana getiren adımlar şekil 2.9'daki gibi özetlenebilir (Pooch ve Wall, 1993).



Şekil 2.9 Simülasyon projesinin safhaları (Pooch ve Wall, 1993)

2.10.1 Simülasyon Projesi Ön Hazırlık Safhası

Simülasyon çalışması sistematik temellere dayanır. Belirli bir ön hazırlık yapmadan ve incelenecek olan sistem detaylı bir şekilde tanımlanmadan simülasyon projesini başlatmak bizi hatalı sonuçlara yönlendirecektir. Projenin beklentilerini karşılamak üzere uygun simülasyon yazılımının belirlenmesi en önemli adımlardan biridir.

Uygun yazılımın belirlenmesinde, değerlendirilmesi gereken kriterlerden bazıları şunlardır:

- Yazılımın güvenilir algoritmalarla dayanması,
- Maliyet,
- Kullanıcı girdi hatalarına karşı destek,
- Diğer yazılımlarla ve programlama dilleri ile entegrasyon,
- Kullanım kolaylığı,
- Servis ve teknik destek,
- Her tür sistemin modellenebilmesine imkan sağlamak üzere esneklik.

2.10.2 Problemin Tanımlanması, Amaçların, İhtiyaçların ve Proje Kapsamının Belirlenmesi

Bir simülasyon problemiyle karşılaşıldığında yapılması gereken ilk adım problemin tanımlanması ve formüle edilmesidir. Genellikle gerçek hayatta problemler ayrıntılı olarak tanımlanmış durumda değildir. Bu sebeple simülasyon analizini yapan kişiye düşen görev, simülasyon projesini talep eden müşteri ile diyaloga girmektir. Sistem ile ilgili çeşitli soruların sorulması yoluyla, problemin detaylı bir şekilde tanımlanması ve altında yatan faktörlerin belirlenmesi gerekir. Simülasyon proje süreci içerisinde problemin tanımlanması aşaması modelin doğru bir şekilde kurulabilmesi ve işletilebilmesi için büyük önem taşımaktadır. Problemi tanımlamak için yapılan çalışmalar çoğu zaman şaşırtıcı sonuçlar da vermektedir, öyle ki aslında sistemdeki gerçek problem başlangıçta belirlenenden çok farklı olabilmektedir.

Sistemin performansının ne şekilde ölçüleceği tanımlandıktan sonra, performans kriteri olarak esas alınan değerlerin hali hazırda mevcut olup olmadığı incelenmelidir. Eğer, mevcut bir sistem için simülasyon çalışması yapılacaksa, bu veriler zaten hazır olarak bulunmaktadır. Eğer simülasyon çalışması yapılacak olan sistem gerçekte mevcut değilse, faaliyette olan benzer sistemler incelenerek çıkarımlarda bulunmak mümkün olabilir.

Bu aşamada analizci, sistemin genel işleyişini, sistemin büyüklüğünü, performans kriterlerini ve simülasyon projesini talep eden müşterinin beklentilerini daha iyi anlamış olmaktadır. Bir

sonraki aşama bir çözüm metodolojisinin geliştirilmesidir. Unutulmaması gereken bir nokta da simülasyonun her zaman en iyi çözüm yöntemi olamayabileceğidir (Kelton vd., 2002).

2.10.3 Çözüm Metodolojisinin Seçimi

Problem tanımlandıktan sonra, uygun çözüm metodolojisi belirlenirken, insanoğlunun varoluşundan bugüne geliştirilen tüm problem çözme tekniklerinin incelenmesi mümkün olmasa da en azından bilinen alternatif çözüm tekniklerinin incelenerek değerlendirilmesi yararlı olacaktır.

Üretim ve servis sistemlerinde karar verici noktalarda bulunan yöneticiler sistematik problemlerle karşılaştıklarında kararlarını tutarlı temellere dayandırmak için çeşitli çözüm tekniklerine başvururlar. Sistem içerisinde ögeler arası bağımlılık, değişkenlik ve belirsizlik arttığında yöneticiler sistem davranışlarını önceden kestirebilmek için simülasyon tekniğini kullanmayı tercih ederler. Karşılaşılan problem kritik bir kaynaktan yararlanma yüzdesinin artırılması ile ilgili olabileceği gibi fabrika genelinde çevrim süresinin azaltılması yoluyla çıktı oranlarının artırılması ile ilgili de olabilir. Bu tür problemler aslında simülasyon tekniği için sistem performansının artırılması yönündeki fırsatlardır.

Uygun çözüm metodolojisi belirlenirken yapılması gereken ilk işlerden birisi de, problemin analiz edilerek çözümlenmesi için projeye ne kadar süre ayrıldığıнын belirlenmesidir. Eğer acilen bir çözüm üretilmesi gerekiyorsa, simülasyon makul bir çözüm metodu olmayacaktır. Sistem yapısı, bileşenleri ve bileşenler arası etkileşimler karmaşılaştıkça simülasyon modelinin kurulması için gereken süre de artacaktır. Ama küçük bir sistemdeki problemler için simülasyon çok kısa sürede çözüm üretebilir.

Simülasyon proje sürelerinin azaltılmasında şirketlerin sıklıkla başvurduğu yöntemlerden birisi de kalıp modeller kullanmaktır. Eğer şirket içerisindeki sistemler birbirine benzer yapıdaysa bu kalıp modellere uygun eklemeler ve değişiklikler yapılarak arzu edilen sisteme uygun hale getirilebilir. Kalıp modeller bir defa oluşturulduktan sonra farklı sistemlerin çabuk bir şekilde modellenmesinde kolaylıkla kullanılabilirler. Gerekli olan tek şey bazı modüllerde yapısal değişiklikler yapmak ve sisteme uygun olan datayı girmektir. Böylelikle, montaj hatlarının, depoların, fast-food restoranlarının, dağıtım merkezlerinin, çağrı merkezlerinin ve üretim hücrelerinin modellenmesi kolaylıkla mümkün olabilmektedir.

Bir problemin çözümünde simülasyonun uygun olup olmadığının belirlenmesi için aşağıdaki soruların cevaplandırılması faydalı olacaktır.

- Proses detaylı bir şekilde tanımlanmış mı?
- Prosese ilişkin ayrıntılı bilgilere ulaşmak mümkün mü?
- Sistem iç bağımlılıklar içeriyor mu?
- Proses değişim gösteriyor mu?
- Simülasyon uygulanmasıyla elde edilebilecek tasarruflar projeyi uygulamanın maliyetinden yüksek mi?
- Eğer, incelenecek olan proses yeni bir proses ise, simülasyon analizini gerçekleştirecek kadar zaman var mı?
- Eğer, incelenecek olan proses mevcut bir proses ise, sistem üzerinde deney yapmak daha düşük maliyetli olabilir mi?
- Projenin sürdürülmesi yönünde üst yönetim desteği var mı?

Tüm bu sorulardan elde edilen cevaplar ışığında, alternatif teknikler maliyet-fayda analizi ile değerlendirildiğinde en uygun çözüm metodu belirlenmiş olacaktır. Problemin çözümü için simülasyon metodolojisinin en uygun teknik olduğu varsayıldığında atılması gereken bir sonraki adım sistem ve simülasyon sonuç detaylarının karşılaştırılmasıdır (Kelton vd., 2002).

2.10.4 Sistem ve Simülasyon Detaylarının Belirtilmesi

Bir simülasyon projesi aynı yemek tarifi gibidir izlenmesi gereken aşamalar detaylı bir şekilde tanımlanmalı ve sırasıyla yerine getirilmelidir. Fakat simülasyon iteratif bir süreçtir çünkü incelenen sistemlerin çoğu dinamik bir yapısal karaktere sahiptir ve sürekli değişmektedir. Yani simülasyon projesinin yarısına gelindiğinde karşılaşılan bir bilgi analizciyi problemi başından itibaren yeniden tanımlamaya ve modeli yeniden formülize etmeye yönlendirebilir. Simülasyon proje detaylarının belirlenmesi prosesi incelenen sistemin yapısına, büyüklüğüne, analizci ve müşteri arasındaki diyalogun biçimine bağlı olarak farklı şekillerde gerçekleştirilebilir. Eğer burada taraflardan biri her iki rolü de üstlenmişse (müşteri ve analizci) bu aşama modelin formülize edilmesi ve kurulması safhaları ile birleştirilebilir. Bu tip bir durumda da simülasyon projesinin detaylarının ayrıntılı olarak belirlenmesi gerekir fakat bunun formal bir yapı içerisinde ele alınmasına gerek yoktur. Çünkü hem müşteri hem de analizci fonksiyonları tek bir çatı altında toplanmıştır.

Fakat, bu ilk durumun tersine eğer analizci projenin yürütülmesi için seçilmiş bir danışman olarak müşterinin problemlerine cevap aramak üzere atanmışsa burada simülasyon proje detaylarının ve prosedürlerinin kapsamlı bir şekilde formal bir yapı içerisinde ele alınarak karara bağlanması gerekir.

Devam etmeden önce, buraya kadar yapılan çalışmayı özetlemek bütünselliği korumak adına faydalı olacaktır. Bu aşamaya kadar, problem formülize edildi, çalışmanın amacı ve hedefleri belirlendi, ve simülasyon metodolojisi en uygun çözüm tekniği olarak belirlendi. Buradan sonra yapılması gereken, takip edilecek olan simülasyon projesi detaylarının karara bağlamasıdır.

Eğer simülasyon çalışması yeni tasarlanan bir sistem için yapılacaksa, analizcinin düşünmesi gereken ilk konu tasarlanan sisteme benzer niteliklere sahip mevcut bir sistemin olup olmadığıdır. Eğer benzer bir sistem mevcut ise burada yapılacak bir işletme gezisi bile simüle edilecek yeni tasarlanan sistem için daha tutarlı fikirler edinmenizi sağlayabilir. Eğer sistem sadece kağıt üzerinde ise, yapılması gereken tasarımın detaylı bir şekilde incelenmesidir. Eğer sistem kağıt üzerinde de mevcut değil ise, yapılması gereken, potansiyel sistemin basit bir akış şemasının çizilmesidir. Bu çalışmanın müşteri ile koordineli bir şekilde yapılması gerekir. Projenin sağlığı için detaylar konusunda tarafların karşılıklı mutabakat içerisinde olması olmazsa olmaz bir ön koşuldur.

Modellenecek olan sistem anlaşıldıktan sonra sıra ilgili tarafların bir toplantı odasında bir araya gelerek proje detaylarını karara bağlaması gerekir. Bu toplantıda ele alınabilecek konular şöyle olabilir:

- Simülasyonun hedefleri,
- Sistemin tanımlanması ve modelleme yaklaşımı,
- Animasyon detayları,
- Model girdi ve çıktıları,
- Proje sonucunda teslim edilecek yazılım, donanım ve raporlar.

Gerekli olan tüm bilginin toplanması için geçen süre bir saatten birkaç güne kadar sürebilir. Simülasyon projesi spesifikasyonlarının detaylarının karara bağlanacağı tartışmalara ilgili tüm tarafların katılması gerekmektedir. Böyle bir toplantı boyunca cevaplandırılması gereken başlıca sorular şunlardır:

- Simülasyon modeline neler dahil edilecektir?
- Hangi detay düzeyinde simülasyon yapılacaktır?
- Sistemin temel kaynakları nelerdir? Bu kaynaklar ne tip görev ve operasyonların yerine getirilmesi için kullanılıyor?
- Proses planları ve proses akış diyagramları mevcut mu? Güncel mi? Her zaman aynı proses akışına sadık kalınıyor mu? Proses akışı hangi durumlarda değiştiriliyor?

- Sistemin çalışması ile ilgili yasal, fiziksel ya da teknolojik kısıtlar var mı? Varsa bu kısıtların değiştirilmesi mümkün mü?
- Daha önceden tanımlanmış sistem prosedürleri var mı? Bu prosedürler takip ediliyor mu? Yeni prosedürlerin geliştirilmesi gündemde mi?
- Kararlar ne şekilde veriliyor? Herhangi bir beklenti var mı?
- Ulaşılabilir data mevcut mu?
- Datayı kim toplayacak ve derleyecek? Data ne zaman hazır olur? Data hangi formda olacak? Data hangi doğrulukta olacak? Data değişecek mi? Eğer değişecekse, değişim ne şekilde gerçekleşecek?
- Eğer data mevcut değilse tahmini verileri kim sağlayacak? Tahmini verilerin doğruluk ölçütü nedir? Hassasiyet analizi yapılmasına gerek var mı?
- Ne tip bir animasyona gereksinim duyuluyor? Projenin değişik safhaları için farklı animasyonlara gerek var mı? Animasyonlar ne şekilde kullanılacak?
- Modeli kim doğrulayacak ve geçerliliğini sağlayacak? Ve bu ne şekilde yapılacak? Karşılaştırmalı data mevcut mu? Karşılaştırmalı data ne kadar doğru?
- Ne tip bir simülasyon çıktısı arzu ediliyor? Temel performans kriterleri neler? Performans kriterlerinin sıralanması ya da ağırlıklandırılması mümkün mü?
- Model ne kadar genel olmalı? Model farklı kararlar için revize edilecek mi?
- Analizi kim gerçekleştirecek? Ne tip bir analize gereksinim duyulmaktadır? Sonuçlar için ne kadar bir güvenilirlik ölçüsü arzu edilmektedir?
- Kaç tip farklı senaryo incelenecektir ve bu senaryolar nelerdir?
- Projenin mihenk taşları nelerdir ve bunların ne zaman tamamlanması gerekir?
- Proje tamamlandığında müşteriye teslim edilecek olan şeyler nelerdir?

Bu sorular incelenmesi gereken tüm noktaları içermemekle birlikte, ortak bir mutabakata varmak üzere tarafların üzerinde durması gereken detayları belirtmede analizciye genel bir fikir vermektedir. Toplantı sonrasındaki adım, tutanakların hazırlanması ve bunun imza ile karara bağlanmasıdır. Toplantı sonrasında analizci hazırladığı raporu gözden geçirmek üzere müşteriye iletmelidir. Her iki taraf için de üzerinde anlaşmaya varılacak nihai metnin oluşturulmasına kadar bu iteratif süreç bir çok defa devam eder. Karşılıklı anlaşma sağlandığında, tarafların bu mutabakat belgesini imzalayarak karara bağlamaları önerilir. Eğer simülasyon çalışması sürecinde data temininde güçlükler ya da sistem durumunda değişiklikler yaşanırsa, bu dokümanın güncellenmesi kaçınılmaz olmaktadır. Simülasyon

projesinin detayları ve nitelikleri karara bağlandığı düşünüldüğünde bir sonraki aşama olan modelin kurulması aşamasına geçilebilir (Kelton vd., 2002).

2.10.5 Modelin Formülasyonu ve Kurulması

Simülasyon modeli ve proje ile ilgili spresifikasyon detayları ortaya konulduktan sonra simülasyon modelinin başarılı bir şekilde kurulması hedeflenen amaçlara ulaşılması kolaylaşmıştır. Hemen Arena'da yeni bir model penceresi açarak ilgili modülleri yerleştirmeye başlamadan önce model tasarımının ana hatlarının ortaya çıkartılması üzerinde yoğunlaşmak faydalı olacaktır. İlk düşünülmesi gereken faktörler, ilgili data yapısı, kısıtlar, gerçekleştirilecek analiz tipi, gerekli animasyonlar ve Arena programını kullanma becerinizdir. Sistem karmaşıktıkça modelin formülasyon safhası daha da önemli hale gelmektedir.

Eğer simülasyonu yapılacak olan sistem basit ise tüm ilgili modülleri, Arena model penceresine yerleştirerek gerekli ayarlamaları yapmak yeterli olacaktır. Fakat incelenen sistem karmaşıktıkça, simülasyon modeli de içinden çıkılamayacak bir hal alabilir. Karmaşık sistemler modellenirken uygulanabilecek en uygun metodoloji sistemi mantıklı parçalara ayırmak ve modeli her bir sistem parçası için oluşturduktan sonra birleştirmektir. Genellikle karmaşık simülasyon modelleri kurulduklarında ilk defa çalışmazlar, ya da problemler çıkartırlar. Bu gibi durumlarla başa çıkmanın en güzel yolu sistemi makul parçalara ayırarak modellemek ve animasyonu temel düzeyde başlatarak her bir model parçasının doğru bir şekilde çalıştığından emin olduktan sonra geliştirmektir.

2.10.6 Modelin Doğrulanması ve Geçerliliğinin Kanıtlanması

Modeli çalıştırırken yada modeli kurarken zaman zaman modelin doğrulanması daha sonra da geçerli kılınması gerekmektedir. Modelin doğrulanması, modelin planlandığı şekilde çalıştığından emin olunması anlamına gelmektedir. Modelin doğrulanması, kurulan modelin kavramsal modeli ne şekilde doğru temsil edebildiğinin bir ölçüsüdür. Modelin geçerliliği ise kurulan modelin gerçek sistemi ne ölçüde doğru bir şekilde temsil edebildiğinin bir ölçüsüdür.

İlk olarak modelin doğrulanması kavramı üzerinde duracak olursak, simülasyon modelini ya da modelin bir parçasını kurduğumuzu düşündüğümüzde, bunun daha önceden planladığımız modeli ne şekilde temsil edebildiğini belirlememiz gerekir. Bu basit bir iş gibi görünmekle birlikte, modelleriniz ve temsil ettikleri sistemler karmaşıktıkça zor bir hal almaktadır. Büyük çaplı modellerde eş zamanlı olarak meydana gelen pek çok faaliyet arasında çeşitli planlanmamış etkileşimler meydana gelebilir. Bu tip modelleme hata ve eksikliklerini

gidermek için çeşitli testlerin yapılması gerekir. Eğer henüz animasyonlar modele dahil edilmemişse modelin doğrulanması safhasına geçmeden önce tamamlanması faydalı olacaktır. Modelin son halindeki kadar kapsamlı olmasa da sistemin genel yapısı ve işleyişi hakkında bir fikir verecek animasyonlar modele dahil edildiğinde modelin doğrulanması safhası kolaylaşacaktır.

Modelin doğrulanması safhasında yapılacak olan ilk iş kurulan modelin değişik gelişler arası süreler, değişik parça karışımları, değişik işlem süreleri, değişik proses adımları, değişik vardiya düzenleri gibi farklı kriterler için test edilmesidir. Beklentinin dışında modelde gerçekleştirilen bu yapay değişikliklerin sistemde neden olduğu değişimler gözlenmeli varsa oluşan hatalar ayıklanarak model revize edilmelidir. Bu çeşit bir çalışma ile varılmak istenen nokta, geniş çeşitlilikteki farklı durumlar karşısında sistemin oluşturduğu tepkileri ve model mantığındaki muhtelif hataları belirlemektir. Kurulan modelin planlanan modeli en iyi doğrulukla temsil ettiğine inandığımız noktaya ulaşıncaya kadar yukarıdaki test tekniklerinin iteratif bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

Bu test safhası tamamlandıktan sonra üzerinde düşünülmesi gereken konu simülasyon analizi için hangi senaryo tiplerinin seçileceğidir. Model düşünülen senaryo alternatiflerinin tümü için ayrı ayrı işletilerek modelin doğru bir şekilde çalışıp çalışmadığı test edilmelidir.

Modelin geçerliliğinin kanıtlanması için yapılması gereken iş modelden türetilen çıktıların gerçek sistemden elde edilen çıktılar ile karşılaştırılmasıdır (Browne, 1984).

2.10.7 Modelin Denenmesi ve Sonuçlarının Analizi

Model kurularak doğruluğu test edildikten sonra analiz aşamasına geçmeden önce kurulan model ile sistem üzerinde çeşitli deneylerin yapılması gerekir. Ayrıca hangi analiz yöntem ve araçlarının kullanılacağına da kararlaştırılması gerekir. Bazen simülasyon deneylerinin seçilen analiz türüne uygun olarak güncellenmesi gerekebilir.

Hangi analiz tekniği kullanılırsa kullanılsın temelde yapılan iş sınırlı bilgi ile tutarlı çıkarımlarda bulunmaktadır. Bu arada, çıkarılan sonuçların tutarlı istatistiksel tekniklere dayandırılması ve bir sistemin bir diğerinden iyi olduğu vurgulanacaksa iki sistem arasında önemli istatistiksel farklılık bulunması gerekmektedir (Law ve Kelton, 2000).

2.10.8 Sonuçların Sunumu ve Dokümantasyonu

Bir sistem analiz edilerek, veriler toplandıktan sonra kurulan model test edilerek geçerliliği kanıtlandıktan sonra model üzerinde çeşitli deneyler yapılarak gerekli analizler türetilir. Bu

aşamadan sonra yapılması gereken tüm projenin raporlanmasıdır. Genellikle tercih edilen yöntem yazılı raporlamadır. Bu belki de projenin en önemli safhasını oluşturur çünkü projenin kabul edilip edilmeme kararı verilirken baz alınacak nokta bu raporlar olacaktır.

Sonuçların proje sürecinde korunması da bir diğer konudur. Genellikle bu işlem dokümantasyon prosesi olarak adlandırılır. Bu safha nihai tavsiyeleri değil aynı zamanda modelin dokümantasyonunu ve analiz detaylarını içerir. Şu da bir gerçektir ki pek çok simülasyon projesi tamamlandıktan sonra bir daha kullanılmazlar. Ama bazı istisnalar da mevcuttur, ve zamanı geldiğinde yıllar önce yapılmış bir simülasyon modelinin bile incelenmesi gerekebilir. Dinamik sistemler zaman içerisinde sürekli değişim gösterse de temel işleyiş mantığı aynı kalmaktadır. Günümüzde en etkili ve maliyetsiz saklama yöntemi bilgisayar teknolojisini kullanmaktır. Modeller, spesifikasyonlar, data, analiz sonuçları ve raporlar elektronik ortamda uzun yıllar boyunca güvenli bir şekilde kolaylıkla saklanabilir.

2.10.9 Modelin Çoğaltılması ve Yayılması

Simülasyon projesi süresince analizcinin geliştirdiği simülasyon modelini süreç sahibi müşterileri ile paylaşması gerekmektedir. Bu iş için eğer müşteride Arena programının bir kopyası mevcut ise sadece modelin son halini içeren doe uzantılı model dosyasını göndermek yeterli olacaktır. Böylelikle müşteri istediği zaman modeli açabilir, inceleyebilir, işletebilir ve üzerinde değişiklikler yapabilir.

Arena ayrıca run-time mode özelliğine sahiptir. Arena Viewer programı müşterinin bilgisayarına yüklendiğinde müşteri doe uzantılı model dosyasını bilgisayarında çalıştırabilir, animasyonlarını görebilir, simülasyonun çıktılarına ulaşabilir fakat model üzerinde herhangi bir mantıksal değişiklik yapma imkanı yoktur. Herhangi bir modül ekleyip çıkartmasa da müşteri mevcut modeldeki parametreleri değiştirerek farklı senaryolar yaratabilir ve bunların sistem üzerindeki etkilerini inceleyebilir (Kelton vd., 2002).

3. SİMÜLASYONDA İSTATİSTİKSEL TEKNİKLER

3.1 Veri Toplanması ve Simülasyon İçin Girdi Analizi

Simülasyon projesinde modellenecek olan sistemin daha iyi bir şekilde anlaşılabilmesi için sistemle ilgili verilerin toplanması ve analizi hayati önem taşır. Veri toplama işlemi, modellenmesi düşünülen sistemin ne şekilde düzenlendiğinin ve nasıl işlediğinin kavramsal ve mantıksal bir ifadesidir. Bu kavramsal ifade bazen bir proses akış şeması, bazen bir rota kartı veya bir iş tanımı gibi çok farklı türlerde karşımıza çıkabilir. Veri toplama ve analizi safhası bir simülasyon projesinin en zorlu ve en uzun safhalarından birisidir. Bu süreci kolaylaştırmak için yapılması gereken şey, gerçekten proje için önem taşıyan bilgiye ulaşmak için çabalamak ve gereksiz bilgi yığınları içerisinde kaybolmamaya çalışmaktır. İşte tüm bu nedenlerden dolayı veri toplanması ve analizi safhası her tür bilginin toplanarak, sonradan ihtiyaçlar doğrultusunda sıralanması şeklinde düşünülebilecek gelişigüzel bir proses değildir.

Verinin sistematik bir şekilde, kurulacak olan modelin ihtiyaçları doğrultusunda toplanması gerekir. Veri toplama prosesi sırasında, ulaşılması gereken hedefler ve ihtiyaç düzeyleri daima göz önünde bulundurulmalıdır.

Tüm bu tavsiyeler ışığında, veri toplama safhasını daha verimli hale getirebilmek için faaliyetleri mantıksal bir sıraya sokmak, sarf edilen zamanı ve çabayı daha ekonomik olarak kullanmak için yararlı olacaktır. Veri toplama ve analizi sürecinde yapılacak olan faaliyetler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

Adım 1: Veri ihtiyaçlarının belirlenmesi.

Adım 2: Veri kaynaklarının belirlenmesi.

Adım 3: Verinin toplanması.

Adım 4: Gerekli görülen yerlerde tahmin yürütülmesi.

Adım 5: Verinin analiz edilmesi.

Adım 6: Verinin dokümantasyonu ve onaylanması (Harrell vd., 2000).

3.1.1 Veri İhtiyaçlarının Belirlenmesi

Veri toplama sürecindeki ilk aşama modeli kurmak üzere ihtiyaç duyulan datanın belirlenmesidir. Bu, ilk olarak simülasyon hedeflerine ulaşmak için modelin kapsamının ve detay düzeyinin belirlenmesi ile başlar.

Sistem datası üç kategori altında sınıflandırılabilir:

- (1) Yapısal Veri
- (2) Operasyonel Veri
- (3) Numerik Veri

3.1.1.1 Yapısal Veri

Yapısal veri sistemde modellenmesi düşünülen tüm nesneleri içerir. Gezen birimler (ürünler, parçalar, müşteriler vs.), kaynaklar (operatörler, makineler, işleme merkezleri vs.) ve yerleşim birimleri (bekleme alanları, iş istasyonları, vs.) sistem nesnelerine örnek olarak gösterilebilir. Yapısal veriler, sistem elemanlarına ait nitelikleri, yerleşim planlarını ve düzenlemeleri içerir. Sistem davranışını etkileyen tüm ilgili bileşenlere ait yapısal verilerin modele dahil edilmesi gerekir.

3.1.1.2 Operasyonel Veri

Operasyonel veriler sistemin işleyişini tanımlarlar. Sistem faaliyetlerinin ne zaman, nerede ve nasıl yapıldığını tanımlarlar. Operasyonel veriler, rota kartları, üretim çizelgeleri, arıza süreleri veya kaynak tahsisi gibi sistemin işleyişi ile ilgili mantıksal ve davranışsal verileri içerir. Eğer proses düzgün bir şekilde yapılandırılmış ve tam kontrol altında ise operasyonel bilgilere ulaşmak da kolay olmaktadır. Aksine, eğer sistem kesin kurallara dayanmayan informal bir yapı ile yönetiliyorsa operasyonel bilgilerin belirlenmesinde güçlüklerle karşılaşılacaktır. Simülasyonu yapılması düşünülen bir sistemde operasyonel politikaların, prosedürlerin ve kuralların sistematik olarak düzenlenmesi gerekir. Eğer kararlar ve elde edilen sonuçlar değişim gösteriyorsa, bu durumda da en azından bu değişim istatistiksel olarak, olasılık ifadeleri veya dağılımları kullanılarak ifade edilmelidir.

3.1.1.3 Numerik Veri

Numerik veri sistem hakkında sayısal bilgiler sunmaktadır. Kapasite, gezen birimlerin sisteme varış süreleri, faaliyet süreleri ve hatalar arası süreler numerik verilere örnek olarak gösterilebilir. Kaynak kapasiteleri ve çalışma saatleri gibi bazı numerik verilerin belirlenmesi kolaylıkla mümkünken, hatalar arası süreler veya ortalama olasılıkları gibi numerik verilerin belirlenmesinde güçlüklerle karşılaşılabilir. Özellikle incelenen sistem yeni bir sistem ise ve geçmiş performans değerlerine ait olan veriler henüz mevcut değil ise, geçerli ve güvenilir numerik verileri toplamak büyük bir sorun olacaktır. Numerik veriler toplanırken, toplanan sayısal değerlerin neyi ifade ettiğini ve neleri içerdiğini çok iyi anlamak gerekir. Örnek

vermek gerekirse, makine işleme süreleri toplanırken, toplanan sayısal değerlerin tezgah yükleme, tezgah boşaltma, takım ayarlama ve tezgah arıza sürelerini içerip içermediğinin açıkça belirtilmesi gerekir (Harrell vd., 2000).

3.1.2 Veri Kaynaklarının Belirlenmesi

Bir model kurulurken ihtiyaç duyulan tüm verilerin bir kaynaktan toplanabilmesi nadiren mümkündür. Bu yüzden model kurulurken ihtiyaç duyulan verilerin toplanmasında pek çok kaynağa başvurulur. Bu kaynaklardan bazıları, geçmiş raporlar, kişisel mülakatlar, gözlem ve tahminlerdir.

Uygun veri kaynaklarının seçilmesinde modellenecek olan sistemin gerçekte bulunup bulunmadığı belirleyici olmaktadır. Eğer modellenecek olan sistem gerçekte mevcut ise, sistem ile ilgili verilere ulaşmak daha kolay olacaktır. Sistemin gerçekte mevcut olmasının sağladığı bir diğer avantaj ise modelleyicinin ikincil kaynaklardan toplanan verilere daha az bağımlı olmasıdır. Çünkü, modelleyici gerçek sistemi yerinde inceleyerek faaliyetleri, ilişkileri ve etkileşimleri izleyebilme şansına sahiptir. Eğer modellenmesi düşünülen sistem gerçekte mevcut değilse tasarım verilerinden yararlanmak faydalı olacaktır. Bunun dışında eğer modellenecek olan sisteme benzerlik gösteren sistemler mevcut ise, bu sistemlere yapılacak ziyaretler ile faydalı veriler elde edilebilir.

Eldeki imkanlar çerçevesinde başvurulabilecek veri kaynaklarından bazıları şunlardır:

- *Geçmiş dönem kayıtları* – üretim, satış, hurda oranları, ekipman güvenilirliği raporları,
- *Sistem dokümantasyonu* – proses planları, yerleşim planları, iş prosedürleri,
- *Kişisel gözlem* – işletme gezisi, zaman etüdü, iş örnekleme,
- *Kişisel Mülakat* – işçilerle, bakım personeliyle, mühendislerle, yöneticilerle,
- *Benzer sistemlerle karşılaştırma* – şirket içindeki, endüstri içindeki, farklı endüstrilerdeki,
- *Yan sanayi incelemeleri* – proses süreleri, yeni makinelerin güvenilirliği,
- *Tasarım tahminleri* – proses süreleri, taşıma süreleri,
- *Bilimsel literatür* – daha önceden yapılmış araştırmalar, uygulamalar ve makaleler.

3.1.3 Verinin Toplanması

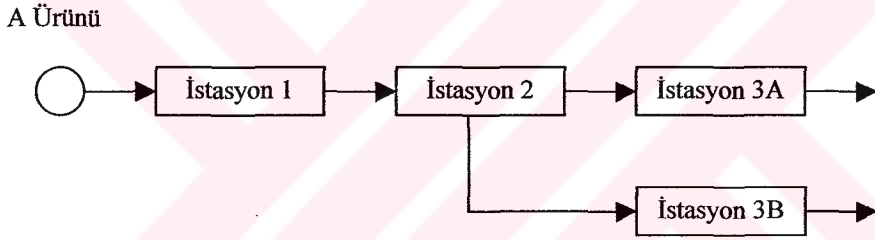
Veri toplanırken en uygun metodoloji, genelden özele doğru gitmektir. Uygulamada, veri toplama süreci simülasyon projesi boyunca devam eder. Simülasyon projesinde hedeflerin değişmesiyle, yeni verilere ihtiyaç duyulabilir. Veri kullanıma hazır hale getirilirken üç adımdan meydana gelen aşağıdaki sıra takip edilmelidir.

1. Gezen birimlerin sistem içerisindeki akışlarının tanımlanması,
2. Operasyonun tanımının yapılması,
3. Rastlantısal olarak gerçekleşen olayların belirlenmesi.

3.1.3.1 Gezen Birimlerin Sistem İçerisindeki Akışlarının Tanımlanması

Veri toplanırken odaklanması gereken ilk konu gezen birimlerin sistem içerisindeki akışlarının tanımlanmasıdır. Bu sistemin iskelet yapısını ortaya koymada oldukça yararlı olacaktır. Sistem içerisindeki gezen birimlerin akışları gösterilirken yerleşim planı üzerindeki fiziksel akış kullanılabileceği gibi gezen birim akış diyagramından da faydalanılabilir.

Gezen birim akış diyagramı, proses akış diyagramına göre biraz farklılık göstermektedir. Proses akış diyagramı, gezen birimlerin hangi işlemlerden hangi sıra ile geçtiğini tanımlayan sisteme ait bir mantıksal faaliyetler dizisidir. Fakat proses akış diyagramı gezen birimlerin nerelerde işleme tabi tutulduğunu göstermez.



Şekil 3.1 Temsili bir gezen birim akış şeması (Harrell vd., 2000)

Gezen birim akış şeması ise bir rota kartından da öte gezen birimlerin bir konumdan bir diğer konuma fiziksel hareketlerini detaylı bir şekilde gösterir. Akış diyagramlarının anlaşılması kolaydır ve herkesin sistemi aynı şekilde algılayabilmesine ve yorumlayabilmesine olanak sağlar. Gezen birim akış şemaları oldukça esnektir. Arzu edildiği takdirde, faaliyet süreleri ve kaynak isimleri de bu şemalara dahil edilebilir (Harrell vd., 2000).

3.1.3.2 Operasyonun Tanımının Yapılması

Gezen birim akış şeması oluşturulduktan sonra sistem içerisinde gezen birimlerin ne şekilde proses edildiğinin açıklanması için operasyon tanımlarının yapılması gerekir. Operasyon tanımları yazılırken düzyazı formu kullanılabileceği gibi tablo şeklinde bir ifade yöntemi de tercih edilebilir. Hangi form tipi seçilirse seçilsin operasyon tanımı yazılırken üzerinde durulması gereken konular şunlardır:

- Belirli bir faaliyet veya operasyon için ihtiyaç duyulan zaman ve kaynak,
- Gezen birimlerin bir sonraki operasyon için nereye, ne zaman ve hangi miktarda gidecekleri,
- Gezen birimlerin bir sonraki konuma taşınmaları için ihtiyaç duyulan zaman ve kaynak.

3.1.3.3 Rastlantısal Olarak Gerçekleşen Olayların Belirlenmesi

Modelin temel yapısı kurulduğunda ve test edildiğinde, arıza süreleri, hazırlık süreleri ya da iş öncelikleri gibi detayların modele eklenmesine geçilebilir. Sistemde, rastlantısal olarak gerçekleşen olaylar, temelde modelin işletilmesinde veya gezen birimlerin sistem içindeki akışlarında büyük farklılıklar yaratmıyor gibi görünse de eksiksiz, doğru ve güvenilir bir model kurabilmek için modele mutlaka dahil edilmelidir. Sistem içerisindeki rastlantısal olaylar belirlendikten sonra istatistiksel örnekleme ve dağılıma uydurma teknikleri kullanılarak rastlantısal etkiler modele dahil edilmelidir (Pegden vd., 1990).

3.1.4 Gerekli Görülen Yerlerde Tahmin Yürütülmesi

Bir simülasyon modeli yanlış data ile çalışabilir fakat eksik data ile çalışmaz. Veri toplama safhasına geçildikten sonra sıklıkla karşılaşılan problemlerden birisi de, bir takım verilere ulaşmada yaşanan zorluklar veya toplanan verinin güvenilirliğine duyulan şüphe. Yanlış ve güvenilir olmayan verilerin kullanılması, simülasyon sonucunda analizciyi yanlış kararlara yönlendirecektir. Sistemin gerçekte mevcut olmayan yeni tasarımların modellenmesi sırasında doğru ve güvenilir verilere ulaşmak pek mümkün değildir. Güvenilirliği kanıtlanmayan verilere dayanan simülasyon modellerinin geçerliliğinden söz etmek mümkün değildir. Simülasyon gelecekte karşılaşılmaması muhtemel durumların önceden analiz edilebilmesi için uygulanır, gelecekteki sistem durumuna ait belirsizliklerin modellenebilmesi için eksik veya güvenilir olmayan bilgilerin yerine tahmin ve varsayımlardan faydalanılır.

Tahminler ve varsayımlar yapılırken simülasyon modelinin geçerliliğini tehlikeye atmamaya özen gösterilmelidir. Yapılan varsayım ve tahminlerin model çıktısı üzerindeki etkisinin önceden kabul edilen güven aralığı içerisinde kalması modelin geçerliliğinin korunmasında bir ön koşuldur. Yapılan varsayım ve kabullerin modelin geçerliliği üzerindeki etkisinin incelenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi de hassasiyet analizidir. Hassasiyet analizi ile varsayım ve kabullerle modele dahil edilen girdi değişkenlerinde keyfi değişimler yaratarak bunların model performansı üzerindeki potansiyel etkileri gözlemlenebilir (Harrell vd., 2000).

3.1.5 Simülasyon İçin Girdi Analizi

Bir simülasyon modelinin çalışır hale getirilebilmesi için pek çok detayın eksiksiz bir şekilde tanımlanması gerekir. İlk olarak düşünülmesi gereken modelin mantıksal işleyiştir. Gezen birimlerin ve kaynakların neler olduğu, gezen birimlerin sisteme nasıl geldiği ve proses tamamlandıktan sonra sistemi nasıl terk ettiği, hangi kaynakları kullandığı ve hangi proses adımlarını takip ettiği gibi, sistemin temel işleyiş mantığını tanımlayan konular, yapısal modelleme faaliyeti olarak adlandırılır.

Sistemin temel işleyiş mantığını tanımlayan bu yapısal modelleme faaliyetlerinin dışında modelde bir de sayısal ve matematiksel ifadeler yer alır. Örneğin A-tipi bir parçanın sisteme ardışık gelişleri arasında geçen süre ortalaması 5 dakika olan üssel dağılıma uymaktadır, şeklindeki bir ifadeyi türetmek için yapılan faaliyetler kantitatif modelleme olarak adlandırılır ve simülasyon için en az yapısal modelleme kadar önemlidir.

Simülasyon projesi için veriler toplandıktan sonra bu verilerin modelde kullanılabilir hale dönüştürülmesi gerekir. Toplanan verilerin rafine edilerek sayısal ve matematiksel ifadelere dönüştürülerek simülasyon modelinde kullanılabilir hale getirilmesine girdi analizi denir. Simülasyon modelleri iki şekilde işletilebilir. Bunlardan ilki, geçmiş sistem performansına ilişkin toplanan verilerin bir dosya ile modele entegre edilmesi ve simülasyon modelinin gerçek sistemden elde edilen gerçek veriler ile çalıştırılmasıdır. Gerçek sistem verilerinin kullanılmasının en büyük avantajlarından birisi modelin doğrulanması sürecinin kolaylaşmasıdır. Fakat uzun simülasyon koşum zamanları için modeli kesintisiz çalıştırabilecek kadar çok veriyi toplamak çoğu zaman mümkün değildir. Bunun yanında modellenecek olan sistem her zaman gerçekte bulunmayabilir. İşte tüm bu nedenlerden ötürü, simülasyon modellerinin çoğunda, sayısal ve matematiksel ifadelerin tanımlanmasında istatistiksel olasılık dağılımlarından faydalanılır. Toplanan verilerin istatistiksel testlere tabi tutularak, dağılımlara uygunluklarının belirlenmesine simülasyonda girdi analizi denir.

Günümüzde, geliştirilen simülasyon paket programlarının birçoğu girdi analizi yapabilen yazılımlar içermektedir. Arena – Input Analyzer, ProModel – Stat::Fit ve BestFit gibi pek çok yazılım girdi analizi sürecinde modelleyicilere büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Tezin bu bölümünde, değişim gösteren sayısal niceliklere ait gözlem değerlerinin olasılık dağılımlarına uydurulmasında Arena – Input Analyzer programında yapılan örnek bir çalışma üzerinde durulacaktır.

3.1.5.1 Deterministik ve Rassal Girdiler

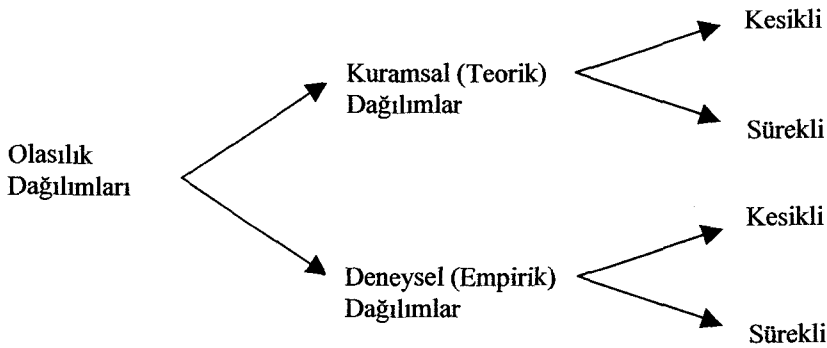
Kantitatif modellemenin temel kararlarından birisi de simülasyon girdileri için deterministik değerlerin mi yoksa olasılık dağılımlarıyla temsil edilen rassal değişkenlerin mi kullanılacağıdır. Bazı durumlarda bu kararı vermek oldukça kolay olmaktadır. Örneğin, istihdam edilecek tamirci sayısının optimal sayısı belirlenmek isteniyor ise, tamirci sayısının deterministik bir değer ile modellenmesi makul olacaktır. Deterministik değer değiştirilerek farklı senaryolara ait performanslar karşılaştırılarak optimal tamirci sayısı belirlenebilir.

Simülasyon modeli kurulurken rassal olmayan girdiler kullanılması simülasyon işletildiğinde rassal olmayan sonuçlar üretecektir. Fakat, tüm girdi değerlerinin deterministik olarak ifade edilmesi, modeli gerçek sistem davranışını doğru bir şekilde temsil etmekten uzaklaştırabilir ve modelin geçerliliğini tehlikeye düşürebilir. Bu yüzden sistemde rassallık gösteren değişimlerin belirlenerek olasılık fonksiyonları cinsinden tanımlandıktan sonra modele dahil edilmesi gerekir (Kelton vd, 2002).

3.1.5.2 Input Analyzer ile Girdi Değerlerinin Olasılık Dağılımlarına Uydurulması

Mevcut data değerlerinin Input Anayzer kullanılarak olasılık dağılımlarına uydurulmasına karar verildiğinde, iki alternatif yöntem seçilebilir. Eldeki data değerleri seçilen bir olasılık dağılımı için uygun parametreler cinsinden ifade edilebilir ya da mevcut data değerlerinin tüm olasılık dağılımları için uygunluğu test edilebilir ve sonuçlara göre datayı en iyi temsil edecek olan olasılık dağılımı seçilebilir.

Olasılık dağılımları aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.



Şekil 3.2 Olasılık dağılımlarının sınıflandırılması (Kelton vd., 2002)

Gamma veya eksponansiyel dağılım gibi teorik dağılımların tümü matematiksel ifadeler kullanılarak türetilirler. Empirik dağılımlar ise eldeki datanın belirli gruplara ayrılarak her bir

grup içerisindeki değerlerin olasılıklarının hesaplanmasına dayanırlar. Gerek empirik dağılımlar gerekse de teorik dağılımlar kendi içlerinde kesikli ve sürekli dağılımlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Arena programının model kurarken desteklediği sürekli teorik dağılımlar, üssel dağılım, üçgen dağılım, weibull dağılımı, beta dağılımı, erlang dağılımı, gamma dağılımı, lognormal dağılımı, uniform dağılım ve normal dağılımdır. Bu dağılımların sürekli dağılımlar olarak adlandırılmasının nedeni, her reel sayı değerini alabilmeleridir. Bu dağılımlar simülasyon modellerinde genellikle zamana bağlı değişimlerin temsil edilmesinde kullanılır. Poisson dağılımı kesikli bir teorik dağılımdır ve sadece tam sayılı değerler üretir. Poisson dağılımı genellikle, belirli bir zaman aralığında meydana gelen olayların sayısını temsil etmek üzere kullanılır.

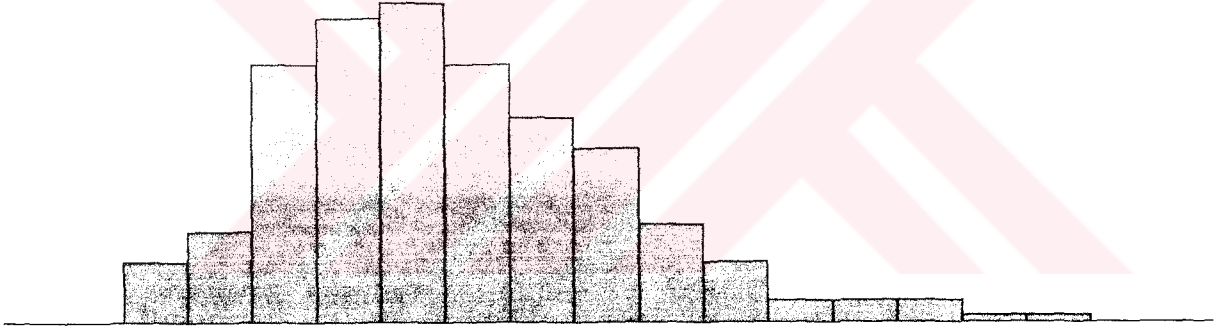
Girdi datalarını istatistiksel olarak ifade etmek üzere kesikli veya sürekli empirik dağılımlardan birisi de kullanılabilir. Empirik dağılımlar kullanıldığında eldeki verilerden oluşturulan alt gruplardaki her bir değer olasılığı bir histogram üzerinde gösterilir. Kesikli empirik dağılım kullanıldığında alt gruplardaki olasılık değerlerine göre tamsayı değer, sürekli empirik dağılım kullanıldığında da reel sayı değerleri türetilir.

Input Analyzer programında hem empirik hem de teorik dağılımların uygulanması mümkündür. Fakat, mevcut data için empirik dağılımların mı yoksa teorik dağılımların mı tercih edilmesi gerektiğinin belirlenmesinde standart bir kural yoktur. Genellikle, eğer toplanan verilerin histogramı yaklaşık olarak üniform bir yapıdaysa, tek bir tepe formasyonuna sahip ise ve histogramdaki hücreler arasında büyük boşluklar bulunmuyor ise, teorik dağılımlardan birinin seçilmesi daha uygun olacaktır. Eğer, histogramda belirli değerlerde belirgin bir kümeleşme gözleniyorsa, değerlerde uç sapmalar mevcutsa ya da histogram birden çok tepe formasyonuna sahipse, empirik dağılımların kullanılması eldeki data yapısının temsil edilmesinde daha güvenilir sonuçlar doğuracaktır (Kelton vd., 2002).

Aşağıda, 252 adet temsili gözlem değerinin Input Analyzer programı ile yapılmış analiz sonuçları bulunmaktadır. Verilerin tüm olasılık dağılımlarına uygunluğu test edilmiştir. Yapılan testler neticesinde verileri en iyi temsil edecek dağılımın $3 + \text{ERLA}(0.861, 4)$ parametreleri ile Erlang dağılımı olduğu tespit edilmiştir. Ortalama hatanın karesi Erlang dağılımı tercih edildiğinde 0.00128 olmaktadır. Empirik dağılım ve üçgen dağılım için test istatistikleri aşağıda belirtilmiştir.

Çizelge 3.1 252 adet temsili gözlem değeri

6.1	9.4	8.1	3.2	6.5	7.2	7.8	4.9	3.5	6.6	6.1	5.1	4.9	4.2
6.4	8.1	6.0	8.2	6.8	5.9	5.2	8.6	3.8	4.5	7.0	4.7	5.5	5.1
6.5	5.4	5.9	9.3	5.4	6.5	7.4	7.3	3.9	4.8	10.6	8.8	7.3	7.6
6.0	12.6	6.8	5.6	5.8	6.2	5.6	6.4	9.5	7.2	5.6	4.7	4.5	7.0
7.7	6.9	5.4	6.3	8.1	4.9	5.3	5.0	4.7	5.7	4.9	5.3	6.4	7.5
4.4	4.9	7.6	3.6	8.3	5.6	6.2	5.0	5.8	6.3	6.6	7.5	5.8	6.5
7.4	5.2	5.0	6.5	8.0	6.2	5.0	4.8	6.2	4.9	3.8	3.4	4.0	6.0
7.0	7.7	4.7	5.0	6.0	9.0	5.7	7.1	5.0	5.6	12.1	4.2	5.6	6.8
4.9	7.8	7.1	7.1	11.5	5.4	5.2	11.3	5.2	7.0	9.6	8.4	4.1	4.2
6.1	6.8	5.4	3.5	7.1	5.7	5.4	10.8	10.3	9.8	5.8	3.4	11.1	4.7
5.7	6.1	4.2	8.8	7.4	5.5	8.0	4.7	5.3	6.7	9.3	9.2	8.7	3.9
5.3	5.9	5.2	6.4	4.5	5.1	5.6	6.1	8.1	7.9	9.1	6.3	6.8	8.0
8.1	8.1	5.1	8.3	7.5	7.6	10.9	6.5	9.0	5.9	6.8	9.0	6.5	6.0
5.8	5.0	6.4	4.7	4.5	6.2	5.2	7.9	5.5	4.9	7.2	4.9	4.5	6.0
6.3	8.3	5.5	7.8	5.4	5.3	6.6	3.6	7.3	5.3	8.9	6.8	7.1	8.7
6.4	3.3	7.0	7.7	6.7	7.6	7.6	7.1	5.6	5.9	4.1	7.5	7.7	5.4
4.8	5.5	8.8	7.2	6.3	10.0	4.3	4.9	5.7	5.1	6.7	6.0	5.6	7.2
7.0	7.8	6.3	6.1	8.4	9.0	9.1	4.7	7.2	6.2	5.5	5.7	5.9	6.6



Şekil 3.3 Temsili gözlem değerlerine ait histogram

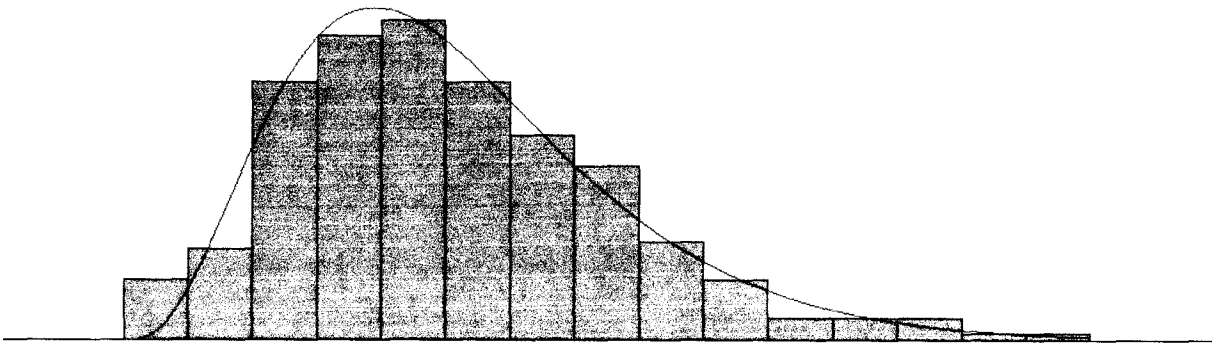
Çizelge 3.2 Temsili gözlem değerlerine ait istatistikler

Data Summary

Number of Data Points	= 252
Min Data Value	= 3.2
Max Data Value	= 12.6
Sample Mean	= 6.45
Sample Std Dev	= 1.72

Histogram Summary

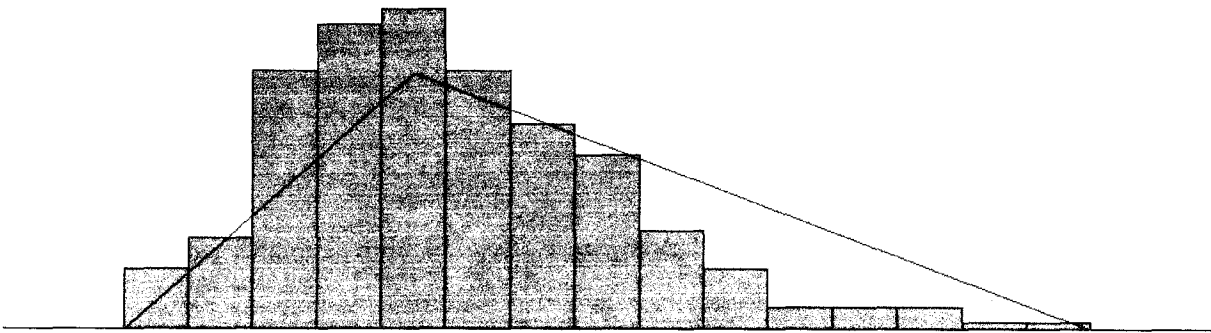
Histogram Range	= 3 to 13
Number of Intervals	= 15



Şekil 3.4 Temsili gözlem değerlerinin Erlang dağılımına uydurulmuş hali

Çizelge 3.3 Erlang dağılımına uydurulmuş temsili gözlem değerlerine ait istatistikler

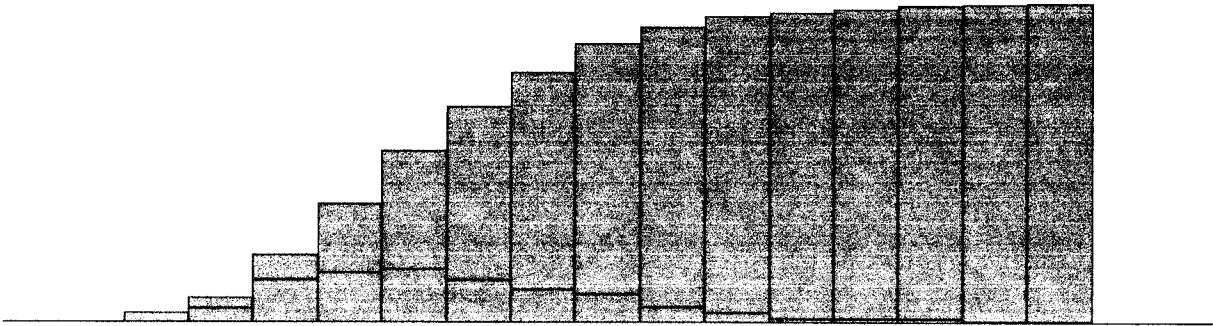
Distribution Summary	
Distribution:	Erlang
Expression:	3 + ERLA(0.861, 4)
Square Error:	0.001285
Chi Square Test	
Number of intervals	= 9
Degrees of freedom	= 6
Test Statistic	= 1.73
Corresponding p-value	> 0.75
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.035
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 252
Min Data Value	= 3.2
Max Data Value	= 12.6
Sample Mean	= 6.45
Sample Std Dev	= 1.72
Histogram Summary	
Histogram Range	= 3 to 13
Number of Intervals	= 15



Şekil 3.5 Temsili gözlem değerlerinin Triangular dağılımına uydurulmuş hali

Çizelge 3.4 Üçgen dağılıma uydurulmuş temsili gözlem değerlerine ait istatistikler

Distribution Summary	
Distribution:	Triangular
Expression:	TRIA(3, 6, 13)
Square Error:	0.014881
Chi Square Test	
Number of intervals	= 12
Degrees of freedom	= 10
Test Statistic	= 60.5
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.19
Corresponding p-value	< 0.01
Data Summary	
Number of Data Points	= 252
Min Data Value	= 3.2
Max Data Value	= 12.6
Sample Mean	= 6.45
Sample Std Dev	= 1.72
Histogram Summary	
Histogram Range	= 3 to 13
Number of Intervals	= 15



Şekil 3.6 Temsili gözlem değerlerinin Empirik dağılımına uydurulmuş hali

Çizelge 3.5 Empirik dağılıma uydurulmuş temsili gözlem değerlerine ait istatistikler

Distribution Summary		
Distribution:	Empirical	
Expression:	CONT or DISC	(0.000, 3.000, 0.032, 3.667, 0.079, 4.333, 0.214, 5.000, 0.373, 5.667, 0.540, 6.333, 0.675, 7.000, 0.782, 7.667, 0.873, 8.333, 0.925, 9.000, 0.956, 9.667, 0.968, 10.333, 0.980, 11.000, 0.992, 11.667, 0.996, 12.333, 0.996, 13.000)
Data Summary		
Number of Data Points	= 252	
Min Data Value	= 3.2	
Max Data Value	= 12.6	
Sample Mean	= 6.45	
Sample Std Dev	= 1.72	
Histogram Summary		
Histogram Range	= 3 to 13	
Number of Intervals	= 15	

Çizelge 3.6 Tüm dağılımlar için temsili gözlem değerlerine ait istatistikler

Fit All Summary	
Function	Sq Error
Erlang	0.00128
Gamma	0.00168
Weibull	0.00192
Beta	0.00274
Normal	0.00517
Lognormal	0.00539
Triangular	0.0149
Uniform	0.0499
Exponential	0.0516

Verilerin olasılık dağılımlarına uygunlukları kıyaslanırken en önemli değerlendirme kriteri ortalama hatanın karesidir. Ortalama hatanın karesi, histogramın her bir hücresi için gözlem değerlerinin nispi frekanslarının seçilen olasılık dağılım fonksiyonun nispi frekans değerinden çıkartılarak, kareleri alındıktan sonra hücre data aralığına bölünmesiyle hesaplanır. Her bir hücre için hesaplanan hata değerlerinin ortalaması alındıktan sonra ortalama hatanın karesine ulaşılır. Ortalama hatanın karesi değeri ne kadar büyükse seçilen olasılık dağılımı gözlem değerlerini başarıyla temsil etmekten o kadar uzaktır.

Verilerin olasılık dağılımlarına uygunlukları kıyaslanırken kullanılan değerlendirme kriterlerinden bir diğeri de chi-square ve Kolmogorov-Smirnov (K-S) hipotez testleridir. Bu testler bir teorik olasılık dağılımının eldeki verilere ne ölçüde uyduğunun değerlendirilmesinde kullanılır. Chi-square ve Kolmogorov-Smirnov (K-S) hipotez testlerinin sonuçlarını değerlendirmede *p-değeri* kullanılır. *p-değeri* her zaman 0 ve 1 arasında bir değer alır. *p-değeri* büyük değerler aldıkça seçilen olasılık dağılımının eldeki verilere uygunluğu artacaktır. 0.05 den daha küçük bir *p-değeri*, seçilen olasılık dağılımın eldeki verileri başarıyla temsil etmekten uzak olduğunu gösterir. Bir olasılık dağılımının uygunluğunun test edilmesinde farklı hipotez testleri kullanıldığında farklı sonuçlar elde edilebilir. Bu yüzden sadece bir tek kriteri göz önünde bulundurarak karar vermek doğru değildir. 0.10'dan daha düşük *p-değeri* için data karakteristiğini daha iyi yakalamak adına empirik dağılımlar kullanılabilir. Elimizde yeterince fazla veri bulunmadığı durumlarda hipotez testleri belirleyici olma özelliklerini yitirirler (Kelton vd., 2002).

3.1.5.3 Data Olmadığı Durumlarda Uygun Olasılık Dağılımının Belirlenmesi

Bazı durumlarda, simülasyon girdi modellemesinde kullanılacak olan güvenilir verilere ulaşmak mümkün olmayabilir. Bu, incelenecek olan sistemin gerçekte bulunmaması, veri toplama prosesinin çok maliyetli ya da tahribatlı olması veya üst yönetim desteğinin ve işbirliğinin sağlanamaması gibi pek çok nedenden kaynaklanabilir. Girdi modellemesinde kullanılacak yeterli güvenilir data mevcut değilse bazı keyfi kabul ve varsayımlarda bulunmak kaçınılmaz olmaktadır.

İlk olarak yapılması gereken deterministik ve stokastik girdilerin belirlenmesidir. Olasılık değerleri, faaliyet parametreleri, işçi sayıları, makine sayıları veya fiziksel yerleşim planı ile ilgili karakteristikler için sabit deterministik bir değer seçilebilir. Deterministik olarak belirlenen değer için yapılan hassasiyet analizleri seçilen değer için olası sistem performansını ne ölçüde etkilediğinin anlaşılmasında faydalı olacaktır. Eğer deterministik olarak belirlenen değer için sistem performansı üzerinde belirleyici bir etki yarattığı gözlemlenirse, hassasiyet analizi alt ve üst değerler için de tekrarlanmalı ve en uygun deterministik değer belirlenmelidir.

Eğer zaman fonksiyonunu içeren bir data ile ilgili bir varsayımda bulunulacak ise, faaliyetin değişkenliğini temsil etmek üzere bir olasılık dağılım fonksiyonunun belirlenmesi yerinde olacaktır. Hangi olasılık dağılım fonksiyonunun seçileceği faaliyetin türüne ve ilgili datanın formuna bağlı olarak belirlenir. Bir olasılık dağılımını seçildiğinde, dağılıma ait parametre değerleri için ilgili varsayımların ve prosesteki değişkenlik ile ilgili değerlendirmelerin de belirlenmesi gerekir.

Empirik datanın mevcut olmadığı durumlarda uygun dağılımın belirlenmesi gerekiyorsa, ilk olarak eksponansiyel, üçgen, normal ve uniform dağılımların göz önünde bulundurulması gerekir. Çünkü bu dağılımlara ait olan parametrelerin anlaşılması, yorumlanması ve kullanılması nispeten daha kolaydır.

Eğer faaliyet sürelerinin birbirinden bağımsız olarak değişmesi bekleniyorsa, tahmin değerlerinin ortalaması çok yüksek değilse ve faaliyet süreleri çok değişkenlik gösteriyorsa bu durumda eksponansiyel dağılımın tercih edilmesi uygun olabilir. Eksponansiyel dağılım özellikle, bir restorana müşterilerin geliş süreleri veya malzemelerin depodan çekiş süreleri gibi faaliyetler arası sürelerin modellenmesinde kullanılır (Harrell vd., 2000).

Çizelge 3.7 Data olmadığı durumlarda yaygın olarak kullanılan olasılık dağılımları

Dağılım	Parametreler	Karakteristikler	Örnek kullanım alanı
Eksponansiyel	Ortalama	Yüksek varyans Sol taraftan sınırlandırılmış Sağ taraftan sınırlandırılmamış	Gelişler arası süre Makine arıza süresi
Üçgen	Min, Mod, Max	Simetrik veya non-simetrik Her iki taraftan sınırlandırılmış	Faaliyet süreleri
Uniform	Min, Max	Tüm değerler eşit olasılıkta Her iki taraftan sınırlandırılmış	Proses ile ilgili yeterince bilgi yoksa

Eğer faaliyet süreleri büyük çoğunlukla bir değerde meydana geliyor ve bu değer etrafında değişim gösteriyorsa bu durumda üçgen dağılımın tercih edilmesi uygun olacaktır. Üçgen dağılım minimum değer, mod ve maksimum değer parametreleri ile tanımlanır ve anlaşılması nispeten daha kolaydır. Gerçek proseslerde faaliyet süreleri genellikle en sık tekrarlanan değer etrafında non-simetrik bir yapısal dağılım gösterirler. Üçgen dağılım bu noktada, gerçeğe oldukça yakın sonuçlar üretebilir. Üçgen dağılımın bir diğer avantajı da her iki yönden sınırlandırılmış olmasıdır. Üçgen dağılım, hiçbir zaman minimum değerinden düşük ve maksimum değerinden büyük bir değer alamaz.

Gerçek hayatta karşılaşılan pek çok olayın tanımlanmasında normal dağılım kullanılsa da, elde mevcut datanın olmadığı durumlarda normal dağılım kullanmak pek doğru değildir. Hepimizin bildiği gibi, normal dağılım çan eğrisi formunda, simetrik ve her iki taraftan da sınırlandırılmamış bir dağılımdır. Faaliyet sürelerinin normal dağılım kullanılarak modellenmesi şaşırtıcı olabilir. Çünkü normal dağılım negatif değerler de üretebilir ve faaliyet süresinin negatif bir değer ile tanımlanması düşünülemez. Diğer taraftan normal dağılım her iki taraftan da sınırlandırılmamış olduğundan ekstrem büyüklükteki değerler üretebilir ve modelin geçerliliğini tehlikeye düşürebilir (Kelton vd., 2002).

3.1.6 Verinin Dokümantasyonu ve Onaylanması

Simülasyon modeli için tüm gerekli data toplanıp, analiz edilerek, kullanışlı hale getirildikten sonra, tablo, liste ve diyagramlar vasıtasıyla sonuçların dokümantasyonu yapılmalıdır. Dokümantasyon sırasında veri kaynakları da açık bir şekilde belirtilmelidir. Yapılan kabul ve varsayımların geçerliliklerinin kabul edilmesi için dokümantasyonu yapılan datanın onaylanması gerekir. Hazırlanan dokümanlar, sonradan model üzerinde yapılacak

modifikasyonların sonuçlarının analiz edilmesinde veya simülasyon sonuçları ile gerçek sistem performansı arasındaki sapmaların nedenlerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

Modelin kurulması safhasında kullanılan data ve kaynakları belirtilirken, ihmal edilen veya gereksiz görülerek modele dahil edilmeyen verilerin de ayrıntılı bir şekilde tanımlanması gerekir. Örneğin, eğer mola süreleri modele dahil edilmediyse, bunun nedenlerinin de dokümantasyonda açıklanması gerekir. Modele dahil edilmeyen faaliyetlerin nedenleriyle birlikte ayrıntılı bir şekilde tanımlanması, daha sonradan modelin geçerliliği ile ilgili sorulabilecek sorulara cevap getirecektir (Harrell vd., 2000).

3.2 Rassal Sayı Üretimi

Stokastik simülasyonun temelinde rassal sayı üretimi ve kullanımı yatar. Simülasyon çalışmalarının pek çoğunda olaylar rassal olarak meydana gelir. İşlem süreleri, makine arıza süreleri veya taşıma süreleri gibi sistemdeki çeşitli rassal davranışların simülasyon modeline aktarılması gerekmektedir. Bu da sistem davranışını temsil etmek üzere rassal sayıların üretilmesi ile mümkündür. Günlük hayatta verdiğimiz kararların pek çoğu non-deterministik bir yapıya sahiptir ve aldığımız kararlarda probablistik etkileşimlerin fonksiyonu büyüktür.

Başarılı bir simülasyon çalışması için sadece modelin iyi bir şekilde kurulması yeterli değildir. Stokastik (random) girdi kullanılan simülasyon modelleri çalıştırıldığında elde edilen çıktı değerleri de rassal olacaktır. Dolayısıyla, stokastik bir model kurulurken simülasyon girdi değişkenlerinde bu rassallığın ne şekilde sağlandığının ve ifade edildiğinin derinlemesine araştırılması gerekir. Bu, simülasyon sonuçlarındaki rassallığın yorumlanmasında da faydalı olacaktır (Pooch ve Wall, 1993).

Rassal sayı üreticilerinin görevi, 0 ile 1 değerleri arasındaki bir sürekli uniform dağılımına uygun olarak birbirinden bağımsız bir sayılar zinciri üretmektir. Simülasyon terminolojisinde bu tip sayılar rassal sayılar olarak adlandırılır. Üretilen rassal sayılar daha sonra sistem davranışını en iyi şekilde temsil ettikleri kanıtlanan çeşitli olasılık dağılım fonksiyonlarına uydurulurlar. Bilgisayar ile rassal sayı üretimi için geliştirilen metotların tümü kendini tekrarlayan bir algoritmaya dayanır bu nedenle rassal sayı zinciri, uzunluğuna bağlı olarak kendisini zaman içerisinde çeşitli aralıklarla aynı sıra ile tekrarlar. Bu nedenle, bu tip sayılar sözde rassal sayılar olarak adlandırılır. Burada en ideali, en uzun çevrim süresine sahip olan rassal sayı zincirini üreten algoritmayı seçmektir (Halaç, 1998).

İdeal bir rassal sayı üreticiden beklenen özellikler, mümkün olduğu kadar uniform dağılıma uygun olarak birbirinden bağımsız sayılar üretmesi ve uzun bir periyoda sahip olmasıdır.

Rassal sayı üretiminde kullanılan pek çok yöntem ve algoritma mevcuttur. Simülasyon yazılımlarının pek çoğunda yaygın olarak kullanılan algoritma lineer uygunlaştırma üreticidir (LCG).

LCG (Linear Congruential Generator) tipi rassal sayı üreticinde kullanılan algoritma ve çalışma şekli aşağıdaki gibidir.

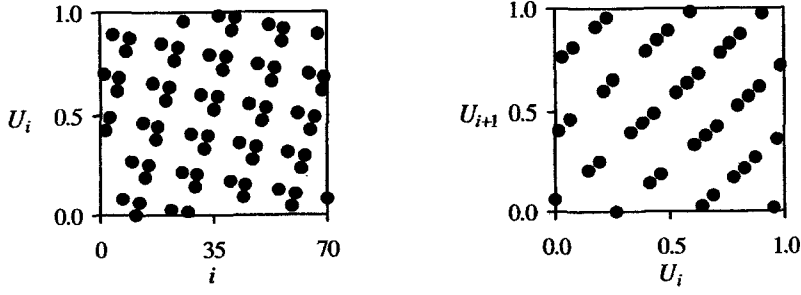
$$Z_i = (aZ_{i-1} + c) \bmod m \quad (3.1)$$

Burada, m , a ve c birer sabit sayı olup kuramsal ve deneysel ifadelerden türetilirler. Algoritmadaki m , a ve c sabitlerinin doğru olarak seçilmesi rassal sayı üreticinin sağlıklı bir şekilde işleyebilmesi için büyük önem taşımaktadır. Algoritma çalıştırıldığında $Z_1, Z_2, Z_3, \dots$ gibi tam sayı değerleri üretilir. Tüm rassal sayı üreticileri gibi LCG de Z_0 gibi bir keyfi başlangıç değeri seçilerek çalıştırılır. Algoritma tam sayı ifadenin m ile bölümünden kalan artık kısmı vereceğinden bu değer her zaman için 0 ile $m-1$ arasında olacaktır. Görüldüğü gibi bu algoritma ile üretilen Z_i tam sayı değerleri bizim arzu ettiğimiz 0 ile 1 arasındaki bir üniform dağılıma uymamaktadır. Bu nedenle;

$$U_i = \frac{Z_i}{m} \quad (3.2)$$

formülü kullanılarak Z_i tam sayı değerlerinin 0 ile 1 arasındaki üniform dağılıma çevrilmesi gerekir. Bu yöntemle, $U_1, U_2, U_3, \dots$ gibi simülasyonda kullanılabilir sözde rassal sayılar üretilebilir. Rassal sayı üreticinin çevrim uzunluğu m , a ve c sabitleri için seçilen değerlere bağlı olarak değişmektedir. LCG algoritmasında sabitler için uygun değerler seçilerek çevrim uzunluğu $2^{31} - 1 = 2,147,483,647$ sayıya kadar arttırılabilir. 2.1 milyar sayılık çevrim uzunluğu yeterli gibi görünse de günümüzün hızla gelişen bilgisayar teknolojisinde bu rassal sayıların tüketilmesi bilgisayar donanım özelliklerine ve simülasyon modelinin yapısına bağlı olarak birkaç dakika ile birkaç saat arasında değişim göstermektedir. Bu nedenle uzun simülasyon koşumları için kullanılabilecek daha büyük çevrim uzunluğuna sahip rassal sayı üreticileri geliştirilmiştir (Kelton vd, 2002).

Örnek olarak $m=63$, $a=22$, $c=4$ ve $Z_0=19$ değerleri için iki boyutlu LCG kafes yapısı aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.7 İki boyutlu LCG kafes yapısı (Kelton vd., 2002)

Soldaki grafikte üretim sıralarına göre rassal sayıların dağılımı görülmektedir. Şekilden de kolaylıkla anlaşılabileceği gibi rassal sayıların dağılımında belirgin bir düzenlilik görülmektedir. Sağdaki grafikte ise (U_i, U_{i+1}) rassal sayı çiftlerinin çevrim periyodunun tümünde gösterdikleri dağılım izlenebilir. İdeal bir rassal sayı üreticinin iki boyutlu kafes yapısı incelendiğinde noktaların birim kareye gelişigüzel bir şekilde uniform dağılıma uygun olarak dağıldıkları görülür. Eğer noktalar aşırı kümeleşme gösterirse veya grafikte büyük boşluklar mevcut ise incelenen rassal sayı üreticinin başarılı olduğundan söz etmek mümkün değildir.

Arena simülasyon programının ilk sürümlerinde LCG algoritması için $m=2^{31}-1$, $a=7^5$ ve $c=0$ olarak seçilmiştir ve $m-1= 2.1$ milyar sayılık bir çevrim uzunluğuna erişilmiştir. Fakat, bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerlemeye paralel olarak daha uzun çevrim periyoduna sahip rassal sayı üreticilerine gereksinim duyulmuştur. Arena simülasyon programının yeni sürümlerinde de geliştirilmiş bir LCG tipi olan birleşik çoklu rassal sayı üretici (combined multiple recursive generator - CMRG) kullanılmıştır. CMRG birbirinden farklı iki algoritmanın birleştirilerek çalıştırılması prensibine dayanır. Aynı anda birbirine paralel olarak çalışan iki algoritma aşağıdaki gibidir (Kelton vd., 2002).

$$A_n = (1403580A_{n-2} - 810728A_{n-3}) \bmod 4294967087 \quad (3.3)$$

$$B_n = (527612B_{n-1} - 1370589B_{n-3}) \bmod 4294944443 \quad (3.4)$$

n 'inci aşama için yukarıdaki algoritmalarından üretilen değerler aşağıdaki formül kullanılarak birleştirilirler.

$$Z_n = (A_n - B_n) \bmod 4294967087 \quad (3.5)$$

Son olarak, elde edilen Z_n değerleri aşağıdaki formül kullanılarak n 'inci rassal sayı değerini türetmek üzere U_n 'e dönüştürülürler.

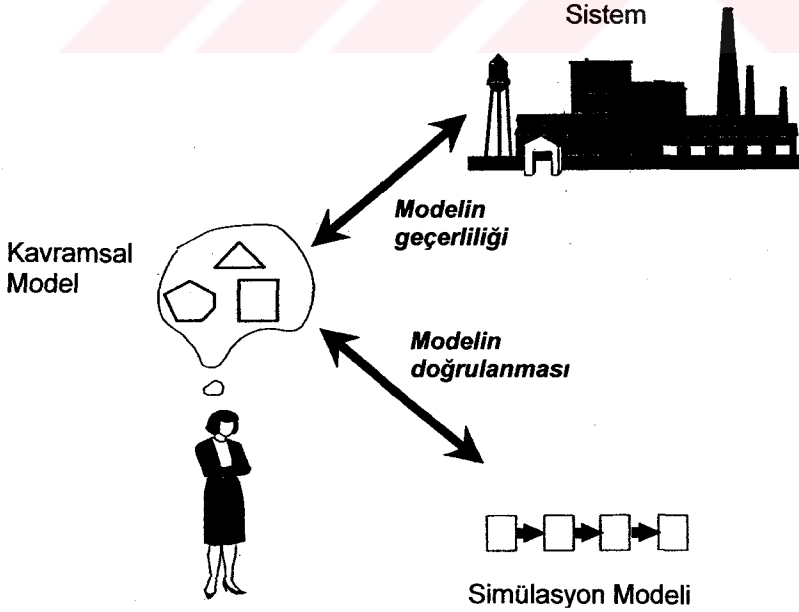
Eğer;

$$U_n = \begin{cases} Z_n > 0 \text{ ise, } & Z_n / 4294967088 \\ Z_n = 0 \text{ ise, } & 4294967087 / 4294967088 \end{cases} \quad (3.6)$$

CMRG rassal sayı üreticinin çalıştırılabilmesi için A_n ve B_n 'in ilk üç değerini tanımlayan keyfi başlangıç sayılarının belirlenmesi gerekir. Bu sabit değerler düzgün olarak belirlendiğinde $3,1 \times 10^{57}$ gibi çok uzun bir çevrim periyoduna ulaşmak mümkündür.

3.3 Simülasyon Modelinin Doğrulanması ve Geçerliliğinin Kanıtlanması

Bir simülasyon projesinde analizcinin karşılaştığı en zor problemlerden birisi de simülasyon modelinin incelenmekte olan sistem davranışını ne kadar doğru bir şekilde temsil edebildiğidir. Bir başka ifade ile modelin geçerliliğidir. Model kurma safhası da tüm diğer aşamalar gibi hataya açıktır. Modelleyici, ilk olarak incelenen gerçek sistemi kavramsal bir modele dönüştürür. Daha sonra bu kavramsal model kullanılarak simülasyon modeli oluşturulur. Bu dönüşüm süreçleri boyunca doğal olarak pek çok hata meydana gelmektedir. Modelin doğrulanması ve geçerliliğinin kanıtlanması safhaları ortaya çıkan tüm bu hataların ortadan kaldırılmasını amaçlamaktadır (Harrell vd., 2000).



Şekil 3.8 Gerçek sistemin simülasyon modeline çevirimi (Harrell vd., 2000)

Modelin doğrulanması, oluşturulan simülasyon modelinin, planlanan kavramsal modeli doğru bir şekilde yansıtip yansıtmadığının belirlenmesi sürecidir. Modelin geçerliliğinin kanıtlanması ise, kavramsal modelin gerçek sistemi ne ölçüde başarıyla yansıtabildiğinin belirlenmesiyle ilgilidir. Simülasyon sonucu elde edilen çıktılar, yönetim aşamasında önemli kararların verilmesinde kullanılacağı için modelin doğruluğunun ve geçerliliğinin kanıtlanması büyük önem taşımaktadır. Aksi takdirde, simülasyon modelini referans alarak idari kararlar vermeye çalışmak yöneticiyi hata yapmaya yönlendirecektir.

3.3.1 Modelin Doğrulanması

Modelin daha önceden planlandığı şekilde çalışıp çalışmadığının incelenmesine modelin doğrulanması denir. Modelin doğru olması modelin geçerli olmasını gerektirmez. Modelin doğru olması sadece modelin düzgün bir şekilde çalışmasının kanıtıdır. Dolayısıyla modelin doğrulanması süreci, modelin düzgün bir biçimde kurulmasıyla ilgilidir. Modelin doğruluğu belirlenirken, daha önceden planlanan kavramsal model yapısı ile geliştirilen simülasyon modeli karşılaştırılır. Modelin doğrulanması prosesinde analizci, simülasyon modelindeki mantıksal ve yapısal hataların belirlenmesi ve düzeltilmesi için çalışır. Simülasyon modellerinde genellikle iki tip hata türü ile karşılaşılır. Bunlar, yazım hataları ve anlamsal hatalardır. Günümüzde, hata ayıklama arabirimleri ile donatılmış çoğu modern simülasyon yazılımı hataların belirlenmesi ve ortadan kaldırılması konusunda modelleyicilere büyük kolaylıklar sunmaktadır.

Modelin doğrulanması sürecinde başvuru pek çok teknik mevcuttur. Bu tez kapsamında modelin doğrulanması sürecinde en yaygın olarak kullanılan teknikler incelenecektir.

3.3.1.1 Modelin Parçalara Ayrıştırılması

Modelin doğrulanması sürecinde de toplam kalite yönetimi felsefesine benzer şekilde, hataları ortaya çıktıktan sonra düzeltmek yerine hatalara sebep olacak faktörlerin belirlenerek önceden ortadan kaldırılması hedeflenmelidir. Bu amaçla, model kurulurken tüm sistemi eş zamanlı olarak modellemek yerine sistemi makul parçalara ayırarak, parçaları ayrı ayrı ele almak daha mantıklı olacaktır. Model parçalara ayrıldığında sistemin mantıksal işleyişinin doğru bir şekilde anlaşılması kolaylaşır. Her model parçası kurulduktan sonra kontrol edilmeli eğer doğru bir şekilde çalıştığına kanaat getirilirse bir diğerine geçilmelidir. Model parçaları hatasız bir şekilde kurulduktan sonra parçaların birbirine entegrasyonuna geçilebilir.

3.3.1.2 Bağımsız Gözlem

Özellikle büyük çaplı simülasyon modelleri üzerinde çalışıldığında yapılan hatalarda insan faktörü ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle, simülasyon modeli, kurulduktan sonra bir başka uzman analizci tarafından da kontrol edilmelidir. Modelle sürekli iç içe olan bir analizci sorunu mikro ölçek ile değerlendirecektir. Modele genel çerçeveden bakabilecek tarafsız bir göz hataların belirlenmesinde ve giderilmesinde büyük katkılar sağlayabilir.

3.3.1.3 Farklı Girdi Değişkenleri

Modelin doğrulanması sürecinde kullanılan tekniklerden birisi de girdi değişkenlerinde farklı ayarlamalar yaparak simülasyon modelini çalıştırmaktır. Farklı girdi değişkenleri kullanıldığında elde edilen simülasyon çıktılarının mantıklı olup olmadığı gerçek sistem performans verilerinden yola çıkarak değerlendirilmelidir.

3.3.1.4 Modelin Adım Adım İşletilmesi

Simülasyon modeli adım adım çalıştırılmalı, durum değişkenleri, olay listeleri, istatistiksel sayaçlar ve performans kriteri değerlerinin küçük zaman adımları içerisindeki değişimleri incelenmelidir. Eğer modelleneyecek olan sistem çok kompleks bir yapıda değilse elle yapılan simülasyon elde edilecek sonuçlar simülasyon modeli ile adım adım karşılaştırılabilir. Eğer elle simülasyon mümkün değilse, simülasyon modelindeki girdi değişkenlerine uç noktada deterministik değerler verilerek modelin işleyişi ve tepkisi incelenmelidir.

3.3.1.5 Kabul ve Varsayımların Sadeleştirilmesi

Bazı durumlarda; modelin karakteristiksel yapısını anlamak adına, modeldeki kabul ve varsayımları sadeleştirmek faydalı olabilir. Modelin temel düzeydeki performansı incelendikten sonra detay, düzeyi kademeli bir şekilde artırılarak model üzerindeki testler tekrarlanmalıdır.

3.3.1.6 Animasyon

Pek çok durumda modelin doğrulanmasında animasyon teknolojisinden faydalanmak büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Animasyon ile modelin işleyişi gözlenerek, modelin planlandığı şekilde çalışıp çalışmadığı incelenebilir. Algılamada görme fonksiyonunun önemi büyüktür. Dolayısıyla simülasyonda animasyon araçlarından faydalanarak daha önceden gözden kaçmış olan hatalar tespit edilebilir.

3.3.1.7 Ortalama ve Varyansların Karşılaştırılması

Simülasyon girdi olasılık dağılımlarının her biri için örneğin ortalaması ve varyansının hesaplanarak beklenen ortalama ve varyans değerleri ile karşılaştırılması rassal sayıların uygun dağılımlardan gelip gelmediğinin anlaşılmasında faydalı olacaktır.

3.3.1.8 Doğru Simülasyon Yazılımının Seçimi

Kullanılacak olan simülasyon yazılımının ihtiyaçlara uygun şekilde seçilmesi gerekir. Günümüzde, simülasyon yazılımlarının pek çoğu hata ayıklama fonksiyonuna sahipse de, arayüzü kullanıcı dostu olan ve zengin yardım menüleri ile donatılmış simülasyon yazılımlarının tercih edilmesi potansiyel kullanıcı hatalarının önüne geçmede faydalı olacaktır (Law ve Kelton, 2000).

3.3.2 Modelin Geçerliliğinin Kanıtlanması

Simülasyon modelinin, gerçek sistemi doğru ve anlamlı bir şekilde temsil edip etmediğinin araştırılması sürecine, modelin geçerliliğinin kanıtlanması denir. Modelin doğrulanması süreci, simülasyon modelini doğru kurmak ile ilgilenirken, modelin geçerliliğinin kanıtlanması süreci, doğru simülasyon modelini kurmak ile ilgilenir. Simülasyon modelinin gerçek sistem davranışını birebir temsil etmesi imkansızdır. Burada önemli olan nokta, gerçek sistemle ilgili kararlar verilirken simülasyon model çıktılarına güvenilebilecek kadar model geçerliliğinin sağlanmasıdır.

Eğer, simülasyonu yapılan sistem gerçekte mevcut ise model çıktıları, gerçek sistem davranışına ilişkin performans ölçüleri ile karşılaştırılarak modelin geçerliliği test edilebilir. Eğer, simülasyon çalışması yeni bir tasarım için yapılıyorsa, bu durumda ortada gerçek bir sistem bulunmadığından ötürü simülasyon modelin geçerliliğinin kanıtlanması daha güç olmaktadır. Böyle durumlarda, yönetim desteği ile birlikte tasarım planları üzerinde durarak modelin doğrulanması sürecinde yoğunlaşmak faydalı olacaktır (Harrell vd., 2000).

Bir simülasyon modelinin doğru olarak çalışması o simülasyon modelinin geçerli olduğu anlamına gelmez. Simülasyon modeli aynı zamanda incelenen sistem davranışını en iyi şekilde temsil edebilmelidir. Eğer sistem davranışı düzgün bir şekilde tanımlanmışsa, doğru verilere dayanıyorsa ve model hatalardan arındırılmışsa, bu durumda simülasyon modelinin geçerliliğinden söz edilebilir. Modelin geçerliliğinin sağlanması süreci daha model kurulmadan önce veri toplama aşamasında başlar. Simülasyon modeli kurulurken yanlış veriler kullanıldığında, model hatasız çalışsa bile yanlış sonuçlar üretecektir. Bu nedenle veri

toplama ve analizi safhası simülasyon modelinin geçerliliğinin sağlanmasında büyük önem taşımaktadır (Browne, 1984).

Çıktı analizi simülasyon sonuçlarının istatistiksel olarak yorumlanması ile ilgilenir ve simülasyon koşum uzunluğunun belirlenmesi, budama noktasının belirlenmesi ve koşum sayısının belirlenmesi gibi faaliyetleri içerir. Çıktı analizi ile model geçerliliği arasındaki farkı daha iyi ortaya koymak adına, bir sistemin μ_s ortalama değerini kestirmeye çalıştığımızı düşünelim. Ortalaması μ_m olan bir simülasyon modeli kurduğumuzu farz edelim. μ_m ortalamalı simülasyon modelini çalıştırdığımızda elde ettiğimiz tahmini ortalama değeri $\hat{\mu}_m$ olsun. Kestirmeye çalıştığımız μ_s ortalama değerine göre $\hat{\mu}_m$ simülasyon koşumundan elde edilen ortalama değerin hatası aşağıdaki gibidir.

$$\hat{\mu}_m \text{ için hata} = |\hat{\mu}_m - \mu_s| \quad (3.7)$$

$$= |\hat{\mu}_m - \mu_m + \mu_m - \mu_s| \quad (3.8)$$

$$\leq |\hat{\mu}_m - \mu_m| + |\mu_m - \mu_s| \quad (3.9)$$

Model geçerliliği sağ taraftaki mutlak değerli ifadeyi minimize etmek isterken, çıktı analizi sol taraftaki mutlak değerli ifadeyi minimize etmeye çalışmaktadır. İfadeden de açıkça anlaşılabileceği gibi, sistem ortalamasını doğru olarak kestirebilmek için hem model geçerliliği hem de çıktı analizi ile ilgilenmek gerekmektedir (Law ve Kelton, 2000).

Simülasyon modelinin geçerliliğinin test edilmesinde pek çok teknik kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında en yaygın olarak kullanılan teknikler incelenecektir. Modelin geçerliliği test edilirken tek bir tekniğe bağlı olarak değerlendirme yapmak şaşırtıcı olabilir. Mümkün olduğunca yönetim desteğini de sağlayarak birden fazla test tekniği uygulamak modelin geçerliliğinin doğru olarak belirlenmesinde, büyük kolaylık sağlayacaktır.

3.3.2.1 Animasyon Tekniği

Operasyonel model davranışının görsel animasyonu, gerçek sistem davranışı ile karşılaştırılarak modelin geçerliliği test edilebilir. Simülasyon modelinin anlık işleyişinin ve performans ölçütlerindeki değişimin görsel animasyonu için dinamik grafikler ve sayaçlar kullanılabilir.

3.3.2.2 Simülasyon Modelinin Gerçek Sistem ile Karşılaştırılması

Hem simülasyon modelinin hem de gerçek sistemin aynı koşullarda ortak girdi değerleri ile çalışması sağlanarak elde edilen çıktı değerleri karşılaştırılabilir.

3.3.2.3 Simülasyon Modelinin Diğer Modellerle Karşılaştırılması

Eğer incelenen sistem için daha önceden hazırlanmış geçerli analitik modeller veya simülasyon modelleri mevcut ise, model çıktıları eldeki veriler ile karşılaştırılarak modelin geçerliliği test edilebilir. Örneğin, sisteme ait daha önceden hazırlanmış geçerli bir kuyruk modeli mevcut ise bu simülasyon modelinin geçerliliğinin kanıtlanmasında kullanılabilir.

3.3.2.4 Bozulma ve Uç Nokta Testleri

Model davranışının bozulduğu bazı durumlarda simülasyon çıktı değişkenlerinde beklenmeyen büyüklükte değerler gözlemlenebilir. Örneğin bir kaynağın servis süresi gezen birimlerin sisteme ardışık gelişleri arasındaki süreden büyükse kaynak kuyruğunda simülasyon koşumu süresince büyük yığılmalar gözlemlenecektir. Simülasyon modelinde bu tip suni durumlar yaratılarak modelin beklenen bozulmayı gösterip göstermediği test edilebilir. Ayrıca, model uç nokta değerleri verilerek çalışmaya zorlandığında beklenen davranışları sergileyip sergilemediği değerlendirilebilir.

3.3.2.5 Yüzeysel Geçerlilik Testi

Yüzeysel geçerlilik, sistem ile ilgili bilgi sahibi olan kişilere modelin işleyişinin gerçek sistem davranışını makul ölçüde yansıtıp yansıtmadığının sorulmasıdır. Yüzeysel geçerlilik testi ile mantıksal modelin doğruluğu ve girdi-çıkı ilişkilerinin tutarlılığı test edilebilir.

3.3.2.6 Geçmiş Veriler ile Karşılaştırma

Sistemin işleyişi ve performansı ile ilgili geçmiş verilere ulaşmak mümkün ise, simülasyon modelinin aynı veriler ile çalışması sağlanarak elde edilen simülasyon performans sonuçları eldeki mevcut performans verileri ile karşılaştırılabilir. Böylelikle, aynı verileri kullanan modelin benzer davranışlar gösterip göstermediği test edilebilir.

3.3.2.7 Hassasiyet Analizi

Simülasyon girdi değişkenlerinde yapılan keyfi ayarlamaların sistem davranışlarına ve simülasyon sonuçlarına etkilerinin incelenmesine hassasiyet analizi denir. Çoğu zaman hassasiyet analizi karşısında model ile gerçek sistem aynı reaksiyonu göstermektedir.

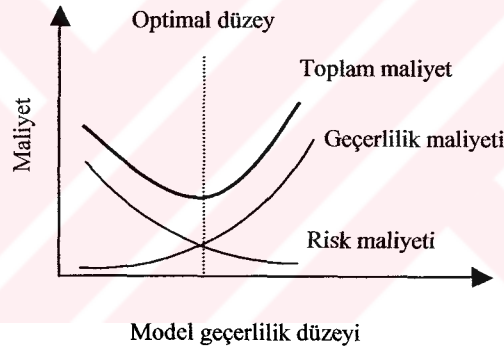
Hassasiyet analizi aynı zamanda analizcinin değişen durumlarda gerçek sistem davranışında yaşanacak değişimleri kestirebilmesine de yardımcı olacaktır.

3.3.2.8 Simülasyon Modelinin Adım Adım İşletilmesi

Simülasyon modelindeki olaylar listesinin, modelin mantıksal akışına uygun olarak adım adım işletilmesiyle model davranışının sistem davranışına uygun olarak gerçekleşip gerçekleşmediği test edilebilir.

3.3.2.9 Bilgi ve Deneyimlerden Faydalanma

İncelenen sistemin işeyişi ile ilgili bilgi ve deneyim sahibi olan kişilere model çıktıları ile gerçek sistem davranışı arasında bir farklılık görüp görmedikleri sorulabilir. Eğer sistem davranışı ile model çıktıları arasında göze çarpan bir fark bulunmuyorsa model geçerliliği sağlanmıştır (Harrell vd., 2000).



Şekil 3.9 Model geçerliliği için optimal nokta (Harrell vd., 2000)

Yukarıdaki şekilden de görülebileceği gibi, modelin geçerliliğinin sağlanması yolunda sarf edilen çaba arttıkça simülasyon modelinden yola çıkarak gerçek sistem ile ilgili yanlış bir karar verme riskinin maliyeti de azalmaktadır. Fakat, model geçerlilik düzeyinin arttırılmaya çalışılmasının beraberinde yeni maliyetler doğuracağı da unutulmamalıdır. Dolayısıyla burada ulaşılması gereken nokta, minimum toplam maliyete sahip olan optimal model geçerlilik düzeyidir.

3.4 Simülasyonda Çıktı Analizi

Bir simülasyon modelinden elde edilen çıktıların analiz edilmesinde objektif veya subjektif değerlendirme yöntemleri kullanılabileceği gibi daha detaylı analize gereksinim duyulduğunda istatistiksel tekniklere de başvurulabilir. Simülasyonda çıktı analizi için

muhakemeye dayalı yöntemlerin mi yoksa istatistiksel tekniklerin mi tercih edileceği problemin yapısına, alınacak kararın önemine ve girdi verilerinin geçerliliğine bağlı olarak değişim gösterir.

İncelenen sistemin işleyişi ile ilgili sebep sonuç ilişkilerini iyi bir şekilde algılayabilen ve yorumlayabilen herkes, tasarım ve yönetime ilişkin kararlar verilirken sistemle ilgili anlamlı çıkarımlarda bulunabilir. Eğer, alınacak kararların doğruluğunda yüksek hassasiyete gereksinim duyuluyorsa, simülasyonda çıktı analizinin istatistiksel teknikler kullanılarak gerçekleştirilmesi yerinde olacaktır (Pooch ve Wall, 1993).

3.4.1 Simülasyon Çıktılarının İstatistiksel Analizi

Simülasyon çalışmalarında üzerinde önemle durulması gereken konulardan birisi de istatistiksel çıktı analizidir. Sağlıklı bir çıktı analizi yapmadan direkt olarak simülasyon sonuçları üzerinden verilecek kararlar yöneticileri hataya yönlendirebilir. Stokastik simülasyon modellerinin temelinde rassal sayı kullanımı yatmaktadır. Sistem öğelerinin ve faaliyetlerin zaman içerisindeki değişimlerinin modellenmesinde sistem davranışını temsil etmek üzere rassal sayılardan faydalanılır. Girdi olarak rassal sayı kullanılan simülasyon modellerinin çıktıları da rassal bir değişim gösterecektir. Dolayısıyla simülasyon sonuçlarının gerçek sistem davranışını ne ölçüde başarıyla temsil ettiği kanıtlanmadan verilecek kararlar ileride daha büyük problemlere neden olabilir (Law ve Kelton, 2000).

Tüm deney sonuçlarını veya tüm olasılıkları bünyesinde barındıran küme istatistikte popülasyon olarak tanımlanır. Popülasyon istatistiksel olarak özellikleri incelenecek olan elemanların oluşturduğu topluluk olarak da tanımlanabilir. Örnek olarak, bir zar atma deneyinde, 1'den 6'ya kadar gelebilecek olası sayıların tümü popülasyonu meydana getirir. Deney sonucu elde edilen tarafsız bir gözlem değerine ya da popülasyonun bir elemanına örnek denir. Zar atma deneyinin bir defa tekrarlanmasından elde edilen değer popülasyona ait bir örnektir. Örnek büyüklüğü ise ilgilenilen örnek sayısını tanımlar. Deneyin belirli bir sayı kadar tekrarlanmasından elde edilen sonuçlar örnek büyüklüğünü meydana getirir. Örneğin, bir zar atma deneyi 3 defa tekrarlanırsa bu durumda örnek büyüklüğü 3 olacaktır. Burada toplanan örnekler birbirinden bağımsızdır. Yani, zarın her atılışında elde edilen değer bir öncekinden bağımsızdır (Akdeniz, 1998).

Örnek büyüklüğü mümkün olduğunca çoğaltılarak popülasyon davranışları ile ilgili olarak daha geçerli çıkarımlar türetmek mümkün olabilir. Fakat, burada göz ardı edilmemesi gereken bir konu da örnek büyüklüğünün çoğaltılmasının doğuracağı zaman ve maliyettir.

Bir simülasyon projesi istatistik bilimine ait kavramların tümünü bünyesinde barındırmaktadır. Simülasyon projesinde hedeflenen, incelenen sistem davranışını en iyi ölçüde temsil edebilecek bir simülasyon modelinin oluşturulması ve bu modelin çalıştırılması ile elde edilecek sonuçların değerlendirilerek uygun yönetim kararlarına dönüştürülmesidir. Her simülasyon koşumu sonucunda elde edilen sonuçlar simülasyon deneyine ait popülasyon içerisindeki bir örnektir.

Bu bağlamda:

- Örnekler, simülasyon deneyleri sonucunda üretilirler,
- Popülasyon büyüklüğü çoğunlukla çok büyük ya da sınırsızdır,
- Bir simülasyon deneyinin olası tüm sonuçlarını ifade etmek üzere sürekli veya kesikli rassal değişkenler kullanılır,
- Simülasyon modeli ile yapılan deneyler simülasyon koşumu olarak tanımlanır ve birbirinden bağımsızdır.

Simülasyon modelinin bir çok defa çalıştırılmasıyla elde edilen bağımsız simülasyon koşumları model çıktı davranışının beklenen değerinin doğru olarak kestirilmesinde büyük önem taşımaktadır. Sonsuz sayıda simülasyon koşumu yapmadan model çıktı davranışını mutlak doğrulukla belirlemek mümkün değildir. Bu nedenle simülasyon çıktılarının değerlendirilmesinde istatistik bilimindeki güven aralığı kavramı ön plana çıkmaktadır.

Bir simülasyon deneyinde, simülasyon modelinin her çalıştırılışı bir simülasyon koşumu olarak tanımlanır. Her simülasyon koşumu sonucunda, popülasyon içerisinde bir örnek değeri üretilir. n tane sayıdan oluşan bir örnek büyüklüğü için simülasyon deneyine ait birbirinden bağımsız n adet simülasyon koşumu yapılmalıdır. Belirli bir örnek büyüklüğüne ulaşıldıktan sonra simülasyon modelinin bir sonraki koşulunda göstereceği davranış kestirmek kolaylaşır. Stokastik simülasyon modellerinde girdi değişkenleri rassal sayılar ile ifade edildiğinden her simülasyon koşulunun tamamıyla aynı sonuçlar üretmesi beklenemez.

Yeterli sayıda bağımsız gözlem değerine sahip olduğunda, modelin çıktı davranışını tahmin etmek üzere istatistiksel metotlar uygulanabilir. İki tip istatistiksel tahmin yöntemi mevcuttur: (1) nokta tahmini (ortalama ve standart sapma) ve (2) aralık tahmini (güven aralığı).

3.4.1.1 Nokta Tahmini

Bir kitlenin belli bir özelliğini incelemek üzere, kitleden seçilen birimler topluluğuna örneklem (ya da örnek) denir. Örneklem kitle değerlerinin gözlenen bir alt kümesidir.

Örnekleme tanımlayan bir sayıya örneklem istatistiği denir. Kitle Ankara ili sınırları içindeki tüm yüksek tansiyonlu hastalar ise, ölçümlerin yapıldığı 200 kişilik bir grup bir örneklem oluşturur. Bu deneyde istatistik, örneğin kan basıncı ortalaması olabilir. İlgilenilen parametre ile ilgili tek bir değerin tahmin edilmesine nokta tahmini denir. Bir başka ifade ile, bir tek parametreyi tahmin etmek için bir tek istatistik kullanırsak, örneğin, kitle ortalamasını tahmin etmek için örneklem ortalaması alınır, parametrenin nokta tahmin edicisi kullanılıyor denir. Nokta tahmini genellikle popülasyonun ortalamasının ve standart sapmasının hesaplanmasında kullanılır. Popülasyon ortalamasını (μ) tahmin etmek için örneklem değerlerinin ($\bar{x}$) aritmetik ortalamasını almak yeterli olmaktadır. (Akdeniz, 1998)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.10)$$

Yukarıdaki formülde, n örneklem büyüklüğünü, x_i i . gözlem değerini temsil etmektedir. Bu durumda, örneklem ortalaması popülasyon ortalamasının bir tahmini değeri olmaktadır.

Bir popülasyonun standart sapması (σ), popülasyon içerisindeki değerlerin dağılımının bir ölçüsüdür. Popülasyonun standart sapmasının (σ) tahmin edilmesinde, örneklem içerisindeki değerlerin standart sapmasından (s) faydalanılır.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3.11)$$

Benzer şekilde, popülasyonun varyansının (σ^2) tahmin edilmesinde örneklem varyansından (s^2) faydalanılır. Varyans değerleri standart sapmanın karesi alınarak hesaplanır.

Örnek olarak, bir berber dükkanına cumartesi sabahları gelen müşterilerin ortalama sayısını belirlemeye çalıştığımızı düşünelim. Bu berber dükkanının cumartesi günü sabah saat 8:00'de açıldığını ve öğlene kadar faaliyet gösterdiğini kabul edelim. Berber dükkanına cumartesi sabahları tıraş olmak üzere gelen ortalama müşteri sayısını mutlak doğrulukla hesaplamak için dükkanın faaliyet gösterdiği tüm cumartesi günleri için gelen müşteri sayıları incelenmelidir. Ortalama müşteri sayısını tüm cumartesi günlerini hesaba dahil ederek belirlemek yerine bir örneklem üzerinden yola çıkarak popülasyona ilişkin bir tahminde bulunmak daha makul olacaktır. Bu amaçla 12 hafta boyunca cumartesi günleri elde edilen müşteri sayılarına ait gözlem değerleri ($x_1, x_2, \dots, x_{12}$) aşağıdaki tablodaki gibi olsun (Harrell vd., 2000).

Rassal değişkene ait değerler 12 gözlemden oluşan örneklem içerisinde değişim göstereceğinden sadece tek bir deney sonucuna bağlı olarak yapılacak bir değerlendirme hatalı sonuçlar doğurabilir ve popülasyon davranışını doğru bir şekilde temsil edemeyebilir. Çizelge 3.8’deki gözlem değerleri değerlendirildiğinde örneklem ortalaması aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{12} x_i}{12} = \frac{21+16+8+\dots+10}{12} = 13,67 \text{ müşteri.} \quad (3.12)$$

Çizelge 3.8 12 hafta boyunca cumartesi günleri elde edilen temsili gözlem değerleri

<i>Gözlem sayısı (i)</i>	<i>Gözlem değeri (x_i)</i>
1	21
2	16
3	8
4	11
5	17
6	16
7	6
8	14
9	15
10	16
11	14
12	10
Örnek ortalaması $\bar{x}$	13.67
Örneğin standart sapması s	4.21

Örnek ortalama değeri olan 13,67 müşteri sayısı, popülasyona ait kesin olarak bilinemeyen μ ortalama değeri için bir tahmindir. Örneklem büyüklüğü genişletilerek popülasyon davranışı ile ilgili daha tutarlı sonuçlara ulaşmak mümkündür. Ortalama müşteri sayısının mutlak kesinlikle hesaplanabilmesi için deneyin sonsuz defa tekrarlanması gerekir. 12 adet gözlem değerinden yola çıkarak popülasyonun standart sapması için de bir tahmini değer üretmek mümkündür. Ortalaması 13,67 olan 12 gözlem değeri için standart sapma aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (x_i - 13,67)^2}{12 - 1}} = 4,21 \text{ müşteri.} \quad (3.13)$$

Burada 12 örnek gözlem değerine ait (s) standart sapma değeri popülasyona ait (σ) standart sapma değeri için bir tahmindir. $\bar{x}$ ve s değerleri, μ ve σ popülasyon parametreleri için nokta tahmin edicilerdir.

3.4.1.2 Aralık Tahmini

Nokta tahmini tek başına, bilinmeyen parametreye ait değer doğru tahmin edilmesiyle ilgili çok sınırlı sayıda bilgi sağlamaktadır. $\bar{x}$ ve s değerleri kullanılarak oluşturulan aralık tahmini ile $\bar{x}$ nokta tahmini değerinin gerçek ortalama μ değerinden ne kadar bir sapma gösterdiği tahmin edilebilir. Bu sapmanın hesaplanmasında ve ifade edilmesinde kullanılan yöntem istatistik biliminde, güven aralığı tahmini denir.

Güven aralığı, belirlenmiş bir güvenilirlik ölçüsünde, gerçek ortalama değeri bünyesinde barındıran iki taraftan sınırlandırılmış bir değer aralığıdır. Güven aralığı $\bar{x}$ 'in her iki tarafında simetrik bir yapı gösterir. Sağ taraftaki ve sol taraftaki sınır değerleri $\bar{x}$ 'ye eşit uzaklıktadır ve bu uzaklıklar yarı genişlik (hw —half width) olarak adlandırılır. Bu bağlamda güven aralığı, μ bilinmeyen gerçek ortalama değerinin $\bar{x} \pm hw$ aralığı içerisine düşme olasılığı olan P ile ifade edilebilir.

Eğer, $\bar{x}$ ve s hesaplamaları için kullanılan örneklem içerisindeki gözlem değerleri birbirinden bağımsız ve normal dağılıma uygun ise, belirlenen olasılık veya güven düzeyi için (hw) yarı genişlik aşağıdaki formül ile hesaplanabilir (Harrell vd., 2000).

$$hw = \frac{(t_{n-1, \alpha/2})s}{\sqrt{n}} \quad (3.14)$$

$t_{n-1, \alpha/2}$ değeri istatistiksel bir sabit olup, t-tablosundan elde edilir. $t_{n-1, \alpha/2}$, değeri $n-1$ serbestlik derecesi ve $\alpha/2$ değerine karşılık olarak t-tablosundan bulunan değerdir. α güven düzeyi, P olasılığının tümleyenidir ve $\alpha = 1 - P$ formülü kullanılarak hesaplanır. α güven düzeyi aynı zamanda μ bilinmeyen gerçek ortalama değerinin güven aralığı dışarısına düşme olasılığını tanımladığından “risk düzeyi” olarak da isimlendirilir. Güven aralığı genellikle, $P(\bar{x} - hw \leq \mu \leq \bar{x} + hw) = 1 - \alpha$ şeklinde ifade edilir ve μ bilinmeyen gerçek ortalama değerinin $\bar{x} - hw$ ile $\bar{x} + hw$ aralığı içerisine düşme olasılığı $1 - \alpha$ ya eşittir şeklinde okunur.

Aralık tahmini yöntemi çizelge 3.8'de belirtilen değerler için uygulandığında:

$$P = \text{güven düzeyi} = 0.95$$

$$\alpha = \text{risk düzeyi} = 1 - P = 1 - 0.95 = 0.05$$

$$n = \text{örneklem hacmi} = 12$$

$$\bar{x} = 13.67 \text{ müşteri}$$

$$s = 4.21 \text{ müşteri}$$

t-tablosundan $t_{n-1, \alpha/2} = t_{11, 0.025} = 2.201$ değeri elde edildikten sonra (hw) yarı genişlik değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$hw = \frac{(t_{11, 0.025})s}{\sqrt{n}} = \frac{(2.201)4.21}{\sqrt{12}} = 2.67 \text{ müşteri} \quad (3.15)$$

%95'lik bir güven aralığı için alt ve üst limit değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\text{Alt limit} = \bar{x} - hw = 13.67 - 2.67 = 11.00 \text{ müşteri} \quad (3.16)$$

$$\text{Üst limit} = \bar{x} + hw = 13.67 + 2.67 = 16.34 \text{ müşteri} \quad (3.17)$$

Tüm bu hesaplamalar ışığında, beklenen ortalama müşteri sayısının %95 güven aralığıyla 11.00 ile 16.34 arasında olacağı söylenebilir ($11.00 \leq \mu_{\text{musteri}} \leq 16.34$).

Yüksek güven düzeyinde, küçük güven aralığı en çok arzu edilen durumdur. Fakat güven aralığının genişliği, sistem çıktısındaki değişkenlikten ve örneklem hacminin büyüklüğünden etkilenmektedir. (hw) yarı genişlik formülünden de anlaşılabileceği gibi, belirli bir güven düzeyinde, (1) örnek hacmi (n) arttırıldığında, (2) sistem çıktı değerlerindeki (s standart sapma) değişkenlik azaldığında, (hw) yarı genişlik azalmaktadır. Sistem çıktıları üzerinde bir kontrol yetkisi her zaman bulunmasa da analizci gözlem sayılarını arttırarak yani daha fazla simülasyon koşumu yaparak tahminlerin doğruluk değerlerini arttırabilir.

3.4.2 Simülasyon Koşum Sayısının Belirlenmesi (Örnek Büyüklüğü)

Bir simülasyon projesinde model çıktılarının sağlıklı bir şekilde yorumlanabilmesi için simülasyon koşum sayısının doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. $\bar{x}$ ile ifade edilen ortalamanın nokta tahmin değeri ile μ bilinmeyen gerçek ortalama değeri arasındaki e ile gösterilen belirli bir hata değeri için güven aralığını oluşturmak üzere örnek büyüklüğünün veya simülasyon koşum sayısının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır (Kelton vd., 2002).

Berber örneğinden yola çıkarak %95'lik güven düzeyini ($1 - \alpha = 0.95$) sağlayacak $\bar{x}$ örnek ortalaması ile μ bilinmeyen gerçek ortalama değeri arasındaki hata değeri 2.00 müşteri ($e=2$) olmak üzere gerekli n' koşum sayısının hesaplanmasında aşağıdaki yaklaşım kullanılabilir.

α , $\bar{x}$ ile μ arasındaki değerin belirli bir e hata değerini aşma olasılığını göstermektedir. Aslında burada, e değeri, güven aralığı ifadesinde belirtilen hw yarı genişliğine karşılık gelmektedir ($\bar{x} \pm e$).

$e = hw$ eşitliğinden faydalanılarak aralık tahmininde tanımlanan hw denklemi n değeri için çözümlendiğinde, belirli bir e hata ölçüsünde, α güven düzeyi için simülasyon koşum sayısı hesaplanabilir (Harrell vd., 2000).

$$hw = e \quad (3.18)$$

$$\frac{(t_{n-1, \alpha/2})s}{\sqrt{n}} = e \quad (3.19)$$

$$n = \left[\frac{(t_{n-1, \alpha/2})s}{e} \right]^2 \quad (3.20)$$

Fakat, eşitliğin her iki tarafında da n bulunduğu ve örnek değerlerinin normal dağılıma uygunluk gösterdiği kabul edildiğinden eşitlikteki $t_{n-1, \alpha/2}$ ifadesi sadece α parametresi ile tanımlanan $Z_{\alpha/2}$ ifadesi ile değiştirilebilir. $Z_{\alpha/2}$ değerinin belirlenmesinde standart normal dağılım tablolarından yararlanılır. Simülasyon koşum sayısının belirlenmesinde kullanılan denklemin düzenlenmiş hali aşağıdaki gibidir:

$$n' = \left[\frac{(Z_{\alpha/2})s}{e} \right]^2 \quad (3.21)$$

Bu denklemde n' , belirli bir e hata ölçüsünde, α güven düzeyi için gerekli simülasyon koşum sayısının yaklaşık değerini temsil etmektedir.

Yeniden berber örneğini ele alacak olursak, %95 güven düzeyinde $\bar{x}$ örnek ortalaması ile μ bilinmeyen gerçek ortalama değeri arasındaki hata ($e = 2.00$) olmak üzere başlangıçtaki 12 gözlem değeri ve $s = 4.21$ için n' simülasyon koşum sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$P = \text{güven düzeyi} = 0.95$$

$$\alpha = \text{risk düzeyi} = 1 - P = 1 - 0.95 = 0.05$$

$$e = 2.00 \text{ müşteri}$$

$$s = 4.21 \text{ müşteri}$$

Standart normal dağılım tablosundan $Z_{\alpha/2} = Z_{0.025} = 1.96$ değeri elde edilir. Standart normal dağılım tablosundan $1 - \alpha/2 = 0.975$ sayısına karşılık gelen 1.96 olarak okunur. n' denklemi kullanıldığında:

$$n' = \left[\frac{(Z_{0.025})s}{e} \right]^2 = \left[\frac{(1.96)4.21}{2.00} \right]^2 = 17.02 \text{ gözlem sayısı.} \quad (3.22)$$

Kesirli simülasyon koşumu ya da gözlem sayısı olamayacağından ötürü bulunan sayı bir üst tamsayı değerine yuvarlanır. Bu durumda gerekli gözlem sayısı $n' \approx 18$ olarak hesaplanır. Şu ana kadar, 12 gözlem yapıldığından 18 gözlem sayısına ulaşmak üzere deney 6 defa ($n' - n = 18 - 12 = 6$) tekrarlanır.

Çizelge 3.9 18 hafta boyunca cumartesi günleri elde edilen gözlem değerleri

Gözlem sayısı (i)	Gözlem değeri (x_i)
1	21
2	16
3	8
4	11
5	17
6	16
7	6
8	14
9	15
10	16
11	14
12	10
13	7
14	9
15	18
16	13
17	16
18	8
Örnek ortalaması $\bar{x}$	13.06
Örneğin standart sapması s	4.28

$P = \text{güven düzeyi} = 0.95$

$\alpha = \text{risk düzeyi} = 1 - P = 1 - 0.95 = 0.05$

$n = \text{örneklem hacmi} = 18$

$\bar{x} = 13.06$ müşteri

$s = 4.28$ müşteri

Yukarıdaki veriler ışığında yeni durumda yarı genişlik aşağıdaki şekilde hesaplanır. t-tablosundan $t_{n-1, \alpha/2} = t_{17, 0.025} = 2.11$ olarak bulunur.

$$hw = \frac{(t_{17, 0.025})s}{\sqrt{n}} = \frac{(2.11)4.28}{\sqrt{18}} = 2.13 \text{ müşteri} \quad (3.23)$$

Yeni durum için, %95 güven düzeyinde, güven aralığının alt ve üst limitleri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{Alt limit} = \bar{x} - hw = 13.06 - 2.13 = 10.93 \quad (3.24)$$

$$\text{Üst limit} = \bar{x} + hw = 13.06 + 2.13 = 15.19 \quad (3.25)$$

%95 güven düzeyinde popülasyona ait μ bilinmeyen gerçek ortalama değeri 10.93 ile 15.19 değerleri ($10.93 \leq \mu_{\text{musteri}} \leq 15.19$) arasına düşmektedir.

Ele alınan berber dükkanı örneği gerçek sistem üzerinde yapılan bir gözleme dayanmaktadır. Fakat kullanılan istatistiksel metodoloji simülasyon modelleri için uygun koşum sayısının belirlenmesinde de aynı şekilde kullanılabilir. Eğer gözlem değerleri tarafsızlık, bağımsızlık ve normal dağılıma uygunluk kriterlerini taşıyorsa nokta tahmini ve aralık tahmini gibi istatistiksel teknikler kullanılarak popülasyon davranışı ile ilgili çıkarımlarda bulunulabilir.

3.4.3 Sonlandırılan Simülasyon ve Kararlı Durum Simülasyonu

Simülasyon teknikleri, koşum uzunluğu, koşum sayısı ve istatistiklerin toplanması gibi deneysel prosedürlere bağlı olarak iki türde sınıflandırılabilir. Bunlar, (1) sonlandırılan simülasyonlar ve (2) kararlı durum simülasyonlarıdır. Sonlandırılan simülasyonlar sistem davranışının belirli bir zaman periyodu süresince incelenmesi gerektiği durumlarda kullanılır. Örneğin, trafiğin en yoğun olduğu saatlerde bir kavşak sistemindeki araç kuyruklarının incelenmesi için sonlandırılan simülasyon kullanılması uygun olur. Kararlı durum simülasyonu adından da anlaşılabilir olduğu gibi, bir sistemin kararlı duruma geldikten sonraki davranışlarının incelenmesinde kullanılır. Örneğin, otomobil motorlarında kullanılan bujileri üreten bir işletmenin uzun vadeli üretim akışının incelenmesi veya bir hastanenin acil ünitesindeki servis performansının incelenmesi için kararlı durum simülasyonu tercih edilmelidir (Law ve Kelton, 2000).

3.4.3.1 Sonlandırılan Simülasyon

Sonlandırılan simülasyon, belirlenen bir zaman ya da sistem durumunda başlar ve yine daha önceden belirlenmiş olan zaman ya da sistem durumuna ulaşıldığında sonlandırılır. Simülasyon için başlangıç sistem durumu iş gününün başında sistemde işlenmek üzere bekleyen parça sayıları olabilir. Simülasyonu sonlandıran duruma örnek olarak, belirli sayıda iş parçasının üretilmesi gösterilebilir. Örnek olarak, belirli bir modelden 200 adet üretmek üzere sipariş alan bir uçak üreticisi için yapılan simülasyon sistem boş iken başlatılabilir ve 200. uçağın üretimi tamamlandığında simülasyon sonlandırılır. Elde edilen zaman, siparişleri tamamlayabilmek için gerekli olan zamandır. Ya da, bir süper market simülasyonu mesai saati başlangıcında mağazada müşteri olmadığı durumda başlatılır ve mesai saati bitiminde mağazadaki son müşteri alışverişini tamamladığında sonlandırılır.

Sonlandırılan simülasyonun en çok karşılaşılan türü, sistemin boş iken başlatıldığı, belirli bir süre çalıştırıldığı ve daha sonra sistemin tekrar boşaltılarak simülasyonun sonlandırıldığı durumdur. Bu tip için en yaygın örnekler, alışveriş merkezleri, üretim atölyeleri, restoranlar, bankalar ve berber dükkanlarıdır.

Sonlandırılan simülasyonlar sistemlerin kararlı durumdaki davranışlarının incelenmesi için hazırlanmasa da simülasyon koşumunun belirli bir periyodunda, sistem kararlı durum davranışı sergileyebilir. Sonlandırılan simülasyonların çıktıları yorumlanırken ortalamaya dayalı istatistiklerin pek de önemi yoktur. Çünkü simülasyon koşumu kararlı düzeye geçiş ve kararlı düzeyden çıkış süreçlerini de bünyesinde barındırmaktadır. Sonlandırılan simülasyonların çıktılarının yorumlanmasında kaynak kullanım oranları üzerinde durmak analizlerin daha sağlıklı yapılmasına olanak sağlayacaktır.

Sonlandırılan simülasyonlar, incelenen periyot için çok sayıda simülasyon koşumu yapılarak analiz edilirler. Her bir simülasyon koşumu için rassal sayı üreticinde farklı bir başlangıç değeri oluşturularak, incelenen sistem ile ilgili çok sayıda bağımsız ve tarafsız gözlem değerleri elde edilir.

Sonlandırılan simülasyonlar için simülasyon koşumu yapılmadan önce 3 önemli sorunun cevaplanması gerekir.

- (1) Modelin başlangıç durumu ne olacaktır?
- (2) Simülasyon koşumu ne zaman veya hangi olay ile sonlandırılacaktır?
- (3) Ne kadar simülasyon koşumuna gereksinim vardır?

Modelin başlangıç durumu, simülasyon koşumunun başlangıcında sistem durumunun nasıl olduğunu tanımlamaktadır. Simülasyon koşumunu bitiren olaya sonlandırıcı olay denir. Sonlandırıcı olay bazen bir zaman süresi olabileceği gibi önceden belirlenmiş bir sistem durumuna ulaşılması da olabilir. Sistemin başlangıç durumu ve simülasyon koşumunu sonlandıracak olan mekanizma tanımlandıktan sonra sıra simülasyon modeli üzerinde deneyler yapmaya gelir. Bağımsız istatistiksel sonuçlar üretmek üzere simülasyon koşum sayısının belirlenmesinde planlanan güven aralığı için arzu edilen yarı genişlik değeri belirleyici olmaktadır. Genellikle, başlangıçta 10 adet simülasyon koşumu yapmak ve sonuçları analiz ederek yukarıda belirtilen formüller ışığında ihtiyaç duyulan ilave koşum sayısını belirlemek uygun olacaktır (Harrell vd., 2000).

3.4.3.2 Kararlı Durum Simülasyonu

Kararlı durum simülasyonu, sistemlerin uzun dönemde kararlı düzey davranışlarının incelenmesi için kullanılır. Kararlı durum simülasyonunun bir diğer adı da sonlandırılmayan simülasyondur. Fakat bu tanımdan yola çıkarak simülasyon koşumunun sonsuza kadar devam ettiği anlaşılmamalıdır. Burada anlatılmak istenen, simülasyonun teorik olarak sistemin istatistiksel davranışında bir değişim olmadan sonsuza kadar devam edebileceğidir. Kararlı durum simülasyonlarında belirlenmesi gereken en önemli nokta, kararlı durumdaki sistem davranışına ait istatistikleri toplamak üzere modelin çalıştırılacağı uygun zaman uzunluğudur.

Kararlı durum simülasyonu için en güzel örneklerden birisi de düz cam üretim hattıdır. Yapısal özellikleri gereği cam fırınlarının faaliyete geçtikleri zamandan itibaren ekonomik ömürlerinin sonuna kadar hiç sönmeden çalışması gerekir. Cam fırınındaki termodinamik ısı akışının ve hammadde homojenliğinin belirli kontrol limitleri içerisinde tutulması düz cam üretiminde kalitenin sağlanması için hayati önem taşımaktadır. Cam fırını faaliyete geçtikten sonra belirli bir süre düz cam kalite standartlarının tutturulması mümkün değildir. Bu süreç geçiş periyodu olarak adlandırılır. Geçiş süreci tamamlandıktan sonra kararlı duruma ulaşan cam fırını arzu edilen kalite standartlarında düz cam üretimi sağlayacaktır.

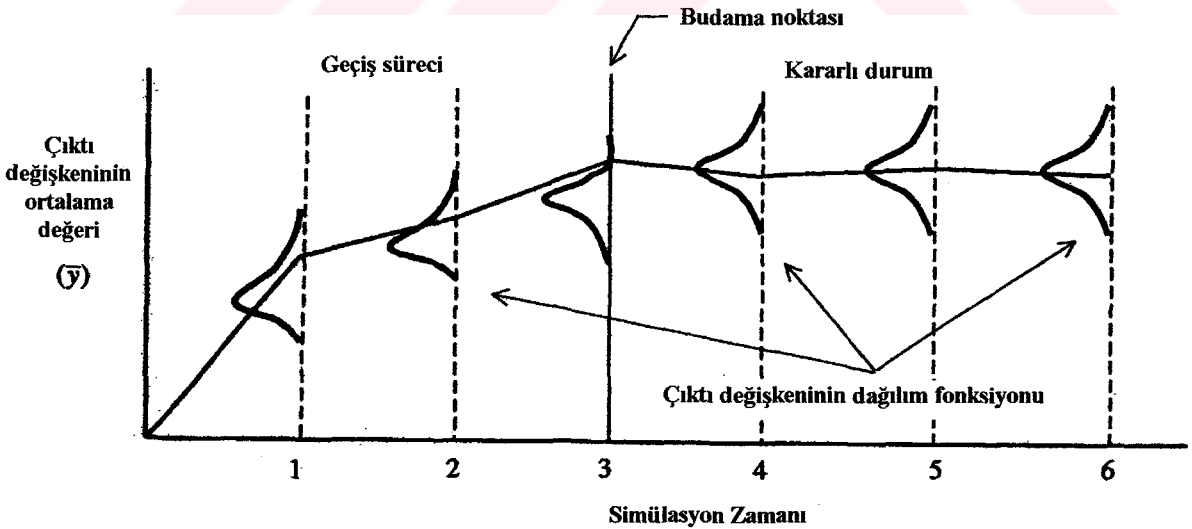
Kararlı duruma ulaşıldığında da sistem davranışındaki değişimler devam etmektedir fakat bu değişimler geçiş sürecine kıyasla çok daha dar tolerans limitlerinde gerçekleşmektedir. Kararlı durumda sistem üzerinde yapılacak operasyonel değişiklikler sistemi yeniden geçiş sürecine sokacaktır. Kararlı durum simülasyonunda sistemin kararlı düzeye geldiği noktanın belirlenmesi çıktı analizinde büyük önem taşımaktadır. Simülasyon koşumunun başlangıcından kararlı duruma kadar geçen periyot geçiş süreci olarak adlandırılır ve sistemin kararlı duruma geçtiği noktaya budama noktası denir (Kelton vd., 2002).

Kararlı durum simülasyonlarının analizinde üzerinde önemle durulması gereken noktalar şunlardır:

- (1) Budama noktasının belirlenmesi ve geçiş sürecinin neden olduğu etkinin elimine edilmesi,
- (2) Çıktı analizinde kullanılacak istatistiksel gözlem değerlerinin tutulması,
- (3) Simülasyon koşum uzunluğunun belirlenmesi.

Kararlı durum simülasyonu, sistemin kararlı düzeye ulaştıktan sonraki davranışlarıyla ilgilendiğinden, geçiş sürecinin çıktılar üzerindeki etkisinin ortadan kaldırılması sağlıklı istatistiksel sonuçlara ulaşmak için son derece önem taşımaktadır. Şekil 3.10 bir kararlı durum simülasyonu için çıktı değişkeninin simülasyon koşumu süresince gösterdiği değişimi temsil etmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi kararlı duruma erişildikten sonra çıktı değişkeninin dağılım fonksiyonu zamanla daha az değişim göstermektedir. Geçiş sürecinin uzunluğu simülasyon modelindeki faaliyetlerin türü ve süresine bağlı olarak modelden modele değişim gösterir. Kararlı durum simülasyonlarının istatistiksel çıktı analizinde en önemli konu budama noktasının belirlenmesidir.

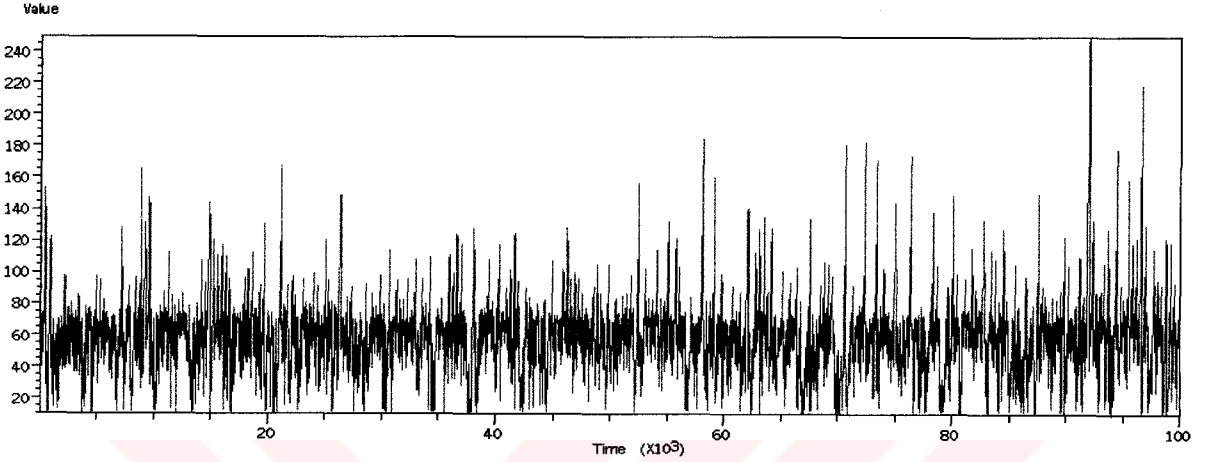
Budama noktasının tahmin edilmesinde kullanılan pek çok teknik mevcut olmakla birlikte en kolay ve en yaygın olarak tercih edilen yöntem 5-10 koşum için modelin işletilerek çıktı değişkenlerinin ortalama değerleri için sistem davranışının incelenmesidir (Harrell vd., 2000).



Şekil 3.10 Kararlı düzeye ulaşılana kadar model çıktısındaki değişim (Harrell vd., 2000)

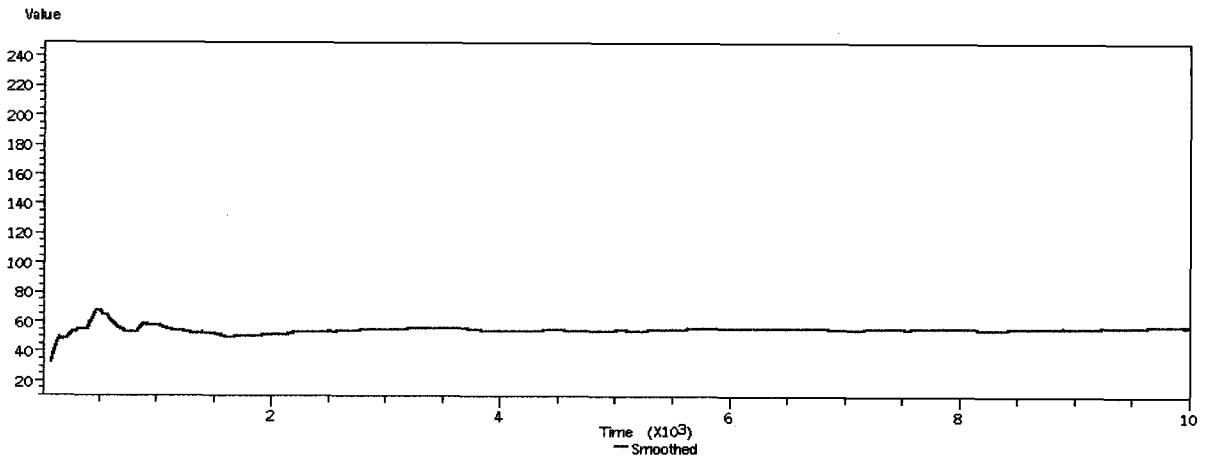
Fakat bazen, çıktı değişkeninin hareketleri düzenli olmayan kararsız bir yapı gösterebilir. Bu gibi durumlarda budama noktasının grafik üzerinden gözle görülmesi çoğu zaman mümkün

değildir. Çıktı değişkeninin düzensiz bir yapı gösterdiği durumlarda budama noktasının belirlenmesinde bir eğri düzgünleştirme yöntemi olan hareketli ortalama tekniği kullanılır. Aşağıdaki şekilde, Arena ile hazırlanmış olan bir simülasyon modeline ait simülasyon çıktı değişkeninin zaman içindeki değişimi görülmektedir.



Şekil 3.11 Bir simülasyon modeline ait çıktı değişkeninin zaman içindeki değişimi

Durum değişkeninin kararsız bir değişim gösterdiği bu grafikte budama noktasının gözle kolayca belirlenmesi mümkün değildir. Bu nedenle simülasyon çıktı değişkenine ait veriler Arena Output Analyzer programı kullanılarak işlenerek yorumlanabilir hale dönüştürülür. Output Analyzer programındaki eğri düzeltme tekniklerinden hareketli ortalama yöntemi kullanıldığında grafik aşağıdaki şekli alır.

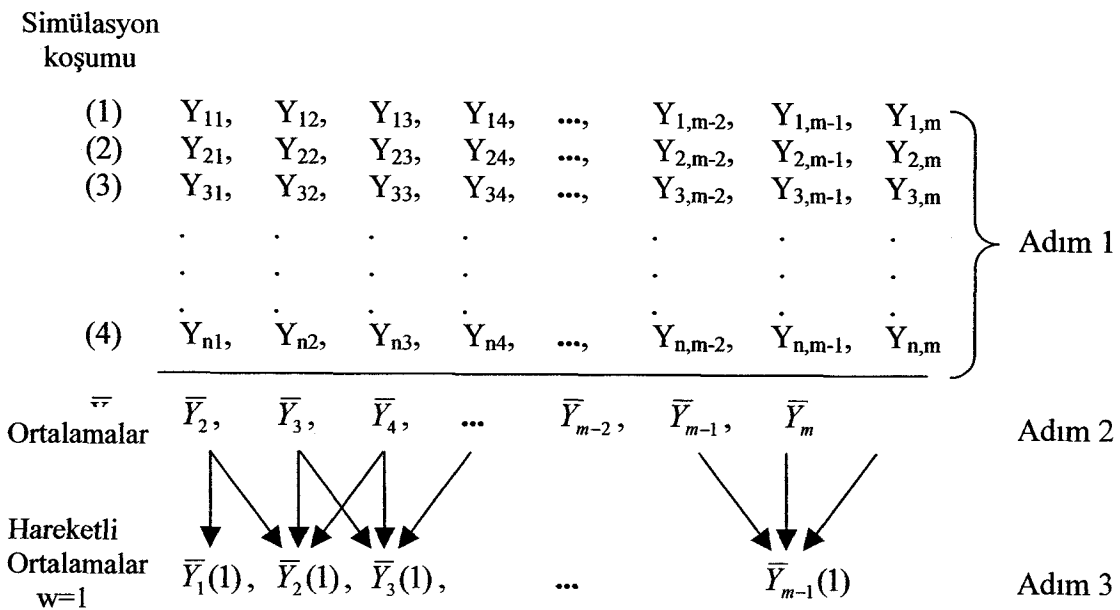


Şekil 3.12 Bir simülasyon modeline ait çıktı değişkeninin düzeltilmiş değişimi

Yukarıdaki şekilden de görüldüğü gibi sistem 2. zaman periyodundan itibaren kararlı duruma geçmektedir. Budama noktasının belirlenmesinde kullanılan tekniklerden bir diğeri de Welch algoritmasıdır. Welch algoritmasında budama noktasını belirlemek üzere her birinin uzunluğu m olan n adet ($n \geq 5$) simülasyon koşumu yapılır. Y_{ji} , j . simülasyon koşumundaki i . gözlem değerini belirtmektedir ($j = 1, 2, \dots, n$; $i = 1, 2, \dots, m$).

Model çıktı değişkeni kararsız bir yapı gösteriyorsa, hareketli ortalamalar yöntemini kullanarak eğriyi düzgünleştirmek, budama noktasının yerinin doğru olarak belirlenmesini kolaylaştıracaktır. Hareketli ortalama, çıktı veri kümesi içerisindeki son w adet gözlem değerinin ortalamasının alınmasıyla hesaplanır. Welch algoritmasında w değeri hareketli ortalama penceresi olarak adlandırılır. Hareketli ortalamalar yönteminde w değerinin amaca uygun olarak belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Hareketli ortalama penceresi (w) için seçilen değerler büyüdükçe, eğri daha düzgün bir form alacaktır (Law ve Kelton, 2000).

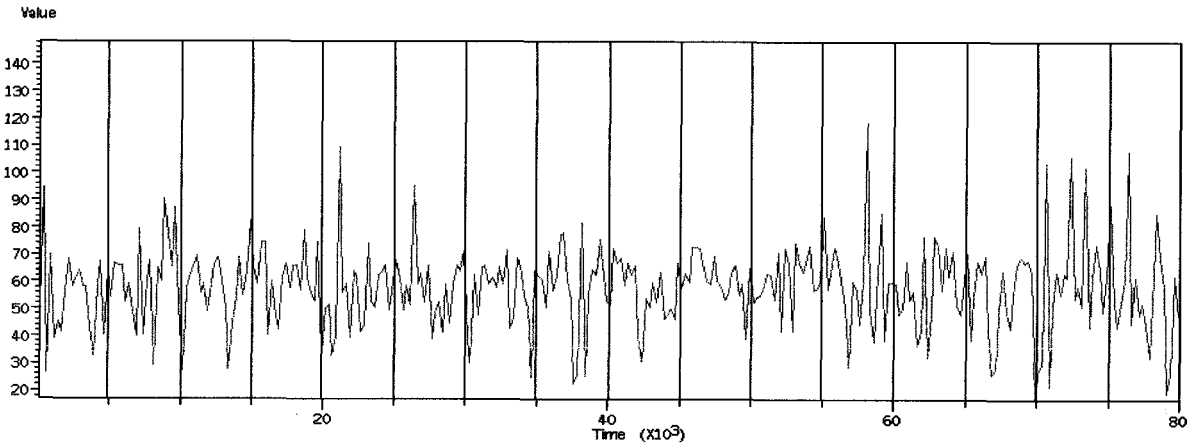
Welch algoritması kullanılarak elde edilen çıktı değişkenine ait düzgünleştirilmiş eğrinin yatay bir seyir gösterdiği nokta budama noktası olarak belirlenebilir. Günümüzdeki gelişmiş simülasyon yazılımlarının büyük çoğunluğunda budama noktasının belirlenmesinde Welch algoritması kullanılmaktadır. Budama noktasının doğru olarak belirlenmesinde Welch algoritmasını birden fazla performans değişkeni için tekrarlamak yerinde olacaktır. Çünkü, sistem çıktı değişkenlerinden biri için kararlı duruma ulaşıldığı noktada sistem bir başka çıktı değişkeni için hala kararsız bir değişim gösterebilir. Welch algoritmasının m uzunluğunda n adet simülasyon koşumunun $w=1$ için çalışma yöntemi aşağıdaki gibidir.



$$\bar{Y}_i(w) = \begin{cases} \frac{\sum_{s=-w}^w \bar{Y}_{i+s}}{2w+1} & \text{eğer } i = w+1, \dots, m-w \\ \frac{\sum_{s=-(i-1)}^{i-1} \bar{Y}_{i+s}}{2i-1} & \text{eğer } i = 1, \dots, w \end{cases} \quad (3.26)$$

Eğer, sistemin kararlı duruma geçtiği nokta kolaylıkla belirlenebiliyorsa ve budama noktasına simülasyon koşum uzunluğu ile karşılaştırıldığında çok kısa bir sürede ulaşıyorsa bu durumda istatistiksel çıktı analizi için çok sayıda bağımsız simülasyon koşumu yapmak ve kararlı duruma geçiş periyotlarının etkisini elimine etmek en uygun çözüm olacaktır. Bu tip analize budanmış simülasyon koşumları analizi denir. Daha yüksek çıktı hassasiyetine ihtiyaç duyulduğunda, güven aralığı limitlerini daraltmak üzere bağımsız simülasyon koşum sayısını arttırmak ya da simülasyon koşum sayısını sabit tutarak koşum uzunluğunu arttırmak yeterli olacaktır.

Bazı simülasyon modellerinin kararlı düzeye ulaşması koşum uzunluğu ile karşılaştırıldığında uzun zaman almaktadır. Bu tip sistemlerin istatistiksel çıktı analizi için, budanmış simülasyon koşumları yerine kümelenmiş simülasyon koşumu analizinin kullanılması tercih edilmelidir. Kararlı duruma ulaşılan kadar geçen geçiş periyodu simülasyon koşumu içerisinde önemli bir yer tutuyor ise, böyle durumlarda geçiş periyodunun etkisine bir defa katlanmak adına, çok uzun süreli tek bir simülasyon koşumu yapmak ve bu uzun simülasyon koşumunu istatistiksel olarak mümkün olduğunca birbirinden bağımsız gruplara ayırarak analiz etmek yerinde olacaktır (Kelton vd., 2002).



Şekil 3.13 Kümelenmiş simülasyon koşumu analizi için bir örnek

Kümelenmiş simülasyon koşumu analizinde geçiş periyodunun etkisi elimine edildikten sonra bağımsız gözlem değerleri oluşturmak üzere simülasyon koşumu kümelere ayrılırken, zaman veya gözlem sayısı belirleyici faktör olarak tercih edilebilir. Yani, kümeler ya gözlem sayısı ya da zaman bazında oluşturulurlar. Küme büyüklükleri ve sayıları belirlenirken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, kümeler arasında bir korelasyonun olmamasıdır. Gözlem sayısı veya zamana bağlı olarak seçilen kriterler için oluşturulan kümeler arasındaki korelasyon ilişkisinin analizinde Arena Output Analyzer programı kullanılabilir.



4. KESİKLİ SİSTEMLERİN MODELLENMESİ VE ANALİZİNDE GÖRSEL SİMÜLASYON TEKNİĞİ

4.1 Kesikli Sistemlerde Genel Prosesler ve Modellenmeleri

Modelleme çalışmalarında amaç öncelikle sistemin performans ölçülerini belirlemek ardından bu ölçülerin davranışlarını parametre ve değişkenler cinsinden fonksiyonel olarak ifade etmektir.

Burada kesikli sistemlerin özellikleri genel anlamda incelenecektir ve karşılaşılan prosesleri simülasyon modeli içinde tanımlamaya çalışan bir sistem analizcisinin kullanabileceği modelleme aracının gerekli kapasitesinin en azından ne olması gerektiği hakkında bir fikir verilecektir. Sıklıkla karşılaşılan kesikli sistem davranışları incelendikten sonra ise Siman tabanlı Arena 5.0 simülasyon programı içerisinde bu davranışların modellenmesinin nasıl yapılabileceği ve ilgili modüller hakkında bilgi verilecektir.

Sistemler içindeki genel proseslerin bilinmesi analizcinin sistemi tanımlama (bileşenlerin, ilişkilerin ve sınırların tanımlanması) ve sistemi soyutlayarak bir simülasyon modeli haline getirme görevlerindeki kabiliyetini artıracaktır.

Proses temelli simülasyon modelleme araçları çeşitli gerçek hayat senaryolarında sıkça gerçekleşen prosesleri temsil etmek üzere daha önceden yazılmış ve hazırlanmış program modülleri sağlarlar. Bu sayede sistem analizcisinin sıkça tekrar eden bu prosesleri farklı simülasyon projelerinde tekrar tekrar yazma gereksinimi ortadan kalkmış olmakta, modelleme çalışması kolaylaştırılmakta ve simülasyonel programlama işi hazır modülleri uygun olarak seçme, mantıksal bir şekilde bağlama ve ilgili parametrik değerleri belirlemeye indirgenmektedir.

4.2 Gezen Birim Yaratılması ve Yok Edilmesi

4.2.1 Gezen Birim Yaratılması

Kesikli sistemlerde oluşan dinamizmin temel sebebi zaman içinde sistemin durumunun değişmesine neden olan olayların oluşumunu sağlayan gezen birimlerin hareketleridir. Çoğu sistem içinde gezen birimler sisteme sistem sınırlarının dışından girdi şeklinde dahil olup sistem bileşenlerinin arasında hareket ederek sistem sınırlarını çıktı şeklinde terk ederler.

Sisteme girdi şeklinde gezen birim oluşturmak için (bankaya gelen müşteriler, otoyola giren arabalar gibi) bir gezen birim kaynağı şeklinde hareket edecek olan genel prosesin

tasarlanması gereklidir. Farklı simülasyon dillerinde “source, create, arrive, generate” gibi farklı şekillerde isimlendirilen bu tip bir modülde bulunması gereken özellikler aşağıda sıralanmaktadır:

1. İlk gezen birimin oluşturulma zamanının ve gelişler arası sürelerin sabit veya rassal değişken olarak ayarlanabilmesi. Rassal değişken seçiminde sadece dağılımın ismini seçerek ve ilgili parametre değerlerini girerek sonuca ulaşılabilmesi.
2. Gezen birimlere isim ataması yapılabilmesi. Gezen birime bir özellik (attribute) olarak atanan bu isim, farklı rotaların ve işlem sürelerinin belirlenmesinde kullanılabilir.
3. Gezen birimlerin parti şeklinde aynı anda birden fazla olarak oluşturulabilmesi.
4. Gezen birim yaratım miktarının sınırlandırılabilmesi.
5. Belirli bir zamandan sonra gezen birim yaratımının durdurulabilmesi.

4.2.2 Gezen Birimlerin Yok Edilmesi

Yok etme prosesini temsil eden modülde aranan önemli bir özellik simülasyon sürecinin sonlandırılması için gerekli yok edilecek gezen birim miktarının belirtilebilmesidir. Gezen birim yaratılması ve yok edilmesinin zamana ve miktara bağlı kontrolü analizciye sistem meşgulken veya boşken simülasyonu sonlandırma şansı verir. Örneğin kaynak modülünde oluşturulacak gezen birimlere miktarsal veya zamansal bir kısıt konup, yok etme modülüne herhangi bir kısıt konulmazsa, kaynak modülü belirli miktarda veya sürede gezen birim oluşturduktan sonra duracak fakat yok edici modül tüm gezen birimler yok edilene kadar çalışacak ve sistemi boşaltıp simülasyona son verecektir. Bu durum özellikle banka gibi kapılarını müşterilerine belirli bir saatten sonra kapatan ancak sistemdeki müşteriler bitene kadar faaliyetine devam eden işletmelerin simülasyonunda kullanılabilir. Şayet kaynak modülünde konulan sınır, yok etme modülünde konulan sınır değerinden daha büyükse bu durumda simülasyonun son bulması ile beraber sistemin içinde bazı gezen birimler kalacaktır.

4.3 Gezen Birim Yaratımı ve Yok Edilmesinin Simülasyonel Olarak Modellenmesi

Arena 3.0 simülasyon programında gezen birimlerin yaratılması için Arrive modülü kullanılmaktadır. Gelişler arası süreler ise bu modül içindeki “time between” değeri ile modellenir. Arrive modülü Create, Count, Assign, Station ve Leave gibi çeşitli modüllerden oluşan bileşik bir yapıya sahiptir. Temelde gezen birimleri yaratan modül ise Create modülüdür.

Yaratılan gezen birimlerin yok edilmeleri için çıkış istasyonuna rotdalanmaları ise Leave modülü ile yapılır. Leave modülü gezen birimlerin başka bir istasyon veya modüle taşınması amacıyla kullanılır ve Station ile Seize, Route, Access, Convey, Request, Transport gibi malzeme taşıma bölümünde ele alınacak taşıma modüllerini içerir. Ayrıca taşıma söz konusu değilse veya ihmal edilebilecek bir düzeyde ise Connect seçeneği seçilir ve modüller 'connect command' adı verilen bağlayıcı ile birleştirilebilir. Station modülü kullanıldığında ek olarak Assign, Delay ve Count gibi yardımcı modüllerin kullanılması ile yapılabilecek resim atama gibi animasyonlar, yükleme ve boşaltma zamanlarının modele dahil edilmesi ve gezen birimlerin sayılması gibi işlemler ilave bir modüle ihtiyaç duyulmadan Leave modülü ile yapılabilir.

Çıkış istasyonunu temsil eden modül olan Depart modülü Arrive modülü gibi bileşik bir yapıya sahiptir ve Enter, Count, Tally ve Dispose gibi modüllerden oluşur. Nasıl ki Arrive modülü içinde gezen birim yaratan esas modül Create ise Depart modülünde de gezen birim yok eden modül Dispose'dur.

Eğer simülasyonun belirli sayıda gezen birim işlem gördükten sonra sonlandırılacak ise, gezen birimlerin sayımı için Depart modülü içindeki Count modülü kullanılır. Üst limit değeri ise Statistics modülü tarafından kontrol edilir. Statistics modülü yardımcı bir modül olup ilgili performans ölçülerine ait istatistiklerin elde edilmesini sağlar.

Simulate modülü ile ilgili modelin adı, proje sahibi gibi özellikler yanında simülasyon başlama zamanı, koşum süresi ve sayısı, geçiş döneminin uzunluğu, simülasyon sonunda sistem şartlarının başlangıç konumuna getirilmesi gibi özellikler de kontrol edilebilir. Yardımcı modüllerden olan Animate modülü ise koşum sırasında izleyicinin ilgili istatistikleri dinamik olarak izleyebilmesi amacıyla kullanılmaktadır (Pegden vd., 1990).

4.4 Gezen Birimlerin Rotalanması

Gezen birimler sistem içinde mantıksal veya olasılıksal faktörlerin etkili olduğu rotaları izleyerek hareket ederler. Bu rotaların seçim işlemini temsil eden modülde bulunması gereken özellikler aşağıda sıralanmaktadır:

1. Dallar arasında olasılıksal seçime olanak sağlanmalıdır.
2. Durumsal seçime olanak sağlanmalıdır. Yani her bir alternatif dala bir koşul veya kural atanabilmelidir. Koşullar global değişkenlerin değerlerine, gezen birim özellik değerlerine ya da karmaşık tanımlamalara dayalı olabilir. Global değişkenlere örnek olarak sisteme gelen arabaların belirli bir saatten önce belirli bir yola, o saatten sonra

ise başka bir yola yönlendirilmesi verilebilir. Özellik değişkenlerine örnek olarak ise farklı tiplerdeki gezen birimlerin farklı dallara gönderilmesi verilebilir.

3. Eş kuyruklar arasından seçim yapma işleminde en kısa uzunluk, kalan en büyük kapasite, döngüsel veya rassal seçimler gibi özelleştirilmiş koşullar sağlanmalıdır.
4. Kaynağın birden fazla kuyruk arasından hangisine hizmet vereceğini en uzun kuyruğun tercihi, her bir kuyruktan birer tane gezen birimin alınması (montaj işlemlerinde), döngüsel ya da rassal tercih gibi kriterlere göre seçebilmesi.
5. Bir diğer sık karşılaşılan işlem ise aynı hizmeti veren birden fazla kaynak arasında seçim yapmaktır. Bu durumdaki seçim kriterleri ise en fazla boş zamana sahip kaynağın seçilmesi, döngüsel seçim veya rassal seçim olabilir.

4.5 Gezen Birimlerin Rotalanmasının Simülasyonel Olarak Modellenmesi

Daha önce de tanımlandığı gibi gezen birimlerin rotalanmasında kullanılan belirleyici faktörler, modelleyicinin belirlediği olasılık değerleri, global değişkenler veya gezen birim özellikleridir. Arena programında her bir faktörü modellemek için geliştirilmiş ilgili modüller mevcuttur. Gezen birimlerin rotalanmasında yaygın olarak kullanılan modüller Inspect, Choose, PickQueue, PickStation ve Decide modülleridir.

Inspect modülü başlıca üç kısımdan meydana gelmektedir. Birinci kısımda kontrol fonksiyonunu yerine getirecek olan kaynağa ait parametreler bulunmaktadır. Burada hem kaynak ile ilgili ayarlamaları yapmak hem de olasılık değerini belirlemek mümkündür. Diğer kısım Pass Inspection Leave Data bölümüdür burada incelemeyi olumlu olarak tamamlayan gezen birimlerin rotalanacağı istasyon ve bağlantı türü tanımlanmaktadır. İncelemeyi olumsuz olarak tamamlayan gezen birimlerin rotalanması için ise Fail Inspection Leave Data bölümündeki benzer parametreler kullanılmaktadır. Choose modülü, global değişkene ya da gezen birim özelliğine bağlı olarak rotalama yapmaya imkan sağlar. PickQueue modülü ile gezen birimlerin paralel kuyruklar arasında çevrimsel, rassal, en kısa kuyruk, en uzun kuyruk, en büyük kuyruk kapasitesi, en küçük kuyruk kapasitesi gibi faktörlere bağlı olarak rotalanması sağlanır. Birden çok istasyon arasında seçim yapılması durumunda gezen birimlerin rotalanması için PickStation modülü kullanılır. PickStation modülünde gezen birimlerin rotalanması için kuyruk uzunlukları, kaynak kapasiteleri belirleyici faktör olarak seçilebilir. Decide modülü hem olasılıksal hem de durumsal bazda gezen birim rotalanmasına imkan sağlamaktadır (Kelton vd., 2002).

4.6 Gezen Birimlerin Hareketleri ve Taşınması (Transportasyon)

Rotalardaki gezen birim hareketleri gezen birimlerin kendileri tarafından gerçekleştirilebileceği gibi özel ekipmanlar ile taşıma şeklinde de olabilir. Gezen birimlerin hareketleri ve taşınması konusunda çeşitli olasılık ve yöntemler söz konusudur.

Bunlar:

1. Gezen birimlerin kendilerinin herhangi bir yardıma ihtiyaç duymadan hareket edebilmeleri. Örneğin bankadaki müşteriler.
2. Gezen birimlerin sistem içinde hareket edebilmek için belirli bir yardıma ihtiyaç duymaları. Bu durum özellikle üretim sistemlerindeki malzemelerin taşınması durumunda geçerli olup, taşıma işlemi insanlar, bantlar, taşıyıcı araçlar veya vinçler ve diğer özel taşıma araçları tarafından gerçekleştirilir.

Bu bölümde incelenecek taşıma işlemleri günlük hayatta daha sık karşılaşılan yöntemleri kapsamaktadır. Bu yöntemlerin modellenmesinde kullanılacak bir modülde aranan temel özellikler ise aşağıda sıralanmaktadır:

1. Farklı gezen birimler için rassal veya sabit değerler şeklinde farklı hareket sürelerinin belirlenebilmesi.
2. Çoğu gerçek hayat durumunda bir yoldan geçen birimler için herhangi bir kapasite sınırı yoktur. Yani aynı anda bir yoldan sınırsız sayıda gezen birim geçebilir. Örneğin bankanın kapısından giren müşteriler veya iki şehir arasında uçuş yapan uçaklar gibi. Diğer bazı durumlarda ise yol kapasitesi sınırlandırılabilir. Örneğin dar bir sokakta ilerleyen arabalar veya fabrikadaki malzeme taşıma ekipmanları gibi. Bu yüzden gezen birim geçiş modülünde yolların kapasitelerinin kontrolü amaçlı özellikler bulunmalıdır.
3. Gezen birimleri kaynak noktasından varış noktasına nakledecek taşıyıcılara ihtiyaç duyulması durumunda taşıyıcılara da rotalar atanabilmesi.

4.7 Gezen Birimlerin Taşınmasının Simülasyonel Olarak Modellemesi

Gezen birimlerin taşınmasında kullanılan yöntemlerden birisi de taşıyıcılardır. Taşıyıcılar bazen bir işçi bazen bir forklift veya bazen bir transpalet gibi çok farklı şekillerde karşımıza çıkabilir. Bu tamamen modelleyicinin tercihinine bağlıdır. Gezen birime bir taşıyıcı kaynağın tahsis edilmesi için Allocate modülü kullanılır. Request modülü ile daha önce Transporter modülü aracılığıyla ilgili özellikleri (hızı, adedi, distance modülü vb.) tanımlanmış olan

taşıyıcı gezen birimin bulunduğu istasyona çağrılır. Buradaki önemli nokta taşıyıcı araç bir insan olarak kabul edildiğinde normal bir Resource modülü kullanarak modellenemeyecek olan ayrıntılar modele dahil edilebilir ve ilgili animasyonlar daha gerçekçi bir şekilde yapılabilir. Request modülü tarafından yakalanan taşıyıcı Delay modülü, Load Time veya Unload Time parametreleri kullanılarak yükleme ve boşaltma süresine tabii tutulur. Burada dikkat edilecek nokta Station modülü gibi temel modüllerde yükleme ve boşaltma zamanlarının modellenmesinde Delay modüllerinden faydalandığıdır. Bu süreler Enter modülleri ile ek bir modüle gerek kalmadan da direkt olarak modellenenmektedir. Move modülü taşıyıcının yüksüz olarak bir noktadan bir noktaya yönlendirilmesinde kullanılmaktadır. Transport modülü ile taşıyıcı araç veya işçilerin hedef istasyona yüklü olarak yönlendirilmesi sağlanır. Şayet Transport değilse Leave modülü kullanılarak modelleme yapılsaydı taşıyıcı için tek bir hareket hızı tanımlanacağından farklı tip ve özelliklerdeki gezen birimler için farklı taşıma hızlarını modellemek mümkün olmayacaktı. Bu da ayrıntılı modellme için temel modüllerin kullanım gerekliliğini göstermektedir. İki istasyon arasındaki taşıma Distance modülü ile sağlanan bağlantı üzerinden yapılmaktadır. Distance modülü taşıyıcının iki istasyon arasında takip edeceği güzergahı ve bu güzergahın uzunluğunu tanımlamak için kullanılmaktadır. Taşıyıcı kaynak hedef istasyona ulaştığında gezen birimlerin boşaltılması gerekir. Bu durum herhangi bir şart gerektirmediğinden direkt olarak Free modülü ile modellenebilir.

Gezen birimlerin sistem içerisinde taşınmasında sıklıkla karşılaşılan bir diğer taşıma şekli konveyör ile taşımadır. Konveyör ile ilgili (hız , hücre büyüklüğü, birikimli olup olmama vb.) özellikler Conveyor modülü içinde tanımlanmakta ve izleyeceği yol da Segment modülü ile belirtilmektedir. Gezen birimlerin bant üzerindeki hücrelere yerleştirilmesi ve parçaların kaç adet hücreye yerleştirileceği ise Access modülü ile modellenmektedir. Bantın hangi istasyona yöneleceği ise Convey modülü ile tanımlanır. Hareket halindeki bir taşıyıcı araçtaki gezen birimlerin, araç durdurulmadan işlenebilmesi Arena 3.0 programı içerisinde Advanced Server modülü ile yapılmaktadır. Daha önce bahsedilen Server modülü ile Advanced Server modülleri arayüz ve fonksiyonellik açısından oldukça benzer olmakla beraber Advanced Server ile aynı anda çok sayıda kaynak kullanılabilir ve taşıyıcı araçlar üzerinde işlem yapılabilir. Advanced Server modülü temelde Enter, Process ve Leave modüllerinin birleşiminden oluşur. Process modülü ise temel Seize, Delay ve Release modüllerini kapsar. Gezen birimler konveyör üzerinde hedef istasyona ulaştıklarında Exit modülü kullanılarak gezen birimlerin bulundukları konveyörü terk etmeleri sağlanır (Pegden vd., 1990).

4.8 Gezen Birim Artırımı ve Azaltılması (Paketleme, Gruplama ve Bozma)

Çeşitli gerçek hayat sistemlerinde, tek olan gezen birimler parçalanıp çok sayıda yeni gezen birimlere dönüşebileceği gibi, birleşip yeni bir gezen birim de oluşturabilmektedirler. Gezen birimlerin artırımı ve azaltılması işleminde çeşitli olasılıklar mevcuttur. Aşağıda bu olasılıkların sınıflandırılması yapılmakta ve bu işlemi temsil eden simülasyonel modelleme modülünde gerekli olan özellikler belirtilmektedir.

Yukarıda da belirtildiği gibi tek yapıda olan gezen birimler çeşitli gezen birimler haline ayrılarak artırılabilir. Örnek olarak gruplanmış ya da paketlenmiş birimlerin tamamen veya kısmen parçalanması gibi. Daha özel örnekler olarak ise bir otobüsten inen yolcular, montajlı bir parçanın sökülmesi veya bir ofisteki işlemler ağı içinde bir belgenin çoğaltılarak farklı hedeflere doğru rotalanması gibi durumlar verilebilir.

Gezen birimlerin sayıları daha sonra kendisini oluşturan gezen birimlere ayrıştırılmayacak yani parçalanmayacak olan gruplar haline getirilerek azaltılabilir. Bu gibi durumlarda bireysel gezen birimler özelliklerini kaybederler, gruplama sonucu oluşan yeni gezen birim ise önceki gezen birimlerden birinin ya da toplam gezen birimlerin özelliklerinin bir birleşimini özellik olarak alır. Örneğin beş buldozerin taşıyıp bir kamyonu yükledikleri kumu ele alırsak, yükleme sonucu kamyonadaki kumun hangi buldozere ait olduğu bilinemez ve bilinmesine de gerek yoktur.

Gezen birimler daha sonra parçalanmak üzere bir araya getirilip gruplanabilirler. Oluşturulan grup kendisine atanan özelliklerle beraber tek bir varlık olarak hareket edecektir. Grubu oluşturan her bir gezen birim ise özelliklerini muhafaza edecek ve grubun parçalanması ile beraber de kendi rotalarını takip edeceklerdir. Örneğin uçağa binen yolcular veya bir taşıyıcı araca yüklenmiş olan parçalar verilebilir. Bu örneklerde de belirtildiği gibi bazı durumlarda gruplanmış gezen birimlerin taşınmasında taşıyıcı araçlardan faydalanılmaktadır. Taşıyıcıların çeşitli yükleme koşulları olabilir. Örneğin kapasitelerinin tamamı kadar yükleme, hiç bir şart olmadan mümkün olan her bir gezen birimin taşınması, hareket etmeden önce belirli bir süre bekleme gibi. Taşıyıcıların çeşitli hareket öncelikleri ve farklı özellikleri (kapasite, rota, hız vb.) olabilir.

Genelde yukarıda belirtilen iki gruplamaya da uyan belirli gruplama koşulları mevcuttur. Bu koşullar genelde orjinal gezen birimlerin sayılarına ya da bu gezen birimlerin belirli bir özelliklerinin değerlerinin bazı kombinasyonlarına dayanır. Örneğin, bir tur otobüsünün kırk yolcu olması durumunda hareket etmesi yada bir kamyonun yük miktarının kapasitesine eşitlenmesi halinde hareket etmesi gibi. İlk durumda orijinal gezen birimlerin toplam sayısı

gruplama için koşul oluşturur, ikinci durumda ise birimlerin toplam ağırlığı (birimlerin ağırlıkları özellikler kısmına atanarak belirtilebilir) gruplama koşulunu oluşturur.

Son olarak gezen birimler tek bir gezen birimi oluşturmak için monte edilebilirler. Bu durum yukarıda belirtilen gruplama şartlarından biraz farklıdır. Çünkü bu gibi durumlarda farklı rotalardan gelen gezen birimlerin montajın gerçekleşebilmesi için birbirleriyle uyumlu yapı ve sayıda olmaları gerekir.

4.9 Gezen Birimlerin Artırılması ve Azaltılmasının Simülasyonel Olarak Modellemesi

Üretim veya hizmet sistemleri içerisinde gerçekleşen paketleme ve gruplama gibi işlemlerin modellenmesi için Arena içerisinde kullanılan başlıca modüller Batch, Group ve Combine'dır. Bunlardan Group modülü sadece geçici gruplar oluşturur ve bu grupların sistem modelinden çıkmadan önce dağıtılması gerekir. Bu işlem için ise Split modülünden faydalanılır. Combine modülü ise sadece sürekli gruplar oluşturur ve bunlar sistemi terk edene kadar dağıtılmazlar. Batch modülü ise en gelişmiş gruplama modülü olup hem geçici hem de sürekli grup oluşturma imkanını sunar. Ayrıca eşleştirmeli gruplama işlemine de olanak sağlar. Örneğin üç tip farklı parçanın üç ayrı şekilde gruplanması gibi (Pegden vd., 1990).

Sistemlerin modellenmesi sırasında karşılaşılan bir diğer gruplama şekli özellikle montaj işlemlerinde karşılaşılan farklı tiplerdeki yarı mamüllerin eşleştirilerek monte edilmesi yani gruplanmasıdır. Arena programı içinde bu işlem Match modülü ile yapılmaktadır. Örnek montaj bölümünde de tip 1, 2, 3 olarak adlandırılmış üç farklı tipte yarı mamül montaj hattı önünde kendi kuyruklarına girmektedirler. Bu işlem daha önce anlatılmış olan Choose modülü ile yapılmaktadır. Bu model içerisinde her bir tipteki parçadan birer adet olmadan gruplama yani eşleştirme (montaj) yapılamamaktadır.

4.10 Kaynakların Gezen Birimler Tarafından Kullanılması

Kaynaklar, gezen birimlerin belirli bir süre için kullanabilecekleri kısıtlı sayıda varlık olarak tanımlanabilir. Genellikle gezen birimler bazı kaynakların yerleştirilmiş oldukları belirli ve sabit bölgelere hareket ederek bu kaynaklardan faydalanırlar. Ayrıca gezen birimler, gelişleri itibarıyla kullanımlarına sunulan diğer çeşit kaynaklardan da faydalanabilirler. Bu tip kaynaklar gezen birimin kendisi tarafından üzerinde taşınabilir tamamen veya kısmen kullanılabilir yada tüketilebilir ve daha sonra kullanılmak üzere yerel stoğa geri bırakılabilir. Bu iki tip kaynak arasındaki farklılıklardan ötürü bir çok simülasyon dili bu kaynakları değişik şekillerde ele alır. Burada ilk kaynak tipine özel bir isim olarak 'servis birimi' adı

verilecektir. İkinci tip kaynaklar ise yine ‘kaynak’ olarak adlandırılacaklardır. Aşağıda her iki kaynak tipine ait genel özellikler belirtilmektedir.

Servis birimleri genellikle belirli servis sürelerine sahip hizmet birimlerini (banka memuru, sinema gişe memuru vb), iş istasyonlarını ve makinaları temsil ederler. Servis süreleri sabitler, rassal değişkenler, olasılık dağılımları şeklinde tanımlanabilir. Servis birimleri paralel olarak çalışan benzer servislere sahip olabilirler. Servis birimlerinin genel bir özelliği ise rassal veya programlanmış şekilde olası bozulma ve boş kalma zamanlarının belirtilebilmesidir. Ayrıca çeşitli benzer tesisler arasından seçim yapma veya bir kaynağın çeşitli paralel kuyruklar arasından hangisine servis vereceğini seçmesi sırasında daha önce anlatılmış olan kriterler geçerli olmaktadır.

Kaynaklar genellikle başlangıçta yerel stoklarda bulundurulurlar. Gezen birimler belirli bir sayıda kaynağa ihtiyaç duyarlar. Kaynağın alınmasında (receive) belirli bir gecikme (delay) oluşabilir. Gezen birimler yakaladıkları (seize) kaynakları çeşitli proseslerden geçerken de tutabilirler. Kaynaklar kullanım sonrasında bir geri dönüş gecikmesinin de dahil olabileceği şekilde yerel stoğa geri bırakılabilir. Gezen birimlerin kaynak kullanımı konusunda değişik öncelikleri olabilir. Daha öncelikli olan birim aynı kaynağa gereksinim duyan birimin önüne geçip onu engelleyebilir. Kullandığı kaynağı üzerinde taşıyan gezen birimlerde toplam kaynak kullanma süresinin kesin olarak verilmesine gerek yoktur.

Bu noktada sistemi modelleyen kişinin bir sistem bileşenini kaynak olarak mı yoksa gezen birim olarak mı tanımlaması gerektiği konusuna dikkat çekilmelidir. Genel olarak bir sistem bileşeni gezen birim olarak tanımlandığında o bileşenin hareketleri için özel rotalar tespit edilebilir. Bu imkan yerel stoklardan alınıp, kullanılan ve geri koyulan kaynaklar için geçerli değildir. Bir kaynak için rota belirlemek o kaynak bir gezen birim tarafından belirli bir rota boyunca taşınmadıkça mümkün değildir. Örneğin bir malzeme taşıma ekipmanının kaynak olarak tanımlandığını düşünelim. Bu durumda boş olan taşıyıcının tanımlanmaması bir bölgede (yerel stok) olduğu kabul edilir ve taşınması gereken gezen birim için taşıyıcıya bir gecikme zamanı verilebilir. Ancak kesin bir rota verilemez. Diğer taraftan taşıyıcı bir gezen birim olarak tanımlanırsa taşınması gerekli gezen birimin alınması için kesin rota belirtilebilir. Bazı simülasyon dillerinde malzeme taşıma ekipmanları kaynak olarak kabul edilmektedirler. Bu tip bir durum yukarıda anlatılanlar ışığında bir sınırlama olarak düşünülebilir. Kaynaklar ile gezen birimler arasındaki bir diğer farklılık ise her bir gezen birim sistem içinde takip edilebilirken kaynakların edilememesidir. Bunun sebebi ise kaynaklara özellik (attribute) atanamamasıdır. Bu da yerel stok içindeki bireysel kaynakların ayırt edilememesi sonucunu

ortaya çıkartmaktadır. Yani yerel stoğa en son hangi kaynağın giriş yaptığı belirlenmemektedir.

Aynı tip kaynakları bulunduran yerel kaynak stoklarıyla kıyaslandığında gezen birim birikim noktaları (kuyruklar) çok daha karmaşık bir yapıya sahiptirler. Çünkü kuyruklar kapsadıkları tüm gezen birimler hakkındaki bilgileri (her gezen birimin sahip olduğu özellikler ve kuyruktaki gezen birimlerin sıralaması vb.) içlerinde bulundurmak zorundadırlar. Bu yüzden mümkün olduğu zamanlarda gezen birim yerine kaynak kullanmanın avantajı kaynakların daha az bilgisayar hafızası gerektirmeleridir.

Yukarıda anlatılan tüm bu konuları daha anlaşılır hale getirmek için aşağıdaki örneği ele alalım. Bir üretim sistemi içinde A ve B bileşenleri iki adet vida ile monte edilmektedir. Bu durumda ilk alternatif A ve B bileşenleri ile vidaları gezen birim olarak tanımlamaktır. Ancak vidaların genellikle montaj hattında kullanılan ve yine kitleler halinde bu hatlarda stoklandığı dolayısıyla da montaj hattına da belirli bir rotayı takip ederek gelmediği göz önüne alınırsa vidaları birer gezen birim yerine yerel stok içinde birer kaynak olarak tanımlamanın daha uygun olacağı görülür. Bu kaynak birimleri daha sonra montajın tamamlanması için montaj hattından elde edilebilirler. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta da gezen birimler tarafından yakalanan kaynakların yerel stoğa geri dönmedikleri ve gezen birimler tarafından taşındıklarıdır. Ayrıca bu örneklerden de görülebileceği gibi sistem içinde montajı yapan işçi, tornavida gibi çeşitli diğer kaynaklar da bulunmakta ve bu kaynaklar vidalarla beraber eş zamanlı olarak gezen birimler tarafından yakalanmaktadırlar. Ancak bu kaynaklar yakalandıktan sonra gezen birimlerce tekrar serbest bırakılmakta ve yerel stoklarına gönderilmektedirler.

5. SÜREKLİ SİSTEMLERİN SİMÜLASYONU

Simülasyon, dinamik bir sistemin özelliklerini ve davranışlarını bilgisayar aracılığıyla taklit eden ve sonuçlarını sayısal olarak değerlendiren bir tekniktir. Sonuçta elde edilenler, istenen model karakteristiklerine ait birer tahmindir. Diğer bir tanımla simülasyon, incelenen bir gerçek hayat sisteminin belli bir zaman diliminde istenilen gerçek karakteristiklerini tahmin etmek amacıyla sistemin matematiksel, mantıksal bir modelinin geliştirilmesi ve bu sistem üzerinde deneyler yapılması sürecidir (Shannon ve Robert, 1975).

5.1 Kesikli ve Sürekli Simülasyon Modelleri

Günümüzde endüstriyel problemlerin doğasındaki karmaşıklık, pek çok analitik çözüm tekniğinin gerçek hayatta kullanımını kısıtlamaktadır. Analitik çözüm tekniklerindeki karmaşık algoritmalar ve endüstriyel problemlerdeki değişkenlerin sayısı ve bağımlılığı göz önünde bulundurulduğunda yöneticilerin simülasyon tekniğini neden tercih ettikleri daha iyi anlaşılmaktadır. Problemlerin yapısı, değişen teknolojiyle birlikte karmaşılaşmakta ve bütünleşik sistemlerin sayısı hızla artmaktadır. Analitik yaklaşımların aksine simülasyon modelleri, karmaşık problemlerin modellenmesi ve çözümünde daha başarılı olmaktadır. Değişkenler arasındaki etkileşimi ve sistemin dinamik davranışını simülasyon modellerinde gözlemek daha kolaydır. Simülasyon teknolojisinde yaşanan gelişmelerle birlikte, günümüzde simülasyon modellerine kısıtlar eklenerek optimizasyon sonuçları üretmek mümkün olmaktadır. Basit kesikli sistem modellerinin el ile simülasyonu mümkün olsa bile, yoğun diferansiyel denklem hesaplamaları gerektiren sürekli sistemlerin modellenmesinde simülasyon yazılımlarının kullanılması tercih edilmektedir (Aström vd., 1998).

Simülasyon modelleri durum değişkenlerinin zaman içerisindeki değişimine göre sürekli sistem simülasyonu ve kesikli olay simülasyonu olmak üzere ikiye ayrılır. Kesikli olay simülasyonu modellerinde sistem durum değişkeni, olay olarak tanımlanan zamanın belirli noktalarında değişim gösterir. Örneğin, bankaya bir müşterinin gelmesi, limana bir yük gemisinin yanaşması veya bir tezgahın üretim çevrimini tamamlaması kesikli olaylara örnek olarak gösterilebilir.

Sürekli sistem simülasyon modellerinde ise sistem davranışını temsil eden durum değişkeni zaman içerisinde sürekli olarak değişim gösterir. Bir tankere benzin doldurulması, kimyasal reaksiyonlar, bir popülasyonun genetik yapısının değişimi, göl suyunun sıcaklığının gün içerisindeki değişimi sürekli sistemlere örnek olarak gösterilebilir.

5.2 Sürekli Sistemler

Simülasyon modelleri, ister kesikli, ister sürekli, isterse de melez bir yapı gösterebilir temelde tek bir amaca hizmet ederler. Bu amaç, sistem davranışının ve sistemi meydana getiren öğeler arasındaki ilişkilerin kestirilmesi yolu ile sistem performansının geliştirilmesidir.

Sistemler, durum değişkeninin zaman içerisinde aldığı değerlere bağlı olarak kesikli veya sürekli sistemler olarak sınıflandırılabilirler. Kesikli sistemlerde, sistem durumunda değişikliğe neden olan prosesler birbirinden ayrı olaylarla tanımlanan noktalarda meydana gelirler. Arena programında bu olay zamanları, olay takvimi tarafından yönetilir ve simülasyonun daha önceden akış şemasında tanımlanan şekilde işlemesi için sistem durumunda istenilen zamanlarda değişiklik yapılmasının sağlanması amacıyla gezen birimlerin sevk ve idaresi gerçekleştirilir. Bu tip kesikli olay modelleri günlük hayatta karşılaştığımız pek çok sistemi (montaj sistemi, üretim sistemi, servis sistemi v.b.) bünyesinde barındırmaktadır.

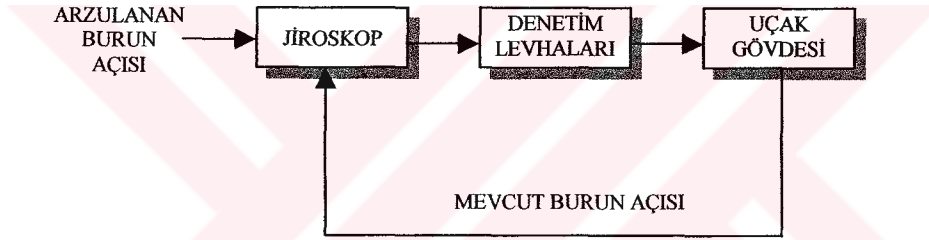
Farklı şekilde, sistem durumu zaman içerisinde sürekli bir şekilde değişim gösterebilir. Sistemin durum değişkeni zamanın bir fonksiyonu olarak sürekli değişim gösteriyorsa, bu tip sistemlere sürekli sistemler denilmektedir. Sürekli sistemlere örnek olarak bir bira üretim sistemini inceleyebiliriz. Bira üretim prosesinde çeşitli hammaddeler bir araya getirilir, karıştırılır daha sonra belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılır ve dinlendirilerek saklanır. Üretilen bira son olarak tanklar arasındaki borular vasıtasıyla transfer edilir. Bu tip bir sistemde, bir tankın boşaltılması prosesi, ürünün akışını içerir. Tank içerisindeki biranın hacmini modelleyebilmek için ise, birim zaman içerisindeki değişimin ölçüsünün (RATE) tanımlanması gerekmektedir.

Eğer, incelenen süre boyunca sistemde güç kesintisi, teknik arıza, ya da kalite kontrol için numune alınması gibi sistemde kesintiye neden olan başka bir olay gerçekleşmiyorsa, ileriki bir zamanda tankta kalan bira miktarı, birim zamandaki değişim ölçüsü ve başlangıç hacminden yararlanılarak kolayca hesaplanabilir. Bu tip kesikli olayların sürekli proses ile entegrasyonunu sağlamak amacı ile modele bir vana dahil edilerek istenen durumlarda boşaltım prosesini kesmek ya da durdurmak üzere tank seviyesindeki değişimin birim zamandaki değerinin sıfırlanması sağlanabilir.

Daha karmaşık proseslerde, birim zamandaki değişim değerinin (RATE) kendisinin de bir sürekli fonksiyona bağlı olarak değiştiği durumlar da mevcuttur. Böyle durumlarda, ileriki bir zamanda tankta kalan sıvı miktarını kolayca hesaplamak mümkün değildir. Bu gibi durumlarda, sürekli proses ile tank seviyesi (LEVEL) arasındaki ilişkiyi tanımlamak üzere diferansiyel denklemlerden faydalanılır (Kelton vd., 2002).

Akvaryumdaki suyun sıcaklığındaki değişim bu tip sistemlere örnek olarak gösterilebilir. Akvaryumdaki suyun sıcaklığı güneş ışığı, oda sıcaklığı, su ısıtıcısının açık veya kapalı olması gibi pek çok faktöre bağlı olarak zaman içerisinde sürekli bir değişim göstermektedir. Güneşten gelen ısı, odanın ısısı, su ısıtıcısının yarattığı ısı gibi elemanlar da sürekli bir değişim göstermektedir. Bir simülasyon çalışmasında bu tip proseslerin düzgün bir şekilde modellenebilmesi için gelişmiş sürekli sistem modelleme yaklaşımları kullanılmaktadır. Elemanlar arası etkileşimin modellenmesinde sıklıkla kullanılan matematiksel yöntem diferansiyel denklemlerdir.

Otomatik pilot denetimi altında uçan bir uçak sistemi incelendiğinde, otopilottaki bir jiroskop, mevcut burun açısı ile arzulanan burun açısı arasındaki farkı belirleyecektir. Daha sonra denetim levhalarını harekete geçirmek üzere sinyaller gönderecektir. Denetim levhalarının hareketine yanıt olarak, uçak gövdesi arzulanan burun açısı yönünde dönecektir.



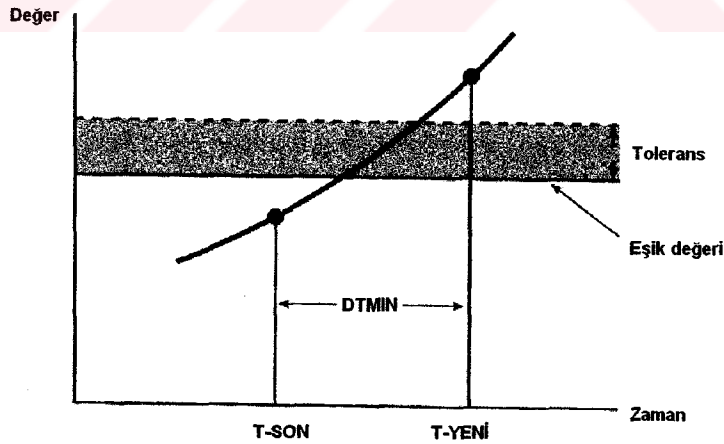
Şekil 5.1 Otopilot denetimindeki uçak (Erkut, 2000)

Basit bir uçak sisteminde, sistemin ögeleri, uçak gövdesi, denetim levhaları ve jiroskoptur. Bunların nitelikleri hız, denetim levhası açısı ve jiroskop durumu olabilir. Faaliyetler ise, denetim levhalarının harekete geçirilmesi ve uçak gövdesinin tepkisidir. Bu uçak sisteminde, dışsal değişimlere gösterilen tepki ve bunların oluşturduğu değişimler düzgün bir nitelik göstermektedir. Yani sistemde hiçbir kesiklilik yoktur. Böyle sistemler sürekli sistemler olarak adlandırılır. Sürekli sistemlerde önemli olan daha önce de tanımlandığı gibi düzgün ve sürekli değişimlerdir. Genellikle, sürekli sistemlerin tanımı sürekli denklemler şeklinde olacaktır, örneğin diferansiyel denklemler kümesi ile, bu denklemler sistem niteliklerinin zaman içerisinde nasıl değiştiklerini göstereceklerdir. Ancak sürekli sistemlerin incelenmesini basitleştirmek için, bazen değişimlerin kesikli adımlar dizisi şeklinde olduğu varsayılabilir. Örneğin, ekonomik sistemler modellenirken genellikle, para ve mal akışının her zaman sürekli olduğunu varsaymak yerine değişimlerin belli zaman aralıklarında olduğu esas göz önüne alınmaktadır (Erkut, 2000).

Eğer, bir sistem bünyesinde hem kesikli hem de sürekli değişim gösteren durum değişkenleri barındırıyor ise bu tip sistemler melez sistemler olarak tanımlanır. Melez sistem simülasyonlarında sürekli değişim gösteren durum değişkeni belirli bir eşik değerini aştığında kesikli olaylarla tanımlanan bir gezen birim yaratılır (Petropoulakis vd., 1997).

Simülasyon programları, zamanı çok küçük adımlara ayırarak bu adımlarda sürekli durum değişkeninin aldığı değerleri hesaplarlar. Zaman dilimleri küçültülerek sistem davranışlarındaki sürekliliğinin ifade edilmesi sağlanır. Melez sistemler modellenirken, bir eşik değeri bir de tolerans değeri tanımlanır. Sürekli durum değişkeni zamanın herhangi bir anında belirtilen eşik değerini aştığında modelde bir gezen birim yaratılır. Tolerans değeri simülasyon modelinden beklenen hassasiyet derecesinin bir ölçüsüdür. Ardışık hesaplamalar arasında bu tolerans değeri aşılsa model arzu edilen doğruluk düzeyi sağlanmamış olacaktır.

Sürekli sistemlerdeki durum değişkeninin ardışık hesaplama değerleri arasındaki süre, adım büyüklüğü olarak tanımlanır. Adım büyüklüğü olarak ifade edilen bu zaman dilimi küçültülerek sürekli sistem hesaplamalarının sıklığı artırılabilir ve tolerans limitlerinin aşılmaması sağlanabilir. Adım büyüklüğü belirlendiğinde tolerans limit değeri de kolaylıkla hesaplanabilir. Örneğin, bir simülasyon modelinde sürekli durum değişkeninin 1 saatteki maksimum değişimi 100 litre olsun. Eğer, adım büyüklüğü 0.01 saat olarak belirlenirse ardışık hesaplamalar arasındaki hacim değişimi 1 litreden fazla olmayacaktır.



Şekil 5.2 Tolerans ile zaman ilerletme mekanizması arasındaki ilişki (Kelton vd., 2002)

Özellikle, üretim sistemlerinin pek çoğu bünyesinde sürekli değişim gösteren öğeler de bulundurmaktadır. Bir üretim sistemi makro ölçekte değerlendirildiğinde kesikli değişim gösteren ve sürekli değişim gösteren süreçler kolaylıkla ayırt edilebilir. Örneğin, çeşitli çaplarda tel üretimi yapan bir işletme incelendiğinde, tel çekme prosesinin sürekli değişim

gösterdiği söylenebilir. Fakat, haddelenerek istenilen çap değerine düşürülen teller makaralara sarıldıktan sonraki prosesler kesikli sistem davranışı gösterirler. Simülasyon modeli kurulurken, sistem için hangi modelleme yaklaşımının kullanılacağı simülasyon modelinden beklenen amaca bağlı olarak değişim gösterir. Bazı durumlarda sistemdeki sürekli değişim gösteren öğelerin kesikli olay simülasyonuna uydurularak modellenmesi tercih edilebilir. Sürekli sistemlerin kesikli olay simülasyonu yaklaşımıyla modellenmesinden kaynaklanan hassasiyet kayıpları model güvenilirliğini ve geçerliliğini tehlikeye düşürmüyor ise böyle bir yaklaşım ile büyük zaman ve maliyet tasarrufları sağlanabilir.

5.3 Sürekli Sistemlerin Arena ile Modellenmesi

Sürekli değişim gösteren proseslerin modellenmesinde, dikkatle incelenmesi gereken iki temel eleman mevcuttur.

Bunlar:

- değişmekte olan değer, (VALUE)
- birim zaman içerisindeki değişimin ölçüsüdür (RATE).

Arena programında bu iki sürekli elemanı temsil etmek üzere kullanılan iki modül mevcuttur.

Bunlar:

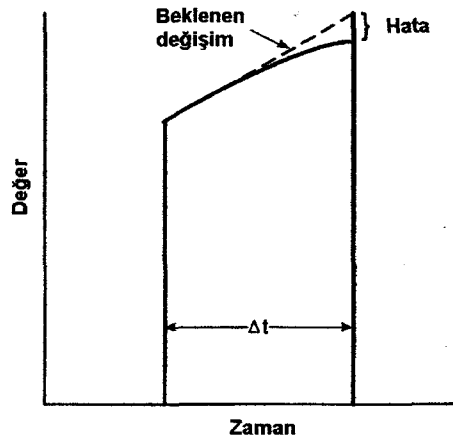
- LEVELS ve
- RATES modülleridir.

Sürekli değişkenleri ifade etmekte kullanılan modül elemanları eşlenik çiftler halinde çalışırlar. Yani, her bir LEVEL değişkeni için bir tane RATE değişkeni tanımlanmalıdır. Sistemdeki sürekli değişken sayısı kadar LEVEL-RATE çifti bulunmalıdır. Her bir değişken çifti için Arena programı, birim zamandaki değişimin ölçüsünü (RATE) belirleyerek seviyedeki (LEVEL) sürekli değişimi gerçekleştirecek hesaplamaları yapar ve modelin akış şemasında belirtildiği şekilde hayata geçirilmesini sağlar.

Sürekli sistem simülasyonlarını kesikli olay simülasyonlarından ayıran temel özelliklerden birisi de durum değişkeninin zaman içerisindeki değişiminin ifade edilmesinde diferansiyel denklemlerin kullanılmasıdır. Genellikle, tank simülasyonlarının çoğunda sürekli değişkenlerin zaman içerisindeki değişimlerinin ölçüsü (RATE) ya sabit olmaktadır ya da zaman içerisinde kesikli noktalarda değişim göstermektedir. Bu tip sistemlerde, sürekli değişkenin simülasyonun $t=0$ anındaki değerinden faydalanılarak zamanın herhangi bir anında alacağı değer analitik yöntemlerden yararlanılarak kolaylıkla hesaplanabilir.

Fakat, RATE değerinin zaman içerisinde sürekli değişim gösterdiği daha karmaşık sürekli sistemlerin modellenmesinde durum değişkenindeki değişimin analitik yöntemlerden yararlanılarak hesaplanması mümkün değildir. Sıcaklık değişimi, popülasyon genetiğindeki değişim veya kimyasal reaksiyonların meydana getirdiği değişimler bu kategori altında incelenirler. Bu tip değişimlerin ifade edilmesinde ve modellenmesinde diferansiyel denklemler kullanılır. Sistem içerisindeki sürekli değişken (sıcaklık vb.) x ile tanımlandığında dx/dt ifadesi sürekli değişkenin zaman içerisindeki değişimini ifade edecektir. Arena simülasyon programında sürekli sistem değişkeni (x), LEVEL komutu ile değişkenin zaman içerisindeki değişimi olan dx/dt türev değeri de RATE komutu ile temsil edilir.

Diferansiyel denklemlerin matematiksel olarak çözülmesi zor olduğundan sürekli değişkenlerin zaman içerisindeki değerlerinin yaklaşık olarak belirlenmesi için çeşitli sayısal teknikler geliştirilmiştir. Fakat, bu teknikler genellikle birinci dereceden diferansiyel denklemlere çözüm getirmektedir. Bu nedenle yüksek dereceden diferansiyel denklemlerle karşılaşıldığında değişken dönüşümü yapılarak diferansiyel denklemler birinci dereceye indirgenmelidir. Arena programı da sürekli değişkenin gelecekteki değerinin tahmin edilmesinde değişkenin son değerinden, zamandaki değişimden ve bu zaman adımı süresindeki değişimin tahmini ölçüsünden faydalanır. Aşağıdaki şekilde sürekli değişkenin zaman adımı süresince değişimi bir eğri ile gösterilmektedir. Sürekli değişkenin zaman içerisindeki tahmini değişimi ise kesikli çizgi ile gösterilmektedir (Kelton vd., 2002).



Şekil 5.3 Sürekli bir değişken için sayısal bir yaklaşık değerin belirlenmesi
(Kelton vd., 2002)

Birbirini takip eden hesaplamalar arasında geçen Δt süresi seçilen integrasyon yöntemine bağlı olarak belirlenmektedir. Diferansiyel denklemlerin numerik olarak çözülmesi için çok çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Fakat bunlardan en popüler olanları Euler, Taylor ve Runge-Kutta-Fehlberg (RKF) metotlarıdır. Arena programında diferansiyel denklem çözümleri için RKF ve Euler metotları kullanılmaktadır. Euler metodu sürekli değişkendeki değişim ölçüsünün zamanın kesikli adımları arasında sabit kaldığı durumlarda kullanılmaktadır. Özellikle, tank simülasyonlarında Euler metodu tercih edilmektedir. Sürekli değişken ölçüsünün kendisinin de zaman içerisinde sürekli değiştiği durumlarda daha gelişmiş bir algoritmaya dayanan RKF metodu tercih edilmelidir. RKF metodunda değişken adım büyüklüğü (Δt) kullanılır. Arena programı sürekli değerleri her hesaplayışında Δt adım büyüklüğünü otomatik olarak ayarlar. Değişim ölçüsü lineere yaklaştıkça büyük Δt değerleri, nonlineere yaklaştıkça da küçük Δt değerleri daha doğru sonuçlar üretmektedir.

5.4 Sürekli Sistemlerin Modellenmesinde Kullanılan Diferansiyel Denklem Çözüm Metotları

Diferansiyel denklemlerin numerik olarak çözümü için çok çeşitli metotlar geliştirilmiş olmasına rağmen, bunlar arasında en çok popüler olanı Runge-Kutta metodudur. Runge-Kutta metodunun dışında Euler ve Taylor metotları da yaygın olarak tercih edilmektedir. Arena programı ile sürekli sistem simülasyonu için gerekli olan diferansiyel hesaplamalarında Euler ve Runge-Kutta metotları kullanılmaktadır.

5.4.1 Taylor Metodu

Birinci mertebe diferansiyel denklemler dışında kalan diferansiyel denklemlerde uygulanması oldukça zor olan bir metottur. Metodun türetilmesi ise Taylor serisinden faydalanılarak yapılır (Barkana ve Akgün, 1983).

$dy/dx = f(x, y)$ diferansiyel denkleminin çözümü $y = y(x)$ olsun. $x = x_0$ için $y(x_0) = y_0$ olarak başlangıç koşulları verilmiş olsun. x 'in her değerindeki artma sabit olarak kabul edilerek :

$$\Delta x_i = x_{i+1} - x_i = h, \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (5.1)$$

$y = y(x)$ fonksiyonu için Taylor serisinin dördüncü mertebe türeve kadar olan kısmı aşağıdaki gibi yazılabilir :

$$y(x+h) \cong y(x) + h \cdot y'(x) + \frac{h^2}{2} \cdot y''(x) + \frac{h^3}{6} \cdot y'''(x) + \frac{h^4}{24} \cdot y^{(4)}(x) \quad (5.2)$$

Kalan terimlerin yok sayılması dolayısıyla olabilecek hatanın göz ardı edilmemesi gerekir.

$$Hata = \frac{h^5}{120} \cdot y^{(5)}(\eta) , \quad |x - \eta| < h \quad (5.3)$$

(5.2) numaralı denklem $x = x_0$ için yazıldığında,

$$y(x_0 + h) = y(x_1) \cong y(x_0) + h \cdot y'(x_0) + \frac{h^2}{2} \cdot y''(x_0) + \frac{h^3}{6} \cdot y'''(x_0) + \frac{h^4}{24} \cdot y^{(4)}(x_0)$$

$x = x_1$ için yazıldığında,

$$y(x_1 + h) = y(x_2) \cong y(x_1) + h \cdot y'(x_1) + \frac{h^2}{2} \cdot y''(x_1) + \frac{h^3}{6} \cdot y'''(x_1) + \frac{h^4}{24} \cdot y^{(4)}(x_1)$$

elde edilir. $x = x_i$ için ise Taylor genel formülü elde edilmiş olur :

$$y(x_i + h) = y(x_{i+1}) \cong y(x_i) + h \cdot y'(x_i) + \frac{h^2}{2} \cdot y''(x_i) + \frac{h^3}{6} \cdot y'''(x_i) + \frac{h^4}{24} \cdot y^{(4)}(x_i) \quad (5.4)$$

5.4.2 Runge-Kutta Metodu

Runge-Kutta metodu birinci dereceden diferansiyel denklemlere kolay bir şekilde uygulanabilen bir metottur. Yüksek dereceden diferansiyel denklemlerin Runge-Kutta metodu ile çözümünde ilk olarak değişken dönüşümü yapılması gerekir. Runge-Kutta formülleri de Taylor serisinden elde edilir. Ancak bu metotta hata formülleri türetilmemiştir.

Birinci mertebe diferansiyel denklemde ($y' = f(x, y)$), önce x 'e h kadar bir ilave yapıldığı düşünülerek k_1, k_2, k_3, k_4 değerleri hesaplanır, yani :

$$k_1 = h \cdot f(x, y)$$

$$k_2 = h \cdot f(x + mh, y + mk_1)$$

$$k_3 = h \cdot f(x + nh, y + nk_2)$$

$$k_4 = h \cdot f(x + ph, y + pk_3) \quad (5.5)$$

Sonra k_1, k_2, k_3, k_4 değerlerinin belirli bir doğrusal kombinasyonu ile y 'de olması gereken değişiklik bulunur.

$$y(x + y) - y(x) \cong ak_1 + bk_2 + ck_3 + dk_4 \quad (5.6)$$

Son iki denklem takımındaki bilinmeyen a, b, c, d, m, n, p Taylor serisinden h^4 'e kadar olan terimler alınarak hesap edilebilir. f_x, x 'e göre f_y, y 'ye göre kısmi türev olmak üzere :

$$\begin{aligned}
 y^{(1)} &= f(x, y) = f \\
 y^{(2)} &= f_x + f_y y' = f_x + f_y f = F_1 \\
 y^{(3)} &= f_{xx} + 2ff_{xy} + f^2 f_{yy} + f_y(f_x + ff_y) = F_2 + f_y F_1 \\
 y^{(4)} &= f_{xxx} + 3ff_{xxy} + 3f^2 f_{xyy} + f^3 f_{yyy} + f_y(f_{xx} + 2ff_{xy} + f^2 f_{yy}) \\
 &\quad + 3(f_x + ff_y)(f_{xy} + ff_{yy}) + f_y^2(f_x + ff_y) \\
 y^{(4)} &= F_3 + f_y F_2 + 3F_1(f_{xy} + ff_{yy}) + f_y^2 F_1
 \end{aligned} \tag{5.7}$$

y 'nin x 'e göre türevleri yazılabilir. Ve y 'nin x 'e göre çözülebileceği düşünülerek,

$$\begin{aligned}
 y(x+h) - y(x) &= hf + \frac{1}{2}h^2 F_1 + \frac{1}{6}h^3 (F_2 + f_y F_1) + \frac{1}{24}h^4 [F^3 + f_y F_2 + \\
 &\quad 3F_1(f_{xy} + ff_{yy}) + f_y^2 F_1] + \dots
 \end{aligned} \tag{5.8}$$

Taylor serisi yazılır. Benzer hesaplarla k_1, k_2, k_3, k_4 Taylor serisinden yazıldığında

$$\begin{aligned}
 k_1 &= hf \\
 k_2 &= h \left[f + mhF_1 + \frac{1}{2}m^2 h^2 F_2 + \frac{1}{6}m^3 h^3 F_3 + \dots \right] \\
 k_3 &= h \left[f + nhF_1 + \frac{1}{2}h^2 (n^2 F_2 + 2mnf_y F_1) + \frac{1}{6}h^3 (\dots) + \dots \right] \\
 k_4 &= h \left[f + phF_1 + \frac{1}{2}h^2 (p^2 F_2 + 2npf_y F_1) + \frac{1}{6}h^3 (\dots) + \dots \right]
 \end{aligned} \tag{5.9}$$

elde edilir. Bunlar (5.6) numaralı denklemde yerine konularak,

$$\begin{aligned}
 y(x+h) - y(x) &= (a+b+c+d)hf + (bm+cn+dp)h^2 F_1 + \frac{1}{2}(bm^2+cn^2+dp^2)h^3 F_2 + \\
 &\quad (cmn+dn p)h^3 f_y F_1 + \frac{1}{6}(bm^3+cn^3+dp^3)h^4 F_3 + \\
 &\quad \frac{1}{2}(cmn^2+dn^2 p)h^4 f_y F_2 + \dots
 \end{aligned} \tag{5.10}$$

elde edilen (5.10) numaralı denklemin (5.8) numaralı denklem ile karşılaştırıldığında,

$$a + b + c + d = 1$$

$$bm + cn + dp = 1/2$$

$$bm^2 + cn^2 + dp^2 = 1/3$$

$$bm^3 + cn^3 + dp^3 = 1/4$$

$$cmn + dnp = 1/6$$

$$cmn^2 + dn^2p = 1/8$$

$$cm^2n + dn^2p = 1/12$$

$$dmnp = 1/24 \quad (5.11)$$

yedi bilinmeyenli sekiz denklem elde edilmiş olur. Bunların hepsini sağlayan değerler ise,

$m = n = 1/2, p = 1, a = d = 1/6, b = c = 1/3$ olarak bulunur. Bu durumda Runge-Kutta formülleri ;

$$k_1 = hf(x, y)$$

$$k_2 = hf\left(x + \frac{1}{2}h, y + \frac{1}{2}k_1\right)$$

$$k_3 = hf\left(x + \frac{1}{2}h, y + \frac{1}{2}k_2\right)$$

$$k_4 = hf\left(x + \frac{1}{2}h, y + k_3\right)$$

$$y(x+h) = y(x) + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (5.12)$$

şeklinde yazılmış olur. İkinci mertebe diferansiyel denklemlerin çözümünde ikinci mertebe diferansiyel denklem iki adet birinci mertebe diferansiyel denkleme indirgenir.

İkinci mertebe diferansiyel denklem

$$y'' = f(x, y, y') \quad (5.13)$$

olsun. $y' = z$ dönüşümü kullanılarak ($y'' = z'$)

$$y' = z$$

$$z' = f(x, y, z) \quad (5.14)$$

iki adet birinci dereceden diferansiyel denklem elde edilir. Veya daha genel olarak iki adet birinci mertebeden diferansiyel denklem ele alınabilir, yani:

$$y' = F(x, y, z)$$

$$z' = G(x, y, z) \quad (5.15)$$

Bu iki denklemin çözümünde birinci mertebede diferansiyel denklem için bulunan Runge-Kutta formülleri kullanılabilir. Bu durumda:

$$k_1 = hF(x, y, z)$$

$$k_2 = hF\left(x + \frac{1}{2}h, y + \frac{1}{2}k_1 + z + \frac{1}{2}l_1\right)$$

$$k_3 = hF\left(x + \frac{1}{2}h, y + \frac{1}{2}k_2 + z + \frac{1}{2}l_2\right)$$

$$k_4 = hF(x + h, y + k_3, z + l_3)$$

$$k = \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (5.16)$$

$$l_1 = hG(x, y, z)$$

$$l_2 = hG\left(x + \frac{1}{2}h, y + \frac{1}{2}k_1 + z + \frac{1}{2}l_1\right)$$

$$l_3 = hG\left(x + \frac{1}{2}h, y + \frac{1}{2}k_2 + z + \frac{1}{2}l_2\right)$$

$$l_4 = hG(x + h, y + k_3, z + l_3)$$

$$l = \frac{1}{6}(l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4) \quad (5.17)$$

elde edilir. (x, y, z) 'nin yeni değerleri $(x+h, y+k, z+l)$ olarak bulunur ve aynı işlemler başlangıç ve son şartlarına göre tekrarlanarak istenilen x aralığında ikinci mertebe diferansiyel denklem numerik olarak çözülmüş olur. Daha yüksek mertebeli diferansiyel denklem çözümlerinde (5.16) ve (5.17) numaralı formüller benzer şekilde uygulanır (Barkana ve Akgün, 1983).

5.4.3 Euler Metodu

Runge-Kutta metodundan daha az popüler olan Euler metodu, her basamakta olabilecek en büyük hatayı formülle vermesi dolayısıyla tercih edilebilir. Arena programında Euler metodu sürekli sistemlere ait durum değişkeninin yalnızca zamanın kesikli noktalarında değişim gösterdiği durumlarda kullanılmaktadır. Euler metodunun türetilmesi Taylor metodunda belirtildiği gibidir (Barkana ve Akgün, 1983).

$dy/dx = f(x, y)$ diferansiyel denkleminin çözümü $y = y(x)$ olsun. $x = x_0$ için $y(x_0) = y_0$ olarak başlangıç koşulları verilmiş olsun. x 'in her değerindeki artma sabit olarak kabul edilerek:

$$\Delta x_i = x_{i+1} - x_i = h \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (5.18)$$

ve $f(x, y)$ fonksiyonunun x 'e göre integrali alınarak:

$$\int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x, y) dx = \int_{x_i}^{x_{i+1}} \frac{dy}{dx} dx = y(x_{i+1}) - y(x_i) \quad (5.19)$$

elde edilir. dy/dx , $x_i \leq x \leq x_{i+1}$ aralığında sabit kabul edilirse yukarıdaki formül:

$$y(x_{i+1}) - y(x_i) = \frac{dy}{dx}(x_{i+1} - x_i) = \frac{dy}{dx} h \quad (5.20)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ise Taylor serisinde ilk türevle ilgili terimden sonra gelen, daha yüksek türevleri içeren terimleri ihmal etmeye benzer. Dolayısıyla hata:

$$Hata = \frac{1}{2} h^2 \left. \frac{d^2 y}{dx^2} \right|_{x=\eta} \quad x_i < \eta < x_{i+1} \quad (5.21)$$

olur. dy/dx 'in değeri, x 'e x_i veya x_{i+1} değeri verilerek ve y değişkenine ise başlangıç koşulundan sonra her basamakta yeniden hesaplanan değerler verilerek bulunur. Yani $dy/dx = y'$ ise (5.20) numaralı eşitlik ya

$$y(x_{i+1}) - y(x_i) \cong y'(x_i) h \quad (5.22)$$

veya

$$y(x_{i+1}) - y(x_i) \cong y'(x_{i+1}) h \quad (5.23)$$

şeklinde yazılabilir. (5.22) ve (5.23) numaralı denklemler alt alta toplanıp iki taraf da ikiye bölünürse,

$$y(x_{i+1}) - y(x_i) = \frac{h}{2} [y'(x_i) + y'(x_{i+1})] \quad (5.24)$$

Euler metodunun düzeltilmiş formülü elde edilir. Hata formülü ise:

$$Hata = \frac{h^3}{12} y^{(3)} \Big|_{x=\eta} \quad x_i < \eta < x_{i+1} \quad (5.25)$$

ile verilir.



6. UYGULAMA

Uygulama bölümünde kesikli, sürekli ve melez olmak üzere üç farklı sistem tipi için görsel simülasyon tekniği kullanılarak sistem modelleme ve analizine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Her bir sistem için mantıksal ve fiziksel model yapıları Arena simülasyon programı kullanılarak oluşturulmuş ve modeller analiz edilerek sistem performansını iyileştirmek üzere kullanılabilecek çözüm önerileri sunulmuştur.

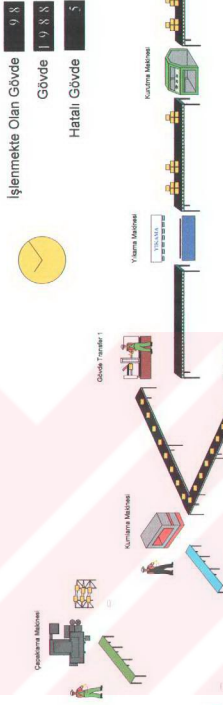
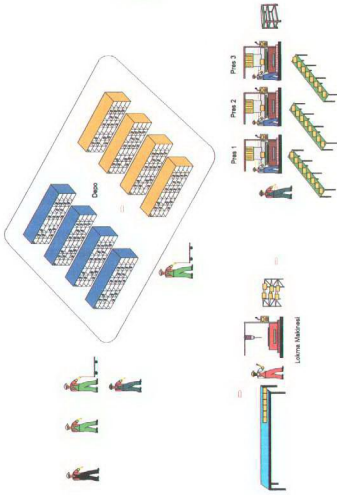
6.1 Kesikli Sistem Uygulaması

Kesikli sistem simülasyonuna ait uygulama gaz armatürleri üreten bir işletmede uygulanmıştır. Simülasyon modeli işletmeye ait ürün portföyü içerisinde yer alan ocak musluğu için oluşturulmuştur. Ocak musluğuna ait ürün ağacında yer alan her bileşen için üretim akışının simülasyonu yapılmış, mevcut durum analiz edilmiş ve sistem performansını artırıcı iyileştirmeler ortaya konulmuştur. Model, görsel simülasyon tekniğinin tüm bileşenlerinden yararlanılarak oluşturulmuştur. Modelin kurulmasında işletme bünyesindeki zaman etüdü formlarından, proses akış şemalarından, yerleşim planlarından ve kalite kontrol formlarından yararlanılmıştır.

6.1.1 İşletmeyi Tanıtıcı Bilgi

Kesikli sistem simülasyonu uygulaması Beylikdüzü organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren Türkiye'nin önde gelen gaz armatürü üreticilerinden birinde gerçekleştirilmiştir. Sektörde yaşanan yoğun rekabet nedeniyle tez kapsamında işletme adı gizli tutulmuştur. 30 yıldır kesintisiz olarak üretimini sürdüren işletmenin başlıca ürünleri ocak muslukları, ankastre musluklar, aksesuarlar, fırın muslukları ve sönme emniyetli musluklardır. 2000'li yıllarda makine parkına dahil edilen tam otomatik montaj ve kontrol hattıyla imalat miktarlarında ve ürün standardizasyonda önemli mesafeler kat edilmiştir. Şirket bugün Türkiye'nin gaz musluğu konusundaki en kapsamlı makine parkı ve laboratuvarına sahip olmasının verdiği güçle Avrupa normlarına uygun ürünler üretmekte ve bunu da Almanya'daki DVGW firmasından aldığı CE sertifikasyonu ile belgelemektedir. Şirket Türkiye'deki her ölçekteki pişirici imalatçısıyla çalışmakta ve imalatının yarısına yakın bir bölümünü de ihraç etmektedir. Firmanın ihracat yaptığı ülkeler arasında İtalya, Polonya, Çin, İngiltere, Tunus, Cezayir, Rusya, Suriye, Mısır ve Filistin yer almaktadır.

6.1.3 Gövde İçin Fiziksel Model Yapısı



6.1.4 Gövde İçin Çıktı Analizi

Ocak musluğu ürün ağacında en önemli bileşenlerden birisi olan gövde; erkek, sap, vida, enjektör ve yay gibi alt bileşenlerden meydana gelmektedir. Gövde, ocak musluğu üretiminde en kapsamlı iş akışına sahip olan parçadır. Gövde, ocak musluğunu meydana getiren tüm alt bileşenler için taşıyıcılık fonksiyonu üstlenmektedir. Ocak musluğu montajının ilk aşamasında erkek, yay, sap, M3 vida ve enjektör gövde üzerinde monte edilmektedir. Daha sonra gövde üzerinde rekor ve yüksük parçaları takılarak ocak musluğu montajı tamamlanmaktadır. Ocak musluğuna ait ürün ağacında yay dışındaki tüm bileşenler 1'er adet olarak montaja dahil olurlar. Ocak musluğu üretimindeki temel sorun montaj hattı kapasitesini maksimize edecek şekilde her bir alt parça grubundan kesintisiz bir şekilde dengeli üretim sağlamaktır.

Gövde üretiminde sırasıyla, lokma, pres, çapaklama, kumlama, gövde transfer, yıkama ve kurutma makineleri görev almaktadır. Ocak musluğu üretiminde kullanılan 3 adet pres, 2 adet gövde transfer tezgahı mevcuttur. Bunun dışındaki lokma, çapaklama, kumlama, yıkama ve kurutma makinelerinden işletmede 1'er adet bulunmaktadır. Yıkma ve kurutma makinelerine parçalar konveyörler vasıtasıyla beslenmektedir. Yıkama ve kurutma makineleri gövde dışındaki M3 vida, enjektör, sap ve erkek parça üretiminde de ortak olarak kullanılmaktadır.

Atölye tipi üretim şekliyle faaliyet gösteren işletmede malzeme taşınmasında vasıfsız işçiler, vasıflı işçiler, konveyörler ve forklifler kullanılmaktadır. Gövde üretiminde görev alan vasıfsız taşıyıcı işçiler parçalar üzerinde katma değer yaratan proseslerde görev almamakla birlikte sadece malzemelerin bir noktadan bir noktaya taşınmasını sağlamaktadır. Gövde üretiminde faaliyet gösteren 1 numaralı taşıyıcı işçi gövde üretiminde kullanılacak pirinç profillerin hammadde deposundan lokma tezgahına taşınmasından sorumludur. 2 numaralı taşıyıcı işçi ise, lokma tezgahında üretilen işlenmemiş gövde parçalarının pres makinelerine taşınmasında görev almaktadır. Vasıflı taşıma işçileri işleri ile ilgili malzeme taşıma fonksiyonunu yerine getirmenin yanında ilgili proseslerde parçalar üzerinde katma değer yaratılması fonksiyonunda da yer almaktadırlar. Vasıfsız taşıma işçileri yüksüz durumda saniyede 0.8 metre, yüklü durumda ise saniyede 0.6 metre hız ile yol almaktadır. Çapaklama ve kumlama işçileri ise yüksüz durumda saniyede 1 metre, yüklü durumda ise saniyede 0.8 metre hız ile hareket etmektedir. 1 numaralı taşıyıcı işçinin faaliyet gösterdiği lokma makinesi ile hammadde deposu arasındaki taşıma mesafesi yaklaşık olarak 25 metre, 2 numaralı taşıyıcı işçinin faaliyet gösterdiği lokma makinesi ile presler arası taşıma mesafesi yaklaşık olarak 8 metre, çapaklama işçisinin faaliyet gösterdiği presler ile çapaklama makinesi arasındaki taşıma mesafesi 3 metre ve kumlama işçisinin faaliyet gösterdiği çapaklama makinesi ile

kumlama makinesi arası taşıma mesafesi de yaklaşık olarak 4 metredir. Gövde üretiminde yer alan konveyörler birikimli tipte olup saniyede 0.8 metre bant hızına sahiptir. 1 numaralı konveyör kumlama makinesinden çıkan parçaların 1 numaralı gövde transfer makinesine taşınmasında, 2 numaralı konveyör de kumlama makinesinden çıkan parçaların 2 numaralı gövde transfer makinesine taşınmasında faaliyet göstermektedir. 1 ve 2 numaralı konveyörlerin boyu 8 metredir. 3 numaralı konveyör talaşlı işlemi bitmiş olan parçaların temizlenmek üzere yıkama ve kurutma makinelerine taşınması görevini yerine getirmektedir ve toplam 12 metre uzunluğundadır.

Hammadde deposundan 1 numaralı taşıyıcı işçi tarafından taşınan pirinç çubuklar lokma makinesinin magazinine yerleştirilmektedir. Lokma makinesinde pirinç çubuklar kesilerek daha sonra talaşlı işlemlerden geçerek gövdeyi oluşturacak olan lokmalar haline getirilir. Kesilen lokmalar biriktirme kabına düşmektedir. Birikme kabında yaklaşık olarak 30 adet parça biriktiğinde 2 numaralı taşıyıcı işçi bu parçaları pres makinelerinin magazinine taşımaktadır. Pres makinelerinin magazinlerine lokmalar en kısa kuyruk kuralına göre yerleştirilmektedir. Gövde formları pres makinelerinden sıcak olarak çıkmaktadır. Parçaların yeniden oda sıcaklığına kadar soğuması sağlandıktan sonra bir sonraki proses olan çapaklama işlemine geçilmektedir. Soğutma kabında biriken gövde formları çapaklarından temizlenmek üzere çapaklama makinesine taşınırlar. Çapaklama işçisi her seferinde 20 adet parçayı pres soğuma kabından alarak çapaklama makinesine taşımaktadır. İlk formu pres makinelerinde verilen gövdeler çapaklarından teker teker arındırıldıktan sonra yüzey görünümünün iyileştirilmesi için kumlama makinesine gönderilirler. Çapaklama işlemi bitirilen parçalar 25'er adetlik gruplar halinde kumlama makinesine taşınırlar ve yerleştirilirler. Arzu edilen yüzey kalitesi sağlanan gövde formları konveyörler vasıtasıyla gövde transfer tezgahlarına taşınırlar. Gövde transfer tezgahlarında parçaların içi boşaltılır, dış yüzey ve iç yüzeyleri işlenir, vida açılır ve gövdeye son şekli verilir.

Talaşlı şekillendirme işlemleri tamamlanmış olan gövdeler metal talaşlarından ve soğutma yağlarından arındırılmak üzere yıkama ve kurutma makinelerine gönderilirler. Yıkama ve kurutma işlemi tamamlanmış olan gövdeler ocak musluğu montajına hazır hale getirilmiş olup geçici olarak depolanırlar.

Gövde için hazırlanan simülasyon modelinde yer alan stokastik süreçler için uygun istatistiksel dağılımlar arena input analyzer programı kullanılarak türetilmiştir. İşletmede daha önceden yapılmış olan zaman etüdü çalışma formlarından elde edilen veriler için girdi analizi yapılmış ve stokastik davranışı en iyi şekilde temsil edebilecek olan, en düşük istatistiksel

hataya sahip uygun dağılımlar tespit edilmiştir. Çizelge 6.1'de gövde için hazırlanan simülasyon modelinde yer alan stokastik faaliyetler ve bunları en iyi şekilde temsil eden istatistiksel dağılımlar belirtilmiştir.

Çizelge 6.1 Gövde için stokastik zamanlar

İşlem	Stokastik Zaman
Kesme prosesi	2.38+ERLA(0.0118,10)
Depoda hammadde yükleme	NORM(2.97,0.231)
Kurutma	0.999+WEIB(0.409,2.05)
Pres 1	NORM(3.35,0.0616)
Pres 2	3.66+GAMM(0.00871,7.43)
Pres 3	3+LOGN(0.128,0.0564)
Gövde Transfer 1	6.43+WEIB(0.369,4.65)
Gövde Transfer 2	NORM(6.31,0.0727)
Yıkama	0.999+0981*BETA(1.33,2.69)
Çapaklama	1.9+GAMM(0.0191,7.17)
Kumlama	11.8+ERLA(0.0317,7)

Gövde için hazırlanan model, 8 saatlik simülasyon koşumu boyunca 10 defa çalıştırıldığında bir simülasyon koşumu süresince sistemden çıkan ortalama sağlam gövde sayısının 7530.4 olduğu görülmektedir. Hatalı parça sayısı 10 adet simülasyon koşumu süresince 18 ile 25 adet arasında değişmekle birlikte ortalama 22.4 adet olarak meydana gelmektedir.

Sağlam parçalar için ortalama çevrim süresi 372.431 saniye olarak gerçekleşmiştir. Toplam sistem içi sürelerin dağılımı incelendiğinde bekleme sürelerinin toplam çevrim süresinin yaklaşık %70'lik bir bölümünü meydana getirdiği görülmektedir. Sistemdeki toplam bekleme sürelerinin yaklaşık %50'lik bir bölümünün makine kuyruklarındaki beklemeden ziyade parçalar taşınmak üzere beklerken sarf edilen sürelerden kaynaklandığı düşünüldüğünde malzeme taşıma sistemlerinin üretim çevrim süresinin minimize edilmesindeki önemi bir kez daha ön plana çıkmaktadır.

İşletme atölye tipi üretim yapmaktadır. Atölye tipi üretim mantığı ile yapılan yerleşim düzeninin sistem performansı üzerindeki olumsuz etkileri simülasyon model çıktılarından da açıkça gözlemlenmektedir. Sistemde akış tipi bir üretim yapılmadığı için hammadde ve yarı mamuller prosesler arasında partiler halinde taşınmaktadır. Dolayısıyla parti büyüklüğüne ulaşılan kadar diğer parçalar sistem içinde bekletilmektedir. Çapaklama ve kumlama

makineleri için parti büyüklükleri uygun bir değere çekilerek makinelerin simülasyon koşumu boyunca ortalama kapasite kullanım oranları artırılabilir. Fakat optimum parti büyüklükleri belirlenirken makinelerin ekonomik çalışma kapasitelerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Mevcut durumda sistemde 3 adet pres faaliyet göstermektedir. Bu preslerin 10 adet simülasyon koşumu boyunca ortalama kapasite kullanım oranları sırasıyla %29.5, %32.8 ve %27.6 dır. 1 ve 2 numaralı presler diğer ürün tiplerine ait gövde parçalarının üretimine tahsis edilerek sistem performansında ve maliyetlerde iyileştirme sağlanabilir. 3+LOGN(0.128,0.0564) işlem süresi ile faaliyet gösteren 3 numaralı pres ocak musluğuna ait gövde üretiminde tek başına işletildiğinde kapasite kullanım oranı yaklaşık olarak %85'e ulaşacaktır.

Çizelge 6.2 Gövde çıktı oranları

Simülasyon Koşumu	Sistemden Çıkan Gövde	Hatalı Gövde	İşlenmekte Olan Gövde
1	7534	18	90
2	7533	21	88
3	7530	25	87
4	7531	23	88
5	7534	25	113
6	7530	22	89
7	7531	22	89
8	7531	22	89
9	7523	25	95
10	7527	25	90
Ortalama	7530.4	22.8	91.8

Çizelge 6.3 Gövde için sistem içi süreler

Simülasyon Koşumu	Katma Değer Yaratılan Süre	Katma Değer Yaratılmayan Süre	Transfer Süresi	Bekleme Süresi	Toplam Süre
1	27.83	1.46	89.28	258.87	377.45
2	27.83	1.46	89.33	260.25	378.87
3	27.81	1.46	89.31	259.28	377.86
4	27.82	1.46	89.30	258.46	377.04
5	27.82	1.46	89.31	254.16	372.75
6	27.82	1.46	89.29	257.64	376.21
7	27.82	1.47	89.32	259.18	377.79
8	27.84	1.46	89.29	258.03	376.61
9	27.82	1.45	89.28	255.98	374.52
10	27.81	1.46	89.27	256.67	375.21
Ortalama	27.822	1.46	89.298	257.852	372.431

Çizelge 6.4 Hatalı gövde için sistem içi süreler

Simülasyon Koşumu	Katma Değer Yaratılan Süre	Katma Değer Yaratılmayan Süre	Transfer Süresi	Bekleme Süresi	Toplam Süre
1	11.01	0.47	29.24	118.28	159.00
2	17.06	0.78	50.65	159.71	228.19
3	12.66	0.57	35.98	125.22	174.44
4	12.49	0.53	37.28	119.35	169.65
5	8.61	0.32	19.35	86.41	114.69
6	8.26	0.29	22.23	85.53	116.32
7	12.81	0.58	35.12	127.31	175.82
8	12.90	0.69	37.69	129.24	180.52
9	9.62	0.36	25.98	91.99	127.95
10	10.60	0.41	28.37	99.05	138.43
Ortalama	11.602	0.50	32.189	114.209	158.501

Çizelge 6.5 Gövde için parçalar arası süre

Simülasyon Koşumu	Ortalama	Yarı Genişlik (hw)	Minimum	Maksimum
1	3.7829	0.022582519	1.2258	49.6741
2	3.7835	0.023299623	1.2313	53.8506
3	3.7859	0.026204301	1.2251	50.0081
4	3.7850	0.021997953	1.2263	51.7340
5	3.7834	0.025555691	1.2263	53.8260
6	3.7858	0.022451470	1.2252	53.6389
7	3.7846	0.024723760	1.2319	50.1445
8	3.7846	0.024575587	1.2261	52.3259
9	3.7878	0.023440984	1.2271	51.9068
10	3.7875	0.026316167	1.2250	50.1749
Ortalama	3.7851		1.2270	51.7284

Çizelge 6.6 Gövde için çevrim zamanı

Simülasyon Koşumu	Ortalama	Minimum	Maksimum
1	377.45	283.71	468.39
2	378.87	287.15	468.74
3	377.86	283.57	466.36
4	377.04	282.72	471.40
5	372.75	283.33	469.03
6	376.21	284.73	468.84
7	377.79	282.20	467.99
8	376.61	284.62	471.63
9	374.52	282.05	466.72
10	375.21	283.46	467.64
Ortalama	376.43	284.05	468.67

Çizelge 6.7 Gövde için kaynak kapasite kullanım oranları

Simülasyon Koşumu	Lokma Makinesi	Pres 1	Pres 2	Pres 3	Çapaklama Makinesi	Kumlama Makinesi	Yıkama	Kurutma	GT 1	GT 2
1	0.6627	0.2951	0.3280	0.2756	0.5364	0.1265	0.2353	0.1471	0.8873	0.8278
2	0.6625	0.2956	0.3284	0.2759	0.5363	0.1264	0.2313	0.1579	0.8877	0.8284
3	0.6625	0.2949	0.3279	0.2754	0.5363	0.1264	0.2335	0.1480	0.8874	0.8275
4	0.6625	0.2950	0.3277	0.2753	0.5362	0.1265	0.2348	0.1472	0.8874	0.8279
5	0.6626	0.2949	0.3277	0.2754	0.5362	0.1265	0.2369	0.1481	0.8869	0.8273
6	0.6625	0.2944	0.3272	0.2750	0.5364	0.1265	0.2342	0.1481	0.8866	0.8269
7	0.6627	0.2952	0.3280	0.2757	0.5361	0.1265	0.2349	0.1523	0.8871	0.8279
8	0.6628	0.2951	0.3281	0.2755	0.5362	0.1266	0.2368	0.1494	0.8875	0.8278
9	0.6626	0.2943	0.3272	0.2749	0.5362	0.1264	0.2362	0.1484	0.8864	0.8269
10	0.6626	0.2944	0.3272	0.2748	0.5361	0.1264	0.2324	0.1536	0.8863	0.8270
Ortalama	0.6626	0.2949	0.3277	0.2754	0.5362	0.1265	0.2346	0.1501	0.8871	0.8273

Çizelge 6.8 Gövde modelinde malzeme taşıyan işçiler için kapasite kullanım oranları

Simülasyon Koşumu	Çapaklama İşçisi	Kumlama İşçisi	Taşıyıcı İşçi 1	Taşıyıcı İşçi 2
1	0.0888	0.0947	0.6688	0.2058
2	0.0891	0.0947	0.6692	0.2058
3	0.0888	0.0947	0.6690	0.2058
4	0.0888	0.0947	0.6690	0.2058
5	0.0888	0.0947	0.6690	0.2058
6	0.0888	0.0947	0.6689	0.2058
7	0.0888	0.0947	0.6690	0.2058
8	0.0888	0.0947	0.6690	0.2058
9	0.0888	0.0947	0.6687	0.2056
10	0.0888	0.0947	0.6685	0.2057
Ortalama	0.08883	0.0947	0.6689	0.20577

Çizelge 6.9 Gövde için konveyör kaynak kullanım oranları

Simülasyon Koşumu	Konveyör 1		Konveyör 2		Konveyör 3	
	Ortalama	Yarı Genişlik (hw)	Ortalama	Yarı Genişlik (hw)	Ortalama	Yarı Genişlik (hw)
1	0.6762	0.00982	0.6151	0.01026	0.3425	-
2	0.6768	0.01034	0.6162	0.01056	0.3427	-
3	0.6766	0.01013	0.6151	0.01057	0.3424	-
4	0.6764	0.01033	0.6155	0.01075	0.3425	-
5	0.6762	0.01072	0.6149	0.01083	0.3424	-
6	0.6757	0.01009	0.6145	0.01049	0.3422	-
7	0.6766	0.01019	0.6156	0.01046	0.3425	-
8	0.6764	0.01055	0.6151	0.01056	0.3425	-
9	0.6755	0.01028	0.6144	0.01071	0.3421	-
10	0.6750	0.01051	0.6143	0.01117	0.3422	-
Ortalama	0.6761		0.6151		0.3424	

Çizelge 6.10 Gövde için konveyör parça birikim uzunlukları

Simülasyon Koşumu	Konveyör 1		Konveyör 2		Konveyör 3	
	Ortalama	Yarı Genişlik (hw)	Ortalama	Yarı Genişlik (hw)	Ortalama	Yarı Genişlik (hw)
1	4.7733	0.07392	4.2225	0.07503	0	0
2	4.7777	0.07831	4.2316	0.07785	0	0
3	4.7765	0.07678	4.2227	0.07812	0	0
4	4.7752	0.07821	4.2267	0.07942	0	0
5	4.7735	0.07986	4.2217	0.07831	0	0
6	4.7701	0.07704	4.2182	0.07806	0	0
7	4.7767	0.07734	4.2264	0.07794	0	0
8	4.7744	0.07950	4.2224	0.07715	0	0
9	4.7678	0.07587	4.2175	0.07651	0	0
10	4.7631	0.07858	4.2169	0.08162	0	0
Ortalama	4.7728		4.2227		0	

Çizelge 6.11 Lokma makinesi kuyruk uzunluğu

Simülasyon Koşumu	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Yarı Genişlik (hw)	Maksimum Kuyruk Uzunluğu
1	9.6652	-	49
2	9.6624	-	49
3	9.6618	-	49
4	9.6623	-	49
5	9.6639	-	49
6	9.6608	-	49
7	9.6633	-	49
8	9.6628	-	49
9	9.6626	-	49
10	9.6630	-	49
Ortalama	9.6628		49

Çizelge 6.12 Pres 1 kuyruk uzunluğu

Simülasyon Koşumu	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Yarı Genişlik (hw)	Maksimum Kuyruk Uzunluğu
1	1.3288	0.00316	9
2	1.3298	-	9
3	1.3286	-	9
4	1.3292	0.00332	9
5	1.3288	0.00136	9
6	1.3252	-	9
7	1.3296	-	9
8	1.3295	0.00388	9
9	1.3247	0.00097	9
10	1.3249	0.00122	9
Ortalama	13.279		9

Çizelge 6.13 Pres 2 kuyruk uzunluğu

Simülasyon Koşumu	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Yarı Genişlik (hw)	Maksimum Kuyruk Uzunluğu
1	1.4776	0.00335	9
2	1.4779	-	9
3	1.4771	-	9
4	1.4763	0.00333	9
5	1.4763	-	9
6	1.4727	-	9
7	1.4776	-	9
8	1.4783	-	9
9	1.4725	0.00043	9
10	1.4725	0.00035	9
Ortalama	1.4759		9

Çizelge 6.14 Pres 3 kuyruk uzunluğu

Simülasyon Koşumu	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Yarı Genişlik (hw)	Maksimum Kuyruk Uzunluğu
1	1.2419	0.00359	9
2	1.2411	-	9
3	1.2405	-	9
4	1.2402	0.00354	9
5	1.2403	0.00124	9
6	1.2371	0.00162	9
7	1.2420	-	9
8	1.2408	0.00368	9
9	1.2371	0.00100	9
10	1.2368	0.00131	9
Ortalama	1.2398		9

Çizelge 6.15 Çapaklama makinesi kuyruk uzunluğu

Simülasyon Koşumu	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Yarı Genişlik (hw)	Maksimum Kuyruk Uzunluğu
1	6.5032	-	28
2	6.4959	-	28
3	6.4973	-	28
4	6.4965	-	28
5	6.4936	-	28
6	6.4958	-	28
7	6.4951	-	28
8	6.4927	-	28
9	6.4955	-	28
10	6.4914	-	28
Ortalama	6.4957	-	28

Çizelge 6.16 Kumlama makinesi kuyruk uzunluğu

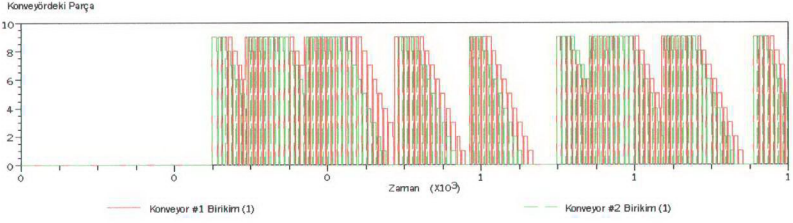
Simülasyon Koşumu	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Yarı Genişlik (hw)	Maksimum Kuyruk Uzunluğu
1	0	-	0
2	0	-	0
3	0	-	0
4	0	-	0
5	0	-	0
6	0	-	0
7	0	-	0
8	0	-	0
9	0	-	0
10	0	-	0
Ortalama	0	-	0

Çizelge 6.17 Gövde transfer tezgahı #1 kuyruk uzunluğu

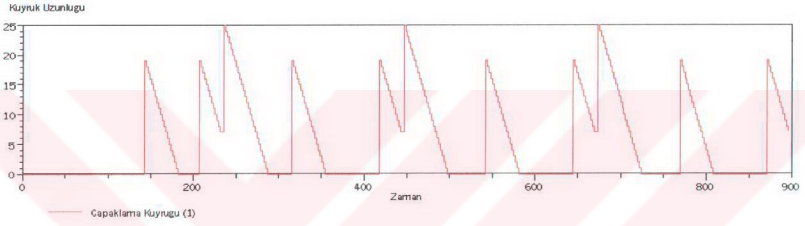
Simülasyon Koşumu	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Yarı Genişlik (hw)	Maksimum Kuyruk Uzunluğu
1	2.0988	0.04277	13
2	2.0940	0.04545	13
3	2.0978	0.03854	13
4	2.0958	0.04465	13
5	2.0999	0.04819	13
6	2.0979	0.03973	13
7	2.0931	0.03917	13
8	2.0887	0.04770	13
9	2.0896	0.04635	13
10	2.0857	-	13
Ortalama	2.0941		13

Çizelge 6.18 Gövde transfer tezgahı #2 kuyruk uzunluğu

Simülasyon Koşumu	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Yarı Genişlik (hw)	Maksimum Kuyruk Uzunluğu
1	1.8110	0.03869	13
2	1.8125	0.04181	13
3	1.8089	0.03714	13
4	1.8088	0.04187	13
5	1.8101	0.04206	13
6	1.8080	0.03686	13
7	1.8075	-	13
8	1.8054	0.04205	13
9	1.8064	-	13
10	1.8059	0.04363	13
Ortalama	1.8085		13

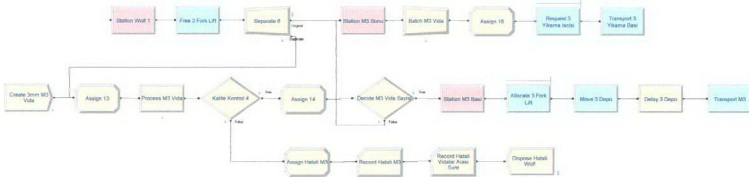
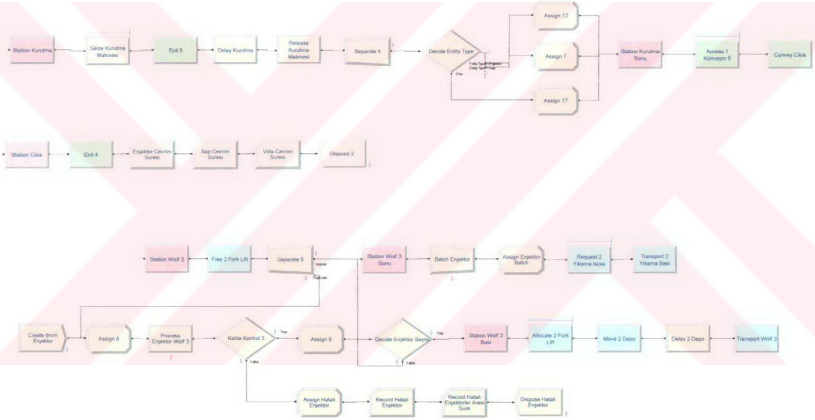
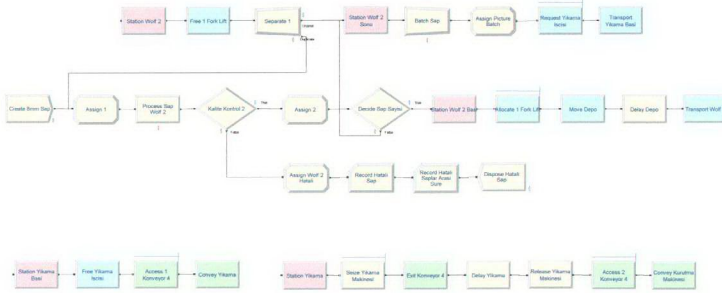


Şekil 6.1 Konveyördeki parça sayısı

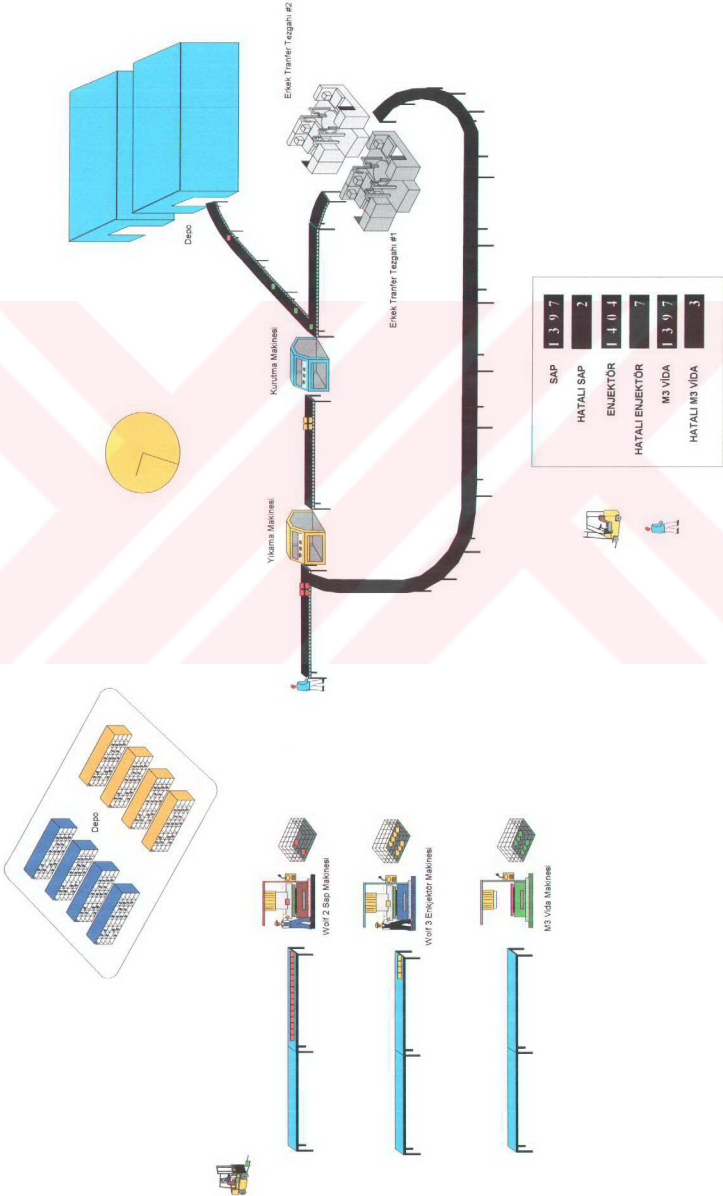


Şekil 6.2 Çapaklama makinesi kuyruk uzunluğu

6.1.5 Sap, Enjektör ve Vida İçin Mantıksal Model Yapısı



6.1.6 Sap, Enjektör ve Vida İçin Fiziksel Model Yapısı



6.1.7 Sap, Enjektör ve Vida İçin Çıktı Analizi

Ocak musluğunun gövde montajında kullanılan bileşenler erkek, yay, sap, M3 vida ve enjektördür. Bu bileşenlerden yalnızca yay işletme dışından tedarik edilmektedir. Erkek, sap ve enjektör parçalarının üretiminde wolf makineleri kullanılmaktadır. İşletme bünyesinde 3 adet wolf makinesi mevcuttur. Makinelere her biri ilgili parçayı üretmek üzere tahsis edilmiştir ve 1 birim kapasiteye sahiptir. Wolf makineleri hammadde magazinine sahiptir. Hammadde stokundan forklift ile taşınan enjektör, M3 vida ve sap üretiminde kullanılacak pirinç çubuklar işçiler tarafından wolf makinelerinin magazinine yerleştirilmektedir. Enjektör ve sap üretiminde 8 mm çaplı pirinç çubuk kullanılırken vida yapımında 3 mm çaplı pirinç çubuk kullanılmaktadır.

Enjektör, sap ve vida üretiminde kullanılan malzeme taşıma sistemleri forklift, taşıyıcı işçi ve konveyörlerden meydana gelmektedir. Forkliftin yüksüz durumdaki hareket hızı saniyede 1.7 metre olarak modellenmektedir. Forklift hızı yüklü durumda hammadde türüne bağlı olarak saniyede 1.5 metre ile 1.6 metre arasında değişmektedir. Makinelerin magazinlerindeki hammadde sayısı belirli bir limit değere ulaştığında forklift depodan yeni hammadde çekmek üzere yönlendirilmektedir. Böylelikle makinelerin stoksuz geçirdikleri sürelerin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Yıkama işçisi wolf 2, wolf 3 ve M3 vida makinelerinden çıkan parçaların yıkama tezgahına taşınması ile ilgilenmektedir. Her bir makinede 10 adet parça biriktiğinde yıkama işçisi bu parçaları özel kaplarından alarak yıkama ve kurutma makinesine besleme sağlayan 4 numaralı konveyöre taşımaktadır. Yıkama işçisi boş durumda iken saniyede 1 metre hızla hareket edebilmektedir, yüklü durumda ise hareket hızı saniyede 0.8 metre olarak gerçekleşmektedir. 4 ve 5 numaralı konveyörler birikimli tipte olup saniyede 0.7 metre hız ile hareket etmektedir. 4 numaralı konveyör 9 metre boyunda olup talaşlı işlemden çıkmış olan parçaların yıkama ve kurutma makinelerine ulaştırılmasında kullanılmaktadır. 5 numaralı konveyör 5 metre boyunda olup kurutma makinesinden çıkan parçaların yarı mamul deposuna ulaştırılmasında kullanılmaktadır.

Wolf 2 makinesinin depoya uzaklığı yaklaşık olarak 14 metre, wolf 3 makinesinin 16 metre ve vida makinesinin de 18 metredir. Wolf 2 makinesinin 4 numaralı konveyör başlangıcına olan uzaklığı 2 metre, wolf 3 makinesinin 3 metre ve vida makinesinin 4 numaralı konveyörün başlangıcına olan uzaklığı da 5 metredir.

Simülasyon modelindeki stokastik zamanlar işletme bünyesinde daha önce yapılmış olan zaman etüdü formlarından elde edilen verilerin girdi analizi ile uygun istatistiksel dağılımlara uyandırılması ile türetilmiştir. Her bir işlem için zaman etüdü formlarından derlenen 100 adet

gözlem değerleri Arena Input Analyzer programı ile girdi analizine tabi tutulmuştur ve eldeki data kümesini en düşük hata değeri ile temsil edebilecek olan dağılım tipi seçilerek modele dahil edilmiştir. Model 8 saat süre ile 10 adet simülasyon koşumu boyunca çalıştırılmıştır. Atölye tipi üretim yapan bu işletmede temel hedef montaj kısmına giren bileşenlerin gün içerisinde dengeli bir şekilde maksimum üretiminin sağlanmasıdır. Montajı yapılan ürün cinsi gün içerisinde üretim çizelgesine bağlı olarak değişim gösterebilmektedir ve montaj hattının kapasitesini düşürecek darboğazların önüne geçilmesi ve montaj akışının dengeli bir biçimde sürdürülebilmesi için sistemde yarı mamul stokları bulundurulmaktadır.

10 adet simülasyon koşumu süresince her bir parça tipinden üretilen sağlam ve kusurlu parça sayıları çizelge 6.20'de belirtilmiştir. 23,4 adetlik ortalama değer ile en yüksek hatalı parça oranı enjektör üretiminde gözlenmiştir. Parça tiplerinden her biri için çevrim süresinin faaliyetler arasındaki dağılımı incelendiğinde sistem içinde bekleme sürelerinin toplam çevrim zamanının yaklaşık %70'lik bir bölümünü meydana getirdiği görülmektedir. Bunun dışında hammadde ve yarı mamul taşıma süreleri de toplam çevrim süresinin yaklaşık %20'lik bir bölümünü oluşturmaktadır. Toplam kuyrukta bekleme sürelerinin yaklaşık %50'lik bir bölümü wolf 2, wolf 3 ve M3 vida tezgahlarında meydana gelmektedir. Bu tezgahların 8 saatlik bir simülasyon koşumu süresince ortalama kaynak kullanım oranlarının %85'in üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Bu durumda, gerek sistemden çıkan parçalar arası sürenin azaltılmasında gerek çevrim süresinin düşürülmesinde verimliliğin artırılması yolunda yapılacak faaliyetlerin sermaye yatırımı gerektirdiği ön plana çıkmaktadır. Tek bir makineye yapılacak kapasite artırma yatırımının işletmede yeni bir darboğaz yaratacağı düşünüldüğünden, montaj hattının kapasitesinin dengeli bir şekilde artırılabilmesi için uzun dönemli işletme stratejilerinin de göz önünde bulundurularak yatırımın çok farklı parça tiplerini işleyebilme olanağı sunan bir transfer tezgahına yapılması yerinde olacaktır.

Çizelge 6.19 Sap, enjektör ve vida için stokastik zamanlar

İşlem	Stokastik Zaman
M3 vida proses	$3.81+0.09*BETA(8.44,7.02)$
Wolf 2 Sap proses	$3.77+0.15*BETA(11.1,9.04)$
Wolf 3 Enjektör proses	$3.80+0.09*BETA(10.7,8.91)$
Yıkama prosesi	$TRIA(2.04,2.1,2.15)$
Kurutma prosesi	$2.52+ERLA(0.00949,7)$
Depoda hammaddenin yüklenmesi	$NORM(3.08,0.245)$

Çizelge 6.20 Sap, enjektör ve vida çıktı oranları

Simülasyon Koşumu	Enjektör		M3 Vida		Sap	
	Sağlam	Hatalı	Sağlam	Hatalı	Sağlam	Hatalı
1	7233	28	7221	17	7225	19
2	7231	24	7220	15	7230	14
3	7231	25	7214	8	7225	22
4	7235	19	7218	5	7224	18
5	7227	21	7212	17	7224	19
6	7118	23	7138	10	7123	21
7	7230	25	7214	16	7223	18
8	7226	17	7209	15	7213	29
9	7228	23	7208	14	7212	28
10	7224	29	7210	15	7224	19
Ortalama	7218,3	23,4	7206,4	13,2	7212,3	20,7

Çizelge 6.21 Enjektör için sistem içi süreler

Simülasyon Koşumu	Katma Değer Yaratılan Süre	Katma Değer Yaratılmayan Süre	Transfer Süresi	Bekleme Süresi	Diğer Süreler	Toplam Süre
1	3,8491	0,1553	24,7795	74,2935	4,6838	107,76
2	3,8492	0,1542	24,7793	73,9748	4,6837	107,44
3	3,8490	0,1560	24,7801	76,6219	4,6818	110,09
4	3,8491	0,1538	24,7783	76,6380	4,6826	112,10
5	3,8489	0,1537	24,7799	79,7661	4,6815	112,23
6	3,8489	0,1550	24,6621	77,3486	4,6847	110,70
7	3,8492	0,1523	24,7802	81,4800	4,6824	114,94
8	3,8492	0,1545	24,7794	74,1419	4,6800	107,61
9	3,9492	0,1531	24,7795	72,6289	4,6837	106,09
10	3,8490	0,1544	24,7815	78,1614	4,6823	111,63
Ortalama	3,85908	0,15423	24,76798	76,50551	4,68265	110,059

Çizelge 6.22 M3 Vida için sistem içi süreler

Simülasyon Koşumu	Katma Değer Yaratılan Süre	Katma Değer Yaratılmayan Süre	Transfer Süresi	Bekleme Süresi	Diğer Süreler	Toplam Süre
1	3,8591	0,1540	27,2240	73,2976	4,6810	109,22
2	3,8590	0,1540	27,2244	74,8359	4,6840	110,76
3	3,8590	0,1524	27,2213	72,8802	4,6832	108,80
4	3,8593	0,1539	27,2235	75,2755	4,6833	111,20
5	3,8590	0,1533	27,2234	75,0001	4,6842	110,92
6	3,8592	0,1538	27,2815	75,4514	4,6815	111,43
7	3,8593	0,1539	27,2226	72,1208	4,6853	108,04
8	3,8593	0,1536	27,2228	72,6317	4,6846	108,55
9	3,8492	0,1531	27,7795	72,6289	4,6837	106,09
10	3,8593	0,1539	27,2238	77,3774	4,6828	113,30
Ortalama	3,85817	0,15359	27,28468	74,14995	4,68336	109,831

Çizelge 6.23 Sap için sistem içi süreler

Simülasyon Koşumu	Katma Değer Yaratılan Süre	Katma Değer Yaratılmayan Süre	Transfer Süresi	Bekleme Süresi	Diğer Süreler	Toplam Süre
1	3,8528	0,1541	23,4378	77,2116	4,6839	109,34
2	3,8528	0,1530	23,4366	76,9342	4,6835	109,06
3	3,8522	0,1537	23,4381	73,5600	4,6830	105,69
4	3,8527	0,1533	23,4377	75,7878	4,6828	107,91
5	3,8523	0,1547	23,4380	76,4822	4,6834	108,61
6	3,8529	0,1548	23,4960	76,1931	4,6813	108,38
7	3,8525	0,1542	23,4382	80,2307	4,6818	112,36
8	3,8524	0,1544	23,4382	75,0255	4,6826	107,15
9	3,8528	0,1548	23,4381	78,5953	4,6840	110,72
10	3,8525	0,1544	23,4381	74,3259	4,6807	106,45
Ortalama	3,85259	0,15414	23,44368	76,43463	4,6827	108,567

Çizelge 6.24 Hatalı parçalar arası süre

Simülasyon Koşumu	Enjektör	Sap	Vida
1	1061,42	1285,05	1597,78
2	1149,73	2032,05	1661,17
3	1105,26	1164,35	3134,02
4	1315,53	1482,24	3931,59
5	1373,20	1522,79	1394,71
6	1145,99	1374,09	2527,03
7	1136,96	1620,31	1599,66
8	1660,74	992,08	1911,75
9	1076,45	981,74	1510,77
10	958,12	1469,47	1965,73
Ortalama	1198,34	1392,417	2123,421

Çizelge 6.25 Sap, enjektör ve vida için kapasite kullanım oranları

Simülasyon Koşumu	Kurutma	M3 Vida	Wolf 2	Wolf 3	Yıkama
1	0,1766	0,8817	0,8808	0,8814	0,1432
2	0,1767	0,8817	0,8810	0,8816	0,1433
3	0,1766	0,8814	0,8804	0,8809	0,1432
4	0,01767	0,8817	0,8806	0,8812	0,1433
5	0,1766	0,8812	0,8802	0,8808	0,1431
6	0,1742	0,8714	0,8689	0,8672	0,1413
7	0,1765	0,8813	0,8802	0,8808	0,1432
8	0,1763	0,8805	0,8797	0,8801	0,1431
9	0,1763	0,8803	0,8796	0,8799	0,1430
10	0,1764	0,8810	0,8802	0,8805	0,1430
Ortalama	0,158586	0,88022	0,87916	0,87944	0,14297

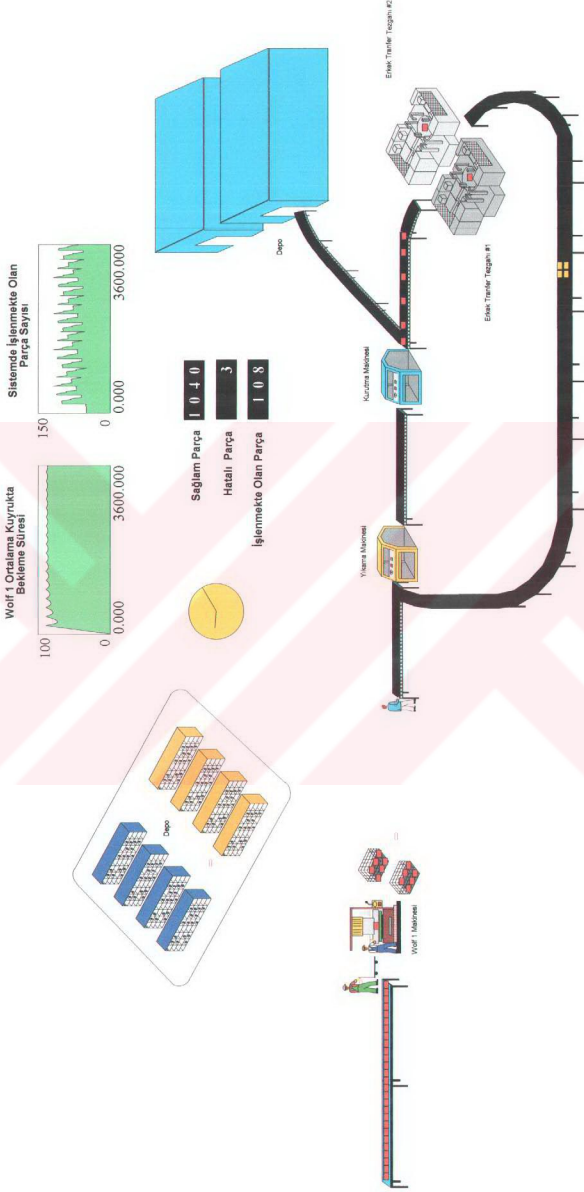
Çizelge 6.26 Malzeme taşıma sistemleri kaynak kullanım oranları

Simülasyon Koşumu	Konveyör #4	Konveyör #5	Forklift	Yıkama İşçisi
1	0,08781	0,8122	0,7774	0,5125
2	0,08785	0,8127	0,7771	0,5127
3	0,08781	0,8122	0,7767	0,5123
4	0,08788	0,8130	0,7768	0,5131
5	0,08778	0,8119	0,7764	0,5121
6	0,08663	0,8013	0,7667	0,5059
7	0,08778	0,8120	0,7761	0,5121
8	0,08770	0,8112	0,7759	0,5118
9	0,08766	0,8110	0,7757	0,5116
10	0,08772	0,8115	0,7763	0,5118
Ortalama	0,087662	0,8109	0,77551	0,51159

Çizelge 6.27 Sap, enjektör ve vida için kuyruk istatistikleri

Simülasyon Koşumu	Enjektör		M3 Vida		Sap	
	Bekleme Süresi	Kuyruktaki Parça	Bekleme Süresi	Kuyruktaki Parça	Bekleme Süresi	Kuyruktaki Parça
1	36,5670	8,3829	36,6615	8,3761	36,5778	8,3722
2	36,5664	8,3825	36,6604	8,3759	36,5786	8,3751
3	36,5560	8,3795	36,6482	8,3753	36,5901	8,3634
4	36,5580	8,3811	36,6626	8,3704	36,5795	8,3692
5	36,5519	8,3775	36,6469	8,3756	36,5973	8,3615
6	36,5343	8,2449	36,6574	8,2836	36,5792	8,2591
7	36,5548	8,3784	36,6492	8,3762	36,5958	8,3661
8	36,5628	8,3694	36,6345	8,3716	36,5821	8,3609
9	36,5648	8,3664	36,6325	8,3695	36,5872	8,3623
10	36,5525	8,3753	36,6414	8,3751	36,5994	8,3620
Ortalama	36,55685	8,36379	36,64946	8,36493	36,5867	8,35518

6.1.9 Erkek İçin Fiziksel Model Yapısı



6.1.10 Erkek İçin Çıktı Analizi

Erkek parça üretiminde sırasıyla wolf 1, yıkama, kurutma ve erkek transfer tezgahları görev almaktadır. İşletmede erkek parça üretimi için tahsis edilmiş 1 adet wolf tezgahı, 2 adet transfer tezgahı bulunmaktadır. Yıkama ve kurutma makineleri ocak musluğuna ait ürün ağacı içerisinde yer alan tüm bileşenler tarafından ortak olarak kullanılmaktadır. Erkek parça üretiminde kullanılan 11mm çaplı pirinç profiller hammadde deposundan taşınarak wolf makinesinin magazinine yerleştirilirler. Wolf makinesinde pirinç profiller uygun boyda kesilerek dış yüzeyine ilk formu verilme üzere talaşlı olarak işlenirler. Wolf makinesinde işlemleri tamamlanan parçalar biriktirme kaplarına aktarılırlar. İlk formları kazandırılan parçalar hassas işleme için transfer tezgahlarına gönderilmeden önce wolf makinesinde kullanılan soğutma yağlarından ve talaşlardan arındırılmak üzere yıkama ve kurutma tezgahlarına gönderilirler. Biriktirme kaplarındaki parça sayısı yaklaşık olarak 40 adete ulaştığında parçalar alınarak yıkama makinesine gönderilmek üzere 4 numaralı konveyör üzerine yerleştirilir. Yıkama ve kurutma işlemleri tamamlanan parçalar transfer makinelerinde hassas olarak işlenerek nihai formları kazandırılır. Parçalar 1 ve 2 numaralı transfer tezgahlarına tercihli sıraya uygun olarak yerleştirilir. İki tezgah da boş ise ilk önce proses süresi daha kısa olan 1 numaralı transfer tezgahı seçilmektedir. Transfer tezgahlarında işlenirken soğutma yağları ve metal talaşları ile kirlenmiş olan erkek parçaların montaja girmeden önce yeniden temizlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle transfer makinesinden çıkan parçalar yeniden temizlenmek üzere 6 numaralı konveyör ile yıkama ve kurutma makinesine taşınırlar. Temizlenerek montaja hazır hale getirilen parçalar 5 numaralı konveyör ile sistemi terk etmektedir.

Erkek parça üretiminde malzeme taşınmasında vasıflı işçi, vasıfsız işçi ve konveyörler kullanılmaktadır. Vasıfsız işçiler sadece malzeme veya hammaddelerin bir noktadan bir noktaya taşınmasından sorumlu olup katma değer yaratılan proseslerde görev almazlar. Vasıflı işçiler ise vasıfsız işçilerden farklı olarak katma değer yaratılan proseslerde de aktif olarak yer alırlar. 2 numaralı taşıyıcı işçi 11 mm çapındaki pirinç çubukların hammadde deposundan wolf 1 makinesi magazinine taşınmasında görev almaktadır. İşçi yüksüz durumda yaklaşık olarak saniyede 1 metre, yüklü durumda iken ise saniyede 0.8 metre hız ile hareket etmektedir. Hammadde deposunun wolf 1 makinesine olan uzaklığı yaklaşık olarak 20 metredir. Yıkama işçisi olarak tanımlanan vasıflı işçi ise wolf 1 biriktirme kabındaki parçaların yıkama ve kurutma makinelerini besleyen 4 numaralı konveyöre taşınmasından sorumludur. Yıkama işçisi taşıma zamanı dışındaki zamanında yıkama ve kurutma proseslerinde denetleme fonksiyonunu yerine getirmektedir. Tüm konveyörler birikimli tipte

olup saniyede 0.7 metre bant akış hızına sahiptir. 4 numaralı konveyör toplam 11 metre, 5 numaralı konveyör 5 metre ve 6 numaralı konveyör de 10 metre boyundadır.

Gövde için hazırlanan simülasyon modelinde yer alan stokastik süreçler için uygun istatistiksel dağılımlar arena input analyzer programı kullanılarak türetilmiştir. İşletmede daha önceden yapılmış olan zaman etüdü çalışma formlarından elde edilen veriler için girdi analizi yapılmış ve stokastik davranışı en iyi şekilde temsil edebilecek olan, en düşük istatistiksel hataya sahip uygun dağılımlar tespit edilmiştir. Çizelge 6.27’de gövde için hazırlanan simülasyon modelinde yer alan stokastik faaliyetler ve bunları en iyi şekilde temsil eden istatistiksel dağılımlar belirtilmiştir.

Çizelge 6.27 Erkek için stokastik zamanlar

İşlem	Stokastik Zaman
Wolf 1	$3.51 + \text{LOGN}(0.0908, 0.0303)$
Depoda hammadde yükleme	$2.95 + 0.3 * \text{BETA}(2.42, 2.71)$
Yıkama	$2 + \text{WEIB}(0.138, 4.72)$
Kurutma	$2.53 + \text{ERLA}(0.00962, 10)$
Erkek Transfer 1	$\text{NORM}(4.58, 0.025)$
Erkek Transfer 2	$4.47 + 0.15 * \text{BETA}(4.49, 4.28)$

Erkek için hazırlanan model, 8 saatlik simülasyon koşumu boyunca 10 defa çalıştırıldığında bir simülasyon koşumu süresince sistemden çıkan ortalama sağlam gövde sayısının 7395.5 adet olduğu görülmektedir. Erkek parçalar için montaj öncesi kalite kontrol parçalar wolf makinesinde işlendikten sonra yapılmaktadır. İşletmede daha önceden hazırlanmış olan kalite kontrol formları incelenerek wolf 1 makinesinden hatalı parça çıkma olasılığı %0.3 olarak modellenmiştir. Hata nedenleri incelendiğinde en önemli faktörün boyut ve yüzey kalitesi olduğu görülmüştür. Erkek transfer tezgahları wolf makinesine kıyasla yüksek kalite hassasiyetine sahiptir ve hatalı parça olasılığı ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Hatalı parça sayısı 10 adet simülasyon koşumu süresince 19 ile 30 adet arasında değişmekle birlikte ortalama 24.6 adet olarak meydana gelmektedir.

Sağlam parçalar için ortalama çevrim süresi 323.89 saniye olarak gerçekleşmiştir. Toplam sistem içi sürelerin dağılımı incelendiğinde bekleme sürelerinin toplam çevrim süresinin yaklaşık %77’lik bir bölümünü meydana getirdiği görülmektedir. Toplam bekleme sürelerinin

%35'lik bölümü wolf makinesine ait magazin kuyruğunda bekleme süresinden, %16'lık bölümü taşınmak üzere biriktirme kabındaki bekleme süresinden diğer bir %16'lık bölümü de kurutma işlemi tamamlanmış parçaların transfer tezgahına taşınmadan önce 4 numaralı konveyör kuyruğundaki bekleme sürelerinden kaynaklanmaktadır. Sistemde yıkama ve kurutma makineleri için kuyruk oluşumu gözlenmemektedir. Kurutma makinesinden çıkan parçaların transfer tezgahlarına taşınmasında kullanılan 4 numaralı konveyörün üçüncü parçasının uzunluğu artırılarak konveyöre giriş kuyruğundaki bekleme süreleri düşürülerek sistem etkinliği artırılabilir.

Kaynak kapasite kullanım oranları incelendiğinde transfer tezgahlarının simülasyon zamanının yaklaşık %59'luk bir bölümünde dolu oldukları görülmektedir. Benzer şekilde wolf 1 makinesinin ortalama kapasite kullanım oranı 10 adet simülasyon koşumu boyunca yaklaşık olarak %94 olarak gerçekleşmiştir. Katma değer yaratılan süreçler içerisinde en uzun proses zamanına sahip olan erkek transfer tezgahlarının Wolf 1 tezgahına oranla düşük bir kapasite kullanım yüzdesine sahip olduğu görülmektedir. Bu, mevcut durumda sistemde 2 adet erkek transfer makinesinin faaliyette bulunmasından kaynaklanmaktadır. Sistem performansının iyileştirilmesi adına, wolf makinesi kapasitesi artırılarak transfer tezgahlarının, yıkama ve kurutma makinelerinin kullanılabilir kapasitelerinden daha etkin bir şekilde yararlanılması sağlanabilir. Fakat, montaj için darboğazın sap, enjektör ve vida parçalarında olduğu göz önünde bulundurulduğunda yatırımın bu noktaya yönlendirilmesi montaj hattının çıktı kapasitesini daha olumlu yönde etkileyecektir.

5 numaralı konveyör üzerinde birikim meydana gelmemektedir. 4 numaralı konveyör üzerinde meydana gelen birikim ortalama 1.41 adettir. 6 numaralı konveyörün kaynak kullanım oranının çok düşük olduğu simülasyon çıktılarından da gözlenmektedir. Yalnızca % 1.67'lik bir doluluk oranına sahip olan 6 numaralı konveyörün yerine ikinci yıkama için gerekli taşımının bir vasıfsız işçi ile sürdürülmesi düşünülebilir. Transfer tezgahlarından çıkan parçaların yeniden yıkanması için gerekli taşımının yıkama işçisi tarafından yapılması ve 6 numaralı konveyör hattının sap, enjektör ve vida üretiminde tezgahlar için hammadde stoku temininde kullanılması sistem performansında önemli iyileştirmeler sağlayabilir.

Çizelge 6.28 Erkek çıktı oranları

Simülasyon Koşumu	Sistemden Çıkan Erkek	Hatalı Erkek	İşlenmekte Olan Erkek
1	7400	28	72
2	7400	20	80
3	7400	21	79
4	7400	24	76
5	7400	24	76
6	7400	26	74
7	7381	29	91
8	7400	25	75
9	7400	19	72
10	7384	30	87
Ortalama	7395.5	24.6	78.2

Çizelge 6.29 Erkek için sistem içi süreler

Simülasyon Koşumu	Katma Değer Yaratılan Süre	Katma Değer Yaratılmayan Süre	Transfer Süresi	Bekleme Süresi	Diğer Süreler	Toplam Süre
1	8.1810	0.06	56.75	249.60	9.51	324.10
2	8.1808	0.06	56.75	248.92	9.50	323.42
3	8.1808	0.06	56.75	249.31	9.51	323.81
4	8.1813	0.06	56.74	249.41	9.50	323.90
5	8.1805	0.06	56.75	249.36	9.51	323.86
6	8.1807	0.06	56.76	249.25	9.50	323.75
7	8.1815	0.06	56.75	249.49	9.51	323.99
8	8.1813	0.06	56.74	249.53	9.51	324.02
9	8.1805	0.06	56.74	249.51	9.51	324.00
10	8.1806	0.06	56.74	249.54	9.51	324.03
Ortalama	8.1809	0.06	56.75	249.39	9.51	323.89

6.30 Erkek parçalar arası süre

Simülasyon Koşumu	Sağlam Erkek Parça			Hatalı Erkek Parça		
	Ortalama	Minimum	Maksimum	Ortalama	Minimum	Maksimum
1	3.8559	1.4067	94.5943	1028.47	32.4279	4655.07
2	3.8489	1.4014	91.1153	1441.49	3.6381	3363.33
3	3.8507	1.4019	91.1981	1397.89	21.5236	4167.03
4	3.8550	1.4009	91.1946	1205.13	44.6189	4404.09
5	3.8555	1.4044	91.4136	1136.24	75.9080	4505.20
6	3.8545	1.4009	98.3279	1140.48	7.2216	3853.91
7	3.8661	1.4004	94.5131	987.28	36.1000	4091.61
8	3.8553	1.4024	91.1639	1105.15	138.3300	3327.51
9	3.8483	1.4010	93.9273	1524.23	25.1374	6115.33
10	3.8650	1.4006	94.4983	929.91	50.2525	3628.68
Ortalama	3.8555			1189.63		

Çizelge 6.31 Erkek için kaynak kapasite kullanım oranları

Simülasyon Koşumu	Erkek Transfer 1		Erkek Transfer 2		Kurutma		Erkek Wolf 1		Yıkama	
	Ortalama	Yarı Genişlik	Ortalama	Yarı Genişlik	Ortalama	Yarı Genişlik	Ortalama	Yarı Genişlik	Ortalama	Yarı Genişlik
1	0.5884	0.0983	0.5884	0.09769	0.0507	0.00098	0.9350	0.00283	0.0411	0.00067
2	0.5900	0.0089	0.5900	0.0089	0.0507	0.00095	0.9357	-	0.0410	0.00074
3	0.5898	0.0092	0.5896	0.0093	0.0507	0.00099	0.9355	0.00200	0.0410	0.00079
4	0.5887	0.0093	0.5886	0.0094	0.0507	0.00100	0.9348	0.00211	0.0411	0.00076
5	0.5885	0.0099	0.5885	0.0098	0.0507	0.00094	0.9346	-	0.0410	0.00056
6	0.5884	0.0096	0.5885	0.0095	0.0507	0.00099	0.9350	0.00217	0.0411	0.00079
7	0.5885	0.0095	0.5884	0.0094	0.0506	0.00101	0.9343	0.00251	0.0409	0.00075
8	0.5884	0.0094	0.5884	0.0095	0.0507	0.00092	0.9348	0.00218	0.0411	0.00074
9	0.5902	0.0094	0.5900	0.0096	0.0507	0.00103	0.9357	0.00219	0.0410	0.00075
10	0.5884	0.0094	0.5883	0.0094	0.0506	0.00096	0.9345	0.00228	0.0409	0.00064
Ortalama	0.5889		0.5889		0.05068		0.9350		0.04102	

Çizelge 6.32 Erkek için konveyör kaynak kullanım oranları

Simülasyon Koşumu	Konveyör #4		Konveyör #5		Konveyör #6	
	Ortalama	Yarı Genişlik (hw)	Ortalama	Yarı Genişlik (hw)	Ortalama	Yarı Genişlik (hw)
1	0.3079	0.0051	0.3058	0.0073	0.0167	0.0003
2	0.3089	0.0046	0.3058	0.0072	0.0167	0.0003
3	0.3087	0.0046	0.3058	0.0075	0.0167	0.0003
4	0.3081	0.0047	0.3057	0.0073	0.0167	0.0003
5	0.3081	0.0050	0.3058	0.0069	0.0167	0.0003
6	0.3081	0.0048	0.3058	0.0074	0.0167	0.0003
7	0.3079	0.0049	0.3050	0.0074	0.0167	0.0003
8	0.3080	0.0050	0.3058	0.0075	0.0167	0.0003
9	0.3089	0.0047	0.3057	0.0074	0.0167	0.0003
10	0.3079	0.0048	0.3051	0.0071	0.0167	0.0003
Ortalama	0.3083		0.3056		0.0167	

Çizelge 6.33 Malzeme taşıyan işçiler için kapasite kullanım oranları

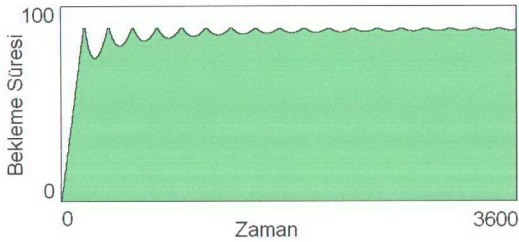
Simülasyon Koşumu	Taşıyıcı İşçi 2	Yıkama İşçisi
1	0.2489	0.1163
2	0.2488	0.1163
3	0.2488	0.1163
4	0.2488	0.1163
5	0.2488	0.1163
6	0.2488	0.1163
7	0.2488	0.1160
8	0.2488	0.1163
9	0.2488	0.1163
10	0.2488	0.1161
Ortalama	0.24881	0.11625

Çizelge 6.34 Wolf 1 makinesine ait kuyruk istatistikleri

Simülasyon Koşumu	Ortalama Bekleme Süresi	Ortalama Bekleyen Parça Sayısı
1	88.0780	22.9456
2	88.0765	22.9546
3	88.0816	22.9551
4	88.0630	22.9398
5	88.0617	22.9363
6	88.0703	22.9437
7	88.0864	22.9291
8	88.0852	22.9430
9	88.0834	22.9570
10	88.0775	22.9348
Ortalama	88.0764	22.9439

Çizelge 6.35 Erkek transfer tezgahlarına ait kuyruk istatistikleri

Simülasyon Koşumu	Ortalama Bekleme Süresi	Yarı Genişlik (hw)	Ortalama Bekleyen Parça Sayısı	Yarı Genişlik (hw)
1	0.3080	0.00084	0.0792	0.00135
2	0.3083	0.00095	0.0794	0.00128
3	0.3080	0.00089	0.0793	0.00118
4	0.3083	0.00107	0.0793	0.00127
5	0.3079	0.00083	0.0792	0.00130
6	0.3076	0.00077	0.0791	0.00134
7	0.3080	0.00081	0.0791	0.00129
8	0.3075	0.00094	0.0790	0.00130
9	0.3078	0.00092	0.0793	0.00120
10	0.3078	0.00098	0.0791	0.00125
Ortalama	0.3079		0.0792	



Şekil 6.3 Wolf 1 makinesi için ortalama kuyrukta bekleme süresi

Şekil 6.3'den de kolaylıkla görüldüğü gibi sistem yaklaşık olarak 3500 saniye sonra kararlı duruma geçmektedir. Atölye tipi üretim yapılan sistemde başlangıç koşulları da modele dahil edildiğinden sonlandırılan simülasyon tekniğine uygun olarak çıktı analizi yapılmıştır ve budama noktası modele dahil edilmemiştir.

6.2 Melez Sistem Uygulaması

Bünyesinde hem kesikli hem de sürekli değişim gösteren faaliyet ya da bileşenler barındıran sistemler, melez sistemler olarak tanımlanmaktadır. Melez sistem uygulaması bölümünde haddeleme yolu ile sac levha üretimi yapılan bir üretim prosesi modelleneyecektir. Bu bölümdeki melez simülasyon modeli "A Continuous Cold Rolling Simulation System" adlı makaledeki modelin geliştirilmiş bir halidir. Makaledeki model sadece soğuk haddeleme ile levha kalınlığının inceltilmesi prosesini içerirken, uygulama kapsamında geliştirilen model ile sıvı metalin eriyik halde potaya dökülmesi, cüruf ve kalıntıların ayrıştırılması, levhaların haddelenmesi, levhaların rulolara sarılması ve ısıl gerilmelerin giderilmesi için ruloların tavlama sıcaklığına kadar endüstriyel fırında bekletilmesi gibi prosesler de sürece dahil edilmiştir (Moreno vd., 2001; Zhou vd., 2002).

6.2.1 Sıcak Haddeleme ve Endüstriyel Fırın Prosesi

Sıcak metal levha haddeleme prosesini beslemekte kullanılan döküm potası 3000 litre ergiyik metal taşıma kapasitesine sahiptir. Sıvı metal eksponansiyel dağılıma uygun olarak 600 saniye ortalama ile hazır hale getirilmektedir. Başlangıç durumunda sistemdeki döküm potası dolu haldedir. Döküm potasıyla getirilen ergiyik metal, haddeleme prosesini besleyecek olan metal havuzuna aktarılır. Aktarım debisi, saniyede 1 litredir. Metal havuzunun kapasitesi 1900 litredir. Başlangıç durumunda metal havuzu boş durumdadır. Metal havuzu tamamen dolmadan haddeleme prosesini besleyecek olan musluk açılmamaktadır.

Metal havuzundan boşaltım debisi saniyede 1 litredir ve rulolar arasında hareket eden metalin akış hızı saniyede 0,01 metredir. Metal havuzunu besleyen döküm potası zamanında tedarik edilemediği durumda stoksuzluk yaşanmaktadır. Metal havuzu boşaldığında yeniden doldurularak üretime geçilmeden önce haddeleme prosesinde üretimi tamamlanamayan metal levhaların sistemden çıkartılması gerekmektedir ve bu işlem ortalaması 450 saniye olan eksponansiyel dağılıma uygun olarak gerçekleşmektedir. Metal havuzundaki refrakter malzemeler ve istenmeyen pislikler havuz boşaldığında veya yeniden doldurulduğunda üretim prosesine karışabilmektedir. Üretim prosesinde havuz çıkışında yer alan çapak temizleme prosesinin görevi kaba kalıntı ve pisliklerin temizlenmesidir. Havuzdaki metal tamamen

boşaldıktan sonra yeniden dolum yapıldığında meydana gelen istenmeyen maddeler ürün kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden istenilen kalite düzeyi elde edilene kadar olan kısmın hurdaya ayrılması gerekir. Hurdaya ayrılma işlemi hurda kesme makinesi tarafından yerine getirilir. Burada 20 metrelik ilk bölüm diğer haddeleme proseslerine geçmeden önce sistemden ayrılır. Hurda kesme makinesi 30 saniyelik bir işlem süresine sahiptir. Hurdaya ayrılan metaller daha sonra yeniden eritilerek üretim prosesine dahil edilirler.

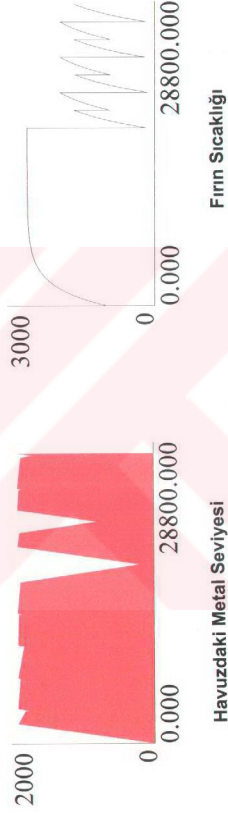
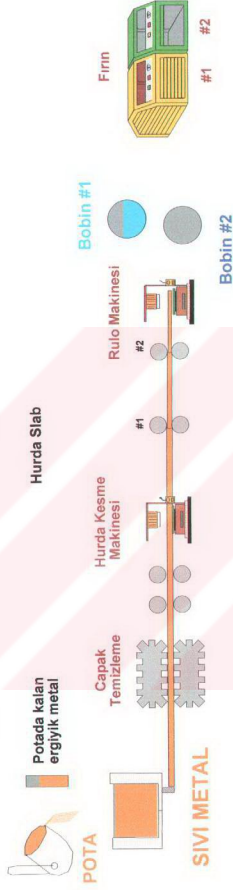
Metal havuzundan 15 mm kalınlık ile çıkış yapan levhalar ilk haddeleme prosesinde 6 mm kalınlığa düşürülürler. Bu kalınlıktaki malzemenin 20 metrelik ilk haddeleme uzunluğu boyunca akış hızı saniyede 0,05 metredir. İkinci haddeleme prosesinde metal levha kalınlığı son değeri olan 3 mm kalınlığa düşürülür. İkinci haddeleme prosesinin de uzunluğu 20 metredir ve metal levhanın bu esnadaki akış hızı saniyede 0,1 metredir. Haddeleme sürecinde istenilen kalınlığa düşürülen levha daha sonra dönüşümlü olarak faaliyet gösteren 2 adet ruloya saniyede 0,3 metre akış hızı ile sarılırlar. Herhangi bir ruloda levha uzunluğu 500 metreyi bulduğunda sarım işlemi otomatik olarak diğer ruloya aktarılır. Sarım işlemi tamamlanan levha ruloları 1000 saniyelik bir süre içerisinde bobinlerden sökülerek ısı gerilmelerin giderilmesi için tavlanaacakları endüstriyel fırın prosesinin kuyruğuna yerleştirilirler. Başlangıç durumunda fırın sıcaklığı 1000 santigrat derecedir. Sıcak haddeleme prosesi ile üretilen ruloların çıkış sıcaklığı ise minimumu 120, ortalaması 180 ve maksimumu da 210 santigrat derece olan üçgen dağılıma uygun olmaktadır. Fırın 2 adet tavlama potasına sahiptir.

Haddeleme prosesi tamamlanarak bobinlere sarılan sac levhalar tavlama potalarında 830 santigrat dereceye ulaşılan kadar bekletilirler daha sonra fırın dışına alınarak oda sıcaklığına kadar soğumaları beklenir. Bu simülasyon modeli ile belirlenmek istenen sistemdeki ortalama kuyruk uzunlukları ve kuyruқта bekleme süreleri, stoksuz kalma sayısı, metal tankındaki sıvı metal miktarının ortalama, minimum ve maksimum değerleri, fırın tavlama potalarının kapasite kullanım oranları, kullanılan pota sayısı, fırın sıcaklığının simülasyon koşumu süresince gösterdiği değişim, fırın için ortalama, minimum ve maksimum sıcaklık değerleridir.

6.2.3 Melez Sistem İçin Fiziksel Model Yapısı



Pota Sayısı **8** Stoksuz Kalma Sayısı **0** Bobin Sayısı **8**



6.2.4 Melez Model Diferansiyel Denklem Çözümü İçin Komut Satırı

Sürekli sistem simülasyonu modellerinin en önemli çalışma mekanizmaları diferansiyel denklemlerdir. Zaman içerisinde değişimin kendisini temsil eden değer kesikli olarak değişim gösteriyorsa bu durumun modellenmesi için arena programı içerisindeki rate ve level modelleri kullanılarak gerekli atamalarla simülasyon modeli çalıştırılabilir. Fakat, pek çok üretim ve servis sistemindeki durum değişkenleri zaman içerisinde bir fonksiyona bağlı olarak sürekli olarak değişim gösterirler. Böyle durumlarda simülasyon modelinin işletilebilmesi için diferansiyel denklemin çalışılan simülasyon programına dahil edilmesi gerekir. Günümüzde gelişen görsel simülasyon teknolojisi ile artık pek çok simülasyon paketi visual basic veya delphi gibi yeni nesil programlama dilleri ile entegre bir şekilde çalışabilmektedir. Melez model uygulamasında 10 adet diferansiyel denklem kullanılmıştır. Sürekli değişkenlerin zaman içerisindeki değişimlerinin hesaplanmasında kullanılacak olan diferansiyel denklemler visual basic programlama dili kullanılarak aşağıdaki şekilde programlanmıştır. Melez model uygulamasında Runge-Kutta-Fehlberg (RKF) diferansiyel denklem çözüm metodolojisi kullanılmıştır. Rulo 1, Rulo 2 ve Fırın sıcaklıklarını kontrol edilmesinde kullanılan diferansiyel denklemler aşağıdaki gibidir

$$d/dt (\text{Rulo 1 Sıcaklığı}) = 0,0004166 * (\text{Fırın Sıcaklığı} - \text{Rulo 1 Sıcaklığı}) \quad (6.1)$$

$$d/dt (\text{Rulo 2 Sıcaklığı}) = 0,0004166 * (\text{Fırın sıcaklığı} - \text{Rulo 2 Sıcaklığı}) \quad (6.2)$$

$$d/dt (\text{Fırın Sıcaklığı}) = 0,00055555 * (2600 - \text{Fırın Sıcaklığı}) \quad (6.3)$$

Option Explicit

Private Sub ModelLogic_UserContinuousEquations()

Dim dFirinSicakligi As Double

Dim nRuloNumarasi As Long

Dim oSIMAN As Arena.SIMAN

Set oSIMAN = ThisDocument.Model.SIMAN

' Her bir rulo için isinma

dFirinSicakligi = oSIMAN.LevelValue(10)

For nRuloNumarasi = 8 To 9

oSIMAN.RateValue(nRuloNumarasi) = 0.0004166 * (dFirinSicakligi -
oSIMAN.LevelValue(nRuloNumarasi))

Next nRuloNumarasi

' Fırın için isinma

oSIMAN.RateValue(10) = 0.00055555 * (2600 - dFirinSicakligi)

End Sub

6.2.5 Melez Model İçin Çıktı Analizi

Melez sistem modeli kapsamında incelenen sıcak haddeleme ile sac levha üretimi prosesinin 24 saat kesintisiz üretim yapılan bir işletmede gerçekleştiği kabul edilmiştir. Üretim sabah 08:00'da başlamakta ve ertesi günün aynı saatine kadar kesintisiz olarak devam etmektedir. 1 günlük çalışma sonunda simülasyon modeline ait istatistiksel sayaçlar sıfırlanmakta ve sistem yeniden başlangıç durumuna dönmektedir. Sonlandırılan çıktı analizi tekniği kullanılarak model 10 adet simülasyon koşumu süresince işletilmiştir.

Yarı mamul olarak değerlendirilen fırınlanmamış rulodan günlük ortalama 33,6 adet üretilmektedir. Bir gün sonunda fırınlanmak üzere sistem içerisinde kalan rulolar ortalama 1,1 adet olmaktadır. Her biri 500 metre uzunluğunda olan fırınlanmış rulo levhalardan ortalama günlük üretim adedi 32,6'dır. Bir üretim günü içerisinde ortalama olarak 23,4 adet potaya ihtiyaç duyulmaktadır. Her bir potanın 3000 litrelik ergimiş metal taşıma kapasitesine sahip olduğu düşünüldüğünde günlük üretim adedini sağlamak için gerekli olacak ergimiş metal ihtiyacı 70200 litre olarak hesaplanır.

Sistemden çıkan ardışık fırınlanmış rulo levhalar arası süre ortalama olarak 2125,921 saniyedir. Ortalama levhalar arası süresinin en düşük ortalama değeri 1665,08 saniye ile dokuzuncu simülasyon koşulunda gerçekleşmiştir. Ardışık döküm potaları arasındaki ortalama süre ise 622,85 saniyedir. 10 adet simülasyon koşumu boyunca ortalama stoksuz kalma sayısı 1 olarak gerçekleşmiştir. Maksimum stoksuz kalma sayısı 2'dir ve bu 4 ve 8 numaralı simülasyon koşumları esnasında gerçekleşmiştir.

Çizelge 6.36 Melez model çıktı oranları

Simülasyon Koşumu	Fırınlanmamış Rulo	Fırınlanmakta Olan Rulo	Fırınlanmış Rulo Levha	Kullanılan Pota Sayısı
1	33	1	33	23
2	42	1	41	24
3	33	1	32	24
4	30	1	29	22
5	33	1	32	24
6	33	2	31	24
7	33	1	32	23
8	24	1	23	22
9	42	1	41	25
10	33	1	32	23
Ortalama	33,6	1,1	32,6	23,4

Simülasyon çalışması ile belirlenmek istenen fırın sıcaklığı 10 adet simülasyon koşumu süresince ortalama 1678,93 santigrat derece olarak gerçekleşmiştir. Fırın sıcaklık ortalamasının en düşük değeri 136,05 en yüksek değeri de 2599,88 olarak gerçekleşmiştir. Sıcak haddeleme prosesini besleme görevini sağlayan metal havuzundaki ergimiş hammadde miktarının 1 günlük simülasyon koşumu sırasındaki değişimi incelendiğinde, metal havuzunun doluluk oranının %95 güven aralığı ölçüsünde 1700,36 litre ortalama ve 113,21 litre standart sapma gösterdiği tespit edilmiştir.

Çizelge 6.37 Ürünler arası süre (saniye)

Simülasyon Koşumu	Ortalama	Minimum	Maksimum
1	2081,03	660	16340
2	1665,83	637	2701
3	2125,13	649	17670
4	2163,61	611	16937
5	2154,68	639	17274
6	2148,47	649	17427
7	2114,94	671	17532
8	3008,45	680	18689
9	1665,08	639	2717
10	2131,99	638	18124
Ortalama	2125,921	647,3	14541,1

Çizelge 6.38 Pota yenileme süresi (saniye)

Simülasyon Koşumu	Ortalama	Minimum	Maksimum
1	624,47	10,8536	2191,74
2	590,46	19,6008	1852,22
3	506,15	6,1626	2000,19
4	807,63	52,0096	3023,32
5	492,82	59,6489	2225,81
6	557,02	12,4873	2524,84
7	748,25	69,4440	2719,83
8	846,38	16,6674	4386,64
9	342,69	1,8214	865,51
10	712,63	11,9990	3268,84
Ortalama	622,85	26,06946	2505,894

Çizelge 6.39 Stoksuz kalma sayısı

Simülasyon Koşumu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ortalama
Stoksuz Kalma	1	0	1	2	1	1	1	2	0	1	1

Çizelge 6.40 Fırın sıcaklığı (santigrat derece)

Simülasyon Koşumu	Ortalama	Minimum	Maksimum
1	1677,69	146,66	2599,86
2	1479,64	134,87	2599,86
3	1696,87	133,38	2599,86
4	1763,56	121,41	2599,99
5	1688,56	129,09	2599,86
6	1693,25	132,43	2599,86
7	1696,43	145,65	2599,86
8	1912,30	152,32	2599,90
9	1479,32	130,98	2599,86
10	1701,68	133,72	2599,87
Ortalama	1678,93	136,051	2599,878

Çizelge 6.41 Havuzdaki metal seviyesi (litre)

Simülasyon Koşumu	Ortalama	Yarı Genişlik (hw)	Minimum	Maksimum
1	1671,74	113,264	0	1901
2	1702,90	105,479	0	1901
3	1745,40	88,564	0	1901
4	1626,76	132,440	0	1901
5	1756,02	113,394	0	1901
6	1737,09	119,612	0	1901
7	1677,02	120,952	0	1901
8	1605,24	167,401	0	1901
9	1827,81	47,202	0	1901
10	1653,64	123,874	0	1901
Ortalama	1700,362	113,2182	0	1901

Çizelge 6.42 Melez model için kapasite kullanım oranları

Simülasyon Koşumu	Hurda Kesme Makinesi	Tavlama Potası 1	Tavlama Potası 2
1	0,00694	0,4967	0,2939
2	0,00347	0,6182	0,3825
3	0,00694	0,4847	0,2967
4	0,00694	0,4530	0,2571
5	0,00694	0,4987	0,2891
6	0,00694	0,4941	0,2874
7	0,00694	0,4847	0,2941
8	0,01042	0,3572	0,2039
9	0,00347	0,6182	0,3840
10	0,00694	0,4823	0,2953
Ortalama	0,006594	0,49878	0,2984

Çizelge 6.43 Isıtma kuyruk istatistikleri (saniye,adet)

Simülasyon Koşumu	Ortalama Bekleme Süresi	Maksimum Bekleme Süresi	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Maksimum Kuyruk Uzunluğu
1	2057,86	2580	0,7906	2
2	2078,22	2607	1,0007	2
3	2073,01	2613	0,7814	2
4	2077,48	2626	0,7101	2
5	2094,32	2616	0,7878	2
6	2069,26	2617	0,7815	2
7	2059,50	2603	0,7787	2
8	2070,91	2584	0,5610	2
9	2081,35	2619	1,0022	2
10	2073,93	2619	0,7776	2
Ortalama	2073,584	2608,4	0,79716	2

Kapasite kullanım oranları incelendiğinde 30 saniyelik proses süresi ile faaliyet gösteren hurda kesme makinesinin bir günlük simülasyon koşumu süresince doluluk oranının %0,659 olduğu görülmüştür. Stoksuz kalma sayısının maksimum olduğu 8 numaralı koşulda kapasite kullanım oranı %1,042 olarak gerçekleşmiştir. Sistemde faaliyet gösteren endüstriyel fırın 2 adet tavlama potasına sahiptir. 1 numaralı tavlama potasının 10 adet simülasyon koşumu süresince ortalama kapasite kullanım oranı %49,88 , 2 numaralı tavlama potasının 10 adet simülasyon koşumu süresince ortalama kapasite kullanım oranı ise %29,84 olarak gerçekleşmiştir. Tavlama potalarına rulo levhalar tercihli sıra ile yerleştirilmektedir. Eğer her iki pota da boş ise rulo ilk olarak 1 numaralı tavlama potasına yerleştirilir. Kapasite kullanım oranlarından yola çıkarak 2 numaralı tavlama potasının devre dışı bırakılması düşünülebilir. Sistem sadece tek pota ile çalıştırıldığında 1 numaralı tavlama potasının ortalama kapasite

kullanım oranında bir artışın gerçekleşmesi muhtemeldir. Fırını tek bir pota ile çalıştırmanın işletmeye sağlayacağı maliyet avantajlarının yanında, beraberinde doğuracağı yeni etkilerinde dikkatli bir şekilde incelenmesi gerekir.

Sistem tek pota ile çalıştırıldığında 10 simülasyon koşumu süresince günlük ortalama çıktı adedi 28.5 olarak gerçekleşmektedir ki bu değer ilk duruma göre %12,6 oranında daha düşük bir performans göstergesidir. Diğer taraftan tek pota ile yapılan üretimin simülasyon koşumu boyunca ortalama fırın sıcaklığını %8,7 oranında düşürerek 1532,391 santigrat dereceye indirdiği gözlenmiştir. Uygulanması düşünülen politikanın ürünler arası süreyi de %16,2 oranında arttırarak ortalama 2470,398 saniyeye ulaştırdığı tespit edilmiştir. 1 numaralı tavlama potasının kapasite kullanım oranında ilk duruma göre %43,5 oranında bir iyileştirme sağlayarak %71,68 düzeyine taşımının beraberinde getirdiği maliyetler yukarıda belirtilmiştir. Tüm bunların yanında, ilk durumda haddedeleden çıkan her rulo fırında yer bulabilirken uygulanması düşünülen politika tercih edildiğinde fırın öncesi bekleme kuyruğunun oluştuğu gözlenmektedir. Sistem tek pota ile çalıştırıldığında ortalama fırın kuyruğu uzunluğu 2,45 rulo ve ortalama kuyrukta bekleme süresi de 5521,907 saniye olmaktadır.

Mevcut durum ve önerilen durum ayrıntıları ile analiz edildiğinde, endüstriyel fırının 2 adet tavlama potası ile faaliyet göstermesinin işletme için daha verimli ve ekonomik sonuçlar üreteceği görülmüştür.

6.3 Sürekli Sistem Uygulaması

Günümüzde gerek kesikli gerekse sürekli değişim gösteren pek çok sistemin analizinde simülasyon tekniğinden faydalanılmaktadır. Simülasyon tekniği bir problem çözme ya da sistem geliştirme aracı olarak hem üretim hem de servis sektöründe çok farklı alanlarda kullanım olanağı taşımaktadır. Günlük hayatta karşılaştığımız üretim ve servis sistemlerinin büyük bir çoğunluğu hem kesikli hem de sürekli değişim gösteren öğeleri bünyesinde barındırmaktadır. Simülasyonun yaygın kullanım sahalarından biri olan ekonometrik modeller gerçek sürekli sistemlere örnek olarak gösterilebilir. Sürekli sistem uygulaması bölümünde hastalıklı bir genin popülasyon dinamiği üzerindeki etkisinin inceleneceği bir biyogenetik simülasyon modeli geliştirilecektir (Kelton vd., 2002).

Model kapsamında hastalıklı genin izole haldeki bir popülasyon üzerindeki etkisi incelenecektir. Popülasyonda başlangıç durumunda 3 tip birey mevcuttur. Bunlar; (1) sağlıklı bireyler, (2) hastalıklı bireyler, (3) hastalığı yenmiş ve bağışıklık kazanmış bireyler. Popülasyon dinamiğindeki değişim kesikli olsa da sistemin sürekli bir yapıda incelenmesi

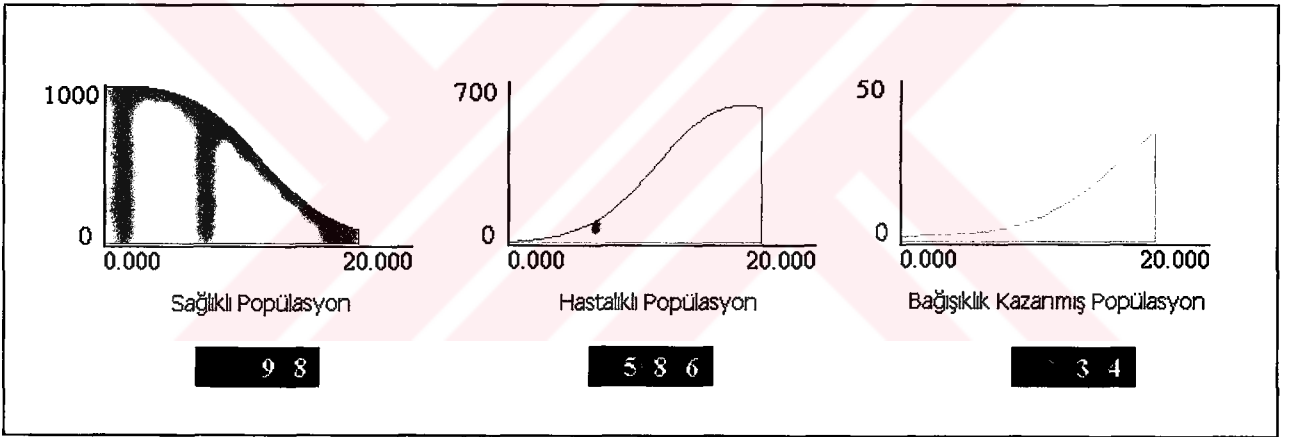
daha sağlıklı olacaktır. Başlangıç durumunda sistemdeki sağlıklı birey sayısı 1000 kişi, hastalıklı birey sayısı 10 kişi ve hastalığa karşı bağışıklık kazanmış birey sayısı da 2 kişidir. Sağlıklı, hastalıklı ve bağışık genlerin zaman içerisindeki değişimi aşağıdaki diferansiyel denklemler kullanılarak modellenmiştir.

$$d/dt (\text{Sağlıklı}) = - 0,0005 * \text{Sağlıklı} * \text{Hastalıklı} \quad (6.4)$$

$$d/dt (\text{Hastalıklı}) = 0,0005 * \text{Sağlıklı} * \text{Hastalıklı} - 0.07 * \text{Hastalıklı} \quad (6.5)$$

$$d/dt (\text{Bağışık}) = 0,07 * \text{Hastalıklı} \quad (6.6)$$

6.3.1 Sürekli Simülasyon Modeli



Continuous

3

CStats

Sağlıklı Popülasyon
Hastalıklı Popülasyon
İyileşmiş Popülasyon

Levels

Sağlıklı Popülasyon
Hastalıklı Popülasyon
İyileşmiş Popülasyon

Rates

Sağlıklı Rate
Hastalıklı Rate
İyileşmiş Rate

6.3.2 Sürekli Model Diferansiyel Denklem Çözümü İçin Komut Satırı

Hastalıklı genin popülasyon dinamiği üzerindeki etkisinin tanımlanmasında kullanılan diferansiyel denklemler visual basic dili ile aşağıdaki gibi programlanarak simülasyon modeline dahil edilirler. Sürekli simülasyon modeli uygulamasında da Runge-Kutta-Fehlberg (RKF) diferansiyel denklem çözüm metodolojisi kullanılmıştır.

Option Explicit

Private Sub ModelLogic_UserContinuousEquations()

Dim oSIMAN As Arena.SIMAN

Set oSIMAN = ThisDocument.Model.SIMAN

oSIMAN.RateValue(1) = -0.0005 * oSIMAN.LevelValue(1) * oSIMAN.LevelValue(2)

oSIMAN.RateValue(2) = 0.0005 * oSIMAN.LevelValue(1) * oSIMAN.LevelValue(2) -
0.07 * oSIMAN.LevelValue(2)

oSIMAN.RateValue(3) = 0.007 * oSIMAN.LevelValue(2)

End Sub

6.3.3 Sürekli Model Çıktı Analizi

Sürekli sistem simülasyonu uygulamasında ele alınan biyogenetik simülasyon modelinde hastalıklı bir genin popülasyon dinamiği üzerindeki etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Simülasyon modeli sağlıklı birey sayısı başlangıç durumundaki sayının %10'una düşene kadar çalıştırılmıştır ve bu esnada popülasyon içerisindeki sağlıklı, hastalıklı ve bağışıklık kazanmış bireylerin değişimi incelenmiştir. Hastalıklı gen 16,4 saat sonunda sağlıklı birey sayısının başlangıçtaki değerinin %10'una düşmesine neden olmaktadır. Simülasyon sonunda hastalıklı birey sayısı 586, hastalığa karşı bağışıklık kazanmış birey sayısı 34 ve sağlıklı durumda olan birey sayısı da 98 olarak gerçekleşmiştir. Başlangıç durumunda popülasyonda 1012 kişinin yaşamını sürdürdüğü düşünüldüğünde, simülasyon sonucunda hastalıklı genin etkisiyle 294 kişi hayatını kaybettiği görülmektedir.

Çizelge 6.44 Popülasyon istatistiği

Birey Tipi	Ortalama	Minimum	Maksimum	Son Durum
Hastalıklı Birey Sayısı	283,16	10	594,74	586
İyileşmiş Birey Sayısı	11,02	2	34,51	34
Sağlıklı Birey Sayısı	636,61	98,08	1000	98

7. SONUÇLAR

Günümüzde, artan müşteri talepleri, sık değişen teknoloji ve gittikçe sertleşen global rekabet, firmaları ürettikleri ürünü veya verdikleri hizmeti, daha hızlı, daha etkili, daha kaliteli ve daha az maliyette nasıl üretebileceklerini bulmaya zorlamaktadır. İşletme kaynaklarını en iyi şekilde yöneten ve değişen çevresel koşullar karşısında en etkili stratejileri geliştiren şirketler rekabet avantajlarını ve varlıklarını sürdürebilmektedir.

Bugün olduğu gibi gelecekte de, üretim ve servis sistemlerinin, tüketici açısından katma değer taşıyan mal ve hizmetlerin istenilen zamanda, istenilen kalite standardında ve ekonomik bir fiyatta üretilmesi hedefi değişmeyecektir.

Bu temel hedefin yakalanmasında endüstri yöneticilerine düşen görev mevcut kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktır. İşletmelerin boyutları ve faaliyet gösterdikleri sektörler ne olursa olsun karşılaşılan sorunlar temelde aynıdır. Bu sorunların giderilmesinde atılması gereken ilk adım, mevcut sistem durumunun belirlenmesi ve analiz edilmesidir. Sistemdeki sorunların sebeplerini bulmak ve bunları ortadan kaldırabilmek için, sistem içinde birbirinden bağımsız gibi görünen fakat aslında bir bütün olarak çalışan tüm elemanların arasında nasıl bir ilişki olduğunu, sistemin hangi parametrelere duyarlı olduğunu, belirli değişikliklere nasıl bir tepki verdiğini incelemek ve anlamak gerekir.

İncelenecek olan sistemi oluşturan öğelerin sayısı ve bu öğeler arası etkileşimin yoğunluğu arttıkça geleneksel sistem analizi teknikleri kullanarak mevcut probleme çözümler üretmek zorlaşmaktadır. Sistem içerisindeki değişkenlerin sayısı arttıkça sistem davranışının matematiksel modeller kullanılarak ifade edilmesi neredeyse imkansız hale gelmektedir. Bu noktada simülasyon tekniği kullanılarak yapılan modelleme ile gerçek sistem davranışları daha doğru bir şekilde ifade edilebilmektedir. Simülasyon tekniği matematiksel modellere kıyasla daha az kabul ve varsayımlara dayandığından sistem davranışını daha gerçekçi bir şekilde temsil edebilmektedir. Matematiksel modeller deterministik kabul ve verilere dayandığından gerçek sistem dinamiğindeki rassallığı temsil etmede yetersiz kalmaktadır. Simülasyon tekniğinin bir diğer avantajı da eğer-ise analizlerinin yapılabilmesine olanak sağlamasıdır. Model kurulduktan ve geçerliliği kanıtlandıktan sonra değişkenlerden birinde yapılacak değişimin sistem performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi sistemi meydana getiren elemanlar arasındaki etkileşim biçiminin anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır.

Sistem tanımlanarak analiz edildikten sonra yöneticilere düşen görev sistem performansını iyileştirmek üzere çözümler üretmektir. Simülasyon yöneticiler için geleceğe açılan bir penceredir çünkü uygulanması düşünülen bir strateji karşısında mevcut sistemin göstereceği

reaksiyonun önceden görülmesine olanak sağlar. Geliştirilen strateji ve politikaların gerçek sistem üzerinde uygulanması çoğu zaman mümkün değildir ya da yüksek maliyetler doğurmaktadır. Görsel simülasyon tekniği kullanılarak gerçek sistem üzerinde yapılan denemeler gibi herhangi bir maliyet oluşturmada, öne sürülen politikaların uygulanabilirliğini test etmek mümkündür.

En etkili yönetim araçlarından birisi olan görsel simülasyon tekniği yöneticilerin hatalı kararlar vermelerinden doğacak maliyetlerin minimize edilmesinde önemli bir fonksiyona sahiptir. Görsel simülasyon tekniğinin sağladığı en önemli avantajlardan birisi de simülasyon konusunda teknik bilgi gerektirmeksizin her kademeden yöneticinin karar verme süreçlerine aktif katılmalarının sağlanmasıdır. Görsel bir teknik olduğu için problemin doğru bir şekilde anlaşılması ve ifade edilmesi kolaylaşmaktadır.

Pek çok orta kademe yönetici sistem üzerindeki performans geliştirici önerilerini destekleyen teknik bilgileri üst kademe yöneticilere anlatmakta problemlerle karşılaşmaktadır. Çünkü, kullanılan matematiksel algoritmalar yüksek analitik düşünme yeteneği ve uzmanlık gerektirmektedir. Oysa ki animasyon öğeleri kullanılarak görselliği artırılan simülasyon modelleri ile tarafların birbirini yanlış anlaması gibi bir sorun ortadan kalkmaktadır.

Günümüzde endüstri mühendislerinin sıklıkla ifade ettikleri şikayetlerden birisi de mesleki eğitimleri süresince öğrenilen matematiksel model ve algoritmaların günlük iş hayatında karşılaşılan problemlere uygulanmasında yaşanan zorluklardır. Farklı uygulama alanları için farklı analitik yöntem ve algoritmalar geliştirilmiştir. Bu farklı algoritmaların çoğu zaman akılda tutulması kolay olmamaktadır. Görsel simülasyon tekniğinin endüstri mühendislerine sağladığı en önemli avantajlar kullanım kolaylığı ve esnekliktir. Simülasyon tekniği her tür hizmet ve üretim sisteminde karşılaşılabilecek üretim planlama, kapasite planlama, parça ailelerinin belirlenmesi, yerleşim planlaması, üretim çizelgeleme, montaj hattı dengeleme, iş rotalarının belirlenmesi, stok yönetimi, talep tahmini gibi pek çok problemin çözümünde uygulama imkanı sağlamaktadır.

Ayrıca yoğun diferansiyel denklem hesaplamaları gerektiren sürekli sistem dinamiğinin incelenmesinde matematiksel modeller çok yetersiz kalmaktadır. Sürekli ve melez sistemlerin modellenmesi ve analiz edilmesinde bilgisayar destekli simülasyon tekniğinin kullanılması günümüzde kaçınılmaz bir hal almıştır.

Bu tez kapsamında kesikli, sürekli ve melez sistemlerin modellenmesi ve analizi konusunda görsel simülasyon tekniğinin kullanılması incelenmiştir. Kapsamlı teorik bilgi altıncı bölümdeki stokastik kesikli sistem, melez sistem ve sürekli sistem uygulamaları ile

desteklenmiştir. Uygulama bölümünde mevcut sistemler tanımlanmış, modellenmiş ve çıktıları analiz edilerek ilgili sistem performansları için iyileştirici öneriler sunulmuştur.

Tez içerisindeki örneklerden ve uygulamalardan da görüldüğü gibi matematiksel olarak modellenmesi son derece güç olan ayrıntılı sistemler simülasyon ile mümkün oldukça az bileşen ihmal edilerek, gerçeklere sadık kalınarak, nispeten kolay bir şekilde modellenilebilmekte, elde edilen ayrıntılı istatistiksel veriler ve grafikler ile hassas analizlere tabii tutulabilmektedir.

Son derece farklı alternatif senaryolar mevcut olan veya tasarım halindeki sistemlere uygulanabilmekte ve sistemin bu değişikliklere karşı davranışları yakından takip edilebilmektedir. Bu süreç içerisinde simülasyonun görsel bir hale getirilmesi de gerek sistemin analiz edilip uygunluğunun kontrolü açısından gerekse de ilgili kişi ve yöneticilerin modelin geçerliliği konusunda ikna edilebilmesi açısından büyük avantaj sağlamakta ve tüm özellikler de görsel simülasyonu sistem modelleme ve analizinde vazgeçilmez bir araç haline getirmektedir.



KAYNAKLAR

Akdeniz, F., (1998), Olasılık ve İstatistik, Baki Yayınevi, Adana.

Aström, K.J., Elmqvist, H. ve Mattsson, S.E., (1998), "Evolution of Continuous Time Modeling and Simulation", The 12th European Simulation Multiconference, 16-19 June 1998, Manchester.

Barkana, A. ve Akgün, Ö.R., (1983), Basic Programlama ve Numerik Hesap, Bilim Teknik Yayınevi, Ankara.

Blanchard, B.S., (1991), System Engineering Management, John Wiley & Sons, New York.

Browne, J., (1984), "The Design and Validation of a Digital Simulation Model for Job Shop Control Decision Making", International Journal of Production Research, 22(22):335-337.

Erkut, H., (1992), Yönetimde Simülasyon Yaklaşımı, İrfan Yayınevi, İstanbul.

Erkut, H., (2000), Analiz Tasarım ve Uygulamalı Sistem Yönetimi, İrfan Yayıncılık, İstanbul.

Grabau, M.R. ve Sadowski D.A., (2000), "Tips for Successful Practice of Simulation", Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference.

Halaç, O., (1998), İşletmelerde Simülasyon Teknikleri, Alfa Basım Yayın Dağıtım, İstanbul.

Harrel, C., Ghosh, B. ve Bowden, R., (2000), Simulation Using Promodel, McGraw-Hill, New York.

Kelton, W.D., Sadowski, R.P. ve Sadowski, D.A., (2002), Simulation With Arena, McGraw-Hill, New York.

Kljajic, M., Bernik, I. ve Skraba, A., (2000), "Simulation Approach to Decision Assessment in Enterprises", Simulation, 75(4):199-210.

Law, A.M. ve Kelton, W.D., (2000), Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill, Singapore.

Moreno, M.J., Wysk, R.A., Hong, J. ve Prabhu V.V., (2001), "A Hybrid Shop Floor Control System For Food Manufacturing", AIIE Transactions, 33:193-202.

Pegden, C.D., Shannon R.E. ve Sadowski, R.P., (1990), Introduction to Simulation Using SIMAN, McGraw-Hill, New York.

Petropoulakis, L. ve Giacomini, L., (1997), "A Hybrid Simulation Sytem For Manufacturing Processes", Journal of Integrated Manufacturing Systems, 8(4):189-194.

Pooch, U.W. ve Wall, J., (1993), Discrete Event Simulation A Practical Approach, CRC Press LCC, Florida.

Shannon, R.E. ve Robert, E., (1975), "Simulation: A Survey with Research Suggestions", *AIIE Transactions*, 7(3).

Taha, H.A., (1997), *Operations Research An Introduction*, Prentice-Hall, New Jersey.

Zhou, J., Xu, Z. ve Zhu, Q., (2002), "A Continuous Cold Rolling Simulation System", *Summer Computer Simulatinon Conference*, 14-18 July 2002, California.

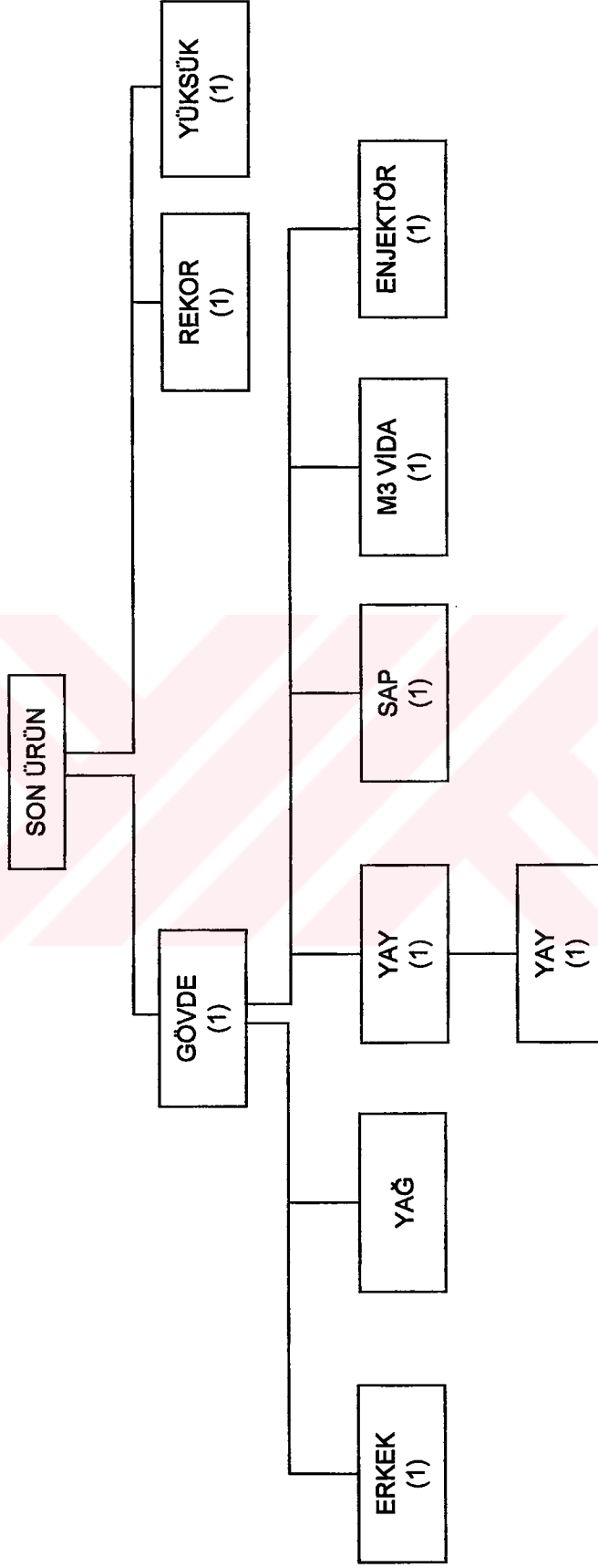


EKLER

Ek 1 Ocak musluğu ürün ağacı



Ek 1 Ocak musluğu ürün ağacı



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 03.01.1979

Doğum yeri Ordu

Lise 1990-1996 Kırklareli Anadolu Lisesi

Lisans 1997-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,
Endüstri Mühendisliği Programı

