

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
EKONOMETRİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BENZETİM MODELLEMESİ İLE ÜRETİM
SİSTEMLERİNDE SÜREÇ OPTİMİZASYONU
VE BİR UYGULAMA ÇALIŞMASI**

Akbel YILDIZ

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKSARAYLI

2010

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Benzetim Modellemesi ile Üretim Sistemlerinde Süreç Optimizasyonu ve Bir Uygulama Çalışması”** adlı çalışmanın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

.. / .. / 2010

Akbel YILDIZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**Benzetim Modellemesi ile Üretim Sistemlerinde
Süreç Optimizasyonu ve Bir Uygulama Çalışması**

Akbel YILDIZ

**Dokuz Eylül Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Ekonometri Anabilim Dalı
Ekonometri Programı**

Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeye paralel olarak özellikle son on yılda sistem modellemede bilgisayarlı benzetim önemli bir araç haline gelmiştir. Firmalar neredeyse aynı işgücü, kaynak ve teknolojiyi kullanırken rekabet içinde bulunabilmek ve doğru yatırımlar yapabilmek için benzetime ve sistem modellemesine eğilmektedirler. Yapılan çalışmada, yedek parça imalatı gerçekleştiren İzmir’de kurulu bir Makine Sanayi firmasında fabrika imalat hattının benzetim modellenmesi ProModel yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Üretim sisteminde ondokuz iş istasyonu ve tezgâh bulunmaktadır ve firma tarafından en çok üretilen iki çeşit ürün için modellenmiştir. Fabrikadaki üretim süreci ikişer haftalık parti üretimi şeklinde yapılmaktadır ve bilgisayar tabanlı benzetim modeli on tekrar olarak çalıştırılarak sonuçlar elde edilmiştir. Böylece mevcut imalat hattındaki iş istasyonlarının kapasite kullanımı gibi istatistikler bulunarak kritik iş istasyonları ve makineler tespit edilmektedir. Oluşturulan benzetim modeli yoluyla sistemde bulunan iş istasyonları ve onların çevrim süreleri, üretim parti boyutları ve fabrikadaki mevcut vardiya sistemi ele alınarak oluşturulan değişiklikler gözlenmiş ve benzetim modellemesi ile birlikte sistem parametrelerindeki muhtemel değişikliklere karşın sistem senaryoları geliştirilerek önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: ProModel, Benzetim, Üretim, Modelleme, Simülasyon, Üretim Sistemleri.

ABSTRACT

Master Thesis

Process Optimization with Simulation Modeling in Manufacturing Systems and an Implementation Study

Akbel YILDIZ

**Dokuz Eylül University
Institute of Social Sciences
Department of Econometrics
Econometrics Programme**

Computer simulation has become an important tool in modeling systems in the last 10 years due to parallel improvement in computer technologies. Companies tend to computer based system modeling and simulation not to lose any extra income or time to their competitors but to make future investments while they both have the same labor force, resources and technology. This study is an implementation of a machine spare parts manufacturer factory located in İzmir. ProModel simulation software was used to model the production line of the factory. Production line consists of nineteen work stations and was modeled for the most manufactured two products. The manufacture in the factory is divided into two weeks of batch production time and simulation model was demonstrated and replicated for 10 times to get results. Thus, statistics including existing capacity usages of work stations in the whole production line, were found to identify the bottlenecks of the critical work stations and machines. With the use of the simulation model, creating scenarios while making changes of the system parameters, taking the cycle times of the work stations, total production quantity, batch sizes and the shifts of the factory in hand helped to make suggestions.

Keywords: ProModel, Simulation, Production, Modeling, Manufacture Systems.

İÇİNDEKİLER

Yemin Metni	i
Özet	ii
Abstract	iii
İçindekiler	iv
Tablolar Listesi	viii
Şekiller Listesi.....	ix

BİRİNCİ BÖLÜM ÜRETİM

1.1	Üretim Kavramı	4
1.2	Benzetim Uygulamalarında Üretim Terminolojisi.....	6
1.3	Verimlilik - Etkililik – Etkinlik.....	7
1.4	Üretim Yönetimi	10
1.5	Üretim Sistemi	13
1.5.1	Üretim Yöntemlerine Göre Sınıflandırma	15
1.5.2	Mamul Cinslerine Göre Sınıflandırma.....	16
1.5.3	Üretim Miktarına veya Akışına Göre Sınıflandırma.....	16
1.5.3.1	Siparişe Göre Üretim.....	17
1.5.3.2	Parti Üretimi.....	17
1.5.3.3	Sürekli Üretim.....	18
1.6	Üretim Planlama	18
1.7	Çizelgeleme.....	22

İKİNCİ BÖLÜM

BENZETİM

2.1	Benzetim Kavramı	24
2.2	Geçmişten Günümüze Benzetim.....	25
2.3	Benzetim Yönteminin Kullanıldığı Durumlar.....	27
2.4	Benzetim Türleri	28
2.4.1	Monte Carlo Benzetimi	29
2.4.2	Sürekli Olay Benzetimi	30
2.4.3	Kesikli Olay Benzetimi	31
2.4.4	Karma Benzetim.....	33
2.5	Üretimde Kullanılan Benzetim Programları	34
2.6	Güncel Benzetim Programlarının Karşılaştırılması	34
2.6.1	Arena	34
2.6.2	Flexsim.....	36
2.6.3	ProModel.....	37
2.7	ProModel ile Başarı Hikâyeleri.....	40
2.8	Benzetim Süreci	45
2.8.1	Sorunun Tanımlanması	47
2.8.2	Verilerin Elde Edilmesi.....	48
2.8.3	Benzetim Modelinin Test Edilmesi.....	49
2.8.4	Deneyin Gerçekleştirilmesi ve Çıktıların Alınması	50
2.8.5	Süreç Sonucunun Analizi.....	50
2.9	Benzetim Modellemesinde Kullanılan Uyum İyiği Testleri.....	51
2.9.1	Anderson-Darling Testi.....	51
2.9.2	Kolmogorov-Smirnov Testi	52
2.9.3	Ki-Kare Uygunluk Testi.....	53
2.10	Benzetim Modellemesi Kullanmanın Avantaj ve Dezavantajları.....	55
2.11	Üretim Sistemlerinde Benzetim Ve Uygulamaları	57

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

PROMODEL

3.1	ProModel Programına Genel Bakış	61
3.2	Model Kurma	61
3.2.1	Yapısal Elemanlar	62
3.2.1.1	Varlıklar	62
3.2.1.2	Konumlar	63
3.2.1.3	Kaynaklar	64
3.2.1.4	Rotalar	65
3.2.2	Operasyonel Unsurlar	65
3.2.2.2.	Dolaşım	65
3.2.2.1	Varlık İşlemleri	66
3.2.2.2	Varlık Gelişleri	67
3.2.3	Temel Modelleme Konseptleri	68
3.2.3.1	Değişkenler	68
3.2.3.2	Diziler	69
3.2.3.3	Tablo Fonksiyonları	70
3.2.3.4	Altyordamlar veya Altprogramlar	71
3.2.3.5	Gelişlere Ait Döngüler	73
3.2.3.6	Kullanıcı Dağılımları	75
3.2.4	Mantık Kurucu	76

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1	Uygulamanın Amacı ve Kapsamı	81
4.2	Üretim İşletmesinin Tanıtımı	82
4.3	Mevcut Sistemin Modellenmesi.....	85
4.4	Ürünler ve Rotaları.....	86
4.5	Ürünlerin İşlem Sürelerinin İstatistik Dağılımları	88
4.6	Benzetim Modelinin Çalıştırılması	90
4.7	Modelin Geçerliliği	91
4.8	Mevcut Sistemin Maliyet Hesabı	92
4.9	Maliyet ve Üretim Miktarı	93
4.10	Darboğazların ve İyileştirme Senaryolarının Tespiti	94
4.10.1	Senaryo 1: Meşguliyet oranlarının düşük olduğu tezgâhların modelden çıkarılması	94
4.10.2	Senaryo 2: CNC makinelerine giren parçaların parti büyüklüğünün optimize edilmesi	95
4.10.3	Senaryo 3: Vardiya sisteminin eklenmesi	97
4.11	Sonuç ve Öneriler.....	99

BEŞİNCİ BÖLÜM

KAYNAKLAR

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: Müşterilerin yemek süreleri	75
Tablo 2: Sipariş verme süreleri	75
Tablo 3: YB_001 kodlu ürünün çevrim sürelerinin istatistiksel dağılımı.....	89
Tablo 4: YB_002 kodlu ürünün çevrim sürelerinin istatistiksel dağılımı.....	89
Tablo 5: Modele ait sistem sonuçları	91

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Üretim Sistemi.....	14
Şekil 2: Sürekli Dağılım Grafiği.....	30
Şekil 3: Kesikli Dağılım Grafiği.....	32
Şekil 4: Karma Dağılım Grafiği	33
Şekil 5: Benzetim Sürecindeki Aşamalara Ait Akış Diyagramı.....	46
Şekil 6: Benzetim Çalışmasının Aşamaları	47
Şekil 7: Ki-Kare Uygunluk Testi Ret Bölgesi	54
Şekil 8: Seri biçimde kurulu 3 iş istasyonunu bir tane gibi birleştirme.....	63
Şekil 9: ProModel’da Değişkenlere ait bir görünüm.....	68
Şekil 10: Oda Sıcaklıkları.....	69
Şekil 11: Diziler Menüsü	70
Şekil 12: Tablo Fonksiyonu.....	71
Şekil 13: Örneğe ait kodlama görünümü	72
Şekil 14: Örneğe ait işleme menüsü görünümü.....	73
Şekil 15: Arrival Cycles modülü görünümü.....	73
Şekil 16: Gelişlere ait tablo tanımlama.....	74
Şekil 17: Gelişler Görünümü	74
Şekil 18: Kullanıcı Dağılımları.....	76
Şekil 19: Mantık Kurucu	77
Şekil 21: Üretim İşletmesinden bir görünüm.....	83
Şekil 22: Üretim İşletmesinden bir görünüm.....	84
Şekil 23: Üretim İşletmesinden bir görünüm.....	84
Şekil 24: Fabrikanın MS Visio’daki çizimi	85
Şekil 25: Fabrika Yerleşim Planının PROMODEL Görünümü	86
Şekil 26: YB_001 Ürününün gördüğü işlem sıralarının gösterimi.....	87
Şekil 27: YB_002 Ürününün gördüğü işlem sıralarının gösterimi.....	88
Şekil 28: Mevcut sistemin benzetimi sonucunda makinelerin kullanım oranları.....	90
Şekil 29: Faktörlerin saat başına maliyetleri	92
Şekil 30: Üretim için 1 partilik maliyet hesap tablosu	93
Şekil 31: Senaryo 1 sonucunda makinelerin kullanım oranları.....	95

Şekil 32: YB_001 için parti büyüklüğü değişimi	96
Şekil 33: YB_002 için parti büyüklüğü değişimi	96
Şekil 34: Vardiya değişikliğinin CNC Kullanım oranlarına etkisi.....	97
Şekil 35: Vardiya değişikliğinin birim maliyete etkisi	98
Şekil 36: Parçalara ait üretim miktarlarındaki değişim	98
Şekil 37: Parçalara ait üretim miktarlarındaki değişim	99

GİRİŞ

Günümüz imalat sektöründe küreselleşme ve üretim faktörlerinin herkes tarafından ulaşılabilirliği sonucunda firmalar arasında rekabet koşulları gittikçe zorlaşmıştır. Bu rekabet ortamında aynı tür işçi, kaynak ve teknolojiyi kullanan firmalar içinde, kalite ve fiyat yönünden avantajlı konumda olan şirketler ayakta kalabilmekte ve varlıklarını sürdürebilmektedir.

Üretim sistemlerinde benzetim ve modelleme; sistem tasarımı, analizi ve mevcut üretim sistemleri sürecinin karmaşık yapısını basitleştirerek, bilgisayar modeli ile sistem iyileştirme çalışmalarını sağlayan önemli bir karar destek aracıdır. Özellikle de, üretim hatlarının kullanım seviyeleri hakkında bilgi vererek, hatlarda verimliliğin artırılması çalışmalarında benzetim tekniğinden yararlanmak, yapılacak yatırımın faydalı olup olmayacağına karar vermek açısından yatırımcıya bir fikir vermektedir. Dolayısıyla firmalar rekabet içinde oldukları rakip firmalardan bir adım önde olabilmek için yapacakları yatırımların kendilerine nasıl döneceğini kestirebilmek için benzetime ihtiyaç duymaktadır. Rekabetin şiddetli olduğu üretim sektöründe zaman yönetimi, üretim sistemlerinde giderek önem kazanmaktadır. Bu nedenle, zaman yönetimi üzerinde birçok çalışma yapılmış ve zamanın iyi değerlendirilmesinin çözüm yolları araştırılmıştır. Bu rekabet ortamında şirketler farklı üretim teknikleri ve yönetim modellerini kendi bünyelerinde uygulayarak rekabet güçlerini artırmayı amaçlamaktadır.

Yapılan çalışmada, İzmir ilinde kurulu yedek parça üretimi yapan bir makine sanayi firmasına ait üretim sisteminde, benzetim metodu yardımıyla kapasite kullanımını artırılarak, üretim parti boyutlarını optimize ederek ve vardiya sisteminde yapılması düşünülen yönetim değişiklikleri ile firmaya ait maliyet minimize edilmeye çalışırken, kar da maksimize edilmeye çalışılmıştır. Çeşitli öneriler ProModel benzetim programı yardımı ile modellenmiş ve sonuçlar ise gerekli istatistikî test ile sınanmıştır. Bu inceleme yapılırken makine ve tezgâhların üretim ve maliyet karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma Üretim ve Üretim Sistemleri,

Planlama, Çizelgeleme, Benzetim Türleri, Benzetim Çeşitleri gibi bilgi altyapısını sağladıktan sonra Uygulama bölümü ile sonlanmıştır.

Bu eserin uygulama bölümü ise işletmenin tanıtılması ile başlamakta, model kurulduktan sonra, bilgisayar tabanlı benzetim dillerinden ProModel yazılımı kullanılarak benzetim tamamlanmaktadır. Yazılım sayesinde fabrikaya ait karmaşık durumdaki üretim süreci modellenerek, bu modelin doğrulanması ve sistemi optimize edebilmek için çeşitli senaryolar yaratma imkânı verdiği için dünya çapında çok sayıda işletme tarafından kullanılan ProModel yazılımı tercih edilmiş ve senaryolar eşliğinde süreç iyileştirme sağlanmaya çalışılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

ÜRETİM

1.1 Üretim Kavramı

Üretim; doğada var olan maddelerin insanların gereksinimlerini karşılayacak ürünler ve hizmetler haline dönüştürülmesi işlemidir. Diğer bir ifadeyle üretim, beşeri ve maddi faktörlerin ürün ve hizmetler haline dönüştürülmesidir.¹

Ekonomistler, üretimi yarar yaratmak şeklinde tanımlamaktadır. Mühendisler ise, bir fiziksel varlık üzerinde, onun değerini arttıracak bir değişiklik yapmayı veya hammadde ve yarı ürünleri kullanılabilir bir ürüne dönüştürmeyi üretim sayarlar. Bahsedilen ikinci tanıma göre, bankacılık, sigortacılık, dağıtım, depolama, gibi hizmet faaliyetlerini üretim saymamak gerekir. İşletmeci açısından birinci tanıma kabullenmek daha doğru görünmektedir zira işletme; kar amacı ile oluşur ve bu amacına her çeşit yarar yaratarak ulaşmaya çalışmaktadır.

Modern üretim çok sayıda elemandan oluşan bir bileşimdir. Ancak, ekonomistlerin bu konuda yaptıkları sıralama basitlik ve kapsam açısından yeterli sayılabilir.² Ekonomistlere göre üretim; toprak (veya hammadde kaynakları), işçilik (veya insan gücü kaynakları) ve sermaye faktörlerinin birleşimidir.

Üretim, belirli girdilerin bir takım belirli işlemlerden geçirilerek bir mal ya da hizmet haline dönüştürülmesidir. Bu durumda üretim işleminin üç önemli unsuru bulunduğunu görürüz. Bunlar; girdi, işlem ve çıktı olarak isimlendirilebilir.

En genel bakış açısı ile üretim “ekonomik değeri olan mal veya hizmetlerin oluşturulmasını sağlayan faaliyetler bütünü” olarak tanımlanabilir. Burada önemli olan üretim sonunda ortaya çıkan mal veya hizmetin ekonomik bir değerinin olması ve/veya bir yarar yaratmasıdır.³

Üretim süreci çok genel bir kavram olmakla birlikte hem mikro hem de makro anlamda tüketici, üretici ve büyük resme bakıldığında ise ülke ekonomisi için

¹İsmet Mucuk, **Modern İşletmecilik**, 3. Baskı, Türkmen Kitapevi, İstanbul, 1987, s. 163.

²Bülent Kobu, **Üretim Yönetimi**, İÜ İşletme Fakültesi Araştırma ve Yardım Vakfı Yayın No: 4, Avcıol basım, 10.baskı, İstanbul, 1998, s. 2.

³Mehmet Tanyaş ve Murat Baskak, **Üretim Planlama ve Kontrol**, İrfan Yayıncılık, İstanbul, 2003. s. 125.

oldukça önemli yer tutabilmektedir.

Üretim, insan ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla mal veya hizmetlerin meydana getirilmesi işlemine” denir. Üretim işlemi, fiziki bir malın üretimiyle ilgili olduğu kadar, aynı zamanda hizmet üretimiyle de yakından ilgilidir. Örneğin elektronik devreler kullanarak cep telefonu üretimi fiziki bir mal üretimidir. Ancak fiziki bir mal üretiminin söz konusu olmadığı; eğlence, bankacılık, sigortacılık, turizm, pazarlamacılık, taşımacılık sektörlerinde de üretim yapılmaktadır.

Üretimi çeşitli bilim dalları değişik açılardan farklı şekillerde tanımlamışlardır. Ekonomi bilimi üretimi, fayda meydana getiren işlemler olarak tanımlar. Mühendisler ise, belirli bir fiziksel varlık üzerinde onun değerini artıracak bir değişiklik yapmayı ya da hammadde ve yarı mamul maddeleri, bir mamul haline dönüştürme olarak tanımlamaktadır. Teknik anlamdaki tanıma göre, eğlence, taşıma, sigortacılık, turizm vb. hizmet üretiminin geçerli olduğu faaliyet alanları üretim olarak kabul edilmemektedir. Bu sebeple işletme bilimi, ekonomistlerin tanımına yakın bir tanıfı kabul eder. Bu durumda tanım şu şekilde olmaktadır : “Üretim; insan ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla belirli girdilerin, dönüştürme sürecinde çeşitli işlemlerden geçirilerek mal veya hizmet olarak çıktılarının elde edilmesidir.”⁴

Özetle Üretimin amacı var olan üretim faktörlerinden ortaya bir fayda çıkmasını sağlayabilmektir. Elde kıt miktarda bulunan malların miktarını ve fayda derecesini arttırmak için yapılan girişim temel olarak üretim ismini alabilir. Üretim bununla birlikte içinde bulunulan beşeri ve maddiyete dayalı faktörlerin mal ve hizmetler diye tabir edilen kavrama dönüşme süreci olarak da ele alınabilir.

Türkçemizde üretim iki farklı kelimenin karşılığı olarak kullanıldığı görülmektedir. İstihsal (production) ve imalat (manufacture) gibi temelde farklılık gösteren iki kelimeyle eşanlamda kullanılmaktadır. Süt üretimi, buğday üretimi dediğimiz aslında birer istihsaldir. Traktör üretimi ise gerçekte bir imalattır. İstihsal gibi işlemler arasında insan ve makine gücü de zaman zaman devreye girmektedir. Bu üretim şeklinde, yani istihsalde, insan ve makine ile birlikte diğer canlılar ve iklim-toprak şartları da devreye girebilmektedir. Hâlbuki bir traktör üretilmesine bakıldığında; ana hammaddesi çelik olan bu imalatta insan ve makine gücü doğrudan

⁴Cengiz Tavukçuoğlu, ‘2000 yılına girerken yeni üretim tekniklerine bir bakış’, www.kho.edu.tr, (01.06.2010).

olayı etkilemekte başka bir canlı devreye girmemektedir.

Her iki üretim türünde de üretilen şey fiziksel bir varlıktır. Bu varlıkla ilgili olan bankacılık, sigortacılık, dağıtım gibi hususlar da hizmet olarak devreye girmektedir. Genel anlamda ‘üretim’ kelimesi bu hizmet faaliyetlerini de kapsamaktadır. Üretilen veya elde edilen nesne bir merakın tatmini veya bir yeteneğin sadece ispatı için değil kar elde etmek amacıyla yapılan bir çalışmadır. Bu çalışmaya katılan her türlü madde, işlem, emek ve hizmet gibi çeşitli üretim faktörleri ‘üretim’i ortaya koymaktadır.⁵

Dolayısı ile yapılan çalışmada genel anlamıyla üretim olarak kullanılan bu terimin literatürdeki tam karşılığı imalatıdır.

1.2 Benzetim Uygulamalarında Üretim Terminolojisi

Üretim sistemleri birçok ortama bağlı farklı durumları paylaşır. Üretim Sistemlerini modellemeyi anlayabilmek için üretim endüstrilerinde kullanılan terminolojiyi iyi öğrenmek gerekir. Üretim sistemlerini modellerken yardımcı olacak ve bilinmesi gereken terimler ise şunlardır:⁶

Operasyon: Bir iş merkezinde bir ürün üzerinde uygulanan aktiviteye operasyon denmektedir. Operasyonlar genellikle bir ürün üzerinde fiziksel değişiklik meydana getirecek işlemlerdir.

Ana Üretim Planı: Bu plan belirlenen sürede ne kadar ürün üretilmesi gerektiğini belirler. Örneğin bir mobilya üreticisinin 1 haftada kaç adet ofis masası üreteceği gibi.

Üretim Planı: Bu plan ise, her bir ürün için detaylı bir şekilde ne zaman biteceğini kapsar.

Darboğaz: Daha çok bir iş merkezinin yüksek verimlilik veya uygun sürede en yüksek oranla bir ürünü işlemesi olarak algılanır fakat daha geniş bakıldığında ise darboğaz bir üretim bandı veya bir operatöre ait herhangi bir kısıt da olabilir.

⁵İrfan Saygılı, **Üretim Yönetiminin Fonksiyonları**, İÜ İşletme Fakültesi Yayın No: 244, Küre, Ajans, İstanbul, 1991, s. 1.

⁶ Charles Harrell, Biman K. Ghosh ve Royce O. Bowden, **Simulation Using Promodel**, Second Edition, McGraw-Hill Inc., New York, 2004. S. 314.

Birim yükleme: Bir grup ürünün sistem içerisinde paletle yüklenmesi ve benzeri işlemler ile sistem içindeki hareketleridir. Bu işlemdeki temel amaç ise birim yüklemeye ait süreyi her zaman minimumda tutmaktır.

Uygunluk: Bir üretim faktörünün üretim için hangi oranda hazır olduğunu belirler.

Güvenilirlik: Hatalar arası ortalama sürenin ölçülmesi ile bulunan bu terim aslında bir ürün veya makinenin bir işlem sırasında yarıda kesilmesi veya hatalı üretim olarak adlandırılmasıdır.

1.3 Verimlilik - Etkililik – Etkinlik

Yapılan çalışmada, üretim sistemlerinde benzetim uygulanırken amaç fabrikadaki üretim sistemini optimize edebilmeye çalışmaktır. Sisteme ait üretim düzeyi ve üretkenlik gibi önemli kavramların ise sistemi ne derece etkilediği önemli bir bilgidir. Çünkü benzetimdeki amaç çoğu zaman sisteme kuşbakışı bir bakış sağlamaktır. Böylece sistemin nasıl işlediği, nerelerde darboğaz olduğu veya verimliliğin nerelerde az olduğunu gözlemlemek mümkün olacaktır. Çalışma amacıyla ters düşmemesi için verimlilik ve aynı anlamlarda kullanılmasına rağmen farklı anlamlara gelen etkinlik ve etkililik gibi kavramlara da daha yakından bakmak faydalı olacaktır.

Verimlilik kelimesinin doğuşu, çok eski zamanlara kadar uzanır. Literatürde ilk defa hümanist Agricola'nın De Re Metallica (1530) adlı eserinde kullanılmıştır. Fizyokratların 18. yüzyıldaki çalışmaları ile kelime açık bir anlam kazanmaya başlamış ve Le Littré (1833) verimliliği 'üretme hassası' olarak tanımlamıştır. Yine fizyokratlardan Francois Quesnay (1694-1774) "Ekonomik Teorilere Tarihsel Bakış Açışı" adlı eserinde verimliliği ziraatta gerçek refahın kaynağı olarak ele almıştır.⁷

Adam Smith (1723-1790) "Ulusların Zenginliği" adlı eserinde işgücü ve işbölümü arasındaki ilişkiyi dikkatlice analiz etmiş ve verimliliği modern dünyaya tamamen uygulanabilecek bir kavram olarak vermiştir. Karl Marx (1819-1883)

⁷Recep Kök ve Ertuğrul Deliktaş, **Endüstri İktisadında Verimlilik Ölçme Ve Strateji Geliştirme Teknikleri (İş Dünyasından Örneklerle)**, DEÜ İİBF Yayınları İzmir, 2003, s.33.

imalat işletmelerindeki işgücü, malzeme, teçhizat arasındaki verimlilik sorunlarını tartışmıştır.⁸

Verimlilik dar anlamda üretim odaklı bir kavram olup asıl olarak etkenlik ve etkililik bileşenlerinden oluşmakla birlikte randıman, yenilik çalışma yaşamının kalitesi gibi performans boyutlarını da içine almaktadır.⁹

Geniş anlamda ise verimlilik performansla giderek eşanlamlı bir kavram olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sözelimi işletme biliminde pazarlama alanında verimlilik önem kazanmaya başlamıştır. Giderek firmaların tüm diğer fonksiyonlarında da verimlilikten söz edilmeye başlanmış ve işletme alanında performans yönetimi gibi başlık taşıyan kitap ve makaleler çoğalmaya başlamıştır.¹⁰

Verimliliğe ilişkin çok tanım olmasına rağmen bu tanımlar aşağı yukarı aynı şeyi anlatmaktadır. Aşağıda bazı organizasyonlar tarafından formüle edilen verimlilik tanımları aşağıda verilmiştir:¹¹

Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Gücü organizasyonuna göre verimlilik; çıktının üretim öğelerinden birisine bölünmesidir.

Uluslararası Çalışma Örgütü'ne göre verimlilik; ürünler başlıca dört öğenin bileşimi sonucu üretilir. Bunlar: Toprak, sermaye, emek ve organizasyondur. Üretimin bu öğelere oranı ise verimlilik ölçüsüdür.

Avrupa Prodüktivite Merkezi'ne göre:

- 1) Verimlilik her bir üretim öğesinin etkili kullanım derecesidir.
- 2) Verimlilik her şeyden önce bir düşünce tarzıdır ve sürekli varolanı iyileştirmeye çalışır.
- 3) Her şeyin bugün dünden, yarının bugünden daha iyi yapılabileceği esasına dayanan bir kavramdır.

Verimliliğin; değişen koşullara ekonomik faaliyetleri adapte etmek, yeni teori ve yöntemler kullanmak için sonu olmayan bir çabayı gerektirdiğine ve insanoğlunun ilerlemesi için somut bir çaba olduğunu belirtmiştir.

⁸ Kök ve Deliktaş, s. 33.

⁹ Melih İsmail Baş ve Ayhan Artar. **İşletmelerde Verimlilik Denetimi: Ölçme Ve Değerlendirme**, Modelleri Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları: 435, Ankara, 1990, s. 36.

¹⁰ John R. Schermerhorn. **Management For Productivity**, Georgia, Industrial Engineering and Management Press, 1984, ss.76-77.

¹¹ Kazım Köroğlu, **Verimlilik Yönetimine Japon Yaklaşımı ve Kazukiyo Kurosawa Modeli**, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No: 507, Ankara, 1993, s. 2-3.

Japon Prodüktivite Merkezi ise verimliliği artırmanın amacı her şeyden önce, üretim maliyetini azaltmak, pazarı genişletmek, istihdamı artırmak, daha yüksek reel ücretler için çalışmak ve işgücünün, yönetimin ve tüketicilerin yaşam standartlarını iyileştirmek için kaynak yararlılığını insan gücünü, varlıkları v.b. maksimize etmekten geçtiğini ileri sürmüştür.

Burada ilk iki kuruluşa göre verimlilik kavramının daha teknik bir kavram olduğu görülmektedir. Japon Prodüktivite Merkezi ve Avrupa Prodüktivite Merkezi ise verimliliğe daha sosyal bir kavram olarak yaklaşmaktadır.

Belirli bir teknik güce sahip olan işletmeler, en az harcama (emek, zaman, enerji, hammadde gibi) ile üretimde bulunurlar. Maddesel anlamda bu güç prodüktivite ya da verimlilik gücüdür. Verimlilik temelde işletme içi bir düzen ve uyumun bir sonucu olarak görülmektedir. Bu bakış açısıyla bir işletmede üretim öğeleri arasında her yönüyle bir uyum varsa, hiçbir öğede atıl üretim gücü kalmayacak, her üretim ögesinin verimi en çok ölçüyü bulacaktır.¹²

Bu kavram karmaşasının biraz da olsa sebebi, yabancı dil tercümelerinde uğranılan hatalardır. Nitekim Türkçemizde bu şekilde kavram karmaşası yaratan birçok kelime mevcuttur. Kimi kelimelerin tercümesi tek kelimeye işaret ediyormuş gibi görünse de aslında güzel dilimizde her yabancı literatürden gelen kelimenin uygun bir karşılığı aslında vardır.

Benzetim alanında bilişim sözlüğü çıkarmış olan Tuncer Ören'in bu konu üzerine değerlendirmesi ise dilimizin bazı kısır döngülerin etkisi altında olduğunu düşünerek terimlerin Türkçelerini çoğu zaman olmadıkları için değil, kullanılmadıklarından dolayı duyamamak veya okuyamamak olduğunu belirtmiş, ayrıca anadilimizde üniversite düzeyindeki eğitimin İngilizcenin lehine azalması olduğunu dile getirmiştir.¹³

Verimlilik: Bu terim yukarıda da görüldüğü gibi farklı şekillerde anlatılsa da, temel olarak; doğru ürün ya da hizmeti beklenen kalitede, doğru zamanda, en az maliyetle üretme işlemine verimlilik diyebiliriz. Veya bir üretim sürecinde elde

¹² M. Hulusi Demir ve diğerleri, **İşletme Ekonomisi ve Yönetimi**, Beta Basım Yayın Dağıtım, İstanbul 1997, s. 16-19.

¹³ Tuncer Ören, "Bilişimde Özenli Türkçenin Önemi, **Bilişim ve Bilgisayar Mühendisliği Dergisi**, cilt 1, sayı 1. TBV (Türkiye Bilişim Vakfı), 2005, İstanbul, s. 3.

edilen mal ve hizmetler ile girdiler arasındaki ilişki de diyebiliriz. Prodüktivite veya verimlilik oranı ise çıktının girdiye oranlanmasıyla bulunabilmektedir.

Etkililik: İngilizce karşılığı “effectiveness” olan bu kelimenin Türkçedeki anlamı, amaçları gerçekleştirebilme derecesidir. Doğru işleri yapıyor muyuz sorusuna cevap arayan etkililik kavramı, amaçlara, yani çıktılara yönelik bir performans göstergesidir. Etkililik kavramının açılımında çıktı kelimesi verimlilikte olduğu gibi sadece çıktı değil de yararlı çıktı olarak isimlendirilmektedir. Yararlı çıktı ise herhangi bir çıktıdan farklı olmaktadır. Örneğin, bir işletmenin Ar-Ge bölümünde mühendislerin geliştirdiği yeni ürün sayısı “Çıktı” olarak kabul edilirse, bu ürünler içinde talebi ya da pazarı hazır olanların sayısı “Yararlı Çıktı” olacaktır. Veya güncel bir yaklaşımla; ihraç edilmek üzere bir tarlada üretilen domatesler çıktı ise bunların gümrük kontrolünden geçebilecek seviyede uygunluk taşıyan miktarı (güvesiz, zarar görmemiş) yararlı çıktı olacaktır.

Bu oran yani Etkililik oranı ise; gerçekleşen çıktının (Yararlı çıktı), planlanan çıktıya bölünmesiyle elde edilir.

Etkinlik: Türkçeye etkinlik olarak giren bu kelimenin İngilizce literatüründeki karşılığı “Efficiency” kelimesine denk gelmektedir. Bu kavramda işleri doğru yapıyor muyuz sorusuna cevap aranır.

İlk olarak 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından ürettikleri mal ya da hizmet açısından birbirine benzer ekonomik karar birimlerinin ‘görelî’ etkinliklerinin ölçülmesi amacıyla geliştirilmiş ‘parametresiz’ bir etkinlik ölçütüdür.¹⁴

Etkinlik; bir işletmede belirlenen amaçların gerçekleştirilmesi için tüketilmesi beklenen kaynaklar ile tüketilen kaynaklar arasındaki ilişki olarak tanımlanabilir.

Örneğin bir işin bir kişi tarafından yapılma süresi standart olarak 2 saat ise ve bu işin seçilen bir kişi tarafından yapılması 3 saat sürüyorsa ise bu işin etkinliği % 66 olur.

1.4 Üretim Yönetimi

Üretim yönetimi; üretim sistemini oluşturan faaliyetleri, işletme amaç ve politikalarına uyularak örgütlemek, uyumlaştırmak ve kontrol etmek sanatıdır.

¹⁴ <http://www.mpm.org.tr/sozluk/default.asp?dict=v>, (01.06.2010).

Karmaşık üretim sistemlerinde çelişen unsurlar arasında uzlaştırıcı çözümler bulunması, çeşitli nicel analiz yöntemlerinin ve bilgisayarların kullanılmasını zorunlu kılar. Üretim yönetimi disiplininin amacı, bu yöntemler yardımı ile gerekli karar verme yeteneğinin geliştirilmesi olarak tanımlanabilir.¹⁵

Üretim yönetimi, bir üretim zincirinde malzeme, insan ve makine gücünün belirli bir zaman süresince istenilen miktarda yüksek kaliteli ve düşük maliyetli üretim elde edilmesi için en uygun şekilde kullanılmasıdır. Doğaldır ki, bu işlemler zinciri içerisinde finansman, bankacılık, sigortacılık gibi hususları dâhil etmek gerekir.¹⁶

Çeşitli kaynaklardan tarama yapılarak ulaşabilecek genel tanımı şu şekilde olabilir: Bir işletmenin var olan kaynakları istenilen özelliklerde ve zamanda, düşük maliyetle bir araya getirerek ürün yaratmasına Üretim Yönetimi denebilir. Üretim yönetimi ayrıca, firma veya işletmelerdeki var olan kaynakların veya çıktıların etkin bir biçimde kullanılarak bu çıktılardan istenilen nicelik ve nitelikte ürünler üretilmesiyle ilgili karar verme işlemi olarak da adlandırılabilir. Üretim yönetimiyle, kaynakların etkin bir şekilde kullanılması, kayıpların minimuma indirilmesi ve kalite yönünden arzulanan seviyeye çıkarılması hedef alınır.

İşletmelerin rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri ve varlıklarını sürdürebilmeleri üç ana parametreye (kalite, verimlilik ve maliyet) bağlanmıştır-ki son zamanlarda bu parametrelere dördüncüsü “hızlı tepki verme” de eklenmiştir. Bütün bunlar kıt kaynakların etkin kullanılmasına bağlıdır. Bu kaynaklarda hammadde-malzeme, işgücü, makine ve teçhizat ve finansmandır. Bu kaynakların etkin ve gerçekçi kullanılması üretim planlama ve kontrol faaliyetleri ile yani Üretim Yönetimi ile mümkündür. Günümüzün küresel iş ortamında şirketler hızlı bir değişim ve değişimin getirdiği yeni fırsatlarla karşı karşıya bulunmaktadır. Rekabet tüm işletmeleri daha yüksek düzeylerde hizmet vermeye iterken, gelişen teknoloji de ürünlerin yaşam döngülerini kısaltarak ve şirketleri yeni teknolojileri benimsemeye ya da pazar paylarını kaybetme riskine katlanmaya zorlamaktadır.¹⁷

Yerel düzeyden ulusal ve uluslar arası düzeye tırmanmış olan rekabet, rekabet

¹⁵Gönül Özkaya, **Üretim Planlama Ve Kontrol**. İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, Ankara, 1981, s. 3.

¹⁶Kobu, s. 19.

¹⁷ <http://erpcozumleri.blogspot.com/2010/03/uretim-yonetimi-erp-mrp.html> (01.07.2010).

gücünü korumak ve geliştirmek isteyen şişletmelerin gelecek bakış açıları ve stratejilerini yeniden yapılandırmalarını gerekli hale getirmiştir. Katı ve bazen de acımasız rekabet, şişletmeleri ürün/hizmet kalitelerini artırmaya, pazara tepki hızını yükseltmeye ve bunları başarırken de maliyetlerini düşürmeye zorlamaktadır. Her şişletme, bir tedarik zinciri içindedir. Değişimlere hızlı ve ekonomik tepki verebilmek için, şişletmenin tüm fonksiyon, süreç ve kaynaklarının bütünleşmiş bir şekilde planlanması ve kontrol edilmesi gerekmektedir.

Bu sürekli değişim ortamında rekabette başarılı olmak, değişen iş koşullarını önceden tahmin edebilmek ve bunlara hızla yanıt verebilmek demektir. şirketinizin bunu yapabilmesi için işinizin tüm cephelerini güçlü ve esnek bir biçimde destekleyen sağlam bilgi sistemlerine ihtiyaı vardır. Bu sistemler şirketinize, iş uygulamalarından ve örgütsel yapılardan lojistik, proje yönetimi, finans, servis, dağıtım, nakliye ve imalata kadar her cephede değişimlere uyum sağlama yeteneği kazandıracaktır. Bütün bunları şişletme kaynaklarını iyi planlamak ve yönetmekle yapmak mümkündür.

Değişimle birlikte talepte çeşitlilik, teslim sürelerindeki kısaltma, kalitenin ön plana çıkması ile birlikte yepyeni üretim yönetimi anlayışını getirdi 20.yy. sonlarına doğru arz/talep ilişkisi 1980'lere kadar arzın yönlendirdiği sanayiden kaynaklanan itme iken yeni dönemde yerini talebin yön verdiği müşterienden kaynaklanan çekme kavramına bıraktı.

1930'lu yıllarda başlayarak kullanılan istatistiksel stok kontrol yöntemleri(yeniden sipariş, ekonomik sipariş miktarı gibi) bilgisayarların gelişmesi ve özellikle 1980'li yıllarda PC'lerin yaygınlaşması ile birlikte yepyeni bir dünyaya açıldı.

ABD ve bazı batı ülkelerinde geliştirilen nicel bazı yöntemlerle, önce Malzeme İhtiyaç Planlaması ve daha sonra geliştirilen Üretim Kaynak Planlaması ve nihayet, şişletme Kaynakları Planlaması ya da Kurumsal Kaynak Planlaması'na ulaşıldı. Bu yöntemde ortak amaç, çok çeşitli ve yüksek varyasyonlu ürünlerin üretim sürecinde insan gücünden en verimli yararlanmak ve hammadde, ara stoklar ve mamul stoklarını en aza indiren, hatta sıfır stok'u hedef alan üretim yönetimi sistemlerine ulaşmaktı. Üretim Yönetimi'nde; üretim, üretim süreçleri ve yönetim söz konusudur.

Eğer kaynaktan elde edilebilecek olan ürün değeri, belli bir teknolojik

yapıdaki kaynağın üretimde kullanılması için yapılacak masraftan azsa, böyle bir kaynağın doğada bulunmasına karşın tükenmiş olduğu kabul edilebilir. Kaynağın tükenebilir olması fiziksel değil ekonomik bir anlam taşımaktadır. Diğer yandan fiziksel anlamda çok sınırlı bir kaynağın, belirli zaman süreleri ile küçük miktarda kullanılması böyle bir kaynağın ekonomik bakımdan ‘tükenmeyen’ kaynak gibi düşünülmesine olanak verebilir.¹⁸

Üretim yönetimi fabrika sistemi içerisinde; kalite kontrolü, stok kontrolü, üretim planlama ve kontrolü, maliyet kontrolü gibi üretim faaliyetlerinde bilgisayar destekli üretim ve bilgisayar destekli tasarımı geliştirmiştir. Üretim yöneticilerinin temel görevi sistem yaklaşımıyla hareket ederek üretim sistemini başarılı bir şekilde yönetmektir. Üretim yönetimiyle ilgili problemlerin çoğu üretim sisteminin yapısından kaynaklanmaktadır. Üretim yöneticilerinin asıl görevi, üretim sisteminden kaynaklanan bu yapısal problemleri çözebilmektir. Üretim yöneticileri bu problemleri çözebilmek için bilgisayarlı üretim sistemlerinden faydalanmaktadır.¹⁹

Üretim yönetiminin sorumluluğu şu iki temel alanda toplanır:

- Üretim sistemlerinin planlanması
- Üretim sistemlerinin kontrolü

Birinci sorumluluk alanı, ürün, süreç, fabrika, araç-gereç ve benzeri konuların planlanmasını; buna karşın, ikinci sorumluluk alanı, stok yönetimi, kalite kontrolü, üretim programlaması ve verimliliği içerir.²⁰

1.5 Üretim Sistemi

Üretim sistemi, uygulanan tüm yöntemlerin ve kullanılan araç-gereçlerin tamamı olarak tanımlanmakta ve bir iş parçasının başlangıç durumundan sistem içinde değişime uğrayarak ‘ürün’ durumuna gelmesi olarak ifade edilmektedir. Çok basit bir üretim sistemi araç-gereç ve iş parçasının etkileşiminden meydana gelmektedir.²¹

¹⁸Kutlu Zoral, **Üretim Fonksiyonları**, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayın No:52, İzmir, 1990, s. 4.

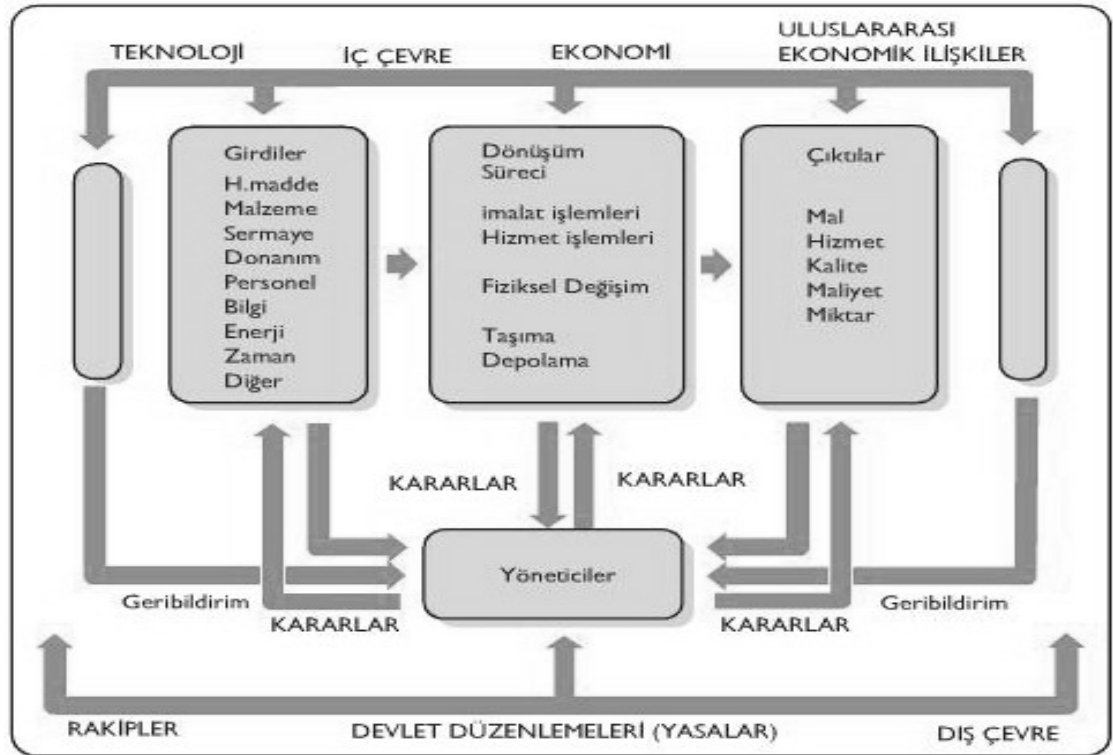
¹⁹<http://enm.blogcu.com/uretim-uretim-yonetimi-ve-uretim-sistemleri/3452315>, (17.04.2010).

²⁰Mehmet Şahin, **Üretim Yönetiminde Simülasyon Analizi Ve Uygulaması**, Eskişehir İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi, Eskişehir, 1978, ss. 9-11.

²¹Kai Mertins, **Steuerung rechnergeführter Fertigungssysteme, München; Wien**, Hanser Verlag, 1985, s. 9.

Üretim eylemlerinin sistem yaklaşımıyla analizi, bu eylemlerin anlaşılmasını kolaylaştırır. Aslında, işletmedeki tüm alt birimlerin ve eylemlerin sistem yaklaşımıyla ele alınması, amaçların açıklığa kavuşmasını, bu amaçlara ulaştıracak araçların ve araçlar arasındaki ilişkilerin belirlenmesini kolaylaştırır. İşletmedeki diğer bütün işlevler, üretim ve pazarlamaya destek sağlamak amacına yöneliktir. Ancak, işletmedeki her işlevin belirli bir sistem içinde işlevini yerine getirmesi gerekir. Konuya bu açıdan bakıldığında, belirli amaçları gerçekleştirmek için bir araya getirilmiş insanların, nesnelerin ve işlemlerin, belirli bir çevre içinde işlev görmesi koşulu vardır. Tüm öğeleriyle birlikte değerlendirildiğinde, söz konusu bu çevreye, sistem adı verilir. Şekil 1, üretim sistemi içinde yer alan unsurları simgelemektedir. Üretim sisteminin yeterli ve etkili biçimde yönetilmesi ve işletilmesi, birinci derecede, işletmenin üretim yönetiminin sorumluluğu altındadır.²²

Şekil 1: Üretim Sistemi



Kaynak: Güneş N. Berberoğlu, 2004, “Genel İşletme”, Anadolu Üniversitesi Yayını No: 1268, Eskişehir, s. 244.

²²N. Güneş Berberoğlu, **Genel İşletme**, Anadolu Üniversitesi Yayını No: 1268, Eskişehir, 2004, s. 243.

Üretim sistemlerinin işletme açısından önemli sayılabilecek fonksiyonlarından biri, işletmede var olan kaynakların daha önce belirlenmiş olan amaçlara hizmet edecek biçimde daha önce de bahsettiğimiz gibi verimli bir şekilde kullanmasını sağlayacak yönetim şekillerini yaratmak olabilir.

Üretim sistemleri en uygun şekilde gerçekleştirmeye çalıştığı amaçlar ise genel anlamda:

- Çıktı miktarı,
- Maliyetler,
- Zamanında teslimat,
- Yatırımlar,
- Ürün değişimine uyum, esneklik yaratabilme,
- Miktar değişimine uyum, esneklik yaratabilme olarak sınıflandırılabilir.

Üretim sistemlerini; üretim yöntemi, mamul cinsi, ürün miktarı veya üretim akışı ölçütlerine göre farklı biçimlerde sınıflandırmak mümkündür.

1.5.1 Üretim Yöntemlerine Göre Sınıflandırma

Geniş kapsamlı, karmaşık ve özellikle ekonomik-sosyal faaliyetlerle ilgili konularda yapılan sınıflandırmaların amacı tanıtmak ve bilgi vermeden öteye gidemez. Zira bu tür faaliyetlerin değişik ölçütlere göre yapılan sınıflandırmalarında, bir elemanın birkaç sınıfta birden yer alması doğaldır. Üretim tiplerinin sınıflandırılmasında da aynı durumla karşılaşılır. Bu gibi konularda sınıflar esas alınarak gene kurallar çıkarma veya yöntemler geliştirme olanağı pek yoktur. Sınıflar arasında kesin çizgiler belirlemek ve bilimsel ayırım yapmak mümkün değildir. Bununla beraber ortak özellikleri topluca görme ve tanıma bakımından çeşitli ölçütlere göre yapılan sınıflandırmaları bilmekte önemlidir.²³

- a) **Birincil Üretim:** Demir ve bakır gibi madenler ile kömür ve petrol üretimi gibi doğada hazır bulunan hammaddelerin kullanılmak üzere çıkarılması ile oluşan üretim yöntemidir.

²³ Kobu, s. 4.

- b) **Analitik Üretim:** Temel hammaddelerin ayırıcı işlemlerle parçalanıp işlenerek çeşitli mamullere dönüştürülerek yapılan üretimdir. Şeker pancarından şeker, ham petrolden benzin, zeytinden zeytinyağı gibi örnekler analitik üretim sınıfına girer.
- c) **Sentetik Üretim:** Doğadan elde edilen temel hammaddelerin bazıları da birleştirici işlemlerle yeni mamullere dönüştürülür. Sentetik kauçuk, alaşımlı çelik, plastik, cam gibi mamuller sentetik üretim grubuna girerler.
- d) **Fabrikasyon Üretim:** Temel veya diğer hammaddelerin şekil verme yolu ile yeni mamuller elde edilmesidir. Döküm, tornalama, pres, kesme vb. yöntemlerle şekil vererek mal üreten sistemler bu gruba girerler.
- e) **Montaj Üretim:** Çeşitli hammadde, yarı mamul ve parçaları sistematik biçimde bir araya getirerek karmaşık bir mamul üretmektir. Otomobil, televizyon, traktör ve buzdolabı montaj yolu ile üretilen mamullerdir.²⁴

1.5.2 Mamul Cinslerine Göre Sınıflandırma

Demir-çelik üretimi, kömür üretimi, takım tezgâhları üretimi, kimyasal maddeler üretimi Elektriksel araç- gereç üretimi, Elektronik mamul üretimi, tekstil üretimi gibi, mamul cinsine göre tanımlanan sınıfların pratikte birer endüstri dalı olarak isimlendirildiği görülmektedir.²⁵

1.5.3 Üretim Miktarına veya Akışına Göre Sınıflandırma

Üretilen mamulün miktarı ile üretim faaliyetlerinin fabrika içindeki akışı arasında yakın bir ilişki vardır. Aynı cinsten bir mamulün az veya çok sayıda üretilmesi; kullanılan makinelerin tiplerini, imalat yöntemlerini, standartları, insan gücünden yararlanma biçimini, fabrikanın yerleşim düzenini, üretim planlama ve kontrol yöntemlerini etkiler. Bütün bunlar hammaddenin mamul hale gelinceye kadar izlediği yolu, yani akışı da belirler.²⁶

Bunları ise aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

²⁴ Zoral, s. 5.

²⁵ Halil İbrahim Kuruca, "Bir Bisiklet Fabrikasında Üretim Hattının Simülasyon Metodu İle Yeniden Yapılandırılması Üzerine Bir Araştırma", (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2002, s. 7.

²⁶ Kobu, s.36.

- Siparişe Göre Üretim
- Parti Üretimi
- Sürekli Üretim

1.5.3.1 Siparişe Göre Üretim

Tüketicinin veya müşteri firmanın zaman, miktar ve kalite bakımından özel olarak belirlediği bir mamulün üretilmesidir. Üretim süreci veya üretim aşamaları, müşterinin isteklerine göre her seferinde yeniden planlanıp uygulamaya konulur. Siparişe göre üretim süreler açısından üç alt gruba ayrılır.²⁷

- 1) Az miktarda mamulün bir defa üretilmesi,
- 2) Az miktarda mamulün talep geldikçe, belirsizlik aralıklarda üretilmesi,
- 3) Az miktarda mamulün belirli aralıklarda periyodik olarak üretilmesidir.

Sipariş imalatının diğer bir karakteristiği de işlemlerin tekrarlı olmama özelliğini taşımalarıdır. Belirli özellikteki ürün, yalnız bir kere imalatı söz konusu olduğundan, sürekli üretim ile uygulanan işlemlerin tekrarlılığı yönünden iki ayrı kutup oluşturur.²⁸

1.5.3.2 Parti Üretimi

Özel bir siparişi ya da sürekli bir talebi karşılamak amacı ile belli bir ürün grubunun, belirli miktarlarda oluşan partiler halinde üretilmesidir. “Parti üretimi sistemi” terimi yerine bazen “Seri üretim sistemi” ya da “dizi üretim sistemi” terimleri de kullanılır. Siparişe göre üretim ile arasındaki fark, parti üretimin siparişe göre üretime göre ürün standardizasyon yönü daha fazladır. Parti üretimde tekrarlamalı olarak belirli miktarlarda talebi karşılamaktadır fakat ürün çeşitliliği siparişe göre üretime kıyasla daha sınırlıdır. Parti üretimde talebi yapılan ürün için yeni sistem kurulması gerekmez.²⁹

Örneğin, üretim önce 4 cm. çaplı dişli üretecek biçimde programlanır. Bu seriden arzu edilen miktarda üretildikten sonra, 6 cm. çaplı yeni dişlilerin

²⁷ Kobu, s. 38.

²⁸ İlhami Karayalçın, **Endüstri Mühendisliği ve Üretim Yönetimi El Kitabı**, Çağlayan Kitapevi, İstanbul, 1986, s. 53.

²⁹ Kobu, s. 37.

oluşturduğu yeni bir partinin üretim programına geçilir. Aynı şekilde, hazır giyim üretiminde beden ölçülerine göre parti parti üretim yapılır. Tekrarlı olma özelliği yönünden bu tip üretim sipariş ve sürekli üretim tipleri arasında yer alır. Bu tip üretime aralıklı üretim adı da verilir.³⁰

1.5.3.3 Sürekli Üretim

Günde 24 saat, haftada 7 gün ve yılda 365 gün devam eden üretime, sürekli üretim adı verilir. Sürekli üretim sistemleri, çok büyük hacimli üretimi gerçekleştiren, bütünüyle sermaye yoğun yatırımlardır. Petrol rafinerileri, demir-çelik fabrikaları, kâğıt fabrikaları, şişe ve cam fabrikaları ve benzerleri Sürekli Üretimin örnekleridir. Sürekli üretimde işin gereği dolayı, ocakların, fırınların veya kazanların devamlı olarak çalışması gerekir. Üretim, şu veya bu nedenden bir süre duracak olursa, 2000–4000 derece sıcaklıktaki fırınların ateşe dayanıklı tuğlaları genleşme nedeniyle parçalanır ve bunların yenilenmesi olağanüstü giderlere ve üretim duraklamalarına neden olur.³¹

1.6 Üretim Planlama

Planlama, firma hedef ve stratejilerinin makro düzeydeki plan, hedef ve stratejiler ile paralellik kazanmasına ve ulusal ekonomi hedeflerine ulaşma çabalarına firmanın olumlu katkıda bulunmasını sağlar. Diğer taraftan geleceğin belirlenmesi sonucu, gerek devletle ve gerekse diğer işletmelerle olan ilişkilerin önceden bilinmesine ve gerekli eylemler için en uygun zamanın seçimine olanak tanır.³²

Yararları yanında, hazırlanmasında önemli zaman ve enerji harcaması gerektireceği, yöneticilerin dikkatini sürekli geleceğe çekeceği, içinde bulunulan durumun gözden kaçacağı ve fazla kural ve standartlara kaçıldığında kişilerin karar verme yetilerini körelteceği vs. gibi sakıncaları olsa da, bilinçli hazırlanmış, işletmenin yapısına uygun bir plan her zaman yarar sağlayacaktır.³³

Üretim planlaması gelecekteki faaliyetlerin (veya miktarlarının) düzeylerini

³⁰Karayalçın, s. 53.

³¹Berberoğlu, s. 50.

³²İlker Coşan, **Üretim Planlama ve Kontrol**, Yıl İçi Projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi, İstanbul, Şubat 1993. s. 3.

³³Güngör Önal, **İşletme Organizasyonu ve Yönetim**, Akademi Kitapevi Yayınları, Bursa, 1983, s. 89.

veya limitlerini belirleyen fonksiyondur. Üretim planının hazırlanması aşağıdaki şekilde olur.³⁴

- Üretim planının kapsayacağı zaman aralığı tespit edilir.
- Ekonomik stok düzeyleri hesaplanır.
- Talep tahminleri yapılır.
- Plan dönemi başındaki ve sonundaki stok düzeyleri belirlenir.
- Başlangıç ve bitiş stokları arasındaki fark bulunur.
- Planlama dönemi içinde üretilmesi gereken miktar bulunur.
- Üretilmesi gereken miktar dönem dilimlerine dağıtılır.

Sanayi ortamında faaliyet gösteren işletmelerin hedeflerinden önemli olan bir tanesi de birim zamanda ürettikleri ürün miktarlarını artırmaktır. Birim zamanda üretilen ürün miktarını artırmak için mühendisler ve işçiler, üretim sürecini olabildiğince sadeleştirmek, bazı faaliyetleri birleştirmek, üretim esnasında karşılaşılan ve ürüne değer katmayan faaliyetleri ortadan kaldırmak ve bazen de yapılan işe ait faaliyetlerin yapılışını başka bir yöntemle değiştirmek gibi yollara başvururlar. Gösterilen tüm bu çabalar, işletme yöneticilerinin isteklerinin yerine getirmek ve rekabet ortamında işletmelerin ayakta kalmalarını sağlamak içindir. Bu doğrultuda işletmeler tesis içindeki tezgâh yerleşim düzenlerini değiştirerek birim zamanda üretim miktarlarını arttırmak ve maliyetlerini azaltma yolları ararlar.³⁵

Endüstride verimliliğin artması; insan gücü, materyal ve donatım araçları gibi üretim kaynaklarının olanağına göre en verimli biçimde kullanılmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. İnsan gücü olanaklarının ve maddesel olanakların en verimli biçimde kullanılmaları için yapılan planlama, izleme, kontrol, ısmarlama, stoklama, alım çalışmaları üretim planlaması ve kontrolü işlevinin kapsamına girmektedir. Çağdaş endüstride üretim olanaklarından her zaman daha çoğu beklenilmektedir. Üretimi artırma yolunda büyük çabalar harcanılmaktadır. Üretim planlama ve kontrolü ise bu nedenle gün geçtikçe artan bir önem kazanmaktadır.

İşletmelerde verimliliği artırıcı tekniklerden biri olan üretim planlaması, işletme planlamasının daha genel bir ifadeyle de üretim yönetiminin yalnızca bir

³⁴Volkan Ekinci, “Üretim Planlama Ve Çizelgeleme”, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2007, s. 2.

³⁵ Mehmet Aksaraylı ve Serkan Altuntaş, "Malzeme Taşıma Odaklı Planlama için Üretim Sistemlerindeki Tezgâh Yerleşim Düzenlerinin Benzetim Analizi ile Karşılaştırılması", **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, Cilt 15; Sayı 2; 2009, ss. 203 – 214.

bölümünü oluşturmaktadır. Üretim planlaması için APICS (American Production and Inventory Control Society) tarafından verilen tanım şöyledir: Üretim planlaması, gelecekteki imalat faaliyetlerinin (veya miktarlarının) düzeylerini veya sınırlarını belirleyen bir işlemdir. Üretim planları işletmenin amaçları doğrultusunda hazırlanmış, üretimle ilgili öngörülen bilgileri içerir.³⁶

Üretim planlamanın amacı, gerek duyulan (tahminlerle saptanmış) mal ve hizmetlerin üretiminde kullanılacak tüm kaynakların istenen yer ve zamanda, istenen miktarda bulundurulmasını garanti etmek ve kaynak israfını (boş zaman, aşırı hammadde ve ürün stoku tutma) minimum yapmaktır. Üretim faktörlerinin, yani hammadde ve malzemelerin, insan gücünün ve sermaye mallarının nitelik ve miktarları, üretilmesi düşünülen ürünün nitelikleri ve miktarı ile doğrudan ilişkilidir.³⁷

Bir üretim planlaması faaliyeti için ön şart, talep raporudur. Üretilecek ürünlere ait talep şekli planlama faaliyetini sınırlayabilmekte ve üretim planlaması döneminin süresini etkileyebilmektedir. Talep tahmini, üretim planlamanın başlıca girdisidir. Talep tahmini, planlanan dönem içinde işletmenin ne kadar süre faaliyette bulunacağını saptamaya yardımcı olur. Diğer girdiler yeni ürünlerle, eski ürünlerde yapılacak düzenlemelerle veya üretim sürecinde önerilen değişikliklerle ve finansman kontrolden sağlanan parasal sınırlar ve bütçe sınırlamaları ile ilgilidir.³⁸

Üretim planlamada iki önemli sonuç elde edilir. Bunların biri fabrikanın geliştirilmesiyle ilgili uzun dönemli planlardır. Bu aşamada ürünün ne kadar süre üretileceği ve yeni ürünlerdeki değişikliklerin üretim ve kaynak kapasitesi üzerindeki etkileri incelenir. İkinci aşamada kısa süreli planlar hazırlanır. Bu planlar mevcut kaynakların üretim gereksiniminin elde etme sorunlarıyla ilgilidir.

Üretim planlamasının üç düzeyi vardır: Uzun dönem, orta dönem ve kısa dönem. Yaklaşık 1–5 yıllık planlama dönemi olan uzun dönem üretim planlaması, teknolojik tahminlere bağlıdır ve işletme politikasını etkiler. Bu nedenle, üst düzey yöneticilerin kararları ve eğilimleri tarafından belirlenen uzun dönem üretim

³⁶Mustafa Öncer, **Orman Ürünleri Sanayinde Üretim Planlaması Ve Kontrolü**, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara, 1991, ss. 25–26.

³⁷Demet Ergün, “Hedef Programlama ile Üretim Planlaması”, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006, s. 36.

³⁸Nesime Acar, **Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları**, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara, 1996, s. 19.

planlaması kapsam dışı bırakılmıştır. Diğer taraftan planlama dönemi bir ayla bir yıl arasında olan orta dönem planlama (ana planlama) ve kısa dönem üretim planlaması (detaylı planlama) derhal kullanılacak planları kapsar. Ana üretim planlaması üretim hızının ve işgücü düzeyinin tespiti ve böylece tamamlanmamış mal, stok düzeyinin talebi karşılamak üzere fazla mesai veya dışarıya iş verme ihtiyacının belirlenmesiyle ilgilenen orta dönem bir üretim planlamasıdır.³⁹

Üretim planlamasının amacı gerek duyulan (tahminlerle saptanmış) mal ve hizmetlerin üretiminde kullanılacak tüm kaynakların istenen yer ve zamanda istenen miktarda bulundurulmasını garanti etmek ve kaynak israfını (boş zaman, aşırı hammadde ve üretim stoku tutma) en aza indirmektir. Üretim planlamanın önemi üretim sisteminin gelişmesine paralel olarak hızlanmıştır.⁴⁰

Ürettiğini satabilen başarılı firmalar, normal karlarını sağlamakla birlikte sonraki yıllara ait yaptıkları satış tahminlerini temel alan uzun vadeli üretim planları da hazırlayabilirler. Satış tahminlerinin isabetli yapılabilmesi, aşağıdaki gibi konularda ayrıntılı çalışmalar yapılmasını, geçmişin satış istatistiklerini iyi değerlendirilmesini gerektirir ve kamuyu, satın almak için hazır duruma getirme çalışmalarına önem verilmesi de geleceğin satış planlarının hazırlanması ile birlikte, gerçekçi üretim hazırlıkları birbirini izler. Bu hazırlıklarda ele alınan konuların temelinde,

- Nerede?
- Ne kadar?
- Ne kalitede?
- Ne satılabilir?

soruları ile birlikte toplam satın alma gücü ne kadardır ve değişebilir mi sorunları vardır.⁴¹

³⁹Acar, s. 20.

⁴⁰Osman Demir, “İşletmelerde Üretim Planlaması ve Kontrolü”, (Yayınlanmamış Doktora Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 1990. s. 45.

⁴¹Reşat Taykut, **İşletmelerde Üretim Planlaması ve Kontrolü**, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayınları, İstanbul, 1982. s. 52.

1.7 Çizelgeleme

Çizelgeleme üretim planının karşılanabilmesi, siparişlerin söz verilen teslimat tarihlerine yetiştirilmesi için, işlerin hangi kaynaklar tarafından hangi sırayla yapılması gerektiğinin belirlenmesidir. Bu kaynaklar, makineler, işçiler, malzemeler veya üretim sistemine kısıt oluşturan her türlü şey olabilir. Çizelgeleme her kaynak için iş sırasını ve tahmini başlangıç ve bitiş tarihlerini belirler.⁴²

Operasyonların ayrıntılı günlük planlanmasına çizelgeleme denir ve aşağıdaki sorunlarla ilgilenir:⁴³

- Hangi iş merkezi hangi işi yapacak?
- Bir operasyon/is ne zaman başlayacak ne zaman bitecek?
- İş hangi donanımla, kim tarafından yapılacaktır?
- Operasyonların / işlerin sıralaması ne olacaktır?

Üretim planlama ile üretim çizelgeleme veya çizelgelemeyi karşılaştırdığımızda arada bir fark olduğunu görebiliriz. Bu fark ise Üretim Çizelgelemenin Üretim Planlamaya göre daha ayrıntılı ve daha kısa vadeli olmasıdır. Çizelgeleme en yakın zamandaki amaçlarına ulaşabilmek için o ana ait koşulları hesaba katarak detaylı bir yol planı ortaya koyar.

Çizelgeleme problemlerinde üç ana hedef vardır. Bunlardan birincisi teslim tarihidir ve müşterilerin siparişleri geciktirilmemeye çalışılır. İkinci amaç akış süreleri ile ilgilidir; işlem süreleri minimumda tutulmaya çalışılır. Üçüncü amaç ise iş merkezlerinin kullanımı ile ilgilidir; makine, teçhizat ve personel açısından iş merkezini en etkin kullanımı amaçlanır. Çizelgeler çok basit veya karmaşık olabilir. Basit bir dolum ünitesinin çizelgelenmesi ne kadar kolaysa; bir otomobil montaj hattı için gerekli çizelge o ölçüde karmaşık ve zordur. Çizelgelemenin başarılı olabilmesi için dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır:⁴⁴

Kapasite: Kapasitenin ne olduğu bilinmelidir. Uygulanması mümkün olmayan ya da oldukça pahalı olan çizelgelerin herhangi bir faydası yoktur. Ayrıca

⁴²<http://www.karedanismanlik.com/component/content/article/58-uretim-lojistik/201cizelgelemenedir.html?directory=106>, (05.06.2010).

⁴³Ekinci, s. 4.

⁴⁴Ekinci, ss. 4-5.

kapasite sabit bir kavram değildir ve üretilen ürün çeşitlerinin miktarına göre değişir. (elektrik motoru ile jeneratör üretimi kapasitesi eşit değildir.)

Yeterlilik: Bir makine veya işçi diğerlerine göre daha kaliteli veya hızlı çalışabiliyor olabilir. Bu kavramın hangi kaynağın hangi işe atanacağına karar verirken kullanılması gerekir.

İş Gereksinimleri: Hangi kalite ve maliyet standartları istendiği, işin ne zaman bitirilmesi gerektiği veya operasyonların sırası gibi gereksinimler bilinmelidir.

Ölçüm Standartları: Zaman, maliyet, kalite ve kapasite ile ilgili bilinen her şey için ve bunların tahsisi ile ilgili standartlar oluşturulmalıdır.

M. Tanyaş'a göre Çizelgelemenin amaçları temel olarak şu şekilde sıralanabilir:

- Üretim imkânlarının en verimli şekilde kullanımı,
- Müşteri taleplerine hızlı cevap verilmesi,
- İşlerin, teslim tarihlerinde gecikme olmaması,
- Yarı ürün stoklarının minimumda tutulması,
- Fazla mesai çalışmalarından uzak durabilmektir.

İKİNCİ BÖLÜM

BENZETİM

2.1 Benzetim Kavramı

Batı dillerinde benzetim karşılığı olarak şu terimler kullanılır: Simulation (Almanca, Fransızca, İngilizce), simulazione (İtalyanca), simulación (İspanyolca), simulação (Portekizce) ve simulatie (Felemenkçe). Bu terimler, “benzer” anlamına gelen “similis” kökünden gelen, bir şeyin benzerini (taklidini) yapmak demek olan ve 14. yüzyıldan beri Latince kullanılan “simulare” sözcüğünden türetilmiş olup, teknik olmayan anlamda, bir şeyin benzeri veya sahtesi anlamında kullanılır. Bu terimler ancak 20. Yüzyılda teknik bir anlam kazanmıştır. Günümüzde, Batı dillerinde benzetim terimi teknik olan ve olmayan anlamları ile kullanılmakta ve yerine göre hangi anlama geldiği anlaşılmaktadır.⁴⁵

Benzetim, özellikle problemin boyutunun ve karmaşıklığının analitik tekniklerin kullanımını zorlaştırdığı ya da imkânsızlaştırdığı durumlarda başvuru analitik bir yaklaşımdır.⁴⁶

Benzetim gerçek bir sistemin istatistiksel yaklaşımla canlandırılması ve amacına uygun olarak sonuçların maksimum faydaya göre yorumlanması ile günümüzde var olan darboğazların vb. çözümü için son zamanlarda yoğun şekilde kullanılan bir bilim dalıdır.

Bir benzetim modeli, temel olarak ne-eğer (“what-if”) analizlerinin yapılmasını sağlayan bir araç olarak ele alınmalıdır. Kullanıcısına değişik tasarım ve işletim stratejilerinin genel sistem performansı üzerindeki etkisini gösterir. Benzetim, teoriksel ya da gerçek fiziksel bir sisteme ait neden sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışların bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir.⁴⁷

⁴⁵Tuncer Ören, Benzetim: Temel Kavramlar ve İlerlemeler, **Türkiye Bilişim Ansiklopedisi**, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2006, s. 144.

⁴⁶B. Richard Chase ve J. Nicholas Aquilano, **Production and Operations Management; A Life Cycle Approach**, Richard D. Irwin Inc., USA, 1981, S: 369.

⁴⁷<http://www.uytes.com.tr/simulasyon/simulasyon.html> (03.03.2009).

Benzetim, ayrıca her bir tesadüfî değişkenin sahip olduğu frekanslardan elde edilen tesadüfî değişkenlerin olasılık dağılımlarının kullanımı ile amaca yönelik sonuçların bulunabildiği bir yöntemdir.⁴⁸

Benzetim, toplamak gerekirse gerçek hayattaki pek çok sorun için vazgeçilmez bir problem aracı olmakla birlikte sistemin davranışını tanımlamak, analiz etmek ve “.... Olursa ne olur?” sorularına cevap vermek için kullanılabilir.

Niçin Benzetim sorusunun cevabını Türkiye’nin benzetim alanındaki öncülerinden Tuncer Ören bir makalesinde aşağıdaki gibi cevaplamıştır.

Deneyim kazanmanın ya da deneyin gerçek sistem yerine bir modeli ile yapılması gerektiği durumlarda benzetim gerekli olur. Bu durumlar şöyle özetlenebilir:⁴⁹

- Gerçek sistemin olmaması,
- Gerçek sisteme erişimin kolay olmaması,
- Gerçek sistemle deneyin tehlikeli olması,
- Gerçek sistemle deneyin rahatsız edici olması,
- Analitik çözüm tekniklerinin olmaması veya zor olması,
- Sistemin çok yavaş veya çok hızlı olması,
- Ekonomi.

2.2 Geçmişten Günümüze Benzetim

Değişik biçimlerde tanımlanan benzetim, işletmecilik alanına yeni giren bir kavram olmasına rağmen, kökeni 1940 sonlarında Von Neumann ve Stanislaw Ulam’ın Los Alamos Scientific laboratuvarındaki çalışmalarına dayanmaktadır. Bilim adamları burada Monte-Carlo Analizi adı altında bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem olasılıklı olmayan matematiksel bir problemi, olasılık dağılımları kullanarak, matematiksel problemi andıran bir stokastik faaliyet üzerinde çözmeyi içermektedir. 1950’lerde bilgisayarların ortaya çıkışı benzetim tekniğinin toplumsal bilimlerde de

⁴⁸Lawrence Lapin, **Quantative Methods For Business Decisions With Cases**, Harcourt B. Inc., San Diego, 1988, s. 494.

⁴⁹Ören, (Benzetim Temel Kavramlar ve İlerlemeler), s. 149.

kullanımını oldukça yaygınlaştırmıştır.⁵⁰

Yüzyılımızın son yarısında, eğitimden eğlenceye, taşımacılığa ve animasyona kadar, modelleme ve benzetim çok hızlı bir şekilde ilerlemiştir. Son 40 yılda benzetim dillerinin ve paket programlarının gelişimi ve sayısının artması, benzetimin kullanılma şekilleri ile kullanım alanları da çarpıcı bir şekilde arttırmıştır.⁵¹

Benzetim, 1950 ve 1960'lı yılların sonlarına doğru, genellikle büyük sermaye yatırımları gerektiren şirketlerin kullandığı, çok pahalı ve özel alanlarda kullanılan bir araç idi. Bu şirketler, FORTRAN gibi programlama dilleri ile büyük ve karmaşık benzetim modellerini geliştirmek için uzman kişilerden oluşan çalışma grupları kurmuşlardı. Geliştirilen modeller daha sonra büyük bilgi işlem merkezlerinde çalıştırılıyordu. O yıllarda bu makinelerin kullanım maliyeti, çok yüksekti. Günümüzdeki kişisel bilgisayarlar, bu makinelerden çok daha güçlü ve hızlıdır. Benzetimin asıl gelişimi 1970'li yılların sonlarında olmuştur. İşlem hızı yüksek bilgisayarların maliyeti oldukça düşmüş ve benzetim çok farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Aynı zamanda, bu süreç içerisinde benzetim üniversitelerde endüstri mühendisliği, yöneylem araştırması ve işletme derslerinin standartlaşan bir bölümü haline gelmişti. Benzetimin endüstri alanındaki hızlı ilerleyişi, üniversiteleri benzetimi daha kapsamlı bir şekilde ele almaya zorlamıştır. Gelişen taleple beraber bu konuda çalışan araştırmacı ve öğrencilerin sayısı da artmıştır. Son zamanlarda modern yönetim biliminde önemli bir araç olarak benzetimin kullanıldığı gözlenmektedir. Benzetim kullanımı 1980'li yılların sonuna gelindiğinde kişisel bilgisayarların kapasitelerinin de artmasıyla iş dünyasına yerleşmişti. Benzetim günümüzde, hem var olan sistemlerin analizinde bir analiz aracı hem de tasarımı halindeki sistemlerin analizinde bir tasarım aracı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır.⁵²

Çok iyi bir animasyon yeteneğine sahip olması, kullanım kolaylığı, bilgisayarların kapasitelerindeki gelişme, diğer paket programlarıyla kolay uyumu ve simülasyonların gelişmesi, benzetimi birçok firma için standart bir araç haline getirmiştir. Ayrıca benzetimin uygulama şekli de değişebilmektedir; sistemlerin

⁵⁰Halil Sariaslan, **Sıra Bekleme Sistemlerinde Simülasyon Tekniği**, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları: 557, Ankara, 1986, s. 37.

⁵¹http://www.turk-ie.org/index.php?option=com_content&view=article&id=108:simulasyon-uygulamalar-1&catid=48:diger&Itemid=57 (17.05.2010).

⁵²Pelin Kuş, **Simülasyon Uygulamaları**, Kara Harp Okulu, Ankara, 2004, s. 53.

tasarım aşamasında kullanılan benzetim programları, yapılan herhangi bir değişiklikle sistemin farklı alanlarında kullanılabilir.⁵³

Benzetim, yüzlerce uygulama alanına altyapı sağlayan bir teknoloji olmasının dışında aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı hâlâ ilerlemeye açık bir bilim ve teknoloji alanıdır. Bilgisayar donanım ve yazılım niteliklerindeki gelişmeler, karmaşık sistemlerin modellerinin yapılabilmesine olanak sağlayan sistem kuramlarındaki gelişmeler, uygulama alanlarındaki artan bilgi ve kullanıcıların daha yetenekli benzetim sistemlerine olan gereksinimleri. Benzetim konusunda hâlâ ilerlemeye açık konuların bir kısmı aşağıda belirtilen gruplarda toplanabilir.⁵⁴

- Modelleme ve benzetimin bilim, yöntembilim ve teknolojisi,
- Modelleme ve benzetimde güvenilirlik, nitelik ve etkinlik,
- Uygulama alanları,
- Modelleme ve benzetim bilgisinin birleştirilmesi ve yaygınlaştırılması,
- Modelleme ve benzetimde profesyonellik.

2.3 Benzetim Yönteminin Kullanıldığı Durumlar

Benzetim, stokastik ya da deterministik sistemlerin tasarımlarının yapılması ya da geliştirmesi amacıyla yönelik olarak kullanılabilir. Burada ifade edilen stokastik sistemler Markov zincirlerinin ve kuyruk sistemlerinin örneklerine benzerdir. Böyle durumlarda sistem içinde gerçekleşen çeşitli olaylar şansa bağlı olarak üretilerek, bunların olasılık dağılımlarının kullanımıyla gerçek sistemin performansı örneklendirilmiş olur.⁵⁵

Benzetim, geleneksel istatistiksel tekniklerle de kullanılabilir. Ayrıca, benzetim çalışanların eğitimi ve sistemi nasıl idare edecekleri, matematiksel ve örgütsel ilişkiler ile ilgili yeni teorilerin geliştirilmesinde de yararlıdır.⁵⁶

Benzetim yönteminin etkin olarak kullanılması, bilgisayar kullanımı ile daha da artmıştır. Bu nedenle çoğu kez benzetim terimi yerine “bilgisayarla benzetim” terimi kullanılır olmuştur. Bilgisayarla yapılan benzetimin en önemli dört özelliği ise

⁵³Kuş, s. 54.

⁵⁴Ören, Benzetim: Temel Kavramlar ve İlerlemeler, s. 4.

⁵⁵S. Frederick Hiller ve Gerald J. Lieberman, **Introduction to Operations Research**, Mc Graw-Hill Publishing Company, New York, 1990, s. 857.

⁵⁶Chase ve Aquilano, s. 369.

şunlardır;⁵⁷

- Benzetim uygulaması firma, endüstri, ekonomi ve/veya bunların oluşturduğu birimler üzerinde yapılabilir.
- Deneyler (veya denemeler) mantıksal veya matematiksel modeller üzerinde yapılır.
- Benzetim denemeleri sayısal ve karma bilgisayarlar ile yapılır.
- Denemeler uzun bir zaman periyodunda stokastik veya dinamik koşullar altındadır.

Benzetim; kararların sonuçlarını ve gidişatlarını tahmin etmekte gözlemlenen sonuçların sebeplerini belirlemede, yatırım yapmadan önce problem alanlarını belirlemede, değişikliklerin etkilerini ortaya çıkarmada, bütün sistem değişkenlerinin bulunmasını sağlamada, fikirleri değerlendirmede ve verimsizlikleri belirlemede, yeni fikir geliştirmeyi ve yeni düşüncüyü teşvik etmede, planların bütünlüğünü ve fizibilitesini test etmede kullanılır.⁵⁸

Benzetim temel anlamda, sistemin operasyonel yönlerini ortaya çıkarmayı hedefler. Yani ne, ne zaman, nerede ve nasıl sorgulamalarının yapıldığı görev alanları üzerinde yoğunlaşarak ele alınan sistemin bahsi geçen yönlerini analize uygun hale getirir.

Benzetimin çok fazla sayıda ve çok fazla özellikli değişkeni tek bir modelde toplayabilme özelliği, bugünkü karmaşık sistemlerin tasarımı için vazgeçilmez bir araç olmasını sağlamaktadır. Bir üretim sisteminde, iş parçalarının, aletlerin, paletlerin, taşıma araçlarının, taşıma yollarının, işlemlerin vs, mümkün olan kombinasyonları, permütasyonları ve bunların sonucundaki performans değerlendirmeleri neredeyse sonsuzdur. Pratik sistemleri tasarımı için bilgisayar sistemi bir gereklilik olmuştur.⁵⁹

2.4 Benzetim Türleri

Monte - Carlo Benzetimi ile başlayan benzetim tekniği sayesinde analitik işlemleri çok karışık ve deneysel işlemleri de çok pahalı olan nükleer savunma

⁵⁷Yüksel İşyar, **Ekonometrik Modeller**, Ceren Basım Yayın, Bursa, 1999, s. 621.

⁵⁸<http://gribaykus.blogcu.com/simulasyon/35103> (18.05.2010).

⁵⁹http://www.donusumkonagi.net/makale.asp?id=2295&baslik=karakar_vermenin_zorlugu&i=modelleme (18.05.2010)

problemleri başarıyla çözülmüştür. 1950 yılı başlarında sayısal bilgisayarların gelişimi ile benzetim kelimesi başka anlamlarda kazanmıştır. Bu sayede sosyal bilimciler de fizik ve kimyacılar gibi laboratuvar deneylerine benzer deneyleri bilgisayarda gerçekleştirme olanağı bulmuştur.⁶⁰

Ekonominin ve sanayinin çoğu problemleri çok karmaşık olup, deneysel olarak incelemek ya da matematiksel olarak kesin bir çözüm bulabilmek oldukça zordur. Bu gibi durumlarda yaklaşık çözüme götüren tekniklere, sezgisel yaklaşımlara, daha doğrusu sistematik denemeye, modele uygun sayısal denemeye dayanan metotlara başvurulmaktadır.

Yukarıda ifade edilen bu metotlar belli ana başlıklar halinde sıralanacak olursa, bunlarla ilgili dört benzetim çeşidi mevcut olup; şunlardır:⁶¹

1. Monte - Carlo Benzetimi
2. Sürekli Sistem Benzetimi
3. Kesikli Olay Benzetimi
4. Karma Benzetim

2.4.1 Monte Carlo Benzetimi

Monte Carlo Benzetimi, fiziksel ve matematiksel bazı sistemlerin benzetiminde kullanılır. Genelde rastlantısal değişkenlerin sisteme etkisinin incelenmesi için kullanılır. Genelde rastlantısal değişkenler için rastgele sayılar üreten bir algoritma ile çalışır. Monte Carlo Benzetimi yapılacak değişkenler belli bir istatistiksel dağılıma uyacak şekilde üretilebilir. Bunun için olasılık dağılım fonksiyonunun (*PDF*) tersi kullanılır. Bilgisayar tarafından belirli bir aralıkta [0 - 1] düzenli (*uniform*) olarak üretilen rastgele sayılar olasılık dağılım fonksiyonlarının tersi kullanılarak kolaylıkla herhangi bir dağılıma dönüştürülebilir.⁶²

Örneğin iki tesadüfi değişkene (X_1, X_2) bağlı olan Y değişkeninin bu değişkenlerle olan ilişkisi f fonksiyonuyla tanımlanmış olsun.

$$Y = f(X_1, X_2)$$

⁶⁰Osman Halaç, **Kantitatif Karar Verme Teknikleri**, 3. Baskı, Evrim Dağıtım, İstanbul, 1991, s. 335.

⁶¹Zekai Yılmaz, **Sayısal Yöntemler**, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa, 1988, ss. 203-204.

⁶²Kenan Bozkaya, "A study on the reliability analysis during preliminary design - A rocket motor example", (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006, s. 42.

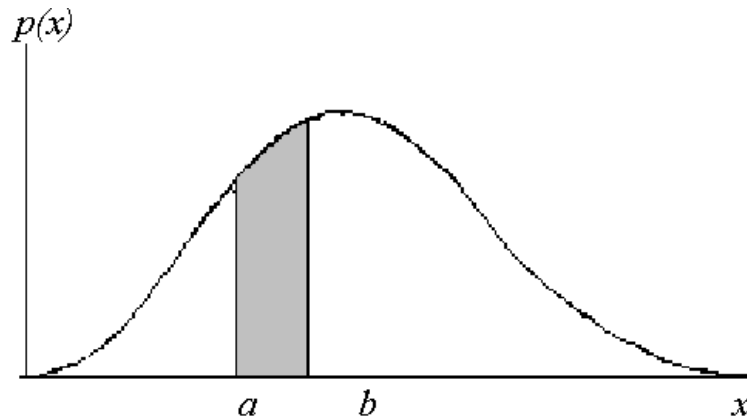
Eğer X_1 ve X_2 değişkenlerinin dağılımı belliyse (örneğin: Normal Dağılım) ve aynı zamanda dağılım özellikleri de biliniyorsa (μ_x : Ortalama ve σ_x : Standart sapma) X değerleri için defalarca rastgele sayılar üretilerek f fonksiyonuyla Y değerleri hesaplanabilir. Buradan da Y ile ilgili istatistiksel bilgilere ulaşılabilir. Ne kadar çok örnekleme yapılırsa o kadar iyi sonuçlar elde edilir. Monte Carlo benzetimi analitik olarak sonuç veremeyecek derecede karmaşık derecede integral denklemlerinin çözümü gibi çok boyutlu fizik problemlerinde de kullanılmaktadır.⁶³

Monte Carlo Benzetim yöntemi, iki farklı sınıftaki problemlerin çözümünde kullanılabilir. İlk problem tipi için Monte Carlo metodu, olasılık dağılımlarından veritabanı simüle etmek için geliştirilebilir. İkinci sınıf problemlerde ise, kümülâtif dağılım fonksiyonunun fonksiyonel ilişkilerini ve deterministik bir problemin çözüm gereksinimlerini karşılayan bir stokastik süreç benzetimi ile yaklaşık çözümler olası olabilir.⁶⁴

2.4.2 Sürekli Olay Benzetimi

Sürekli sistem benzetimi, bir sistemin modellenmesi ile ilgili durum değişkenlerinin zamana bağlı olarak sürekli değişim içinde olduğu temsili bir modeldir.⁶⁵

Şekil 2: Sürekli Dağılım Grafiği



⁶³Reuven Y. RUBINSTEIN, “Simulation and the Monte Carlo Method”, John Wiley and Sons Inc., U.S.A., 1981, s. 11.

⁶⁴İlhan Ege, “Finansal Piyasalarda Kurumsal Yatırımcılar Ve Senaryo Analiziyle Portföy Optimizasyonu”, **TÜİK İstatistik Araştırma Sempozyumu Bildiriler Kitabı**, 2006, s. 146.

⁶⁵J.Robert Thierauf ve Robert C. Klekamp, **Decision Making Throught Operations Research**, John Willey and Sons, Inc., New York, 1975, ss. 454-455.

Kaynak: <http://www.fao.org/docrep/003/x6831e/X6831E04.htm>

X eksenini ile sınırlandırılan eğrinin altındaki alan bire eşit olmakla birlikte, a ve b noktaları arasında kalan ise X'e ait olasılığı verir. $P(a < X < b)$ olarak gösterilen bu değere $f(x)$ yani olasılık yoğunluk fonksiyonu denir. Böylelikle X'in sürekli olasılık dağılımını tanımlanmış olur ve x değişkeni sürekli bir değişken olacaktır.

Sürekli benzetim dili, ellili yılların sonunda analog bilgisayarların simülatörü olarak geliştirilmiştir. Analog bilgisayarlarda benzetim, davranışları araştırılan sistem olarak, aynı matematik model tarafından tanımlanan (diferansiyel denklemler takımı) analog elektronik sistemin oluşturulması esasına dayanır. Elektronik sistem genelde integratörler, toplayıcılar ve diğer fonksiyonel birimler olarak davranmak için değiştirilmiş işlemsel yükselticilerine dayanan standart blokların iç bağlantısıyla oluşturulur. Kullanıcı sonra belirli çıkış noktalarında (Osiloskop, çizici) uygun voltaj girişlerinin uygulanması ve voltajların kaydedilmesiyle ve bu elektronik sistem yardımıyla deneyleri yapar. Voltajın değişmesi, fiziksel davranışları tümünden farklı olabilecek (mekanik yer değiştirme, sıcaklık, vs.) orijinal sistem içerisindeki değişimleri tanımlayan fonksiyonla aynı olan zaman fonksiyonunu gösterir. Analog bilgisayarların ana problemi, bazı fonksiyonların türetilmesi, gecikmelerin veya diğerlerin türetilmesi gibi belirli işlemlerin analog olarak yürütülmesidir. Dijital bilgisayarlar bütün bu fonksiyonları çok basit olarak yapar ve bugün sürekli benzetim sadece dijital bilgisayarlar üzerinde yapılır. Analog bilgisayarların iyi olduğu tek alan bütünleşmedir.⁶⁶

Bir başka ifade ile Sürekli Olay Benzetimi, davranışları zamanla birlikte sürekli değişim gösteren sistemlerle ilgilenmektedir. Sürekli sistemlerin benzetimi genelde, sistemin farklı elemanları arasındaki etkileşimin birtakım diferansiyel denklemlerle ifade edildiği modellerdir. Dünya nüfusundaki hareketliliğin araştırılması buna tipik bir örnek olarak verilebilir.⁶⁷

2.4.3 Kesikli Olay Benzetimi

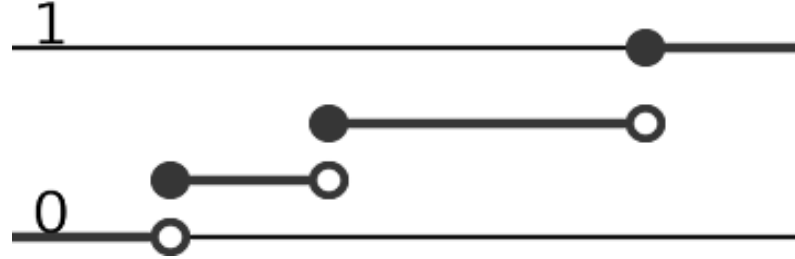
Kesikli olay benzetiminde, sistem operasyonu kronolojik olay basamakları olarak tanımlanır. Her olay bir anda gerçekleşir ve sistemde bir durum değişimini

⁶⁶Asaf Varol, "Benzetim", Yayınlanmış makalesi, 1999, s. 5.

⁶⁷A. Hamdy Taha, **Yöneylem araştırması**, Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San Tic. Ltd. Şti., Beyoğlu - İstanbul, 2000, s. 671.

gösterir. Örneğin; 6. kat düğmesine basıldı gibi bir olay, asansörün hareket etmesi ve asansörün 6. katta olması (asansörün arızalanması durumu göz önüne alınmadıkça) durumlarıyla sonuçlanır.⁶⁸

Şekil 3: Kesikli Dağılım Grafiği



Kaynak:http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Discrete_probability_distribution_illustration.svg

Kesikli olay benzetiminin herhangi bir bekleme hattını modellemede nasıl oluşturulacağını öğrenirken şu alıştırma çok kullanılır: Bankadaki müşterilerin işlerinin veznedarlar tarafından görülmesi. Bu örnekte müşteri kuyruğu ve veznedarlar olmak üzere iki varlık bulunmaktadır. Sistem olayları da müşterinin varışı ve ayrılışıdır (Veznedarın hizmet vermeye başlaması olayı, varış ve ayrılış olayları mantığının bir parçası olabilir). Bu olaylar tarafından değiştirilen sistem durumları kuyruktaki müşteri sayısı (0'dan n 'ye tamsayılar) ve veznedarın durumudur (meşgul ya da boşta). Bu sistemi stokastiksel olarak tasarlamak için rastsal değişkenler tanımlanmalıdır. Bu değişkenler müşterinin varışı arası geçen süre ve veznedarın hizmet süresidir. Araba benzin istasyonuna vardığında veya ayrıldığında, zamana bağlı olarak belirgin noktalar olarak işaretlenir. Bu işlemleri olaylar olarak adlandırıyoruz. Burada iki ardışık olay arasında başka bir şey vukuu bulmamaktadır ve dolayısıyla çizgi yataydır. Eğer olayların sayısı sonlu ise, benzetimi kesikli olaylar olarak adlandırıyoruz.⁶⁹

Kesikli benzetim, kesikli zaman noktalarında dinamiklerine ait (çıkartma işlemlerinin seviyesi nedeniyle) olayların silsilesi olarak göz önüne alınan sistemlerle uğraşır. Kesikli benzetim dilinin püf noktası, model içinde etkinliklerin özel sırasını kontrol etmektir. Bu aynı zamanda dili kullandığında bir kullanıcının “çevreyi

⁶⁸ Michael Pidd, “Computer simulation in management science - Fourth edition”, Wiley Inc., U.S.A., 1998. s. 260.

⁶⁹ Stewart Robinson, **Simulation: The Practice of Model Development and Use - Kindle Edition - Kindle Book**, Wiley Inc. 1. Edition, USA, 2004, s. 620.

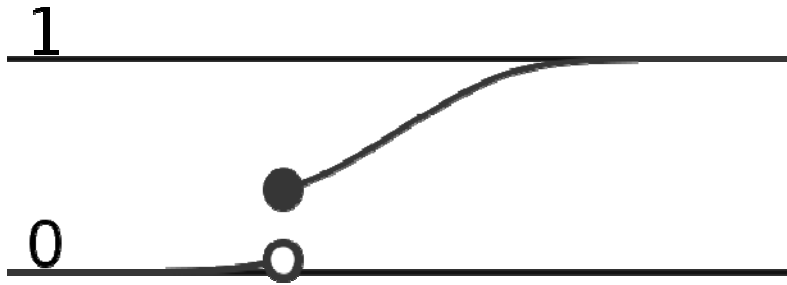
görmesi” ve kesikli benzetim dilinin sınıflandırılması için bir temelin oturtulması yoludur.⁷⁰

Kesikli olay benzetimini sürdürmek için birçok mekanizma ortaya atılmıştır. Olay tabanlı, etkinlik tabanlı, süreç tabanlı ve üç evreli yaklaşım da bunların arasındadır. Üç evreli yaklaşım birçok ticari benzetim yazılım paketinde kullanılır, ancak genellikle kullanıcının bakış açısından benzetim yönteminin altında yatan özellikler gözükmez.⁷¹

2.4.4 Karma Benzetim

Bir sistemde, bazı durum değişkenleri sürekli ve diğerleri de kesikli olarak değişiyorsa bu sistem birleştirilmiş sistem olarak sınıflandırılır. Bazı fiziksel sistemler olan (Süreç endüstrileri, rafineri içeren endüstriler, kimyasal fabrikalar vb.) birleştirilmiş sistem benzetimi uygulama alanları olarak sınıflandırılmaktadırlar.⁷²

Şekil 4: Karma Dağılım Grafiği



Kaynak: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Discrete_probability_distribution_illustration.svg

Karma benzetimde, modele ait bağımlı değişkenler kesikli, sürekli veya kesikli sıçramaların da bulunduğu sürekli bir yapıyla değişebilir. Zaman değişkeni kesikli veya sürekli olabilir. Karma benzetim en önemli göstergesi kesikli ve sürekli olarak değişme gösteren değişkenler arasındaki karşılıklı etkileşimdir. 3 çeşit temel etkileşim vardır.⁷³

1. Bir sürekli değişkenin değerinde kesikli bir değişim meydana getirebilir.

⁷⁰ Varol, s. 5.

⁷¹ [Http://tr.wikipedia.org/wiki/Kesikli_olay_simulasyonu](http://tr.wikipedia.org/wiki/Kesikli_olay_simulasyonu) (05.03.2010).

⁷² Behrokh Khoshnevis, **Discrete Systems Simulation**, Mc GrawHill Inc., Singapore, 1994, s. 15.

⁷³ Kıvanç Aydın, " İstanbul Deniz Otobüsleri Seferlerinin Benzetim Yardımıyla Planlanması", (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, s. 20.

2. Eşik değerine ulaşmayı başaran bir sürekli durumun değişkeni içeren bir olay başka bir olayın meydana gelmesine ya da programa alınmasına neden olabilir.
3. Sürekli değişkenlerin fonksiyonel tanımı kesikli zaman aralıklarında değiştirilebilir.

2.5 Üretimde Kullanılan Benzetim Programları

İlk bilgisayar benzetim programları 1950'li yıllarda görülmeye başlanmıştır. Bu yıllarda benzetim programlarında FORTRAN programlama dili kullanılmıştır. 1960'lı yıllarda ise ilk özel benzetim dilleri ortaya çıkmaya başlamıştır. GPSS ve SIMULA bunlara örnek verilebilir. 1970 yılından itibaren bilgisayar teknolojisindeki büyük atılımlar sonucunda ilk görsel ve kullanıcı ile etkileşimli benzetim dili SEE-WHY geliştirildi. 1980 ve 1990'lı yıllarda kişisel bilgisayar ve işletim sistemlerindeki gelişmeler ile çok çeşitli benzetim programları geliştirilmiş ve sahip oldukları özelliklerle (üç boyutlu animasyon, farklı veritabanlarını kullanabilme, nesne tabanlı programlama) kullanıcıya her türlü desteği vermeye çalışmaktadır.⁷⁴

Bu uzun süreçte yoğun olarak kullanılan bilgisayar yazılımları ise GPSS, GASP, SIMSCRIPT, AUTOMOD II, SIMULA, Simfactory II.5, Simscript, Slam, Witness, Dynamo, SIMAN, Simul8, Arena, Flexsim ve ProModel'dir.

2.6 Güncel Benzetim Programlarının Karşılaştırılması

Yapılan çalışmada, ilk kullanılmaya başlayan programlardan sonra gelişim sürekli devam ettiğinden, günümüzde benzetim yapabilen program sayısı oldukça fazla olsa da, günümüzün en güçlü sayılabilecek en yaygın kullanılanları karşılaştırılmıştır. Bu programlar ise ProModel, Arena ve Flexsim yazılımlarıdır.

2.6.1 Arena

Rockwell Arena, Rockwell Automation tarafından geliştirilen bir benzetim ve otomasyon yazılımı olmakla birlikte SIMAN benzetim dilini kullanan Arena'nın son sürümü 13.5 web sürümüdür. Arena bir şirketin üretim sürecini simüle etmek ve

⁷⁴Robinson, s. 157.

performansını ölçmek için kullanıldığı gibi akademik amaçlarla da kullanılabilir. Sürecin simüle edilmesiyle birlikte, sistemin gerçek hayatta yapacaklarını önceden deneyerek zaman ve kaynak tasarrufu edilmiş olur.

Arena'da farklı biçimlerdeki modüller ile deneysel bir model oluşturulur. Bağlayıcı çizgiler bu modülleri birleştirmeye ve varlıkların (entity) akış yolunu belirlemeye yarar. Olasılık dağılımlarından yararlanılarak sürecin rastsalılığı kuralla bağlanır. Örneğin bir lokantaya gelen müşterilerin dakikada beklenen değeri 4 olan üstel dağılıma uyması gibi.⁷⁵

Arena istatistiksel verilerin alınması için de kullanışlıdır. Kuyruklardaki ortalama varlık sayısı, kuyruktaki maksimum ve minimum varlık sayısı, kaynağın kullanımda olduğu süreler gibi değerler elde edilebilir. Ayrıca üretimde hatalar, makinelerde arıza, yemek arası, molalar, belirli mesai saatleri belirlenerek model gerçekçi hale getirilir. Arena benzetim programını kişi, kurum ve kullanım amaçlarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz.⁷⁶

Student Edition: Öğrencilerin yazılımı öğrenmeleri amacıyla hazırlanan ücretsiz sürümdür. Ticari olmayan amaçlar için kısıtlı modeller içerir.

Research Edition: Üniversitelerde benzetim öğretimi gibi akademik kullanım amaçlıdır. Ticari olmayan kullanımı dışında Professional Edition'dan farkı yoktur.

Basic Edition: Giriş düzeyindeki sürümdür. Yalnızca temel şablonları içerir.

Professional Edition: Genel amaçlı sürümüdür. Yaygın olarak kullanılan araçları ve modülleri içerir. Ayrıca kullanıcıya kendi özel şablonlarını oluşturma olanağı sunar.

Enterprise Suite: Arena'da kullanılabilecek tüm araçları ve şablonları içerir.

Arena programı, başarılı bir benzetim için gerekli olan animasyon, giren ve çıkan verinin analizi gibi fonksiyonları ayrıntılı ve kapsamlı bir şekilde içermektedir.

Arena, Windows altında çalıştığı için araç çubukları, menüler ve pencerelerle çalışmak konusunda büyük kolaylıklar sağlar. Arena yazılımının gücü üretim, sağlık sektörü, akış hatları, bilgisayar ağları gibi ortamlarda özel uygulamalara imkân vermesinden ileri gelmektedir.

⁷⁵A. David Takus ve M. David Profozich, "Arena® Software Tutorial", **Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference**, Atlanta, Georgia, 1997, s.541.

⁷⁶W. David Kelton, Randall P. Sadowski ve Nancy B. Swets, "Simulation with Arena - Fifth Edition", McGraw-Hill Inc., U.S.A., 2010, ss. 22-25.

2.6.2 Flexsim

Dünyanın lojistik modelleme konusunda lider benzetim markalarından biri olan FLEXSIM, lojistik süreçler (depo, dağıtım, envanter vb.) ne kadar karmaşık veya detaylı olursa olsun daha sağlıklı karar verme noktasında eldeki işi modelleme için güçlü ve esnek modelleme yeteneği sunmaktadır. Sonuç olarak yatırım yapmadan önce, karar vermeden önce sonuçlarını hemen ölçülebilecek bir fırsat sunan benzetim, FLEXSIM ile daha esnek ve sonuç verici olarak yönetim karar destek sistemi olarak yerini almıştır. FLEXSIM ile lojistik optimizasyon, verimlilik geliştirmeleri ve değişik senaryolara uyarlanabilen planlama çalışmaları için uzun dönem çözümleri sunulabilmektedir.⁷⁷

Flexsim, C++ ile geliştirilmiş nesne tabanlı bir kesikli olay simülatörüdür.

Flexsim genellikle aşağıdaki amaçlar için kullanılmaktadır:⁷⁸

- Depoların modellenmesinde
- Ara stokların azaltılması
- Kaynak ve/veya makine kullanım kapasitelerinin iyileştirilmesinde
- Yerleşim planlaması yaparken
- Ekipman ve kaynak planlaması yaparken
- Malzeme ihtiyaç planlaması yaparken
- Darboğaz ve kısıt analizi
- Montaj hattı dengelemesi

Bu sayılan amaçlar, grafiksel olarak 3 boyutlu animasyonlar eşliğinde ve istatistiksel olarak grafikler ve raporlar şeklinde analiz edilebilir.

Flexsim cevapladığı sorular ise şu şekildedir:⁷⁹

- Hangi sayıda ve tipte makine veya iş merkezi kullanılmalı,
- Mevcut sistemin üretim kapasitesi ne kadar,
- Malzeme taşıma sistemlerinde ne sayıda ve büyüklükte malzeme taşıma sistemi kullanılmalı,
- Optimum depo ve tampon depo sayısı ve büyüklüğü ne kadar olmalıdır,

⁷⁷<http://www.lojitek.com/index.asp?kmg=11&varLang=T> (18.05.2010).

⁷⁸Ceyda ŞEN, "Üretimde Simülasyon ve Uygulamaları", 22.03.2010, http://yildiz.edu.tr/~cgungor/uretimdesimulasyon/lecturenotes/5.ders_22.03.pdf (20.05.2010), s. 7.

⁷⁹Malcolm Beaverstock, Eamonn Lavery ve William Nordgren, **Applying Simulation with Flexsim**, Preview Edition, Utah, 2008, s. 3.

- İş merkezlerinin işletme içinde en iyi yerleşimi nasıl olmalıdır,
- Mevcut kaynakların verimli kullanım yüzdeleri ne kadardır,
- Bir süreç veya işlem üzerinde yapılan değişikliğin bütün üretim süreçlerine olan etkisi ne olur,
- İş akışının yaratacağı malzeme birikimleri, verimsizlikler, atıl kapasite nedir,
- Darboğaz yaratan kaynaklar,
- Genel ve yerel depolama sistemlerinin ve envanter seviyelerinin sistem üzerindeki etkisi,
- Tesis içi malzeme akışında, taşıma bandı gibi taşıma sistemlerinin hızlarının etkisi,
- Üretimin gerekli siparişleri karşılaması için vardiya sayısı,
- Optimum üretim parti büyüklüğü,
- Değişik ürün kombinasyonlarının üretim üzerine etkisi,
- Bir üretim planının ne kadarı zamanlandığı sürede tamamlanabilir,
- Envanter politikasının üretime olan etkisi, gibi sorular bu yazılım yardımı ile cevaplanmaya çalışılır.

2.6.3 ProModel

ProModel, (MedModel ve ServiceModel eklentileriyle birlikte) öğrenilmesi kolay, kişisel bilgisayarların kullanımı için tasarlanmış güçlü benzetim araçlarıdır. MedModel eklentisi Sağlık sektörü temel alınarak, Service Model ise Servis Sistemleri dediğimiz sistemleri modelleme için yapılandırılmıştır. Programlama yapıları C ve Pascal programlama dillerini karmaşık karar verme mantığının modellenmesi için kullanabilme yeteneği, ProModel'i mevcut yazılımlar arasında en esnek ürünlerden biri yapmaktadır. Ayrıca kullanımı kolay ve çeşitli girdi olasılık dağılımlarını, takvime, meşguliye veya parçaların bitirilmesine bağlı olarak makinelerin çalışmadığı zamanları içeren iyi bir istatistiksel yapı oluşturabilmesi ve istenildiğinde otomatik olarak ardışık tekrarlı benzetim yapabilmesi şeklinde diğer programlara kıyasla ekstra bir yeteneği vardır.

ProModel, özellikle üretim sistemlerinin benzetiminde kullanılan, kesikli ve sürekli olay modellemesi yapabilen, kullanımı ve öğrenmesi kolay, bütün Microsoft

Windows platformlarında çalışan bir benzetim yazılımıdır. Üretim sistemlerinin karakteristiklerinin tam olarak modellenmesi için kullanımı kolay bir araçtır. Eski nesil benzetim dillerinin hantallığından uzak bir yazılım olan ProModel, yerleşik sistem fonksiyonları, önceden tanımlı hazır yapıları, kullanıcı dostu ara yüzü ve kolay modelleme yaklaşımı ile kullanıcının, sistemdeki problemleri kolaylıkla bulmasını ve alternatif çözümleri deneyebilmesini sağlar. ProModel, mühendis ve yöneticilere, geliştirdikleri yeni düşünceleri mevcut sisteme uygulamadan önce deneme şansı vererek zaman ve kaynakların gereksiz kullanımını engellemektedir. ProModel, kaynak kullanımı, üretim kapasitesi, verimlilik ve stok seviyesi gibi konuları ele almaktadır. Üretim sisteminin bu tür önemli elemanlarını modelleyerek, en iyi sonuçlara ulaşmak için farklı operasyon stratejileri geliştirilebilir.

Hâlihazırda çalışan sistemi herhangi bir şekilde kesintiye uğratmadan, sorunların çözümlerini deneyebilir, *"what if"* analizi yapabilir, kapasite artırımı gibi sistemde değişiklik gerektiren yatırımların sonucunda sistemin ne olacağını önceden kestirebilirsiniz.

Sistemdeki bir takım hedeflere göre (üretimin arttırılması ve aynı zamanda kaynakların boş kalma sürelerinin minimuma indirilmesi gibi), sistem içindeki operatör sayıları, makine kapasiteleri, kafiye büyüklükleri vs. gibi bir takım parametrelerin optimum değerlerinin bulunmasını kolaylaştıran bir optimizasyon modülü de içeren ProModel'in bu özelliği ProModel'i gerçek anlamda optimizasyon yapabilen bir benzetim yazılımı haline getirmektedir. ProModel'in kullandığı modelleme yapısı ve kullanıcı grafik arayüzü ile model kurulabilmektedir. Kullanıcıdan malzeme akışı ve operasyon mantığı istenmektedir. Otomatik hata kontrolü ve geçerlilik testi ile modelin istenilen sisteme uygun olması sağlanmaktadır. Benzetim süresince sistemin animasyonu ekrana getirilmektedir. Benzetim sonunda, kaynak kullanım etkinliği, verimlilik ve envanter seviyeleri gibi performans ölçütleri hesaplanmakta ve grafik olarak ekrana getirilmektedir.

Windows diğer uygulamalarla ProModel arasında bir arayüz oluşturarak veri girişini kolaylaştırmaktadır. Örneğin, çizelgeleme verileri bir tablolama programından direkt olarak yapılabilmektedir.

ProModel'i varolan sistemlerin yanısıra, yeni kurulması planlanan fabrika, bölüm, montaj hattı vs. gibi henüz kurulmamış yapıların tasarımında kullanabilir,

önceden tahmin edilmesi zor olan problemleri yatırımınızı yapmadan önce bulabilirsiniz.⁸⁰

ProModel'in yaygın olarak kullanıldığı alanlar arasında;⁸¹

- Ara stokların azaltılması,
- Kaynak ve/veya makine kullanım kapasitelerinin iyileştirilmesi,
- Yerleşim planlaması,
- Ekipman ve kaynak planlaması,
- Malzeme ihtiyaç planlaması,
- Darboğaz ve kısıt analizi,
- Yeni operatör eğitimi,
- Detaylı AS/RS modellemesi,
- Montaj hattı dengelemesi,
- "What-if" analizi sayılabilir.

Grafik tasarımı açısından Arena, ProModel ve Flexsim arasında belki en yetersizi ProModel gibi görünse de, “kullanıcı dostu” denilen tabirle, basit ara yüzü, kullanım kolaylığı ve erişilebilir literatürü ve programın kullanım kitabı CD’sinin olması, diğer bahsi geçen programların önüne geçmesine imkan tanımaktadır. (Bkz. HARRELL C., GHOSH B., ROYCE B., Simulation Using ProModel 2nd Edition with Cd).

Grafik altyapısı kullanıcı tarafından yetersiz bulunursa, 3D Animatör eklenti paketi ile oldukça profesyonel görüntülü bir sistem de oluşturulabilir.

ProModel firması pahalı bir program fiyatı belirlese de, akademik sektör için oldukça cazip fırsatlar sunmakta ve bilgi paylaşımını oldukça üst seviyede tutmaya çalışmaktadır. Programın kendi sitesinde çevrimiçi eğitim paketleri belirli miktarlar karşısında kullanıcılara sunulmakta ve aynı zamanda öğrenciler için oldukça cömert bir kuruluş izlenimi bırakmaktadır.

Özellikle CD eğitimi ile birlikte adı üstte geçen kitap, iyi düzey bir ProModel kullanıcısı yaratmakta yeterli olabilmektedir.

⁸⁰ [Http://www.kho.edu.tr/akademik/bolumbask/sisyon/sis_simulasyon/index.htm](http://www.kho.edu.tr/akademik/bolumbask/sisyon/sis_simulasyon/index.htm) (06.06.2010).

⁸¹ [Http://enm.blogcu.com/Simulasyon/sayfa/7](http://enm.blogcu.com/Simulasyon/sayfa/7) (01.04.2010).

Bu üç benzetim programı temel alınarak karşılaştırma yapılma sebebi ise, literatürde yoğunlukla bulunan GPSS, Simula, Simgen gibi programların artık eskimesi ve istenilen nitelikte modellerin kurulamamasıdır.

Bu 3 program kıyaslandığında, Arena yazılımı daha çok akademik çevre tarafından kullanılmaktadır ve bu tip uygulamalar için idealdir. Flexsim ise yenilenen yüzüyle çağımıza uygun bir 3D motoruna sahip olduğundan dolayı görsel olarak kullanıcıyı tatmin etmekle birlikte, içerik ve kullanılabilirlik yönünden ne Arena ne de ProModel kadar esnek değildir. ProModel ise yeni piyasa sürülen 3D Animator eklentisi sayesinde artık Flexsim'in gerisinde değildir ayrıca Arena yazılımı kadar da karmaşık değildir.

Temel amacı optimizasyon olan bu tip programlar arasında seçim yaparken optimizasyon yapıldığında, ulaşım, destek, eğitim, kullanım kolaylığı sebebiyle ProModel bu diğer 2 programdan bir adım öndedir.

2.7 ProModel ile Başarı Hikâyeleri

ProModel özellikle savunma sanayinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesi sayesinde, bu yazılımı öğrenmek isteyenler için “webinar” hizmetini devreye sokarak internet üzerinden seminerler düzenleyerek kullanıcıların her türlü sorusunu cevaplayabilecek bir sistem geliştirmişlerdir.

Bu şekilde yapılan bir yatırım ve akademisyenler tarafından çokça seçilen bir yazılım olması sonucunda ProModel hızlı bir şekilde yayılmaya devam etmektedir.

Bu yazılımı kullanan birçok dünya devi kurum mevcuttur ve bunlardan bazıları da Türk firmaları olan birkaç örneği şu şekilde sıralayabiliriz:

- TOFAŞ
- FORD-OTOSAN
- ARÇELİK
- BEKO
- ECZACIBAŞI
- ERDEMİR
- IVECO

Dünya çapında bu yazılımı kullanan birkaç firma ise aşağıdaki şekildedir:

- JAGUAR

- FORD
- CATERPILLAR
- CARRIER
- PFIZER
- SIEMENS
- NOKIA
- HP
- GM
- NESTLE
- INTEL
- FEDEX
- MOTOROLA
- AMERICAN EXPRESS
- LANCASTER HEALTH ALLIANCE
- THE GILLETTE COMPANY
- BOEING
- UPS

ProModel yazılımı kullanarak elde edilen başarı hikâyelerinden biri olan DuPont firması, ProModel ile çeşitli uygulamalar sayesinde son 10 yılda milyonlarca dolar tasarruf sağladı. Uygulama, kimyasal yapıda üretimin modelleme değişkenliği, ulaşım ve yükleme süreleri, müşteri talebini karışılama ve demiryolu filosunun en uygun tasarımını içermektedir. İlk uygulama sadece 2 hafta sürmesine rağmen firmanın 500.000 \$ tasarruf yapmasını sağladı.⁸²

Thiokol şirketi ProModel yazılımını kullanarak mevcut sistemdeki değişkenlerin roket tedarik zincirini nasıl etkilediğini incelemek için kullanmıştır. Kurulan bu modelle birlikte NASA'dan alınan yeni fırlatma çizelgelerine uyum sağlanmaya çalışılmış ve bu çizelgelere mümkün olan en az maliyetle tepki verilmesi sağlanmıştır.

⁸²Gates George, "DUPONT Saves Millions with Logistic Modeling", **Simulation Success Publications**, PROMODEL Corporation, 1997, s. 12.

Thiokol'ün Utah'daki ana tesisinde roket motorlarının ve uçuş donanımlarının imalatı ve bakımı gerçekleştirilmektedir. Roketlerdeki yardımcı ek motorlar yakıt yüklendikten sonra fırlatmanın gerçekleşeceği yer olan Cape Kennedy'ye tren vasıtasıyla gönderilmektedir. Fırlatmadan sonra motor parçaları tekrar kullanılmak için okyanustan toplanır ve bakım işlemleri için trenle Ogden'e gönderilir. Bakımı yapılan motor parçaları Cape Kennedy'ye yakıtlarının tekrar yüklenmesi için iletilir. Tüm süreç Cape Kennedy'de tekrar başlar.

Tüm bu kritik süreç yönetilirken ortaya bazı sorular çıkmaktadır. Uçuş çizelgesini destekleyebilecek kadar tren vagonunun bulunması nasıl sağlanacaktır. Bu vagonlardan bazıları bakım için kullanım dışı kaldığında, roket parçalarını taşıyacak sayıda vagonun olup olmadığından nasıl emin olunacak? Yıllık uçuş sayısı arttığında roket parçalarının tedarik sürecinde hangi önlemlerin alınabileceği nasıl araştırılabilir?⁸³

Tüm bu soruları cevaplandırmak için ProModel programı kullanılarak, çizelgeleyicilerin, taşıma sürelerini, tren vagonlarının sayısı ve kullanılabilirliğini, mesai sürelerini ve bakım sürelerini değiştirebileceği bir model kurulmuştur. Lojistik bölümünde çalışan kişilerin mümkün çözümleri geliştirebilmek için sadece parametreleri değiştirmeleri yeterli olmaktadır. Sonuç olarak yapılan değişikliklerin değerlendirilmesinde ve güvenli bir şekilde test edilmesinde kullanılacak, zamandan tasarruf sağlayacak ve maliyetleri düşürecek yeni bir çözüm aracı geliştirilmiştir.

Tofaş Türkiye'de yürütülen çalışmaların amacı ise, üretim alanındaki stok seviyesinin düşürülmesidir. Bu amaç doğrultusunda benzetimden yararlanılmasına karar verilmiş ve mevcut sistemin modeli oluşturulmuştur. Simülasyon için kullanılan ProModel programı sayesinde, çevrim süreleri, hazırlık süreleri ve parti miktarları gibi stok seviyesini etkileyen çeşitli değişkenler arasındaki ilişki incelenmiştir. Stok seviyesini düşürmek için yapılan öneriler iki grupta incelenebilir ve bunlar planlama ile teknolojidir.

Planlama ile ilgili öneriler arasında; parti miktarlarını belirleme yöntemleri, itme sisteminden çekme sistemine geçiş, israfların yok edilerek çevrim süresinin kısaltılması, işlerin önceliğine göre makinelere atanması sayılabilir. Teknolojik öneriler başlığı altında da hazırlık sürelerinin kısaltılması, metot etüdü çalışmaları,

⁸³http://www.promodel.com/solutions/manufacturing/ML_PR_SC%20and%20Inv%20Opt_Appliance%20Supply%20Chain%20Analysis.pdf (18.03.2010).

makinelerin mümkün olduğu yerde otomatik hale getirilmesi, yerleşim planlarının değiştirilmesi ve önleyici bakım çalışmaları bulunmaktadır.

Tüm iyileştirme ve benzetim çalışmalarının sonucunda stok seviyesinde %48'lik bir azalma gerçekleşmiştir. İyileştirmenin büyük bölümü planlama sayesinde gerçekleşmiştir. Bir sonraki adım, verimliliği artırma çalışmalarında benzetimin daha çok kullanılmasını sağlamaktır. Bu hedef doğrultusunda 2004 yılında iki yeni projeye başlanmıştır.⁸⁴

Volkswagen şirketi, kuzey Amerika'da pazarladığı araçları Almanya ve Meksika'daki iki fabrikada üretmektedir. Üretilen araçlar öncelikle, dağıtım merkezi şeklinde kullanılan Amerikan limanlarına gönderilmektedir. Daha sonra belli başlı pazar alanlarında bulunan bayilere, genellikle kamyonlarla taşınmaktadır. Şirket ana iki hedef doğrultusunda araç dağıtım ağını iyileştirmek istemektedir.⁸⁵

1) Müşteri hizmetini, araç sevkiyat sürelerini ve Pazara yanıt verme yeteneğini iyileştirmek.

2) Toplan dağıtım ve stok maliyetlerini azaltmak.

Bu problem üzerine odaklanan Production Modeling (PMC) şirketi, araç dağıtım şebekesini iyileştirmek için daha fazla sayıda dağıtım merkezi kurma yaklaşımını benimsemiştir. Daha fazla sayıda dağıtım merkeziyle birlikte, mevcut maliyeti yüksek kamyon kullanımının yerine tren hatlarından daha fazla yararlanılabilecek, müşterilerin ilk tercihlerini gittikleri dağıtım merkezinde bulma şansı artacak ve müşterilerin ilk tercihlerine daha çabuk ulaşabileceklerdir. Dağıtım merkezlerinin sayısını ve yerlerini belirlemek bu noktada karşılaşılan problemidir. Ayrıca bir de dağıtım merkezleri iki çeşit olabilmektedir. Birinci tipteki tesisler küçük ve maliyet olarak düşüktür. İkinci tip ise talebin yüksek olduğu noktalarda ölçek ekonomisine imkân sağlayacak kadar büyüktür.

Bir dağıtım merkezinin yeri belirlenmiş olduğunda, performans ölçülerinin (maliyet ve hizmet derecesi) gerçekçi bir şekilde hesaplanması için; envanter yönetim politikası, kamyonlarının yükleme durumları ve talep mevsimselliği gibi dinamik ve stokastik elemanların göz önünde tutulması gereklidir. Stokastik

⁸⁴A. Hande Enez, "Fiat Reduces WIP by 48% with Simulation", **Simulation Success Publications**, PROMODEL Corporation, 1997, s. 37.

⁸⁵Nejat Karabakal, "Volkswagen Saves Millions on Delivery Using Simulation", **Simulation Success Publications**, PROMODEL Corporation, 1997, ss. 37-38.

elemanlar müşteri talebini, müşteri seçimini ve ulaştırma gecikmelerini kapsar. Bu tip elemanların değerlendirilmesi için bir benzetim modeli uygundur. Model oluşturulduğunda, yerleşim senaryolarını oluşturmak için de sistematik bir yolun izlenmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu doğrultuda iyi senaryolar oluşturabilmesi için bir karışık tamsayı programlama (Mixed Integer Programming) modeli kurulmuştur. Bu model dinamik ve stokastik elemanları görmezden gelerek maliyet optimizasyonu yapmaktadır. Değişkenler arasında sevkıyat miktarı ve belirli bir yere dağıtım merkezinin kurulup kurulmamasını tanımlayan 0–1 değişkeni vardır. Bu modelin çıktısı, benzetim modelinin girdisi olacak yer senaryosudur.⁸⁶

Optimizasyon modelinin amaç fonksiyonu iki kısımdan oluşmaktadır:

- 1) Toplam ulaştırma maliyeti (mesafe ve taşıma tipine bağlı)
- 2) Dağıtım merkezlerindeki sabit tesis maliyeti (kapasiteye bağlı) envanteri elde bulundurma maliyeti göz önünde bulundurulmamıştır.

Kısıtlar:

- 1) Pazar talepleri karşılanmalıdır
- 2) Tesislerin kapasiteleri aşılmayacaktır
- 3) Belirli bir zaman aralığı içinde talep karşılanabilecektir
- 4) Maksimum dağıtım merkezi sayısı aşılmayacaktır.

Bu modelin en önemli iki girdisi talepler ve sevkıyat maliyetlerini hesaplamak için kullanılan kamyon yükleme faktörleridir.

Çözülen modelin sonuçları alınmış ve benzetim modeli bu sonuçlara göre çalışmıştır. Stokastik ve dinamik faktörler göz önüne alındığında, benzetim daha iyi sonuçlar vermiştir. Simülasyonun sonuçları da optimizasyon modelinin girdisi olmuş ve bu prosedür iki çözüm tekniği de birbirinin aynı çözüm verene kadar devam etmiştir.

Bu çalışma oldukça ilginç sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Tren yolu maliyetlerinin daha az olması sebebiyle başta düşünüldüğü gibi çözümde şu andaki durumdan çok daha fazla dağıtım merkezi bulunmaktadır. Belirli koşullar altında

⁸⁶Nejat Karabakal, Ali Gunal ve Ritchie Warren, "Supply Chain Optimization Tools Improve the Vehicle Distribution System at Volkswagen of America", **Simulation Success Publications**, PROMODEL Corporation, 1997, ss. 1-8.

optimum çözümün, ulaştırma maliyetlerinde yılda 20 milyon dolarlık bir tasarruf sağlaması beklenmektedir.

Bu ve benzeri birçok çalışmanın yapıldığı temel alanlar ise:

- Akademik
- Savunma Bakanlığı
- Hükümet
- Finansal Servisler
- Sağlık
- Üretim
- Lojistik
- İlaç

Sektörleridir. ABD özellikle savunma sistemleri ve acil durumların benzetimi için yoğunlukla bu programı tercih etmektedir.

2.8 Benzetim Süreci

Bu kısımda ele alınacak olan benzetimin aşamaları, bir benzetim çalışmasının nasıl yapılacağı ile ilgilidir. Herhangi bir benzetim çalışması birkaç farklı ana aşamadan oluşabilmektedir. Yapılan bazı benzetim çalışmaları, bu aşamaların tamamından oluşmayabileceği gibi burada ifade edilecek olan sıra ile de meydana gelmeyebilir.⁸⁷

Bununla birlikte, benzetim çalışması basit sayılabilecek bir süreç değildir. Bu bakımdan, çalışmanın yürütülebilmesi ve sistem ile ilgili unsurların daha iyi anlaşılmasını sağlayabilmek için sıklıkla önceki adımlara geri dönmek istenir. Örneğin, çalışma devam ederken sisteme yeni bilgi girişlerinin olması, problemin çözümlenebilmesinde problemin yeniden formülasyonunu gerektirebilir.⁸⁸

Ayrıca sistemde bulunan ve dinamik nitelik gösteren unsurlar algı veya sezgi yoluyla incelenebilir.⁸⁹

⁸⁷Wayne L. Winston, **Operations Research Applications and Algorithms**, PWS - KENT Publishing Company, Boston, 1991, s. 1155.

⁸⁸M. Averill Law ve David W. Kelton, "Simulation Modeling and Analysis", McGraw-Hill, 3rd edition, U.S.A., 2000, s. 106.

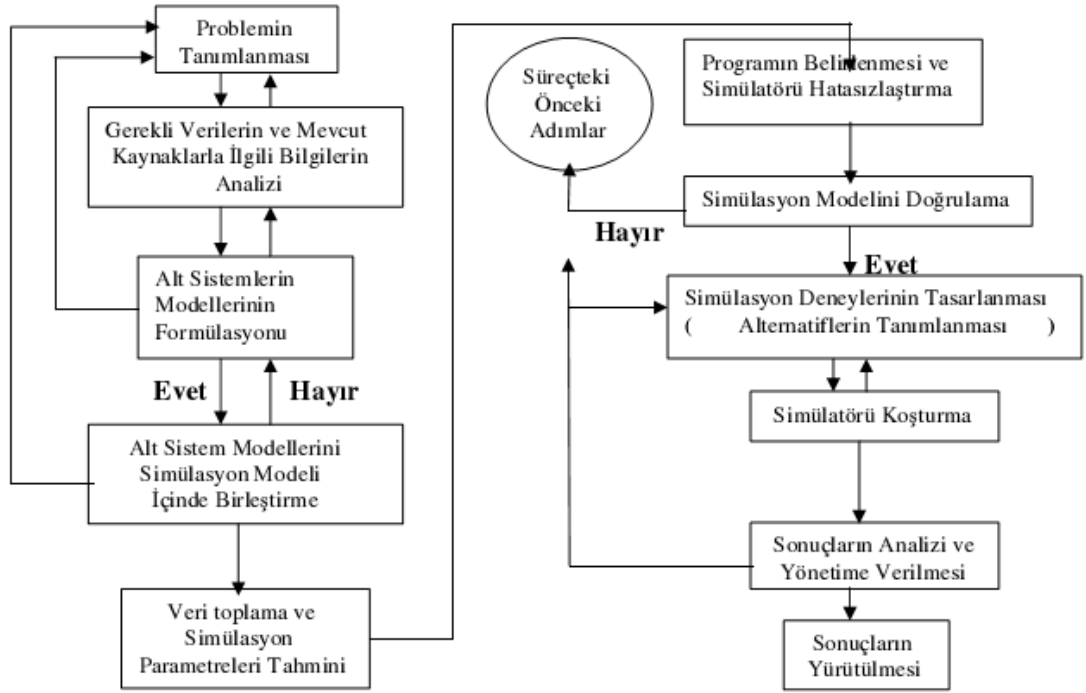
⁸⁹Salim Şen, **İşletme Yönetimine Modeller Yoluyla Yaklaşım; İşletme Yönetim Sürecinde Model Kullanma Üzerinde Bir Araştırma**, Emel Matbaacılık San. Ltd. Şti., Ankara, 1973, s. 23.

- Benzetim yöntemi kullanımı uygulamalarda,
- Sistemlerin davranışlarını inceleme ve tanımlama,
- Gözlenen sistem davranışını açıklayan teori ya da hipotezleri deneme ve uygulama,

Bu teorileri kullanarak, sistemdeki değişimlerin etkilerini belirleme ve böylece sistemin gelecekteki davranışını tahmin etmeyi amaçlayan deneysel bir özellik sağlar.⁹⁰

Aşağıdaki Şekil 5'te benzetim sürecine ait bir akış diyagramı örneği verilmiştir.

Şekil 5: Benzetim Sürecindeki Aşamalara Ait Akış Diyagramı



Kaynak: EMSHOFF James R., SISSON Roger L., “Design and Use of Computer Simulation Models”, The Macmillan Company, USA, 1970, Sayfa 50.

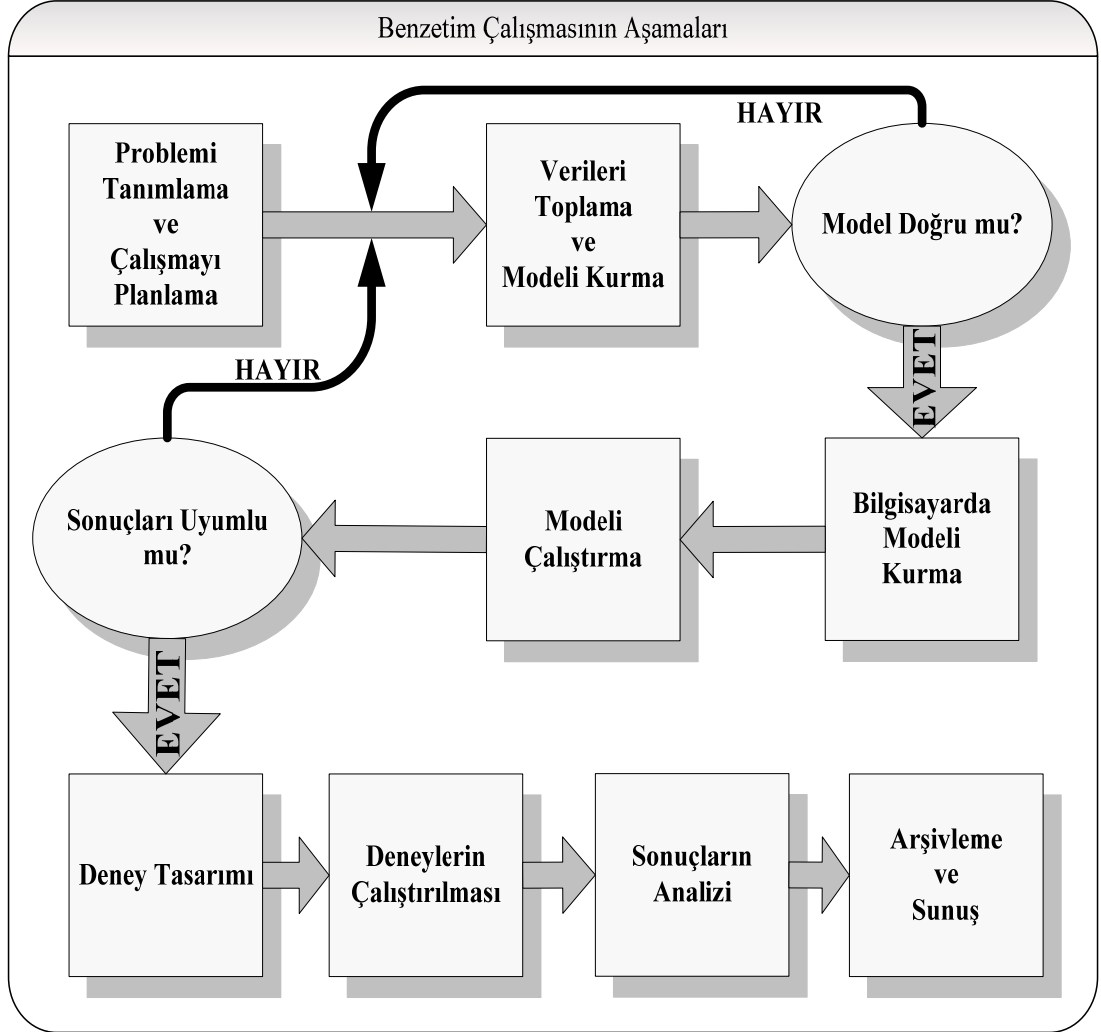
Benzetim modellemesi, iyi derecede analitik, istatistik, organizasyon, iletişim ve mühendislik kabiliyeti gerektirir. Modeli kuran kişi, modellenecek sistemi çok iyi etüt etmeli, sistemi anlamalı, sistemin performansını etkileyen karmaşık neden-sonuç ilişkisiyle sistemi kategorize edebilmelidir.

Benzetim veya Benzetim süreci veya uygulaması esnasında izlenecek adımlar

⁹⁰Sarıaslan, (Sıra Bekleme Sistemlerinde Simülasyon Tekniği) s. 44.

veya iş akışına ait literatürde çeşitli diyagramlar çizilmiştir. Aşağı yukarı hepsi aynı süreçleri takip etmektedir, bu yüzden genel olarak bir benzetim çalışmasında takip edilecek basamaklar ise Şekil 6’da gösterilmiştir.

Şekil 6: Benzetim Çalışmasının Aşamaları



Kaynak: Law ve Kelton, Simulation modeling and Analysis,1999, s:107.

2.8.1 Sorunun Tanımlanması

Benzetim süreci başlatılırken araştırmanın amacı ve değerlendirme kriterleri mutlaka belirlenmelidir. Bu temel unsurlar belirlendikten sonra bilgisayarla benzetim yapmanın maliyeti, benzetimin karmaşık düzeyi ve hedeflenen amacı karşılama düzeyi gibi benzetime devam edip etmeme kararına etki edebilecek faktörler göz

önüne alınmalıdır.⁹¹

Daha öncede ifade edildiği gibi bir benzetim modeli, karmaşıklık düzeyi ve model üzerinde yapılacak deneylerin çokluğu sebebiyle bir akış şeması biçiminde ifade edilebilir. Daha sonra ise, bu akış şeması yardımı ile benzetim bilgisayar ortamında gerçekleştirilebilir.⁹²

2.8.2 Verilerin Elde Edilmesi

Veri toplama, gerektiğinde işlenebilir özellikteki verilerin elde edilerek kullanıldığı bir süreçtir. Veriler toplanmaya, kaydedilmeye, etkin bir araca dönüştürülmeye başlandığı zaman verileri elle işleme işlemi ve son çıktı hazırlıkları da başlamış olur. Elle işleme aşamaları; işlem performansları için sınıflandırma, sıralama, birleştirme gibi, aritmetik ve mantıksal işlemlerdeki gibi adlandırılır. Bu işlemler, elle işlenecek veri miktarına bağlı olarak bilgisayar kullanarak ya da kullanmaksızın ortaya konabilir.⁹³

Bir problem tanımlanmadan önce verilerin derlenmesi ve işlenmesi gerekir. Bu amaçla bilgisayarla yapılacak olan bir benzetim çalışmasında başarılı olabilmek için birtakım ön hazırlıklar yapılmalıdır. Bunlar;

- Kantitatif verilerin önceden hazırlanması,
- Anlamlı bir düzeye indirgenen verilerin, sistemin davranışlarını araştırmak için matematik bir model kurmaya uygun olup olmadığının araştırılması,
- Verilerin, benzetimi yapılmakta olan sistemin matematik modelini iyileştirmeye imkân vermesi,
- Veriler, sistemin durum değişkenlerinin çalışma karakteristiklerinin parametrelerini tahmin etsi için kullanılır.
- Veriler olmaksızın benzetim modellerinin geçerliliğini araştırmanın olası olmaması olarak sayabiliriz.

Kullanılan veriler, geçerlilik, verilerin dağılımı, teorik dağılımlar gibi unsurlar benzetim çalışmasının başarısını önemli ölçüde etkileyen faktörlerdir. Özellikle stokastik sistemlerin tasarımında, tecrübelerle dayalı verilerin ya da teorik

⁹¹Osman Halaç, **İşletmelerde Benzetim Tekniği**, İstanbul Matbaası, İstanbul, 1982, ss. 3-4.

⁹²R. James Emshoff ve Roger L. Sisson, **Design and Use of Computer Simulation Models**, Macmillan Publishing Co. Inc., New York, 1970, s. 51.

⁹³H. Thomas Naylor ve diğerleri, **Computer Simulation Techniques**, John Wiley and Sons, Inc., USA, 1966, ss. 28-29.

olasılık dağılımlarının kullanımı önem taşımaktadır. Bu durum önemli bir aşamadır ve izleyen nedenlerden dolayı araştırmanın temelini oluşturur.⁹⁴

- İşlem görmemiş ham verilere göre sistemin çalıştırılması,
- Modelin işlenmesi için gerekli olan rastgele değişkenler üretilirken tabloların kullanılması yerine teorik dağılımların, bilgisayar ve belleğin etkin bir biçimde kullanılması.

2.8.3 Benzetim Modelinin Test Edilmesi

Bilgisayara kodlanarak aktarılan modelin doğru bir şekilde işleyip işlemediği ya da geliştirilen modelin gerçek sistemi iyi temsil edip etmediği yani geçerliliği test edilmelidir.⁹⁵

Modelin test edilerek doğrulanmasındaki amaç, kurulan modelin tam olarak bilgisayara aktarılmış temsilinde gerçek sistemin ne derecede yansıtıldığını anlamaktır. Bununla birlikte, doğrulama sürecinin kullanımında yaygın olarak kabul görmüş birçok öneri verilebilir. Bunlar;

- Araştırma ekibine modele ilişkin tüm kodların anlatılması,
- Olaylar meydana geldiğinde sistemde oluşabilecek olası faaliyetleri içeren ve modeli her bir olay tipindeki her faaliyet için izleyen bir akış diyagramı yapılması,
- Girdilerin doğru bir biçimde yerleştirilebilmeleri için model çıktılarının dikkatlice gözden geçirilmesi ve bilgisayardan elde edilen temsili çıktının istatistiksel testlerle tamamen doğrulanması,
- Bilgisayar ortamına aktarılan temsili modelin sahip olduğu girdilerin benzetim bitiminde çıktısını alırken, bunların parametre değerlerinin değiştirilmediğinden emin olmak ve modelde kullanılan her değişkene ilişkin tam bir tanımlama vermektir.⁹⁶

⁹⁴Halaç, (Benzetim Tekniği), s. 4.

⁹⁵Sarıaslan, Simülasyon Tekniği, s. 46.

⁹⁶Jerry Banks, John S. Carson II ve Barry L. Nelson. **Discrete-Event System Simulation**, Prentice-Hall, 2nd edition, Upper Saddle River, New Jersey, 1996, ss. 401 – 402.

2.8.4 Deneyin Gerçekleştirilmesi ve Çıktıların Alınması

Bu aşamaya kadar gelinmiş olunan benzetim modelinin performansından memnun kalındığı takdirde, söz konusu model eldeki problemin çözümü için kullanılabilir. Bu aşamayı takiben de modelden elde edilen sonuçların istatistiksel güvenilirlik ve geçerliliklerinin analizi yapılmalıdır.⁹⁷

Yapılan bir benzetim çalışması ele alınan problemle ilgili; kabul edilebilir, anlaşılır ve kullanılabilir bir sonuç sağlamalıdır. Benzetim sonuçlarının alınması önemli bir süreç sonunda oluşmaktadır. Yapılan bir araştırmaya göre, benzetim projelerine harcanan zamanın aşamalara göre payı izleyen şekliyle; %25'i problemin tanımlanmasına, %20'si veri derleme ve analizine, %30'u modelin geliştirilmesine, %25'i uygulama ve çıktıların alınarak değerlendirilmesine ayrılmıştır.⁹⁸

2.8.5 Süreç Sonucunun Analizi

İlgili sistem modelinin yardımı ile bilgisayar kullanılarak elde edilen veriler için sonuçların değerlendirilmesi adımına başvurulur. Simüle edilen verilerin analizi ise izleyen üç adımdan meydana gelmektedir:

- Simüle edilen verilerin toplanması ve işlenmesi,
- Test istatistiklerinin hesaplanması,
- Sonuçların yorumlanması.

Simüle edilen verilerin analizi ile gerçek dünya verilerinin analizi birbirine çok benzer bir yapıda olmasına rağmen bazı önemli farklılıklarda mevcut olabilmektedir. Bilgisayar tabanlı benzetimin istatistiksel tekniklerle analizinde önemli bir zorlukta örnekleme dağılımından yararlanmadır. Örnekleme dağılımında rasgeleliğin oluşabilmesinin yolu bu unsurun iyi anlaşılması ve açıkça belirtilmesinden geçmektedir. Ancak, benzetim deneylerinde ise rasgelelik kavramı genelde stokastik süreçlerle ilgili olup, özellikle sayısal değerleri hesaplanabilen algoritmalarından farklı olarak, ilişkiler açık değildir. Bunun yanında diğer bir zorlukta, örnekleme dağılımının genellikle statik modellerle ilişkili olabilmesine karşın, benzetimin doğası gereği

⁹⁷Winston, (Operations Research), s. 1156.

⁹⁸Halaç, Benzetim Tekniği, s. 7.

genelde dinamik modellerle ilişkili olabilmektedir.⁹⁹

2.9 Benzetim Modellemesinde Kullanılan Uyum İyiliği Testleri

Benzetim modellemesi uyum iyiliğini ölçmek için çoğunlukla Anderson-Darling Testi ve Kolmogorov Smirnov Testi kullanılmakta olup elde edilen verilerin istatistiksel olasılık dağılımlarına uydurulmasında kullandığım EasyFit adlı programda bu iki teste ek olarak Ki-kare testi de uygulanmaktadır. Yapılan çalışmada fabrikadan alınan verileri bu üç farklı uyum iyiliği testine tabi tutarak bir rank sisteminde, veriler üç farklı test içinde en iyi sonucu veren olasılık dağılımında modele dâhil edilmiştir.

EasyFit adlı bahsi geçen Excel tabanlı program sınırsız sayıda veriyi sürekli veya kesikli olmakla beraber, alt sınırlı veya alt sınırsız olarak seçilerek ve yukarıda ismi verilen uyum iyiliği testlerinden istenilen testin seçilmesi ve sonuçların grafiksel, sayısal değerleri, birikimli yoğunluk fonksiyonu, olasılık yoğunluk fonksiyonu gibi aranabilecek tüm nitelikleri kullanıcıya sunmaktadır.

2.9.1 Anderson-Darling Testi

İstatistik bilim dalında, Anderson-Darling sınaması bir parametrik olmayan istatistik sınaması olup örneklem verilerinin belirli bir olasılık dağılımı gösterip göstermediğini sınamak için, yani uygunluk iyiliği sınaması için kullanılmaktadır. Bu sınama ilk defa 1952’de Amerikan istatistikçileri; Donald A. Darling, Anderson Jr. ve Theodore Wilbur Anderson tarafından yayınlanmıştır.¹⁰⁰ Bu sınama Kolmogorov-Smirnov sınamasının değiştirilmesi ve olasılık dağılımının kuyruklarına daha çok ağırlık verilmesi ile ortaya çıkartılmıştır.

Anderson-Darling sınamasının pratikte veriler için normal dağılımdan ayrılıp ayrılmadığını incelemek için kullanılan normallik sınaması yöntemleri arasında bulunan en güçlü sınamalardan biri olduğu iddia edilmektedir. Hem çok küçük ($n \leq 25$) örneklem sayılı veriler için hem de hacmi 200’ü aşan sanayi kalite kontrol

⁹⁹Naylor ve diğerleri, (Computer Simulation Techniques), s. 41.

¹⁰⁰Donald A. Darling, Anderson Jr. ve Theodore Wilbur Anderson, **Asymptotic theory of certain 'goodness-of-fit' criteria based on stochastic processes'**, The Annals of Mathematical Statistics, Vol. 23, (Haziran, 1952), ss. 193-212.

verileri için başarıyla normallik sınaması için kullanıldığı bildirilmiştir.¹⁰¹

Anderson-Darling testi Ki-Kare ve Kolmogorov-Smirnov testleri için bir alternatiftir. Bu test istenilen her dağılım için kritik değerleri hesaplar. Bu işlemin avantajı çok daha hassas bir test olmasına imkân tanıyarak bir avantaj oluştursa da her bir dağılım için kritik değer hesaplanması ise bir dezavantaj olarak görülmektedir. Anderson-Darling Testi şu şekilde tanımlanır:

Elde edilen veriler en küçük değerden en büyük değere kadar bir sıraya konulur. Bu sıraya konulmuş veriler, yani $(Y_1 < \dots < Y_N)$, bir sına istatistiğinin hesaplanması için kullanılır. Parametresi veya parametreleri verilmiş olasılık dağılımı için birikimli dağılım fonksiyonu kullanılarak bir sıra F değerleri bulunur. Bu iki seri kullanılarak önce şu S toplamı elde edilir.

$$S = \sum_{k=1}^N \frac{2k-1}{N} [\ln F(Y_k) + \ln(1 - F(Y_{N+1-k}))]$$

Bu toplam kullanılarak Anderson-Darling istatistiği A^2 değeri yani;
 $A^2 = -N - S$ elde edilir.¹⁰²

2.9.2 Kolmogorov-Smirnov Testi

χ^2 uygunluk testlerinin alternatifi olan Kolmogorov-Smirnov testi, Kolmogorov tarafından 1933 yılında önerilmiştir. Kolmogorov, tek örnek için uyum iyiliği testini önermiştir. 1939 yılında ise bir Rus matematikçisi olan Smirnov tarafından iki bağımsız örnek için uyum iyiliği testi geliştirilmiştir. Kolmogorov ve Smirnov testi benzerlik nedeniyle, uygulamada, Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri olarak bilinirler.

χ^2 testinin uygulanabilmesi için beklenen frekansların 5'den büyük olması istenir. Kolmogorov-Smirnov testi böyle bir şarta dayanmadığı için kolayca uygulanabilmektedir. Ki-Kare testinde beklenen frekansların 5'ten büyük olması için ya örneklerin büyük hacimli olması gerekir ya da sınıflar birleştirilmek suretiyle beklenen frekansların 5'den büyük olması sağlanır. Bu durumda ise bilgi kaybı söz konusudur. Oysa Kolmogorov-Smirnov testinde beklenen frekanslar için bir alt limit

¹⁰¹Michael A. Stephens, "EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons", **Journal of the American Statistical Association**, Vol. 69, (Eylül, 1974), ss.730-737.

¹⁰²Theodore Wilbur Anderson ve diğerleri, ss. 200-212.

söz konusu değildir.¹⁰³

Kolmogorov-Smirnov Testi; bir örnek veri setini arzu edilen bir dağılıma uygunluğunu minimum uzaklık tahmininde bulunan parametrik olmayan bir testtir. Genelde iki örnek karşılaştırmak için kullanılan bu test, modifikasyonla uyum iyiliği testi olarak da kullanılabilir. Bu durumda veriler standardize edilerek standart normal dağılımla karşılaştırılır. Kısacası dağılımın normalliği test edilir.

Bu test örneklem ile uygunluğu test edilen dağılımın birikimli dağılım fonksiyonları arasındaki farkı ölçmektedir.¹⁰⁴

$$D = \max [F_0(Y_i) - F_e(y_i)] , 1 \leq i \leq n$$

F_0 : Örneklemenin birikimli yoğunluk fonksiyonu.

F_e : Uygunluğu test edilen dağılımın birikimli yoğunluk fonksiyonu.

n : Örneklemdeki gözlem sayısı.

2.9.3 Ki-Kare Uygunluk Testi

Ki-Kare dağılımı ilk olarak 1900'lü yıllarda Pearson tarafından ortaya atılmıştır. Ki-Kare dağılımı oldukça yaygın olarak ve birçok maksatla kullanılan bir dağılımdır. Çoğu araştırmada çeşitli kategorilere giren deneklerin, nesnelerin veya cevapların sayısı ile ilgilenilir. Meselâ, bir grup insan belli bir anketin sorularına verdikleri cevaplara göre sınıflandırılabilirler. Araştırmacı belli bir tip cevabın diğerlerine kıyasla daha sık ortaya çıkıp çıkmayacağını belirlemek isteyebilir. Bu gibi durumlarda ve özellikle de sayımla belirlenen niteleyici özelliklerle ilgili testlerde daha ziyade Ki-Kare testi kullanılır.¹⁰⁵

Ki-Kare dağılımı; uygunluk, bağımsızlık, varyans, homojenlik ve bağımlı grupların testinde oldukça sık kullanılır. Ki-Kare; aritmetik ortalaması sıfır ve varyansı bir olan normal bölünmeli bir anakütleden her biri diğerinden bağımsız olarak seçilen n birimli bir örneklemeye ait değerlerin karelerinin toplamı demektir. Yani, Z_i , $i = 1, \dots, n$ olmak üzere, n tane bağımsız standart normal dağılım için $Z_1^2, Z_2^2, \dots, Z_n^2$ toplamı ile, n serbestlik dereceli **Ki-Kare** dağılımı elde edilir. Yani,

¹⁰³Mahmut Kartal. **Hipotez Testleri**, Şafak Yayınevi, Erzurum, 1998, s. 105.

¹⁰⁴Sezar Karaca, "Benzetim Modellemesi ile Mobilya Üretiminde Sistem Analizi ve Optimizasyonu", (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 2007, s. 55.

¹⁰⁵Mustafa Aytaç. **Matematiksel İstatistik**, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa, 1998, s. 317.

$$\chi^2_n \approx \sum_{i=1}^n Z_i^2 \text{ olur.}$$

Ki-Kare; iki veya daha fazla veri seti arasında önemli farkın olup olmadığını belirlemede araştırmacının kullanabileceği bir istatistikî analiz yöntemidir. Bu yöntemde gözlenen değerler ile beklenen değerler kıyaslanır.

Uygunluk testi olarak Ki-Kare testi ele alındığında ise, gözlenen frekansların (o_i), belli bir hipoteze göre elde edilen beklenen frekanslara (e_i) uygun olup olmadığı araştırılır. N birimlik veri, r kategoriden oluşmak üzere, bu testin safhaları aşağıdaki gibi olur. Hipotezler şu şekilde kurulur:

$H_0: o_i = e_i, i = 1, 2, \dots, r, (o_1 = e_1, o_2 = e_2, \dots, o_r = e_r)$ (Gözlenen frekanslar beklenen frekanslara uygundur.)

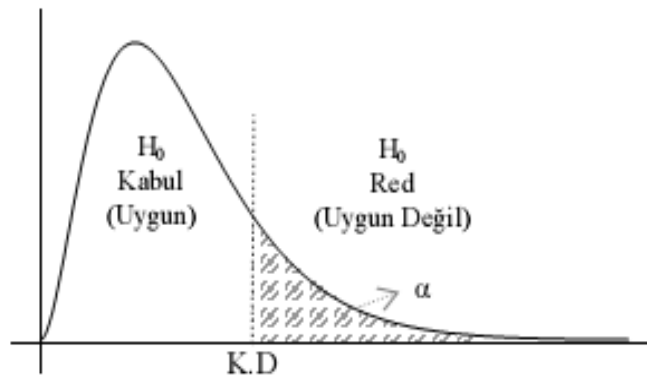
$H_1: o_i \neq e_i$ (Gözlenen frekanslar beklenen frekanslara uygun değildir. Fark önemlidir.)

Test istatistiği aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

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

Görüldüğü gibi o_i 'lerin e_i 'lere yaklaşması durumunda χ^2 istatistiği sıfıra yaklaşacaktır. Ki-Kare uygunluk testi sağ kuyruk testidir. Çünkü $o_i - e_i$ farklarının kareleri alınarak χ^2 test istatistiği hesaplanır. Fark büyüdükçe, farkların kareleri pozitif yönde sonsuza doğru büyür. Böylece ret bölgesi daima dağılımın sağ kuyruğunda olur.¹⁰⁶

Şekil 7: Ki-Kare Uygunluk Testi Ret Bölgesi



Kaynak: Akyol ve diğerleri, “Üç Yönlü Tablolarda χ^2 İstatistiğinin Kullanılması,” İstatistik Araştırma Dergisi DİE Yayınları Cilt:1, No:1, Nisan 2002, Sayfa: 24.

¹⁰⁶Mehmet Akyol ve Fikret Gürbüz. “Üç Yönlü Tablolarda χ^2 İstatistiğinin Kullanılması,” İstatistik Araştırma Dergisi DİE Yayınları, Cilt:1, No:1, Nisan 2002, ss. 23-27.

Kritik değer (K.D), α önem seviyesi ve s.d = r-1-m serbestlik derecesine göre hazırlanmış χ^2 kritik değerler tablosundan belirlenir. Burada m tahmin edilen parametre sayısıdır. Örnek olarak; normal dağılım için tahmin edilen parametreler μ ve σ olduğundan m = 2 alınır. Bu sebeple kritik değer:

K.D. = $\chi^2_{\alpha, r-1-m}$ olarak sembolize edilir.

Karar verme ise; Test istatistiğinde hesaplanan χ^2 değeri ile kritik $\chi^2_{\alpha, r-1-m}$ değeri, karar modeline göre mukayese edilerek karar verilir.

Buna göre:

$\chi^2 < \chi^2_{\alpha, r-1-m}$ ise, H_0 hipotezi kabul edilerek gözlenen değerlerle beklenen değerlerin birbirine (o_i 'lerin e_i 'lere) uygun olduğuna, görülen farklılığın önemsiz olduğuna α önem seviyesinde karar verilir.

$\chi^2 > \chi^2_{\alpha, r-1-m}$ ise, H_0 hipotezi reddedilerek gözlenen değerlerle beklenen değerlerin birbirine (o_i 'lerin e_i 'lere) uygun olmadığına α önem seviyesinde karar verilir.

Testten daha güvenilir sonuç almak için şu iki durum dikkate alınmalıdır:

- 1) İki kategori varsa her bir beklenen frekans 10 veya daha büyük olmalıdır.
- 2) Kategori sayısı ikiden fazla ise ($r > 2$) her bir beklenen frekans beş veya daha büyük olmalıdır.

Ki-Kare testi yaparken, çok sık yapılan yanlış kullanma hatalarından birisi küçük beklenen frekanslarla çalışılmasıdır. Küçük bir beklenen frekansın χ^2 'ye katkısı büyük olacaktır. e_i küçüldükçe χ^2 büyüyecektir. Bu durum H_0 hipotezinin reddedilmesi ihtimalini artırır.¹⁰⁷

2.10 Benzetim Modellemesi Kullanmanın Avantaj ve Dezavantajları

Benzetim birtakım dezavantajlara sahip olduğu gibi belirli avantajlara da sahip bir yöntemdir. Bunlardan ilk değinilecek olan, yöntemin sağlamış olduğu yarar ve üstünlükler olup, Pedgen, Shannon ve Sadowski tarafından 1995 yılında düzenlenmiş ve izleyen şekilde sıralanmıştır.¹⁰⁸

- Yeni politikalar, işlem yöntemleri, karar kuralları, bilgi akışları, örgütsel

¹⁰⁷Akyol ve Gürbüz, ss. 23-27.

¹⁰⁸Banks, Carson ve Nelson, ss. 4 – 5.

işlemler, yeni donanımsal tasarımlar, fiziksel yerlerin planlaması, ulaştırma sistemleri ve daha birçoğu gerçek sistemin devam eden işlevselliği aksatılmadan incelenebilir ve test edilebilir.

- Olayın nasıl ya da niçin meydana geldiği ile ilgili hipotezler uygunluk için test edilebilir.
- Ekonomik inceleme altındaki olayın hızlandırılması ya da yavaşlatılması için zaman daraltılabilir veya uzatılabilir.
- Değişkenler arası etkileşimlerin ortaya çıkarılmasında kullanılabilir.
- Sistemin performansı üzerinde değişkenlerin önemleri ile ilgili bilgi elde edilebilir.
- Bir benzetim çalışması bireylerin sistemi nasıl yöneteceklerini düşünmelerinden ziyade sistemi nasıl yöneteceklerini anlamalarında yardımcı olabilir.
- “Ne olursa - ne olur” soruları cevaplanabilir. Bu durum özellikle yeni sistemlerin tasarımında yararlıdır.

Benzetim, yukarıda belirtilen durumlarda yararlı olmasının yanında;

1. Benzetim esnek bir çözüm yöntemidir.
2. Deney koşulları üzerinde analist tam bir kontrole sahiptir. Benzetimi istenen zamanda durdurup yeniden başlatabilir.¹⁰⁹
3. Benzetim, sistem verilerinin detaylı olmadığı durumlarda da kullanılabilir.¹¹⁰

Jerry Banks, John S. Carson II ve Barry L. Nelson, Benzetimin kullanım avantajlarının yanı sıra ortaya çıkabilecek güçlük ve dezavantajlarını da aşağıdaki gibi belirtmiştir.¹¹¹

1. Benzetim kesin olmayabilir. Bu bakımdan bazen değişik işletim koşullarına sistemin tepkilerinden oluşan bir set ortaya koyar.
2. İyi bir benzetim modeli yüksek maliyetli olabilir. Çoğunlukla kullanılabilecek nitelikte bir şirket planlaması modelini geliştirmek çok uzun süre alabilir.
3. Her durum benzetim kullanılarak değerlendirilemez; yalnızca belirsizlik

¹⁰⁹Hülya H. Tütek ve Şevkinaz Gümüsoğlu. **Sayısal Yöntemler - Yönetmel Yaklaşım**, Beta basım yayın A.Ş., İstanbul, 2000, s. 378.

¹¹⁰Kuş, s. 55.

¹¹¹Banks, Carson ve Nelson, s. 5.

içeren durumlar benzetim kullanımına adaydır ve tesadüfi olarak değer alan bir süreç olmadan benzetimin tüm deneyleri aynı sonucu verir.

4. Benzetim, çözümlerin kendilerini değil, bir çözüm değerlendirme yolu geliştirir.

5. Benzetim sonuçlarının yorumlanması analitik tekniklerin sonuçlarına benzemediği için zor olabilmektedir.

6. Benzetim, analitik çözümün olası ya da tercih edilebilir olması durumunda da kullanılabilir. Ancak bu durum özellikle bazı bekleme hattı sistemi modellerinin benzetiminde olasıdır.

2.11 Üretim Sistemlerinde Benzetim Ve Uygulamaları

Dünya üzerinde firmalar arasındaki ortak kaynak ve işgücü kullanımı gibi faktörler gitgide daralanda kısa paslaşmalar şeklini almıştır. Herkes benzer üretim faktörlerini kullanmakta iken öne geçmek isteyen kurum ve kuruluşlar benzetim tekniği ile günümüz koşullarına ayak uydurmaya çalışmaktadır. Dolayısıyla, ister hizmet sektörü, ister sağlık sektörü, ister kamusal kurumlar veya özel firmalar bir şekilde mal veya hizmet üretmektedir. Ortada üretilen bir katma değer söz konusu olduğundan bu bir dağıtım ağı da olsa tarlada yetişen ürün de olsa, ortada genel anlamıyla “üretilen” bir değer söz konusudur. Şimdi son zamanlara ait üretim tabanlı birkaç çalışmaya bakalım.

Yun Bae Kim, Heesang Lee, and Hoo-Gon Choi 2004 yılındaki "A Discrete Event Simulation Study for Incoming Call Centers of a Telecommunication Service Company" adlı makalesinde şirketlerin yoğunluğunun ayrılmaz bir parçası olan çağrı merkezlerinin firmalar için önemli bir temas noktası olduğundan yola çıkarak, bir çağrı merkezi yönetmenin çok farklı zorluklara ve karmaşık faktörlere bağlı olduğunu saptayarak çağrı merkezleri performansını arttırmak, daha kaliteli ve iyi hizmet verebilmek için bu çalışmaya başlamışlardır. Çalışmada bir mobil telekomünikasyon şirketinin çağrı merkezine gelen çağrıları tahmin teknikleri ile tahminlemişlerdir. Ayrıca bir benzetim modeli kurarak bu hizmet üretim sisteminin performansını artırmaya çalışmışlardır. Benzetim çalışması sonucunda yönetim maliyetleri düşürülmüş ve çağrı merkezlerinde daha iyi müşteri memnuniyeti sağlanmıştır.

Prof. Dr. Luis Ernesto Blanco Rivero "Applications In Logistics Using Simulation with ProModel" isimli 2004 yılında yayınlanan bildirisinde, mühendislik eğitiminde animasyonlu benzetim araçlarının kullanımının önemini göstermek istemiştir. Benzetimin, dinamik sistemlerinin değerlendirilmesi ve sistem performansını artırmak için yapılan gerçek olaylar için davranış türeten bir hayali üreme olduğunu belirtmiştir. Günümüzde ise, lojistik ağlarının analizi gibi karmaşık dinamik sistemlerin animasyonlu benzetim modelinin geliştirilmesinin, gelişen yüksek bellekli ve modern bilgisayarlar sayesinde benzetim kullanılarak yapılabileceğini söylemiştir. ProModel programının, lojistik süreçlerini verimli bir şekilde modelleyebilen animasyonlu bir benzetim yazılımı olduğunu belirtmiştir. Ayrıca ProModel yazılımı ile benzetim modelleri kurulabilecek sistemleri; çapraz sevkiyat benzetimi; olası rotalar arasında daha iyi alternatif seçimi, taşımacılık operasyonlarında yükleme gibi, insan kaynakları, fiziki kaynaklar, müşteri siparişlerini bilgi akışının benzetimi, çağrı merkezleri ve bütünleşik lojistik dinamik sistemlerin benzetimi olarak da bilinen tedarik zinciri boyunca operasyon kontrolü ve bilgi akışı sağlayan, ulaşım yolları görmek için daha karlı alternatifler elde edilebilen sistemler yaratıldığını ortaya sürmüştür.

Senem Kurşun Haziran 2007 tarihindeki “Tekstil Endüstri’sinde Benzetim Tekniği ile Üretim Hattı Modellemesi ve Uygun İş Akış Stratejisinin Belirlenmesi” adlı çalışmasında, Türkiye’de tekstil sektörünü incelemiş, uzun bir dönem en kârlı, en aktif konumda yer alan sektörde meydana gelen son zamanlardaki gelişmeler sebebi ile üretim ve ürün pazarlama gibi mevcut yapıda değişikliklerin gerekli olduğunu göstermiştir. Çin’in, dünya tekstil endüstrisinde acımasız bir rekabet ortamı yarattığını ve Çin’in ucuz işgücü ve düşük üretim maliyetleriyle rekabet edebilmek için, tekstil şirketlerinin üretim-geliştirme çalışmalarına önem vermesinin kaçınılmaz olduğuna değinmiştir. Çalışmasında işgücü yoğun olan özel bir konfeksiyon işletmesinin gömlek dikim hattını ele almış, darboğaz noktalarını belirleyip bu noktalara tezgâh, işçi ekleme çıkarma kararlarıyla hattın dengelenmesi ve alınacak yatırım kararlarına destek olacak önerilerin sunulmasını amaçlamıştır. Bunun için de işletmede iş-zaman etüdü yapılmış, gerek kayıtlardan gerek iş-zaman etüdünden elde edilen veriler Bağımsızlık Testi, Teorik Dağılımlara Uygunluk Testi ve Kolmogorov-Smirnov Testi istatistiksel testlere tabii tutulmuştur. Darboğazları elimine etmek için

olası senaryoları ele almış ve sistem modeli kurmak için ENTERPRISE DYNAMICS benzetim programını kullanmıştır. Öneri olarak da, uyguladığı senaryolar sayesinde yöneticilere sunacak çeşitli senaryolar ışığında, sistemin akışına dair kuşbakışı izleyiş ve darboğazların idrak edilerek bu aksaklıkların giderilmesi için tespitlerde bulunmuştur.

Aksaraylı, Kıdak ve Güneş tarafından 2009 yılında yapılan “Sağlık İşletmelerinde Yatak Kullanım Etkinliğinin Benzetim Yoluyla Optimizasyonu: Bir Eğitim ve Araştırma Hastanesi Uygulaması” adlı çalışmada sağlık işletmelerinde kıt kaynakların optimum kullanımını sağlama, en uygun kaynak tahsisi elde etme ve alternatif modeller üretmede benzetim modellemesi gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları uygulama ProModel yazılımı ile modellenmiş ve ürettikleri senaryolar ile bir eğitim araştırması hastanesinin üroloji kliniğinin yatak kullanım etkinliğini arttırmada modeller üretmişlerdir.

Berrin Denizhan 2006 yılındaki "İmalat Lojistiği Benzetim Modeli ve Bir Uygulama" çalışmasındaki amacı ara stokları ve çevrim süresini azaltarak teslim tarihi performansını artırmak olan benzetim modeli ile oldukça fazla alt bileşene sahip olan elektrik ürünlerinden iki tanesini seçerek ProModel ile sistemi tasarlamıştır. Benzetim sonuçları oran testi ve t testi ile değerlendirilerek firma için olması gereken değişiklikler önerilmiş ve firmanın karar sürecinde etkili olmuştur. İmalat lojistiği modeli (IL_MOD) ile ara stoklar azalmış, çevrim sürelerinde kısmi kısalma meydana gelmiştir. Model yalnız imalat bölümüne değil lojistik bakışla bütün şirketin toplam verimini artırıcı etkide bulunmuştur. Atölye kontrolü ile de imalat aşamasında düzenli malzeme akışı ve imalat ile olan eşzamanlılık sağlanmaya çalışılmıştır.

Sezar Karaca ise 2007 yılındaki "Simülasyon Modellemesi ile Mobilya Üretiminde Sistem Analizi Ve Optimizasyonu" isimli doktora tezinde Batı Karadeniz’de kurulu olan bir panel mobilya imalatı gerçekleştiren fabrika için imalat hattının ProModel 6.0 benzetim diliyle mevcut sistemin modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Böylece mevcut imalat hattındaki iş istasyonlarının kapasite kullanımı, boş kalma oranları, bekleme zamanları vb. istatistikler elde edilerek kritik iş istasyonları ve makineler tespit edilmektedir. Böylece oluşturulan model sistem parametrelerindeki muhtemel değişikliklere karşın sistem verimliliği üzerindeki

etkilerini ölçmeye imkân tanımaktadır. Aynı zamanda benzetim modeli programının görsel olarak isletilmesi sağlanarak sistem sorumlularının durumu kolayca kavramasına imkân verilmektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

PROMODEL

3.1 ProModel Programına Genel Bakış

ProModel, Microsoft'un popüler işletim çerçevesinin bütün avantajlarını kullanan gerçek bir Windows ürünüdür. Son sürümü olan ProModel 7.5 versiyonu ile artık kullanıcılara MS Visio'da yaptığı çizimler üzerinde model kurma ve çalıştırma imkânı da vermektedir. Bu program, platformdaki diğer uygulamaları çalıştırmak için tasarlanmış bütün avantajları sunar.

Program kendi içerisinde bulunan Stat::Fit 2.0 eklentisi ile elde bulunan verilerin istatistiksel olarak hangi olasılık dağılımına dâhil olduğunu bulmak, aynı zamanda bu verilerin grafiksel gösterimi, Help menüsünün çok detaylı olmasa da kullanıcının programı anlaması için yeterli desteği vermesi, modelleme sonucunda çıktıların analizinde detaylı olarak her bilgiye ulaşabilme imkânı, grafiksel gösterim vb. desteği ile oldukça cazip ve kullanışlı bir benzetim programıdır.

ProModel'in, MedModel sağlık sektörü için özel eklentisi ve Service Model eklentisi olan servis sistemlerinin detaylı bir biçimde modellenebilmesini sağlayan eklentilerine daha öncede değinmiştik. Bu araçlar öğrenilmesi kolay, kişisel bilgisayarların kullanımı için tasarlanmış benzetim yazılımlarıdır. Sağlanan değişik eklentilerin yanında geliştirilen 3D Animator motoru ile ProModel, kullanıcılara artık üç boyutlu benzetim kurma imkânı da vermektedir.

3.2 Model Kurma

Model kurma bir modelleme programını kullanmayı bilmekten çok daha fazlasıdır. Modern, basit kullanımlı bir benzetim programını kullanmayı öğrenmek ise sadece zor olan şeylerden birisidir. Bunlara ek olarak modelleme bir bilim ve aynı zamanda bir sanattır. Benzetimin teorilerinde ve istatistik biliminde bilgi sahibi olmak işin bilim kısmıdır fakat bir benzetim aracını ne kadar etkili ve verimli kullanabileceğiniz ise işin sanatsal kısmıdır. Bu konuda yapılabilecek en iyi şey ise yeterli bilimsel altyapının üstüne sürekli modelleme konusunda alıştırmaya yapmaktır.

3.2.1 Yapısal Elemanlar

Çoğunlukla model nesneleri bir sistemdeki makineler, insanlar, çalışma alanları ve iş unsurları gibi yapısal nesneleri temsil eder. ProModel programında ise aşağıdakileri basit nesne sınıflandırmasında kullanacağız:

1. Varlıklar: Sistemde işlenen nesnelerdir.
2. Konumlar: Varlıkların tutulduğu veya işlendiği yerlerdir.
3. Kaynaklar: Varlıkların işlenmesinde kullanılan araçlardır.
4. Rotalar: Sistemdeki varlık ve kaynakların dolaşım biçimidir.

3.2.1.1 Varlıklar

Tüm konumlar tanımlandığında benzer bir yolla varlıklar her bir varlık tipi için bir ikon seçerek tanımlanmaktadır. Bunu yaparken varlık düzenleme tablosunda her bir varlık tipi için bir kayıt oluşturulmaktadır.¹¹²

Varlıklar modelde işlenen ve sistemin girdi çıktılarını temsil eden nesnelerdir. Sistemdeki varlıkların hız, boyut gibi belirlenebilen karakteristik özellikleri de olabilir. Varlıklar sistem içerisinde bir veya daha fazla rotayı izleyerek üzerlerinde işlem yapılma olanağı sağlar. Dışarıdan veya sistem içinden gelebilirler. Genellikle tanımlanan işlem ve prosedürleri tamamladıktan sonra sistemi terk ederler.

Benzetim modelleri varlıkların geniş özellikli olabilmelerine imkân tanır. Örneğin, bir varlığın kusurlu olması durumunda 1, hatasız olması durumunda 0 değeri verilerek hangi rotayı izleyebileceği belirlenebilir. Kullanıcı varlığa yeni yeni bir vasıf veya özellik ekleyerek bir varlığın sistem içindeki geçirdiği zamanı takip edebilir.

İstatistiksel ilgi, genelde varlıkların sistem içerisinde kaybettikleri zamana, çıktı miktarına, varlıkların dolaşımında kaybettikleri süreye ve sistemdeki ortalama varlık miktarına odaklanır.

¹¹²Karaca, s. 59.

3.2.1.2 Konumlar

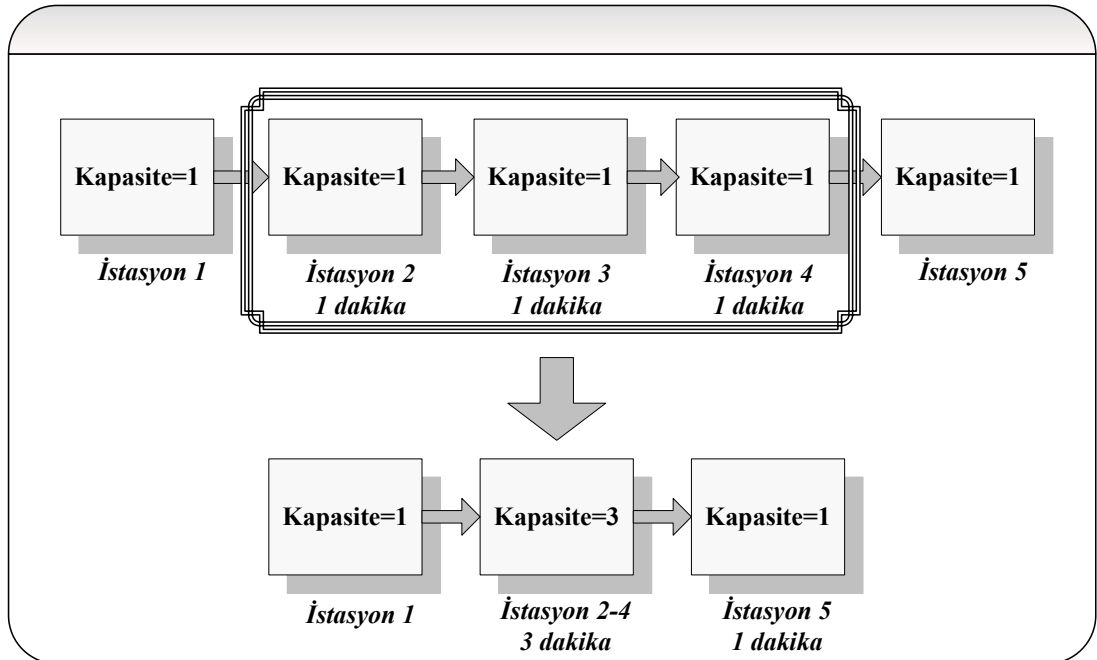
Konumlar, varlıkların sistem içerisinde işlem görmesi, beklemesi gibi durumlar için kullanılan yerlere verilen isimdir. Bu konum bir iş istasyonu, kontrol noktası, kuyruk veya depolama alanı olabilir. Konumların belli bir kapasitesi vardır. Ayrıca, girdi tabanlı olarak öncelik tanımlı, çıktı tabanlı olarak ise sisteme ilk giriş yapan ilk çıkar (First In First Out: FIFO) gibi özellikler atanabilir.

Genellikle benzetimde bir konumun kuyruktaki ortalama müşteri sayısı veya depodaki ortalama ürün miktarı gibi ortalama içeriği ile ilgilenilir. Buna ek olarak belirli bir konumda bir varlığın ne kadar süre harcadığıyla da ilgilenilebilir.

Çıktı analizinde ise konumsal istatistikleri, atıl vakit, arıza süreleri veya verimli kullanım süresi gibi değişkenleri de incelenebilir.

Modellemede bir konum belirlenirken modeli iyi tanınması ve analiz edilmesinde bir eksiklik olmamalıdır. Çünkü sistemdeki gereksiz kullanılan bir konumum modellemede o konum kadar verim kaybettirebilir. Buna ait bir örneği Şekil 8’de gösterilmiştir.

Şekil 8: Seri biçimde kurulu 3 iş istasyonunu bir tane gibi birleştirme.



Kaynak: "Charles HARRELL, Biman K. GHOSH ve Royce O. BOWDEN, Simulation Using ProModel, Second Edition, McGraw-Hill Inc., New York,2004, Sayfa: 179.

Bir işyerinde seri iş istasyonlarını birbirine bağlarken dikkat edilmesi gereken bireysel olarak o iş istasyonlarının kapasite ve operasyon sürelerinin birbirine eşit olması gerektirir. Bu sayede yukarıda görülen örnekteki gibi seri biçimde kurulmuş olan istasyonlar kapasite ve işlem süreleri toplanarak tek bir istasyon haline getirilebilir.

Paralel olan iş istasyonlarında ise aynı işlemi yapan 3 farklı makinenin tek bir makine gibi davranması sağlanabilir. Bu tip konum birleştirme modelde bir küçültme ve gereksiz ayrıntıları modelden çıkarma imkânını sunar. Özellikle 100 müşterili bir restoran veya 20 adet kontrol noktası olan bir merkez gibi modeli kurulan sistemin içerisinde birçok paralel istasyon varsa bu konumları birleştirmek kullanıcıyı büyük bir külfetten kurtaracaktır.

3.2.1.3 Kaynaklar

Kaynaklar, sistemdeki varlıkların işlem görmesinde kullanılan araçlardır. Bunlar statik (fotokopi makinesi) veya dinamik (teknisyen gibi) olabilirler. Dinamik kaynaklar varlıklar gibidirler ve sistem içinde hareket ederler. Bu da hareket halindeki bir kaynak (İnsan) veya hareketsiz bir kaynak (makine, alet vb.) olabilirler.

Kaynaklarla varlıklar arasında en temel fark, varlıkların sisteme girerek, belirlenen işlem sırasını takip etmesi ve yoğunlukla sistemden çıkarak işleminin son bulmasıdır. Kaynaklar ise belirli bir akış diyagramını izlemez ve kendilerine atanan görevleri gerçekleştirirler. Varlıklar kaynakların kullanımını gerektirirler.

Benzetim modellemesi yapılırken, kaynak sayısının varlık işlemleri üzerindeki etkisi ne, kaç tane kaynak gerekli gibi sorularla kaynakların nasıl kullanıldığı ile ilgilenilir.

Kaynakların hangi durumlarda kullanıp kullanmayacağı ise sistem davranışını hangi boyutta etkilediğine bağlıdır. Örneğin bir kaynak sabit bir iş makinesine atanmışsa ve varlıklar işlem görmek için ve hazır hale gelmek için o kaynağa ihtiyaç duymuyorsa bu kaynağı modele sokmamak daha iyidir.

Bir kaynağın kullanımının gerekli olduğu bir örnek vermek gerekirse, bir test cihazının fabrika içinde birçok konuma gitmesi gerekliken ve kullanılmak istendiğinde test cihazının istenilen bölgeye gelmesi 10 dakika gibi bir süre alıyorsa bu kaynak modele dâhil edilmelidir.

Taşıyıcı kaynaklar (kamyon, asansör, otobüs, uçak, vb.) sistem içindeki kaynakların taşınmasında kullanılır. Bu kaynaklar dinamik ve çok sayıda varlığı taşıyabilmektedir. Gerekli durumlarda çoklu alma ve bırakma noktaları da tanımlanabilir. Buna güzel bir örnek ise otobüsün izlediği rotadır. Gelişmiş üretim sistemlerinin modellenmesinde en karmaşık yapı da malzeme taşıma sistemleridir.

3.2.1.4 Rotalar

Rotalar kaynaklar ve varlıklar için dolaşım biçimini tanımlar. Tek başlarına kullanılabilir veya başka rotalara bağlanarak bir rota ağı oluşturabilirler. ProModel’da dolaşım rotaları (Routing Paths) tanımlandığında, basit yapıdaki rotalar (Paths) bunu otomatik olarak yaratır.

Bir Dolaşım Ağı (Path Network) oluşturmak için birbirine bağlanan rotalar üretim ve servis sistemlerinde mevcuttur. Üretimde geçitler birbirine bağlanarak taşıyıcı vb. araçlar için bir dolaşım yolu yaratırlar. Servis sisteminde ise bir merkezdeki farklı koridor ve geçitlerin birbirine bağlanarak odalara olan ulaşımın oluşması örneği verilebilir.

Bir dolaşım ağı kullanılırken bir konumdan diğerine gitmek için çok sayıda rota izlenmesi durumunda kalınabilir. ProModel kaynak ve konumların otomatik olarak en kısa rotayı izlemesine ışık tutabildiği gibi kullanıcı istediği şekilde bir dolaşım ağındaki noktaları belirleyebilir.

3.2.2 Operasyonel Unsurlar

Operasyonel unsurlar sistemde bulunan farklı fiziki elemanların davranışlarını ve nasıl etki yarattığını tanımlar. Bunlar ise:

1. Dolaşım (Routings)
2. Varlık İşlemleri (Entity Operations)
3. Varlık Gelişleri’dir. (Entity Arrivals)

3.2.2.2. Dolaşım

Dolaşım varlıkların konumdan konuma gidiş sırasını tanımlar. Bir varlık bir konumdaki işlemini tamamladığında, Dolaşım varlığın bir sonraki konumuna gidişini

belirler. Bazı durumlarda ise bir varlık birden çok konuma götürülebilir. Bu durumda bir kural veya ölçüt tanımlanmalıdır ki program ona göre bir güzergâh belirlemelidir. Varlığın gideceği bir sonraki konumu belirlemek için tipik olarak kullanılan dolaşım kuralları aşağıdaki gibidir:

- Olasılıksal (Probabilistic): Varlıklar birkaç konumdan birine, belirtilen frekans dağılımında yönlendirilecektir.
- En Müsait (First Available): Varlıklar listelendikleri sıraya göre en müsait konuma gönderilir.
- Sırayla (Bu Turn): Listedeki konumlara sıra ile gönderilir.
- En Uygun Kapasite (Most Available Capacity): Varlıklar en uygun kapasiteye sahip konuma giderler.
- Dolana Kadar (Until Full): Varlıklar kapasitesi dolana kadar belirli bir konuma giderler, sonra diğer konuma geçerler, o da dolunca diğerine geçerler ve bu şekilde bir döngüyle varlıkların dolaşımı sağlanır.
- Rassal Olarak (Random): Varlıklar listelenen konumlara rassal olarak giderler.
- Kullanıcı koşullu (User Condition): Varlıklar listelenen konumlardan birine kullanıcının tanımladığı bir koşululla giderler.

Bazen bir varlık bir konumdan birçok kez geçmek durumunda kalabilir. Modellemede böyle bir durumda yapılacak en iyi şey bir varlık özelliği tanımlayarak bir konumdan kaç defa geçtiğini takip etmektir. Böylece doğru rotayı takip edip etmediği anlaşılabilir.

Bir şirkette bulunan imza sirkülerine hangi sırayla imza atıldığının önemli olmaması bu dolaşım yapısına bir örnektir. Dolayısıyla bir rota çizip belirli bir sıraya göre gezmesi gereksiz olduğundan sirkülerin hangi konuma gidip gitmediği takip edilmelidir.

3.2.2.1 Varlık İşlemleri

Bir varlık işlemi, varlık bir konuma geldiğinde ne olacağını tanımlar. Modellemede (hasta girişi, makine işlemleri vb.) operasyonun doğası önemli değildir. Önemli ve gerekli olan ne kadar zamana ihtiyaç olduğu, hangi kaynakların kullanıldığı ve sistem performansını etkileyen ne tür bir mantık atandığıdır. Sadece

kaynak ve zamana dayalı sistemlerden çok daha karmaşık sistemler vardır ve detaylı bir mantık atamak gerekebilir. “*If-else*” ifadesi buna çok güzel örnektir ve ilerleyen bölümlerde bahsedilecektir.

Varlıklar genelde birbiriyle fiziksel veya mantıksal olarak birleşeceği işlemlerden geçerler. Varlıklar birleştirilebilirler ve bu tip durumlarda belirlenen sayıya gelene kadar bekletilip birleştirilerek tek bir birim haline getirilebilirler. Geçici veya sürekli bir birleşme olabileceği gibi varlıkların geçici veya sürekli olarak parçalara ayrılması da mümkündür. Örneğin bir nakliye aracının doldurulması için parçaların biriktirilmesi, bir parktaki gezinti için insanların beşer kişilik gruplar oluşturması veya varlıkların fırına yüklenerek ısıtılması için gruplanması.

ProModel programında varlıkları geçici olarak başka bir varlığa eklemek için “*LOAD*” ifadesi kullanılır. Kalıcı olarak birbirine eklemek için ise “*JOIN*” ifadesi kullanılır. Varlıklar “*SPLIT*” ifadesiyle birbirinden ayrılır. Varolan bir varlıktan yeni varlık yaratmak için ise “*CREATE*” ifadesi kullanılır.

3.2.2.2 Varlık Gelişleri

Varlık gelişleri; sisteme giriş yapan varlıkların zaman, miktar, frekans ve konum bilgilerini tanımlar. Varlıklar bir üretim veya servis sistemine aşağıdaki şekillerden biri şeklinde tek tek veya gruplar halinde girebilirler:

- Periyodik bir aralıkta gelebilirler,
- Programlı olarak belirli zamanlarda,
- Zamanla değişen bir şekilde,
- Bir olayın gerçekleşmesine bağlı olarak gerçekleşebilir.

Montaj hattından paketlenmeye gelen bir monitörün ortalama 1,6 dakika ve 0,2 dakika standart sapma “ $N(1.6, 0.2)$ ” ile işlem görmesi periyodik geliş bir örnektir.

Programlı varışlar bir ring servisin belirli zamanlarda müşterileri taşıması gibi birden fazla sayıda meydana gelir. Zamanla değişen veya dalgalı gelişlere örnek olarak bir restorana gelen müşteriler verilebilir. Olaya bağlı gelişlere güzel bir örnek ise, stoğun veya envanterin azalarak tekrar istekte bulunma seviyesine inmesidir.

3.2.3 Temel Modelleme Konseptleri

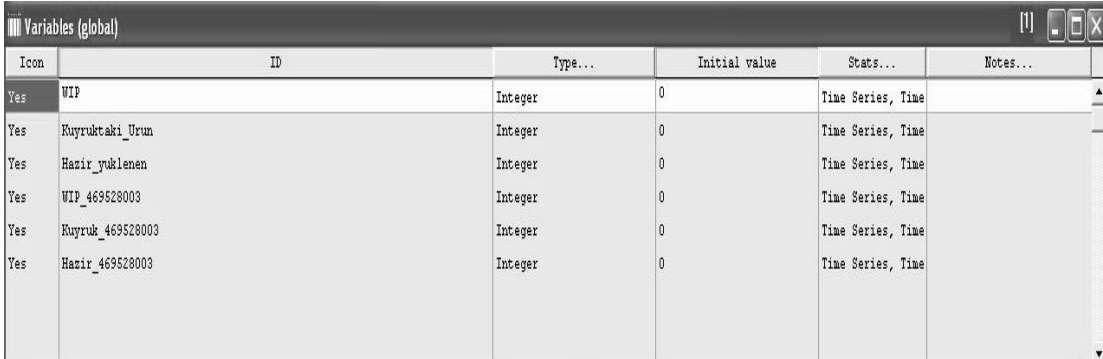
Bu başlık altında ProModel programının temel modelleme konsepti detaylı bir biçimde incelenecektir. Bu başlığa ait alt başlıklar şu şekildedir:

1. Değişkenler (Variables)
2. Diziler (Arrays)
3. Tablo Fonksiyonları (Table Functions)
4. Altyordamlar (Subroutines)
5. Gelişlere ait Döngü (Arrival Cycles)
6. Kullanıcı Dağılımları (User Distributions)

3.2.3.1 Değişkenler

Değişkenler, benzetim çalışırken istatistikleri takip etmek ve görüntülemek için kullanılır. Genel amacı karar vermeye ve veri toplamaya yardımdır. Örnek olarak, üretilen miktarı takip etmek veya bir ATM cihazının önünde bekleyen müşteri sayısını ölçmek verilebilir. Yapılan çalışmaya ait bir değişken örneği ise aşağıdaki gibidir:

Şekil 9: ProModel’da Değişkenlere ait bir görünüm.



Icon	ID	Type...	Initial value	Stats...	Notes...
Yes	WIP	Integer	0	Time Series, Time	
Yes	Kuyruktaki_Urun	Integer	0	Time Series, Time	
Yes	Hazir_yuklenen	Integer	0	Time Series, Time	
Yes	WIP_469528003	Integer	0	Time Series, Time	
Yes	Kuyruk_469528003	Integer	0	Time Series, Time	
Yes	Hazir_469528003	Integer	0	Time Series, Time	

Programın Menü çubuğunun Build → Variables sekmesinden ulaşılacak bu bölüm, yapılan çalışmada sisteme giriş yapan toplam hammadde, kuyruktaki ürün miktarı, depoda hazır halde bekleyen üretim miktarlarını göstermektedir. Kod olarak kullanımı ise şu şekildedir:

Yukarıda Kuyruktaki_Urun tanımlı değişken modelin İşleme (Processing) modülünde ürüne ait montaj bekleme hattı konumunun operasyon sekmesinde “INC

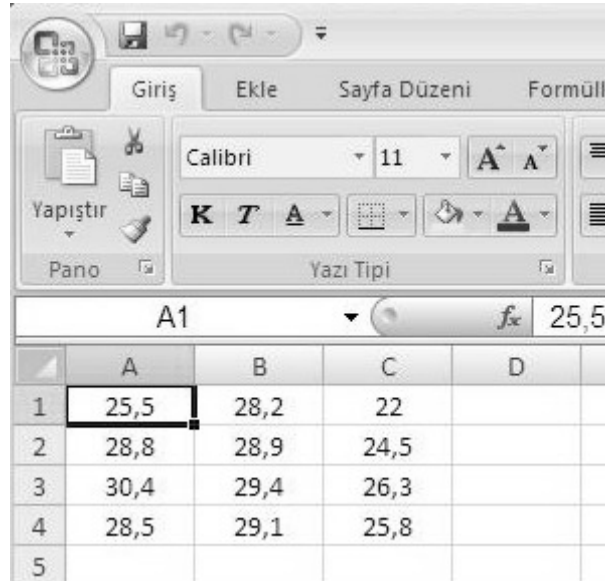
Kuyruktaki_Urun” şeklinde kodlanmıştır. Yani paketlemeye giden ürünlerin bekleme kuyruğundaki ulaştıkları toplam sayı istatistiğini takip etmeye imkân sağlamaktadır.

Montajdan çıkış yapan her varlık için ise, en son hangi konumda işlem görüyorsa o konuma ait operasyon sekmesine “*DEC Kuyruktaki_Urun*” kodu girilerek istatistiğin doğru şekilde takip edilmesi sağlanmış olur.

3.2.3.2 Diziler

Diziler, hücre şeklinde matrislerden oluşan ve içinde reel veya tamsayı değerler bulunduran yapılardır. Bir dizi içinde bulunan her hücre bir değişken gibi çalışır ve değişkenlerin kullanıldığı her yerde kullanılabilir. Daha basit bir tanıımı yapacak olursak; test sonuçları, satış vergileri veya bir deneye ait ölçümler gibi veri setlerini yapısal olarak temsil eder.

Şekil 10: Oda Sıcaklıkları



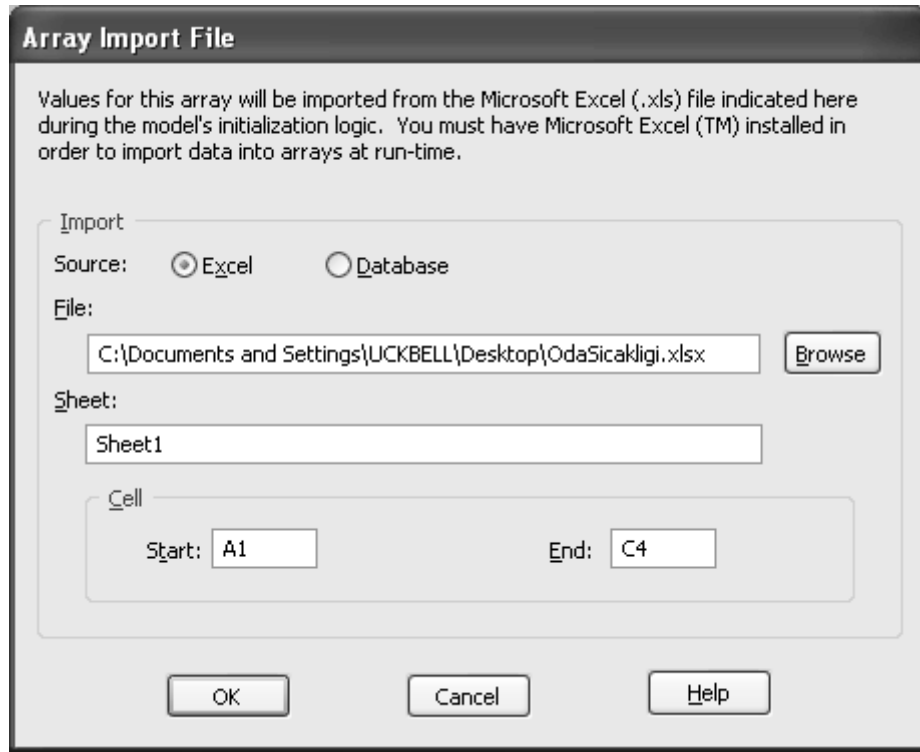
	A	B	C	D
1	25,5	28,2	22	
2	28,8	28,9	24,5	
3	30,4	29,4	26,3	
4	28,5	29,1	25,8	
5				

Şekil 10’da 4 satır ve 3 sütunluk toplam 12 veriden oluşan oda sıcaklık ölçümleri vardır. Excel’de oluşturulan .Xls veya .xlsx uzantılı veri setimizi ProModel’e girmek için ise Build menüsünden Arrays yani Diziler seçilir. Oradan da Import File seçeneğinden istediğimiz dosyayı programa tanıtır daha sonra ise bu dosyanın hangi sayfasındaysa veriler, geçerli seçimi yapıp ardından hangi hücrelerin kullanılmasını istiyorsak programa gösteririz. Bu örnekte A1-C4 hücreleri veri

kapsıyor o yüzden bu şekilde giriş yapıyoruz.

Şekil 11’de görüldüğü gibi; diziler menüsünde, dizinin kaç boyutlu olduğu belirtilmelidir. Tek boyutlu ve 10 hücreli DIZI_1 adlı bir dizide 5. Hücreyi (veya tek boyutlu olduğu için 5. Satır da denilebilir) göstermek için DIZI_1[5] komutu kullanılır. 2 boyutlu bir dizide DIZI_2[3,4] ifadesi, bu diziye ait 3. Satır 4. Sütundaki değeri ifade eder.

Şekil 11: Diziler Menüsü



Programın eski sürümlerinde sadece MS Excel (*.xls) desteği olmasına rağmen yeni nesil ProModel versiyonlarında SQL veritabanları da sisteme dâhil edilebilmektedir. Diziler “WAIT UNTIL” komutuyla birlikte kullanılabilirler.

3.2.3.3 Tablo Fonksiyonları

Tablo fonksiyonları bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında ilişki kurmak için kullanışlı bir yoldur. Bu modül özellikle deneysel dağılımlar veya bir modele fonksiyonlar yüklemek istenildiğinde kullanılır. Tablo fonksiyonları kullanıcı tarafından tanımlanır ve bağımsız değerler üzerinden bağımlı değışkene geri döner.

Bağımsız değerler artan bir şekilde girilir. Bağımlı değer ise doğrusal enterpolasyonla hesaplanır. Doğrusal bir fonksiyon için 2, doğrusal olmayan bir fonksiyon için ise 2’den daha fazla referans değeri tanımlanmalıdır.

Şekil 12’de Fonksiyon_1 olan tanımlanan tablo; günün belirli saatlerinde bir marketteki gelişler arası süreyi göstermektedir. Şekilden de görüleceği gibi günün saatleri bağımsız değişkendir, gelişler arası süre ise bağımlı değişkendir. Bu tarzda veriler doğrusal bir fonksiyonu tanımlar.

Şekil 12: Tablo Fonksiyonu

Table for Fonksiyon_1	
Independent Value	Dependent Value
0	20
4	30
8	40
12	50
16	25
20	50
24	80

Bu verilere sahip bir model oluşturduğumuzu varsayalım. Gelişler arası sürenin üstel dağılım olduğunu ele alalım. Müşterilerin yani varlıkların (entity) 24 saat boyunca geldiğini düşünürsek, sisteme gelişler olarak, Arrivals bölümündeki frekans kutusuna şu şekilde girilmelidir:

$$e(\text{Fonksiyon_1}(\text{CLOCK}(\text{HR}) - 24 * \text{TRUNC}(\text{CLOCK}(\text{HR})/24))) \text{ min}$$

Buradaki “TRUNC” kodu bir reel sayının virgülden sonrasını yani küsuratlı kısmını silerek reel sayıyı tamsayıya dönüştürür.

3.2.3.4 Altyordamlar veya Altprogramlar

Altyordamlar, belirli bir görevi yapmak için ayrıca kullanılan kodlama şeklidir. Kullanıcı tanımlı olarak bir kod bloğu şeklinde bir değer yaratır. Altyordamların parametreleri veya değişkenleri olabilir. Şimdi kapsamlı bir örnekle bu menüyü inceleyelim.

Bir fabrikada dişli üretimi yapılmaktadır. Fakat dişlilerin belli standartlarda

olması gerekmektedir. Dişlinin iç ve dış çaplarına ait boyutları yani alt ve üst sınırları olmak üzere birer değişken olarak programa tanıtılır.

Dişliye ait dış çap (Dis_Cap) boyutları 7.02 cm ile 7.03 cm arasında olmalıdır. İç çap ise 2.01 ve 2.02 arasında olmalıdır. Dişliler ise uniform bir dağılıшта dış çap için U(7.025, 0.01), iç çap için U(2.015, 0.01) değerleri arasında işlenmektedir. Dolayısı ile sisteme tanımlanması gerek kodlama şu şekilde olmalıdır:

Şekil 13: Örneğe ait kodlama görünümü

```
*****
*                               Attributes                               *
*****

ID      Type      Classification
-----
Dis_Cap Real      Entity
Ic_Cap  Real      Entity

*****
*                               Subroutines                             *
*****

ID      Type      Parameter      Type      Logic
-----
Kontrol None      Ortalama      Integer  WAIT N(ORTALAMA,STANDART_SAPMA)
Standart_sapma Real      IF Dis_Cap > 7.02 and
Dis_Cap < 7.03 and
Ic_Cap > 2.02 and
Ic_Cap < 2.01 THEN
ROUTE 1
ELSE
ROUTE 2
```

Şekil 13’de görüldüğü gibi dış ve iç çapa ait 2 özellik (Attributes) tanımlanmıştır. Altyordamlar menüsünde ise dişlilere ait ortalama ve standart tamsayı ve reel sayı olarak girilmiştir. Asıl dikkat edilmesi gerek kodlama mantığının şeklidir.

Mantık önce ortalama ve standart sapma değerlerinde verileri bekleyip daha sonra dış ve iç çap değerleri istenilen aralıkta değilse “ROUTE 1” rotasına, değerler istenilen aralıkta ise “ROUTE 2” yani işleme devam edilmesini sağlar.

Dişliler bir “Giriş” konumundan giriş yapmakta daha sonra buradan işleme noktasına gitmekte, buradan yukarıda belirtilen özelliklere göre kontrolöre gitmekte, eğer dişliye ait çaplar istenilen aralıklarda değilse aynı varlık ismi olan “disli_giris” ismiyle geri dönüşüme giderek, istenilen aralıklarda ise “disli” varlık ismiyle İşleme_2 konumuna gidip oradan sistemi terk etmektedir. İşleme mantığı ise aşağıdaki şekilde gibidir.

***** Processing *****						
		Process	Routing			
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule
Disli_Giris	Giris		1	Disli_Giris	Isleme	FIRST 1
Disli_Giris	Isleme	WAIT N<4, 0.5> min Dis_cap = U<7.025, 0.01> Ic_Cap = U<2.015, 0.01>	1			
Disli	Kontrolor		1	Disli	Kontrolor	FIRST 1
			1	Disli_Urun	Isleme_2	FIRST 1
				Disli	Geri_don	FIRST
Disli	Geri_don		1	Disli	EXIT	FIRST 1
Disli_Urun	Isleme_2		1	Disli_Urun	EXIT	FIRST 1

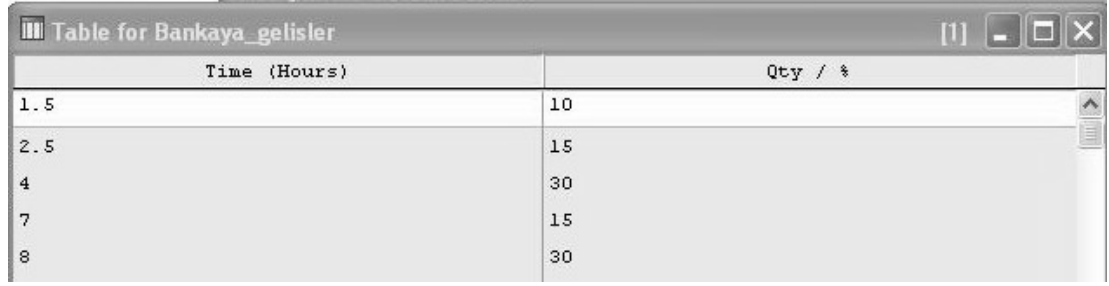
Kimi durumlarda varlıklara ait gelişler belirli bir düzende gerçekleşir. Bir havaalanına iniş yapan uçaklar, otobüslerin otogarlara gelişi ve müşterilerin arabaya servis restoranlara gelmesi gibi. Bu tip gelişlere ait döngüler:

Şekil 15: Arrival Cycles modülü görünümü

ID	Qty / t	Cumulative	Table...
Bankaya_gelisler	Percent	No	Defined

Bir bankaya müşteri gelişleri sabah 9’da başlayıp akşam 5’e kadar sürmektedir. Bu örneğe göre varışlara ait programa tanımlanması gereken şekil aşağıdaki gibi olacaktır.

Şekil 16: Gelişlere ait tablo tanımlama



Time (Hours)	Qty / %
1.5	10
2.5	15
4	30
7	15
8	30

Şekilden de görülebileceği üzere banka 8 saat çalışmaktadır ve %10'luk geliş miktarı 1,5 saatte gerçekleşmektedir yani sabah 09:00 ile 10:30 arasındadır. Bu şekilde istenilen gelişlere ait döngü tanımlanabilmektedir. Kullanıcı isterse elindeki rakamsal değerleri miktar veya birbirine oranlayarak yüzdesel ifade ile programa dâhil edebilir.

Şekil 17: Gelişler Görünümü

```
*****
*                               Arrivals                               *
*****
```

Entity	Location	Qty Each	First Time Occurrences	Frequency
Musteri	Giris	N(200,12); Bankaya_gelisler	100	24

Gelişler menüsüne ise Şekil 15 ve Şekil 16'da uyguladığımız adımları tanıtmaya işlemi Şekil 17'de görülmektedir. Yukarıdaki şeklin açıklaması ise şu şekildedir:

Giriş konumundan sisteme giriş yapan müşteriler (varlıklar, entities) 24 saatte (Frequency), 200 ortalama ve 12 standart sapmaya sahip normal dağılım gösteren bir şekilde "N(200,12)" gelmektedirler. Meydana gelme sayısı ise kullanıcıya kalmış bir durumdur. Bu olayın 100 defa tekrarlanması istendiği için Meydana gelme sayısı (Occurrences) 100 girilmiştir. Örneğin ilk gün 200 müşteri geldiğini kabul edersek bunların % 10'u yani 20 müşteri (varlık, entity) saat 09:00 ile 10:30 arasında bankaya gelecektir.

3.2.3.6 Kullanıcı Dağılımları

ProModel programının içeriğindeki hazır olan dağılımlar bazı durumlarda kullanıcılar için yetersiz kalabilir veya kullanıcı kendi istediği şekilde bir dağılım kullanmak isteyebilir. Bu gibi durumlarda deneysel dağılımlar sürekli veya kesikli olarak belirtilirken kümülâtif veya kümülâtif olmayan şekilde verilerini kullanabilirler. Bu kullanım şeklini bir örnekle inceleyelim:

Tablo 1:Müşterilerin yemek süreleri

Yeme Süreleri	Olasılık
$P(0 \leq X \leq 3)$	0.0
$P(3 \leq X \leq 4)$	0.35
$P(4 \leq X \leq 5)$	0.35
$P(5 \leq X \leq 8)$	0.3
$P(8 \leq X)$	0.0

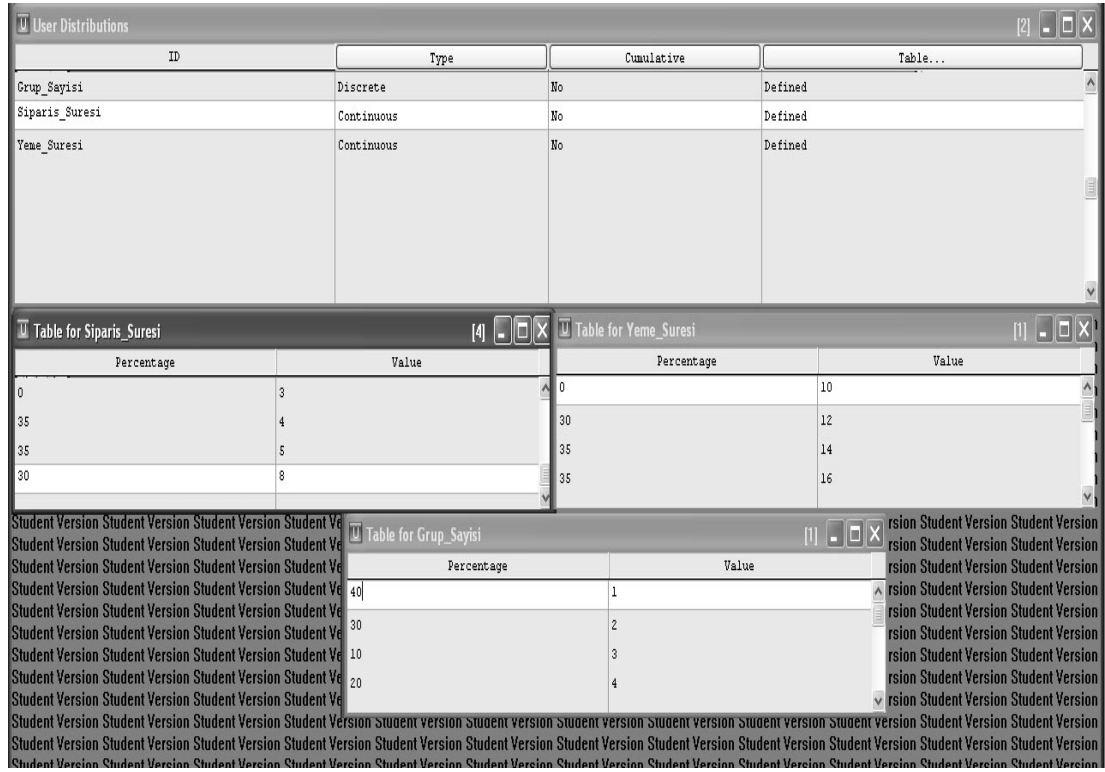
Müşteriler bir restorana 1, 2, 3 veya 4 kişilik gruplar halinde gelmektedir. Sipariş verme süreleri Tablo 1’de, müşterilerin yemek yeme sürelerine ait olasılık yoğunluk fonksiyonu ise Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2:Sipariş verme süreleri

Yeme Süreleri	Olasılık
$P(0 \leq X \leq 10)$	0.0
$P(10 \leq X \leq 12)$	0.3
$P(12 \leq X \leq 14)$	0.35
$P(14 \leq X \leq 16)$	0.35
$P(16 \leq X)$	0.0

Bu 2 tabloya ek olarak bir de müşteriler farklı rakamlardaki gruplar halinde geldiğinden, programın kullanıcı dağılımlarına (User Distributions) toplamda 3 adet tablo eklenmelidir ve bu tabloların gösterimi aşağıdaki şekillerde oluşmaktadır.

Şekil 18: Kullanıcı Dağılımları



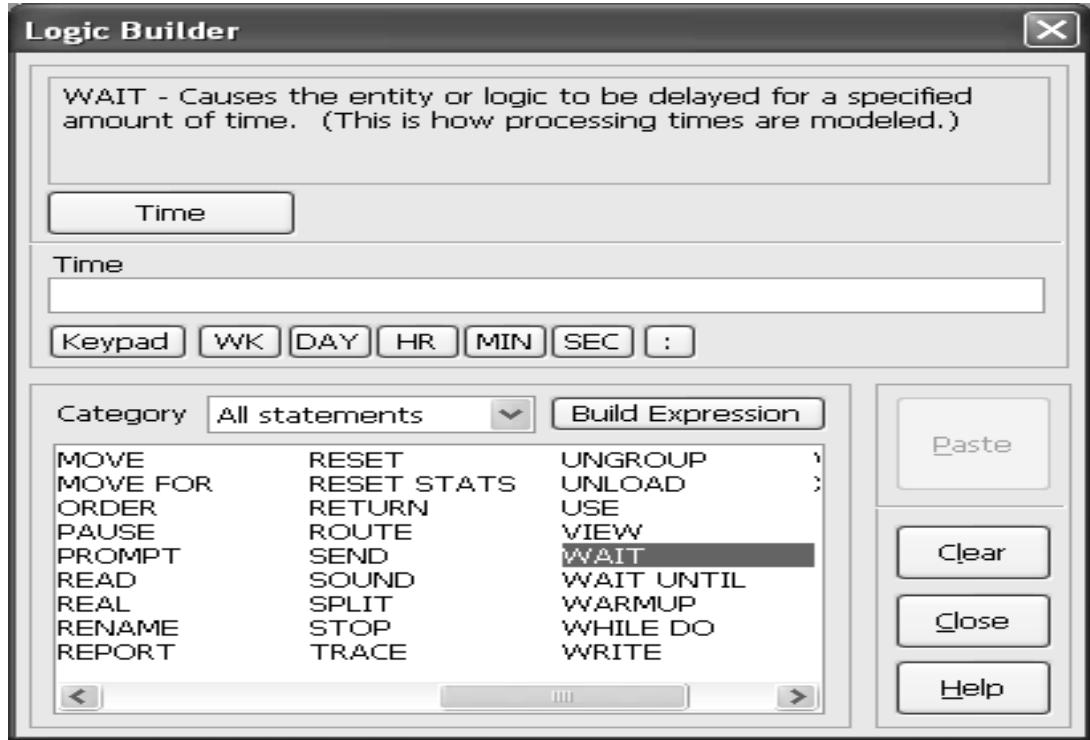
Restorana gelen grubu oluşturan kişi sayısı %40 ihtimalle 1 kişi, %30 ihtimalle 2 kişi, %10 ihtimalle 3 kişi, %20 ihtimalle ise 4'tür.

3.2.4 Mantık Kurucu

Mantık kurucu, kullanıcı için anahtar kelimeleri veya model içindeki elemanların isimlerin hatırlamasını gerektirmeden, geçerli mantık kodlarını kullanan bir araçtır. Bu araç sayesinde sadece boşlukları doldurmak kadar kolay bir şekilde sistem için geçerli bir mantık yapısı kurulabilir. İstenilen kodlar seçildikten veya girildikten sonra PASTE butonuna tıklayarak sistemde olması gereken kodlar yaratılmış olur.

Şekil 19'da görüleceği gibi ProModel programında çoğunlukla kullanılan komutlar açıklamalarıyla birlikte aşağıda verilmiştir.

Şekil 19: Mantık Kurucu



- WAIT: Bir konumdaki varlığı genellikle bir işlem ya da prosedür için belirli bir süre bekletmek için kullanılır.
- STOP: Çalışır durumdaki benzetim ekranını durdurarak opsiyonel olarak bir mesaj gösterir.
- GROUP: Geçici bir süre için aynı tipte olan varlıkları birleştirir.
- LOAD: Geçici olarak belirli bir miktardaki varlığı istenilen bir varlıkla iliş­tirir.
- INC: Bir değişkeni veya bir özelliği, belirlenmiş bir sayısal ifade ile artırır.
- UNGROUP: GROUP koduyla birleştirilmiş varlıkları ayırır.
- MOVE: Varlığı belirlenen bir zamanda kuyruğun sonuna götürür.
- VIEW: Benzetim planının görüntü açısını değiştirir.
- GRAPHIC: Bir varlığın sahip olduğu görüntüyü değiştirir.
- IF THEN ELSE: Bir koşula bağlı ifadeleri çalıştırır.
- WAIT UNTIL: Belirli bir koşul gerçekleşene kadar işleme ait mantığın çalışmasını bekletir.
- MOVE FOR: Varlığı istenilen zaman diliminde bir sonraki konuma taşır.
- SPLIT: Bir varlığı belirtilen miktar kadar varlığa böler.

- PAUSE: Çalışır durumdaki benzetim modelinin kullanıcı tekrar devam ettirene kadar durdurulmasına yarar.
- ACTIVATE: Bağımsız bir altıordamı başlatır. Kodlanan mantık altıordamın bitmesini beklemeden devam eder.
- ANIMATE: Benzetim modelinin animasyon hızını belirler. 1-100 arasındadır ve değer büyüdükçe animasyon hızlanır.
- ASSIGNMENT: Bir değişkeni veya özelliği belirli bir ifadenin değerine yerleştirir.
- BEGIN: Bir ifade bloğunun (Kodlar) başlangıcını tanımlar ve bir END ifadesiyle ilişkilendirilmelidir.
- BREAK: WHILE-DO, DO-WHILE veya DO-UNTIL ifadesini bitirir.
- BREAKBLK: Bir ifade bloğunu bitirir.
- CLOSE: WRITE, WRITELINE, XWRITE veya READ komutlardan birini kullanarak üzerinde işlem yaptırılan bir dosyayı kapatır.
- COMBINE: İstenilen miktarda varlığı biriktirip birleştirerek tek bir varlık haline getirir.
- COMMENT: Bir mantık bloğunun içinde kullanıcıya not yazması için kullanılır ve modelde ihmal edilir.
- CREATE: Varolan bir varlığa ek olarak belirtilen miktarda, varolan varlıkla aynı özelliklerde varlıklar yaratır.
- DEBUG: Modelin çalıştırılması sırasında hata ayıklayıcıyı çalıştırarak kullanıcının özellikleri veya komutları incelemesini sağlar.
- DEC: Bir değişkeni veya bir özelliği, belirlenmiş bir sayısal ifade ile azaltır.
- DISPLAY: Benzetimi durdurarak bir mesaj gösterir. Kullanıcı “OK”e bastığında devam eder.
- DO UNTIL: Bir koşul yanlış olduğu sürece bir ifade veya ifade bloğunu tekrar eder.
- DOWN: Belirtilen bir arıza ve benzeri durumlarda sistemin derhal devam etmesini sağlar.
- FREE: Bir kaynağın (Resource) o anki varlığı bırakmasını sağlar.
- FREE ALL: Tüm kaynakların o an ilişkili oldukları tüm varlıklardan serbest bırakır.

- GET: Müsait oldukça bir veya daha fazla kaynağı tutar.
- GOTO: Belirlenmiş bir duruma göre bir ifadeye geçiş yapar.
- INCENTCOST: Kullanılan varlığın maliyetini artırarak hesaplar.
- INCLOCCOST: Kullanılan konumun maliyetini artırarak hesaplar.
- INCRESCOST: Kullanılan kaynağın maliyetini artırarak hesaplar.
- JOINTLY GET: İstenen sayıda kaynağı müsait olduğunda kullanır.
- LOG: Bir özellik veya değişkenin, bir komuttan diğerine geçerkenki zamanını bir text dosyasına kayıt eder.
- MATCH: Bir varlığın, başka bir varlığa ilişkin yaratılan bir özellik (attribute) oluşana kadar bekletilmesi mantığına dayanır.
- ORDER: İstenilen konuma, belirtilen miktarda varlık yaratmak ve sisteme sokmak için kullanılır.
- PROMPT: Benzetimi durdurarak seçim yapılması için ya bir mesaj gösterir yada bir menü görüntüler.
- READ: Bir sonraki sayısal değeri txt uzantılı dosyadan okuyarak bir değişkene veya bir özelliğe atar. Dosya ASCII dosyası olmalıdır.
- REAL: Reel olmak üzere yerel bir değişken yaratır.
- RENAME: O an kullanılan varlığa yeni isim verir.
- REPORT: O ana kadar kullanılan istatistikleri çıktı veritabanını ekler.
- RESET: Txt uzantılı okuma dosyasını baştan başlatır.
- RESET STATS: Benzetim istatistiklerini sıfırlar.
- RETURN: Bir altyordamdan mantığa değer yollayarak altyordamın çalışmasını durdurur.
- ROUTE: Tayin edilmiş bir rota bloğunu aktive eder.
- SEND: Belirtilen miktarda varlığı istenen konuma yollar.
- SOUND: .Wav uzantılı bir dosyayı çalar.
- TRACE: Sistemin mantıksal akışını takip etmek için kullanılır. Takibi açar veya kapatır.
- UNLOAD: LOAD komutuyla birbirine belirli bir sayıda bağlanan varlıkları ayırır.
- USE: Belirlenen zamanlarda, müsait oldukça kaynak veya kaynakları

yakalayarak onları kullanır daha sonra bırakır.

- WARMUP: Tüm istatistikleri sıfırlayarak benzetim modelinin ısınma periyodunu bitirir.
- XWRITE: Kullanıcının belirlediği bir yazı dosyasına bilgileri yazar.
- WRITELINE: Yazı dosyasına bilgi yazmayı sağlar ve yeni bir satır başlatır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1 Uygulamanın Amacı ve Kapsamı

Yapılan çalışmada İzmir ilinde kurulu yedek parça üretimi yapan bir makine sanayi firmasında bir üretim sisteminde, benzetim metodu yardımıyla kapasite kullanımını artırarak, üretim parti boyutlarını optimize ederek ve vardiya sisteminde yapılması düşünülen yönetim değişiklikleri ile firmaya ait maliyet minimize edilmeye çalışırken kar da maksimize edilmeye çalışılacaktır.

Çalışmanın yapıldığı fabrika gibi her türlü üretim sistemlerinde benzetim ve modelleme ve analizi mevcut üretim sistemlerinin karmaşık yapısını basitleştirerek, bilgisayar modeli ile sistem iyileştirme çalışmalarını sağlayan önemli bir karar destek aracı haline gelmiştir. Özellikle, üretim hatlarının kullanım seviyeleri hakkında bilgi vererek, hatlarda verimliliğin artırılması çalışmalarında benzetim tekniğinden yararlanmak, yapılacak yatırımın faydalı olup olmayacağına karar vermek açısından yatırımcıya bir fikir vermektedir.

Dolayısıyla firmalar her türlü gelişime açık yapıda bir adım önde olabilmek için ve yapacakları yatırımların kendilerine nasıl döneceğini kestirebilmek için benzetim ihtiyacı duymaktadır. Rekabet ise günümüzde her geçen gün daha da şiddetli biçimde önem kazanmaktadır. Bu nedenle, üretime dair her türlü koşulların iyi değerlendirilmesinin çözüm yolları araştırılmıştır. Bu rekabet ortamında şirketler farklı teknikleri kendi bünyelerinde uygulayarak rekabet güçlerini artırmayı amaçlayabilmektedir.

Benzetim modellemesi yapılan fabrika ve üretim hattı daha öncede üzerinde detaylı bir şekilde durulan ProModel benzetim programı yardımı ile modellenmiş ve sonuçlar ise gerekli istatistikî test ile sınanmıştır. Bu inceleme yapılırken genel anlamda makine ve tezgâhların üretim ve maliyetlerinin karşılaştırmasının yapılması planlanmıştır.

Üzerinde benzetim modellemesi yapılan fabrika ve sisteme ait detaylı fabrikanın kuş bakışı Microsoft Visio çizimi ile ProModel’da oluşturulan benzetim

modelinin görünümü, mevcut sistemin modellenmesi, maliyet hesapları, darboğazlar, tezgâh ve makinelerin kullanım oranları, vardiya değişikliği, makinelerin kullanımının değiştirilmesi veya birbirleri ile ikame edilmesi gibi çeşitli senaryolar ele alınmıştır.

4.2 Üretim İşletmesinin Tanıtımı

İşletme; Makine Ve Yedek Parça Sanayi firması olarak 1978 yılında İzmir 2. sanayi sitesinde kurulmuş olup otomotiv sektöründe pek çok çeşitli parça üreten ve sektörde adını duyurmuş bir işletmedir. Yeniden yapılanma ve organizasyon sürecindeki fabrika 2004 yılı Ekim ayında kendine ait yeni yapılan 1500 m² kapalı 5000 m² açık alanı bulunan yeni yerine taşınmayı planlamaktadır.

Dolayısı ile yapılan çalışma yeniden organizasyonu yapılacak firmaya ait İlk 2 fotoğrafta fabrika yerleşim düzeninin Visio görüntüsünden de yerleri görülebilecek olan CNC1, CNC2, CNC3 makineleri mevcuttur. 3. fotoğrafta ise Dim yani Dik İşlem Merkezleri ve testerelerin bir kısmı görünmektedir. Son fotoğrafta ise fabrikanın hammadde giriş tarafını geniş açıyla alan bir görünüm mevcuttur ve Zımpara ile Kaynak Makinesinin olduğu bölgeye denk gelmektedir. Fabrikanın gerçek fotoğrafları aşağıda gösterilmektedir.

Şekil 20: Üretim İşletmesinden bir görünüm



Şekil 21: Üretim İşletmesinden bir görünüm



Şekil 22: Üretim İşletmesinden bir görünüm



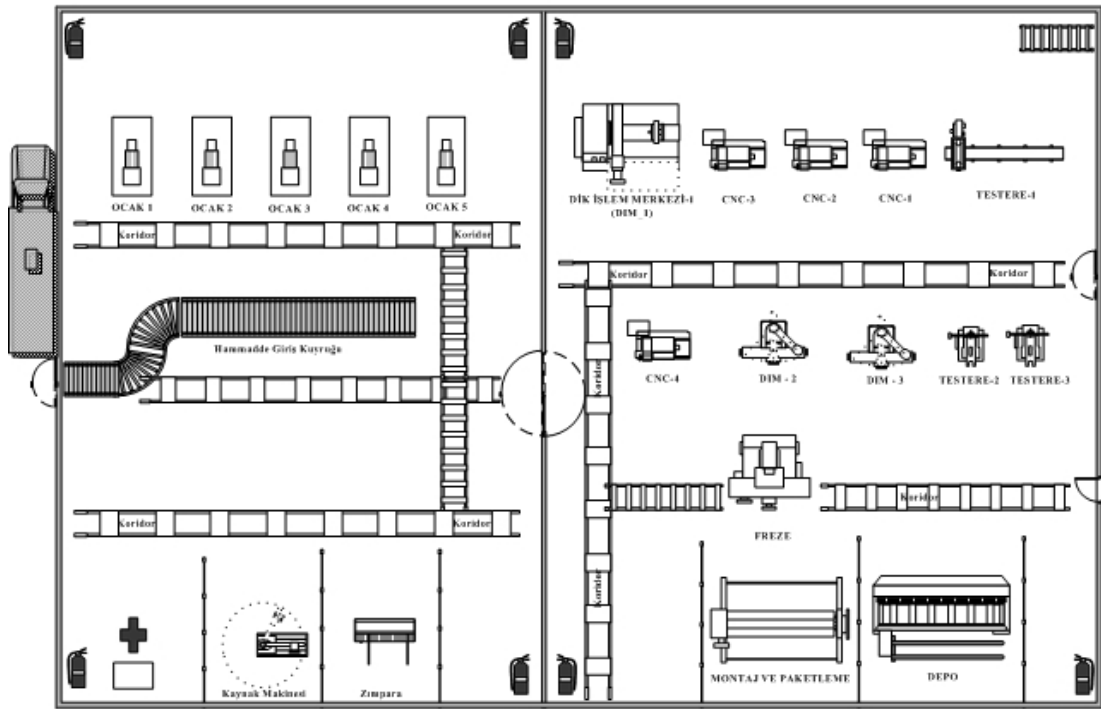
Şekil 23: Üretim İşletmesinden bir görünüm



4.3 Mevcut Sistemin Modellenmesi

Yukarıda fotoğraflarda da görülen fabrikaya ait yerleşim düzeninin görünümü Microsoft Visio'da çizilmiş hali Şekil 24'te aşağıdaki gibi olmuştur.

Şekil 24: Fabrikanın MS Visio'daki çizimi



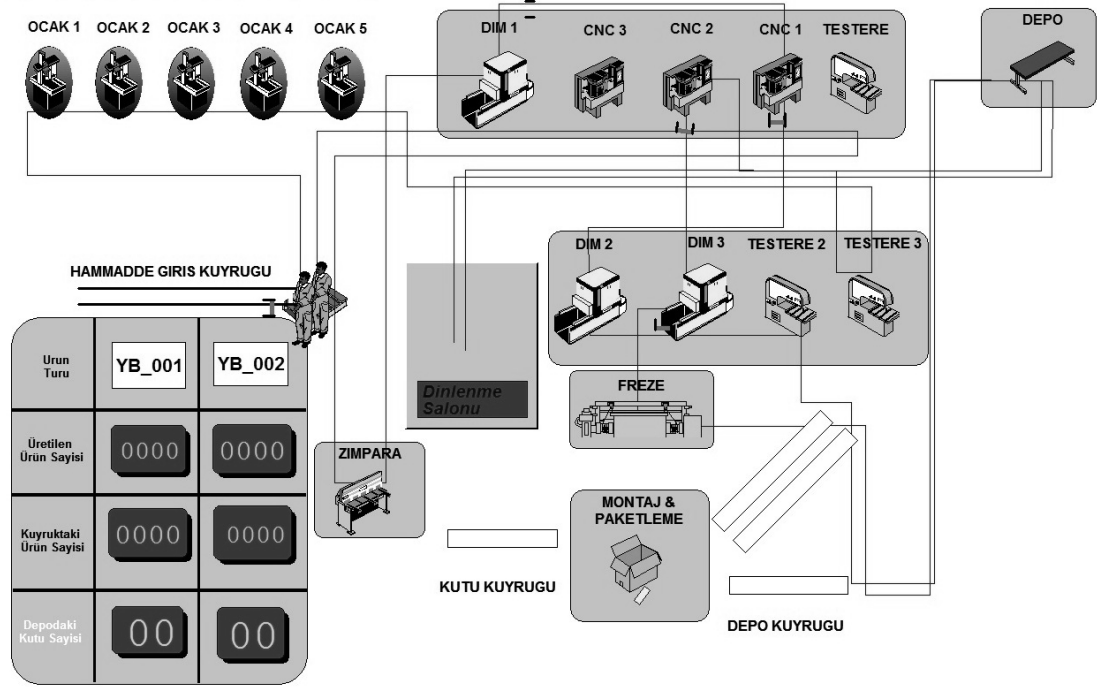
Şekil 24'te verilen üretim sistemini ProModel yazılımında modellenirken görünüm olarak ekrana sığması için Visio çiziminde sağ alt kısımda görülen Depo kısmı ProModel çiziminde sağ üst kısımda bulunmaktadır.

Depo bilgisayar modelinde farklı yerde olmasına rağmen aslında gerçeği değiştirmeden işlemler arası mesafe korunmuş ve örneğin Freze ile Depo arası 3 metre gibi bir değer girilmiştir. Gerçek sistemi yukarıdaki şekilde olan bu fabrikanın ProModel'da modellenmesi sonucunda oluşan görünümü ise aşağıdaki gibi Şekil 25'de görünmektedir.

Fabrika düzeninde CNC, testere, freze, kaynak makinesi, dik işleme merkezleri, zımpara ve hammadde eritilmesi için ocaklar gibi tezgâh ve iş istasyonları dahil olmak üzere toplam 19 adet makine mevcuttur. 4 ana dolaşım yolu

ve 15 kadar da ara dolaşım ağı mevcut olan fabrikada, üretimi yoğun olan 2 ürünün izlediği işlem ve rotalar ise belirtilen sayılar kadardır.

Şekil 25: Fabrika Yerleşim Planının PROMODEL Görünümü



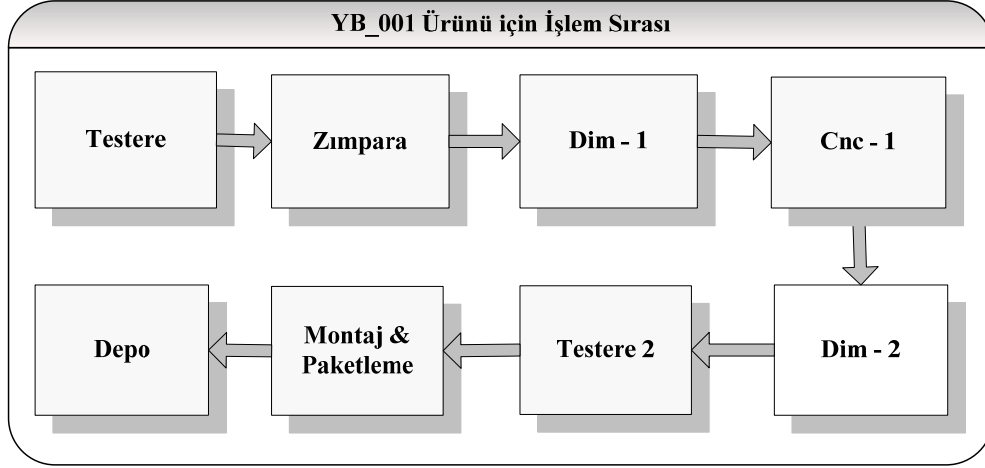
4.4 Ürünler ve Rotaları

Model kurulurken fabrikada en yoğun olarak üretilen 2 ürün (YB_001, YB_002) ele alınmıştır ve bu ürünlerin fabrika içindeki gördükleri işlemlere ait basamaklar Visio çizimiyle gösterilmiştir.

YB_001'e ait hammadde girişi sisteme ait fabrika yerleşim düzeninde de görülebileceği gibi Hammadde Giriş kuyruğundan fabrikaya giriş yapmaktadır. Daha sonra testerede kesildikten sonra zımparaya gidip metal plakalar üzerinde kalan çapak denilen istenmeyen çıkıntılar temizlenerek Dik İşleme Merkezinde (Dim-1) dikey tornalaması yapılarak metal kalıplar üstünde istenilen şekle sokulur. Buradan CNC1 makinesine gelen parçalar tekrar tornalanarak Dim-2'ye gelirler, burada son kez, parçalarda istenilen milimetrik boyutlarda delikler açılır ve Testere-2'ye giderek işlemlerden arda kalan çapaklar alınır. Buradan da montaj ve paketleme bölümüne

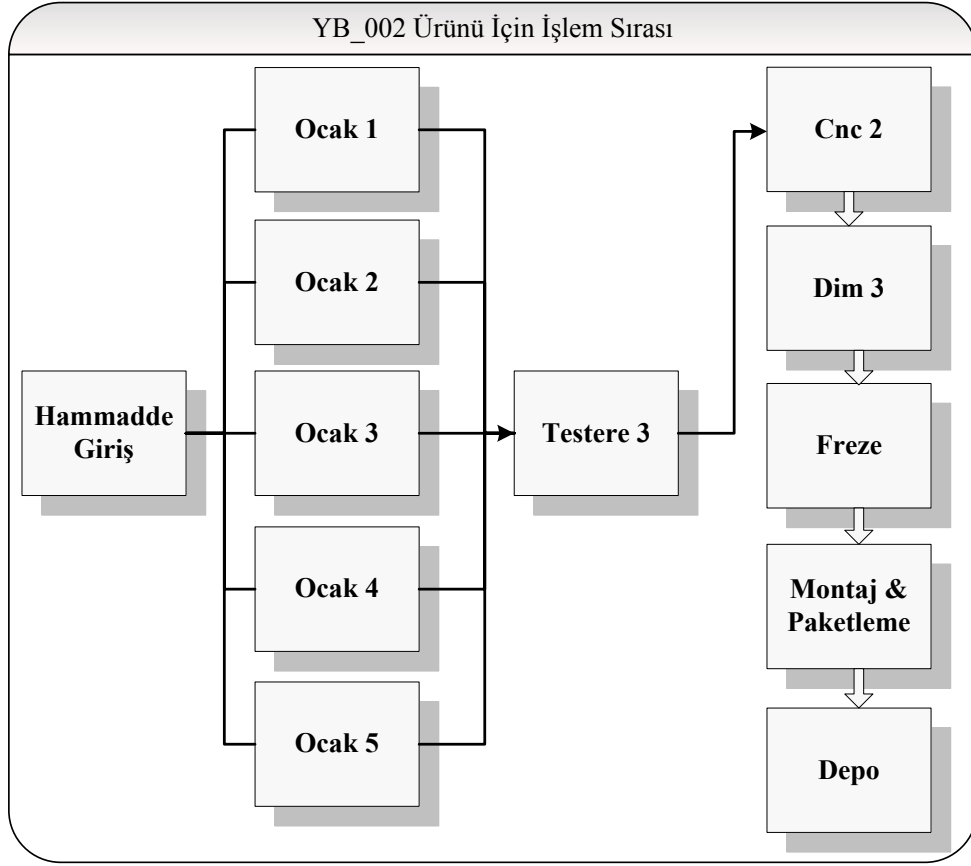
giderek hazır hale gelen alüminyum parçaların 125 tanesi bir kutuya konarak Depo bölümüne taşınır ve sipariş tamamlanır.

Şekil 26: YB_001 Ürününün gördüğü işlem sıralarının gösterimi



YB_002 ürününe ait işlem sırası ise Şekil 27'deki gibidir. YB_002 ürününün başlangıcı ise ağır alüminyum kalıplarının hammadde giriş kuyruğundan sisteme girmesiyle başlar. Buradan 5 adet ocağa taşınarak alüminyumların eritilmesi ve istenilen kalıba sokulması sağlanır. Burada erime işlemini tamamlayan ve işlemler için hazır hale gelen kalıplar öncelikle Testere 3'e getirilerek kalıplamadan doğan fazlalıkları yani çapakları alınır. Daha sonra CNC2'de parçalar istenilen yerlerden kesilir ve buradan Dim-3'e geçerek delik delme işlemi başlar. Autocad yazılımı ile makineye yüklenen kodlar (X,Y,Z koordinatlarına uygun olarak) alüminyum parçalar üzerinde işlemini tamamladıktan sonra Freze makinesine gidip son şekillerini alırlar ve Paketleme bölümünde 55 tanesini bir kutuya konarak depoya yönlendirilirler. Böylelikle YB_002 numaralı ürüne ait işlemler tamamlanmış olur.

Şekil 27: YB_002 Ürününün gördüğü işlem sıralarının gösterimi



4.5 Ürünlerin İşlem Sürelerinin İstatistik Dağılımları

Bir benzetim çalışması yaparken eldeki verilere dayalı olarak veri türetilmesi sonucunda yazılıma gerekli istatistiksel dağılımların girilmesi ve yazılımın da o veriler ışığında veriler türeterek modeli işletmesi gerekir. Bu benzetim modellemesi için temel gerekliliklerinden birisidir.

Yapılan çalışmada ise ürünlere ve tezgâhlara ait çevrim süreleri gerek elle kronometre ile zaman ölçümü gerekse de fabrikanın elinde bulunan ve kayıtlı durumda olan geçmişe dönük çevrim süreleri baz alınarak o verilerden kendilerine uygun veri türetilmesi ile hesaplanmıştır. Örneğin CNC makinelerindeki işlem başı süre ortalama 2 saat olduğundan bu istatistikler firmadan alınırken, zımpara ve freze gibi daha seri işlem gerçekleştiren tezgâhlara ait çevrim süreleri manüel olarak kayıt altına alınmıştır. Üretim aşamasında olan parçalara ait çevrim süreleri yüzer adet olmak üzere toplanmış ve bu verilere uygun olarak istatistiksel veri türetilmiştir.

ProModel yazılımında makinelerin çevrim sürelerini girebilmek için YB_001 ürününe ait çevrim süreleri istatistiksel olarak bulunmalıdır. Yazılımın Stat::Fit eklentisi bu işlemi yapabilmektedir fakat EasyFit bilgisayar yazılımı ile elde edilen verileri bir istatistikî dağılıma uydurmak daha basit olmaktadır. Örneğin YB_001 ürünü ilk olarak testereye oradan da zımparaya gitmektedir. Ürünün testerede geçirdiği süre 100 kere tutularak kaydedilmiştir. Daha sonra 100 defa süre tutularak elde edilen testeredeki çevrim süresi EasyFit yazılımıyla bir istatistikî dağılıma uydurulacaktır. YB_001 ve YB_002 kodlu ürünlerin çevrim süreleri ise aşağıdaki gibi olmaktadır.

Tablo 3:YB_001 kodlu ürünün çevrim sürelerinin istatistiksel dağılımı

Makine	İstatistiksel Dağılım	Test İstatistiği
Testere	Uniform	a=14,513 b=20,647
Zımpara	Uniform	a=43,461 b=56,319
Dim 1	Uniform	a=8,5336 b=12,546
CNC 1	Normal	$\mu=120,29$ $\sigma=5,9752$
Dim 2	Uniform	a=111,08 b=130,68
Testere 2	Uniform	a=26,49 b=32,27
Paketleme	Uniform	a=273,75 b=319,61

Örneğin YB_001 kodlu ürün için testeredeki çevrim süresi $U(14.513,20.647)$ saniyedir. CNC 1'deki çevrim süresi ise parti başına Normal bir dağılım göstermektedir ve istatistiksel olarak 120.29 ortalamaya ve 5.9752 standart sapmaya sahiptir ve $N(120.29, 5.9752)$ şeklinde gösterilecektir ProModel yazılımına. Ayrıca CNC 1'de 200'erlik partiler halinde makineye bağlanmakta ve yaklaşık 120 dakika kadar bir süre işlem görmektedirler.

Tablo 4:YB_002 kodlu ürünün çevrim sürelerinin istatistiksel dağılımı

Makine	İstatistiksel Dağılım	Test İstatistiği
Ocak (5 adet)	Normal	$\mu = 26, \sigma = 5$
Testere 3	Uniform	a=12,614 b=17,614
CNC 2	Lognormal	$\mu = 4.0072, \sigma = 0.06188$
VMC 3	Uniform	a=56.235 b=65.485
Freze	Uniform	a=8,1216 b=12,542
Paketleme	Uniform	a=275,08 b=317,04

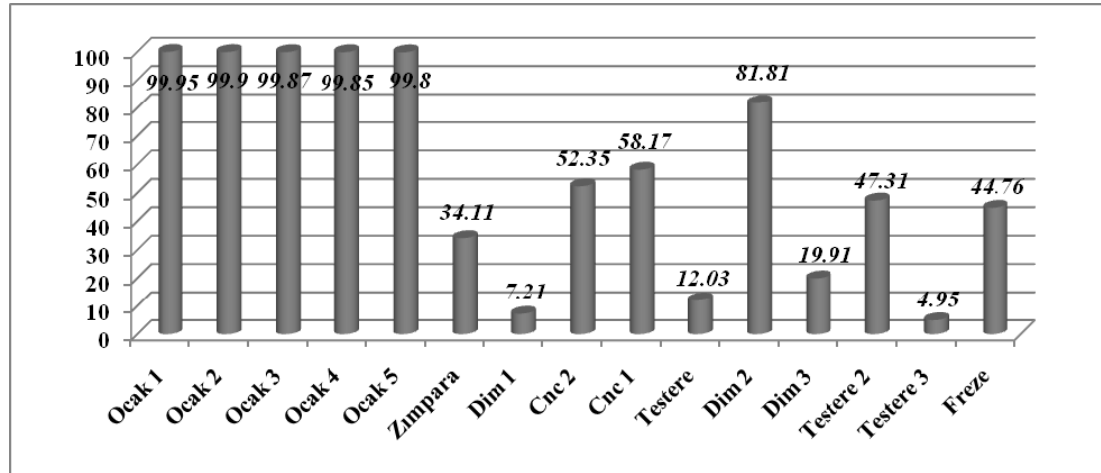
YB_002 kodlu ürün için ise ocaklarda alüminyum kalıpların erimesi ve kalıba girmeleri için çevrim süresi $N(26, 5)$ dakikadır. CNC 2'deki çevrim süresi ise işlem başına Lognormal dağılımı göstermektedir ve $L(4.0072, 0.06188)$ dakika şeklinde gösterilecektir ProModel yazılımına. Ayrıca YB_002 ürünü CNC 2'de 34'erlik partiler halinde makineye bağlanmaktadır.

4.6 Benzetim Modelinin Çalıştırılması

Yazılımın *Option* menüsünden gerekli atamaların yapılması yordamı ile tekrar sayısı, yazılımın üreticisi ve kitap yazarları Harrell ve Ghosh'un önerdiği üzere 6-10 tekrar arasında olmasının gerekliliği üzerine 10 tekrar seçilmiştir. Ayrıca *Shift Editor* ile işletmenin çalışma süreleri hesaplanarak vardiya süreleri modele atanmış ve sonra model çalıştırılmıştır.

Model yukarıdaki istatistikî dağılımlara ait parametreler girildikten sonra çalıştırıldığında sonuçlar aşağıdaki gibi olmuştur:

Şekil 28: Mevcut sistemin benzetimi sonucunda makinelerin kullanım oranları



Kullanım oranları yüzdesel (%) olarak esas alınmıştır ve çıkan sonuçlar itibariyle ocaklar çok iyi kullanılmaktadır çünkü sürekli alüminyum hammaddeden kalıp üretimi yapılmaktadır. Bu oran en çok Dik İşleme Merkezi 1, Testere 1 ve Testere 3'te göze çarpmaktadır çünkü çok düşüktür. Model bu parametrelerle 2 haftalık periyotlarla 50 tekrarlı çalıştırıldığında sonuç şu şekilde oluşmuştur:

4.7 Modelin Geçerliliği

Bir benzetim çalışması yapılırken, deneysel olarak o çalışmanın gerçekçi olabilmesi için, çalışmaya ait veriler ve sonuçların gerçeği temsil etmesi gerekir. Bu temsil ise benzetim modeli sonuçlarının gerçek sistem sonuçları ile istatistiksel olarak karşılaştırılması ile mümkün olabilmektedir. Yapılan çalışmada ise modelin geçerliliğini test edebilmek için benzetim modeli sonucu ile gerçek sistem sonucu karşılaştırılarak istatistikî olarak test edilmiştir.

Model çıktısına ait tanımlayıcı istatistiklere baktığımızda bu modelin ortalama üretim değeri 1483,94 olmaktadır. Standart sapması ise yaklaşık 83,2 iken standart hata ortalaması ise yaklaşık 11,8'dir. Bu aşamada modelin doğrulama işlemi yapılmalıdır, bu yüzden aşağıdaki gibi Z testi uygulanacaktır. Z testine ait formül ise şu şekildedir:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

Tablo 5: Modele ait sistem sonuçları

	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata Ortalaması
Model Çıktısı	1483,94	50	83,26143	11,77494

Modelin geçerliliği için kurulan hipotezler ise aşağıda verildiği gibidir.

$H_0 : \mu = 1500$ (Sistemin ortalama üretim miktarı 1500'e eşittir.)

$H_a : \mu \neq 1500$ (Sistemin ortalama üretim miktarı 1500 değildir.)

$\alpha = 0,05$ önem seviyesinde çift taraflı Z testi değeri 1,96'dır. H_0 hipotezinde ortalama üretimin 1500 olduğunu iddia ederken alternatif hipotezde ise 1500 olmadığı iddia edilmektedir. Eşitlik şeklinde kurulu hipotez olduğundan çift taraflı hipotez testine giren bu uygulama sonuçları ise elimizde var olan parametreleri formüle girdiğimizde sonuç aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$Z = \frac{1493,84 - 1500}{11,77494} = -1,364$$

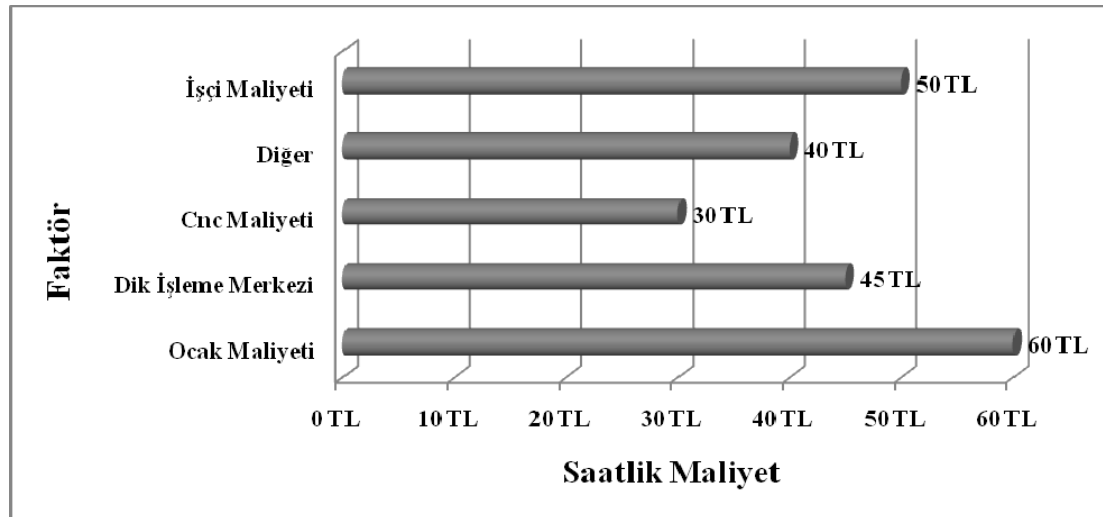
Z test değeri olan 1,96 elde ettiğimiz değer olan 1,364'ten büyük olduğu için hipotezi reddedilemez. Modelimizi istatistiksel olarak doğruladığımız için artık kurulan sistemin benzetim modeli üzerinde senaryolar üretmek mümkündür.

4.8 Mevcut Sistemin Maliyet Hesabı

Modelin geçerliliği istatistiksel olarak sınıandıktan ve deneysel olarak olumlu bulunması sebebiyle artık benzetim modeli sonuçlarını hesaplamak ve bunların üzerine yorum türeterek senaryolar üzerine gitmek artık mümkün olacaktır. İki ürüne ait parça başına maliyet hesapları ile fabrikada hazır bulunan tezgâh ve iş istasyonlarına ait maliyetler ise bu başlıkta ele alınacaktır.

Fabrikada üretilen bu ürünlere ait maliyet hesapları ise YB_001 ürünü için parça başına 2,95 €, YB_002 ürünü için ise 2,75 €'dur. Bu fiyatlar her türlü makine maliyeti dâhil parça başına fiyatlarıdır. Fabrikada mevcut durumda olan makinelerin ise maliyetleri aşağıdaki tabloda gösterildiği gibidir:

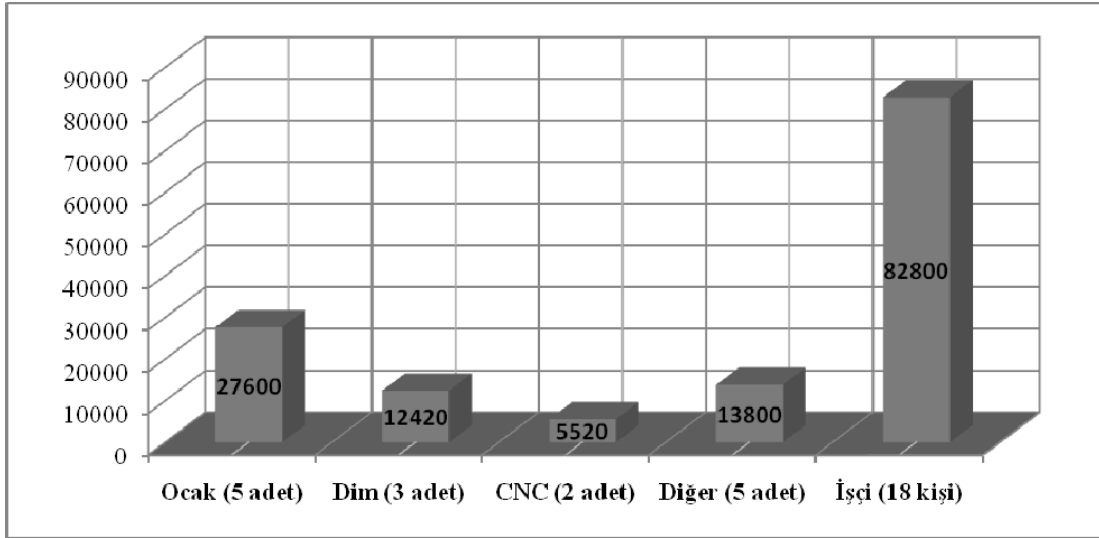
Şekil 29: Faktörlerin saat başına maliyetleri



Fabrikada bulunan bir ocağın saatlik maliyeti 50 TL iken, bu miktar Dik İşleme Merkezleri için birim başına 45 TL, CNC tezgâhları için 30 TL, Zımpara, Freze gibi tezgâhlar için saat maliyeti 40 TL'dir. Makinelerin saatlik maliyetleri hesaplanırken elektrik tüketimleri, amortismanları ve kira giderleri gibi sabit masrafları da dâhil edilmiştir.

Fabrikada çalışan 18 işçi bulunmakta ve bu çalışanlara ait saatlik maliyet ise ortalama 50 TL'dir. Bu maliyete ise yol, yemek ve tazminat gibi giderler dâhil edilmiştir. Bu verilere dayanarak maliyet hesaplandığında elde edilen veriler aşağıdaki gibi olmaktadır.

Şekil 30: Üretim için 1 partilik maliyet hesap tablosu



*Değerler TL cinsindendir.

Görüldüğü üzere sistemin bir partilik yani 2 haftalık maliyeti 146740 TL civarında tutmaktadır. Bundan sonraki amaçlar senaryolar yoluyla sistemi optimize etmeye çalışmak olacaktır.

4.9 Maliyet ve Üretim Miktarı

Üretim sistemi parti miktarlarını 2 haftalık periyotlarla belirlemektedir ve bu üretime ait parti miktarı YB_001 için 1500 iken YB_002 için 1000 civarındandır. Parti miktarlarının bu büyüklüklerde seçilmiş olma nedeni ise gelen sipariş ve müşteri taleplerine bağlı olarak sezgisel yaklaşımdan kaynaklanmaktadır.

2 haftalık süreyi temel alan bu fabrikanın üretim partileri hep 1500 ve 1000 rakamını hedef almıştır. Fakat parti büyüklüğünü belirleyen unsur bu rakamlar olduğuna ve fabrika bunu değiştirmek istemediğine göre yapılması gereken şey nedir sorusunun cevabı alternatif senaryolarda da inceleneceği üzere vardiya sistemine geçilmesi durumunda arzu edilen üretim miktarına ulaşmak daha kısa sürede gerçekleşebilir mi sorusuna cevap aranarak bulunmaya çalışılacaktır.

4.10 Darboğazların ve İyileştirme Senaryolarının Tespiti

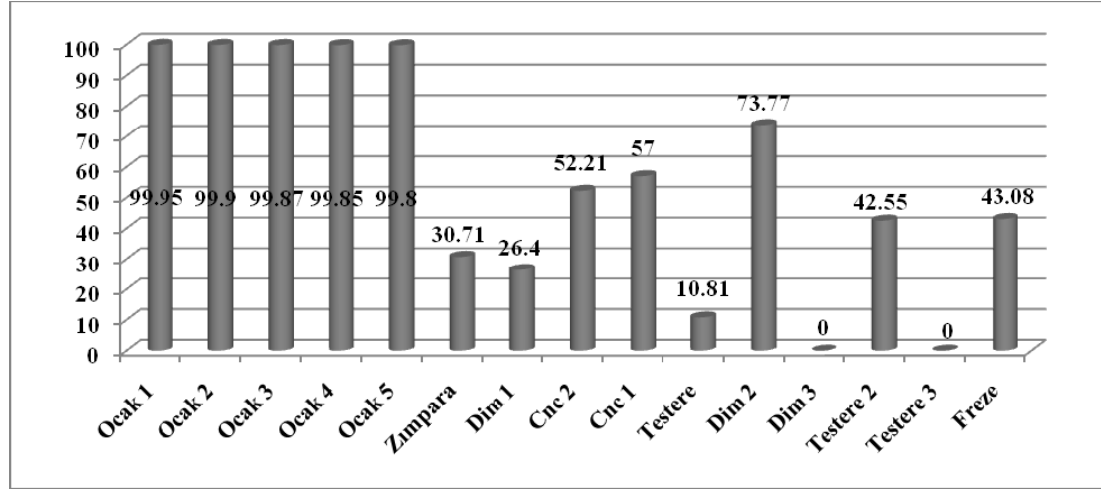
Bir benzetim modeli kurulmadan, daha fikir aşamasında iken temel olarak düşünülen amaçlardan biri verimliliği ve fabrika içi düzenin işleyişi görmektir. Dolayısı ile senaryolar arasında fabrika içinde kullanım oranı düşük olan iş istasyonları tespit edilerek alternatif senaryoların türetilmesi öncelik teşkil edecektir. Önceliği yüksek olan YB_001 ve YB_002 kodlu parçaların üretim sayıları ve detaylı mali karşılaştırmalar eşliğinde parti büyüklüğü senaryolarının türetilmesi ise diğer bir senaryo olacaktır zira bu parçaların CNC makinelerindeki çevrim süreleri çok uzun zaman almaktadır ve optimize edilmeye açık görünmektedir. Bir diğer senaryo olan vardiya sistemi değişikliğinde ise fabrika yöneticilerinin isteği doğrultusunda ikinci bir vardiyaya geçilmesi durumunda ne gibi yarar ve zararların ortaya çıkacağını öngörmektir. Bu senaryolar ve senaryolara ait detaylı mali analizler bu başlık altında ele alınacaktır

4.10.1 Senaryo 1: Meşguliyet oranlarının düşük olduğu tezgâhların modelden çıkarılması

Daha öncede üzerinde durduğumuz gibi Dik İşleme Merkezi 1 (Dim-1), Testere 1 ve Testere 3'te kullanım oranları düşüktür. Bu yüzden bu senaryoda kullanımı düşük olan makineler yerine diğer kullanımda olan makineler kullanılacaktır. Örneğin Dik İşleme Merkezi-3 iptal edilerek burada yapılması gereken işlem Dik işleme Merkezi-1'de (Dim-1) yapılacaktır. Benzer şekilde Testere-3 de iptal edilerek Testere-1'e bağlanacaktır. Dolayısı ile bu 2değişiklik sayesinde fabrika makinelerin sabit maliyetinden kurtulacaktır. Bu değişiklikler yapıldıktan sonra model çalıştırıldığında ise sonuçlar aşağıdaki gibi olmaktadır.

Bu şekilde oluşturulan bir senaryoda 2 makine devre dışı kaldığından (1 adet Dik İşleme Merkezi ve 1 adet Testere) 1 partilik yani 2 haftalık maliyet kazancı yaklaşık 23.000 TL olacaktır.

Şekil 31: Senaryo 1 sonucunda makinelerin kullanım oranları



4.10.2 Senaryo 2: CNC makinelerine giren parçaların parti büyüklüğünün optimize edilmesi

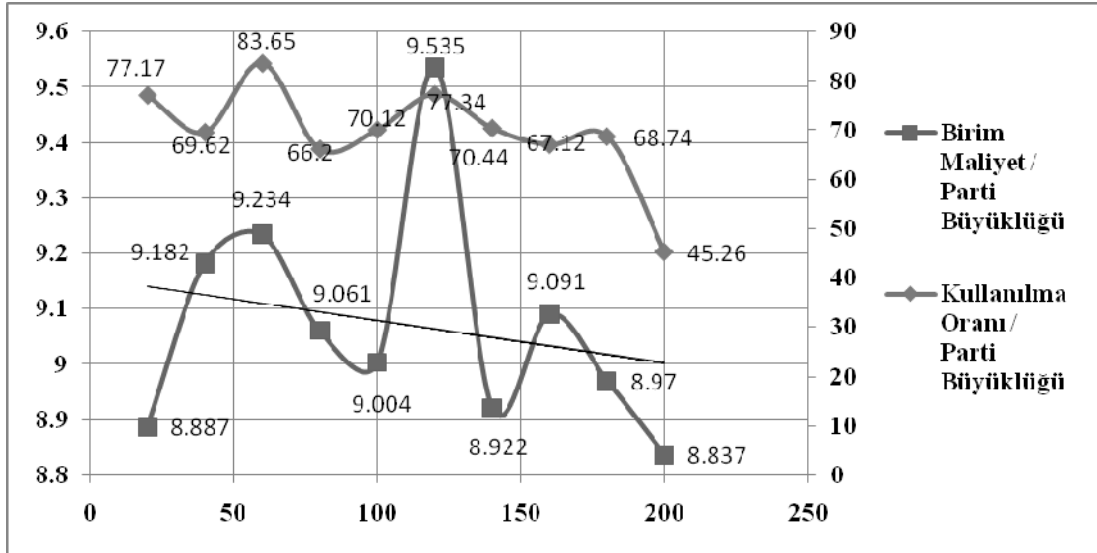
Daha öncede bahsettiğimiz gibi YB_001 kodlu ürün CNC1 makinesine 200'erlik partiler şeklinde, YB_002 ise CNC2 makinesine 34'erlik partiler halinde girebilmektedir. Bu rakamlar ise parçaların büyüklüğü itibariyle bu makinelerin alabileceği en yüksek miktarlardır.

Bu senaryoda YB_001 için olan parti büyüklüğü 20-200 arasında 20'şerli artan bir sistemde benzetim modeli üzerinde denenmiş ve aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

Şekil 32'de CNC1 parti üretim miktarlarına bağlı CNC1 tezgâhının kullanılma oranı değişikli ve parti miktarlarına bağlı birim fiyatı eğri şeklinde gösterilmiştir. En soldaki 8,8 ve 9,6 arasındaki değerler birim fiyatı, Sağ sütundaki değerler kullanım oranını en alttaki 0 ve 250 arasındaki değerler ise parti büyüklünü temsil etmektedir. Değerlere baktığımızda parti büyüklüğü değişimi CNC 1 makinesinin kullanım oranını ve parça başına maliyeti değiştiğini görmekteyiz. Yukarıda bulunan değerler ışığında en düşük kullanım oranı parti büyüklüğü 200 iken görülmektedir ve bununla beraber en düşük maliyet de bu değerde meydana gelmektedir. Fakat parti büyüklüğü ve birim maliyet arasında kıyaslama yapıldığında optimize edilen değer parti büyüklüğü 20 olan gruptur. Çünkü kullanım oranı en yüksek 3. Değere sahipken aynı zamanda birim maliyet açısından da en ucuz 2.

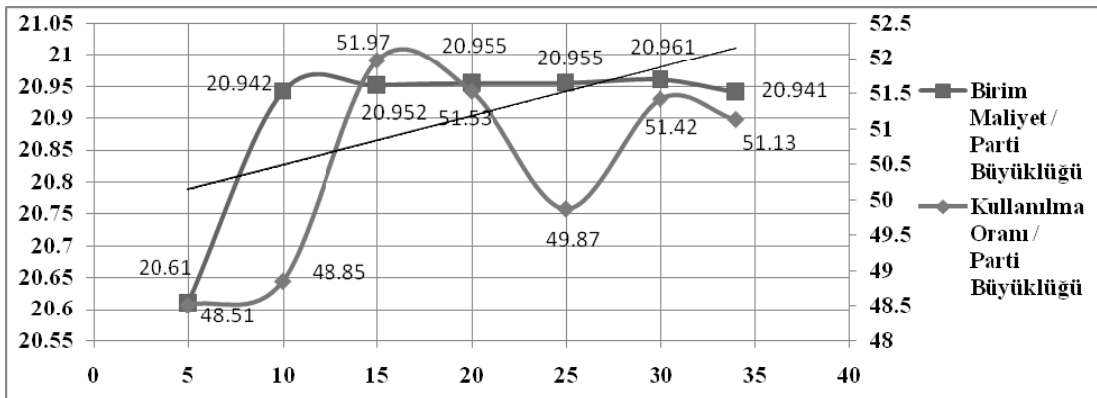
Seçenektir. Bu yüzden bu senaryoda parti büyüklüğünü 20 seçmek fabrika açısından en uygun seçenek olacaktır.

Şekil 32: YB_001 için parti büyüklüğü değişimi



YB_002 ürünü için senaryo 2 sonuçları Şekil 33'te verilmiştir. YB_002 ürünü de belirttiğimiz gibi 34'erli gruplar halinde CNC 2 makinesi girmektedir. Bu parti büyüklüğünü ise 5 ve 34 arasında 5'erli artan sistemde değerlendirip benzetim modeline “*what-if*” analizi yaptığımızda parti büyüklüğüne bağlı kullanım oranları ve birim başına maliyetler aşağıdaki gibi oluşmuştur.

Şekil 33: YB_002 için parti büyüklüğü değişimi



YB_001 kodlu ürüne ait grafikte olduğu gibi burada da sol taraftaki değerler birim fiyatı, sağ taraf kullanım oranını alt taraftaki değerler ise parti büyüklüğünü temsil etmektedir.

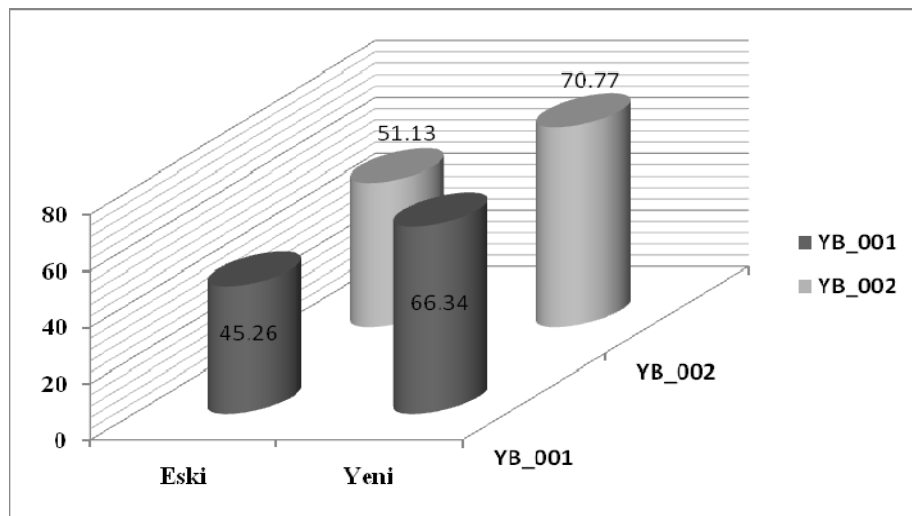
Fabrikadaki parti büyüklüğü 34 olarak alınmakta iken kullanım oranı %51,13 iken birim maliyet ise 20,941 Euro civarındadır. Kullanım oranı yüksek olmasına rağmen birim maliyet de yüksektir. Fakat tabloda da görüleceği gibi parti büyüklüğü 5 iken kullanma oranı %48,51 gibi bir değerken birim başına maliyet ise 20,61 civarında gerçekleşmiştir ve bu maliyet miktarı en düşük olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla bu adımda parti büyüklüklerini YB_002 kodlu ürün için 5, YB_001 kodlu ürün için ise 20 seçmek en uygun sonuç olacaktır.

4.10.3 Senaryo 3: Vardiya sisteminin eklenmesi

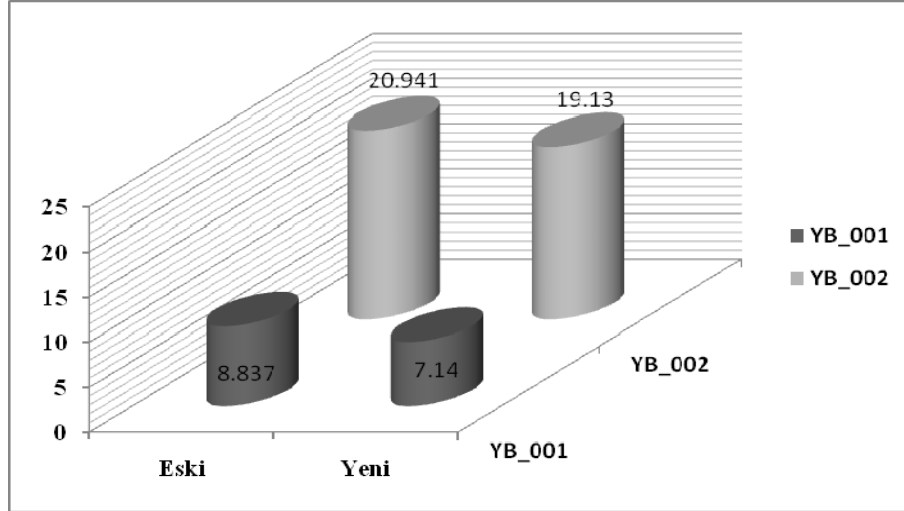
Mevcut sistemdeki YB_001 ve YB_002 kod numaralı ürünlerin üretiminde parti büyüklüklerini sırasıyla 1500 ve 1000 olarak seçen fabrika yönetimi, bu miktardaki ürünleri 2 haftada üretmektedir. Fakat parti büyüklüklerini yine bu sayılarda tutup daha kısa sürede üretmek için vardiya sistemine geçilirse ne olur sorusunun cevabı ise bu bölümde aktarılacaktır.

Fabrikadaki işçi sayısı yine normal vardiyadaki gibi alınır ise 18 kişi daha sisteme eklenmiş olacaktır. Bu şekilde benzetim modeli çalıştırıldığında ise üretim miktarına bağlı olarak yeni birim maliyetlerini içeren sonuçlar Şekil 34'te verilmiştir.

Şekil 34: Vardiya değişikliğinin CNC Kullanım oranlarına etkisi

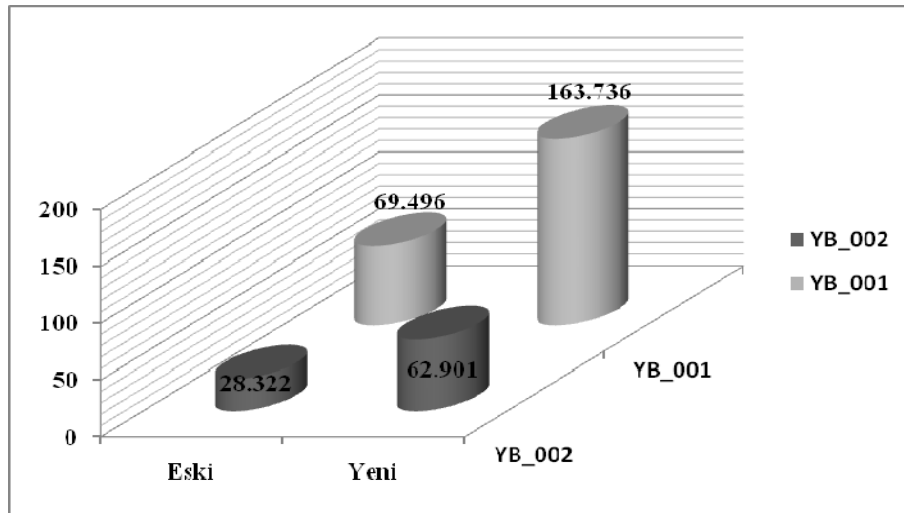


Şekil 35: Vardiya değişikliğinin birim maliyete etkisi



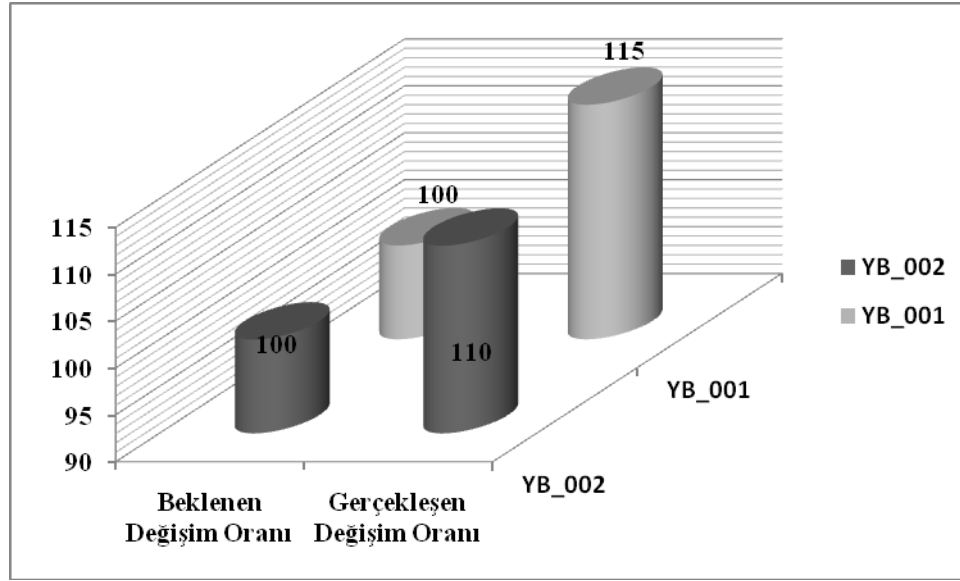
Şekil 35’den de görüldüğü üzere vardiya sistemine geçilmesi halinde makine verimliliklerinin artışı yanında birim maliyetlerde de düşüş meydana gelmiştir. YB_001 ve YB_002 kodlu ürünlerin ikisinde de yaklaşık 1,5€ kar elde edilecektir. Bu hesaplamalar yapılırken uzun vadeli denemeler yapılmıştır. Böylece yüksek miktarlardaki üretim temel alınmıştır. Yaklaşık 50 haftalık, yani eski üretime göre tek vardiyalı sistemde 25 partilik mal miktarına denk gelmektedir. Bu aşamada ise, sonuçları Şekil 36’da verilen uzun vadeli olarak ele alınan 50 haftalık üretim miktarları yer almıştır. :

Şekil 36: Parçalara ait üretim miktarlarındaki değişim



Çift vardiyaya geçilmesine rağmen üretimdeki artış beklenen yüksek olmuştur. Bunun sebebi ise vardiya geçişleri arasında yarım kalan işlerin makineler kapatılmadığı için devam etmesidir. Örneğin yaklaşık 2 saat süren CNC1'deki işlemin yarıda kesilmemesi ve makinelerin işleme devam etmesi beklenenden yüksek bir değişim oranı ortaya çıkarmaktadır.

Şekil 37: Parçalara ait üretim miktarlarındaki değişim



Aynı değişim YB_002 için de geçerlidir fakat buradaki değişim YB_001'e göre daha düşük gerçekleşmiştir. Bunun olası sebebi ise YB_002 kodlu ürünün en uzun işlemi olan CNC2'deki çevrim süresi diğer ürüne göre daha kısadır. Dolayısı ile devam eden işin kesilmesi %5 kadar bir önem kaybını engellemiştir. Böylece firma üretime ait parti büyüklüklerini bu strateji açısından da değerlendirebilecektir.

4.11 Sonuç ve Öneriler

Senaryo 1'de 2 adet makine düşük kullanım oranları sebebiyle kullanımdan çıkarılarak yaptıkları işlemler sistemde bulunan diğer benzer işleri yapan makinelere aktarılmıştı. Bu işlem sonucunda firmanın 2 haftalık veya bir partilik kazancı 23.000 TL civarında olması beklenmektedir.

Senaryo 2'de ise CNC1'de 200'erlik parti halinde işlem gören YB_001 kodlu ürünün farklı parti büyüklüklerinde işlem gördüğünü düşünerek benzetim modelini

düzenlemiş ve sonuçta ise 200 değil de üretime ait parti büyüklüğünü 20 seçtiğimizde en ideal makine kullanım oranı ve birim maliyeti bulunmuştur.

Benzer işlemi YB_002 kodlu parça içinde yapıp, parti büyüklüğünü 34 seçmek yerine 5 seçerek denediğimiz bu ürünün ise kullanım oranı ve birim fiyatı açısından en ideal seçeneği oluşturmuştur.

Senaryo 2 açısından ele aldığımızda ise bu 2 farklı ürününde her birinden parça başına işçi maliyeti de dâhil 1,5€ gibi bir ekstra kazanç sağlanacağı öngörülmüştü. Vardiyalı sisteme geçilmediği düşünülürse ve 2 haftalık parti büyüklüğü olan 1500 ve 1000 birim kadar üretim yapılırsa firma sadece bu 2 üründen yine 50 haftalık periyodu ele aldığımızda yaklaşık 70.000 YB_001 ve 30.000 adet YB_002 üretirse:

$1,5 \times (70.000 + 30.000) = 150.000 \text{ €}$ gibi bir miktar ekstra gelir elde edebilecektir.

Son senaryo olan Senaryo 3'te ise çift vardiyalı sisteme geçilmiş ve tek vardiyalı sistemle çift vardiyalı sisteme ait üretim miktarları ve en önemli makineler olan CNC makinelerinin kullanım oranları karşılaştırılmıştır.

YB_001 ürünü için beklenenden %15, YB_002 kodlu ürün için ise %10 kadar beklenen değerden fazla bir üretim meydana gelmişti. Dolayısıyla tek vardiyalı sistemde devam eden firma çift vardiyaya geçme fikri uygun görünmektedir.

Sonuç olarak, benzetime dair bilinmesi gereken en önemli şeylerden biri, benzetimin sonuçlarının sistemin genel işleyişi ve yapılabilecek yatırımları daha iyi analiz edebilme yeteneği sayesinde firma sahiplerine bir öngörü ve tahmin yolu açmasıdır.

Benzetim denilince sıkça yapılan hata model ne kadar istatistikî olarak doğru olursa olsun insanın var olduğu sistemlerin her zaman hata payı olduğunu hesaba katmamaktır. Her daim hata yapmaya yatkın olan insanoğlu, içinde bulunduğu sistem içinde de hata yapmaya yatkın olduğundan, benzetim modellemesinden tam olarak çıkan sonuçları olduğu gibi almak zaten bir hata olacaktır. Hastalık, izin, işi aksatma gibi sorunlar iş dünyasında sıkça karşılaşılan bir durum olduğundan tam olarak net bir sonuç beklemek zaten yanlış olacaktır.

Fakat doğru bir modelleme ve sağlam bir istatistikî altyapıya dayalı bir sistem modeli her zaman model kuruculara tahminleme ve “*what-if*” analizi yapabilme imkânı verecektir. Böylelikle gerçekten ne olacağını uygulayarak görmek yerine

benzetim kullanarak oluşturulacak sisteme dair artı ve eksileri tartmak daha da kolay olacaktır.

Uygulanan senaryolar sonucunda, her 3 senaryonun da kendine özgü ve pozitif anlamda katkıları olduğu için her 3 senaryodan da faydalanarak sistemi revize etmek akıllıca olacaktır. Düşük kullanım oranıyla çalışan makine ve tezgâhların sistemden çıkarılması, tezgâhlara giren parti miktarlarının sayısını değiştirmek ve buna ilaveten çift vardiyaya dönmek sisteme olumlu etki edip fabrikayı içinde bulunduğu durumdan daha da ileriye taşıyacağı model sonuçlarından anlaşılmaktadır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

KAYNAKLAR

ACAR, Nesime. **Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları**, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara, 1996.

AKSARAYLI, Mehmet ve Serkan Altuntaş. "Malzeme Taşıma Odaklı Planlama için Üretim Sistemlerindeki Tezgâh Yerleşim Düzenlerinin Benzetim Analizi ile Karşılaştırılması", **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, Cilt 15; Sayı 2; 2009, ss. 203–214.

AKSARAYLI, Mehmet, Levent B. KIDAK, Mustafa GÜNEŞ. "Sağlık İşletmelerinde Yatak Kullanım Etkinliğinin Benzetim Yoluyla Optimizasyonu: Bir Eğitim ve Araştırma Hastanesi Uygulaması", **Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, Cilt:11, Sayı: 1, 2009, ss. 1-21.

AKYOL, Mehmet ve Fikret Gürbüz. "Üç Yönlü Tablolarda χ^2 İstatistiğinin Kullanılması," **İstatistik Araştırma Dergisi DİE Yayınları**, Cilt:1, No:1, Nisan 2002, ss. 23-27.

AYTAÇ, Mustafa. **Matematiksel İstatistik**, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa, 1998.

BANKS, Jerry, John S. CARSON II ve Barry L. NELSON. **Discrete-Event System Simulation**, Prentice-Hall, 2nd edition, Upper Saddle River, NJ, 1996.

BAŞ, Melih İsmail ve Ayhan Artar. **İşletmelerde Verimlilik Denetimi: Ölçme Ve Değerlendirme Modelleri**, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları: 435, Ankara, 1990.

BEAVERSTOCK, Malcolm, Eamonn Lavery ve William Nordgren, **Applying Simulation with Flexsim**, Preview Edition, Utah, 2008.

BERBEROĞLU, N. Güneş, **Genel İşletme**, Anadolu Üniversitesi Yayını No: 1268, Eskişehir, 2004.

BOZKAYA, Kenan, “**A study on the reliability analysis during preliminary design - A rocket motor example**”, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.

CHASE, B. Richard ve J. Nicholas Aquilano, **Production and Operations Management; A Life Cycle Approach**, Richard D. Irwin Inc., USA, 1981.

COŞAN, İlker. **Üretim Planlama ve Kontrol**, Yıl İçi Projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi, İstanbul, Şubat 1993.

DARLING, A. Donald, Anderson Jr. ve Theodore Wilbur Anderson, Asymptotic theory of certain 'goodness-of-fit' criteria based on stochastic processes', **The Annals of Mathematical Statistics**, Vol. 23, (Haziran, 1952), ss. 193-212.

DEMİR, Osman, “İşletmelerde Üretim Planlaması ve Kontrolü”, (Yayınlanmamış Doktora Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 1990.

DEMİR, M. Hulusi, Mete Oktav, Nurel Üner ve Oktay Alpugan. **İşletme Ekonomisi ve Yönetimi**, Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul 1997.

DENİZHAN, Berrin, "İmalat Lojistiği Benzetim Modeli Ve Bir Uygulama", (Yayınlanmamış Doktora Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Sakarya, 2006.

EGE, İlhan. “Finansal Piyasalarda Kurumsal Yatırımcılar Ve Senaryo Analiziyle Portföy Optimizasyonu”, **TÜİK İstatistik Araştırma Sempozyumu Bildiriler Kitabı**, 2006, s.146.

EKİNCİ, Volkan, “Üretim Planlama Ve Çizelgeleme”, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2007.

EMSHOFF, R. James ve Roger L. Sisson, **Design and Use of Computer Simulation Models**, Macmillan Publishing Co., Inc., New York, 1970.

ENEZ, A. Hande, "Fiat Reduces WIP by 48% with Simulation", **Simulation Success Publications**, PROMODEL Corporation, 1997, s. 37.

ERGÜN, Demet, “Hedef Programlama ile Üretim Planlaması “, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.

GEORGE, Gates, “DUPONT Saves Millions with Logistic Modeling”, **Simulation Success Publications**, PROMODEL Corporation, 1997, s. 12.

HALAÇ, Osman. **İşletmelerde Benzetim Tekniği**, İstanbul Matbaası, İstanbul, 1982.

HALAÇ, Osman. **Kantitatif Karar Verme Teknikleri**, 3 Baskı, Evrim Dağıtım, İstanbul, 1991.

HARRELL, Charles, Biman K. GHOSH ve Royce O. BOWDEN. **Simulation Using ProModel**, Second Edition, McGraw-Hill Inc., New York, 2004.

HILLER S. Frederickh ve Gerald J. LIEBERMAN, **Introduction to Operations Research**, Mc Graw – Hill Publishing Company, New York, 1990.

İŞYAR, Yüksel. **Ekonometrik Modeller**, Ceren Basım Yayın, Bursa, 1999.

KARABAKAL, Nejat. “Volkswagen Saves Millions on Delivery Using Simulation”, **Simulation Success Publications**, PROMODEL Corporation, 1997, ss. 37-38.

KARABAKAL, Nejal, Ali Gunal ve Ritchie Warren, "Supply Chain Optimization Tools Improve the Vehicle Distribution System at Volkswagen of America", **Simulation Success Publications**, PROMODEL Corportation, 1997, ss. 1-8.

KARACA, Sezar, "Benzetim Modellemesi ile Mobilya Üretiminde Sistem Analizi ve Optimizasyonu", (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 2007.

KARAYALÇIN, İlhami. **Endüstri Mühendisliği ve Üretim Yönetimi El Kitabı**, Çağlayan Kitapevi, İstanbul, 1986.

KARTAL, Mahmut. **Hipotez Testleri**, Şafak Yayınevi, Erzurum, 1998.

KELTON, W. David, Randall P. Sadowski ve Nancy B. Swets, "**Simulation with Arena - Fifth Edition**", McGraw-Hill Inc., U.S.A., 2010.

KHOSHNEVIS, Behrokh. **Discrete Systems Simulation**, Mc GrawHill Inc., Singapore, 1994.

KOBU, Bülent. **Üretim Yönetimi**, İÜ İşletme Fakültesi Araştırma ve Yardım Vakfı Yayın No: 4, Avcıol basım, 10.baskı, İstanbul, 1998.

KORUCA, Halil İbrahim, "Bir Bisiklet Fabrikasında Üretim Hattının Simülasyon Metodu İle Yeniden Yapılandırması Üzerine Bir Araştırma", (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2002.

KÖK, Recep ve Ertuğrul Deliktaş. **Endüstri İktisadında Verimlilik Ölçme Ve Strateji Geliştirme Teknikleri (İş Dünyasından Örneklerle)**, DEÜ İİBF Yayınları İzmir, 2003.

KÖROĞLU, Kazım. **Verimlilik Yönetimine Japon Yaklaşımı ve Kazukiyo Kurosawa Modeli**, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No: 507, Ankara, 1993.

KURŞUN, Senem, “Tekstil Endüstri’sinde Benzetim Tekniği ile Üretim Hattı Modellemesi ve Uygun İş Akış Stratejisinin Belirlenmesi”, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.

KUŞ, Pelin. **Simülasyon Uygulamaları**, Kara Harp Okulu, Ankara, 2004.

LAPIN, Lawrence. **Quantative Methods For Business Decisions With Cases**, Harcourt B. Inc., San Diego, 1988.

LAW M. Averill ve David W. Kelton, **Simulation Modeling and Analysis**, McGraw-Hill, 3rd edition, U.S.A., 2000.

MERTINS, Kai. **Steuerung rechnergeführter Fertigungssysteme, München; Wien**, Hanser Verlag, 1985.

MUCUK, İsmet. **Modern İşletmecilik**, 3. Baskı, Türkmen Kitapevi, İstanbul, 1987.

NAYLOR, H. Thomas, Joseph L. Balintfy, Kong Chu ve Donalds Burdick. **Computer Simulation Techniques**, John Wiley and Sons, Inc., USA, 1966.

ÖNAL, Güngör. **İşletme Organizasyonu ve Yönetim**, Akademi Kitabevi Yayınları, Bursa, 1983.

ÖNCER, Mustafa. **Orman Ürünleri Sanayinde Üretim Planlaması Ve Kontrolü**, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara, 1991.

ÖREN, Tuncer. “Bilişimde Özenli Türkçenin Önemi, **Bilişim ve Bilgisayar Mühendisliği Dergisi**, cilt 1, sayı 1. TBV (Türkiye Bilişim Vakfı), 2005, İstanbul, ss. 1-12.

ÖREN, Tuncer. Benzetim Temel Kavramlar ve İlerlemeler, **Türkiye Bilişim Ansiklopedisi**, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2006, ss. 144-149.

ÖZHAN, Alper Almaz, 2003 yılındaki “Investigation of the Transit Maritime traffic in the strait of İstanbul through simulation modeling and scenario analysis”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2003.

ÖZKAYA, Gönül. **Üretim Planlama Ve Kontrol**. İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, Ankara, 1981.

PIDD, Michael. **Computer simulation in management science - Fourth edition**, Wiley Inc., 1998. s. 260.

ROBINSON, Stewart. “Discrete-event simulation: from the pioneers to the present, what next?”, **Journal of the Operational Research Society**, Vol.56, 2005, ss.619-629.

ROBINSON, Stewart. **Simulation: The Practice of Model Development and Use - Kindle Edition - Kindle Book**, Wiley Inc. 1. Edition, USA, 2004.

RIVERO, Luis Ernesto Blanco. "Applications In Logistics Using Simulation With ProModel", **Second LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2004)**, 2-4.06.2004, Miami, Florida, USA, ss.1-6.

RUBINSTEIN, Y. Reuven. “**Simulation and the Monte Carlo Method**”, John Wiley and Sons Inc., U.S.A., 1981.

SARIASLAN, Halil. **Sıra Bekleme Sistemlerinde Simulasyon Tekniği**, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları: 557, Ankara, 1986.

SARIASLAN, Halil. **Türkiye Ekonomisinde Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler, TOBB Yayınları**, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları: 557, Ankara, 1996.

SAYGILI, İrfan. **Üretim Yönetiminin Fonksiyonları**, İÜ İşletme Fakültesi Yayın No: 244, Küre, Ajans, İstanbul, 1991.

SCHERMERHORN, R. John. **“Management For Productivity”**, Georgia, Industrial Engineering and Management Press , 1984, ss.76-77.

STEPHENS, A. Michael. "EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons", **Journal of the American Statistical Association**, Vol. 69, Eylül, 1974, ss.730-737.

ŞAHİN, Mehmet. **Üretim Yönetiminde Simülasyon Analizi Ve Uygulaması**, Eskişehir İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi, Eskişehir, 1978.

ŞEN, Ceyda. "Üretimde Simülasyon ve Uygulamaları", 22.03.2010, [Http://www.yildiz.edu.tr/~cgungor/uretimdesimulasyon/lecturenotes/5.ders_22.03.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~cgungor/uretimdesimulasyon/lecturenotes/5.ders_22.03.pdf), (20.05.2010), s. 7.

ŞEN, Salim. **İşletme Yönetimine Modeller Yoluyla Yaklaşım; İşletme Yönetim Sürecinde Model Kullanma Üzerinde Bir Araştırma**, Emel Matbaacılık San. Ltd. Şti., Ankara, 1973.

TAHA A. Hamdy. **Yöneylem araştırması**, Literatür Yayıncılık Dağıtım, Pazarlama San Tic. Ltd. Şti., Beyoğlu - İstanbul, 2000.

TAKUS A. David ve Profozich M. David, "Arena® Software Tutorial", **Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference**, Atlanta, Georgia, 1997, ss.541-544.

TANYAŞ, Mehmet ve Murat Baskak. **Üretim Planlama ve Kontrol**, İrfan Yayıncılık, İstanbul, 2003.

TAVUKÇUOĞLU, Cengiz. **2000 yılına girerken yeni üretim tekniklerine bir bakış**, 1999, www.kho.edu.tr, (02.06.2010).

TAYKUT, Reşat. **İşletmelerde Üretim Planlaması ve Kontrolü**, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayınları, İstanbul, 1982.

THIERAUF, J.Robert ve Robert C. Klekamp. **Decision Making Throught Operations Research**, John Willey and Sons, Inc., New York, 1975.

TÜTEK, H. Hülya ve Şevkinaz Gümüsoğlu. **Sayısal Yöntemler - Yönetmel Yaklaşım**, Beta basım yayım A.Ş., İstanbul, 2000.

VAROL Asaf. “Benzetim” Makalesi, Yayınlanmış makalesi, 1999, s. 4.

WINSTON, L. Wayne L. **Operations Research Applications and Algorithms**, PWS - KENT Publishing Company, Boston, 1991.

YILMAZ, Zekai. **Sayısal Yöntemler**, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa, 1988.

KIM, Yun Bae, Heesang Lee ve Hoo-Gon Choi. A Discrete Event Simulation Study for Incoming Call Centers of a Telecommunication Service Company. **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**, 2005, ss. 390–399.

ZORAL, Kutlu. **Üretim Fonksiyonları**, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayın No: 52, İzmir, 1990.

[Http: //www.mpm.org.tr/sozluk/default.asp?dict=v](http://www.mpm.org.tr/sozluk/default.asp?dict=v) (01.06.2010).

[Http://www.promodel.com/solutions/manufacturing/ML_PR_SC%20and%20Inv%20Opt_Applia-nce%20Supply%20Chain%20Analysis.pdf](http://www.promodel.com/solutions/manufacturing/ML_PR_SC%20and%20Inv%20Opt_Applia-nce%20Supply%20Chain%20Analysis.pdf) (22.05.2010).

<http://enm.blogcu.com/Simulasyon/sayfa/7> (01.04.2010).

<http://enm.blogcu.com/uretim-uretim-yonetimi-ve-uretim-sistemleri/3452315> (17.04.2010).

<http://gribaykus.blogcu.com/simulasyon/35103> (18.05.2010).

http://www.biriyilik.com/odevler-kaynaklar/kavramsal-duzeyde-etkinlik-etkililik-ve-verimlilik-olgularina-bir-bakis-6907.html#_ftn4 (02.06.2010).

http://www.donusumkonagi.net/makale.asp?id=2295&baslik=karar_vermenin_zorlu gu&i=model-leme (18.05.2010).

<http://www.karedanismanlik.com/component/content/article/58-uretim-lojistik/201-cizelgelemenendir.html?directory=106> (05.06.2010).

http://www.kho.edu.tr/akademik/bolumbask/sisyon/sis_simulasyon/index.htm (06.06.2010).

<http://www.lojitek.com/index.asp?kmg=11&varLang=T> (18.05.2010).

http://www.turk-ie.org/index.php?option=com_content&view=article&id=108:simulasyon-uygulamalar-1&catid=48:diger&Itemid=57 (17.05.2010).

<http://www.uytes.com.tr/simulasyon/simulasyon.html> (03.03.2009).

<http://erpcozumleri.blogspot.com/2010/03/uretim-yonetimi-erp-mrp.html> (01.07.2010).