T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİNİN ETKİNLİK DÜZEYİNİN BENZETİM YAKLAŞIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

İLHAN KIRBAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

BURSA 2006

ÖZET

YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİNİN ETKİNLİK DÜZEYİNİN BENZETİM YAKLAŞIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışmasında bir üretim bölümünün verimliliğini artırmak için kullanılabilecek yalın üretim uygulamaları, benzetim tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir.

Kurulan model yardımı ile verimliliğe etki eden değişkenler incelenmiş ve verimliliği artırıcı önerilerin sisteme etkisi "deney tasarımı" metodu ile belirlenmiştir.

Elde edilen deney sonuçları ve önerilerin tahmini maliyet/getirileri dikkate alınarak uygulama öncelikleri tanımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Benzetim, Promodel, Taguchi, Deney tasarımı, Yalın üretim

ABSTRACT

EVALUATION OF LEAN PRODUCTION TECHNIQUES THROUGH SIMULATION METHOD APROACH

In this study, lean production applications to increase productivity has been evaluated by using simulation technique.

By using a simulation model, variables that affect the efficiency have been determined and the effects of efficiency improving suggestions have been investigated with “design of experiments” methodology.

Keywords: Simulation, Promodel, Taguchi, Design of Experiment, Lean Production

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
ÇİZELGELER DİZİNİ x
GİRİŞ 1
1- KAYNAK ARAŞTIRMASI 2
1.1- Benzetim 2
1.1.1- Tanım 2
1.1.2 Üretimde Kullanılan Benzetim Programları 2
1.1.3 Benzetim Çalışmasının Aşamaları 3
1- Problem Tanımlama; 4
2- Verilerin toplanması ve modelin tanımlanması; 4
3- Kurulan modelin doğrulanması 4
4- Modelin bilgisayar ortamında kurulması; 4
5- Modeli çalıştırma; 4
6- Sonuçların karşılaştırılması; 4
7- Deneylerin tasarlanması 5
8- Deneylerin çalıştırılması; 5
9- Sonuçların analiz edilmesi; 5
10- Arşivleme ve sunuş; 5
1.1.4 – Üretim Sistemi Benzetimlerinde İstatistik 5
1.1.5 – Benzetimin Yarar ve Sakıncaları 6
1.1.6 – Benzetim Çalışmalarında Yapılan Hatalar 7
1.1.6.1- Benzetim çalışması başında hedeflerin iyi belirlenmemesi: 7
1.1.6.2- Karar verici ile düzenli olarak iletişim kurulmaması: 7
1.1.6.3- Benzetim metodoloji, olasılık ve istatistik konusunda bilgi eksikliğinin olması: 8
1.1.6.4- Modellerin uygun ayrıntı seviyesinde kurulmaması: 8
1.1.6.5- Sisteme ait iyi verilerin toplanmasındaki yetersizlik : 8
1.1.6.6- "Kullanım kolaylığı olan benzetim paketlerinin teknik yeterlilik gerektirmediği" şeklindeki yanlış inanış: 8
1.1.6.7- Benzetim yazılımı altında yer alan varsayımları anlamamak: 9
1.1.6.8- Animasyonu yanlış kullanmak: 9

1.1.6.9- Bir olasılık dağılımını ortalaması ile değiştirme: *9*
1.1.6.10- Uygun olmayan bir dağılımın kullanılması: *9*
1.1.6.11- Benzetim sonuçlarının uygun analizini yapamama: *10*
1.2- Deney Tasarımı ve Taguchi Yaklaşımı **11**
1.3 - 2^k Deney Tasarımı **18**
1.3.1- Faktör etkilerinin hesaplanması *19*
1.3.2- Normal olasılık grafiğinin çizimi *19*
1.4- Yalın Üretim **21**
1.4.1- Tanım *21*
1.4.2- Yalın Üretimin Amacı *22*
1.4.3- Yalın Üretim Sistemi Teknikleri *23*
1.4.4- Milk-run taşıma sistemi *23*
1.4.4.1- Tanım *23*
1.4.4.2- Hedef *24*
2 – MATERYAL ve YÖNTEM **25**
2.1- MATERYAL **25**
2.2- YÖNTEM **27**
2.2.1- Problemin tanımlanması ve değişkenlerin belirlenmesi *27*
2.2.2- Verilerin Toplanması ve Modelin Kurulması *28*
2.2.2.1 Verilerin Toplanması *28*
2.2.2.2 Modelin Kurulması *39*
2.2.3- Bilgisayarda modelin kurulması: *40*
2.2.3.1- Locations (İş yeri) *41*
2.2.3.2- Entities (Nesneler) *44*
2.2.3.3- Path Networks (Dolaşım ağı) *46*
2.2.3.4- Resources (Kaynaklar) *47*
2.2.3.5- Processing (İşlemler) *49*
2.2.3.6.- Arrivals (Gelişler) *50*
2.2.3.7- Attributes (Öznitelik) *53*
2.2.3.8- Variables (Değişkenler) *53*
2.2.3.9- Arrays (Diziler) *53*
2.2.3.10- Subroutines (Altyordamlar) *55*
2.2.3.11- User Distributions (Kullanıcı tanımlı dağılımlar) *56*
2.2.3.12- External Files (Harici dosyalar) *56*

2.2.4- Modeli Çalıştırma 57
2.2.5- Sonuçların Doğrulanması 62
2.2.5.1- F Testi 63
2.2.5.2- Bağımsız t-testi 64
2.2.5.3- Smith-Satterthwaite Testi 65
2.2.6 Deney Tasarımı 67
3- SONUÇLAR 71
3.1- Isınma Periyodunun Belirlenmesi 71
3.2- Benzetim Koşum Uzunluğunun Belirlenmesi 73
3.3- Bağımsız Koşum Sayısının Belirlenmesi 73
3.4- Kurulan Modelin Doğrulanması 75
3.4.1- Makine başına ortalama üretim adedine göre 75
3.4.1.1- F Testi 75
3.4.1.2- Bağımsız t testi 76
3.4.1.3- Smith-Satterthwaite Testi 77
3.4.2- Makine başına ortalama verimliliğe göre 78
3.4.2.1- F Testi 78
3.4.2.2- Bağımsız t testi 79
3.4.2.3- Smith-Satterthwaite Testi 80
3.5- Deney Sonuçları 81
4- SONUÇ ve ÖNERİLER 85
4.1 SONUÇ 85
4.1.1 Üretim Verimliliği 85
4.1.2 Makine Verimliliği 88
4.1.3 İşgücü Verimliliği 90
4.2 ÖNERİLER 92
KAYNAKLAR 94
EK-1 ALTYORDAMLAR 96
EK-1.1 PARTI_BUYUKLUGU() 96
EK-1.2 SUB_SIPARIS() 118
EK-1.3 SUB_AGIE() 119
EK-1.4 SUB_HAVA() 121
EK-1.5 SUB_LOC() 122
EK-1.6 SUB_CIKIS() 123

EK-1.7 SUB_HIDROLIK() 124
EK-1.8 SUB_GOZK() 125
EK-1.9 SUB_TELDEG() 126
EK-1.10 SUB_SETUP() 127
EK-1.11 SUB_ARIZA() 128
EK-1.11 SUB_PRIZMA() 129
EK-1.12 SUB_MILKRUN_TUR() 130
EK-1.13 SUB_MILKRUN_TUR_KONTROLU () 131
EK 2 ISINMA PERİYODU HESABINDA KULLANILAN VERİLER 133
EK 2.1 BENZETİM SONUCU ELDE EDİLEN VERİLER 133
EK 2.2 WELCH METODU SONUÇLARI 142
EK-3 GERÇEK SİSTEM ÜRETİM VERİLERİ 148
EK-3.1 MAKİNE BAŞINA ORTALAMA GÜNLÜK ÜRETİM ADETLERİ 148
EK-3.2 GERÇEKLEŞEN ORTALAMA AYLIK VERİMLİLİKLER 149
EK-4 MEVCUT SİSTEM BENZETIM SONUÇLARI 150
EK-4.1 ORTALAMA ÜRETİM ADETLERİ 150
EK-4.2 MAKINA VERIMLILIKLERI 150
EK-5 DENEY SONUÇLARI 151
EK-6 DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI 152
EK6.1 Öneri-1 / Mevcut Sistem Karşılaştırması 152
EK6.2 Öneri-2 / Mevcut Sistem Karşılaştırması 152
EK6.3 Öneri-3 / Mevcut Sistem Karşılaştırması 152
EK6.4 Öneri-4 / Mevcut Sistem Karşılaştırması 153
EK6.5 Öneri-5 / Mevcut Sistem Karşılaştırması 153
EK6.6 Öneri-1 / Öneri-2 Karşılaştırması 153
EK6.7 Öneri-1 / Öneri-3 Karşılaştırması 154
EK6.8 Öneri-1 / Öneri-4 Karşılaştırması 154
EK6.9 Öneri-1 / Öneri-5 Karşılaştırması 154
EK6.10 Öneri-2 / Öneri-3 Karşılaştırması 155
EK6.11 Öneri-2 / Öneri-4 Karşılaştırması 155
EK6.12 Öneri-2 / Öneri-5 Karşılaştırması 155
EK6.13 Öneri-3 / Öneri-4 Karşılaştırması 156
EK6.14 Öneri-3 / Öneri-5 Karşılaştırması 156

EK6.15 Öneri-4 / Öneri-5 Karşılaştırması..... 156
TEŞEKKÜR 157
ÖZGEÇMİŞ.....158

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 Benzetim çalışmasının aşamaları 3
Şekil 1.2 Bir sistem veya sürecin genel gösterimi 11
Şekil 1.3 Muayene, İPK ve DT yöntemlerinin kalite gelişmesine katkıları 13
Şekil 1.4 Örnek normal olasılık grafiği 20
Şekil 1.5 Yalın üretimin tarihsel gelişimi 22
Şekil 2.1 Üretim genel akışı 26
Şekil 2.2 Tiplere göre Ürün değişikliği oranının dağılımı 28
Şekil 2.3 Tiplere göre sipariş büyüklüğünün belirlenmesi 29
Şekil 2.4 Arızada kalma sürelerine uygun dağılımın belirlenmesi 32
Şekil 2.5 Çay molalarına ait uygun dağılımın belirlenmesi 33
Şekil 2.6 Yemek molasına ait uygun dağılımın belirlenmesi 33
Şekil 2.7 Yerleşim planı ve işçilerin çalışma rotaları 34
Şekil 2.8 Makine başında işlem akışı 35
Şekil 2.9 Üretim izni süresine ait uygun dağılımın belirlenmesi 39
Şekil 2.10 Model kurma elementleri 41
Şekil 2.11 Üretim izni süresine ait uygun dağılımın belirlenmesi 43
Şekil 2.12 Veri nesnesine ait işlem tanımının Promodel' de görünümü 45
Şekil 2.13 Örnek dolaşım ağı tanımlama ekranı 46
Şekil 2.14 Örnek Kaynak tanımlama ekranı 48
Şekil 2.15 Çay ve yemek molalarının tanımlanması 49
Şekil 2.16 İşlemler elementine ait ekran görüntüsü 50
Şekil 2.17 Giriş elementi ekran görüntüsü 51
Şekil 2.18 Öznitelik tanımlama ekran görüntüsü 53
Şekil 2.19 Dizi tanımlama ekran görüntüsü 54
Şekil 2.20 Altyordam tanımlama sayfası 55
Şekil 2.21 Kullanıcı tanımlı dağılım sayfası 56
Şekil 2.22 Harici dosya tanımlama sayfası 57
Şekil 2.23 Doğrusal regresyon yöntemi 58
Şekil 2.24 Welch yöntemi 60
Şekil 2.25 Koşum sayısı 62

Şekil 3.1 Welch Metodu w=25 71
Şekil 3.2 Welch Metodu w=50 72
Şekil 3.3 Welch Metodu w=75 72
Şekil 3.4 Welch Metodu w=100 73
Şekil 3.5 Koşum sayısının belirlenmesi 74
Şekil 3.6 Gerçek sistem ile model varyanslarının karşılaştırılması 76
Şekil 3.7 Gerçek sistem ile model ortalamalarının karşılaştırılması 77
Şekil 3.8 Gerçek sistem ile model varyanslarının karşılaştırılması 79
Şekil 3.9 Gerçek sistem ile model ortalamalarının karşılaştırılması 80
Şekil 3.10 Minitab ekran görüntüsü 81
Şekil 3.11 Önerilerin sisteme etkisine ait Pareto analizi 82
Şekil 3.12 Normal olasılık diyagramı 82
Şekil 3.13 Önerilere ait etki diyagramı 83
Şekil 4.1 Üretilen adet Tur zamanı = 110 dakika 87
Şekil 4.2 Üretilen adet Tur zamanı = 40 dakika 88
Şekil 4.3 Ortalama makine kullanımı (Mevcut durum) 89
Şekil 4.4 Ortalama makine kullanımı (Milkrun uygulaması) 90
Şekil 4.5 Ortalama işgücü kullanımı (Mevcut durum) 90
Şekil 4.6 Ortalama işgücü kullanımı (Milkrun uygulaması) 91
Şekil 4.7 Ortalama işgücü kullanımı (Kontrol işçileri için) 91

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1 3 faktörlü, 2 düzeyli deney tasarım matrisi 18
Çizelge 2.1 Üretime ait sipariş büyüklükleri ve üretilme olasılıkları 30
Çizelge 2.2 Makine grupları 31
Çizelge 2.3 Arızada kalma süresi dağılımları 32
Çizelge 2.4 Tip bazında işlem süreleri 36
Çizelge 2.5 Üretim izni için bekleme süreleri 38
Çizelge 2.6 Veri nesnesine ait rapor örneği 45
Çizelge 2.7 İyileştirme önerileri 69
Çizelge 2.8 2^5 Deney tasarımı matrisi 70
Çizelge 3.1 Koşum sayısının belirlenmesi 74
Çizelge 3.2 Önerilerin karşılaştırılması 84
Çizelge 4.1 Tur zamanı hesaplama tablosu 87

GİRİŞ

Günümüz imalat sektöründe küreselleşme ve uluslararası gümrük sözleşmelerinin etkisiyle acımasız bir rekabet yaşanmaktadır.

Bu rekabet ortamında müşteri memnuniyeti, kalite ve fiyat yönünden avantajlı konumda olan şirketler ayakta kalabilmekte ve varlıklarını sürdürebilmektedir.

Bu rekabet ortamında şirketler çeşitli üretim teknikleri ve yönetim modellerini kendi bünyelerinde uygulayarak rekabet güçlerini artırmayı amaçlamaktadır.

Önce Japonya'da ortaya çıkan "yalın üretim" felsefesi, Japon şirketlerinin piyasada başarılı olmaları ile birlikte dikkat çekmiş ve bu felsefe başta ABD olmak üzere diğer ülkelerde de uygulanmaya başlamıştır.

Özellikle AB gümrük birliği anlaşması sonrasında da Türkiye'deki şirketler de bu felsefeyi uygulamaya koymuşlardır.

Bu çalışmada bir üretim biriminde benzetim metodu yardımıyla kapasite kullanımını artırıp, yatırım maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Başta yalın üretim tekniklerinden milkrun uygulaması olmak üzere çeşitli öneriler Promodel benzetim programı yardımı ile modellenmiş ve sonuçlar Taguchi istatiksel tekniği ile değerlendirilerek önerilerin sisteme etkisi incelenmiştir.

1- KAYNAK ARAŞTIRMASI

1.1- Benzetim

1.1.1- Tanım

En yaygın tanımı ile benzetim; "bir sistemin taklit edilmesidir". (Robinson 2004)

Üretim alanındaki kesikli sistemlere ilişkin benzetim ile ilgilendiğimiz için benzetimin tanımını:

"Sistem performansını artırmak için bilgisayar modellerini kullanarak dinamik sistemlerin taklit edilmesi" şeklinde tanımlanabilir (Harrell ve ark., 2000).

Benzetimle modellemenin en büyük uygulama alanlarından biri olan üretim sistemleri benzetimi, ilk faydalanıldığı 1960'lı yılların başından bu güne kadar çok önemli gelişmeler göstermiştir.

Bilgiye ulaşmanın çok kolay, rekabetin çok yoğun olduğu günümüz koşullarında, işletmelerin ayakta kalabilmesi ve gelişebilmesi için tüketici ihtiyaçları ve diğer değişikliklere hızlı ve düşük maliyetli karşılık vermesi gereklidir. İşletmelerin bu rekabete dayanması ve gerekli esnekliği gösterebilmesi için üretim olanaklarının performansı arttıracak şekilde yeniden tasarımlanması, gerekli geliştirmelerin yapılması gerekir. Önemli olan nokta gerekli değişikliklerin hızlı ve düşük maliyetli olarak gerçekleştirilmesidir.

Sistemin ne gibi değişiklik veya yeniliğe ihtiyaç duyduğunu, yapılacak geliştirmelerin ne gibi sonuçlar vereceğini analiz etmede benzetim yöntemi çok uygun bir yöntemdir (Özkale ve ark., 2004).

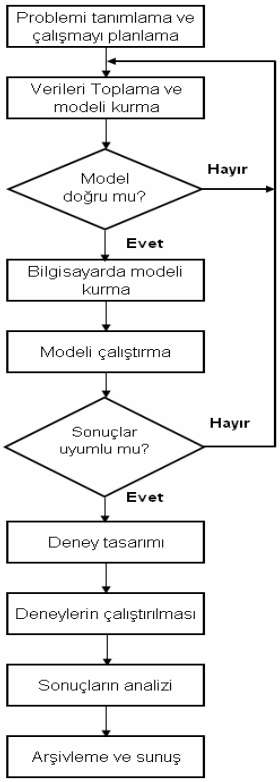
1.1.2 Üretimde Kullanılan Benzetim Programları

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. Bu tür programlara örnek olarak Promodel, Arena, Flexsim programları verilebilir (Robinson, 2004).

1.1.3 Benzetim Çalışmasının Aşamaları

Benzetim çalışmalarında izlenecek yol hakkında birçok öneri varsa da temelinde bütün öneriler benzerdir (Shannon 1998 , Law ve Mccomas 1990, vb.). Genel olarak bir benzetim çalışmasında takip edilecek basamaklar Şekil 1.1' de gösterilmiştir (Law ve Kelton, 1999).



Şekil 1.1- Benzetim Çalışmasının Aşamaları

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

Bu aşamalar kısaca aşağıdaki gibi açıklanabilir:

1- Problem Tanımlama; Bu aşamada problem ana hatları ile tanımlanır; probleme yol açan nedenler, çalışma koşulları, özel durumlar ayrıntılı olarak belirtilir. Amaç ve değişkenler tanımlandıktan sonra çalışma ile ilgili olarak süre planlaması, öngörülen maliyetler, çalışacak personel sayısı gibi konular planlanır.

2- Verilerin toplanması ve modelin tanımlanması; Modelleme aşaması sırasında gerekli olan veriler bu aşamada toplanır. Toplanan bu veriler analiz edilerek modelde kullanılmaya uygun hale getirilir.

Benzetim çalışmasında kullanılacak veriler toplandıktan sonra modelin mantıksal ve matematiksel altyapısı oluşturulur.

***3- Kurulan modelin doğrulanması*;** Bu aşamada kurulan modelin mantıksal ve matematiksel altyapısının istenilen şekilde çalışıp çalışmadığı kontrol edilir. Modelde kullanılan verilerin doğruluğu, modelde tanımlanan süreçlerin işleyiş şekilleri, vb. modeli kuran uzmanlar ve problemi iyi bilen çalışanlar tarafından kontrol edilir.

4- Modelin bilgisayar ortamında kurulması; Kurulan model, amaca uygun genel amaçlı veya benzetim için hazırlanmış özel programlarda modellenir. Bilgisayar ortamında yapılan bu modelleme aşamasının her adımında gerekli kontrollerin yapılarak modelin doğru çalışması sağlanmış olur.

5- Modeli çalıştırma; Tüm aşamalardan sonra model bilgisayar ortamında çalıştırılır.

6- Sonuçların karşılaştırılması; Ön çalıştırma sonunda elde edilen verilerle gerçek sistem verileri çeşitli istatistikî metotlar yardımı ile karşılaştırılır. Beklenen; model sonuçlarının, gerçek sistem sonuçlarını belli bir güvenlik payı içerisinde temsil edebilmesidir.

İstatistiki testler sonucunda istenilen güven aralığında model sonuçlarında bir uyumsuzluk var ise Adım–2 ye geri dönülür.

7- Deneylerin tasarlanması **;** Kurulan modelin doğruluğu istatistiki olarak ispat edildikten sonra problemin çözümü için ortaya konan çözümler modele dahil edilir.

8- Deneylerin çalıştırılması; Öngörülen deneyler modellendikten sonra benzetim çalıştırılır ve sonuçlar alınır.

9- Sonuçların analiz edilmesi; Deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak en uygun çözüm bulunmaya çalışılır.

10- Arşivleme ve sunuş; Elde edilen sonuçları ile deneyler sonunda varılan nokta; üst yönetime sunulmak üzere hazırlanır ve sonrasında arşivlenir.

1.1.4 – Üretim Sistemi Benzetimlerinde İstatistik

Benzetim deneylerinin tasarımı ve analizinde yaşayan sistemdeki rastsal yapıların modele doğru tanıtılması önemlidir. Üretim sistemlerinin rastsallığın bazı kaynakları şunlardır:

- Siparişlerin, mamul veya yarı mamullerin, hammaddelerin sisteme gelişi.
- İşlem, montaj veya kontrol zamanları
- Makine arıza zamanları
- Makine tamir zamanları
- Yükleme ve boşaltma süreleri
- Ürün değişikliği esnasında yaşanan yeniden ayar zamanları

Sistemin rastsallığını sağlayan kaynaklar uygun bir olasılık dağılımı ile modellerde gösterilmelidir. Sadece ortalama değerleri kullanmak sistemin değişkenliğini tanımlamaya yetmez (Law ve Mccomas, 1998).

Benzetim girdilerindeki bu değişkenlikten dolayı kurulan model sonuçları gerçek sistemin bir tahmini durumundadır. Analistin istatiksel olarak doğru (küçük bir sapma ile) bir tahmin yapabilmesi için aşağıda belirtilen noktalar belirlenmelidir (Law ve Mccomas, 1998).

i- Benzetim koşum uzunluğu (Run lenght)
ii- Bağımsız koşum sayısı (Number or replications)
iii- Isınma periyodu uzunluğu (Warm-up period)

1.1.5 – Benzetimin Yarar ve Sakıncaları

Benzetimin en önemli yararlarından biri, incelenecek sistemin mantıksal ve matematiksel olarak modellenebilmesidir. Bununla birlikte benzetim tekniğinin başlıca yararları:

i- Yeni tasarımları, yeni yerleşim planları vb. değişikliklerin sistem üzerindeki etkileri kaynak harcamadan incelenebilir.

ii- Yeni politikalar, yeni organizasyon yapıları, süreçlere ait yeni yöntemler ve bilgi akışları gibi bir çok büyük değişikliğin etkisi devam eden işlemleri kesintiye uğratmadan incelenebilir.

iii- Benzetim ile bilgi, malzeme, ürün akışlarındaki darboğazlar hakkında bilgi elde edilerek akışların iyileştirilmesi sağlanır.

iv- Benzetim ile zaman etkin bir biçimde kontrol edilebilir. Gerçek sistemde aylar hatta yıllar alacak bir çalışmanın sonuçlarını benzetim sayesinde birkaç dakika içersinde elde edilebilir.

v- Benzetim yardımı ile kullanılan verilerin sistem üzerindeki etkileri, daha sağlıklı bir şekilde görülebilir.

vi- Benzetim yeni ve karmaşık durumlarda senaryo analizleri yapmak için çok güçlü bir araçtır.

Benzetim, yukarıda sayılan birçok yararına karşın kusursuz bir teknik değildir. Bu tekniğin de bazı kısıtlamaları veya sakıncaları aşağıdaki gibi sıralanabilir [Shannon 1998, Robinson 2004, Chung 2004]

i- Benzetim özel eğitimler ve uzman uygulayıcılar gerektiren bir tekniktir. Benzetim tekniğinin kullanılabilirliği; kurulan modelin kalitesine ve modeli kuran ekibin uzmanlığına bağlıdır.

ii- Benzetim çok sayıda veriye ihtiyaç duyar. Çoğu durumda istenilen veriler hazır değildir ve toplanması için uzun zaman gerekir.

iii- Benzetim tekniği problemleri tek başına çözemez. En iyi sonuç için farklı araçların da kullanılması gerekir.

iv- Benzetim karmaşık problemlere basit cevaplar sağlamaz.

v- Benzetim eksik yada doğru olmayan veri girdilerine karşılık doğru sonuçlar vermez.

vi- Benzetim gerek kullandığı programların maliyeti ve gerekse proje boyunca çalışanların maliyeti göz önünde tutulduğunda pahalı bir tekniktir.

1.1.6 – Benzetim Çalışmalarında Yapılan Hatalar

Law'a göre bir benzetim çalışması esnasında yapılan 11 kritik hata şunlardır (2003):

1.1.6.1- Benzetim çalışması başında hedeflerin iyi belirlenmemesi:

Sistemdeki değişkenlerin değerlendirilmesi için performans kıstaslarının önceden belirlenmesi ve özel soruların, durumların önceden not edilmesi önemlidir. Aksi takdirde modelin ayrıntılarını uygun düzeyde belirlemek imkânsız olacaktır.

1.1.6.2- Karar verici ile düzenli olarak iletişim kurulmaması:

Karar vericiler ile düzenli iletişim halinde olmak, doğru problemin çözüldüğünden emin olunmasını sağlar ve güvenirlik seviyesi bakımından bir zorunluluk arz eder.

1.1.6.3- Benzetim metodoloji, olasılık ve istatistik konusunda bilgi eksikliğinin olması:

Benzetim ile modelleme konusunda çalışan insanların pek çoğu sadece belli bir benzetim yazılım paketinin nasıl kullanılacağı konusunda bilgilidir.

Benzetim ile modelleme konusunda çalışan pek çok uzman, programlamanın benzetim modelinin % 25-50 kısmını oluşturduğu konusunda hemfikirdir. Benzetim analizcisi benzetim metodolojisi (modelin geçerliliği, girdi olasılık dağılımının seçilmesi, benzetim deneylerinin tasarımı ve analizi vb..) ayrıca olasılık ve istatistik (olasılık dağılımları, güven aralıkları vb.) konularında da bilgi sahibi olmalıdır.

1.1.6.4- Modellerin uygun ayrıntı seviyesinde kurulmaması:

Yeni bir benzetim analizcisi için en sık rastlanan tuzak aşırı derecedeki model ayrıntısıdır. Daha az düzeydeki ayrıntı ile modellemeye başlamak önerilir. Bir modelin kısmi yeterliliği "konunun uzmanları" ve karar vericinin gözden geçirmesiyle saptanır. Etkili kararlar almak için modelin her yönünü dikkate almak gereksizdir, aynı zamanda para, süre ve bilgisayar konusundaki kısıtlar da bunu mümkün kılmaz.

1.1.6.5- Sisteme ait iyi verilerin toplanmasındaki yetersizlik :

Eğer var olan bir sistem için modelleme yapılıyorsa, rastsal değişkenlere bağlı olarak veri toplamak çok önemlidir. (bir üretim sistemi için anahtar rastsal değişkenler muhtemelen arıza ve arızayı giderme süresini içerecektir.) Proje süresinin kısıtlı olması nedeniyle bu çoğu zaman yapılmamakta veya benzetimi yapan analizci bu verilerin önemli olduğunun farkına varamamaktadır.

1.1.6.6- "Kullanım kolaylığı olan benzetim paketlerinin teknik yeterlilik gerektirmediği" şeklindeki yanlış inanış:

Bazı insanlar "kullanımı kolay" olan benzetim paketlerinin benzetim çalışmasını kolaylaştıracağını düşünmektedirler. Bu tip bir yazılım çok karmaşık olan problemleri modellemede program için ihtiyaç duyulan zamanı azaltabilir. Ancak, gerçek hayatta karşılaşılan problemler için çoğunlukla bir çeşit programlama dilini bilmek gereklidir. Hatta benzetimi modelleyen kişi mutlaka problemin formüle edilmesi, veri toplama ve değerlendirme, modelin

geçerliliği sınama, sistemin rastsallığını modelleme, benzetim deneylerinin tasarımı ve analizi ve tüm benzetim projesinin yönetimi konusunda ilgili olmalıdır. Tüm bu etkinlikler çok yüksek düzeyde teknik yeterlik ve deneyim gerektirir.

1.1.6.7- Benzetim yazılımı altında yer alan varsayımları anlamamak:

Kullanım kolaylığını arttırmak için, bir benzetim yazılımı makro bloklarına sahip olmalıdır. Ancak, bu bloklar genellikle çok iyi açıklanmadığından, geçersiz bir modelin kurulmasına yol açabilirler.

1.1.6.8- Animasyonu yanlış kullanmak:

Animasyon, benzetimin teknik ayrıntılarından anlamayabilecek olan karar vericilerin benzetim modelinin özünü anlamaları, benzetim programındaki yanlışlıkların ve iyileştirmelerin görülebilmesi için kullanışlıdır. Ancak karar kısmi süreli çalıştırmaya göre değil modele uygun istatistiksel deneylerin sonuçlarına göre verilmelidir. Sadece kısa süre çalıştırma sonucunda model iyi görünse de, bu modelin geçerli olduğu veya hatasız olduğu anlamına gelmez.

1.1.6.9- Bir olasılık dağılımını ortalaması ile değiştirme:

Benzetim ile modellemede sistemin rastsallığını, aynı olasılık dağılımı ile temsil etmekten yerine, ortalama değer ile temsil etmek yaygın bir uygulamadır. Örnek vermek gerekirse;

Bir kuyruk modelinde gelişler arası süre ve işlem süresi sırasıyla 1 ve 0.99 dakika olsun. Genellikle işlem ve gelişler arası süre exponansiyel dağılıma uymaktadır. Uzun süreli bir koşum sonunda kuyrukta ortalama bekleyen müşteri sayısı 98 olacaktır.

Ancak sadece ortalama değerler kullanılırsa, işlem süresi geliş süresinden daha küçük olduğu için kuyrukta asla müşteri beklemeyecektir.

1.1.6.10- Uygun olmayan bir dağılımın kullanılması:

Sistemdeki her unsurun rastsallığını uygun bir olasılık dağılımı ile modellemek önemlidir. Örneğin, pek çok benzetim uygulamacısı bir işlemi yapmanın süresini normal dağılım ile temsil ederler. Ancak, bunun normal

dağılım olduğu hiçbir zaman görülmemiştir. Uygulamada, pek çok histogramın (grafik) daha uzun sağ kuyruğu vardır; yani sağdan çarpıktırlar

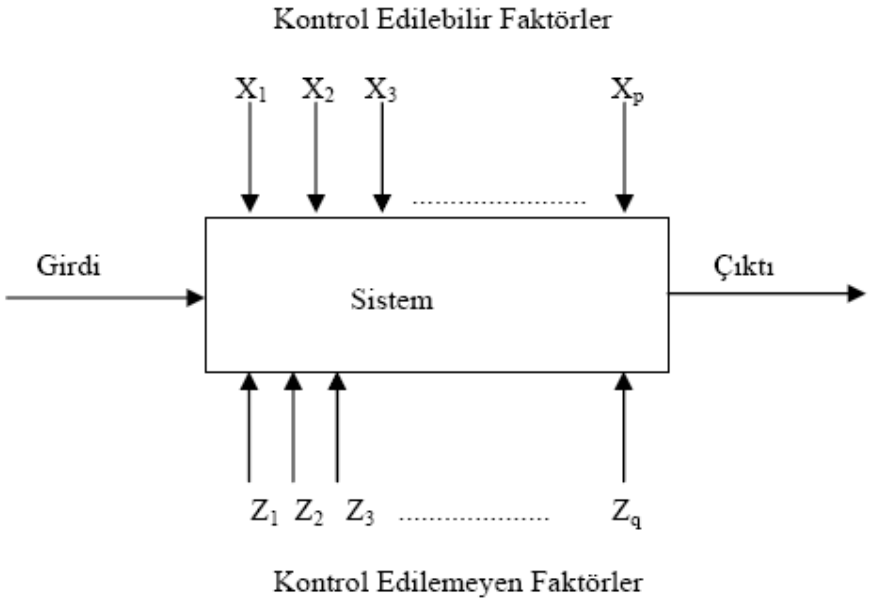
1.1.6.11- Benzetim sonuçlarının uygun analizini yapamama:

Stokastik bir benzetim modeli, model için doğru performans kıstaslarını üretemez, sadece bunları istatistiksel varsayımlarını üretir. Bir benzetim uygulayıcısı, benzetimin çalıştırılma süresini, ısınma periyodunun uzunluğunu, birbirinden bağımsız koşum sayısını seçmelidir. Önemli performans kıstasları için güven aralıklarının oluşturulmasını önerilmektedir. Ancak bunun sadece bir benzetimin denemesi sonucunda elde edilen verilerle mümkün olamayacağına dikkat edilmelidir, çünkü veriler birbirinden bağımsız olmayacaktır. Ayrıca benzetimi sadece bir kez çalıştırarak elde edilecek ortalama ya da varyans da yeterli değildir.

1.2- Deney Tasarımı ve Taguchi Yaklaşımı

Deney Tasarımı (DT), bir süreçteki girdi değişkenleri üzerinde istenilen değişikliklerin yapılmasıyla cevap değişkeni üzerindeki değişkenliğin gözlenmesi, elde edilmesi ve yorumlanması olarak tanımlanabilir.

DT, süreç en iyilemesinde, süreç değişkenlerinin tanımlanmasında ve süreçteki değişkenliğin azaltılmasında çok önemlidir. Şekil 1.2'de bir sistemin veya sürecin genel modeli gösterilmiştir. Süreç değişkenlerinden X_1, X_2, ..., X_p kontrol edilebilir değişkenler ve Z_1, Z_2, ..., Z_q kontrol edilemeyen değişkenler olarak adlandırılır.



Şekil 1.2- Bir Sistem veya Sürecin Genel Gösterimi (Hamzaçebi ve Kutay,2003).

DT teknikleri, yeni bir süreç geliştirmede ve performans artırma amacıyla mevcut süreci düzeltmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Burada amaç, gürbüz (robust) bir süreç geliştirmektir. Bunun anlamı, değişkenliğin kaynağı olan, kontrol edilemeyen değişkenlerin (Z_1, Z_2, ..., Z_q) etkisinin en az olduğu süreci geliştirmek demektir

DT tekniği regresyon analizi temeline dayanır. Regresyon analizi, sebep (bağımsız girdi değişkeni) ve sonuç (bağımlı çıktı değişkeni) arasında net bir matematiksel ilişkinin varlığını tespit etmek için kullanılır.

Bu durum bağımsız ve bağımlı değişkenlerin sayılabilir olduğu durumlarda geçerlidir. Değişkenlerin sayılabilir olmadığı zaman ilişkiyi regresyon analizi ile ifade etmek mümkün değildir.

Araştırmacının amacı sebep ve sonuç arasındaki ilişliyi matematiksel olarak ifade etmekten ziyade ilişkinin varlığını araştırmak olduğunda, DT teknikleri kullanılır

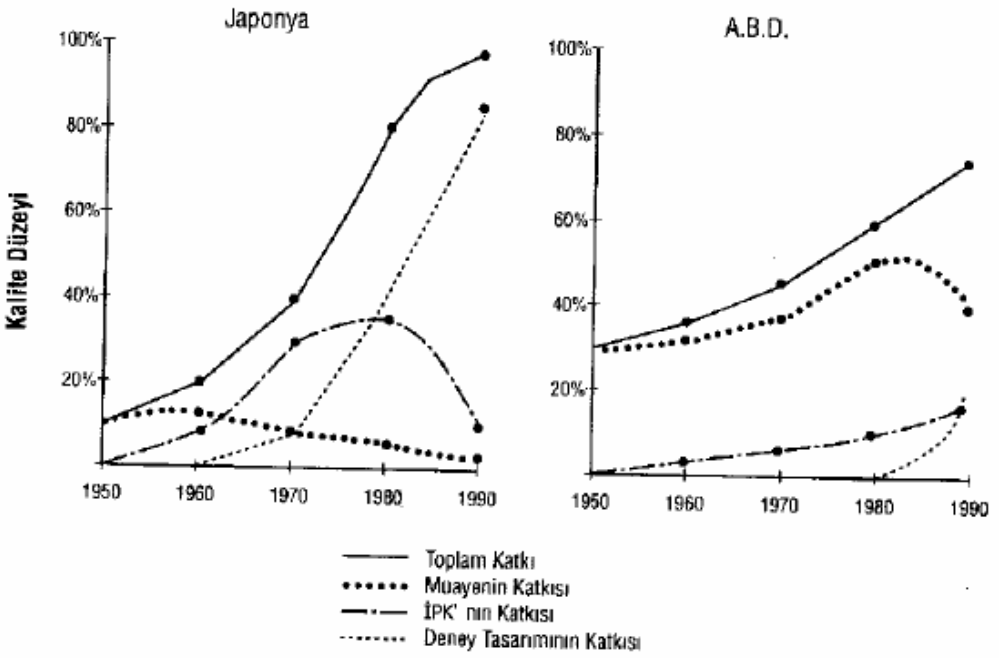
DT, ilk defa 1920'li yıllarda İngiliz istatistikçisi A. Ronald FISHER tarafından tarım ürünlerinin verimli üretilmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Fisher, ürünlerin verimine katkıda bulunan gübrelerin tespitinde bu yöntemden yararlanmıştır. Fisher, ürün yetiştirilecek toprağı verimliliği aynı derecede olan birkaç bloğa ayırmış ve her bir ürün çeşidini rasgele bu bloklarda yetiştirmiştir. Fisher'in blok kurması ve bloklara rasgele yerleştirme yapması, DT'na temel teşkil etmiştir ve faktöriyel analiz kavramının doğmasına sebep olmuştur.

DT'nın teknolojik çalışmalarda kullanılmaya başlandığı 1950'li yıllara kadar, kullanımı ve gelişimi çok hızlı olmamıştır. Ancak parçalı faktöriyel tasarımın Japon endüstrisinde güvenilir, etkili ve düşük maliyetli çalışmalarda başarı göstermesi DT tekniklerinin kullanımını yaygınlaştırmıştır.

W. Edwards Deming'in Japonya'da, kalite ve verimliliği geliştirme felsefesi ve yöntemleri üzerine verdiği konferanslardan sonra, bu teknikler Japon istatistikçileri tarafından hayata geçirilmiştir. Böylece düşük maliyette ve yüksek kalitede ürün geliştirmeye yardımcı DT yöntemleri geliştirilmiştir.
İlk olarak Fisher'in uyguladığı deney tasarımlarından sonra Taguchi de bu olguya kendi yaklaşımlarını katmıştır (Hamzaçebi ve Kutay,2003).

Motorola firmasının kalite grubundan K. Bhote, kalitenin gelişimine katkısı olan üç istatistikî yöntemi, 1950-1990 dönemi için ABD ve Japonya'da karşılaştırmıştır. Kaliteyi sağlama amacında olan bu üç yöntem; muayene, istatistiksel süreç kontrolü ve deney tasarımı yöntemleridir. Şekil 1.3, bu üç yöntemin bir karşılaştırmasını göstermektedir. Şekil 1.3'de görüleceği üzere, Japonya'da kalite gelişmesine en büyük katkıyı, 1970'den sonra DT tekniği

sağlamıştır. Kaliteyi sağlamada, 1960'lardan beri Japonya'da başarı ile kullanılan DT tekniklerinin ABD'de kullanılmaya başlaması, 1980'lerin başında Taguchi'nin Amerika'da verdiği seminerlerden sonra olmuştur (Şirvancı, 1997).



Şekil 1.3- Muayene, İPK ve DT Yöntemlerinin Kalite Gelişmesine Katkıları (1950-1990), (Şirvancı, 1997)

Genichi Taguchi Japonya'nın endüstriyel ürün ve süreç geliştirmesinde 1940 sonlarından beri aktif olarak yer alan bir Japon makine mühendisidir. Ağırlıklı olarak istatistiksel kavram ve araçlara, özellikle istatistiksel deney tasarımına dayalı kalite geliştirme için felsefe ve yöntembilim geliştirmiştir.

Taguchi'nin kalite felsefesi yedi noktada özetlenebilir:

1. Ürün kalitesinin önemli bir boyutu, o ürünün kalitesizliğinin toplumda yol açabileceği toplam kayıp olarak ifade edilebilir.

2. Rekabetçi bir ekonomide işletmenin varlığını sürdürebilmesi için kaliteyi sürekli olarak geliştirmesi ve maliyetleri düşürmesi gereklidir.

3. Sürekli kalite geliştirme programları, ürünün performans karakteristiklerinin hedef değerlerden sapmalarının kayda değer miktarda azaltılmasını içermelidir.

4. Ürün performansındaki değişim sonucunda ortaya çıkan ve müşterilerin katlandığı kayıp, yaklaşık olarak, performans karakteristiğinin hedef değerden sapmasının karesi ile doğru orantılıdır.

5. Ürünün nihai kalite ve maliyeti, önemli oranda ürünün ve imalat sürecinin mühendislik tasarımları tarafından belirlenir.

6. Ürün veya sürecin performans varyansı, ürün ve süreç parametrelerinin performans karakteristikleri üzerindeki eğrisel etkileri giderilerek azaltılabilir.

7. İstatistiksel olarak planlanmış deneyler performans varyansını azaltan ürün veya süreç parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

Kalitenin üretimden önce, tasarım aşamasında başladığını öne sürerek kalite düşüncesinde devrim yapan Taguchi'nin kalite felsefesi incelediğinde, başlıca iki temel ilke görülmektedir.

"**Off-line" Kalite Kontrol;** Pazar araştırması ile ürün ve üretim sürecinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini kapsar.
"On-line" Kalite Kontrol; Ürünün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel süreç kontrolü ve çeşitli muayeneler örnek olarak verilebilir.

Deney tasarımı Taguchi'nin kalite sisteminde "off-line" kalite kontrol içinde yer almaktadır. Taguchi "off-line" kalite kontrolunu

i- Ürün tasarımı
ii- Süreç tasarımı

açısından ikiye ayırmaktadır. Kalite sağlama aşaması olarak hem ürün tasarımı için hem de süreç tasarımı için üç kalite aşaması tanımlamaktadır. Bunlar;

i- Sistem tasarımı

ii- Parametre tasarımı

iii- Tolerans tasarımı

aşamalarıdır.

1. Sistem Tasarımı; Müşterilerin ihtiyaçlarını ve işletmenin kendi yeteneklerini kullanarak bir ilk ürün tasarımı geliştirilir. Bu tasarım performans karakteristiklerinin değerini etkileyen parametre değerlerinin belirlenmesini içerir. Ürün tasarımı aşamasında malzeme, parça, ilk örnek ürün parametre değerleri seçimi vb. süreç tasarımı aşamasında üretim donanımı ve geçici süreç faktörleri değerlerinin seçimi söz konusudur.

2. Parametre Tasarımı: Nihai üründeki varyansa en fazla katkıda bulunan faktörler belirlenir. Mühendislik tasarımlarının varyansın kaynaklarına duyarlılığını, diğer bir deyişle topluma vermesi beklenen zararı en düşük düzeye indirgeyen değerleri belirlemek için bir dizi deney yapılır.

Ürün parametre tasarımı, ürün parametrelerinin malzeme (çelik, lastik, kâğıt, plastik vb.) bileşimleri, boyutlar, yüzey özellikleri gibi en uygun değerlerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Parametre tasarımında amaç, üründe ortaya çıkabilecek varyansları en aza indirerek ürünün hem imalat hem de yaşam çevrimi maliyetini azaltmaktır.

Süreç parametre tasarımı, kontrol edilebilen imalat süreç parametreleri (hat hızı gibi çeşitli hızlar, fırın sıcaklığı gibi çeşitli sıcaklıklar, çeşitli basınçlar ve çeşitli süreler) için en uygun düzey ve ayarların belirlenmesi anlamında kullanılmaktadır.

Her iki parametre tasarımında da amaç, üründe ve süreçte varyansın (hedef değerden sapmanın, yani kalitesizliğin) minimize edilmesidir. Varyansa neden olan iki tür faktör bulunmaktadır. Bunlar kontrol edilebilen faktörler ve gürültü faktörleridir (kontrol edilemeyen faktörler). Bu gürültü faktörleri kontrol edilmesi çok zor ve çok pahalı olan, ya da kontrolü imkânsız olan faktörlerdir. Ürünün fonksiyonel karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına neden olan, bir başka deyişle kalitesizliğe yol açan gürültü faktörleri, iç gürültü faktörleri, dış gürültü faktörleri ve ürünler arası gürültü faktörleri olmak üzere üç bölüme ayrılmaktadır.

İç gürültü faktörleri, üretilecek ürünün belirlenen karakteristik değerlerinden sapmasına neden olan faktörlerdir. Bunlar imalat hataları, ürün aşınması vb.dir.

Dış gürültü faktörleri ise, ısı, nem oranı, toz, voltaj düzeyi, üretimdeki insan değişkenliği gibi çevresel faktörlerdir. Bunlar ürünün belirlenen karakteristik değerinden ortaya çıkan sapmayı arttırıcı yönde etki yaparlar. Ürünler arası gürültü faktörleri aynı ölçütlere göre imal edilmiş olmalarına karşın parçalar arasında görülen farklılıklardır. Örneğin enjeksiyon yoluyla yapılan plastik döküm işleminde, ısı ve nem dış gürültü faktörlerini, makinelerin yaşı ve üretim sürecindeki toleranslar iç gürültü faktörlerini, imalattaki hatalar ürünler arasındaki gürültü faktörlerini oluşturmaktadır.

Parametre tasarımı aşamasında gürültü faktörlerine karşı kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini en uygun olacak şekilde belirlenmesi, ürün ve süreçteki varyansı en düşük düzeye indirebilir. Taguchi bu amaçla yapılan ürün ve süreç tasarımına gürbüz(robust) tasarım demektedir. Burada “gürbüz”, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin, nem, toz, ısı, yol durumu gibi çevre koşullarına, müşterilerin bu ürünü kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemelerdeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve süreç anlamında kullanılmaktadır.

Bir ürün veya sürecin ”gürbüzlüğü”, bu ürün veya sürecin performansı ve kontrol edilemeyen faktörlerin bu performansı etkilemesi açısından tanımlanmaktadır. Taguchi gürültü faktörlerinin kalite üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ya da ortadan kaldırmak, bir başka deyişle gürbüz tasarıma ulaşmak için deney tasarımı uygulamasını önermiştir.

3. Tolerans Tasarımı: İkinci aşamadaki hedef tasarım parametre değerleri için kabul edilebilir toleranslar belirlenir. Bu aşamada tasarım toleransları uygulamaya konulur. Parametre tasarımıyla elde edilen azaltılmış değişkenlik yeterli değilse tolerans tasarımı uygulanır. Tolerans tasarımı aşamasında, varyansları, çıktı değişimlerinde büyük etkiye yol açan ürün parametreleri ile süreç faktörleri toleranslarının daraltılmasına çalışılır. Tolerans tasarımı, daha iyi derece malzeme, parça, makine alımı için para harcayarak gerçekleştirilebilir.

Taguchi yaklaşımında sistem ve parametre tasarımı bir yandan daha yüksek kalite elde ederken aynı zamanda maliyetleri düşürme olanağı sağlamaktadır. Tolerans tasarımı ise daha yüksek kalite için daha yüksek maliyetlere katlanmayı zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle Taguchi yaklaşımında sistem tasarımı ve özellikle parametre tasarımının önemi çok fazladır. Taguchi parametre tasarımı için deney tasarımı uygulamasını önermiştir.

Deney tasarımı aracılığıyla birçok faktörün ürün veya sistem üzerindeki ekonomik olarak belirlemek ve varyasyon yaratan faktörlere karşı önlemleri, tasarım aşamasında almak mümkün olmaktadır. Dolayısı ile Taguchi'nin "off-line" kalite kontrol sistemi içinde en önemli kalite sağlama yöntemi deney tasarımıdır.

1.3 - 2^k Deney Tasarımı

Faktör seviyesi k>1 ve her bir faktörün sadece 2 seviyesinin kullanıldığı deneysel tasarımlara 2^k faktöryel deney tasarımı olarak adlandırılır.

İki düzeyli deneyler, deneylerin en basitleridir. Basitliklerine karşın, düşük maliyetle çok sayıda faktörün aynı anda incelenmesini mümkün kılar. Bu bakımdan deney tasarımında çok önemli yer tutarlar (Şirvancı 1997).

Bütün faktör kombinezonlarının denendiği deneylere "tam eşlendirmeli deney" ya da "tam faktöriyel deney" denir.

Örneğin 3 faktörlü ve 2 düzeyli bir deneyin tasarım matrisi aşağıdaki gibi olacaktır.

Çizelge 1.1- 3 Faktörlü, 2 Düzeyli Deney Tasarım Matrisi

Deney No	Faktör A	Faktör B	Faktör C	Faktör AxB	Faktör AxC	Faktör BxC	Faktör AxBxC	Sonuç
1	-	-	-	+	+	+	-	S_1
2	-	-	+	+	-	-	+	S_2
3	-	+	-	-	+	-	+	S_3
4	-	+	+	-	-	+	-	S_4
5	+	-	-	-	-	+	+	S_5
6	+	-	+	-	+	-	-	S_6
7	+	+	-	+	-	-	-	S_7
8	+	+	+	+	+	+	+	S_8

Çizelge 1.1'de yer alan A,B,C ana faktörleri temsil ederken diğer sütunlar faktörler arası etkileşimleri temsil etmektedir. Bu etkileşimlere ait sütunların "eksi" ve "artı" işaretleri, ana faktörlerin işaretlerinin çarpımı olarak elde edilmiştir. Örnek vermek gerekirse; BC etkileşim sütununun işaretleri B ve C sütunlarının işaretlerinin çarpımı sonucu bulunmuştur.

İki düzeyli deneylerde düzeylerin birine alt düzey, diğerine üst düzey denilmektedir. Genellikle alt düzeyler için "-"; üst düzeyler için "+" işareti ile temsil edilir.

1.3.1- Faktör etkilerinin hesaplanması

Faktörlerin sonuçlar üzerine etkisini hesaplayabilmek için her faktörün farklı iki düzeylerine karşılık gelen deney sonuçlarının ortalamalarını karşılaştırmak gerekir. Faktörün net etkisini bulmak için üst düzey ortalamasından alt düzey ortalaması çıkarılır.

Çizelge 1.1'deki örnekten açıklamak gerekirse;

$A(-) = (S_1 + S_2 + S_3 + S_4) /4$

$A(+) = (S_5 + S_6 + S_7 + S_8) /4$

$Etki_A = A(+) – A(-)$

olacaktır. Diğer faktörler için de benzer yöntemle net etki değerleri hesaplanabilir.

1.3.2- Normal olasılık grafiğinin çizimi

Faktörlerin ve faktör etkileşimlerinin sonuca etkisi hesaplandıktan sonra bu etkilerden hangilerinin istatistiksel açıdan önemli olduğuna karar vermek için "normal olasılık grafiği" yöntemi kullanılır. Normal olasılık grafiği oluşturulurken, etki değerleri yatay eksende yer alır. Olasılık ekseni olan dikey eksene, etkilerin sıra numarasına karşı düşen olasılık değeri işlenir.

Olasılık değerinin formülü:

Olasılık değeri = $\frac{i - 0,5}{m}$

i : sıra numarası

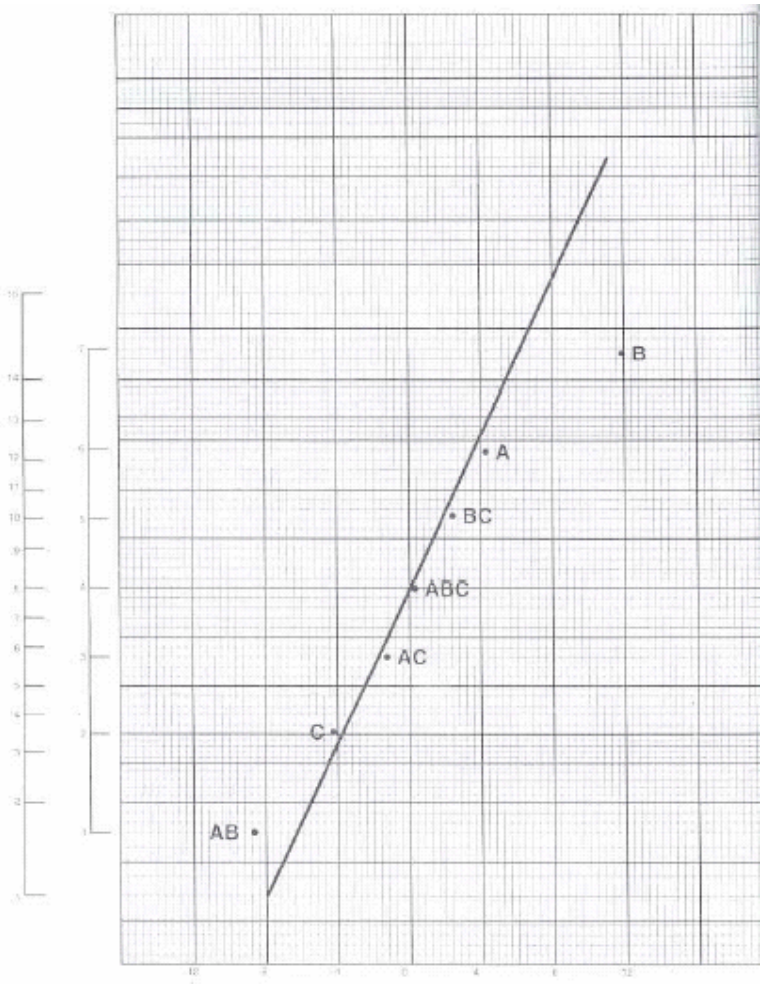
m : toplam etki sayısı (Sirvancı 1997)

Etkilerin sıra numarasını belirlemek için faktörlerin etkileri en “eksi” değere 1 sıra numarası verilerek küçükten büyüğe doğru sıralanır.

Örneğin eğer 2^3 deney tasarımını kullanılıyorsa; en eksi etki 1; en “artı” değer ise 7 sıra numarasını alacak şekilde sıralanır.

Etkiler normal olasılık grafiğine eklendikten sonra etki değeri sıfıra en yakın noktalar dikkate alınarak, bu noktalardan uzaklığı en az olan bir doğru çizilir.

Etkilerin istatistiksel önemliliği çizilen bu doğruya göre belirlenir. Önemli etkiler ya grafiğin alt tarafında, doğrunun solunda ya da grafiğin üst tarafında doğrunun sağında kalan etkilerdir. Bunun dışında kalan etkiler istatistiksel açıdan önemli değildir.



Şekil 1.4- Örnek Normal Olasılık Grafiği

Kaynak : Şirvancı, Kalite için deney tasarımı,1997, s:34

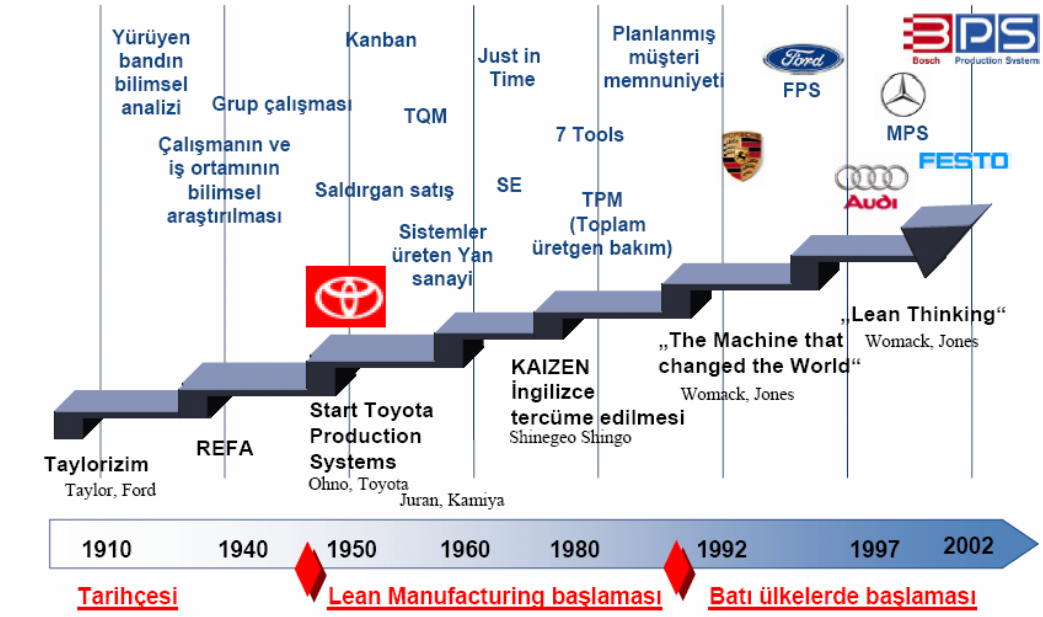
1.4- Yalın Üretim

1.4.1- Tanım

Literatürde Toyota üretim sistemi, tam zamanında üretim yada Stoksuz üretim gibi isimlerle anılan Yalın Üretim, 1950'nin başlarında Japonya'da Toyota şirketinin öncülüğünde geliştirilip, 1980'lerde ABD'de yaygınlık kazanmış olan bir üretim felsefesidir. Yalın üretimin en genel tanımı; “en az kaynakla, en kısa zamanda, en ucuz ve hatasız üretimi, müşteri talebine bire bir uyabilecek şekilde en az israfla ve nihayet tüm üretim faktörlerini en esnek şekilde kullanıp, potansiyellerinin tümünden yararlanarak nasıl gerçekleştirebiliriz?" arayışının bir sonucudur (Okur, 1997)

Bir çok büyük ABD firması bu sistemi değişik isimlerle kullanmaktadır. Örneğin;

- Harley-Davidson firmasında MAN (Materials As Needed)
- Ford Motor fabrikasında da MAN (Manufacturing As Needed)
- Omark Endüstrilerinde ZIPS (Zero Inventroy Production Systems)
- Westinghouse’de MIPS (Minumum Inventory Production Systems)
- Hawlet-Packard, SP (Stockless Production)



Şekil 1.5- Yalın Üretimin Tarihsel Gelişimi (Bosch 2006)

1.4.2- Yalın Üretimin Amacı

Yalın üretim felsefinin temelinde, üretimin tüm aşamalarında israfın önlenerek maliyetlerin azaltılması hedefi yer alır. Yalın üretim felsefesi ürünün değerini artırmayan tüm unsurları "israf" olarak tanımlamıştır (Acar 1995).

Yalın üretimin uygulanması yolundaki ilk adım kayıp faktörlerinin neler olduğunu açık ve net olarak ayrıştırabilmektir. Bu da aşağıdaki noktaların incelenmesiyle mümkündür (Ohno 1998):

- Üretim fazlası
- Ölü zamanlar
- Gereksiz nakliye ve bakım işlemleri
- Gereksiz ve uygun olmayan işler
- Stok fazlası
- Gereksiz hareketler
- Hatalı parça üretimi

1.4.3- Yalın Üretim Sistemi Teknikleri

Üretimde ürüne katma değer sağlamayan tüm "israfların" ortadan kaldırılması için yalın üretim bazı teknikler geliştirmiştir. (Okur 1997) . Bunlar:

i. Kanban ya da "Çekme" sistemi
ii. Karışık yükleme ve üretimde düzenlilik
iii. Tek parça akışı
iv. Makineler/atölyeler arası eşgüdüm
v. U-Hatları,iş rotasyonu ve standart iş tanımları
vi. Poke Yoke
vii. Toplam üretken bakım
viii. Deney tasarımı
ix. Bir dakikada kalıp değiştirme
x. Kalite çemberleri
xi. Emeğe,çalışanlara verilen değer, işçi hakları

1.4.4- Milk-run taşıma sistemi

1.4.4.1- Tanım

Literatürde genellikle "milkrun" olarak geçen ve Türkçeye "çekme esaslı tekrarlı dağıtım sistemi" olarak tercüme edebileceğimiz taşıma sistemi:

Gerekli malzemeyi;

i. Doğru zamanda
ii. Doğru yerde
iii. Doğru adet ve kalitede

taşınmasını sağlayan bir metottur. Bu metotla birlikte kapalı bir rotada, belirli sıklıklarda, farklı noktalara, bir veya birkac taşıma aracıyla yarı mamül, bitmiş ürün, boş kutuların yanında bilginin de taşınması sağlanır (Bosch 2006).

Çekme esaslı tekrarlı dağıtım sistemi, belirli bölgedeki tedarikçilerden genellikle tek araçla sık sık ve az az parça alımına dayanır. Genellikle fabrika

dışında tedarikçilerden parça tedariki için uygulanıyor olarak bilinse de fabrika içi uygulamaları da vardır. Fabrika içi stok noktalarını tedarikçi, montajı(üretim istasyonlarını) ise müşteri olarak ele alıp çekme esaslı tekrarlı dağıtım sistemi tasarımı yapmak mümkündür. (Akıllıoğlu ve ark., 2006)

1.4.4.2- Hedef

Milkrun uygulaması ile aşağıda belirtilen noktalarda iyileştirmelerin yapılması hedeflenir :

- Stokların düşürülmesi
- Akış zamanlarının kısaltılması
- Alan tasarrufu
- Belirli ve sürekli bir çevrim
- Standart taşıma kaplarının kullanılması ile standartlaştırma
- Üretim çalışanlarının üretime odaklanmasının sağlanması

2 – MATERYAL ve YÖNTEM

2.1- MATERYAL

Dizel püskürtme sistemleri sektöründe “erozyon ile püskürtme deliği delme” işlemi meme üretiminin en kritik süreçlerinden birisidir.

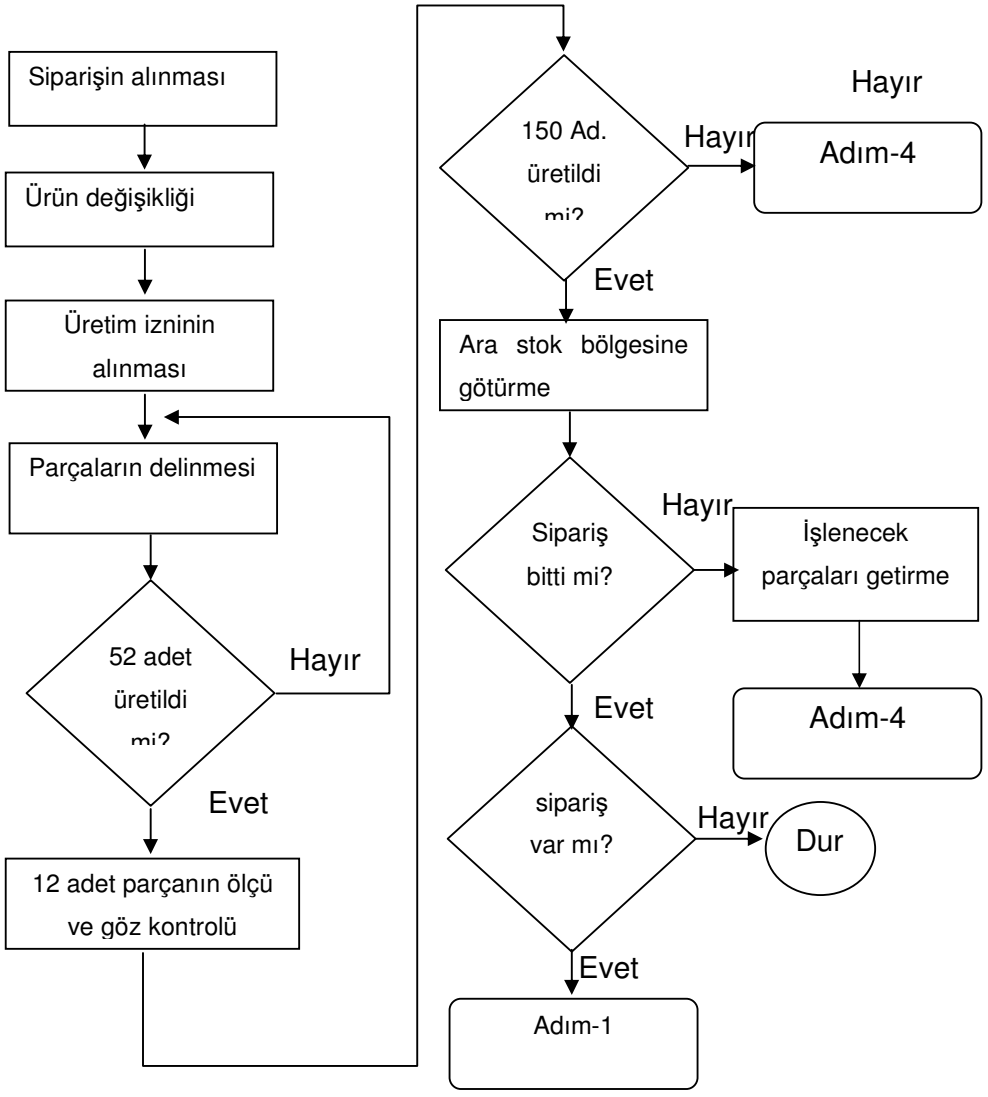
Bu süreç esnasında meme üzerine teknik resimlerde belirtilen açı, çap ve koniklikte delikler delinmektedir. Üretilen tüm memeler istisnasız bu süreçten geçmektedir.

Üretime ait genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

- Delik delme işlemi aynı marka makinelerde yapılmaktadır. Ancak kurulduğu günden beri gerek teknolojinin gelişmesi ve gerekse talebin artması ile birlikte aynı makineler olmasına rağmen 3 farklı model üretimde kullanılmaktadır.
- İşgücünden tasarruf etmek amacı ile çoklu yerde çalışma tekniği kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak 3 DDM makinesinden 1 işçi sorumludur.
- Delik delme süreci çok kritik bir süreç olduğu için işlemi biten memeler, işçiler tarafından belli sıklıkta ölçü ve göz kontrolleri yapılmaktadır.
- Bütün meme tipleri “püskürtme deliği delme” işleminden geçtiği için tip sayısı çok fazladır ve aynı zamanda üretim büyüklükleri tiplere göre değişmektedir.
- Sürekli artan talepten dolayı üretim bölümü günde 3 vardiya ve haftada 6 gün çalışmaktadır. Beklenmeyen duruşlar veya üretim planından sapmalar durumunda sıklıkla fazla mesai yapılmaktadır.
- Üretim hattında mevcut 50 adet DDM makinesi ve 4 adet ölçü ve göz kontrol istasyonu mevcuttur. Artan talepler nedeni ile yeni DDM makinesi siparişi verilmesi planlanmıştır.
- Yine artan talepten dolayı işçilik zamanını etkin kullanabilmek için çay ve yemek molalarına sırayla gidilmekte, mümkün olduğunca makineler durdurulmamaktadır.

- İşlem için memeler 150'lik kaplar içerisinde makine yanına getirilmekte, işlem sonrasında yine aynı kap içerisinde sonraki ara stok alanına işçi tarafından götürülmektedir.
- Her vardiyada 2 formen ürün değişikliği işlemlerinde işçilere yardımcı olmaktadır.

Üretim akışı genel olarak Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1- Üretim Genel Akışı

2.2- YÖNTEM

Sistemin çok sayıda değişkene sahip olması (tip sayısı, makine sayısı, çalışma şekilleri vb), üretim büyüklüklerinin değişken ve tip sayısının fazla olması nedeni ile sistemin incelenmesinde ve öngörülen alternatiflerin denenmesinde yöntem olarak benzetim tekniği kullanılmıştır.

Çalışma genelinde karmaşık ve büyük olan bu sistemi bilgisayar ortamında modelleyebilmek için PROMODEL programı ve girdi verilerinin analizinde yine PROMODEL'e ait STAT:FIT ek programı kullanılmıştır.

Sonuçların analizinde ise iki düzeyli deney tasarım ve Taguchi yaklaşımı metodu kullanılmış olup, sonuçlar MINITAB istatistiksel analiz programında incelenmiştir.

Bu nedenle Şekil-1.1'de belirtilen benzetim çalışması aşamalarına göre uygulama anlatılacaktır.

2.2.1- Problemin tanımlanması ve değişkenlerin belirlenmesi

Artan siparişlerden dolayı üretim hattında yeni yatırımların yapılmasının gündemde olduğu belirtilmişti. Bu tez kapsamında temel amaç "üretim sisteminin benzetim ile modellenerek yalın üretim tekniklerine uygun önerilerle üretim miktarının artırılması ve dolayısı ile makine ve işçi verimliliğinin artırılması" olarak belirlenmiştir.

Bu amaç doğrultusunda yapılan sistem incelemesi sonucunda aşağıdaki ana değişkenler tespit edilmiştir.

- Bir işçinin sorumlu olduğu makine sayısı
- Çalışma şekli. (İşçilerin sorumlulukları)
- Çay ve yemek molalarında geçen zaman
- Tip sayısı
- İşlem zamanı
- Makine arıza süresi
- Arızalar arası frekans
- Üretim izni için geçen zaman
- Ürün değişikliği süresi

- Takım değiştirme frekansı ve süresi
- Ölçü ve göz kontrolü frekansı ve kontrol adedi
- Sipariş büyüklüğü
- Üretilecek tiplerin dağılımı

2.2.2- Verilerin Toplanması ve Modelin Kurulması

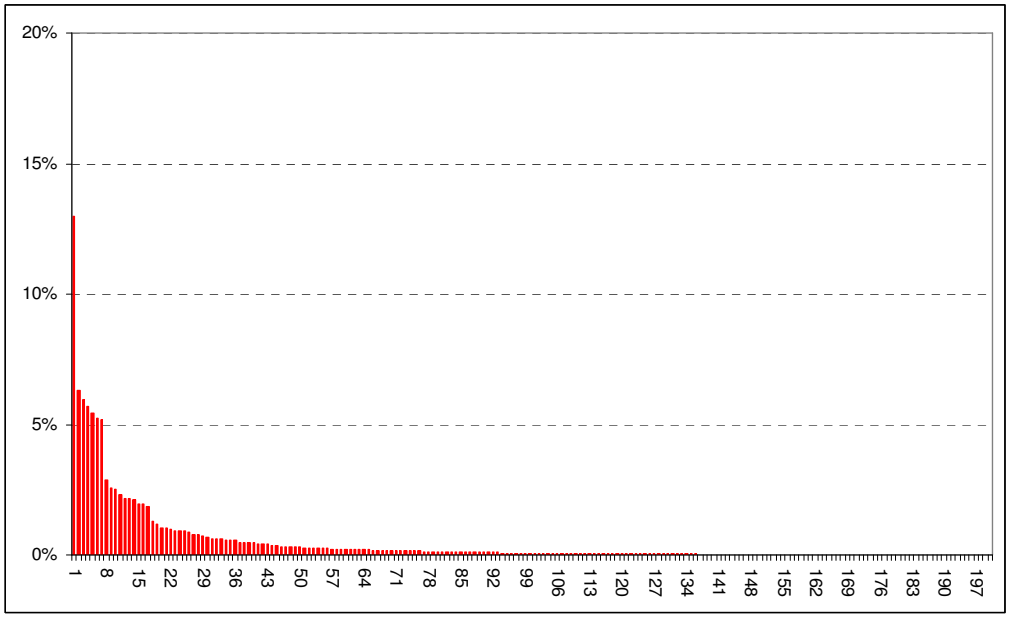
2.2.2.1 Verilerin Toplanması

Sistemi etkilediği düşünülen değişkenlerin tespit edilmesinden sonra bu değişkenlere ait veriler toplanmaya başlanmıştır.

Üretim sistemine ait 2005 yılına ait makine bazında üretim ve arıza verileri toplanmış ve tasnif edilmiştir.

Toplanan bu verilere göre:

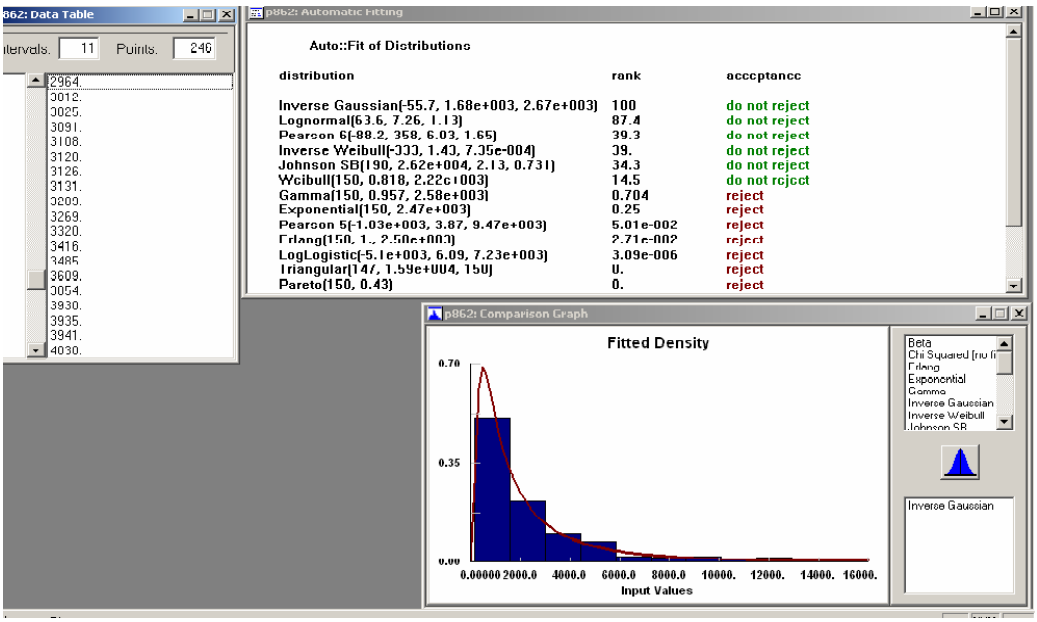
Tip Sayısının Belirlenmesi; Üretilen meme çeşitlerine ait ürün değişikliği sayıları hesaplanmış ve Şekil- 2.2 deki gibi bir diyagramda görselleştirilmiştir.



Şekil 2.2- Tiplere Göre Ürün Değişikliği Oranının Dağılımı

Şekil 2.2 den de görüleceği üzere ana tipler tüm tiplerin çok küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Ancak modellemenin daha gerçekçi olabilmesi için toplam üretimin %95 inden fazlasını karşılayan ilk 115 tipin modelde kullanılmasına karar verilmiştir.

Sipariş Büyüklüklerinin Belirlenmesi; Modelde kullanılacak tipler belirlendikten sonra bu tiplere ait sipariş büyüklükleri Stat-Fit programı kullanılarak uygun olasılık dağılım fonksiyonları bulunmuştur.



Şekil 2.3- Tiplere Göre Sipariş Büyüklüğünün Belirlenmesi

Mevcut veriler yardımı ile her makinede gerçekleşen ürün değişikliği işlemlerinde hangi tipe geçildiği analiz edilerek tip bazında kesikli bir dağılım matrisi elde edilmiştir. Promodel bu kesikli dağılıma göre üreteceği tipi seçecektir.

115 tipe ait üretim olasılık yüzdeleri ile sipariş büyüklüğüne ait uygun olasılık dağılımları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Sipariş olasılık dağılımları gerçekte karşılaşılan en büyük sipariş adedi ile üstten sınırlandırılmıştır.

Çizelge 2.1- Tiplere Göre Uygun Sipariş Büyüklükleri Dağılımı Ve Üretilme Olasılıkları

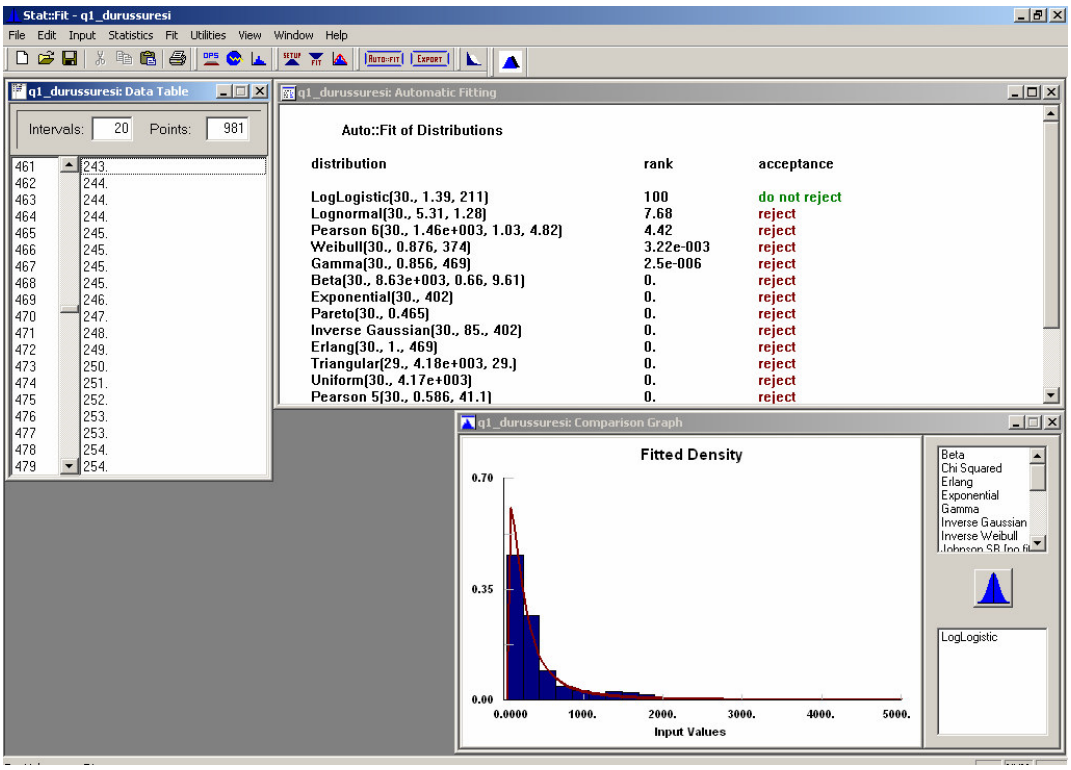
Tip No	Oran %	Uygun Dağılım	Maks. Değer
1	6,23	150+L(4.98e+003, 1.2e+004)	27929
2	4,10	-55.7+IG(1680, 2670)	15757
3	4,07	171+G(0.887, 3.34e+003)	12630
4	3,99	150+G(0.728, 4.23e+003)	22161
5	3,64	154+W(0.822, 3.3e+003)	23537
6	2,93	147+W(1.21, 1.36e+003)	6638
7	2,60	164+W(0.748, 3.58e+003)	20202
8	2,29	280+3.4e+004*(1./(1.+EXP(-(N(0.,1.)-1.59)/0.613)))	22636
9	2,18	150+ER(2.14e+003, 1.)	12099
10	2,00	42.6+P5(1.08, 818)	19451
11	1,86	B(0.968, 6.99, 154, 8.83e+003)	4833
12	1,77	150+G(0.724, 4.26e+003)	15092
13	1,77	150+P6(1.24, 3.48, 2.78e+003)	6858
14	1,64	40.+L(2.86e+003, 4.79e+003)	12724
15	1,61	30.+W(1.21, 939)	3433
16	1,56	150+W(1.17, 3.05e+003)	11285
17	1,55	150+L(5.43e+003, 1.54e+004)	24640
18	1,45	52.+G(1.79, 498)	3102
19	1,42	112+W(1.16, 1.25e+003)	6335
20	1,40	30.+G(1.27, 634)	3042
21	1,39	155+1.26e+003*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./1.24)	22790
22	1,29	B(1.32, 3.49, 54., 5.41e+003)	4511
23	1,25	150+W(1.48, 1.17e+003)	3304
24	1,20	150+IG(977, 2.21e+003)	13591
25	1,12	40.+W(1.11, 1.15e+003)	4435
26	1,10	128+L(7.22e+003, 3.73e+004)	23883
27	1,10	34.+W(1.32, 837)	2727
28	1,07	42.+P6(1.99, 4.97, 1.5e+003)	3336
29	1,03	41.+P6(1.73, 4.88, 2.94e+003)	4562
30	0,98	B(0.626, 1.34, 37., 3.38e+003)	3125
31	0,98	28.+W(1.08, 912)	3121
32	0,98	54.+W(1.38, 1.12e+003)	3301
33	0,96	B(0.824, 1.57, 29., 2.05e+003)	1989
34	0,96	88.+W(1.44, 2.26e+003)	5751
35	0,95	56.+P6(0.861, 134, 3.03e+005)	8450
36	0,91	220+W(1.14, 2.44e+003)	12122
37	0,87	85.+(1./7.44e-004)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./0.929)	21718
38	0,85	149+(1./1.77e-003)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./0.761)	13862
39	0,84	40.+W(1.11, 2.56e+003)	8450
40	0,84	B(1.08, 4.09, 28., 3.13e+003)	2279
41	0,80	23.+G(1.53, 581)	2623
42	0,79	120+W(1.04, 1.42e+003)	5081
43	0,77	50.+W(1.11, 890)	2528
44	0,76	B(0.958, 2.41, 25., 2.76e+003)	2255
45	0,74	26.+P6(1.17, 10.6, 4.9e+003)	2681
46	0,73	76.+W(1.42, 655)	1576
47	0,69	150+W(0.881, 881)	5501
48	0,68	B(0.86, 1.95, 52., 2.06e+003)	1791
49	0,68	B(0.668, 1.84, 91., 2.83e+003)	2427
50	0,63	B(0.895, 1.64, 36., 2.19e+003)	2000
51	0,60	B(0.842, 2.19, 108, 3.26e+003)	2650
52	0,58	B(1.13, 1.72, 101, 1.63e+003)	1630
53	0,57	92.+E(2.65e+003)	10738
54	0,54	B(0.671, 1.,104, 1.58e+003)	1568
55	0,52	21.+1.81e+003*(1./(1.+EXP(-(N(0.,1.)-0.459)/0.719)))	1741
56	0,50	150+W(1.58, 599)	1372
57	0,50	92.+W(1.37, 2.21e+003)	5687
58	0,49	154+G(1.89, 992)	7738
59	0,49	108+W(1.27, 553)	1532
60	0,47	29.+P6(1.82, 8.93, 6.82e+003)	5511
61	0,47	60.+W(1.57, 595)	1524
62	0,47	33.+G(0.958, 468)	1775
63	0,46	76.+L(932, 878)	2719
64	0,44	B(0.84, 2.08, 55., 2.52e+003)	1997
65	0,44	33.+W(1.36, 816)	2512
66	0,43	100+W(1.21, 612)	1883
67	0,43	91.+W(1.54, 1.09e+003)	2301
68	0,43	27.+E(349)	1050
69	0,41	59.+L(1.46e+003, 1.39e+003)	6153
70	0,41	B(0.6, 1.,1.08e+003, 1.03e+004)	10315
71	0,41	24.+W(1.21, 1.52e+003)	4563
72	0,39	78.+E(850)	2469
73	0,39	B(0.612, 1.,50., 1.62e+003)	1582
74	0,39	T(124, 124, 4.4e+003)	3806
75	0,38	40.+W(1.36, 664)	1785
76	0,38	43.+W(1.46, 880)	2159
77	0,36	30.+W(1.01, 443)	1400
78	0,36	88.+E(397)	1103
79	0,36	49.+W(1.55, 828)	1689
80	0,35	35.+1.64e+003*(1./(1.+EXP(-(N(0.,1.)-0.628)/0.791)))	1436
81	0,35	310+W(0.95, 1.87e+003)	7063
82	0,35	B(0.669, 0.819, 104, 2.52e+003)	2518
83	0,35	T(51., 51., 1.74e+003)	1500
84	0,33	T(125, 125, 1.01e+003)	852
85	0,32	24.+L(289, 364)	949
86	0,32	30.+(1./7.07e-003)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./0.919)	1352
87	0,32	115+P6(1.51, 1.37e+003, 9.37e+005)	3632
88	0,30	B(0.824, 0.678, 50., 953)	953
89	0,28	51.+P5(2.11, 346)	623
90	0,28	103+W(1.13, 819)	2053
91	0,28	190+P6(0.975, 1.3e+003, 5.58e+005)	1516
92	0,28	120+E(757)	2413
93	0,27	54.+L(829, 1.28e+003)	3170
94	0,27	112+(1./6.65e-003)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./0.885)	1892
95	0,25	21.+1.03e+003*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./2.8)	3080
96	0,25	59.+L(515, 623)	1295
97	0,25	96.*(1./(1.-U(0.5,0.5)))**(1./1.85)	619
98	0,25	72.+G(1.89, 114)	765
99	0,24	52.+W(2.28, 346)	637
100	0,22	60.+L(200, 256)	519
101	0,22	86.+P6(3.06, 9.25, 1.05e+003)	1138
102	0,21	40.+(1./5.78e-003)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./1.88)	664
103	0,21	174+1.67e+003*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./2.84)	4402
104	0,21	124+W(1.47, 828)	2095
105	0,19	20.+(1./5.31e-003)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./1.85)	891
106	0,19	164+W(0.679, 172)	1146
107	0,19	-20.4+P5(1.19, 172)	1123
108	0,19	-2.66e+004+2.83e+004*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./53.4)	3545
109	0,18	232+W(0.491, 90.2)	852
110	0,18	95.6+198*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./2.77)	762
111	0,18	-1.73e+003+2.01e+003*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./29.4)	512
112	0,17	B(0.808, 0.698, 176, 430)	430
113	0,17	350+ER(541, 1.)	1774
114	0,17	-7.53e+003+8.23e+003*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./26.1)	1596
115	0,16	B(0.851, 0.691, 219, 1.18e+003)	1181

Arıza Frekansı ve Arızada Kalma Sürelerinin Belirlenmesi; Çizelge 2.2' de gösterildiği üzere üretim sisteminde 3 farklı modelde 50 makine mevcuttur.

Çizelge 2.2- Makine Grupları

DDM No	Envanter No	Teknolojisi	DDM No	Envanter No	Teknolojisi
DDM 1	1	A	**DDM 26**	26	A
DDM 2	2	A	**DDM 27**	27	A
DDM 3	3	A	**DDM 28**	28	A
DDM 4	4	A	**DDM 29**	29	A
DDM 5	5	A	**DDM 30**	30	A
DDM 6	6	A	**DDM 31**	31	A
DDM 7	7	A	**DDM 32**	32	A
DDM 8	8	A	**DDM 33**	33	A
DDM 9	9	A	**DDM 34**	34	A
DDM 10	10	A	**DDM 35**	35	A
DDM 11	11	A	**DDM 36**	36	B
DDM 12	12	A	**DDM 37**	37	B
DDM 13	13	A	**DDM 38**	38	B
DDM 14	14	A	**DDM 39**	39	B
DDM 15	15	A	**DDM 40**	40	B
DDM 16	16	A	**DDM 41**	41	B
DDM 17	17	A	**DDM 42**	42	C
DDM 18	18	A	**DDM 43**	43	C
DDM 19	19	A	**DDM 44**	44	C
DDM 20	20	A	**DDM 45**	45	C
DDM 21	21	A	**DDM 46**	46	C
DDM 22	22	A	**DDM 47**	47	C
DDM 23	23	A	**DDM 48**	48	C
DDM 24	24	A	**DDM 49**	49	C
DDM 25	25	A	**DDM 50**	50	C

Bu 3 modele ait arıza verileri (arızada kalma süresi, arızalar arası frekans) geçen 12 aya ait kayıtlardan toplanarak Stat:Fit yazılımında verilere uygun istatistiksel dağılım belirlenmiştir.



Şekil 2.4- Stat:Fit Yazılımı ile Arızada Kalma Sürelerine Uygun Dağılımın Belirlenmesi

Çizelge 2.3- Makine Gruplarına Göre Uygun Dağılımlar

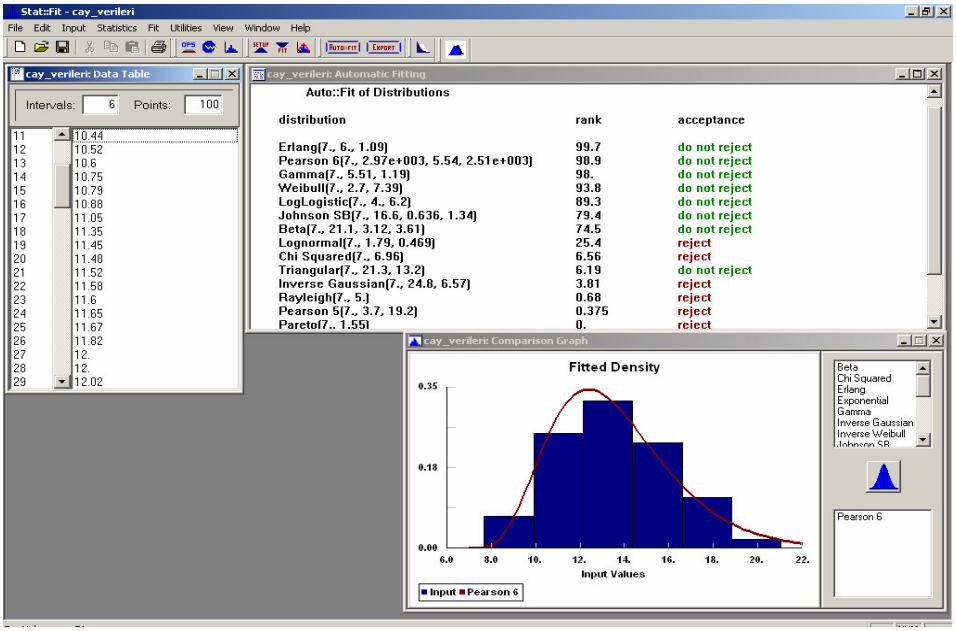
Makine Tipi	Arızalar arası Frekans (dakika)	Arızada kalma süresi (dakika)
A	61.+W(0.635, 2.38e+004)	30.+211*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./1.39)
B	61.+W(0.676, 1.38e+004)	30.+P6(1.06, 3.38, 1.18e+003)
C	83.+W(0.669, 2.e+004)	30.+P6(1.39, 5.27, 954)

Çay ve Yemek Molalarına Ait Dağılımların Belirlenmesi; Üretimde çalışan işçi ve formenler için talimatlarda belirlenmiş her biri 7 dakika olmak üzere 3 çay molası ve 30 dakikalık yemek molası vardır.

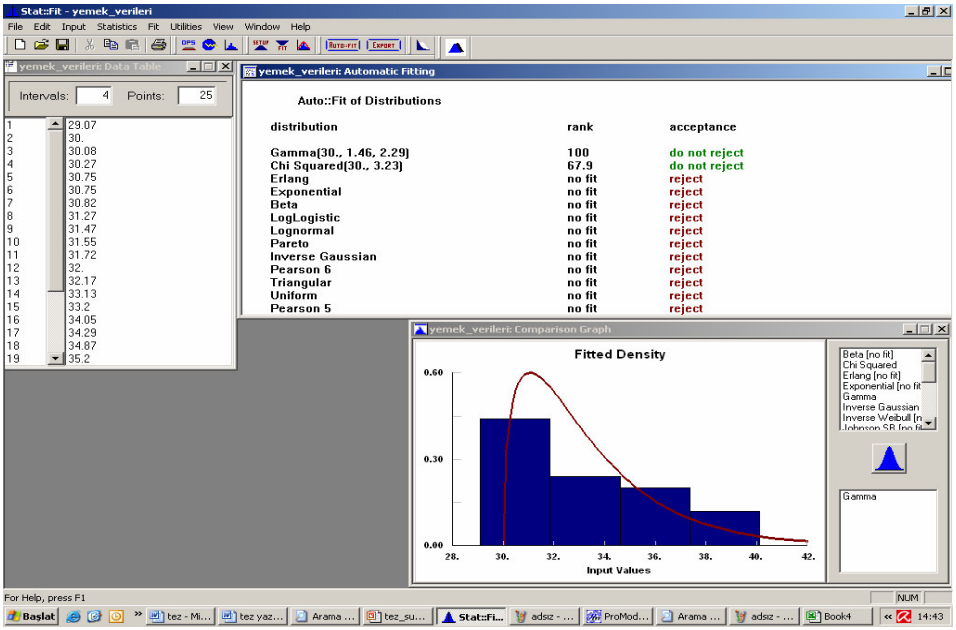
Üretimde yapılan gözlem sonucunda ise çalışanların çeşitli nedenlerden dolayı (sigara içme, el yıkama, çay ocaklarının uzak olması vb.) çay molalarının daha uzun kullanıldığı belirlenmiştir. Çalışanlar 7 dakikanın kısa olduğunu belirtmişlerdir.

Yemek molalarında ise ufak sapmalar dışında genellikle verilen süreye riayet edilmektedir.

Gözlem sonucunda elde edilen verilerin Stat:Fit yazılımında analiz edilmesi sonucu elde edilen en uygun dağılımlar Şekil 2.5 ve Şekil 2.6 da verilmiştir.



Şekil 2.5- Çay Molalarına Ait Uygun Dağılımın Belirlenmesi



Şekil 2.6- Yemek Molasına Ait Uygun Dağılımın Belirlenmesi

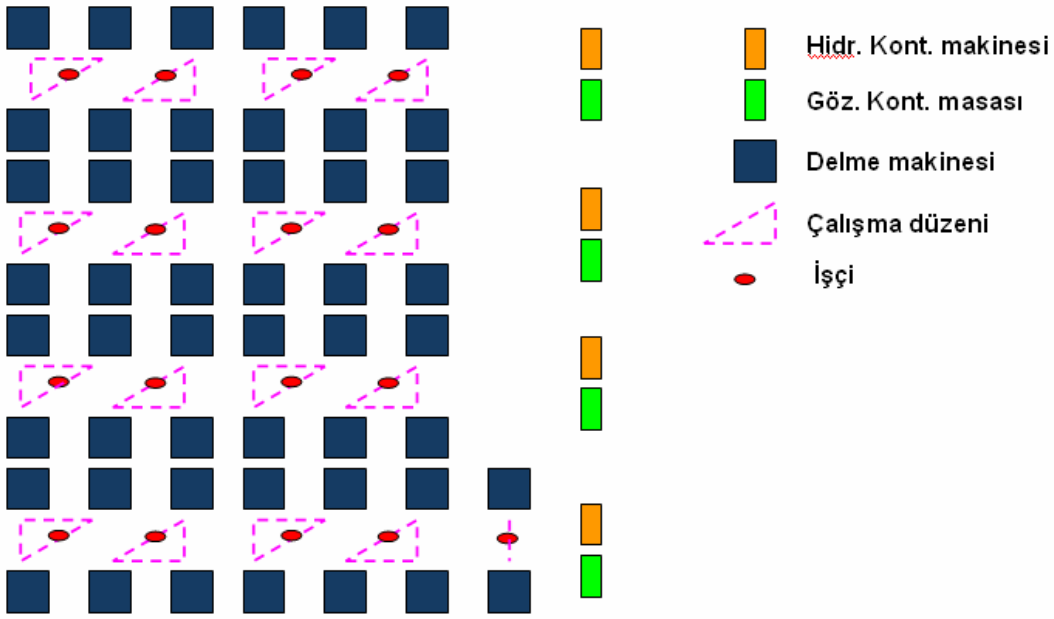
İş Zenginleştirme; Üretimde esnekliği sağlamak amacı ile işçiler devamlı olarak eğitim görmektedir. Bu eğitimlerin sonucunda ise işçiler aynı anda birden fazla makineye bakabilmekte, çay veya yemek molalarında arkadaşlarının sorumlu olduğu makineleri de çalışır vaziyette tutabilmektedir.

Esnek işgücünün en önemli getirilerinden birisi de birim işçilik giderlerinin azaltılmasıdır. Aynı miktar işgücü ile ne kadar çok makine çalıştırılırsa işgücü verimliliği o kadar yüksek olacaktır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken iki çok önemli nokta vardır.

- Makine verimliliği
- Kalite

Ülkemizde işgücünün gelişmiş ülkelere göre ucuz olması, bunun yanında üretimde kullanılan makine ve teçhizatının pahalı ve büyük kısmının ithal ediliyor olması sonucunda maliyet kaleminde makine verimliliği işgücü verimliliğinden daha ağır basmaktadır. Bu nedenle işgücü planlaması yapılırken makine verimliliğine çok dikkat edilmesi gerekir.

Üretim sisteminde yerleşim planı ve işçilerin çalışma düzeni Şekil 2.7 de gösterilmiştir.



Şekil 2.7- Yerleşim Planı Ve İşçilerin Çalışma Rotaları

İşlem Akışı ve Çalışma Şekli; DDM makineleri manüel yükleme ve boşaltma sistemine sahiptir. Makine başında işlem akışı aşağıda belirtilmiştir.

- Delik delme işlemi biten parçaları alma
- Hava tutma makinesine yerleştirme ve düğmeye basma
- Hava ile kurutma işlemi (Makine zamanı)
- Yeni memeleri DDM 'e yerleştirme
- Düğmeye basma ve DDM'i çalıştırma
- Hava tutma işlemi biten memeleri alma, bekleme kabına yerleştirme

Şekil 2.8 Makine başında işlem akışı

Bunların dışında işçinin sorumlu olduğu işlemleri sıralarsak:

- DDM makinelerine yükleme ve boşaltmak. (hava tutma makinesi dahil)
- Ara stoktan işlenecek parça getirmek.
- İşlemi biten parçaları sonraki stok'a götürmek.
- Belli devirde istenilen miktar kadar parçanın ölçü ve göz kontrolünü yapmak.

- Ölçü kontrolü sonrasında geçici kapta bekleyen memeleri taşıma kabına dizmek. (kalite açısından iki ölçüm arasında üretilen memeler ayrı bir yerde bekletilmektedir.)
- Makinelerin ürün değişikliğini gerçekleştirmek,
- Delik delmede kullanılan gümüş tellerini belli devirlerde değiştirmek.
- Çay veya yemek molalarında vardiya yapmak.
- İstenilen formları düzenli doldurmak.

İşlem süreleri; Üretim sisteminde her tip her makinede üretilebilmektedir. Bu nedenle her tip için belirlenmiş bir makine ataması yoktur. Sipariş boş olan makineye yönlendirilmektedir. Sadece bu yönlendirme sırasında eğer termin müsait ise makineler arasında sipariş kaydırması yapılabilmektedir. Bu nedenle model kurulurken her tipin her makine üretilebildiği kabul edilmiştir.

Geçmiş üretim verilerinden elde edilen değerler %95 güvenirlikte t testinde analiz edilerek istatistiksel olarak ortalamalarının kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (MESS-REFA 2003) .

Çizelge 2.4- Tip Bazında İşlem Süreleri

Tip No	Tz (sn)	Tip No	Tz (sn)	Tip No	Tz (sn)	Tip No	Tz (sn)	Tip No	Tz (sn)
1	199,2	26	260,3	51	224,3	76	209,7	101	363,8
2	254,0	27	489,3	52	264,7	77	324,9	102	233,4
3	289,9	28	254,0	53	249,6	78	274,8	103	237,8
4	259,1	29	201,2	54	236,1	79	464,1	104	185,3
5	274,0	30	212,5	55	265,0	80	298,8	105	287,6
6	221,0	31	276,4	56	291,6	81	280,5	106	241,6
7	323,8	32	268,4	57	315,4	82	303,1	107	302,8
8	153,3	33	399,5	58	176,6	83	245,8	108	286,5
9	305,8	34	346,9	59	331,7	84	229,3	109	214,9
10	216,0	35	234,4	60	194,8	85	233,6	110	199,4
11	222,8	36	232,7	61	194,7	86	242,4	111	359,7
12	270,3	37	259,2	62	449,1	87	193,7	112	239,4
13	237,1	38	266,6	63	183,4	88	265,8	113	279,1
14	259,7	39	273,3	64	240,4	89	211,6	114	273,3
15	255,0	40	269,6	65	189,7	90	269,0	115	279,6
16	299,8	41	472,5	66	259,4	91	331,5		
17	264,1	42	245,1	67	252,0	92	186,7		
18	275,9	43	214,8	68	268,8	93	369,0		
19	210,1	44	266,6	69	195,9	94	260,3		
20	277,9	45	302,5	70	285,2	95	254,8		
21	315,6	46	241,0	71	295,4	96	441,7		
22	247,8	47	254,2	72	201,9	97	226,1		
23	210,1	48	283,9	73	250,6	98	268,5		
24	198,6	49	180,5	74	176,2	99	218,1		
25	246,8	50	227,9	75	245,4	100	204,8		

Ürün değişikliği ve takım değiştirme süreleri; Üretim sisteminde makineler ve işlem aynı olduğu için ürün değişikliği süreleri önceki tip ve üretilecek tipe bağlı olmayıp tüm tipler için aynıdır.

Ürün değişikliği süreci temelde iki aşamada incelenmesinde fayda vardır.

i- Fiziki hazırlık; Bu aşamada makine üzerinde üretilecek tipe göre gerekli ayarlamalar ve takım değişiklikleri yapılır. Üretilen numune parçalar üretim izni için hassas ölçüm odasına gönderilir.

ii- Üretim iznini bekleme; Hassas ölçüm odasında parçalar çok küçük toleranslarda çalışabilen özel ölçüm cihazlarında ölçülerek parçaların istenilen ölçülerde olup olmadığını teyit eder ve ölçüm sonucunda bir rapor hazırlar. Üretim bu raporun alınmasından sonra başlayabilir.

Her vardiyada çalışan 2 formen fiziksel hazırlık işlemi ile sorumludur. Ancak aynı anda daha fazla makinenin ürün değişikliği gerekiyor ise işçiler fiziksel hazırlık işlemini kendileri yapmaktadır.

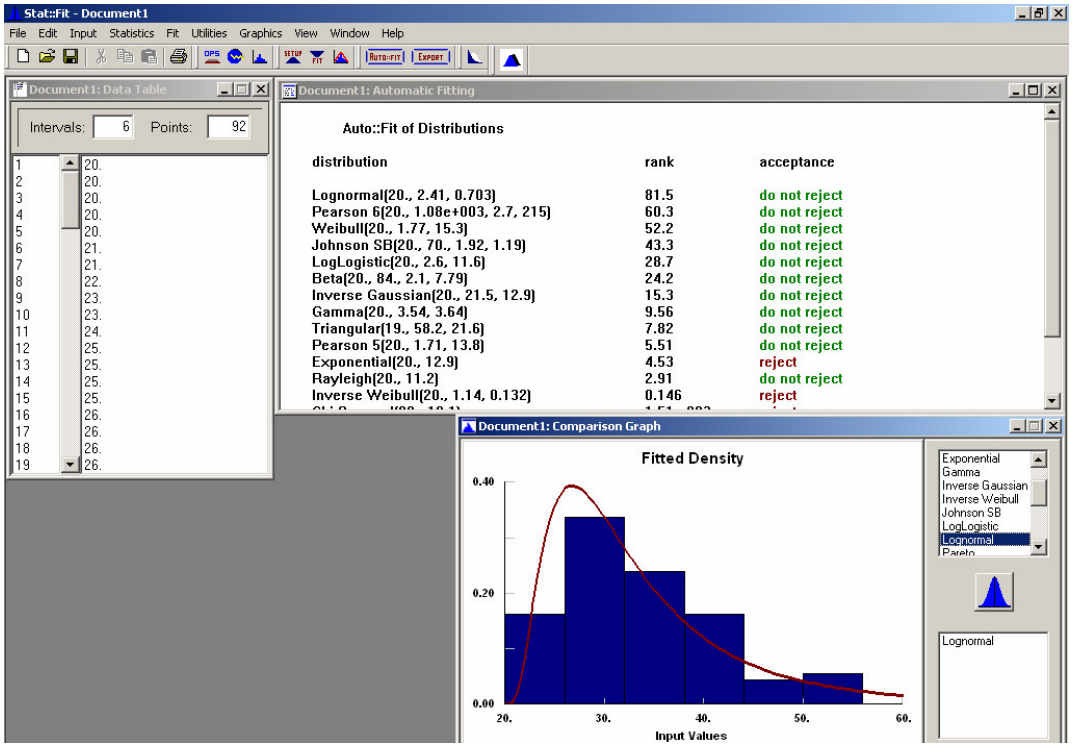
Ürün değişikliğine ait yapılmış zaman etüdü çalışmaları olmasına rağmen çalışanlarla yapılan görüşmeler sonucunda ürün değişikliği işleminin en fazla 60 dakika sürdüğü, genellikle 45 dakika gibi bir sürede ürün değişikliğinin tamamlandığını belirtmişlerdir.

Hassas ölçüm odası üretim sisteminden ayrı olup burada geçen sürenin modele dahil edilebilmesi için yapılan gözlemlerle veri toplanmış ve bu verilere uygun bir istatistiksel dağılım Stat:Fit yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2.5- Üretim İzni İçin Bekleme Süreleri

Gözl. No	Tarih	Giriş Saati	Çıkış Saati	Ölçüm Süresi (dak)	Gözl. No	Tarih	Giriş Saati	Çıkış Saati	Ölçüm Süresi (dak)
1	30.03.2006	08:22	08:50	28	47	24.03.2006	20:20	20:52	32
2	30.03.2006	09:30	10:01	31	48	24.03.2006	21:10	21:54	44
3	30.03.2006	10:48	11:20	32	49	24.03.2006	21:50	22:33	43
4	30.03.2006	11:07	11:32	25	50	24.03.2006	01:45	02:26	41
5	30.03.2006	13:28	13:54	26	51	24.03.2006	05:49	06:12	23
6	30.03.2006	16:30	16:59	29	52	24.03.2006	08:45	09:13	28
7	30.03.2006	22:00	22:24	24	53	24.03.2006	09:15	09:35	20
8	30.03.2006	22:10	22:45	35	54	25.03.2006	02:00	02:27	27
9	30.03.2006	23:25	23:55	30	55	25.03.2006	02:15	02:40	25
10	30.03.2006	00:10	00:46	36	56	25.03.2006	03:59	04:39	40
11	30.03.2006	00:32	01:15	43	57	25.03.2006	04:30	05:13	43
12	30.03.2006	01:15	01:57	42	58	25.03.2006	10:56	11:23	27
13	30.03.2006	05:15	05:48	33	59	25.03.2006	13:15	13:48	33
14	30.03.2006	05:25	05:55	30	60	25.03.2006	14:43	15:20	37
15	30.03.2006	06:15	06:48	33	61	25.03.2006	15:05	15:45	40
16	30.03.2006	06:00	06:54	54	62	25.03.2006	18:00	18:21	21
17	30.03.2006	06:05	06:38	33	63	25.03.2006	19:30	19:55	25
18	30.03.2006	08:50	09:10	20	64	25.03.2006	20:46	21:32	46
19	30.03.2006	12:20	13:00	40	65	25.03.2006	20:48	21:28	40
20	30.03.2006	13:10	14:00	50	66	25.03.2006	21:35	21:55	20
21	30.03.2006	13:58	14:40	42	67	27.03.2006	23:55	00:21	26
22	30.03.2006	10:40	11:01	21	68	27.03.2006	00:55	01:32	37
23	30.03.2006	13:28	13:58	30	69	27.03.2006	01:20	01:55	35
24	30.03.2006	14:40	15:06	26	70	27.03.2006	02:20	02:46	26
25	30.03.2006	15:07	15:30	23	71	27.03.2006	02:30	03:04	34
26	24.03.2006	02:45	03:25	40	72	27.03.2006	05:00	05:39	39
27	24.03.2006	03:30	03:55	25	73	27.03.2006	05:35	06:09	34
28	24.03.2006	13:45	14:21	36	74	27.03.2006	05:35	06:09	34
29	24.03.2006	17:36	18:13	37	75	27.03.2006	10:45	11:11	26
30	24.03.2006	17:55	18:22	27	76	27.03.2006	11:38	12:04	26
31	24.03.2006	19:00	19:48	48	77	27.03.2006	12:08	12:42	34
32	24.03.2006	21:29	21:56	27	78	27.03.2006	14:58	15:18	20
33	24.03.2006	18:15	18:44	29	79	27.03.2006	16:15	16:53	38
34	24.03.2006	19:15	19:45	30	80	27.03.2006	16:20	16:40	20
35	24.03.2006	20:55	21:22	27	81	27.03.2006	18:32	18:58	26
36	24.03.2006	00:50	01:21	31	82	27.03.2006	22:25	23:20	55
37	24.03.2006	03:20	03:59	39	83	27.03.2006	22:59	23:32	33
38	24.03.2006	07:55	08:23	28	84	27.03.2006	10:43	11:12	29
39	24.03.2006	08:20	09:11	51	85	27.03.2006	11:00	11:28	28
40	24.03.2006	08:28	09:11	43	86	27.03.2006	11:30	12:00	30
41	24.03.2006	09:16	09:50	34	87	27.03.2006	19:10	19:45	35
42	24.03.2006	10:00	10:30	30	88	27.03.2006	01:55	02:51	56
43	24.03.2006	13:27	13:54	27	89	27.03.2006	04:15	04:41	26
44	24.03.2006	13:46	14:33	47	90	27.03.2006	05:20	05:52	32
45	24.03.2006	15:30	16:01	31	91	27.03.2006	06:07	06:41	34
46	24.03.2006	18:20	18:42	22	92	27.03.2006	07:00	07:30	30

Bu veriler Stat:Fit programına girilerek uygun dağılım belirlenmiştir.(Şekil 2.9)



Şekil 2.9- Üretim İzni Süresine Ait Uygun Dağılımın Belirlenmesi

2.2.2.2 Modelin Kurulması

Veri toplama ve değerlendirme aşamasından sonra mevcut üretim şekli ve talimatlarına göre modelin matematik ve mantıksal altyapısı kurulmuştur. Bu aşamada amaç gerçekliği bozmadan modeli en basit ve yalın hali ile kurmak olmuştur. Zira model ne kadar ayrıntılı ve karmaşık olursa modelleme için harcanan zaman ve emek o kadar fazla olacaktır. Karmaşık ve büyük bir modelin bilgisayar ortamında koşumu da aynı şekilde daha fazla zaman gerektirecektir.

2.2.3- Bilgisayarda modelin kurulması:

Modelin bilgisayar ortamında kurulmasında PROMODEL paket programı kullanılmıştır.

Promodel; küçük atölye tipi üretiminden büyük ölçekli üretim sistemlerine kadar her türlü üretim alanında kullanılabilen kullanımı kolay güçlü bir benzetim programıdır. Windows işletim sistemi altında çalışan Promodel beraberinde SimRunner isimli en iyileme programı ile benzetim verilerinin optimizasyonunda da çok etkilidir.

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.

Hâlihazırda çalışan sistemi herhangi bir şekilde kesintiye uğratmadan, sorunların çözümlerini deneyebilir, senaryo analizi yapabilir, kapasite artırımı gibi sistemde değişiklik gerektiren yatırımların sonucunda sistemin ne olacağını önceden kestiribilir.

Sistemdeki bir takım hedeflere göre (üretimin arttırılması ve aynı zamanda kaynakların boş kalma sürelerinin minimuma indirilmesi gibi), sistem içindeki operatör sayıları, makine kapasiteleri, kafile büyüklükleri vs. gibi bir takım parametrelerin en uygun değerlerinin bulunmasını kolaylaştıran bir optimizasyon modülü de içeren ProModel'in bu özelliği yazılımı gerçek anlamda "optimizasyon yapabilen bir benzetim yazılımı" haline getirmektedir.

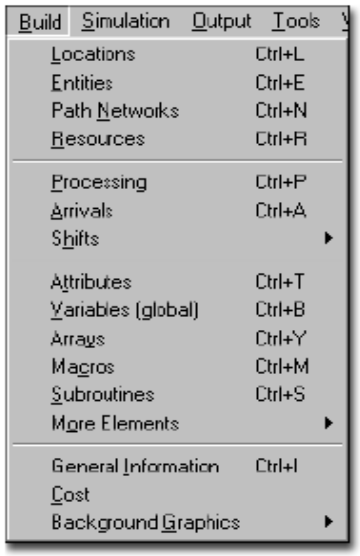
ProModel'i var olan sistemlerin yanı sıra, yeni kurulması planlanan fabrika, departman, montaj hattı vs. gibi henüz kurulmamış yapıların dizaynında kullanabilir, önceden tahmin edilmesi zor olan problemleri yatırım yapmadan önce bulanabilir. ProModel'in yaygın olarak kullanıldığı alanlar arasında:

- Ara stokların azaltılması
- Kaynak ve/veya makine kullanım kapasitelerinin iyileştirilmesi
- Yerleşim planlaması
- Ekipman ve kaynak planlaması
- Malzeme ihtiyaç planlaması

- Darboğaz ve kısıt analizi
- Yenioperatör eğitimi
- Ayrıntılı AS/RS modellemesi
- Montaj hattı dengelemesi
- Senaryo analizi

sayılabilir (Uytes,2006).

Promodel model kurma aşamasında kullanıcıya birçok elementin kullanımına olanak verir.



Şekil 2.10- Model Kurma Elementleri

Tez aşamasında kullanılan bu elementleri tanımlamak ve tez çalışmasında nasıl kullanıldıkları hakkında bilgi vermek kurulan modeli anlamaya yardımcı olacaktır:

***2.2.3.1- Locations (İş yeri)*;** Sistem içinde nesnelerin işlem için gittiği, depolandığı veya bazı aktivitelerin gerçekleştiği ya da bazı kararların verildiği yerlerdir. (Harrell ve Price 2000)

Tez kapsamında hazırlanan modelde:

Her bir DDM makinesi için,

- 1 adet DDM makinesi
- 1 adet işlenecek parçaların durduğu masa
- 1 adet işlenmiş parçaların durduğu masa
- 1 adet hava tutma makinesi
- 1 adet işlenecek parça stok alanı
- 1 adet yardımcı işlem alanı.
- 1 adet milkrun alanı (sadece önerilen sistemde)

Olmak üzere 6 üretim yeri (önerilerin modellenmesinde 7 adet) ile modellenmiştir.
Bunun yanı sıra modelde:

- 4 adet ölçüm kontrol masası
- 4 adet göz kontrol masası
- 1 adet çay ve yemek molası yeri
- 1 adet formenlerin masası
- 1 adet bitmiş stok alanı

iş yerleri de modele eklenmiştir. Toplamda kullanılan iş yerleri

Mevcut sistem modellemesi için : 311 adet
Önerilerin modellenmesi için : 357 adet

Her iş yerine program tarafından otomatik olarak bir indis numarası aktarılır ve bu indis numaraları sayesinde iş yerleri modellemede kurulan matematiksel formüller içerisine rahatlıkla dahil edilirler.

	Kod	DDM-1	DDM-2		DDM-49	DDM-50
Makine	agie	1	7	. . .	289	295
Giriş masası	g	2	8	. . .	290	296
Çıkış masası	c	3	9	. . .	291	297
Hava Tutma Mak.	h	4	10	. . .	292	298
İşlenecek parça stok alanı	s	5	11	. . .	293	299
Yardımcı alan	Loc	6	12	. . .	294	300

Şekil 2.11- Üretim İzni Süresine Ait Uygun Dağılımın Belirlenmesi

Kurulan modelde Şekil 2.11'de gösterildiği gibi bir iş yeri numaralandırılmasına gidilmiştir. Kod sütünü altında her bir işyerin modeldeki isimleri yer almaktadır. Ancak işlem tanımlarken sadece bu numaraları kullanmak her bir makine için aynı işlem adımlarını her nesne için tekrar tanımlanmasını gerektirecektir.

Bu yöntem sonucunda 2 üretim nesnesi ve 311 iş yeri dikkate alındığında toplam 622 işlem gerekecektir. 115 tipin her birini bir nesne olarak tanımlanması durumunda 35.765 (115 x 311) adet işlem gerekir ki bu hem çok vakit alacaktır ve hem de kontrolü çok zordur. Bu yöntem ile yapılan basitleştirme modelin kontrolü ve güvenliği açısından büyük katkıları olacağı kesindir.

Bu nedenle konumları matematiksel bir değişken gibi formüllerde kullanabilecek bir yöntem gerekmektedir. Burada Location() komutu istenilen esnekliği kazandırmaktadır.

Location() komutu kullanılarak

İŞ YERİ	**FORMÜL**
Makine	ROUND((Location()+5) / 6)
Giriş masası	ROUND((Location()+4) / 6)
Çıkış masası	ROUND((Location()+3) / 6)
Hava Tutma Mak.	ROUND((Location()+2) / 6)

İşlenecek parça stok alanı	ROUND((Location()+1) / 6)
Yardımcı alan	ROUND((Location()) / 6)

İş yerleri bu matematiksel formül sayesinde bir değişken gibi kullanılabilir. Burada "Round" komutu sonucu tam sayıya çevirmek için kullanılmıştır.

Örnek olarak;

Modellemede 289 indis numaraları DDM makinesinin gerçekte kaç no'lu DDM makinesi olduğunu;.

DDM No = ROUND((289+5)/6) = 49
Bulunabilir.

***2.2.3.2- Entities (Nesneler)*;** Nesne veya parçalar sistemde işlem gören maddelerdir. Nesne tanımına hammadde, yarı mamul, montaj parçaları, bitmiş ürün, iş emirlerini örnek olarak verilebilir.

Kurulan modelde kullanılan nesneler ve açıklamaları aşağıda verilmiştir :

Sipariş : Üretimi başlatmak için kullanılır. Her makine mevcut üretimini bitirdiği zaman otomatik olarak yeni bir üretim siparişi oluşturur. Bu nesne ile üretilecek meme tipi ve sipariş büyüklüğü belirlenir.

Rahmen : Memeler stok alanından giriş masasına kadar ve çıkış masasından bitmiş stok alanına 150'lik kaplar halinde taşınmaktadır. Modelleme aşamasında bu kaplar "rahmen" nesnesi ile modellenmiştir.

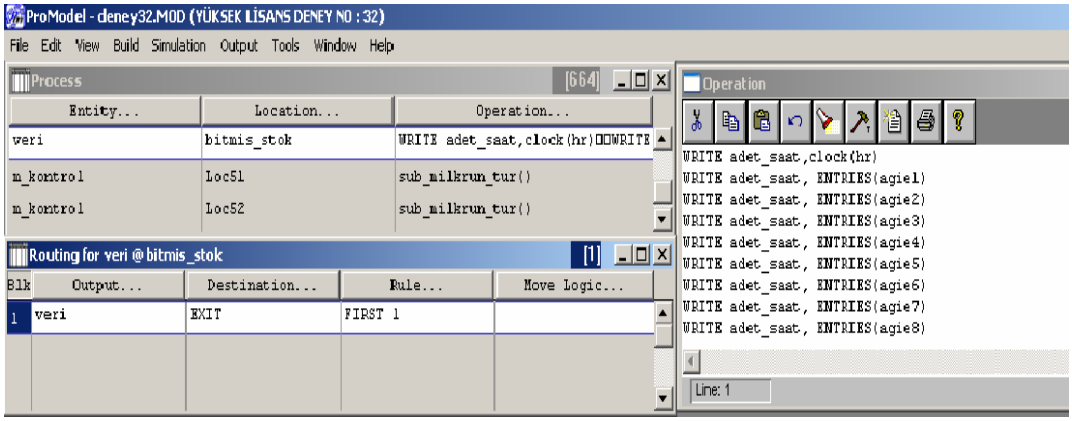
DuseA, DuseB : Üretimde işlem gören meme yarı mamulünü temsil ederler. Promodel 4.2 sürümünde ürün değişikliği işlemini modellemede kolaylık olması açısından 2 farklı nesne olarak tanımlanmıştır.

Ayrıca her DDM makinesi 4 meme yarı mamulünü aynı anda işlediği için modelde kolaylık olması açısından gerçek sistemde 4 adet meme benzetim ortamında 1 adet Duse nesnesi ile temsil edilmiştir.

Kontrol : Belli periyotlarda yapılacak olan ölçü ve göz kontrolü işlemi için bu nesne tanımlanmıştır.

Veri : Özellikle ısınma periyodunun istatistiksel olarak tespit edilebilmesi için benzetimin çalışma zamanı boyunca saatlik olarak üretilen adetlerin dosyaya yazılması işlemi bu nesne sayesinde gerçekleştirilmiştir.

Model her bir saatin sonunda bu nesneyi oluşturmaktadır. Bu nesneye ait işlem akışı aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.12- Veri Nesnesine Ait İşlem Tanımının Promodel' de Görünümü

Nesneye ait işlem sonucunda elde edilen sonuç dosyası Çizelge 2.6'de verilen örnekteki gibidir.

Çizelge 2.6- Veri Nesnesine Ait Sonuç Dosyası Örneği

Benzetim Saati	DDM-1	DDM-2	DDM-3		DDM-48	DDM-49	DDM-50
1	12	12	13	. . .	16	13	15
2	23	17	25	. . .	31	22	26
3	34	28	37	. . .	39	34	38
4	45	38	39	. . .	40	46	51
5	57	49	47	. . .	56	51	57
.	.	.	.	. . .	.	.	.
1753	15547	14434	17725	. . .	15053	12804	12769
1754	15556	14445	17734	. . .	15067	12807	12776
1755	15565	14453	17744	. . .	15082	12818	12786

M_kontrol : Önerilen sistemde kontrolü yapacak işçinin belli çevrimde makinelere uğraması için kullanılır. Bu nesne ile, kontrol işçisi sorumlu olduğu makinelere gider, kontrol edeceği parça adedince memeyi alır, bir önceki çevrimde aldığı memeleri geri verir.

Milkrun : M_kontrol nesnesi yardımı ile çevrimini tamamlayan işçi bu nesne yardımı ile parçaları kontrol eder.

2.2.3.3- Path Networks (Dolaşım ağı); Nesnelerin veya kaynakların sistem içerisinde olası hareketlerinin tanımlandığı bir elementtir. Bu element sayesinde işçilerin yürüyüş mesafeleri istenirse zaman, istenirse mesafe cinsinden tanımlanabilir. Kurulan modelde

Mevcut sistem için:

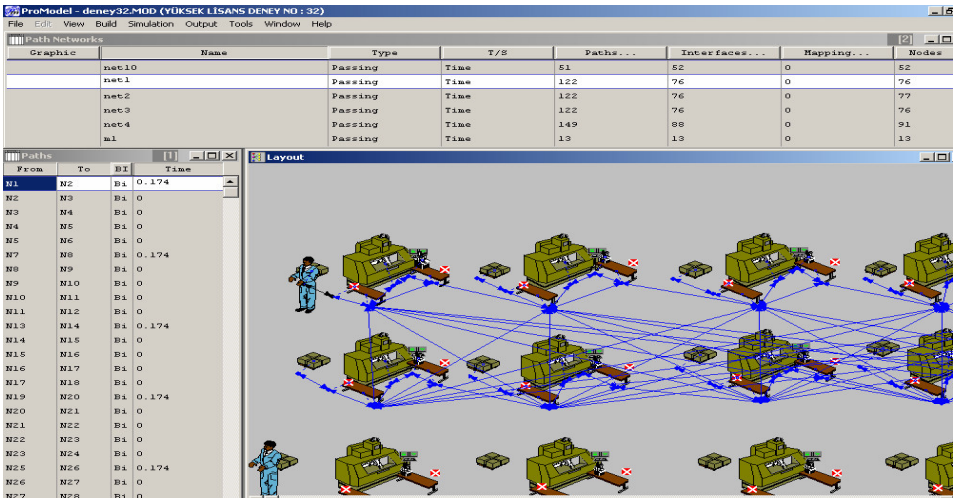
3 makine – 1 işçi çalışma düzeni için	9 adet dolaşım ağı
Formenler için	1 adet dolaşım ağı

olmak üzere toplam 10 adet dolaşım ağı tanımlanmıştır.

Önerilen sistem için:

4 makine 1 işçi çalışma düzeni için	4 adet dolaşım ağı
Milkrun kontrol düzeni için	4 adet dolaşım ağı
Formenler için	1 adet dolaşım ağı

olmak üzere 9 adet dolaşım ağı tanımlanmıştır.



Şekil 2.13- Örnek Dolaşım Ağı Tanımlama Ekranı

2.2.3.4- Resources (Kaynaklar); Kaynak elementi ile;

- Rota üzerindeki konumlar arasında taşınan malzemeler
- Tanımlanmış konumda malzeme üzerinde çalışan bir işçi
- Arızada olan çalışma yerleri için kullanılan donanımlar

gibi bir çalışan, bir araç, bir taşıt veya diğer bir madde tanımlanmış olabilir.

Kaynaklar hareket etmek için tanımlanmış dolaşım ağlarını kullanırlar. Dolaşım ağları birden fazla kaynak için aynı olabilir. Ama her bir kaynağa özgü parametreler tanımlanabilir. (Hareket etme hızı, hızlanma ve yavaşlama hızları gibi)

Mevcut sistem analizi için:

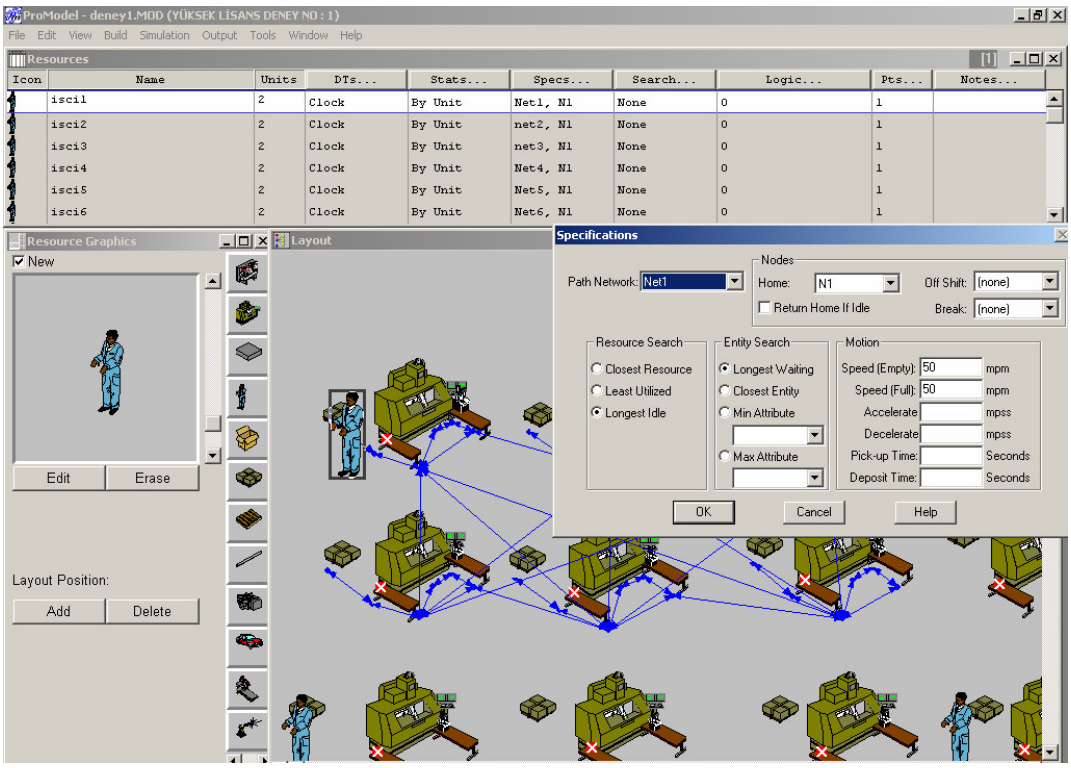
- 2 üyeli 8 adet işçi kaynağı
- 1 üyeli 1 adet işçi kaynağı
- 2 üyeli 1 adet tip_dönme kaynağı

olmak üzere toplam 10 adet kaynak tanımlanmıştır.

Önerilen sistem analizi için:

- 3 üyeli 4 adet işçi kaynağı
- 2 üyeli 1 adet tip_dönme kaynağı
- 1 üyeli 4 adet milkrun kaynağı

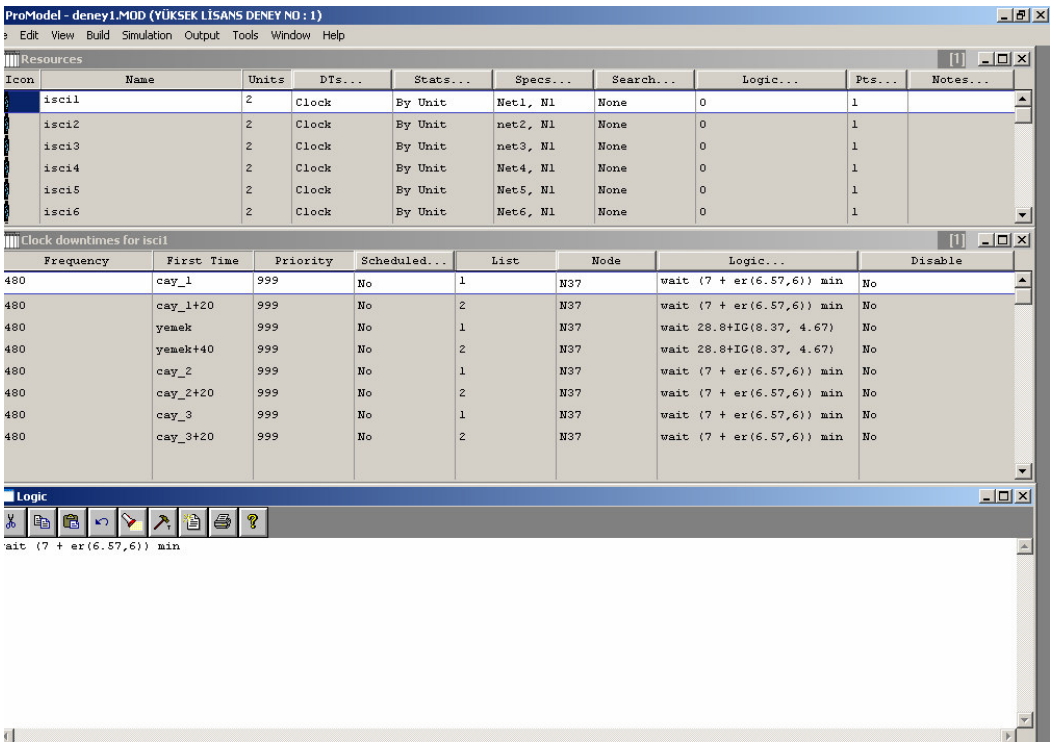
olmak üzere 9 adet kaynak tanımlanmıştır.



Şekil 2.14- Örnek Kaynak Tanımlama Ekranı

Promodel'in özellikle işçilerin vardiya düzeninin modellenmesi için vardiya(shifts) elementi mevcut ise de incelenen sistemde çalışanlar sırayla çaya gittikleri için işçilere ait çay ve yemek molaları da kaynaklar elementi altında tanımlanmıştır.

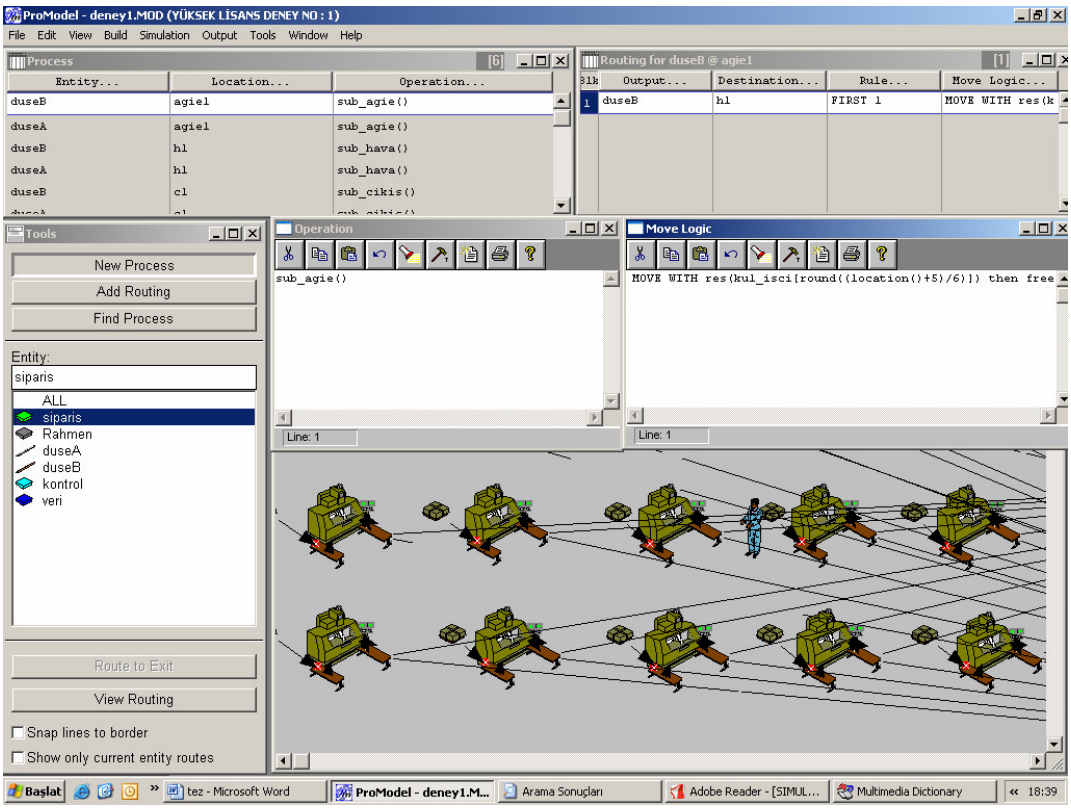
İşçilerin sırasıyla molalara gidilebilmesi için Şekil 2.15'de görüleceği üzere frekanslar sırayla tanımlanmış ve tüm çalışanlar için benzer çay ve yemek molası dağılımı kullanılmıştır.



Şekil 2.15- Çay ve Yemek Molalarının Tanımlanması

***2.2.3.5- Processing (İşlemler)*;** Bu element işlem akışlarını ve nesnelerin yerleşimler arasında hangi akış mantığına göre hareket edeceğini tanımlar. İş yerinde işlem veya servis süresi, kaynak ihtiyaçları, işlem mantığı, girdi/çıktı ilişkileri, hareket ve yönlendirme kuralları ve hareket süresi veya taşıma sırasında kullanılacak kaynak ihtiyaçları bu element kullanılarak ayrıntılı olarak tanımlanabilir.

İşlem süreleri sabit tanımlanabileceği gibi dağılım, fonksiyon, alt prosedürler (subroutines), mantıksal ifadelerle tanımlanabilir. Karmaşık işlemler için ise bu alternatifler karma olarak da kullanılabilir.



Şekil 2.16- İşlemler Elementine Ait Ekran Görüntüsü

İşlemlerin tanımlanmasında "alt prosedür(subroutines)" tekniği sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca:

- Ürün değişikliği
- Üretim izni bekleme
- Çay ve yemek molalarında geçen zaman
- Arızada kalma süreleri

gibi işlemler için istatistiksel dağılım zamanları kullanılırken makine süreç zamanları ve yükleme/boşaltma işlemleri için sabit işlem süreleri kullanılmıştır.

2.2.3.6.- Arrivals (Gelişler) **;** Bu element yardımı ile tanımlı, mantıksal ifadelere bağlı veya değişken olacak şekilde nesnelerin sisteme girişleri tanımlanabilir.

Giriş tanımlama esnasında

i- Nesne adı

ii- Girişin yapılacağı iş yeri

iii- Giriş adedi

iv- İlk giriş zamanı

v- Giriş sayısı

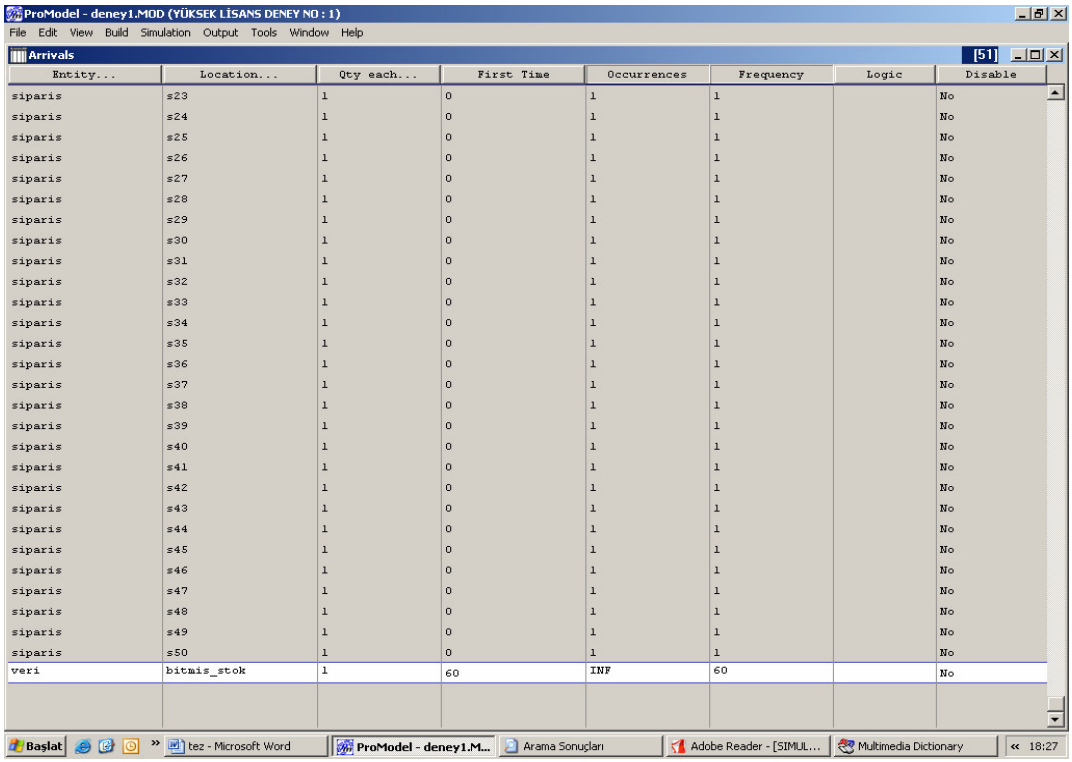
vi- Girişler arası frekans

vii- Giriş mantığı

tanımlanmalıdır.

Şekil 2.17'de belirtildiği üzere sisteme sıfır anında her makine için bir tane sipariş nesnesi gönderilmekte ve bu işlem benzetim boyunca yalnız bir kere yapılmaktadır. Zira her makine ilk siparişlerini ürettikten sonra İşlemler elementinde tanımlanan kural gereği kendi siparişlerini çağırmaktadır.

Yine aynı şekilden veri nesnesinin benzetim boyunca ilk girişi 60. dakika olmak üzere her bir saatte bir sisteme girdiğini tespit edilebilir..



Şekil 2.17- Giriş Elementi Ekran Görüntüsü

Promodel bu tür yeni girişlerin akış esnasında tanımlanması için “Order” komutunu kullanmaktadır. Örnek olarak aşağıda modelde kullanılan sipariş çağırma mantığı verilmiştir.

```
if uretilecek_adet(round((LOCATION()+5)/6))<=0 then
{
ORDER 1 siparis TO LOC(LOCATION()+4)
}
```

Bu mantığa göre :
Eğer sipariş tamamlanmışsa ya da diğer bir deyişle üretilecek adet sıfır ise
1 tane sipariş nesnesi loc(location()+4)’e girişi yapılacaktır.

Loc(location()+4) ‘ün ne anlama geldiğini anlamak için Şekil 2.11 incelenebilir. Location() komutu kullanıldığı işyerinin indisini verir. Sub_agie() isimli alt prosedür sadece DDM makinelerinde kullanılmaktadır.

Buna göre 289 indisli DDM makinesi için bu formül yardımı ile;

(location()+4) = (289+4)=293

Loc() komutu ise verilen indis numarasına ait iş yerinin ismini vermektedir. Bu durumda

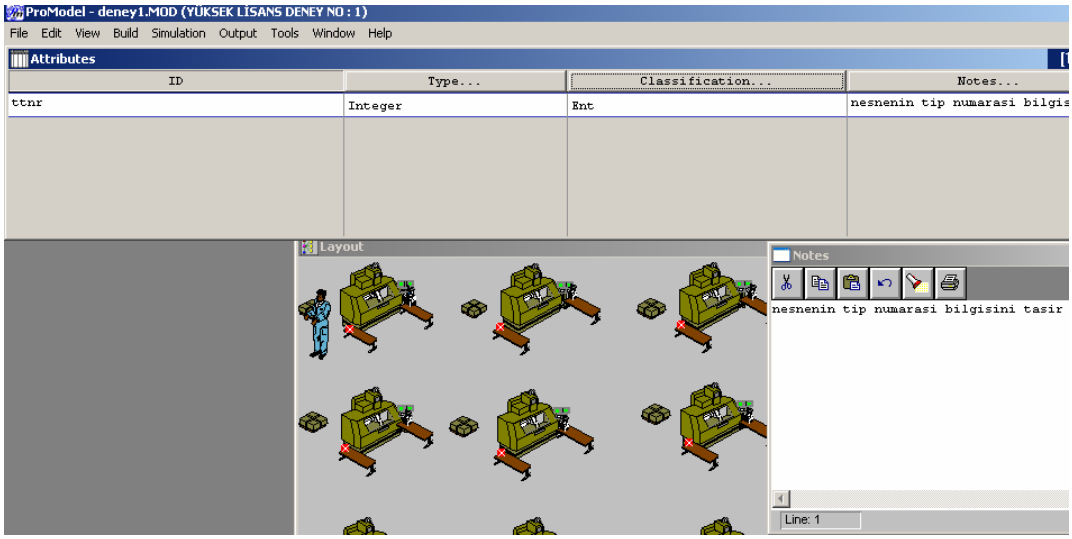
Loc(293) = DDM-49 için “işlenilecek parça stok alanı” olarak tanımlı iş yerinin ismini verecektir.

Sonuç olarak:

```
ORDER 1 siparis TO LOC(LOCATION()+4)
```

Formülü örnekte;
“DDM-49 makinesi için Stok alanı-49 a bir adet sipariş nesnesi girişi yap.” anlamına gelmektedir.

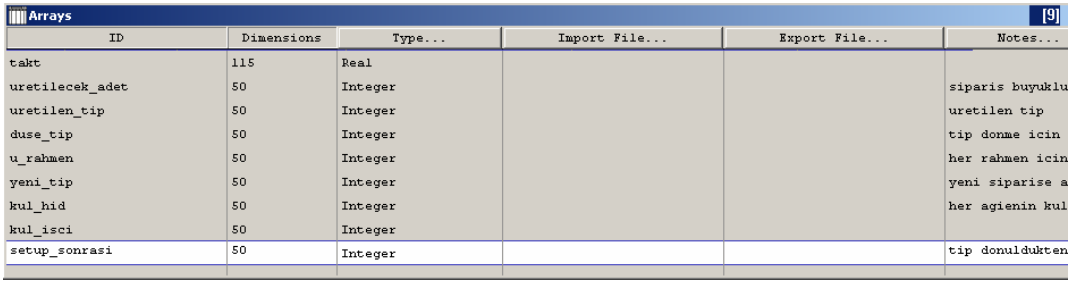
2.2.3.7- Attributes (Öznitelik) **;** Öznitelikler bir değişken gibi nesne veya işyerine ait kendilerine özgü bilgilerin saklandığı bir özelliktir. Öznitelikler tamsayı veya gerçek sayı olabilir. Öznitelikler genelde sipariş numarası, tip numarası, rota numarası gibi bilgilerin saklanmasında oldukça kullanışlıdır. Şekil 2.18'de Öznitelik tanımlama ekranı örnek olarak verilmiştir. Kurulan modelde tip numarası "ttnr" ismi ile tanımlanmış öznitelikte saklanmaktadır.



Şekil 2.18- Öznitelik Tanımlama Ekran Görüntüsü

2.2.3.8- Variables (Değişkenler); Verilerin analizinde ve sonuçların raporlanmasında, işlemlerin tanımında,mantıksal ve matematiksel ifadelerin tanımlanmasında sıklıkla kullanılan değişkenler sadece tam sayı veya gerçek sayı olabilir.

2.2.3.9- Arrays (Diziler); Diziler tamsayı veya gerçek sayı içeren hücrelerden oluşan tek boyutlu veya çok boyutlu hücre yapılarıdır. Kurulan modelde sıklıkla kullanılan ve çalışmanın yapı taşlarından biri olan diziler çok kritik görevleri yerine getirmektedir. Şekil 2.19'de model için tanımlanmış diziler listesi bulunmaktadır.



Şekil 2.19- Dizi Tanımlama Ekran Görüntüsü

Modelde kullanılan dizilerin işlevleri aşağıda kısaca tanımlanmıştır:

Takt(115) : Modelde kullanılan 115 tipe ait makine işlem süresi bilgilerini tutarlar.

Üretilecek_adet(50) : Her makinenin sipariş emrine göre kaç adet üretmesi gerektiği bilgisini tutar. Üretilen her parça ile birlikte bu değer azalır. Sıfır olduğu zaman yeni bir sipariş açılır.

Üretilen_tip(50) : Her makinede o anda üretilen tipin numarası bilgisini tutar. Böylelikle modelin sonraki siparişi aynı tip numarasından açmasını engellemek için kullanılır.

Duse_tip(50) : DuseA veya DuseB nesnelerinden hangisinin kullanıldığı bilgisi saklanır. Bu dizi özellikle ürün değişikliği işlemi esnasında makinenin ürün değişikliğini sağlamak için tanımlanmıştır. Eğer üretilmiş tip DuseA ise üretilecek tip DuseB olacak şekilde ayarlanır.

U_rahmen(50) : Her taşıma kabı için işlenmiş parça sayısını sayar. Taşıma kabında tüm parçalar işlendikten sonra gerekli olan taşıma işlemleri gerçekleştirilirken, belli frekanslarda kontrol yapılmasını sağlamak için de bu dizi değerleri kullanılır.

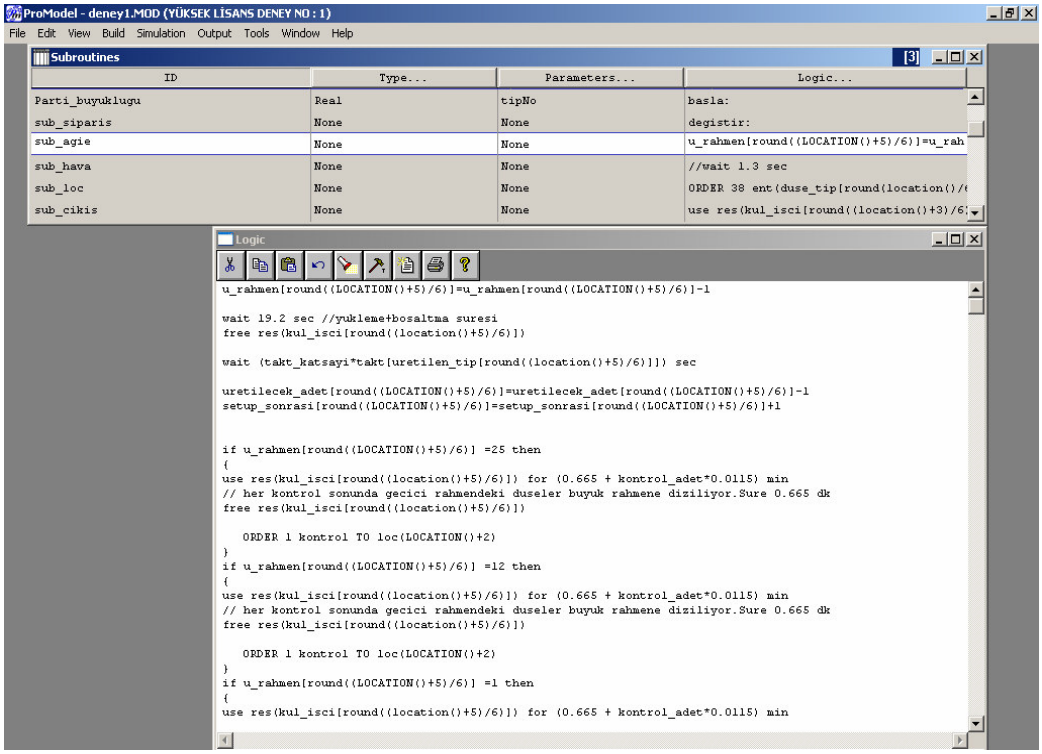
Yeni_tip(50) : Yeni sipariş nesnesi ile belirlenen üretilecek tip numarası değerini saklar. Üretilen_tip dizi değeri ile kıyaslanarak aynı tipten sipariş gelmesi engellenir.

Kul_hid(50) : Her DDM makinesinin kontrolleri için kullandığı ölçü kontrol masasının indisini saklar. Özellikle kontrol işlemleri için kritik bir bilgidir.

Kul isci(50) : Her işçi belli DDM makinelerden sorumludur. Bu ayırımı yapabilmek için oluşturulan bu dizi yardımı ile manüel işlerin sorumlu işçiler tarafından yapılması sağlanır.

Setup sonrasi(50) : Takım değiştirmeleri belli frekanslarda yapıldığı gibi her ürün değişikliği esnasında da yapılmaktadır. Çakışmayı önlemek için bu dizi yardımıyla kontrol yapılır. Eğer ürün değişikliğinden sonra üretilen adet sayısı belirlenen ortalama frekanstan daha küçük ise ürün değişikliği sonrası ilk takım değiştirme işlemi yapılmaz.

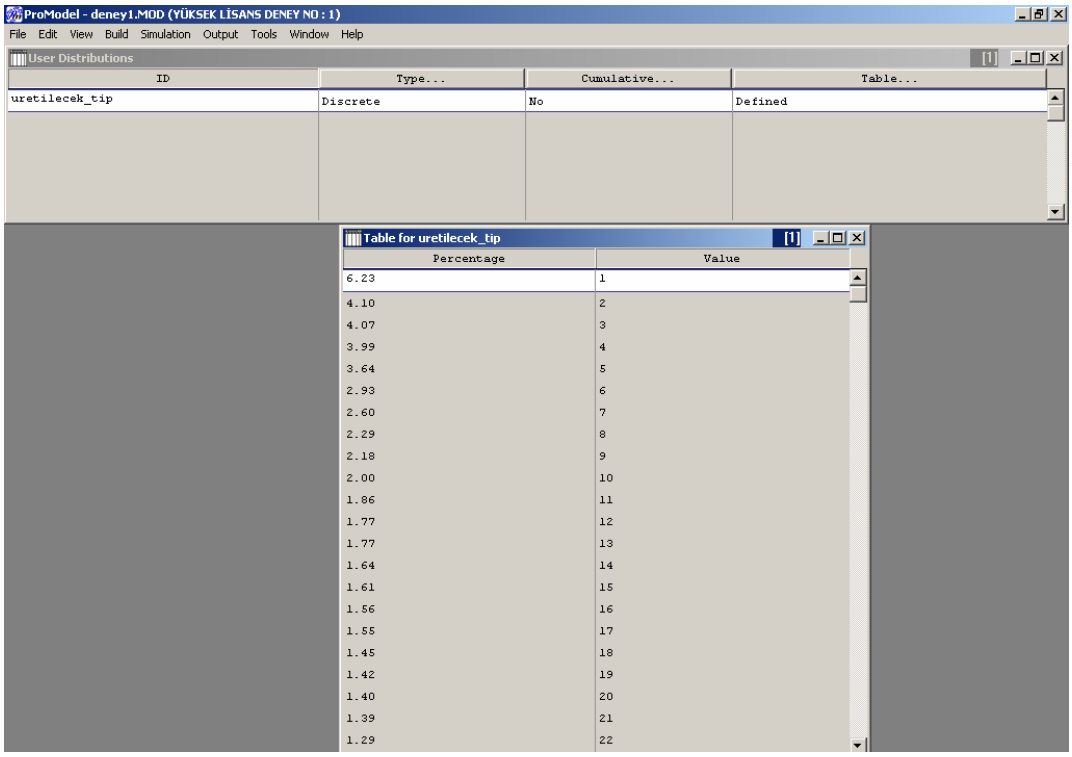
2.2.3.10- Subroutines (Altyordamlar); Altyordamlar kullanıcıya büyük faydalar sağlayan çok güçlü elementlerdir. Bir veya birden fazla komutlardan oluşan bloklardır. Altyordamlarda girdi parametreleri tanımlanabilir; altprogram sonunda istenirse sonuç geriye döndürülerek başka matematiksel formüllerde değişken olarak kullanılabilir. PASCAL dilindeki procedure ve function altyordamlarına benzerdir.



Şekil 2.20- Altyordam Tanımlama Sayfası

Modelin temel taşları olan altyordamlar EK-1' de ayrıntılı olarak verilmiştir.

2.2.3.11- User Distributions (Kullanıcı tanımlı dağılımlar); Kullanıcı model kurma aşamasında iken bazı durumlarda Promodel'de bulunan standart dağılım fonksiyonları dışında kalan dağılımları kullanmak isteyebilir. Bu tür durumlarda kullanıcı bu elementi kullanarak kendi sistemine özgü dağılımları kesikli veya sürekli olasılık dağılımlarını tanımlayabilir.



Şekil 2.21- Kullanıcı Tanımlı Dağılım Sayfası

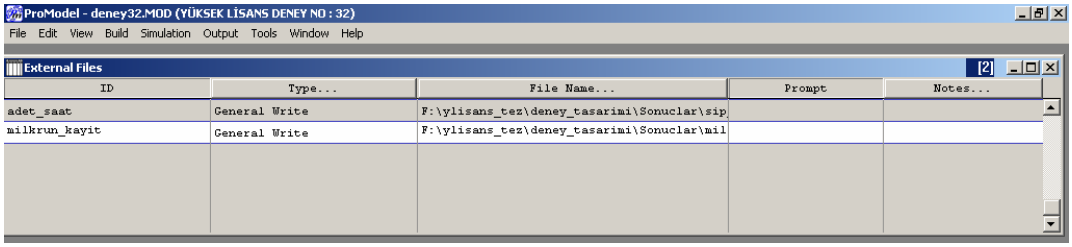
Modelleme aşamasında 115 adet tipin üretilme olasılığı bu element kullanılarak modele dahil edilmiştir. Bkz. Şekil 2.2

2.2.3.12- External Files (Harici dosyalar); Kullanıcı modelin çalışması esnasında bazı bilgileri değerlendirmek amacı ile farklı bir dosyaya kaydedilmesini isteyebilir. Bunun için Harici dosyalar elementi altında dosyanın adresi ve isimi ile birlikte dosyanın tipini tanımlaması yeterlidir.

Dosya tipi:

i. Sadece yazma
ii. Sadece okuma
iii. Nesne-İşyeri dosyası
iv. Gelişler dosyası
v. Vardiya dosyası

birisi seçilebilir. Dosyaya yazı yazma PASCAL dilinde olduğu gibi WRITE,WRITELINE ile yapılmakta; okuma işlemi de aynı şekilde READ komutu ile yapılmaktadır.



Şekil 2.22- Harici Dosya Tanımlama Sayfası

2.2.4- Modeli Çalıştırma

Modelin bilgisayar ortamında inşa edilmesinden sonra bir benzetim çalışmasında istatistiksel olarak küçük bir sapma ile bir tahmin yapabilmesi için aşağıdaki noktaların belirlenmesi gerekir:

i- Isınma periyodu uzunluğu (Warm-up period)
ii- Bağımsız koşum sayısı (Number or replications)
iii- Benzetim koşum uzunluğu (Run length)

Bu noktaların belirlenmesi için kurulan model; çok tekrarlı ve uzun süreli olarak koşulmuştur.

Isınma Periyodu; Benzetim çalışmalarında sonuçların güvenilir olmasını sağlamak için, kontrol parametrelerine ait sapmaların çok yüksek olduğu başlangıç periyodunun istatistiksel analizlere dâhil edilmemelidir.

Benzetim çalışmasından kararlı bir başlangıç durumu geçişe kadar olan bu zaman periyoduna ısınma periyodu denir. İstatistiksel olarak veri toplama bu periyottan sonra başlar.

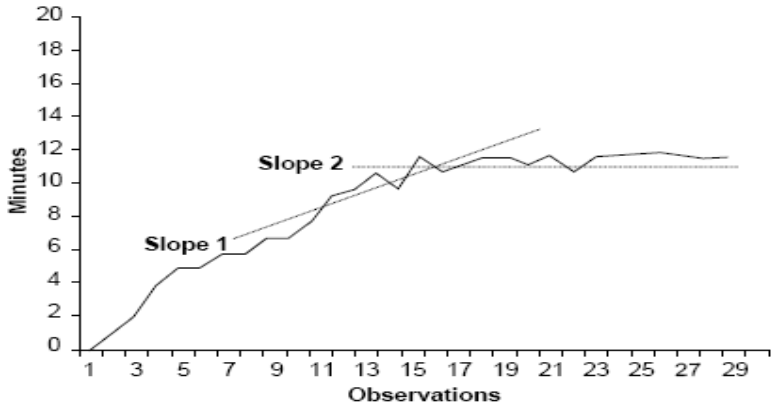
Isınma periyodunun tahmin edilmesinde yaygın olarak 2 yöntem kullanılır.

i- Doğrusal regresyon yöntemi
ii- Grafiksel Welch metodudur.

Doğrusal regresyon yöntemi

Bu yöntemle uygulayıcı "en küçük kareler" yöntemini kullanarak doğru eğiminin sıfıra yaklaştığı başlangıç durumunu tahmin eder.

Zaman verisi grafiği üzerinde belli aralığa sahip verilerden geçen doğrunun eğimi hesaplanır. Doğal olarak ilk aralık için çizilen doğrunun eğimi sıfırdan farklı olacaktır. Bu durum sistemin daha kararlı bir yapıya dönüşmediğini bize göstermektedir. Kullanıcı veri aralığını ilerleterek doğruya ait eğimin sıfıra en yakın olduğu noktayı tahmin etmeye çalışır.



Şekil 2.23- Doğrusal Regresyon Yöntemi
Kaynak : (Chung 2004) Figure:10.9

Grafiksel Welch Metodu

Welch metodunda ısınma periyodunu belirlemek üzere her bir koşumun uzunluğu m olan n adet (n>5) benzetim koşumu yapılır.

Y_{ji} : j. Benzetim koşumunda i. Gözlem değerini gösterir. (j=1,2,..n ; i= 1,2,..m)

Benzetim koşumu sırasında gözlenen veriler kararsız bir yapı gösteriyorsa, hareketli ortalamalar yöntemi ile eğriyi düzgünleştirmek ısınma peryodunun doğru olarak tahmin edilmesini kolaylaştıracaktır. Welch metodunda hareketli ortalama aralığı "w" ile temsil edilir.

Hareketli ortalama aralığının amaca uygun olarak belirlenmesi çok önemlidir. Hareketli ortalama aralığı küçük seçildiği takdirde ısınma periyodunu tahmin etmek zorlaşacak, aralık çok büyük seçildiği zaman da eğri aşırı düzleşeceğinden ısınma periyodu yanlış tahmin edilebilecektir (Law ve Kelton, 2000).

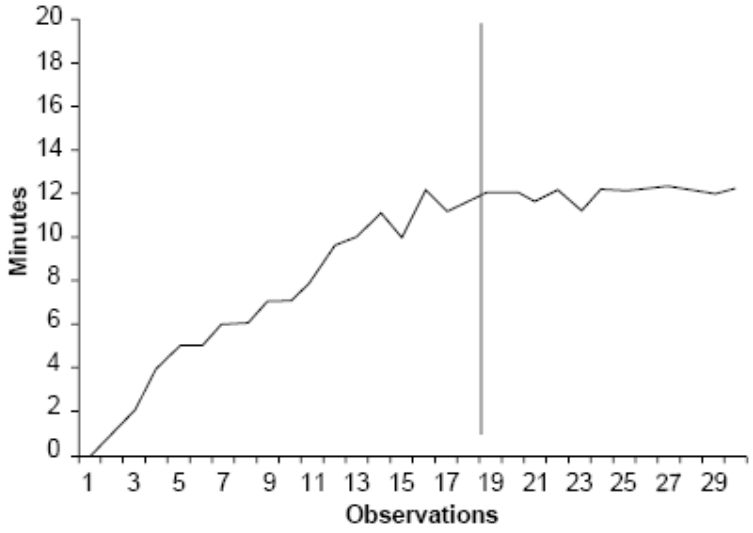
Welch metodu kullanılarak elde edilen sonuç değişkenine ait eğrinin yatay seyir gösterdiği nokta ısınma periyodu olarak tanımlanabilir.

Welch metodunda m periyotlu n benzetim koşumu için i. Periyottaki hareketli ortalama değerini verecek denkleme aşağıdaki gibidir (Law ve Kelton, 2000).

$$\overline{Y}_i(w) = \sum_{s=-w}^{w} \frac{\overline{Y}_{i+s}}{2w+1} \qquad \text{i = w+1,..., m-w ise}$$

Formül 2.1

$$\overline{Y}_i(w) = \sum_{s=-(i-1)}^{i-1} \frac{\overline{Y}_{i+s}}{2i-1} \qquad \text{i= 1, ..., w ise}$$



Şekil 2.24- Welch Yöntemi

Kaynak : (Chung 2004) Figure:10.9

Kullanılacak w değer periyot (m) sayısının yarısından küçük veya en fazla yarısına eşit olmalıdır. Bununla birlikte m değeri yani koşum uzunluğu maliyetler elverdiği ölçüde uzun olmalıdır.

Isınma periyodu için yapılacak analiz farklı w değerleri ile yapılabilir. Oluşturulan grafiklerin hangisinde eğri daha düzgünse, o eğrinin üzerinde düzgünlüğün başladığı nokta ısınma periyodu olarak alınır.

Elde edilen periyodu benzetim çalışmasında daha güvenli bir şekilde kullanabilmek için %20 - %30 güvenlik payı daha eklenir (Promodel 2003).

Bağımsız koşum sayısı; Stokastik benzetim çalışmalarında sistemin davranışını etkileyen parametreler, tesadüfi sayı üreteçleri yardımıyla, olasılık dağılımları tarafından üretilirler. Bu üreteçler; başlangıç değeri 0 ile 1 arasında değişen tesadüfî sayı kümesi üretir. Bu sayı kümesi ve olasılık dağılımları kullanılarak tesadüfî parametre değerleri elde edilir.

Başlangıç değerinin değişmesi benzetim içersinde gerçekleşen olayları etkileyerek gerçekleşme sırasını değiştirilebilir. Bu nedenle sadece tek bir model koşumu ile elde edilecek verilere (çok uzun koşum süresi olmadıkça) göre verilecek kararlar hatalı olabilir.

İstatistiksel açıdan güvenilir sonuçlara varabilmek için koşum sayısının iyi belirlenmesi gerekir.

Örnek ortalaması ile yığın ortalaması arasında belli bir hata payı ile belirli güven düzey oluşturabilmek için gerekli koşum sayısını hesaplama yöntemleri vardır (Chung 2004).

Mutlak Hassasiyet(Hata payı) = $\dfrac{t_{1-\alpha/2,n-1} \times \sigma}{\sqrt{n}}$

$t_{1-\alpha/2,n-1}$: ($1 - \alpha / 2$) güven aralığı ve (n-1) serbestlik derecesinde t değeri.

σ : n koşum sonucunda hesaplanan standart sapma değeri

n : Koşum sayısı

Hata Payı : Kabul edilen sapma miktarı

Hata payı parametre cinsinden bir değer olabildiği gibi ortalama değerin bir oranı olarak da verilebilir.

Hata Payı = $\%d \times \overline{X}_i$

Bu durumda formülümüz

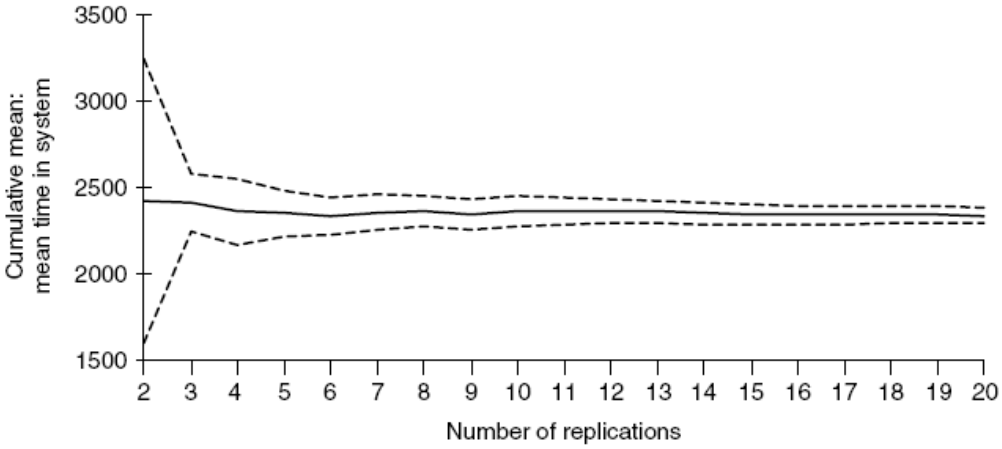
$\%d \times \overline{X}_i$ = $\dfrac{t_{1-\alpha/2,n-1} \times \sigma}{\sqrt{n}}$

Olur.

Bu formülden koşum sayısını sola alırsak

$$n = \left(\frac{t_{1-\alpha/2,n-1} \times \sigma}{\%d \times \overline{X}_i} \right)^2$$ Formül 2.2

Benzetim çalışmalarında genelde %95 güvenirlik üzerinden hesaplamalar yapılır.



Şekil 2.25- Koşum Sayısı Ve Ortalamadan Sapmalar
Kaynak : (Robinson 2004) Figure:9.7

Benzetim Koşum Uzunluğu; Benzetim koşum uzunluğu belirlenirken dikkat edilmesi gereken nokta; koşum uzunluğunu büyük vererek maliyetleri artırmamak veya tam tersi çok düşük vererek sonuçların istatistiksel olarak güvenirliğini düşürmemektir. (Law ve Kelton, 2000) 'ın önerdiğine göre koşum uzunluğu ısınma periyodundan daha uzun olmalıdır aksi halde benzetim sonuçlarında sapmalarla karşılaşılabilir. Koşum uzunluğunun ısınma periyodu uzunluğundan en az 10 kat daha büyük olmasını tavsiye etmiştir (Robinson 2004).

2.2.5- Sonuçların Doğrulanması

Sistem analizi genellikle iki alternatifin veya gerçek sistem-model sistem karşılaştırılmasına yöneliktir. Bu alternatifler farklı tasarım şekilleri veya kaynak seviyeleri olabilir. Amaç hangi alternatifin belirlenen performans kıstaslarına göre daha iyi olduğunu ve bu alternatifin diğerine göre ne kadar iyi olduğunu bulmaktır.

Bu sorulara yanıt verebilmek için hipotez testi kullanılabilir. Hipotez testi, birbirleriyle çelişen iddialardan (hipotez) hangisinin doğru olduğuna karar veren bir yöntemdir. Başlangıçta doğru olduğu kabul edilen H_0 boş hipotezi, H_a

alternatif hipotezine karşı test edilir. Test yöntemiyle, örnek verilerine dayanarak bu iki hipotezden birisi diğerinin adına reddedilir.

Mevcut modelin çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar gerçek sistem verileri ile karşılaştırılarak ortaya çıkan sapmaların belirli bir güven aralığını sağlaması beklenir

Bu amaçla 2005 yılına ait üretim verileri kullanılmıştır. Ancak 2005 yılı içerisinde yeni makine alımları da yapıldığı için ortalama makine üretim adetleri karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma yapılırken resmi tatil ve bayram günlerine denk düşen veriler dikkate alınmamıştır.

Ek-4 ve Ek-5'deki veriler için aşağıdaki istatistiki yöntemler kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır (Chung 2004).

2.2.5.1- F Testi

F testi yardımı ile gerçek sistemin varyansı ile model sonuçlarının varyansları karşılaştırılır.

Bu testde büyük varyansın küçük varyansa oranı kritik F değeri ile karşılaştırılır.

Büyük (veya küçük) varyansın gerçek sisteme veya modele ait olup olmaması önemli değildir.

F testi için kullanılacak formül :

$$F = \frac{S_M^2}{S_m^2} \qquad \text{(Formül 2.3)}$$

S_M^2 : Varyansı büyük olan sisteme ait varyans değeri

S_m^2 : Varyansı küçük olan sisteme ait varyans değeri

F testinin akış adımları aşağıdaki gibidir:

Boş hipotez H_0 : Gerçek sistem ile model sisteme ait varyanslar arasında fark yoktur.

Alternatif hipotez H_a : Gerçek sistem ile model sisteme ait varyanslar arasında fark vardır.

i- Güvenilirlik seviyesi seçilir. (Genelde %95 güvenirlik kullanılır)
ii- Olasılık tablosu yardımı ile F kritik değerinin hesaplanması
iii- Test istatistiğinin hesaplanması
iv- Eğer test sonucu kritik değerden büyük ise boş hipotez reddedilir; alternatif hipotez kabul edilir.

2.2.5.2- Bağımsız t-testi

Bu test, verilerin normal dağılımdan geldiği ve karşılaştırılacak veri kümelerinin varyansları arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı durumlarda uygulanır.

Bu test iki veri kümesi ortalamaları arasında, kabul edilen güvenirlik seviyesinde istatistiksel açıdan bir fark olup olmadığını test etmemizi sağlar.

Bu test sırasında kullanacağımız formül aşağıda verilmiştir.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{(n_1 - 1).s_1^2 + (n_2 - 1).s_2^2}} x \sqrt{\frac{n_1.n_2.(n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad \text{(Formül 2.4)}$$

t : Hesaplanan test değeri
$\bar{x}_1$: İlk alternatifin ortalaması
$\bar{x}_2$: İkinci alternatifin ortalaması
n_1 : İlk alternatife ait veri sayısı
n_2 : İkinci alternatife ait veri sayısı
s_1^2 : İlk alternatifin varyansı
s_2^2 : İkinci alternatifin varyansı

$t_{\alpha/2,(n_1+n_2-2)}$: $\propto$ güvenilirlik seviyesinde ($\propto$ = 0,05) ve serbestlik derecesinde standart t dağılım değeri

Hipotezimiz:

H_o : İki veri kümesi ortalaması arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark yoktur.

H_a : İki veri kümesi ortalaması arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark vardır.

Eğer ;

$$-t_{\alpha/2,(n_1+n_2-2)} \leq t \leq +t_{\alpha/2,(n_1+n_2-2)}$$

ise boş hipotez kabul edilir, alternatif hipotez reddedilir.

2.2.5.3- Smith-Satterthwaite Testi

Sistem ve model verilerinin normal dağılımdan geldiği ama varyanslarının farklı olduğu durumlarda Smith-Satterthwaite yöntemi benzetim modelinin uygunluğunu test etmek için kullanılır.

Bu yöntem, düzeltilmiş serbestlik derecesi yardımıyla hesaplanan t standart dağılım değerini kullanır.

Düzeltilmiş serbestlik derecesi(dsd), Formül 2.5'de verilen formül yardımı ile hesaplanır.

$$\frac{[s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2]^2}{[s_1^2/n_1]^2/(n_1-1) + [s_2^2/n_2]^2/(n_2-1)}$$

Formül 2.5

n_1 : İlk alternatife ait veri sayısı

n_2 : İkinci alternatife ait veri sayısı

s_1^2 : İlk alternatifin varyansı

s_2^2 : İkinci alternatifin varyansı

Dsd hesaplaması sonucu büyük ihtimalle tam sayı çıkmaz. Doğal olarak sorulan soru ise bu değerin yukarıya doğru mu, yoksa aşağıya doğru mu yuvarlanacağıdır. Serbestlik derecesi arttıkça standart dağılımdan alınacak kritik t değeri de artar. Bu nedenle karşılaştırmamızın daha güvenilir olması için daha düşük t değerinin kullanılması gerekir.

Dsd değeri hesaplandıktan sonra aşağıda verilen Formül 2.6 ile t-test değeri hesaplanır.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Formül 2.6

t	:	Smith-Satterthwaite test değeri
$\bar{x}_1$	:	İlk alternatifin ortalaması
$\bar{x}_2$	:	İkinci alternatifin ortalaması
n_1	:	İlk alternatife ait veri sayısı
n_2	:	İkinci alternatife ait veri sayısı
s_1^2	:	İlk alternatifin varyansı
s_2^2	:	İkinci alternatifin varyansı

Hipotezimiz:

H_o : İki veri kümesi ortalaması arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark yoktur.

H_a : İki veri kümesi ortalaması arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark vardır.

Eğer ;

$$-t_{\alpha/2,(n_1+n_2-2)} \leq t \leq +t_{\alpha/2,(n_1+n_2-2)}$$

ise boş hipotez kabul edilir, alternatif hipotez reddedilir.

2.2.6 Deney Tasarımı

Benzetim çalışması boyunca yapılan çalıştaylar ve beyin fırtınası çalışmaları sonucunda aşağıdaki önerilerin benzetim ortamında modellenerek sistem üzerine etkilerinin araştırılmasına karar verilmiştir.

i-İşlem süresinde iyileştirme yapılması :

Makine parametreleri üzerinde çalışılarak çevrim zamanının düşürülmesi ile üretim adedinin artırılması amaçlanmıştır.

Bu önerinin sistem üzerindeki etkisini ölçebilmek için tüm tiplerin işlem süreleri %30 düşürülerek denenmiştir.

ii-Çay molalarının yeniden düzenlenmesi:

Çalışma yerinde işçiler için resmi olarak, her bir mola 7 dakika olmak üzere vardiyada 3 çay molası öngörülmüştür.

Veri toplama aşamasında yapılan gözlemlerde ise çeşitli nedenlerden dolayı bu kurala uyamadığı, çay molalarında çok daha fazla süre harcadıkları belirlenmiştir.

Yapılan iyileştirme önerisi ile 3 x 7 dakika olan çay molası uygulamasını, 2 x 11 dakika olarak değiştirilmesini öngörmektedir.

iii-Hidrolik kontrol frekansının düzenlenmesi:

Mevcut sistemde her 52 adet yarı mamul işlendikten sonra 12 adet yarı mamul ölçü ve göz kontrolüne tabi tutulmaktadır. Bu süre zarfında işçinin sorumlu olduğu DDM makineleri yükleme/boşaltma manüel olduğu için işçiye beklemektedir.

Bekleme süresini azaltmak için kontrol için belirlenen "52 parçada bir 12 adet parça ölçme" çalışma sistematiğini geliştirmek için "52 parçada bir 4 adet parça ölçme" çalışma sistematiği önerilmiştir.

iv-Hidrolik kontrol ve göz kontrollerine milkrun uygulaması:

DDM makinelerinde çalışan işçilerin sadece yükleme/boşaltma, ürün değişikliği, takım değiştirme, yarı mamul götürme/getirme işlerinden sorumlu olmasının öngörüldüğü bu öneride:

İşçilerin görev tanımı:

- İşçiler 4 DDM makinesinden sorumlu olacaktır.
- Yükleme/Boşaltma
- Ürün değişikliği
- Takım değiştirme
- Taşıma kaplarını taşıma

ile sınırlandırılmıştır.

Mevcut durumda 3 makine–1 işçi çalışma düzeninin 4 makine–1 işçi ile değiştirilmesi ile tasarruf edilecek işçiler, ölçü ve göz kontrolü için kurulacak milk-run çalışma düzeninde kullanılacaktır.

Kontrolden sorumlu işçiler 12 DDM makinesinden (son üretim hattı hariç. Bu hatta 14 makine vardır) sorumludur.

Kontrol işçileri önceden belirlenmiş tur zamanlarına bağlı kalarak tura çıkarlar. 12 makineden aldıkları dörder adet memeyi kontrol istasyonunda ölçüp, göz kontrolünü de yaparlar. Bir sonraki turda bu memeler makinelere geri iade edilir.

Kontrol istasyonunda çalışan işçilerin sürekli olarak istasyonda bulunması gerekmektedir. Bu nedenle her vardiyada bir yedek kontrol işçisinin çay ve yemek molalarında çalıştırılacak şekilde bulundurulması gerekmektedir.

Bir işçinin 8 saatlik vardiya süresince

21 dakika çay molası (3 x 7 dakika)
30 dakika yemek molası

Olmak üzere toplamda 51 dakikalık molası vardır.
Yedek işçi ve 4 tane kontrol işçinin bir vardiyada:

Vardiya saati 480 dakika olduğuna göre yedek işçinin teorik verimliliği:

$$\frac{(1+4)\times(3\times 7+30)}{480}=\%53$$

Olarak hesaplanır. Ancak yapılan gözlemlerde gerçekleşen çay molasının ortalama 15 dakika olduğunu göz önünde bulundurursak yedek işçinin teorik verimliliği:

$$\frac{(1+4)\times(3\times 15+30)}{480}=\%78$$

olarak hesaplanır.

v-Ürün değişikliği süresinde iyileştirme yapılması:

Üretim adetlerinde artırım sağlayabilmek için getirilen bir diğer öneride ürün değişikliği süresinin kısaltılması ile ilgilidir. Firma genelinde ürün değişikliği sürelerini düşürmek için çeşitli projeler uygulanmaktadır. Bu tür projelerde hedef ürün değişikliği süresini ilk etapta %50 düşürmektir. Bu tür bir iyileştirmenin sisteme etkisini gözlemlemek için deney tasarımına dahil edilmiştir.

Ürün değişikliği işleminde iyileştirme sadece fiziki hazırlık işlemini kapsamakta olup, üretim izni için beklenen hassas ölçüm kontrolü sürecini *kapsamamaktadır.*

İyileştirme önerileri (Çizelge 2.6) dikkate alınarak hazırlanan 2^5 Deney tasarımı matrisi Çizelge 2.7 'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.7- İyileştirme Önerileri

Öneri No	Öneriler	Seviye-1	Seviye-2
		-	+
1	Proses süresinde iyileştirme	0%	30%
2	Çay molalarının yeniden düzenlenmesi	3 mola	2 mola
3	Hidrolik kontrol frekansının düzenlenmesi	12 / 52	4 / 52
4	Hidrolik kontrol ve göz kontrolunde milkrun uygulaması	Yok	Var
5	Tip dönme süresinde iyileştirme yapılması	0%	50%

Çizelge 2.8- 2^5 Deney Tasarımı Matrisi

Deney No	ÖNERİ NO				
	1	2	3	4	5
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	+
3	-	-	-	+	-
4	-	-	-	+	+
5	-	-	+	-	-
6	-	-	+	-	+
7	-	-	+	+	-
8	-	-	+	+	+
9	-	+	-	-	-
10	-	+	-	-	+
11	-	+	-	+	-
12	-	+	-	+	+
13	-	+	+	-	-
14	-	+	+	-	+
15	-	+	+	+	-
16	-	+	+	+	+
17	+	-	-	-	-
18	+	-	-	-	+
19	+	-	-	+	-
20	+	-	-	+	+
21	+	-	+	-	-
22	+	-	+	-	+
23	+	-	+	+	-
24	+	-	+	+	+
25	+	+	-	-	-
26	+	+	-	-	+
27	+	+	-	+	-
28	+	+	-	+	+
29	+	+	+	-	-
30	+	+	+	-	+
31	+	+	+	+	-
32	+	+	+	+	+

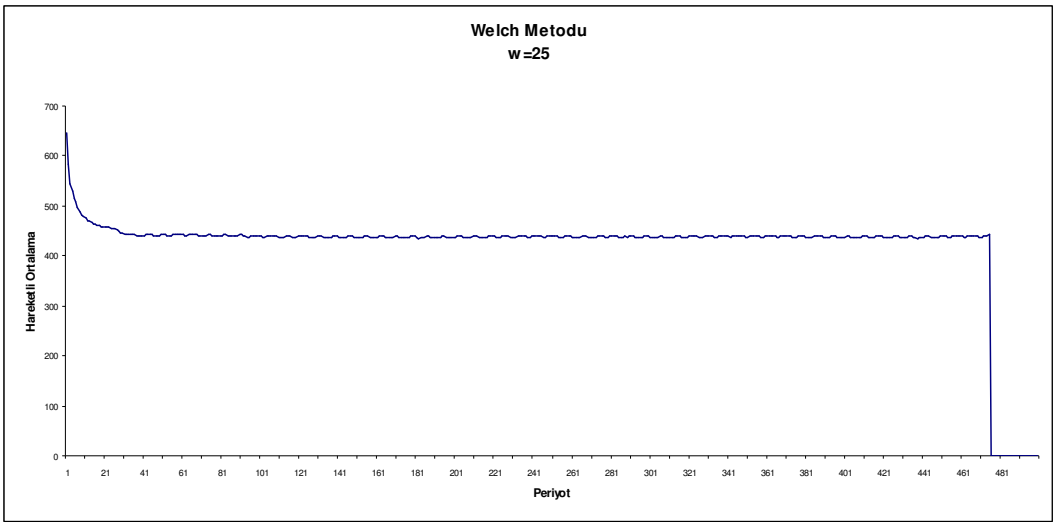
3- SONUÇLAR

3.1- Isınma Periyodunun Belirlenmesi

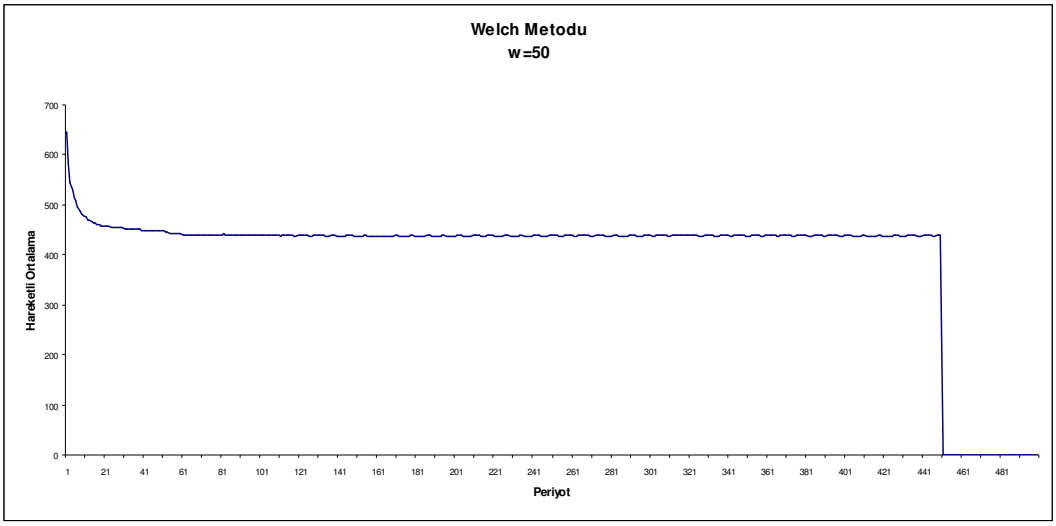
Başlangıç anlarındaki değişkenliği eleyebilmek için Welch metodu kullanılarak 50 DDM makinesindeki saatlik üretimler dikkate alınarak ısınma periyodu belirlenmiştir.

Bu amaçla her bir koşum uzunluğu 500 saat olmak üzere 18 koşum benzetim modeli çalıştırılmış ve saatlik toplam adetler için EK2.1'deki sonuçlar elde edilmiştir.

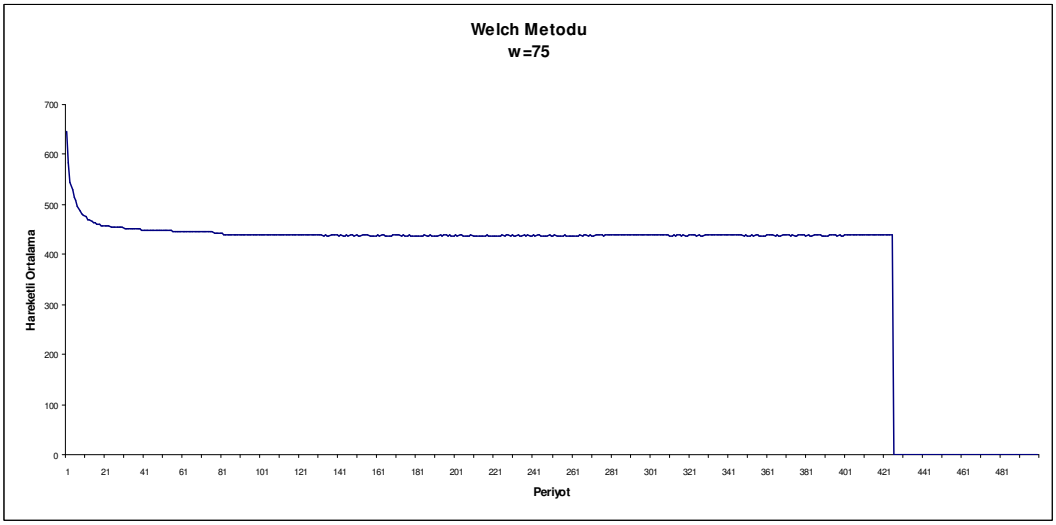
Welch metodunda w hareketli ortalama aralığı olarak 25,50,75 ve 100 için Formül 2.1 kullanılarak Ek-2.2' deki hareketli ortalamalar hesaplanmıştır.



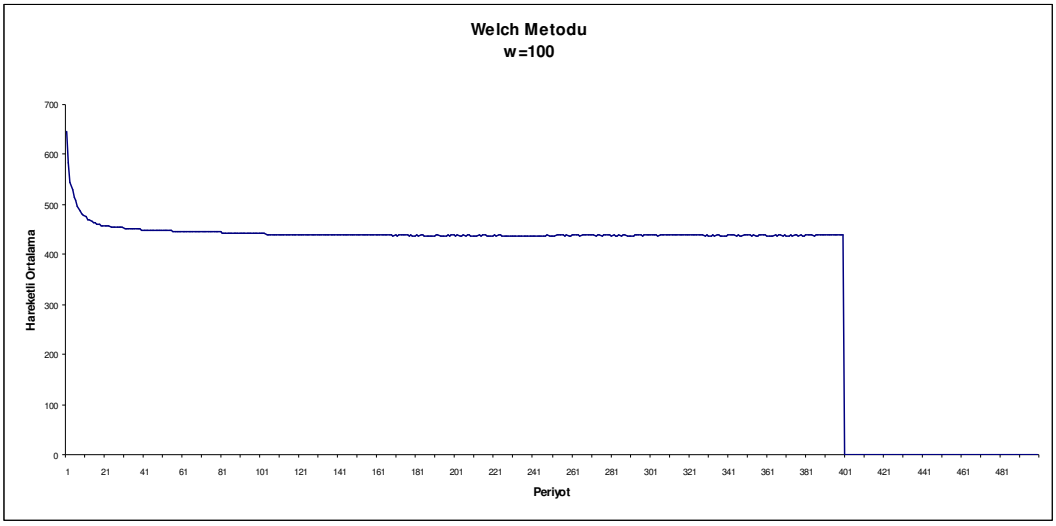
Şekil 3.1- Welch Metodu w=25



Şekil 3.2- Welch Metodu w=50



Şekil 3.3- Welch Metodu w=75



Şekil 3.4- Welch Metodu w=100

Şekil 3.1 – Şekil 3.4'e bakıldığında grafiğin düzleştiği 120–130 saatleri ısınma periyodu olarak seçilebilir. Bu süreye %20-%30 güvenlik payı (Promodel 2003) eklendiğinde ısınma periyodu, bu model için 7 günlük üretim zamanı olan 168 saat olarak alınması uygun görülmüştür.

3.2- Benzetim Koşum Uzunluğunun Belirlenmesi

Benzetim koşum uzunluğu, ısınma periyodunun 10 katı olacak şekilde 1.680 saat olarak belirlenmiştir.

3.3- Bağımsız Koşum Sayısının Belirlenmesi

Belirlenen ısınma periyodu ve benzetim koşum uzunluğu altında model 15 koşum çalıştırılmıştır.

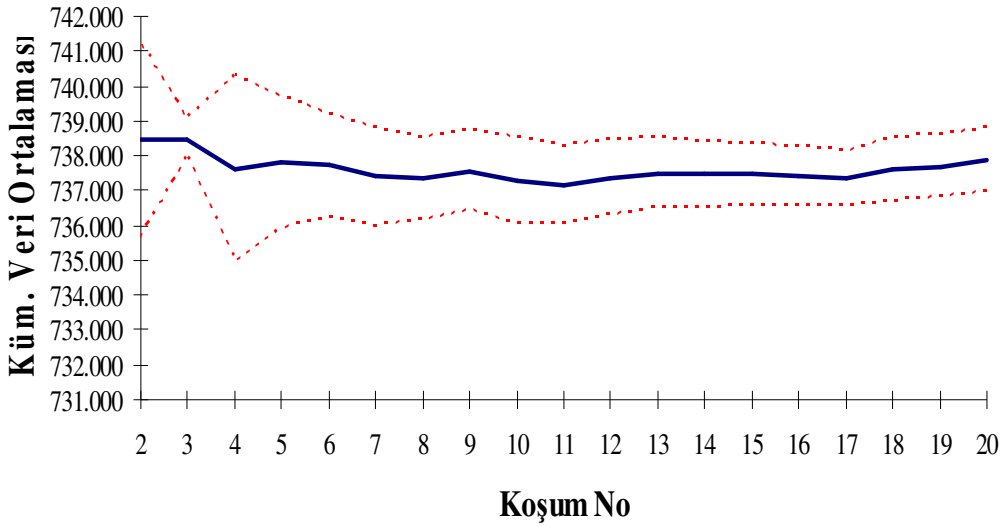
Kurulan modelde %2'lik fark çok önemli olduğu için en az onda bir daha hassasiyette sonuçlar elde edilmesi gerekmektedir.

Bu nedenle sonuçlarda hata payı % 0.2 olarak belirlenmiştir. 20 koşum sonucunda elde edilen değerler ile hata payı % 0.2 ve %95 güven aralığında Formül 2.2 kullanılarak gerekli koşum sayısı Tablo 3.2 de belirtildiği gibi n=6 olarak hesaplanmıştır. Ancak yapılan kaynak araştırmalarında da belirtildiği üzere en az 10 koşumun daha sağlıklı sonuç vereceği göz önüne alınarak

koşum sayısı 10 olarak düzeltilmiştir. Tablo 3.2 ye göre hassasiyetimiz % 0.17 olmuştur.

				Güvenirlik Seviyesi	5,0%	
				Güven Aralığı		
Koşum No	Sonuç	Küm. Veri Ortalaması	Standart Sapma	Alt Sınır	Üst Sınır	% Sapma
1	738.671	738671,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	738.232	738451,50	310,420	735662,49	741240,51	0,38%
3	738.544	738482,33	225,903	737921,16	739043,51	0,08%
4	735.129	737644,00	1686,782	734959,95	740328,05	0,36%
5	738.554	737826,00	1516,425	735943,11	739708,89	0,26%
6	737.178	737718,00	1381,890	736267,80	739168,20	0,20%
7	735.401	737387,00	1535,668	735966,74	738807,26	0,19%
8	736.976	737335,63	1429,159	736140,82	738530,43	0,16%
9	739.503	737576,44	1519,582	736408,39	738744,50	0,16%
10	734.533	737272,10	1725,924	736037,45	738506,75	0,17%
11	736.282	737182,09	1664,347	736063,97	738300,21	0,15%
12	739.604	737383,92	1734,080	736282,14	738485,70	0,15%
13	739.037	737511,08	1722,397	736470,24	738551,91	0,14%
14	736.829	737462,36	1664,836	736501,11	738423,60	0,13%
15	737.286	737450,60	1604,922	736561,82	738339,38	0,12%
16	736.868	737414,19	1557,328	736584,35	738244,03	0,11%
17	736.112	737337,59	1540,597	736545,49	738129,69	0,11%
18	742.003	737596,78	1855,546	736674,04	738519,52	0,13%
19	739.303	737686,58	1845,262	736797,19	738575,97	0,12%
20	741.237	737864,10	1963,684	736945,07	738783,13	0,12%

Çizelge 3.1- Koşum Sayısının Belirlenmesi



Şekil 3.5- Koşum Sayısının Belirlenmesi

3.4- Kurulan Modelin Doğrulanması

Kurulan modele ait benzetim sonuçları ile gerçek sistem sonuçlarını karşılaştırabilmek için üretim bölümünde tutulan üretim raporlarından faydalanılmıştır.

Model doğrulaması

- Makine başına ortalama üretim adedi
- Makine başına ortalama verimlilik

Parametreleri dikkate alınarak yapılmıştır.

3.4.1- Makine başına ortalama üretim adedine göre

Ek 4.1 ve Ek3.1'deki veriler kullanılarak aşağıdaki temel değişkenler elde edilmiştir.

X_{gercek}	:	847,2	X_{model}	:	842,6
n_{gercek}	:	306	n_{model}	:	500
S_{gercek}	:	136,9	S_{model}	:	63,93

3.4.1.1- F Testi

Hipotezimiz:

H_o : İki veri kümesi varyansı arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark yoktur.

H_a : İki veri kümesi varyansı arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark vardır.

Formül 3.1 kullanılarak;

$$F_{test} = \frac{S^2_{gercek}}{S^2_{model}} = 4{,}58 \text{ hesaplanır;}$$

Excel kullanılarak yapılan F testi sonucu Şekil 3.6' de verilmiştir.

F-Test Two-Sample for Variances

	gercek	*model*
Mean	847,1569	842,596
Variance	18732,21	4087,199
Observations	306	500
df	305	499
F	4,583141	
P(F<=f) one-tail	2,51E-51	
F Critical one-tail	1,182097	

Şekil 3.6- Gerçek Sistem İle Modelin Varyanslarının Karşılaştırılması

Test değeri kritik değerden büyük olduğu için alternatif hipotez kabul edilir.

3.4.1.2- Bağımsız t testi

Hipotezimiz:

H_o : İki veri kümesi ortalaması arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark yoktur.

H_a : İki veri kümesi ortalaması arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark vardır.

Formül 3.2 kullanılarak

$$\text{T_test}= \frac{(847{,}2-842{,}6)}{\sqrt{(306-1).136{,}9^2+(500-1).63{,}93^2}}\, x\sqrt{\frac{306.500.(306+500-2)}{306+500}} = 0{,}64529$$

$t_{\alpha/2,(306+500-2)}$ =1,9629

-1,9629 ≤ 0,64529 ≤ +1,9629 olduğu için **boş hipotez kabul edilir**. Gerçek sistem ile model arasında ortalamalar açısından anlamlı bir fark yoktur.

Aynı şekilde Excel kullanılarak yapılan t testi Şekil 3.7'de verilmiştir.

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	gercek	*model*
Mean	847,1569	842,596
Variance	18732,21	4087,199
Observations	306	500
Hypothesized Mean Difference	0	
df	388	
t Stat	0,547515	
P(T<=t) one-tail	0,29217	
t Critical one-tail	1,64879	
P(T<=t) two-tail	0,58434	
t Critical two-tail	1,966097	

Şekil 3.7- Gerçek Sistem İle Modelin Ortalamalarının Karşılaştırılması

3.4.1.3- Smith-Satterthwaite Testi

Tez çalışmasında ortalamalar aynı, varyanslar farklı çıktığı için sonuçları Smith-Satterthwaite testi ile kontrol edilmesi gerekir. (Chung 2004)

Hipotezler:

H_o : İki veri kümesi ortalaması arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark yoktur. (Ya da model geçerlidir.)

H_a : İki veri kümesi ortalaması arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark vardır. (ya da model geçerli değildir.)

Formül 3.3 kullanılarak önce dsd(düzgünleştirilmiş serbestlik derecesi) hesaplanır.

$$\text{dsd}= \frac{\left[136{,}9^2/306+63{,}93^2/500\right]^2}{\left[136{,}9^2/306\right]^2/(306-1)+\left[63{,}93^2/500\right]^2/(500-1)} = 387{,}62 \sim 388$$

Formül 3.4 kullanılarak gerçek sistem ile model karşılaştırılır.

$$t = \frac{(847{,}2-842{,}6)}{\sqrt{\frac{136{,}9^2}{306}+\frac{63{,}93^2}{500}}} = 0{,}552$$

hesaplanır.

$t_{0,05/2;388}$ = 1,966

Hesapladığımız t değeri
-1,966 ≤ 0,552 ≤ +1,966 arasında olduğu için boş hipotez kabul edilir.

Sonuçta kurulan model sonuçları gerçek sistemi temsil etmektedir.

3.4.2- Makine başına ortalama verimliliğe göre

Ek 4.2 ve Ek3.2'deki veriler kullanılarak aşağıdaki temel değişkenler elde edilmiştir.

X_{gercek}	:	66,8	X_{model}	:	67,7
n_{gercek}	:	30	n_{model}	:	50
S_{gercek}	:	4,1	S_{model}	:	4,29

3.4.2.1- F Testi

Hipotezimiz:

H_o : İki veri kümesi varyansı arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark yoktur.

H_a : İki veri kümesi varyansı arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark vardır.

Formül 3.1 kullanılarak;

$$F_{test} = \frac{S^2_{gercek}}{S^2_{model}} = 0,913$$ hesaplanır;

Excel kullanılarak yapılan F testi sonucu Şekil 3.8' de verilmiştir.

F-Test Two-Sample for Variances

	model	*gerçek*
Mean	67,7324	66,84638889
Variance	18,43089616	16,81086534
Observations	50	30
df	49	29
F	1,09636808	
P(F<=f) one-tail	0,402726673	
F Critical one-tail	1,777387215	

Şekil 3.8- Gerçek Sistem İle Modelin Varyanslarının Karşılaştırılması

Test değeri kritik değerden küçük olduğu için boş hipotez kabul edilir.

3.4.2.2- Bağımsız t testi

Hipotezimiz:

H_o : İki veri kümesi ortalaması arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark yoktur.

H_a : İki veri kümesi ortalaması arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark vardır.

Formül 3.2 kullanılarak

$$t_test = \frac{(66,8 - 67,7)}{\sqrt{(30-1).66,8^2 + (50-1).67,7^2}} x \sqrt{\frac{30.50.(30+50-2)}{30+50}} = -0,0578$$

$t_{\alpha/2,(30+50-2)} = 1,992$

-1,992 ≤ -0,0578 ≤ +1,992 olduğu için boş hipotez kabul edilir. Gerçek sistem ile model arasında ortalamalar açısından anlamlı bir fark yoktur.

Aynı şekilde Excel kullanılarak yapılan t testi Şekil 3.9'de verilmiştir.

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	model	*gerçek*
Mean	67,7324	66,84639
Variance	18,4309	16,81087
Observations	50	30
Pooled Variance	17,82858	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	78	
t Stat	0,908618	
P(T<=t) one-tail	0,183175	
t Critical one-tail	1,664625	
P(T<=t) two-tail	0,366351	
t Critical two-tail	1,990847	

Şekil 3.9- Gerçek Sistem İle Modelin Ortalamalarının Karşılaştırılması

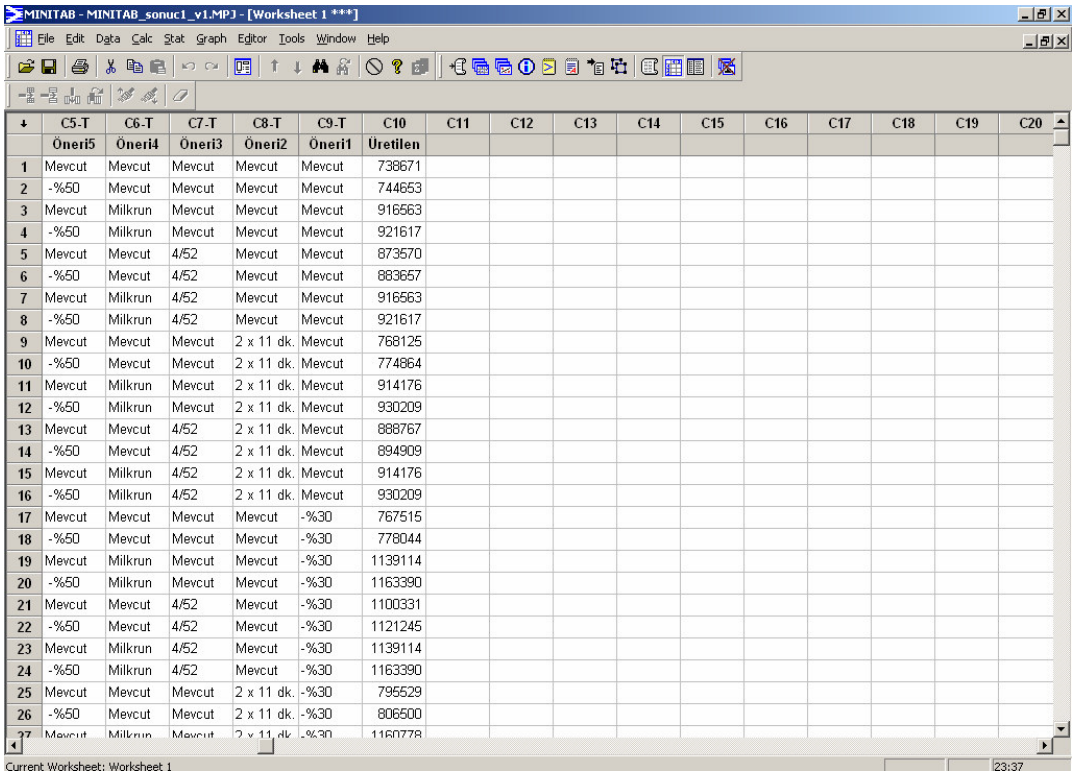
3.4.2.3- Smith-Satterthwaite Testi

Ortalama makine verimliliklerine göre yapılan istatistiksel karşılaştırmada, ortalamalar ve varyanslar aynı olduğu için bu testi kullanmamıza gerek kalmamıştır.

3.5- Deney Sonuçları

Deney tasarımına göre planlanan deneyler belirlenen ısınma periyodu, koşum uzunluğu ve koşum sayısı dikkate alınarak Promodel'de çalıştırılmış ve elde edilen veriler Ek-5'de gösterilmiştir.

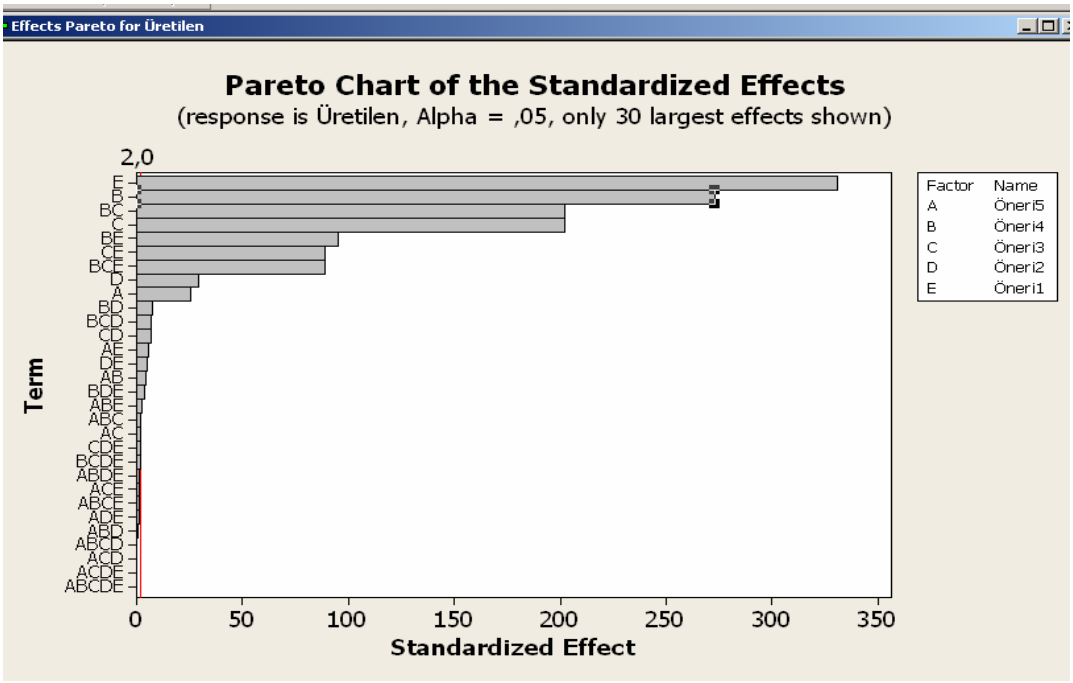
Bu değerler Şekil 3.9' da görüldüğü üzere istatistiksel analiz programı olan Minitab'a girilmiştir.



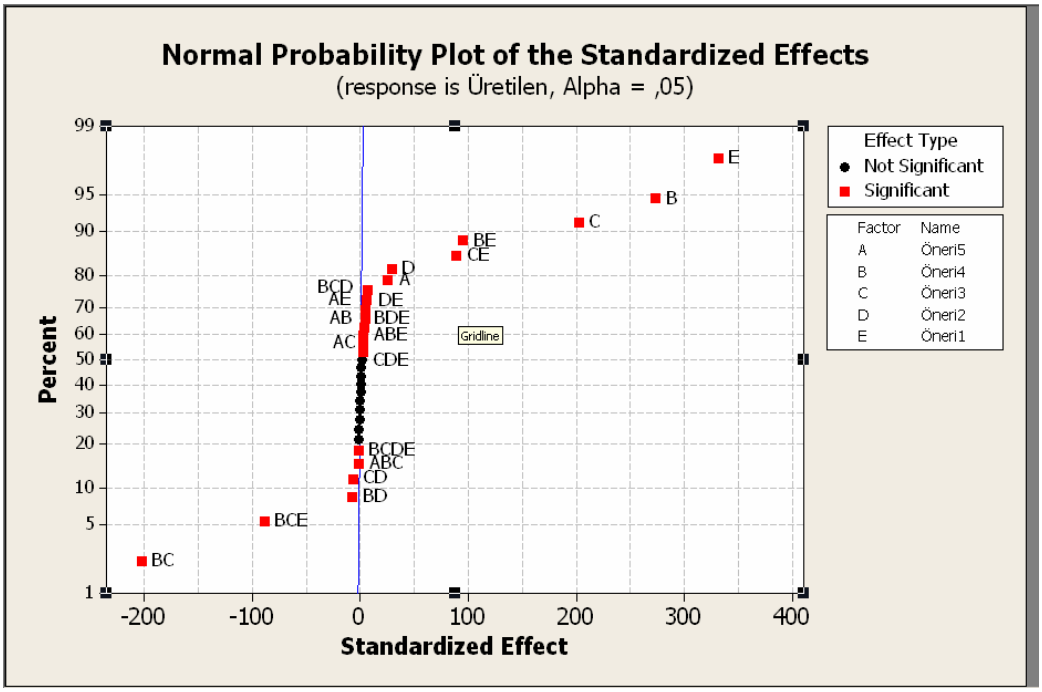
	C5-T	C6-T	C7-T	C8-T	C9-T	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	Öneri5	Öneri4	Öneri3	Öneri2	Öneri1	Üretilen										
1	Mevcut	Mevcut	Mevcut	Mevcut	Mevcut	738671										
2	-%50	Mevcut	Mevcut	Mevcut	Mevcut	744653										
3	Mevcut	Milkrun	Mevcut	Mevcut	Mevcut	916563										
4	-%50	Milkrun	Mevcut	Mevcut	Mevcut	921617										
5	Mevcut	Mevcut	4/52	Mevcut	Mevcut	873570										
6	-%50	Mevcut	4/52	Mevcut	Mevcut	883657										
7	Mevcut	Milkrun	4/52	Mevcut	Mevcut	916563										
8	-%50	Milkrun	4/52	Mevcut	Mevcut	921617										
9	Mevcut	Mevcut	Mevcut	2 x 11 dk.	Mevcut	768125										
10	-%50	Mevcut	Mevcut	2 x 11 dk.	Mevcut	774864										
11	Mevcut	Milkrun	Mevcut	2 x 11 dk.	Mevcut	914176										
12	-%50	Milkrun	Mevcut	2 x 11 dk.	Mevcut	930209										
13	Mevcut	Mevcut	4/52	2 x 11 dk.	Mevcut	888767										
14	-%50	Mevcut	4/52	2 x 11 dk.	Mevcut	894909										
15	Mevcut	Milkrun	4/52	2 x 11 dk.	Mevcut	914176										
16	-%50	Milkrun	4/52	2 x 11 dk.	Mevcut	930209										
17	Mevcut	Mevcut	Mevcut	Mevcut	-%30	767515										
18	-%50	Mevcut	Mevcut	Mevcut	-%30	778044										
19	Mevcut	Milkrun	Mevcut	Mevcut	-%30	1139114										
20	-%50	Milkrun	Mevcut	Mevcut	-%30	1163390										
21	Mevcut	Mevcut	4/52	Mevcut	-%30	1100331										
22	-%50	Mevcut	4/52	Mevcut	-%30	1121245										
23	Mevcut	Milkrun	4/52	Mevcut	-%30	1139114										
24	-%50	Milkrun	4/52	Mevcut	-%30	1163390										
25	Mevcut	Mevcut	Mevcut	2 x 11 dk.	-%30	795529										
26	-%50	Mevcut	Mevcut	2 x 11 dk.	-%30	806500										
27	Mevcut	Milkrun	Mevcut	2 x 11 dk.	-%30	1160778										

Şekil 3.10- Deney Sonuçlarının Minitab'a Girilmesi

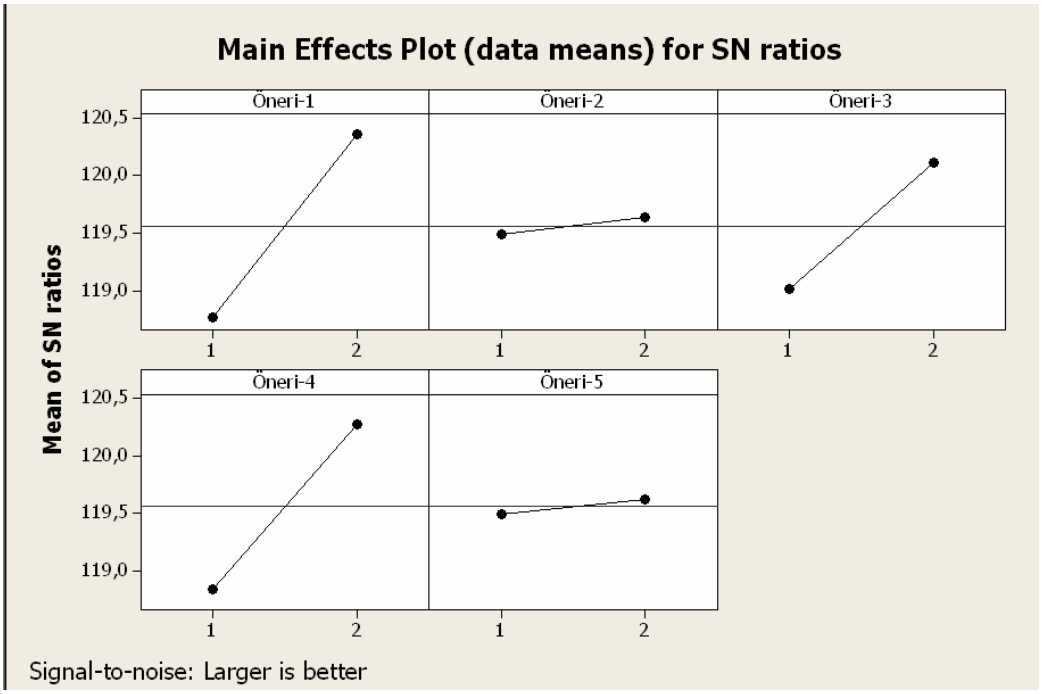
Analizin çalıştırılmasından sonra Şekil 3.10'daki faktörlerin ve faktör etkileşimlerinin sisteme etkisini gösteren normal olasılık dağılım grafiği Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13' dedir.



Şekil 3.11- Önerilerin Sisteme Etkisine Ait Pareto Analizi



Şekil 3.12- Önerilerin Sisteme Etkisine Ait Normal Olasılık Diyagramı



Şekil 3.13- Önerilere Ait Etki Diyagramı

Deney tasarımı sonucu incelendiğinde;

1. Tüm öneriler sisteme üretimi artırıcı yönde etki yapmıştır.
2. Özellikle Öneri–1; Öner-3 ve Öneri-4'ün getirdiği üretim artışı çok yüksektir.
3. Öneri-2 ve Öneri-5 sisteme pozitif katkı yapıyor olmakla birlikte etkisi diğer önerilere göre çok düşüktür.

Sadece ana etkilerin sistemdeki getirileri EK-6'da verilmiştir. Karşılaştırma sonucu Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2- Önerilerin Karşılaştırılması

	Mevcut	Öneri-1	Öneri-2	Öneri-3	Öneri-4	Öneri-5
Mevcut		1	2	3	4	5
Öneri-1			1	3	4	1
Öneri-2				3	4	2
Öneri-3					4	3
Öneri-4						4
Öneri-5						

Öneri No		Üstünlük
4	.....	5
3	.....	4
1	.....	3
2	.....	2
5	.....	1
Mevcut		0
TOPLAM		15

4- SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1 SONUÇ

Tez çalışması sonuçlarını 3 grupta toplanmıştır.

- Üretim verimliliği açısından sonuçlar
- Makine verimliliği açısından sonuçlar
- İşgücü verimliliği açısından sonuçlar

4.1.1 Üretim Verimliliği

Deney tasarımı matrisine göre yapılan benzetim koşumları sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda yorumlanmıştır.

- Üretim bölümünde makine işçiyi beklediği için makine yükleme/boşaltmasından sorumlu olan işçilere farklı görevler verilmemelidir.
- Üretim sonrası yapılan göz ve ölçü kontrolleri hataları yakalamaya yöneliktir. Kontrol frekansı ve adedinin neden yüksek olduğu konusunda herhangi bir bilimsel çalışma yoktur. Ancak üretim bölümü önerilerde bulunduğu gibi bir frekans ve kontrol adedi azaltışına gitmeyi düşünmektedir.
- Tüm öneriler sistemin üretkenliğini artırıcı yönde etki yapmaktadır. Bu nedenle önemli olan önerileri devreye almak için gerekli maliyet ve sonucunda elde edilecek performans artışıdır.
- Öneri-1 deney tasarımında en fazla etkiye sahip faktör olmuştur. Ancak faktörlerin tek başına sisteme etkisi incelendiğinde sadece Öneri-1'i uygulamak sistemde çok büyük değişiklikler yapmamaktadır. %30 çevrim zamanı iyileştirmesine karşılık sistemin tepkisi %4,6 olmuştur.

  Tüm tiplerde yapılacak çevrim zamanı iyileştirmesi için gereken mühendislik çalışması, ilave aparat maliyetleri, deneme maliyetleri, zaman vb. düşünüldüğünde %4,6 lık getiri düşük kalmaktadır.
- Ancak Öneri-1 diğer faktörlerle beraber uygulandığı zaman çok daha etkili sonuçların alınmasına neden olmaktadır. Bu nedenle

çevrim zamanı iyileştirmesi tek başına değil, diğer önerilerle beraber düşünülmesi gerekmektedir.

- Diğer faktörlerden Öneri-3 ve Öneri-4'ün üretim artışına büyük bir etkisi vardır. Bu önerilerin bir diğer özelliği de ekonomik olarak çok düşük ya da sıfır maliyetli uygulamalar olmasıdır.
    - Öneri-3 % 18,4; Öneri-4 ise %23,5 iyileştirme sağlamaktadır. %2 lik bir iyileştirmenin 1 DDM makinesi yatırımına olan ihtiyacı ortadan kaldırdığı düşünülürse sırasıyla 9 ve 11 adet DDM makinesi yatırımı kazancı sağlamaktadır.
    - Öneri-3 için kontrol frekansının ve kontrol adedinin ihtiyaca uygun olarak belirlenmesi için çalışmalar yapılmalıdır.
    - Öneri-4 için ise Milk-run taşıma arabası, her makineye takılacak bir uyarı sinyal sistemine ihtiyaç vardır. Gereken bu yatırımların ise çok düşük maliyette olacaktır.
- Öneri-3 ve Öneri-4 'ün beraber uygulaması sonuçları karşılaştırıldığında fark olmaması ilk başta şaşırtıcı gelebilir.
  (Mevcut/ Öneri-4) = (Öneri-3/Öneri-4) eşitliğinin asıl farkı kalitenin güvence altına alınmasında kendisini göstermektedir.

Şöyle ki "Milkrun" uygulamasında tur sayısı belirlenirken kontrol işçisinin, sorumluluğu altındaki makinelere ait bütün ölçü ve göz kontrollerini bitirmesine izin vermelidir. Bu süreye tur zamanı, parça alma/verme süreleri de ayrıca eklenmelidir.

Çizelge 4.1'de Tur zamanı hesaplaması ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Çizelgeden de görüleceği üzere mevcut durumda kontrol işçisi 110 dakika'da bir tura çıkabilecekken; kontrol edilecek adetlerin düşürülmesi sonrasında 40 dakika'da bir tura çıkabilecektir. Modelde 3 kontrol işçisi 12 makine ve bir kontrol işçisi 14 makineden sorumlu olduğu için en uzun tur zamanı dikkate alınmıştır.

Tur zamanı sırasında üretilen parça sayılarına ilişkin grafikler Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.1- Tur Zamanı Hesaplama Tablosu

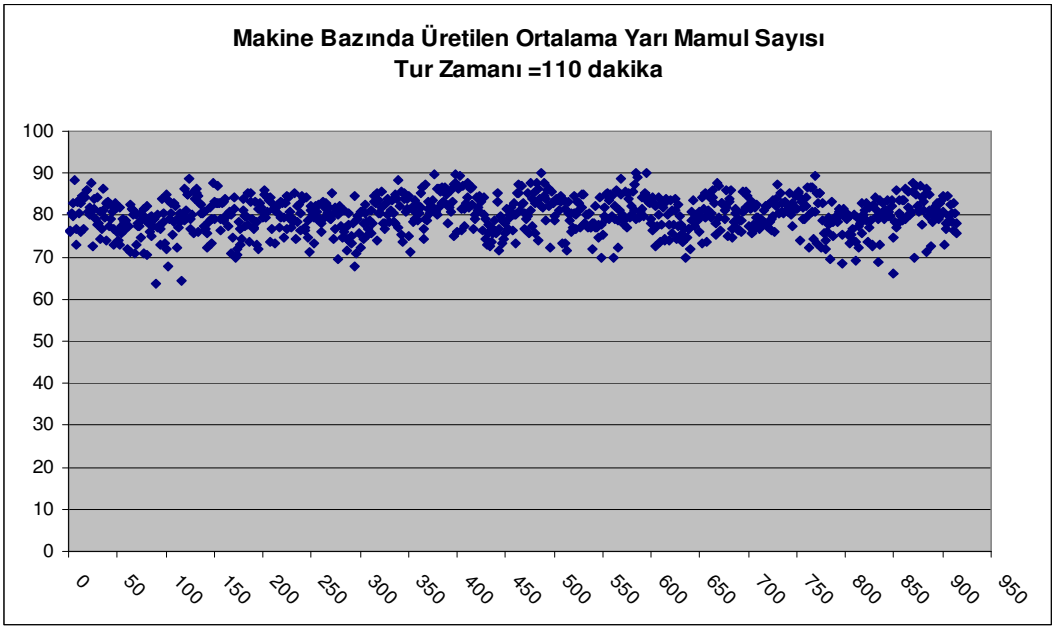
Kontrol edilecek yarı mamul sayısı	12

İşlem	Süre/Adet [dk]	Adet	Toplam
Agiden yarı mamul alma+ kontrol edilenleri birakma	0,023	12	0,276
Goz ve ölçü kontrolu	0,574	12	6,888
TOPLAM			7,164
Makine Sayısı			14
TOPLAM			100,296
Milkrun tur	1,44	1	1,44
En Düşük Milkrun peryodu			101,7

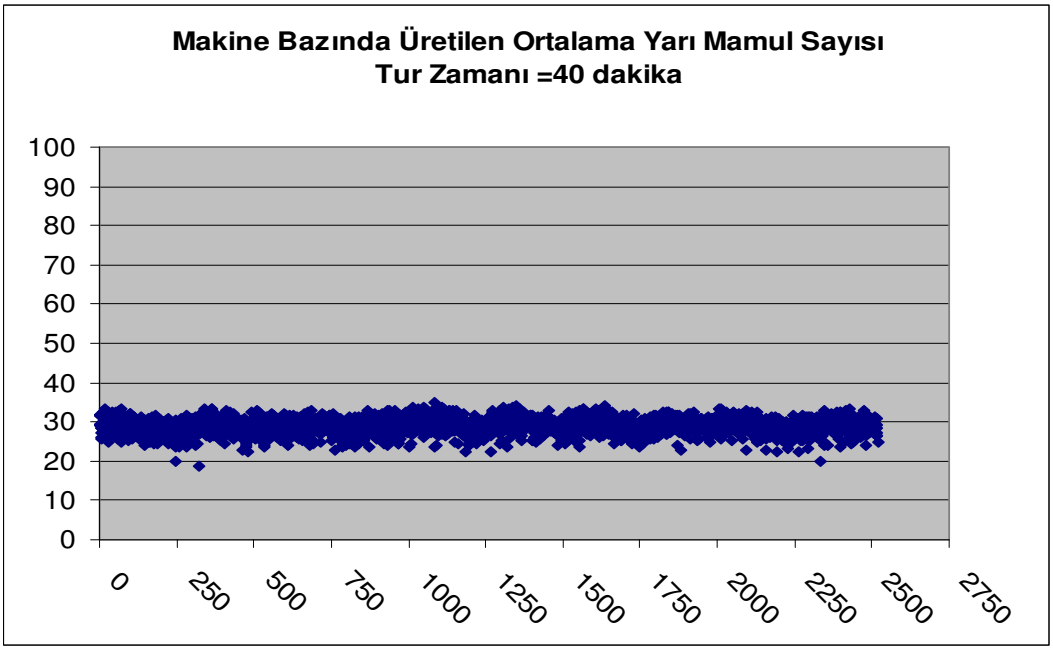
Kontrol edilecek yarı mamul sayısı	4

İşlem	Süre/Adet [dk]	Adet	Toplam
Agiden yarı mamul alma+ kontrol edilenleri birakma	0,023	4	0,092
Goz ve ölçü kontrolu	0,574	4	2,296
TOPLAM			2,39
Makine Sayısı			14
TOPLAM			33,43
Milkrun tur	1,44	1	1,44
En Düşük Milkrun peryodu			34,9

Alternatif	Tur peryodu
Kontrol adedi : 12	110 dk
Kontrol adedi : 4	40 dk.



Şekil 4.1- Üretilen Adet. Tur Zamanı= 110 Dakika



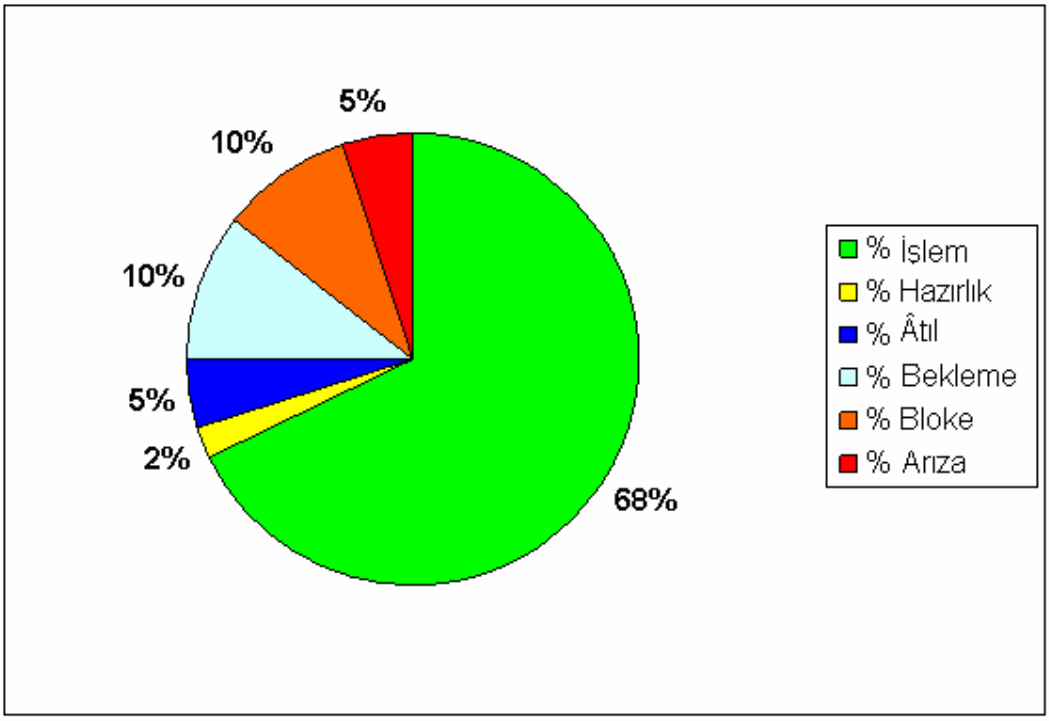
Şekil 4.2- Üretilen Adet. Tur Zamanı= 40 Dakika

Öneri-3 ve Öneri-4 birlikte uygulandığında üretim artmamasına rağmen, kontrol frekansı artmakta bu da sistemin mevcut kontrol düzeninden daha iyi bir kontrol frekansına sahip olmasına neden olmaktadır.

Şekil4.2'de görüleceği gibi kontrol frekansı ortalama 30 parça olacaktır. Gereğinden fazla yapılan kontrol işlemlerinin de "israf" olduğunu göz önünde bulundurursak ; kontrol işçilerine daha fazla makine sorumluluğu verilerek kontrol işçilerinden de tasarrufa gidilebilir. Böylelikle işgücü maliyetleri de düşürülmüş olacaktır.

4.1.2 Makine Verimliliği

Mevcut sisteme ait Makine verimliliği ortalaması Şekil 4.3'de verilmiştir.



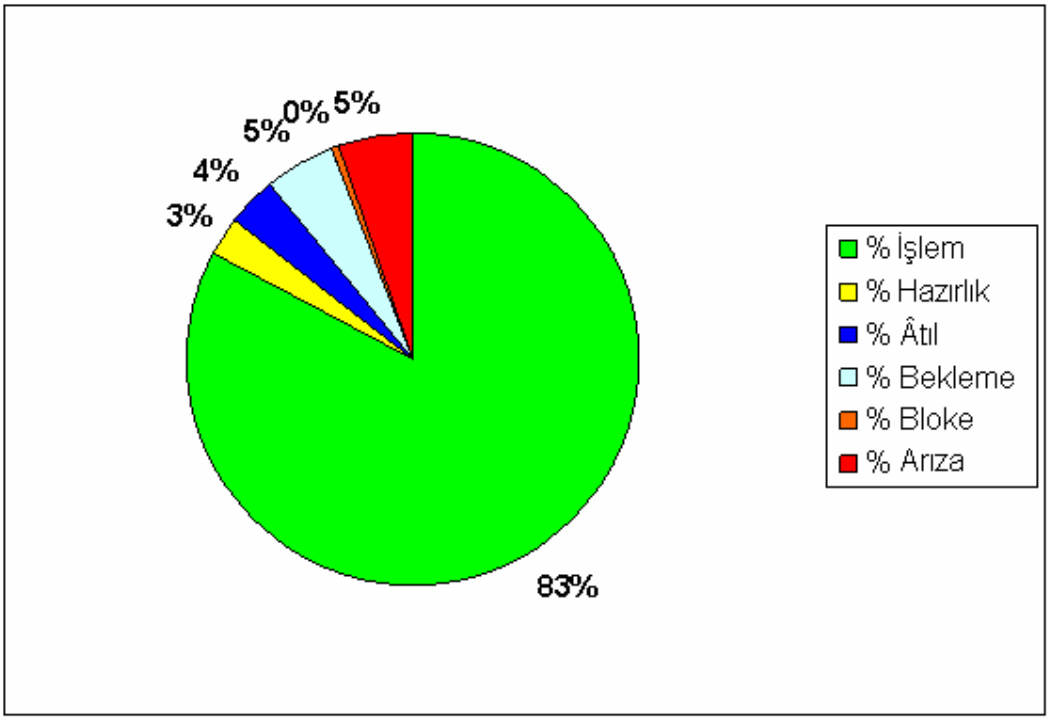
Şekil 4.3- Ortalama Makine Kullanımı (Mevcut Durum)

Bu grafikten de anlaşılacağı üzere makineler üretim zamanının %20 si işçiyi beklemek ile geçmektedir(Bekleme + Bloke).

Makinelerden sorumlu işçilerin sorumluluğunda olan ölçü ve göz kontrolü işlemlerini "milkrun" yöntemi ile farklı işçilere yaptırdığımız zaman ortaya çıkan makine verimliliği Şekil 4.4 de verilmiştir.

Her iki grafik karşılaştırıldığında makine verimliliklerinde yüksek bir artış söz konusudur.

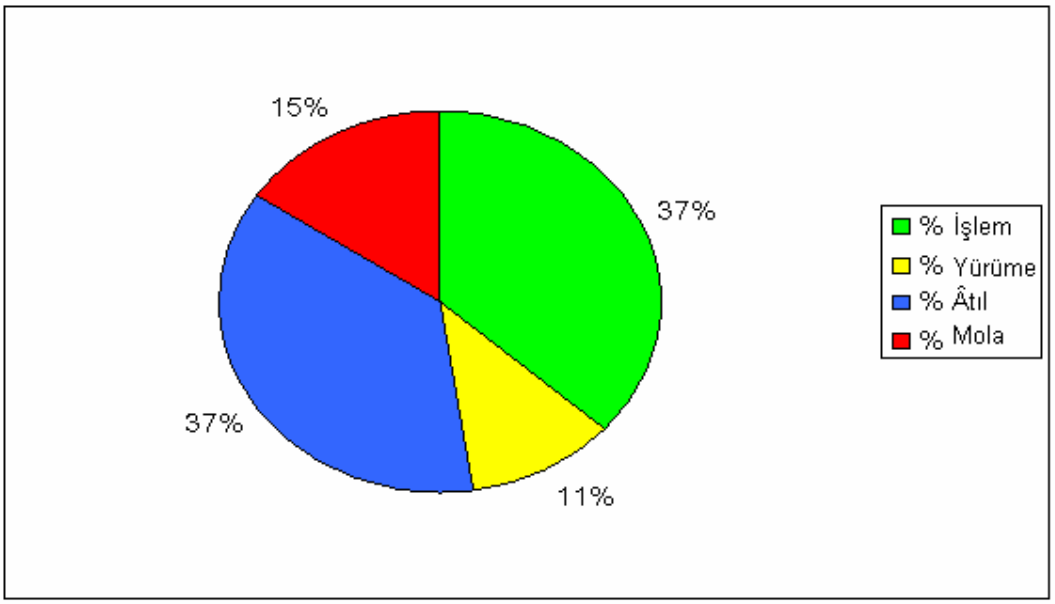
Doğal olarak üretim adedi arttığı için makineler daha fazla ürün değişikliğine zaman harcayacaktır. Bunun etkisini de aynı grafiklerde % Hazırlık zamanı oranının %2 den %3 e yükselmesi olarak görmek mümkündür.



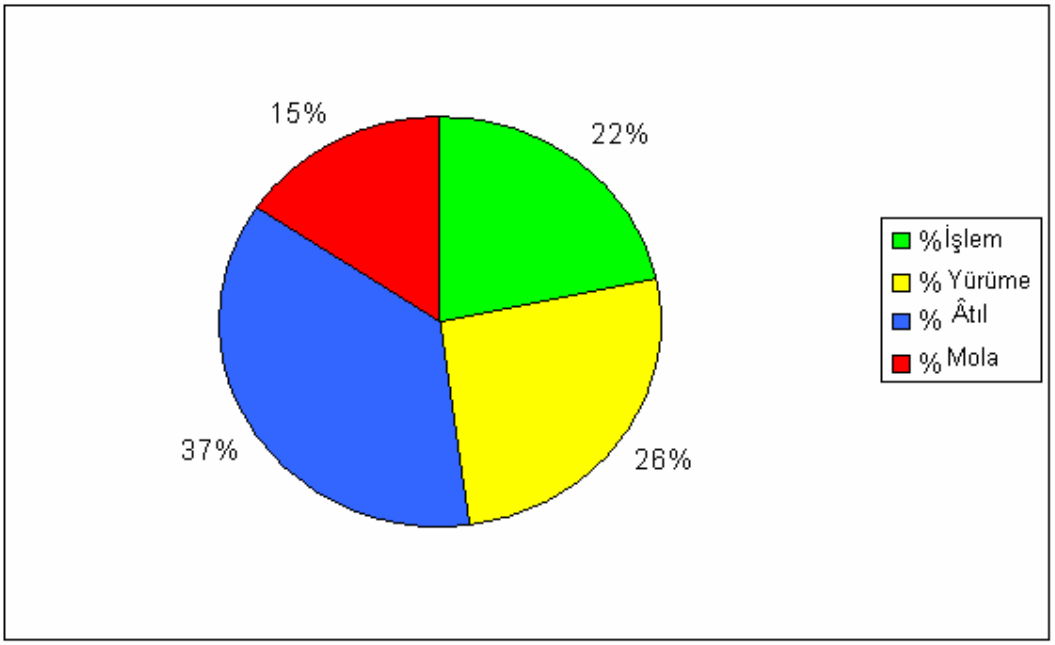
Şekil 4.4- Ortalama Makine Kullanımı (Milkrun Uygulaması)

4.1.3 İşgücü Verimliliği

Kurulan model yardımı ile yapılan benzetim çalışması sonucunda elde edilen işçilik verimlilikleri Şekil 4.5'de verilmiştir.



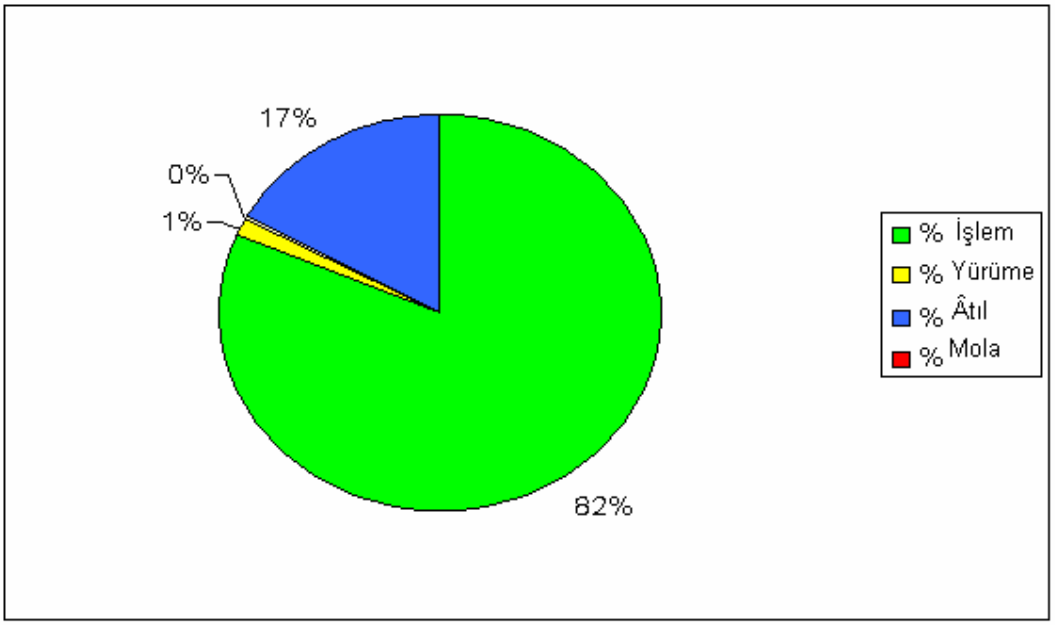
Şekil 4.5- Ortalama İşçi Kullanımı (Mevcut Durum)



Şekil 4.6- Ortalama İşçi Kullanımı (Milkrun Uygulaması)

Milkrun uygulaması ile çalışanlardan kontrol işlemi alındığı için işçilerin işlem oranı azalırken daha fazla makineden sorumlu olması nedeni ile yürüme için harcadığı zaman artırmıştır.

Kontrol işçilerine ait verimlilikler Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7- Ortalama İşçi Kullanımı (Kontrol İşçileri İçin)

4.2 ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında yalın üretim tekniklerinden olan;

- Esnek iş gücü ve iş zenginleştirme
- Milkrun uygulamasının kontrol işlemlerine uyarlanması
- Makine hazırlık sürelerinin azaltılması

kurulan benzetim modeli ile değerlendirilmiştir.

İncelenen üretim bölümünde elde edilen sonuçlar ışığı altında;

Öneri-3 : *Hidrolik kontrol frekansının düzenlenmesi*
Öneri-4 : *Hidrolik kontrol ve göz kontrollerine milkrun uygulaması*
Öneri-1 : *Süreç süresinde iyileştirme yapılması*
Öneri-2 : *Çay ve yemek molalarının yeniden düzenlenmesi*
Öneri-5 : *Ürün değişikliği süresinde iyileştirme yapılması*

sırasında uygulanmasının hem maliyet açısında hem de getirisi açısından daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Üretim sistemine has bazı özellikler nedeni ile yalın üretim tekniklerinden en önemlisi olan "Makine hazırlık zamanlarının düşürülmesi" tekniğinin üretim adedine çok fazla etkisi olmamıştır. Ancak "milkrun" uygulaması hem maliyet açısından hem de getirisi açısından büyük getiriler sağlamıştır.

Milkrun uygulaması makinelerden sorumlu işçilerin, sorumlu oldukları makine sayısı artmasına rağmen, verimliliklerinde herhangi bir değişiklik yapmamıştır. Çalışanların yürüme için kaybettiği zamanı azaltmak için yerleşimin yeniden tasarlanması gerekmektedir.

Milkrun uygulaması ile daha iyi kontrol frekansı elde edilmiştir. Bu kontrol frekansı düşürülmek istenirse kontrol işçilerine daha fazla makine sorumluluğu verilerek toplamda çalışan sayısı azaltılabilir.

Yalın üretim teknikleri her türlü israfın ortadan kaldırılmasını öngörmektedir.

Yalın üretim uygulanacak bölüm ve/veya hatların öncelikle ayrıntılı bir analizden geçirilerek hangi tekniklerin önce uygulanması gerektiğine karar verilmelidir.

Bir moda haline gelen yalın üretim tekniklerinin bilinçsizce uygulanması yarardan çok zarar getirecektir.

Yalın üretim tekniklerinin maliyetleri düşürmek ve israfları ortadan kaldırmak için bir araç olduğu, kesinlikle "yalın üretim tekniklerinin uygulanması" nın bir amaç olmadığı unutulmamalıdır.

Bu noktayı Daniel T. Jones "Ne kadar yalınsınız ?" başlıklı makalesinde önemle vurgulamaktadır.

"… kapıdan-kapıya toplam üretim sürenize ve stoklarınıza ne olduğudur. Yalın girişiminizi başlattığınızdan beri bunlarda bir düşüş söz konusu olmuş mudur? ***Bu düşüş birim maliyetlerde bir düşüş sağlamış mıdır?*** Eğer bu sorulara yanıt hayır'sa o zaman siz yalın ilkelere göre çalışmıyorsunuz demektir! **"**
(Daniel T. Jones – Ne kadar yalınsınız?, www.yalinenstitu.org.tr)

KAYNAKLAR

Acar Nesime Tam Zamanında Üretim, MPM Yayınları, 1995

Akıllıoglu H., Halıcı A., Baydogan M.G., Canbaz D., Bolatlı Y., Sezgin Ö. , Dizel Enjektör Üretimi Yapan Bir Şirket İçin Fabrika İçi Çekme Esaslı Tekrarlı Dağıtım Sistem Tasarımı, YA-EM 2006

Bosch AŞ., **http://www.intranet.bosch.com/beqik/bps/download/de/bausteine/zyklische%20Materialversorgung/Baustein%20Zyklische%20Materialversorgung%202006%20DE.pdf ,** 2006

Chung, Christopher A. Simulation Modeling Handbook A Practical Aproach, CRC Press, 2004

Hamzaçebi Coşkun, Kutay Fevzi, Taguchi Metodu : Bir Uygulama, Teknoloji dergisi,Sayı :3-4 s:7-17, 2003

Harrell Charles, Ghosh Biman, Bowden Royce Simulation Using Promodel, McGraw Hill, 2000

Harrell Charles R. , Price Rochelle N. Simulation modeling and optimization using Promodel, Winter Simulation Conference , 2000

Jones T. Daniel, Ne kadar Yalınsınız ? www.yalinenstitu.org.tr, 2006

Law Averill M. Eleven Critical Pitfalls in Simulation Modeling ; www.averill-law.com , 2003

Law, A. M. ve Kelton W. D., *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw Hill Companies, 2000.

Law Averill M., McComas Michael G. Simulation of Manufacturing Systems, Winter Simulation Conference, 1998

Mess-REFA, Süreç verileri yönetimi, Eğitim notları, 2003

Ohno Taiichi, Toyota Ruhu, Scala Yayıncılık 1998

Okur , Ayperi Serdaroğlu Yalın Üretim, Söz Yayın, 1997

Özkale Celal, Üner Ömer, Aladağ Zerrin Üretim sistemi benzetimi ve lastik sektöründe uygulanması **,** YA/EM 24. Ulusal Kongresi, 2004

Promodel User Guide, Promodel Corporation, 2003

Robinson, Stewart Simulation: The Practice of Model Development and Use, John Wiley&Sons, 2004

Şirvancı Mete Kalite için Deney Tasarımı, Literatür yayınları, 1997

Saat Mesiha, Kalite denetiminde Taguchi yaklaşımı , Gazi Üniv. İktisadi ve İd. Bil. Fak. Dergisi Cilt:2, Sayı:3, sayfa: 97-108

Uytes , http://www.uytes.com.tr/simulasyon/promodel.html , 2006

EK-1 ALTYORDAMLAR

EK-1.1 PARTI_BUYUKLUGU()

Bu altyordam ile girilen tip numarası parametresi kullanılarak sipariş büyüklüğü hesaplanmaktadır.Parti büyüklüğü ilgili tipe uygun dağılım fonksiyonundan ele edilmekte, bu değer daha sonra kap kapasitesi ve katlarına göre düzenlenmektedir.

Sipariş büyüklüğü gerçek sistemde ilgili tipe ait en büyük sipariş adedinden daha büyük olamaz.

Altyordam Akışı:

```
basla:
adet=152
IF tipNo=1 THEN
{adet=150+L(4.98e+003, 1.2e+004)
if adet>27929 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=2  THEN
{adet= -55.7+IG(1680, 2670)
if adet>15757 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=3  THEN
{adet= 171+G(0.887, 3.34e+003)
if adet>12630 then
{goto basla
}
```

```
}
IF tipNo= 4 THEN
{adet=150+G(0.728, 4.23e+003)
if adet>22161 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=5  THEN
{adet=154+W(0.822, 3.3e+003)
if adet>23537 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 6 THEN
{adet=147+W(1.21, 1.36e+003)
if adet>6638 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 7 THEN
{adet=164+W(0.782, 3.45e+003)
if adet>20202 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 8 THEN
{adet=280+3.4e+004*(1./(1.+EXP(-(N(0.,1.)-1.59)/0.613)))
if adet>22636 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 9 THEN
{adet=150+ER(2.14e+003, 1.)
```

```
if adet>12099 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=  10 THEN
{adet=42.6+P5(1.08, 818)
if adet>19451 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 11 THEN
{adet=B(0.968, 6.99, 154, 8.83e+003)
if adet>4833 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=12  THEN
{adet=150+G(0.724, 4.26e+003)
if adet>15092 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 13 THEN
{adet=150+P6(1.24, 3.48, 2.78e+003)
if adet>6858 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 14 THEN
{adet=40.+L(2.76e+003, 4.51e+003)
if adet>12724 then
{goto basla
}
```

```
}
IF tipNo= 15 THEN
{adet=30.+W(1.21, 939)
if adet>3433 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 16 THEN
{adet=150+W(1.17, 3.05e+003)
if adet>11285 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 17 THEN
{adet=150+L(5.43e+003, 1.54e+004)
if adet>24640 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=18  THEN
{adet=52.+G(1.79, 498)
if adet>3102 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 19 THEN
{adet=112+W(1.16, 1.25e+003)
if adet>6335 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=  20 THEN
{adet=30.+G(1.27, 634)
```

```
if adet> 3042then
{goto basla
}
}
IF tipNo=21  THEN
{adet=155+1.26e+003*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./1.24)
if adet>22790 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=22  THEN
{adet=B(1.32, 3.49, 54., 5.41e+003)
if adet>4511 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=23  THEN
{adet=150+W(1.48, 1.17e+003)
if adet>3304 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=24  THEN
{adet=150+IG(977, 2.21e+003)
if adet>13591 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=25  THEN
{adet=40.+W(1.11, 1.15e+003)
if adet>4435 then
{goto basla
}
```

```
}
IF tipNo=26  THEN
{adet=128+L(7.22e+003, 3.73e+004)
if adet> 23883 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=27  THEN
{adet=34.+W(1.32, 837)
if adet>2727 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=28  THEN
{adet=42.+P6(1.99, 4.97, 1.5e+003)
if adet>3336 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=29  THEN
{adet=41.+P6(1.73, 4.88, 2.94e+003)
if adet> 4562 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=30  THEN
{adet=B(0.626, 1.34, 37., 3.38e+003)
if adet>3125 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=31  THEN
{adet=28.+W(1.08, 912)
```

```
if adet>3121 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=32  THEN
{adet=54.+W(1.38, 1.12e+003)
if adet>3301 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=33  THEN
{adet=B(0.824, 1.57, 29., 2.05e+003)
if adet>1989 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=34  THEN
{adet=88.+W(1.44, 2.26e+003)
if adet>5751 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=35  THEN
{adet=56.+P6(0.861, 134, 3.03e+005)
if adet>8450 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=36  THEN
{adet=220+W(1.14, 2.44e+003)
if adet>12122 then
{goto basla
}
```

```
}
IF tipNo=37  THEN
{adet=85.+(1./7.44e-004)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./0.929)
if adet>21718 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 38 THEN
{adet=149+(1./1.77e-003)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./0.761)
if adet>13862 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 39 THEN
{adet=40.+W(1.11, 2.56e+003)
if adet>8450 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=40  THEN
{adet=B(1.08, 4.09, 28., 3.13e+003)
if adet>2279 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=41  THEN
{adet=23.+G(1.53, 581)
if adet>2623 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 42 THEN
{adet=120+W(1.04, 1.42e+003)
```

```
if adet>5081 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=43  THEN
{adet=50.+W(1.11, 890)
if adet>2528 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 44 THEN
{adet=B(0.958, 2.41, 25., 2.76e+003)
if adet>2255 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=45  THEN
{adet=26.+P6(1.17, 10.6, 4.9e+003)
if adet>2681 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=46  THEN
{adet=76.+W(1.42, 655)
if adet>1576 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=47  THEN
{adet=150+W(0.881, 881)
if adet>5501 then
{goto basla
}
```

```
}
IF tipNo= 48 THEN
{adet=B(0.86, 1.95, 52., 2.06e+003)
if adet>1791 then
{goto basla
}
}

IF tipNo= 49 THEN
{adet=B(0.668, 1.84, 91., 2.83e+003)
if adet>2427 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 50 THEN
{adet=B(0.895, 1.64, 36., 2.19e+003)
if adet>2000 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 51 THEN
{adet=B(0.842, 2.19, 108, 3.26e+003)
if adet>2650 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=52  THEN
{adet=B(1.13, 1.72, 101, 1.63e+003)
if adet>1630 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 53 THEN
```

```
{adet=92.+E(2.65e+003)
if adet>10738 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 54 THEN
{adet=B(0.671, 1.,104, 1.58e+003)
if adet>1568 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=55  THEN
{adet=21.+1.81e+003*(1./(1.+EXP(-(N(0.,1.)-0.459)/0.719)))
if adet>1741 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=56  THEN
{adet=150+W(1.58, 599)
if adet>1372 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=57  THEN
{adet=92.+W(1.37, 2.21e+003)
if adet>5687 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=58  THEN
{adet=154+G(1.89, 992)
if adet>7738 then
{goto basla
```

```
}
}
IF tipNo=59  THEN
{adet=108+W(1.27, 553)
if adet>1532 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=60  THEN
{adet=29.+P6(1.82, 8.93, 6.82e+003)
if adet>5511 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=61  THEN
{adet=60.+W(1.57, 595)
if adet>1524 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=62  THEN
{adet=33.+G(0.958, 468)
if adet>1775 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=63  THEN
{adet=76.+L(932, 878)
if adet>2719 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 64 THEN
```

```
{adet=B(0.84, 2.08, 55., 2.52e+003)
if adet>1997 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 65 THEN
{adet=33.+W(1.36, 816)
if adet>2512 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=66  THEN
{adet=100+W(1.21, 612)
if adet>1883 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=67  THEN
{adet=91.+W(1.54, 1.09e+003)
if adet>2301 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=68  THEN
{adet=27.+E(349)
if adet>1050 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 69 THEN
{adet=59.+L(1.46e+003, 1.39e+003)
if adet>6153 then
{goto basla
```

```
}
}
IF tipNo=70  THEN
{adet=B(0.6, 1.,1.08e+003, 1.03e+004)
if adet>10315 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=71  THEN
{adet=24.+W(1.21, 1.52e+003)
if adet>4563 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 72 THEN
{adet=78.+E(850)
if adet>2469 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 73 THEN
{adet=B(0.612, 1.,50., 1.62e+003)
if adet>1582 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 74 THEN
{adet=T(124, 124, 4.4e+003)
if adet>3806 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 75 THEN
```

```
{adet=40.+W(1.36, 664)
if adet>1785 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=76  THEN
{adet=43.+W(1.46, 880)
if adet>2159 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=77  THEN
{adet=30.+W(1.01, 443)
if adet>1400 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=78  THEN
{adet=88.+E(397)
if adet>1103 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 79 THEN
{adet=49.+W(1.55, 828)
if adet>1689 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=80  THEN
{adet=35.+1.64e+003*(1./(1.+EXP(-(N(0.,1.)-0.628)/0.791)))
if adet>1436 then
{goto basla
```

```
}
}
IF tipNo= 81 THEN
{adet=310+W(0.95, 1.87e+003)
if adet>7063 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 82 THEN
{adet=B(0.669, 0.819, 104, 2.52e+003)
if adet>2518 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 83 THEN
{adet=T(51., 51., 1.74e+003)
if adet>1500 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 84 THEN
{adet=T(125, 125, 1.01e+003)
if adet>852 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 85 THEN
{adet=24.+L(289, 364)
if adet>949 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 86 THEN
```

```
{adet=30.+(1./7.07e-003)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./0.919)
if adet>1352 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 87 THEN
{adet=115+P6(1.51, 1.37e+003, 9.37e+005)
if adet>3632 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 88 THEN
{adet=B(0.824, 0.678, 50., 953)
if adet>953 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 89 THEN
{adet=51.+P5(2.11, 346)
if adet>623 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 90 THEN
{adet=103+W(1.13, 819)
if adet>2053 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 91 THEN
{adet=190+P6(0.975, 1.3e+003, 5.58e+005)
if adet>1516 then
{goto basla
```

```
}
}
IF tipNo= 92 THEN
{adet=120+E(757)
if adet>2413 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=93  THEN
{adet=54.+L(829, 1.28e+003)
if adet>3170 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 94 THEN
{adet=112+(1./6.65e-003)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./0.885)
if adet>1892 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 95 THEN
{adet=21.+1.03e+003*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./2.8)
if adet>3080 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=96  THEN
{adet=59.+L(515, 623)
if adet>1295 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=97  THEN
```

```
{adet=96.*(1./(1.-U(0.5,0.5)))**(1./1.85)
if adet>619 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 98 THEN
{adet=72.+G(1.89, 114)
if adet>765 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 99 THEN
{adet=52.+W(2.28, 346)
if adet>637 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 100 THEN
{adet=60.+L(200, 256)
if adet>519 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 101 THEN
{adet=86.+P6(3.06, 9.25, 1.05e+003)
if adet>1138 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 102 THEN
{adet=40.+(1./5.78e-003)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./1.88)
if adet>664 then
{goto basla
```

```
}
}
IF tipNo= 103 THEN
{adet=174+1.67e+003*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./2.84)
if adet>4402 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 104 THEN
{adet=124+W(1.47, 828)
if adet>2095 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=105  THEN
{adet=20.+(1./5.31e-003)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./1.85)
if adet>891 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 106 THEN
{adet=164+W(0.679, 172)
if adet>1146 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 107 THEN
{adet= -20.4+P5(1.19, 172)
if adet>1123 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 108 THEN
```

```
{adet= -2.66e+004+2.83e+004*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./53.4)
if adet>3545 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 109 THEN
{adet=232+W(0.491, 90.2)
if adet>852 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 110 THEN
{adet=95.6+198*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./2.77)
if adet>762 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=  111 THEN
{adet= -1.73e+003+2.01e+003*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./29.4)
if adet>512 then
{goto basla
}
}
IF tipNo=112  THEN
{adet=B(0.808, 0.698, 176, 430)
if adet>430 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 113 THEN
{adet=350+ER(541, 1.)
if adet>1774 then
{goto basla
```

```
}
}
IF tipNo= 114 THEN
{adet= -7.53e+003+8.23e+003*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./26.1)
if adet>1596 then
{goto basla
}
}
IF tipNo= 115 THEN
{adet=B(0.851, 0.691, 219, 1.18e+003)
if adet>1181 then
{goto basla
}
}
if adet<152 then
{adet=152
}
adet=ROUND(adet/152)
return adet
```

EK-1.2 SUB_SIPARIS()

Bu altyordam sayesinde yeni siparişe ait aşağıdaki işlemler yapılmaktadır: 115 tipe ait olasılık dağılımı yardımıyla üretilecek tip belirlenir.

Yeni tipin, üretilen tip ile aynı olup olmadığı kıyaslanır. Eğer aynı tip ise yen bir tip numarası olasılık dağılımından tekrar seçilir.

Belirlenen tip numarası kullanılarak sipariş büyüklüğü hesaplanır.

Tip dönme işlemini gerçekleştirebilmek için DuseA, DuseB değişimi sağlanır.

Dizilerde gerekli güncellemeler yapılır.

Altyordam Akışı :

```
degistir:
yeni_tip(round((LOCATION()+1)/6))=uretilecek_tip()
if     yeni_tip(round((LOCATION()+1)/6))=uretilen_tip(round((LOCATION()+1)/6))
then
{ goto degistir
}
else
{
uretilen_tip(round((LOCATION()+1)/6))=yeni_tip(round((LOCATION()+1)/6))
}
uretilecek_adet(round((LOCATION()+1)/6))=Parti_buyuklugu(uretilen_tip(round(
(LOCATION()+1)/6)))
ORDER uretilecek_adet(round((LOCATION()+1)/6)) Rahmen TO location()
uretilecek_adet(round((LOCATION()+1)/6))=uretilecek_adet(round((LOCATION
()+1)/6))*38
if duse_tip(round((LOCATION()+1)/6))=3 then
{
duse_tip(round((LOCATION()+1)/6))=4
}
else
{
duse_tip(round((LOCATION()+1)/6))=3
```

EK-1.3 SUB_AGIE()

Bu yordam yardımı ile DDM makinelerinde yapılacak işlemler ayrıntılı olarak tanımlanmaktadır. Yine modelleme açısından kolaylık olması için yükleme ve boşaltma zamanı tek işlem adımı olarak verilmiştir. Bu altyordam sayesinde:

Yükleme ve boşaltma işlemi yapılmaktadır.
Makine üretilen tipe uygun çevrim zamanı kadar çalıştırılmaktadır.
Dizilerde gerekli güncellemeler yapılmaktadır.
Belirlenen periyotlarda, kontrol işlemi için iş emri oluşturulmaktadır.
Her üretilen duse nesnesinden sonra sipariş kontrolü yapılmakta, sipariş bittiği zaman yeni sipariş emri oluşturulmaktadır.

Altyordam Akışı:

```
u_rahmen(round((LOCATION()+5)/6))=u_rahmen(round((LOCATION()+5)/6))-1

wait 19.2 sec //yukleme+bosaltma suresi
free res(kul_isci(round((location()+5)/6)))
wait (takt_katsayi*takt(uretilen_tip(round((location()+5)/6)))) sec
uretilecek_adet(round((LOCATION()+5)/6))=uretilecek_adet(round((LOCATION
()+5)/6))-1
setup_sonrasi(round((LOCATION()+5)/6))=setup_sonrasi(round((LOCATION()+
5)/6))+1
if u_rahmen(round((LOCATION()+5)/6)) =25 then
{
use res(kul_isci(round((location()+5)/6))) for (0.665 + kontrol_adet*0.0115) min
// her kontrol sonunda gecici rahmendeki duseler buyuk rahmene diziliyor.Sure
0.665 dk
free res(kul_isci(round((location()+5)/6)))
        ORDER 1 kontrol TO loc(LOCATION()+2)
}
```

```
if u_rahmen(round((LOCATION()+5)/6)) =12 then
{
use res(kul_isci(round((location()+5)/6))) for (0.665 + kontrol_adet*0.0115) min
// her kontrol sonunda gecici rahmendeki duseler buyuk rahmene diziliyor.Sure
0.665 dk
free res(kul_isci(round((location()+5)/6)))
        ORDER 1 kontrol TO loc(LOCATION()+2)
}
if u_rahmen(round((LOCATION()+5)/6)) =1 then
{
use res(kul_isci(round((location()+5)/6))) for (0.665 + kontrol_adet*0.0115) min
// her kontrol sonunda gecici rahmendeki duseler buyuk rahmene diziliyor.Sure
0.665 dk
free res(kul_isci(round((location()+5)/6)))
        ORDER 1 kontrol TO loc(LOCATION()+2)
}
if uretilecek_adet(round((LOCATION()+5)/6))<=0 then
{
ORDER 1 siparis TO LOC(LOCATION()+4)
}
```

EK-1.4 SUB_HAVA()

Hava ile kurutma makinesinde gerçekleşen makine zamanı bu yordam altında kodlanmıştır.

Altyordam Akışı:

Wait 43 sec.

EK-1.5 SUB_LOC()

Bu yordam yardımı ile Delik delme işlemine girecek yarı mamulun beklediği stok alanından her seferinde bir taşıma kabı ile makine yanına getirilmesini modellenmiştir.

Altyordam Akışı:

```
ORDER 38 ent(duse_tip(round(location()/6))) TO loc(location()-4)
u_rahmen(round(LOCATION()/6))=38
Wait until u_rahmen(round(LOCATION()/6))=0
```

EK-1.6 SUB_CIKIS()

Bu yordam altında, hava tutma işleminden gecen memelerin rahmene dizilmesi ve bir taşıma kabının işlemi bittikten sonra taşımak için taşıma kabı hazır hale getirilmektedir.

Altyordam Akışı:

use res(kul_isci(round((location()+3)/6))) for 2.8 sec
free res(kul_isci(round((location()+3)/6)))
GROUP 38 AS rahmen

EK-1.7 SUB_HIDROLIK()

Belli periyotlarda yapılması gereken kontrollerden biri olan ölçü kontrolü bu yordam yardımı ile modele dahil edilmiştir.

Altyordam Akışı:

USE res(isci_no), 888 FOR (kontrol_adet*0.184) MIN

EK-1.8 SUB_GOZK()

Belli periyotlarda yapılması gereken kontrollerden biri olan göz kontrolü bu yordam yardımı ile modele dahil edilmiştir.

Altyordam Akışı:

wait (kontrol_adet*0.39) min
free res(isci_no)

EK-1.9 SUB_TELDEG()

Bu yordam yardımı belli periyotlarda yapılması gereken takım değiştirme işlemlerinden birisi olan tel değiştirme işlemi modele eklenmiştir.

Yordam tel değişimi işlemi öncesi tip dönme işlemi öncesinden sonra kaç adet meme üretildiği bilgisini kontrol etmektedir. Bu değer değişiklik periyodunun ortalamasından büyük ise tel değiştirme işlemini gerçekleştirmektedir. Böylelikle periyodundan önce tel değiştirme işlemi yapılması engellenmektedir.

Altyordam Akışı:

```
if setup_sonrasi(round((LOCATION()+5)/6))>=75 then
{
use res(kul_isci(ROUND((location()+5)/6))) for 11.16 min
free res(kul_isci(ROUND((location()+5)/6)))
}
```

EK-1.10 SUB_SETUP()

Bu yordam sayesinde tip dönme işlemi modele dahil edilmektedir. Yordam, öncelikle tip dönme işleminden sorumlu formenlerin boş olup olmadığını kontrol etmekte; boş formen varsa ilk önce bu kaynağı kullanmaktadır. Formenlerin hepsi de meşgul ise, yordam bu görevi makineden sorumlu işçiye vermektedir.

Altyordam Akışı:

```
if FREEUNITS(tip_donme)>0 then
{
USE tip_donme, 999 FOR (setup_katsayi*T(25, 45, 60)) min
free tip_donme
}
else
{
USE res(kul_isci(round((location()+5)/6))), 999 FOR (setup_katsayi*T(25, 45, 60))
free res(kul_isci(round((location()+5)/6)))
}

wait ((20.+L(14.2, 11.4))) min
setup_sonrasi(round((LOCATION()+5)/6))=0
```

EK-1.11 SUB_ARIZA()

Bu yordam ile ariza nedenli duruşlar modele dahil edilmiştir. Yordam öncelikle makinenin ait olduğu model tipine göre (Bkz. Çizelge2.2) uygun olasılık dağılımından arızada kalma süresini bulmakta ve bu süre boyunca makineyi arızada tutmaktadır.

Aynı sipariş büyüklüğünde olduğu gibi dağılımdan elde edilen değer gerçek sistemde karşılaşılan en büyük arıza süresinden daha büyük olamaz.

Altyordam Akışı:

```
basla:
if p1=1 then
{
ariza=(30.+211*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./1.39))
if ariza>4173 then
{goto basla
}
}
if p1=2 then
{
ariza=(30.+P6(1.06, 3.38, 1.18e+003))
if ariza>2880 then
{goto basla
}
}
if p1=3 then
{
ariza=(30.+P6(1.39, 5.27, 954))
if ariza>1331 then
{goto basla
}
}
wait ariza min
```

EK-1.11 SUB_PRIZMA()

Bu yordam yardımı belli periyotlarda yapılması gereken takım değiştirme işlemlerinden birisi olan prizma değiştirme işlemi modele eklenmiştir.
Prizma değiştirme işlemi uzun periyotlarda değiştirilmektedir. (Yaklaşık olarak her vardiyada bir kez)

Altyordam Akışı:

USE res(kul_isci(round((location()+5)/6))), 999 FOR 10.07 min
free res(kul_isci(round((location()+5)/6)))

EK-1.12 SUB_MILKRUN_TUR()

Bu yordam yardımı ile kontrol işçisi tur esnasında her makinede önceki turda aldığı memeleri bırakma, yeni ölçüm için yeni meme (kontrol edilecek adet kadar) alma işlemini gerçekleştirmektedir.

Altyordam Akışı:

```
USE 1 res(kul_milkrun(round((location()-315)))) FOR (2*kontrol_adet*0.0115)
min
// her turda bir onceki turda aldigi duseleri geri birakiyor

free res(kul_milkrun(round((location()-315))))
```

EK-1.13 SUB_MILKRUN_TUR_KONTROLU ()

Bu yordam yardımı ile kontrol işçisinin her tura çıktığında tüm makinelerin ürettiği miktar bilgisi veri tabanına işlenmektedir. Bu veritabanındaki bilgiler ışığı altında iki tur arasında ortalama kaç adet parça işlendiğini öğrenebilmekteyiz.

Zira verimlilik kadar kalite de üretim için çok önemli bir argümandır. Bu nedenle miktar bakımından frekans ne kadar düşük ise kalite açısından kontrol daha iyi gerçekleşmektedir.

Bu yordam milkrun nesnesi ile birlikte çalışır.

Altyordam Akışı:

```
WRITE milkrun_kayit,clock(hr)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie1)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie2)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie3)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie4)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie5)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie6)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie7)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie8)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie9)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie10)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie11)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie12)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie13)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie14)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie15)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie16)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie17)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie18)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie19)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie20)
```

```
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie21)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie22)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie23)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie24)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie25)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie26)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie27)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie28)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie29)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie30)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie31)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie32)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie33)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie34)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie35)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie36)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie37)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie38)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie39)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie40)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie41)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie42)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie43)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie44)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie45)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie46)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie47)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie48)
WRITE milkrun_kayit, ENTRIES(agie49)
WRITELINE milkrun_kayit, ENTRIES(agie50)
```

EK 2 ISINMA PERİYODU HESABINDA KULLANILAN VERİLER

EK 2.1 BENZETİM SONUCU ELDE EDİLEN VERİLER

EK 2.2 WELCH METODU SONUÇLARI

EK-3 GERÇEK SİSTEM ÜRETİM VERİLERİ

EK-3.1 MAKİNE BAŞINA ORTALAMA GÜNLÜK ÜRETİM ADETLERİ

947	969	879	677	992	983	559
961	782	906	715	719	964	762
947	947	983	729	890	949	661
733	698	953	903	779	964	613
910	917	927	672	648	939	741
754	959	912	850	625	532	747
970	969	963	855	916	967	715
933	978	944	919	952	585	860
960	919	968	671	922	966	910
955	955	895	666	925	605	936
967	855	976	803	967	966	918
1.015	925	997	1.028	968	697	929
896	964	885	779	904	651	701
940	956	959	967	875	761	763
331	1.025	872	837	905	972	741
744	1.032	875	873	955	739	634
944	1.040	846	960	973	698	695
971	966	893	1.026	947	916	585
980	939	931	990	1.007	927	600
953	933	625	941	891	938	731
984	961	1.058	887	1.012	924	651
993	936	1.042	925	947	900	630
690	967	1.047	905	954	937	610
947	939	992	663	928	629	663
935	966	1.017	694	632	692	681
907	787	949	870	887	689	947
914	951	926	600	963	702	977
906	1.045	893	959	906	716	865
919	939	563	724	1.035	708	999
992	891	850	716	850	635	928
1.017	910	746	996	850	583	945
1.016	857	903	782	807	698	697
962	915	710	1.045	663	711	514
961	985	708	854	601	755	644
999	951	698	941	601	626	696
959	912	893	960	693	952	730
943	920	933	932	649	962	717
932	899	637	915	921	548	676
986	885	786	908	952	632	671
746	834	700	721	952	638	663
955	880	735	701	916	686	637
856	945	718	675	851	617	682
975	834	795	690	996	789	
942	962	758	711	944	561	

EK-3.2 GERÇEKLEŞEN ORTALAMA AYLIK VERİMLİLİKLER

VERİMLİLİK		DDM 1	DDM 2	DDM 3	DDM 4	DDM 5	DDM 6	DDM 7	DDM 8	DDM 9	DDM 10	DDM 11	DDM 12	DDM 13	DDM 14	DDM 15	DDM 16	DDM 17	DDM 18	DDM 19	DDM 20	DDM 21	DDM 22	DDM 23	DDM 24	DDM 25	DDM 26	DDM 27	DDM 28	DDM 29	DDM 30
2005	Ocak	51,4	60,2	64,2	67,6	58,9	58,7	61,4	62,2	59,6	56,2	57,6	71,3	74	69,6	73,8	75,3	61,2	71,5	92,6	71,2	73	72,7	66,1	49,1	75,5	73,1	78	77,2	67,4	70
	Şubat	63,7	63,1	71,1	72,4	66,1	63,3	69,7	71,1	69,1	69,9	68,4	69,9	76,5	79,5	72	76,7	65,1	71,1	76,7	66,3	71,2	71	65,6	54	77,6	74,1	78,3	76,2	69,1	71,8
	Mart	63,5	61,1	63,8	70,7	63,8	63	60,7	71,7	61,6	66,2	62,3	72,1	62,5	76,8	71,5	81,9	71,2	72,7	93,2	71,8	76,4	72,5	74,9	58,7	76,4	76,9	80	77,4	66,7	74,8
	Nisan	68,7	60,1	65,1	72,1	62,1	76,9	63,3	65,7	65,5	65,5	65	76,6	74,8	80,7	78,4	78,4	60,4	73,7	105,6	74,3	75,7	75,5	72,2	63,4	78,6	78,8	79,9	77,3	69,6	73,7
	Mayıs	69,8	65,3	66,3	68,4	61,9	71,2	63,6	66,9	53,8	69,2	67	79,4	70,4	76,3	70,7	72,2	70,1	67,9	94,6	70,5	70,9	67,8	67,9	62,7	71	76,4	70,3	71,4	63,6	69,3
	Haziran	66	64,2	67,9	70,4	65,6	57,8	65,5	63,6	64,3	70	56,7	55,2	56,5	55,9	60,5	60,7	63,9	51,7	87,6	58,9	61,5	62	53,7	68,3	59,5	62,7	58,5	61,6	53	57,8
	Temmuz	63,4	69	66,4	77,8	69,2	77,5	64,6	69,7	58,5	79,5	64,6	73	69,4	74	67,6	71,5	67,4	68,3	94,3	66,2	68,3	70,7	64,8	59,6	71	72,2	75,1	77,3	67,9	68,5
	Ağustos	71,3	71,3	72,8	79,3	64,1	64,7	59	66	67,2	74,6	61,9	74,6	69,1	75,3	74,3	69,3	72,7	69,8	75,9	66	70,9	71,3	67,3	71,2	68,4	70,6	70,4	75,1	62,7	65,5
	Eylül	71,1	71,1	68,7	58,8	57	67,5	75,6	73,2	56,6	80,3	65,9	73,8	60,7	75,4	76,2	72,9	60,7	68,8	70,9	61,9	71,3	68,7	67,3	66,2	69,7	79,1	67,8	77,4	64,2	66,4
	Ekim	62,7	74	72,2	75,5	71,7	60,2	68	67,2	65	74,5	51,5	60,5	57,6	65,2	60,3	61,7	65,7	62,2	62,6	60,5	58,3	62,3	61	57,7	62,9	69,5	61,7	60,1	57,4	57,9
	Kasım	56,9	62,6	57,7	65,3	64,3	50,9	50	66,5	56,5	63,7	45	58,5	49,6	62,5	55,5	57,7	62,8	56,5	64,2	54,5	53,8	54,2	54,3	61,4	59,1	64,3	58	56,8	49,8	53,8
	Aralık	66,5	71,4	68,3	76,4	56,8	57,4	70,3	70,3	64,1	65	56,2	58,9	46,4	58,7	58,7	55,8	67,8	56,4	52	54,1	57,4	54,8	56,2	55,9	56,5	63,1	52,8	58,2	50,2	54,8
Ortalama		64,6	66,1	67,0	71,2	63,5	64,1	64,3	67,8	61,8	69,6	60,2	68,7	64,0	70,8	68,3	69,5	65,8	65,9	80,9	64,7	67,4	67,0	64,3	60,7	68,9	71,7	69,2	70,5	61,8	65,4

EK-4 MEVCUT SİSTEM BENZETIM SONUÇLARI

EK-4.1 ORTALAMA ÜRETİM ADETLERİ

	Makine No																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Koşum 1	822	799	977	846	852	893	872	929	853	886	858	879	887	871	896	929	859	895	851	870	939	870	859	878	854
Koşum 2	835	849	908	869	843	857	935	908	831	890	884	877	961	822	908	879	858	847	865	846	846	912	811	943	868
Koşum 3	854	888	937	939	902	884	858	832	845	847	937	848	922	843	875	851	886	880	907	849	882	867	880	855	843
Koşum 4	975	871	838	871	852	905	895	828	816	911	855	841	940	910	853	884	860	862	859	891	854	845	819	887	918
Koşum 5	836	888	813	880	866	859	902	856	954	867	887	875	881	837	869	922	881	925	882	822	882	878	873	857	922
Koşum 6	851	879	853	845	920	832	908	842	932	876	857	882	880	896	851	907	832	931	863	892	922	876	865	876	877
Koşum 7	852	874	888	883	906	903	890	831	867	846	828	901	862	824	885	866	899	902	881	885	906	884	834	852	897
Koşum 8	896	849	835	929	869	889	839	856	849	878	819	884	908	910	875	868	799	886	870	876	911	887	927	849	849
Koşum 9	977	864	830	880	848	852	883	883	883	888	893	876	911	879	885	892	857	818	890	901	811	841	856	913	848
Koşum 10	809	887	893	812	845	828	889	860	920	898	881	915	875	881	859	873	873	875	812	831	869	937	814	891	815

	Makine No																								
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Koşum 1	914	885	860	867	947	916	849	866	862	869	862	749	760	727	728	814	783	781	740	786	728	766	828	695	704
Koşum 2	915	890	852	963	851	962	820	855	865	887	759	821	761	751	756	742	767	893	718	753	796	770	772	698	717
Koşum 3	840	948	858	921	881	819	899	877	912	921	828	746	794	746	743	725	789	767	725	747	773	807	800	696	728
Koşum 4	866	833	829	878	847	879	933	854	950	868	836	771	762	731	781	745	779	753	805	765	812	746	774	712	657
Koşum 5	827	799	970	851	856	851	890	910	941	893	827	788	724	797	779	765	740	777	794	743	787	754	827	694	706
Koşum 6	903	857	838	836	850	872	940	846	891	878	867	820	749	744	735	783	760	760	773	747	791	766	794	696	686
Koşum 7	927	816	856	845	890	870	850	890	893	872	856	773	710	812	773	811	767	764	761	774	752	733	779	701	701
Koşum 8	920	852	869	843	876	831	884	946	944	886	869	761	735	775	781	806	775	757	753	754	780	770	758	710	671
Koşum 9	830	893	969	802	934	818	844	956	881	925	877	735	800	800	793	753	776	731	741	803	773	730	764	703	766
Koşum 10	880	857	905	799	914	885	916	864	849	991	832	758	841	665	792	751	745	788	744	765	819	783	805	667	716

EK-4.2 MAKINA VERIMLILIKLERI

50 adet DDM makinesine ait benzetim sonucu aşağıda verilmiştir.

Modele ait Verimlilik Sonuçları				
68,87	70,24	70,21	69,92	61,4
70,06	70,4	70,08	70,55	62,51
69,17	70,42	70,22	70,3	62,66
70,37	70,8	70,01	70,61	62,85
70,62	70,49	70,14	70,75	62,19
70,44	70,37	70,53	70,13	62,09
72,81	70,27	70,43	61,24	62,34
69,67	70,6	70,41	60,78	61,88
69,35	70,69	70,06	61,45	57,06
69,41	70,59	70,47	61,07	56,64

EK-5 DENEY SONUÇLARI

	Koşum 1	Koşum 2	Koşum 3	Koşum 4	Koşum 5	Koşum 6	Koşum 7	Koşum 8	Koşum 9	Koşum 10	Ortalama
Deney 01	738.671	738.232	738.544	735.129	738.554	737.178	735.401	736.976	739.503	734.533	737.272
Deney 02	744.653	745.377	746.278	745.664	745.912	744.007	746.239	745.625	745.123	745.227	745.411
Deney 03	916.563	909.513	917.501	902.116	910.162	899.464	910.403	916.212	913.446	909.692	910.507
Deney 04	921.617	919.250	918.555	921.092	916.311	919.099	928.046	924.572	923.050	925.651	921.724
Deney 05	873.570	875.202	870.091	872.112	879.331	871.484	867.226	879.465	869.763	869.896	872.814
Deney 06	883.657	894.576	893.258	883.516	893.938	878.142	867.647	883.599	878.767	881.901	883.900
Deney 07	916.563	909.513	917.501	902.116	910.162	899.464	910.403	916.212	913.446	909.692	910.507
Deney 08	921.617	919.250	918.555	921.092	916.311	919.099	928.046	924.572	923.050	925.651	921.724
Deney 09	768.125	766.606	765.181	767.299	766.220	763.102	767.647	766.782	765.598	765.450	766.201
Deney 10	774.864	775.342	778.796	772.446	779.496	776.167	774.414	774.223	774.969	777.006	775.772
Deney 11	914.176	915.491	919.313	916.910	918.867	929.306	917.808	912.335	917.656	905.441	916.730
Deney 12	930.209	932.696	940.776	928.736	922.552	931.552	918.849	934.028	930.231	930.563	930.019
Deney 13	888.767	882.472	882.111	885.556	884.465	876.695	885.614	878.805	881.116	885.157	883.076
Deney 14	894.909	892.199	888.039	890.703	900.056	895.552	894.165	888.170	897.338	897.589	893.872
Deney 15	914.176	915.491	919.313	916.910	918.867	929.306	917.808	912.335	917.656	905.441	916.730
Deney 16	930.209	932.696	940.776	928.736	922.552	931.552	918.849	934.028	930.231	930.563	930.019
Deney 17	767.515	772.157	769.454	766.924	772.739	770.438	769.423	771.322	773.360	777.389	771.072
Deney 18	778.044	778.446	781.895	781.182	780.964	777.535	780.017	780.040	781.779	781.538	780.144
Deney 19	1.139.114	1.141.531	1.129.924	1.141.958	1.154.304	1.143.341	1.138.626	1.128.500	1.127.056	1.144.174	1.138.853
Deney 20	1.163.390	1.153.401	1.162.115	1.165.597	1.166.385	1.163.409	1.161.766	1.162.054	1.161.740	1.160.475	1.162.033
Deney 21	1.100.331	1.109.949	1.100.692	1.092.137	1.096.293	1.102.447	1.095.572	1.098.574	1.097.033	1.101.311	1.099.434
Deney 22	1.121.245	1.117.928	1.114.412	1.121.359	1.109.976	1.108.654	1.120.953	1.117.030	1.107.034	1.123.567	1.116.216
Deney 23	1.139.114	1.141.531	1.129.924	1.141.958	1.154.304	1.143.341	1.138.626	1.128.500	1.127.056	1.144.174	1.138.853
Deney 24	1.163.390	1.153.401	1.162.115	1.165.597	1.166.385	1.163.409	1.161.766	1.162.054	1.161.740	1.160.475	1.162.033
Deney 25	795.529	794.291	797.929	793.064	798.583	796.474	796.667	798.283	795.120	797.700	796.364
Deney 26	806.500	810.011	807.686	805.191	807.006	805.166	807.415	807.809	807.670	804.720	806.917
Deney 27	1.160.778	1.158.993	1.151.992	1.157.079	1.152.156	1.156.767	1.158.890	1.160.024	1.166.120	1.152.675	1.157.547
Deney 28	1.174.160	1.179.421	1.178.398	1.171.647	1.171.472	1.179.491	1.168.333	1.189.487	1.173.261	1.185.542	1.177.121
Deney 29	1.116.358	1.113.034	1.117.251	1.106.108	1.111.108	1.115.506	1.121.906	1.111.987	1.115.804	1.118.174	1.114.724
Deney 30	1.122.934	1.146.312	1.135.613	1.122.596	1.128.650	1.133.435	1.132.683	1.135.727	1.134.430	1.132.199	1.132.458
Deney 31	1.160.778	1.158.993	1.151.992	1.157.079	1.152.156	1.156.767	1.158.890	1.160.024	1.166.120	1.152.675	1.157.547
Deney 32	1.174.160	1.179.421	1.178.398	1.171.647	1.171.472	1.179.491	1.168.333	1.189.487	1.173.261	1.185.542	1.177.121

EK-6 DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

EK6.1 Öneri-1 / Mevcut Sistem Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi 5,0%
Güvenilirlik Aralığı

Koşum No	Öneri-1	Mevcut	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	767.515	738671	28844,00	28844,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	772.157	738232	33925,00	31384,50	3592,810	-895,61	63664,61	Fark yok
3	769.454	738544	30910,00	31226,33	2555,228	24878,79	37573,87	S1>S2
4	766.924	735129	31795,00	31368,50	2105,621	28017,99	34719,01	S1>S2
5	772.739	738554	34185,00	31931,80	2216,250	29179,96	34683,64	S1>S2
6	770.438	737178	33260,00	32153,17	2055,099	29996,47	34309,86	S1>S2
7	769.423	735401	34022,00	32420,14	2004,609	30566,19	34274,10	S1>S2
8	771.322	736976	34346,00	32660,88	1976,869	31008,17	34313,58	S1>S2
9	773.360	739503	33857,00	32793,78	1891,686	31339,70	34247,86	S1>S2
10	777.389	734533	42856,00	33800,00	3647,698	31190,59	36409,41	S1>S2
Ortalama	771072,1	737272,1						
Fark		4,6%						

EK6.2 Öneri-2 / Mevcut Sistem Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi 5,0%
Güvenilirlik Aralığı

Koşum No	Öneri-2	Mevcut	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	768.125	738671	29454,00	29454,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	766.606	738232	28374,00	28914,00	763,675	22052,65	35775,35	S1>S2
3	765.181	738544	26637,00	28155,00	1421,212	24624,51	31685,49	S1>S2
4	767.299	735129	32170,00	29158,75	2318,754	25469,10	32848,40	S1>S2
5	766.220	738554	27666,00	28860,20	2116,158	26232,64	31487,76	S1>S2
6	763.102	737178	25924,00	28370,83	2240,397	26019,68	30721,99	S1>S2
7	767.647	735401	32246,00	28924,43	2515,569	26597,92	31250,94	S1>S2
8	766.782	736976	29806,00	29034,63	2349,728	27070,20	30999,05	S1>S2
9	765.598	739503	26095,00	28708,00	2406,496	26858,20	30557,80	S1>S2
10	765.450	734533	30917,00	28928,90	2373,968	27230,67	30627,13	S1>S2
Ortalama	766201	737272,1						
Fark		3,9%						

EK6.3 Öneri-3 / Mevcut Sistem Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi 5,0%
Güvenilirlik Aralığı

Koşum No	Öneri-3	Mevcut	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	873.570	738671	134899,00	134899,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	875.202	738232	136970,00	135934,50	1464,418	122777,22	149091,78	S1>S2
3	870.091	738544	131547,00	134472,00	2736,600	127673,91	141270,09	S1>S2
4	872.112	735129	136983,00	135099,75	2562,993	131021,46	139178,04	S1>S2
5	879.331	738554	140777,00	136235,20	3372,378	132047,84	140422,56	S1>S2
6	871.484	737178	134306,00	135913,67	3117,475	132642,08	139185,26	S1>S2
7	867.226	735401	131825,00	135329,57	3238,371	132334,58	138324,56	S1>S2
8	879.465	736976	142489,00	136224,50	3923,783	132944,14	139504,86	S1>S2
9	869.763	739503	130260,00	135561,78	4174,251	132353,16	138770,39	S1>S2
10	869.896	734533	135363,00	135541,90	3936,023	132726,24	138357,56	S1>S2
Ortalama	872814	737272,1						
Fark		18,4%						

EK6.4 Öneri-4 / Mevcut Sistem Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi 5,0%
Güvenilirlik Aralığı

Koşum No	Öneri-4	Mevcut	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	916.563	738671	177892,00	177892,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	909.513	738232	171281,00	174586,50	4674,683	132586,14	216586,86	S1>S2
3	917.501	738544	178957,00	176043,33	4158,536	165712,96	186373,71	S1>S2
4	902.116	735129	166987,00	173779,25	5659,792	164773,26	182785,24	S1>S2
5	910.162	738554	171608,00	173345,00	4996,779	167140,68	179549,32	S1>S2
6	899.464	737178	162286,00	171501,83	6352,780	164835,00	178168,67	S1>S2
7	910.403	735401	175002,00	172001,86	5948,250	166500,64	177503,07	S1>S2
8	916.212	736976	179236,00	172906,13	6071,965	167829,84	177982,41	S1>S2
9	913.446	739503	173943,00	173021,33	5690,309	168647,37	177395,29	S1>S2
10	909.692	734533	175159,00	173235,10	5407,296	169366,95	177103,25	S1>S2
Ortalama	910507,2	737272,1						
Fark		23,5%						

EK6.5 Öneri-5 / Mevcut Sistem Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi 5,0%
Güvenilirlik Aralığı

Koşum No	Öneri-5	Mevcut	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	744.653	738671	5982,00	5982,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	745.377	738232	7145,00	6563,50	822,365	-825,16	13952,16	Fark yok
3	746.278	738544	7734,00	6953,67	891,534	4738,97	9168,36	S1>S2
4	745.664	735129	10535,00	7849,00	1932,971	4773,21	10924,79	S1>S2
5	745.912	738554	7358,00	7750,80	1688,342	5654,45	9847,15	S1>S2
6	744.007	737178	6829,00	7597,17	1556,283	5963,95	9230,39	S1>S2
7	746.239	735401	10838,00	8060,14	1875,840	6325,28	9795,01	S1>S2
8	745.625	736976	8649,00	8133,75	1749,125	6671,44	9596,06	S1>S2
9	745.123	739503	5620,00	7854,44	1838,236	6441,45	9267,44	S1>S2
10	745.227	734533	10694,00	8138,40	1951,913	6742,09	9534,71	S1>S2
Ortalama	745410,5	737272,1						
Fark		1,1%						

EK6.6 Öneri-1 / Öneri-2 Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi 5,0%
Güvenilirlik Aralığı

Koşum No	Öneri-1	Öneri-2	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	767.515	768125	-610,00	-610,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	772.157	766606	5551,00	2470,50	4356,485	-36670,96	41611,96	Fark Yok
3	769.454	765181	4273,00	3071,33	3251,535	-5005,93	11148,59	Fark Yok
4	766.924	767299	-375,00	2209,75	3165,063	-2826,57	7246,07	Fark Yok
5	772.739	766220	6519,00	3071,60	3350,693	-1088,84	7232,04	Fark Yok
6	770.438	763102	7336,00	3782,33	3465,915	145,08	7419,59	S1>S2
7	769.423	767647	1776,00	3495,71	3253,541	486,69	6504,74	S1>S2
8	771.322	766782	4540,00	3626,25	3034,736	1089,15	6163,35	S1>S2
9	773.360	765598	7762,00	4085,78	3155,775	1660,03	6511,52	S1>S2
10	777.389	765450	11939,00	4871,10	3875,523	2098,72	7643,48	S1>S2
	771072,1	766201						
		4871,1						
		0,6%						

EK6.7 Öneri-1 / Öneri-3 Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi 5,0%
Güvenilirlik Aralığı

Koşum No	Öneri-1	Öneri-3	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	767.515	873570	-106055,00	-106055,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	772.157	875202	-103045,00	-104550,00	2128,391	-123672,84	-85427,16	S1<S2
3	769.454	870091	-100637,00	-103245,67	2714,568	-109989,03	-96502,31	S1<S2
4	766.924	872112	-105188,00	-103731,25	2419,866	-107581,80	-99880,70	S1<S2
5	772.739	879331	-106592,00	-104303,40	2455,319	-107352,08	-101254,72	S1<S2
6	770.438	871484	-101046,00	-103760,50	2567,356	-106454,77	-101066,23	S1<S2
7	769.423	867226	-97803,00	-102909,43	3250,080	-105915,25	-99903,61	S1<S2
8	771.322	879465	-108143,00	-103563,63	3532,393	-106516,78	-100610,47	S1<S2
9	773.360	869763	-96403,00	-102768,00	4076,181	-105901,23	-99634,77	S1<S2
10	777.389	869896	-92507,00	-101741,90	5029,704	-105339,93	-98143,87	S1<S2
Ortalama	771072,1	872814						
Fark		11,7%						

EK6.8 Öneri-1 / Öneri-4 Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi 5,0%
Güvenilirlik Aralığı

Koşum No	Öneri-1	Öneri-4	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	767.515	916563	-149048,00	-149048,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	772.157	909513	-137356,00	-143202,00	8267,492	-217482,47	-68921,53	S1<S2
3	769.454	917501	-148047,00	-144817,00	6480,771	-160916,13	-128717,87	S1<S2
4	766.924	902116	-135192,00	-142410,75	7152,651	-153792,21	-131029,29	S1<S2
5	772.739	910162	-137423,00	-141413,20	6583,756	-149588,01	-133238,39	S1<S2
6	770.438	899464	-129026,00	-139348,67	7762,117	-147494,51	-131202,82	S1<S2
7	769.423	910403	-140980,00	-139581,71	7112,587	-146159,76	-133003,67	S1<S2
8	771.322	916212	-144890,00	-140245,25	6847,200	-145969,65	-134520,85	S1<S2
9	773.360	913446	-140086,00	-140227,56	6405,189	-145151,02	-135304,09	S1<S2
10	777.389	909692	-132303,00	-139435,10	6538,181	-144112,23	-134757,97	S1<S2
Ortalama	771072,1	910507,2						
Fark		15,3%						

EK6.9 Öneri-1 / Öneri-5 Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi 5,0%
Güvenilirlik Aralığı

Koşum No	Öneri-1	Öneri-5	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	767.515	744653	22862,00	22862,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	772.157	745377	26780,00	24821,00	2770,444	-70,46	49712,46	Fark yok
3	769.454	746278	23176,00	24272,67	2177,083	18864,49	29680,84	S1>S2
4	766.924	745664	21260,00	23519,50	2329,986	19811,97	27227,03	S1>S2
5	772.739	745912	26827,00	24181,00	2501,906	21074,47	27287,53	S1>S2
6	770.438	744007	26431,00	24556,00	2418,962	22017,45	27094,55	S1>S2
7	769.423	746239	23184,00	24360,00	2268,273	22262,20	26457,80	S1>S2
8	771.322	745625	25697,00	24527,13	2152,556	22727,54	26326,71	S1>S2
9	773.360	745123	28237,00	24939,33	2362,954	23123,01	26755,66	S1>S2
10	777.389	745227	32162,00	25661,60	3190,588	23379,19	27944,01	S1>S2
Ortalama	771072,1	745410,5						
Fark		3,4%						

EK6.10 Öneri-2 / Öneri-3 Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi 5,0%
Güvenilirlik Aralığı

Koşum No	Öneri-2	Öneri-3	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	768.125	873570	-105445,00	-105445,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	766.606	875202	-108596,00	-107020,50	2228,093	-127039,13	-87001,87	S1<S2
3	765.181	870091	-104910,00	-106317,00	1991,717	-111264,70	-101369,30	S1<S2
4	767.299	872112	-104813,00	-105941,00	1791,683	-108791,97	-103090,03	S1<S2
5	766.220	879331	-113111,00	-107375,00	3562,215	-111798,07	-102951,93	S1<S2
6	763.102	871484	-108382,00	-107542,83	3212,555	-110914,20	-104171,46	S1<S2
7	767.647	867226	-99579,00	-106405,14	4202,476	-110291,78	-102518,50	S1<S2
8	766.782	879465	-112683,00	-107189,88	4479,315	-110934,68	-103445,07	S1<S2
9	765.598	869763	-104165,00	-106853,78	4309,627	-110166,45	-103541,11	S1<S2
10	765.450	869896	-104446,00	-106613,00	4133,881	-109570,20	-103655,80	S1<S2
Ortalama	766201	872814						
Fark		12,2%						

EK6.11 Öneri-2 / Öneri-4 Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi 5,0%
Güvenilirlik Aralığı

Koşum No	Öneri-2	Öneri-4	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	768.125	916563	-148438,00	-148438,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	766.606	909513	-142907,00	-145672,50	3911,008	-180811,51	-110533,49	S1<S2
3	765.181	917501	-152320,00	-147888,33	4730,512	-159639,58	-136137,09	S1<S2
4	767.299	902116	-134817,00	-144620,50	7591,669	-156700,54	-132540,46	S1<S2
5	766.220	910162	-143942,00	-144484,80	6581,576	-152656,91	-136312,69	S1<S2
6	763.102	899464	-136362,00	-143131,00	6756,505	-150221,52	-136040,48	S1<S2
7	767.647	910403	-142756,00	-143077,43	6169,446	-148783,21	-137371,64	S1<S2
8	766.782	916212	-149430,00	-143871,50	6137,509	-149002,59	-138740,41	S1<S2
9	765.598	913446	-147848,00	-144313,33	5892,142	-148842,43	-139784,23	S1<S2
10	765.450	909692	-144242,00	-144306,20	5555,211	-148280,16	-140332,24	S1<S2
Ortalama	766201	910507,2						
Fark		15,8%						

EK6.12 Öneri-2 / Öneri-5 Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi 5,0%
Güvenilirlik Aralığı

Koşum No	Öneri-2	Öneri-5	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	768.125	744653	23472,00	23472,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	766.606	745377	21229,00	22350,50	1586,041	8100,49	36600,51	S1>S2
3	765.181	746278	18903,00	21201,33	2284,626	15526,01	26876,66	S1>S2
4	767.299	745664	21635,00	21309,75	1877,949	18321,51	24297,99	S1>S2
5	766.220	745912	20308,00	21109,40	1686,926	19014,80	23204,00	S1>S2
6	763.102	744007	19095,00	20773,67	1718,394	18970,32	22577,01	S1>S2
7	767.647	746239	21408,00	20864,29	1586,888	19396,66	22331,91	S1>S2
8	766.782	745625	21157,00	20900,88	1472,813	19669,57	22132,18	S1>S2
9	765.598	745123	20475,00	20853,56	1384,985	19788,96	21918,15	S1>S2
10	765.450	745227	20223,00	20790,50	1320,914	19845,58	21735,42	S1>S2
Ortalama	766201	745410,5						
Fark		2,8%						

EK6.13 Öneri-3 / Öneri-4 Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi	5,0%
Güvenilirlik Aralığı	

Koşum No	Öneri-3	Öneri-4	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	873.570	916563	-42993,00	-42993,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	875.202	909513	-34311,00	-38652,00	6139,101	-93809,63	16505,63	Fark yok
3	870.091	917501	-47410,00	-41571,33	6664,218	-58126,17	-25016,50	S1<S2
4	872.112	902116	-30004,00	-38679,50	7940,949	-51315,32	-26043,68	S1<S2
5	879.331	910162	-30831,00	-37109,80	7720,997	-46696,68	-27522,92	S1<S2
6	871.484	899464	-27980,00	-35588,17	7847,499	-43823,61	-27352,72	S1<S2
7	867.226	910403	-43177,00	-36672,29	7716,642	-43808,99	-29535,58	S1<S2
8	879.465	916212	-36747,00	-36681,63	7144,271	-42654,39	-30708,86	S1<S2
9	869.763	913446	-43683,00	-37459,56	7078,638	-42900,68	-32018,43	S1<S2
10	869.896	909692	-39796,00	-37693,20	6714,578	-42496,52	-32889,88	S1<S2
Ortalama	872814	910507,2						
Fark		4,1%						

EK6.14 Öneri-3 / Öneri-5 Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi	5,0%
Güvenilirlik Aralığı	

Koşum No	Öneri-3	Öneri-5	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	873.570	744653	128917,00	128917,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	875.202	745377	129825,00	129371,00	642,053	123602,38	135139,62	S1>S2
3	870.091	746278	123813,00	127518,33	3240,870	119467,57	135569,10	S1>S2
4	872.112	745664	126448,00	127250,75	2699,734	122954,87	131546,63	S1>S2
5	879.331	745912	133419,00	128484,40	3616,059	123994,47	132974,33	S1>S2
6	871.484	744007	127477,00	128316,50	3260,345	124894,98	131738,02	S1>S2
7	867.226	746239	120987,00	127269,43	4066,044	123508,96	131029,89	S1>S2
8	879.465	745625	133840,00	128090,75	4423,511	124392,60	131788,90	S1>S2
9	869.763	745123	124640,00	127707,33	4294,717	124406,12	131008,55	S1>S2
10	869.896	745227	124669,00	127403,50	4161,531	124426,52	130380,48	S1>S2
Ortalama	872814	745410,5						
Fark		17,1%						

EK6.15 Öneri-4 / Öneri-5 Karşılaştırması

Güvenilirlik Seviyesi	5,0%
Güvenilirlik Aralığı	

Koşum No	Öneri-4	Öneri-5	Fark	Küm. Ort. Farkı	St. Sapma	Altt Sınır	Üst Sınır	Yorum
1	916.563	744653	171910,00	171910,00	n/a	n/a	n/a	n/a
2	909.513	745377	164136,00	168023,00	5497,048	118633,98	217412,02	S1>S2
3	917.501	746278	171223,00	169089,67	4303,731	158398,61	179780,73	S1>S2
4	902.116	745664	156452,00	165930,25	7230,195	154425,40	177435,10	S1>S2
5	910.162	745912	164250,00	165594,20	6306,460	157763,70	173424,70	S1>S2
6	899.464	744007	155457,00	163904,67	6996,020	156562,79	171246,54	S1>S2
7	910.403	746239	164164,00	163941,71	6387,215	158034,53	169848,90	S1>S2
8	916.212	745625	170587,00	164772,38	6363,051	159452,73	170092,02	S1>S2
9	913.446	745123	168323,00	165166,89	6068,619	160502,14	169831,64	S1>S2
10	909.692	745227	164465,00	165096,70	5725,853	161000,67	169192,73	S1>S2
Ortalama	910507,2	745410,5						
Fark		22,1%						

TEŞEKKÜR

Uludağ Üniversitesi Endüstri mühendisliği bölümünde yapmış olduğum yüksek lisans eğitimi boyunca; bilgi ve tecrübelerini paylaşan değerli hocalarıma;

Tez çalışmasında beni yönlendiren ve her türlü desteği veren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKANSEL' e;

Verilerin toplanmasında ve analizinde fikirlerini esirgemeyen iş arkadaşım Endüstri Mühendisi Sevil PAŞAOĞLU' na;

Son olarak;

Yoğun tez çalışması temposuna anlayışla yaklaşan ve desteğini her zaman veren eşim Özlem KIRBAŞ'a;

Yüksek lisansımı bitirmek için gerekli motivasyonumu varlığıyla sağlayan oğlum Yusuf Mete KIRBAŞ'a;

Teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

ÖZGEÇMİŞ

10.06.1974 yılında Akşehir/Konya'da doğdu. İlk ve ortaokul eğitimini Akşehir'de (1988), lise öğretimini Malatya Fen Lisesi' nde (1991) tamamladı. Aynı yıl Uludağ Üniversite Endüstri Mühendisliği bölümüne giren Kırbaş, bu bölümden 1995 yılında derece ile mezun oldu.

1995-1996 yılları arasında beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren Plamat Plastik AŞ.'de "Üretim Planlama Müdürü" olarak çalıştı.

1996-1998 yılları arasında Hava Kuvvetleri Komutanlığı'nda Asteğmen olarak askerlik görevini yerine getirdi.

1998-1999 yılları arasında Sabancı Holding'e bağlı Pilsa şirketinde üretim planlama bölümünde lojistik mühendisi olarak çalıştı.

1999 yılından beri Bosch AŞ.'de iş planlama mühendisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir.

Yalın üretim, verimlilik artırma teknikleri,metot ve zaman etütleri ve benzetim konuları ile ilgilenmektedir.