İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KANBAN ÜRETİM KONTROL SİSTEMİNİN DENEYSEL TASARIM TEKNİKLERİ İLE ANALİZİ VE BİR İŞLETMEYE UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
End. Müh. Abdullah ŞENYILMAZ
(507031100)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Prof.Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ahmet Fahri ÖZOK
Prof.Dr. Sıtkı GÖZLÜ

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Son yılların gözde üretim anlayışı olan "Yalın Üretim Sistemi" ile sistem performansı üzerinde etkisi olan parametrelerin yönetimi konusundan en güçlü analiz teknikleri olan "Deneysel Tasarım Tekniklerini" birlikte inceleyip bir Türk işletmesinde uygulamasını yaptığım bu çalışmamda beni yönlendiren ve her türlü desteğini bana sağlayan değerli hocam **Prof. Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU**'na içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Uygulamayı yaptığım Borusan Mannesmann Çelik Boru San. A.Ş.'de deneyimlerini ve desteğini çalışmam boyunca esirgemeyen Sayın **Koray KÖKEN**'e, uygulama sırasında kullandığım her türlü veriyi sağlayan ve motivasyon kaynağım Sayın **Sinem BAŞAK**'a, simülasyon çalışması sırasında değerli fikir ve önerilerini benimle paylaşan Sayın **Bülent SÖNMEZ**'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Saygılarımla

İstanbul, Mayıs 2006 Abdullah ŞENYILMAZ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR vii
TABLO LİSTESİ viii
ŞEKİL LİSTESİ ix
SEMBOL LİSTESİ xii
ÖZET xiv
SUMMARY xvi

1. GİRİŞ 1

2. YALIN ÜRETİM SİSTEMİ 2
2.1. Yalın Üretim Sisteminin Amaçları 3

3. KANBAN SİSTEMLERİ 5
3.1. Temel Kanban Çeşitleri 6
3.1.1. Üretim - Sipariş Kanbanı 7
3.1.2. Çekme Kanbanı 11
3.1.3. Parti Üretimleri için İşaret Kanbanı (Üçgen Kanban) 14
3.1.4. Satıcı Kanbanı 18
3.2. Kanban Sisteminin Uygulanması 19

4. CONWIP SİSTEMLERİ 22
4.1. CONWIP ile Kanban Sisteminin Karşılaştırılması 24
4.2. CONWIP Sisteminin Avantajları 25
4.2.1. CONWIP, kanbandan daha geneldir 25
4.2.2. CONWIP, çekme sisteminden daha etkindir 26

5. DENEYSEL TASARIM 29
5.1. Deneyin Amacı 29
5.2. Deneysel Tasarım 29
5.3. Deney Tasarım Parametreleri 32
5.4. Deneysel Tasarım Prensipleri 33
5.5. Deneysel Tasarım Adımları 36
5.6. Deneysel Tasarım Aşamaları 38
5.7. Deney Stratejileri 40
5.8. Deneysel Tasarım Yöntemleri 43
5.8.1. Tek Rassal Gruplu Tarihsel Parametre Kontrol Deney Tasarımları 43
5.8.2. Rassal Bağımsız Deney Tasarımları 43
5.8.3. Rassal Bloklar Deney Tasarımları 44
5.8.4. Latin Kare Deney Tasarımları 44

5.8.5. Faktöriyel Deney Tasarımları 45
5.8.6. Eksik Bloklu Deney Tasarımları 48
5.9. İç Tutarlılık ve Dış Tutarlılık (İç Geçerlilik ve Dış Geçerlilik) 49

6. LİTERATÜR TARAMASI 51
6.1. Kanban Üretim Sistemi Modellenmesi ile ilgili Literatür Taraması 51
6.1.1. Matematiksel Modeller 51
6.1.2. Kuyruk ve Markov Zinciri Modelleri 52
6.1.3. Simülasyon Bazlı Modelleri 53
6.1.4. Önceki Çalışmalarda Kullanılan Performans Göstergeleri 54
6.2. Kanban Sayısı ile ilgili Literatür Taraması 55
6.2.1. Tasarım Parametreleri 55
6.3. Kanban Sıralama Kuralları ile ilgili Literatür Taraması 68
6.4. Deneysel Tasarım ile ilgili Literatür Taraması 72

7. UYGULAMA MODELİ 80
7.1. Kanban Sayısı Modeli 80
7.1.1. Kullanılan Modeldeki Problemin Tanımı ve Amaçları 80
7.1.2. Kullanılan Modeldeki Kanban Sistemi 81
7.1.3. Kullanılan Modelin Formülasyonları 82
7.1.3.1. Notasyonlar 82
7.1.3.2. Varsayımlar 85
7.1.3.3. Üretim – stok sistemi arasındaki basit ilişkiler 85
7.1.3.4. Üretim zamanı 85
7.1.3.5. Çevrim zamanı 86
7.1.3.6. Son ürün miktarı yada yığın büyüklüğü 87
7.1.3.7. Hammadde tedarik büyüklüğü 87
7.1.3.8. Hammadde stok maliyeti 87
7.1.3.9. WIP stok maliyeti 88
7.1.3.10. Kanban Sayısı 89
7.1.3.11. Kanban Büyüklüğü 90
7.1.4. Modelin Alındığı Çalışmanın Literatür İçindeki Yeri 91
7.2. Deneysel Tasarım Modeli 92
7.2.1. Yarım-Kesirli 2^k Tasarımı 92
7.2.2. Tasarım Çözünürlüğü 96
7.2.3. Yarım Kesirleri Oluşturmak 97
7.2.4. Kesirleri Faktöriyellere Dönüştürme 98
7.2.5. Genel 2^{k-p} Kesirli Faktöriyel Tasarımlar 99
7.2.6. Kesirli Faktöriyelleri Bloklama 101

8. UYGULAMA 103
8.1. Uygulamanın Amacı 103
8.2. Uygulamada üretim sistemi neden CONWIP sistemi seçilmiştir? 103
8.3. Uygulamada kanban sıralama metodu neden FCFS seçilmiştir? 104
8.4. Uygulama Yeri Tanıtımı – Borusan Mannesmann Çelik Boru A.Ş 105
8.5. Uygulamada Kullanılan Ürün Grubu Tanıtımı – Silindir Borusu 107

8.6. Uygulamanın İş Akışı 109
8.7. Uygulama Deney Tasarım Modelinin Minitab'de Tanımlanması 115
8.7.1. Faktöriyel Deney Tasarımı 115
8.7.2. Faktöriyel Deney Faktörleri 116
8.7.3. Deney Faktörlerinin Seviyeleri 118
8.7.4. Deney Performans Göstergeleri 118
8.7.5. Faktöriyel Analiz Durumları 120
8.8. Uygulamada ki Varsayımlar 121
8.9. Değer Akış Haritalama 122
8.10. Kanban Sayısı ve Kanban Büyüklüğünün Belirlenmesi 124
8.10.1. Sipariş Maliyeti ($/sipariş) ($K_R$) 124
8.10.2. Hammadde Stok Maliyeti ($/ton yıl) ($H_R$) 125
8.10.3. Kanban Sayısı (kj) ve Kanban Büyüklüğünün hesaplanması 126
8.11. CONWIP Simülasyon Sonuçları 127
8.12. Deneysel Tasarım Analiz Sonuçları 130
8.12.1. Faktöriyel Tasarım Analizi 130
8.12.1.1. Ortalama WIP Göstergesi ile Deney Faktörleri ilişkisi 130
8.12.1.2. Ort. Kanban Har. Göstergesi ile Deney Faktörleri ilişkisi 132
8.12.1.3. Ort. Çıktı Miktarı Göstergesi ile Deney Faktörleri ilişkisi 133
8.12.1.4. Yoksatma Miktarı Göstergesi ile Deney Faktörleri ilişkisi 135
8.12.1.5. Yoksatma Sayısı Göstergesi ile Deney Faktörleri ilişkisi 136
8.12.1.6. Ort.Yoksatma Miktarı Göstergesi ile Deney Faktör ilişkisi 138
8.12.1.7. 2. KM Boşta Bekleme Göstergesi ile Deney Faktörleri ilişki 140
8.12.1.8. 6. KM Boşta Bekleme Göstergesi ile Deney Faktörleri ilişki 142
8.12.2. Esas Etki Analizleri 143
8.12.2.1. Ortalama WIP için Esas Etki Analizi 144
8.12.2.2. Ortalama Kanban Hareketi için Esas Etki Analizi 145
8.12.2.3. Ortalama Çıktı Miktarı için Esas Etki Analizi 146
8.12.2.4. Ortalama Yoksatma Miktarı için Esas Etki Analizi 147
8.12.2.5. Yoksatma Sayısı için Esas Etki Analizi 148
8.12.2.6. Ortalama Yoksatma Miktarı için Esas Etki Analizi 149
8.12.2.7. 2. KM Boşta Bekleme Süresi için Esas Etki Analizi 150
8.12.2.8. 6. KM Boşta Bekleme Süresi için Esas Etki Analizi 151
8.12.3. Faktörler Arası Etkileşim Analizleri 151
8.12.3.1. Ortalama WIP için Etkileşim Analizi 153
8.12.3.2. Ortalama Kanban Hareketi için Etkileşim Analizi 154
8.12.3.3. Ortalama Çıktı Miktarı için Etkileşim Analizi 155
8.12.3.4. Ortalama Yoksatma Miktarı için Etkileşim Analizi 156
8.12.3.5. Yoksatma Sayısı için Etkileşim Analizi 157
8.12.3.6. Ortalama Yoksatma Miktarı için Etkileşim Analizi 158
8.12.3.7. 2. KM Boşta Bekleme Süresi için Etkileşim Analizi 159
8.12.3.8. 6. KM Boşta Bekleme Süresi için Etkileşim Analizi 160

9. SONUÇLAR 161

10. KAYNAKLAR 164

EK A **178**
1. Minitab - Deneysel Tasarım Analizi 178
1.1. Faktöriyel Tasarım Oluşturma 178
1.2. Minitab – Grafik Analizleri 183

EK B – Simülasyon Verileri Dağılım Analizleri **190**
1. Sipariş Geliş Zamanları Dağılımı 190
2. Sipariş Miktarları Dağılımı 192
3. Makina Bazında Üretim Tonajı Rakamları (2004-2005) 193
4. Makina Bazında Ton/Brüt Vardiya Rakamları (2004-2005) 196
5. Makina Bazında Net Çalışma Oranları (2004-2005) 199
6. Makina Bazında Toplam Duruş Oranları (2004-2005) 202
7. Analiz Sonuçları 204

EK C – Anova Analizleri **205**
1. Ortalama WIP Miktarı 205
2. Ortalama Kanban Hareketi 208
3. Ortalama Çıktı Miktarı 211
4. Yoksatma Miktarı 214
5. Yoksatma Sayısı 217
6. Ortalama Yoksatma Miktarı 220
7. 2. KM Boşta Bekleme 223
8. 6. KM Boşta Bekleme 226

ÖZGEÇMİŞ **230**

KISALTMALAR

DOE	**:** Desing of Experiment (Deneysel Tasarım)
WIP	**:** Work-in-Process (Süreç İçi Stok)
JIT	**:** Just-in-Time (Tam Zamanında Üretim)
CONWIP	**:** Constant Work-in-Process (Sabit Süreç İçi Stok)
MRP	**:** Material Resource Planning (Malzeme Kaynak Planlaması)
MPS	**:** Master Production Scheduling (Aylık Ana Üretim Planına)
CADOK	**:** Computer Aided Determination of Kanbans
FCFS	**:** First-Come-First-Served (İlk Gelen İlk Hizmet Görür)
SPT	**:** Shortest Process Time (En Kısa İşlem Zamanı Olan)
HPF	**:** Higher Pull Frequency (Daha Yüksek Çekme Frekansı Olan)
LQ	**:** Longest Queue (En Uzun Kuyruk)
S/N	**:** Signal to Noise
BPN	**:** Yapay Sinir Ağı Modeli
AHP	**:** Analytical Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Prosesi)

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 5.1	Deney tasarım aşamaları	38
Tablo 6.1	Kanban Sayısı Literatürü Sınıflandırması	66
Tablo 6.2	Literatürde Taguchi tasarımını kullanan birkaç çalışma	73
Tablo 6.3	Deneysel tasarım teknikleri için yapılan literatür taraması	77
Tablo 7.1	Kanban Modeli Notasyon Tablosu	82
Tablo 7.2	Sarker ve Balan (1999) çalışmasına atıfta bulunmuş literatürün sınıflandırılması	91
Tablo 7.3	2^3 tasarım için artı ve eksi işaretleri	93
Tablo 7.4	2^3 tasarım için iki yarım kesir	98
Tablo 7.5	I = ABCD belirleyici ilişkili 2_{IV}^{4-1} tasarımı	98
Tablo 7.6	Seçilmiş 2^{k-p} kesirli faktöriyel tasarımlar	99
Tablo 7.7	Seçilmiş 2^{k-p} kesirli faktöriyel tasarımlar için bloklar	101
Tablo 8.1	Borusan Mannesmann sipariş maliyet analizi	125
Tablo 8.2	Borusan Mannesmann envanter maliyet analizi	126
Tablo 8.3	Kanban sayısı ve büyüklüğü analizi	127
Tablo 8.4	Log-normal dağılım için simülasyon sonuçları	128
Tablo 8.5	Normal dağılım için simülasyon sonuçları	129
Tablo 9.1	Mevcut çalışmada performans göstergelerini en iyileyen faktör koşulları	162

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 3.1	**:** Üretim Sipariş kanbanı	7
Şekil 3.2	**:** Üretim Sipariş kanbanı hareketi	8
Şekil 3.3	**:** Çekme kanbanı	11
Şekil 3.4	**:** Çekme kanbanı hareketi	12
Şekil 3.5	**:** Kullanılan Kanban Tipleri	14
Şekil 3.6	**:** Üçgen Kanbanı	15
Şekil 3.7	**:** Malzeme İstek Kanbanı	15
Şekil 3.8	**:** Malzeme ve sinyal kanbanlarının akışları	16
Şekil 3.9	**:** Parti içinde hammadde sipariş ve üretim sipariş sinyal kanbanları	18
Şekil 3.10	**:** Satıcı Kanbanı	19
Şekil 4.1	**:** CONWIP Kontrolü	22
Şekil 5.1	**:** Parametre Sınıfları	33
Şekil 5.2	**:** Golf örneği için bir kerede bir faktör stratejisinin sonuçları …	42
Şekil 5.3	**:** Golf deneyi için sopa tipi ile içki tipi arasındaki etkileşim …..	42
Şekil 5.4	**:** İçki tipi ile top tipini içeren iki-faktörlü faktöriyel deney ……	46
Şekil 5.5	**:** Sopa tipi, top tipi, ve içki tipini içeren üç-faktörlü faktöriyel deney	46
Şekil 5.6	**:** Sopa tipi, top tipi, içki tipi ve taşıma şeklini içeren dört faktörlü faktöriyel deney	47
Şekil 5.7	**:** Sopa tipi, top tipi, içki tipi ve taşıma şeklini içeren dört-faktörlü kesirli deney	48
Şekil 7.1	**:** Hammadde, WIP ve son ürünün stok seviyelerindeki değişim	84
Şekil 7.2	**:** Modelin alındığı çalışmanın literatür içindeki yeri	92
Şekil 7.3	**:** ABD ile örtüşen iki bloklu 2_{IV}^{6-2} tasarımı	101
Şekil 8.1	**:** Borusan Mannesmann Çelik Boru A.Ş. fabrikalarının yerleşim yerleri	106
Şekil 8.2	**:** 2004-2005 silindir borusu satış grafiği	108
Şekil 8.3	**:** Silindir borusu için gerekli hammaddenin üretim akışı	109
Şekil 8.4	**:** Çelik band dilme bıçağı modeli	110
Şekil 8.5	**:** Dilme Makinası	110
Şekil 8.6	**:** Çelik band haddeleme modeli	111
Şekil 8.7	**:** DKP Havuzu	111
Şekil 8.8	**:** Hadde Makinası	112
Şekil 8.9	**:** Band Tav Fırınları	112
Şekil 8.10	**:** SKP Makinası	113

Şekil 8.11 **:** 2. Dilme Makinası 113
Şekil 8.12 **:** Boru Kaynak Makinası 114
Şekil 8.13 **:** Paketlenmiş nihai boru 114
Şekil 8.14 **:** Faktöriyel deneysel tasarım modeli seçme Minitab ekranı 115
Şekil 8.15 **:** Faktöriyel deneysel tasarım modeli görüntüsü Minitab ekranı 116
Şekil 8.16 **:** Faktöriyel deneysel tasarım modeli faktörlerini seçme Minitab ekranı 117
Şekil 8.17 **:** Faktör seviyelerinin tanımlandığı Minitab ekranı 118
Şekil 8.18 **:** Performans göstergelerinin tanımlandığı Minitab ekranı 119
Şekil 8.19 **:** Faktöryel analiz durumlarının tanımlandığı Minitab ekranı 120
Şekil 8.20 **:** Mevcut Durum Değer Akış Haritası 122
Şekil 8.21 **:** CONWIP alanları 123
Şekil 8.22 **:** Tasarlanan CONWIP kontrollü üretim sistemi 124
Şekil 8.23 **:** Ortalama WIP için Normal Effects Plot Grafiği …….. 130
Şekil 8.24 **:** Ortalama WIP için Pareto Effects Plot Grafiği 131
Şekil 8.25 **:** Ortalama Kanban Hareketi için Normal Effects Plot Grafiği 132
Şekil 8.26 **:** Ortalama Kanban Hareketi için Pareto Effects Plot Grafiği … 132
Şekil 8.27 **:** Ortalama Çıktı Miktarı için Normal Effects Plot Grafiği 133
Şekil 8.28 **:** Ortalama Çıktı Miktarı için Pareto Effects Plot Grafiği 134
Şekil 8.29 **:** Yoksatma Miktarı için Normal Effects Plot Grafiği 135
Şekil 8.30 **:** Yoksatma Miktarı için Pareto Effects Plot Grafiği 135
Şekil 8.31 **:** Yoksatma Sayısı için Normal Effects Plot Grafiği 136
Şekil 8.32 **:** Yoksatma Sayısı için Pareto Effects Plot Grafiği 137
Şekil 8.33 **:** Ortalama Yoksatma için Normal Effects Plot Grafiği 138
Şekil 8.34 **:** Ortalama Yoksatma için Pareto Effects Plot Grafiği 139
Şekil 8.35 **:** 2. Kaynak Mak. Boşta Bekleme için Normal Effects Plot Grafiği 140
Şekil 8.36 **:** 2. Kaynak Mak. Boşta Bekleme için Pareto Effects Plot Grafiği 141
Şekil 8.37 **:** 6. Kaynak Mak. Boşta Bekleme için Normal Effects Plot Grafiği 142
Şekil 8.38 **:** 6. Kaynak Mak. Boşta Bekleme için Pareto Effects Plot Grafiği 143
Şekil 8.39 **:** Ortalama WIP için Main Effects Plot Grafiği 144
Şekil 8.40 **:** Ortalama Kanban Hareketi için Main Effects Plot Grafiği … 145
Şekil 8.41 **:** Ortalama Çıktı Miktarı için Main Effects Plot Grafiği 146
Şekil 8.42 **:** Yoksatma Miktarı için Main Effects Plot Grafiği 147
Şekil 8.43 **:** Yoksatma Sayısı için Main Effects Plot Grafiği 148
Şekil 8.44 **:** Ortalama Yoksatma Miktarı için Main Effects Plot Grafiği … 149
Şekil 8.45 **:** KM 2 Ortalama Boşta Bekleme Main Effects Plot Grafiği …. 150
Şekil 8.46 **:** KM 6 Ortalama Boşta Bekleme Main Effects Plot Grafiği …. 151
Şekil 8.47 **:** Ortalama WIP için Interaction Plot Grafiği 153
Şekil 8.48 **:** Ortalama Kanban Hareketi için Interaction Plot Grafiği 154
Şekil 8.49 **:** Ortalama Çıktı Miktarı için Interaction Plot Grafiği 155
Şekil 8.50 **:** Yoksatma Miktarı için Interaction Plot Grafiği 156
Şekil 8.51 **:** Yoksatma Sayısı için Interaction Plot Grafiği 157

Şekil 8.52 **:** Ortalama Yoksatma Miktarı için Interaction Plot Grafiği 158
Şekil 8.53 **:** KM 2 Ortalama Boşta Bekleme için Interaction Plot Grafiği .. 159
Şekil 8.54 **:** KM 6 Ortalama Boşta Bekleme için Interaction Plot Grafiği .. 160

SEMBOL LİSTESİ

α_j : *j.* WIP alanında, WIP stoğu tutma maliyeti H_j'nin hammadde tutma maliyeti H_R'ye oranı; $\alpha_j = H_j/H_R$

β_j : *j.* WIP alanında, kanban çekme maliyeti W_j'nin hammadde sipariş maliyeti K_R'ye oranı; $\beta_j = W_j/K_R$

C^* : Minimum konteynır büyüklüğü (birim ürün)

D_0 : *t=0* anındaki talep miktarı (birim ürün)

D_i : *i.* periyot sonundaki talep (birim ürün)

D_F : Periyot sonundaki bitmiş ürün talebi (birim ürün/çevrim)

$D(t)$: *t* anındaki bitmiş ürün talep oranı (birim ürün/birim zaman)

H_F : Bitmiş ürün elde tutma maliyeti ($/birim ürün/birim zaman)

H_j : *j.* WIP alanındaki WIP stoğu tutma maliyeti ($/birim ürün/birim zaman)

H_R : Hammadde tutma maliyeti ($/birim ürün/birim zaman)

I_{avg} : Ortalama hammadde stoğu (birim ürün)

k_j : *j.* kanban aşamasındaki (WIP alanı) kanban sayısı

K_R : Hammadde sipariş maliyeti ($/sipariş)

K_F : Üretim hazırlık maliyeti ($/yığın)

L : Termin zamanı (birim zaman)

M : Son istasyondan tam karşılanmış nihai ürün sevkiyat sayısı

N : Üretim hattındaki WIP alan sayısı

N : Hammadde sipariş sayısı

P : Herbir birim zaman başına üretimdeki değişim (artış) oranı

P_i : *i.* hammadde siparişindeki üretim miktarı (*t* anındaki miktar), $i = 1,2,...,n$

P_0 : *t=0* anındaki üretim oranı (birim ürün)

$P(t)$: *t* anındaki üretim oranı (birim ürün/birim zaman)

Q : Matris
$[Q^q_{s,kj}]$; üretim hattındaki herhangi $j=q$ üretim aşamasındaki maksimum kanban sayısının k_q olduğu *j.* aşamadaki toplam k_j yığınlarının *s.* sevkiyatlarındaki sevk miktarıdır. $s = 1,2,...,kj$; $1 \le k_j \le k_q$; $j = 1,...,N$

Q_{avg} : Ortalama son ürün stok miktarı (birim ürün)

Q_F : Yığın başına üretilen bitmiş ürün miktarı (birim ürün / çevrim yada yığın)

Q_R : Sipariş edilen hammadde (birim ürün / çevrim)

$Q_{s,K}$: Tek bir aşamadaki *s.* sevkiyatında ki sevk miktarı (birim ürün) $(s = 1,..,K)$

$Q^j_{s,kj}$: *j.* kanban aşamasındaki *s.* sevkiyatında ki sevk miktarı (birim ürün) $(s = 1,..,K)$

T : Çevrim zamanı (birim zaman)

T_1 **:** Üretim periyodu (birim zaman)
W_{avg} **:** Ortalama WIP stoğu (birim ürün)
W_j **:** *j.* aşamasında kanban maliyeti ($/kanban)
Ω **:** Son ürünün talebindeki (artış) değişim oranı (birim ürün/birim zaman)

KANBAN ÜRETİM KONTROL SİSTEMİNİN DENEYSEL TASARIM TEKNİKLERİ İLE ANALİZİ VE BİR İŞLETMEYE UYGULANMASI

ÖZET

Günümüzde uluslar arası rekabet hızla büyümektedir. Bu rekabet şartlarında var olabilmenin ön koşulu daima en önde koşabilmektir. Bunun için de çağın dinamik yapısına ayak uydurmak, değişiklik ve yeniliklere açık olmak gereklidir. Firmalar bu yüzden yeni sistemleri, teknikleri ve teknolojileri bünyelerine adapte etmek zorundadırlar. Aksi takdirde yarışta gerilerde kalmaya mahkum olurlar. Bu gerçeklerden yola çıkılarak ilk önce Japonya'daki Toyota otomobil fabrikasında uygulanan ve sonraları dünyadaki diğer firmalara da yayılan "Yalın Üretim Sistemi" geliştirilmiştir. Sürekli gelişmeyi ve israfı ortadan kaldırmayı hedefleyen bu sistem sadece üretim sektöründe değil aynı zamanda hizmet sektöründe de uygulanmaktadır.

Sanayi kuruluşlarının temel amaçları şüphesiz karlılıktır. Karlılığın uzun vadede artırılabilmesi için mutlaka rekabet edebilirlilik ile ilgili hedeflere yönelmek gerekmektedir. Rekabet edebilirliği etkileyen birçok unsur vardır. Bunlar arasında en önemlisi ürün ve hizmetlerin kalitesidir. Kaliteye bütün dünyada gün geçtikçe artan bir yönelim görülmekte ve tüketicilerin kalite ile ilgili beklentileri giderek artmaktadır. Diğer taraftan üreticilerin kalite ile ilgili görüş ve düşüncelerinde önemli değişiklikler olmuştur. Artık sadece bitmiş ürünün kalitesine önem vermek yerine, üretim sürecinin her aşamasında kaliteyi elde etmenin önemli olduğu anlaşılmıştır. Ürün ve süreç yönetimini etki eden parametrelerin kontrol altında

tutulması, sapmalarının yönetilmesi ve optimizasyonu için son zamanlarda oldukça popüler olan deneysel tasarım teknikleri geliştirilmiş ve uygulanmaktadır.

Bu çalışma yalın üretim sistemi ile deneysel tasarım tekniklerini bir arada kullanmayı amaçlamaktadır. Çalışma temelde 9 bölümde oluşmaktadır.

1. bölümde yalın üretim sistemi ve deneysel tasarım tekniklerinin günümüz üretim ve ekonomi dünyası için önemlerinden bahsedilmiştir.

2. bölümde yalın üretim sistemi, 3. bölümde kanban sistemleri, 4. bölümde uygulamanın da konusu olacak CONWIP kontrollü üretim sistemi ve 5. bölümde de deneysel tasarım teknikleri hakkında bilgi verilmiştir.

6. bölümde kanban kontrollü üretim sistemleri ve deneysel tasarım teknikleri ile ilgili literatür taraması yapılmış uygulamaya ışık tutulmaya çalışılmıştır.

7. bölümde ayrı ayrı hem kanban kontrollü üretim sistemi için hem de deneysel tasarım tekniği için modeller anlatılmış ve bu modellerden yola çıkılarak uygulama için model geliştirilmiştir.

8. bölümde uygulama, 9. bölümde de uygulama sonuçları anlatılmıştır.

ANALYSIS OF KANBAN PRODUCTION CONTROLLED SYSTEM WITH DESIGN OF EXPERIMENT TECHNIQUES AND APPLYING INTO AN INDUSTRIAL PLANT

SUMMARY

Nowadays, international competition is quickly becoming more merciless and getting high levels. Under these competition conditions, only term to be existing and sustain this existence is running ahead always. In order gain a sustainable competitive advantage over the rivals, organizations need to be open to new changes, innovations and challenges. Thus; business organizations should absorb these new organizational systems, techniques and technologies into their structures. Contrarily, they unlikely become far away from current competition if they don't accept. By the light of these truths, "Lean Production System" has been developed, which was firstly applied in Japanese Toyota automobile plants then has been spread all over the world. By aiming continuous development and removing all system wastes, this system isn't applied only in production environments but also in service environments.

For industrial organizations, the only aim is to be more profitable. In order to become more profitable organization for a long-term, it's needed to turn towards competitive organizations targets. There are many factors that affect to compete. The most important one among these is quality of products and services. The quality expectation of customers is differentiating and getting radical changes. No more main concerns are about only finished goods. Quality at every production steps becomes more important than any time. Controlling the parameters affecting

the products and processes, managing and optimizing deviations of these parameters is possible to sustain by using "Design of Experiments - DoE" techniques which are becoming more popular in nowadays.

In this paper, it's aimed to focus on both lean production system and design of experiment techniques. Paper is built on 9 main sections.

In 1st section, the importance of lean manufacturing and DoE for today's production and economic world is explained.

In 2nd section lean production system, in 3rd section kanban system, in 4th section CONWIP production system that is important for this paper, and in 5th section DoE techniques are mentioned.

In 6th section, a literature analysis about kanban control production systems and DoE techniques is performed.

In 7th section, two models are presented for about kanban control production systems and DoE techniques, and then it's tried to develop a model for application study.

In 8th section, industrial practice is presented and in 9th section the results and findings of this practice are shared.

1. GİRİŞ

Günümüzde uluslar arası rekabet hızla büyümektedir. Bu rekabet şartlarında var olabilmenin ön koşulu daima en önde koşabilmektir. Bunun için de çağın dinamik yapısına ayak uydurmak, değişiklik ve yeniliklere açık olmak gereklidir. Firmalar bu yüzden yeni sistemleri, teknikleri ve teknolojileri bünyelerine adapte etmek zorundadırlar. Aksi takdirde yarışta gerilerde kalmaya mahkum olurlar.

Son yıllarda yalın üretim sistemi oldukça önem kazanan bir üretim tekniği olmuştur. Felsefenin hedefleri; *israfı ortadan kaldırmak*, *kaliteyi geliştirmek*, *verimliliği arttırmak, ürünlerde ve üretim sürecinde sürekli gelişmeyi* sağlamaktır. Yalın üretim sistemleri, ancak müşteri, işletme ve satıcı zincirinin tamamında uygulanmasıyla başarılı olabilir. Bu yüzden klasik bir işletme ortamından yalın üretim ortamına geçiş uzun ve sancılı bir dönüşüm süreci gerektirir, bu süreç için gerekli olan makro ve mikro alt yapının sağlamlığının önemli bir faktör olduğu söylenebilir.

Yeni ürünlerin geliştirilmesinden pazara sunumuna kadar geçen süre gün geçtikçe kısalmaktadır. Kompleks hale gelen ürün ve süreç tasarımları gibi durumlar söz konusu olduğunda; tüm parametreleri dikkate alan ürün ve proses geliştirme süreçlerinin oluşturulması ve uygun kalite düzeyi, kısa teslimat süresi ve düşük maliyet bileşenlerinin sağlanması gerekmektedir. Deneysel tasarım analizleri, *ürün ve süreç tasarımları*, *üretim süreçlerinin geliştirilmesi* ve *iyileştirilmesi* gibi alanlarda önemli rol oynamaktadır. Deney tasarımı metodunun ana hedefi; zaman ve maliyet gerektiren optimizasyon problemlerine etki eden parametreler ile ilgili bilgilerin istatistiksel teknikler kullanılarak minimize edilmesidir.

Sonuç olarak yalın üretim ve deneysel tasarımın çağdaş ekonomide çok önemli iki konu başlığı olduğunu söylemek yerinde olacaktır.

2. YALIN ÜRETİM SİSTEMİ

Yalın üretim sistemi, dar anlamı ile gerekli zamanda, gerekli yerde, yalnızca gerekli malzemeyi bulundurmayı amaç edinen malzeme hareketi ve iletimidir. Geniş anlamıyla ise yalın üretim sistemi, gerekli malzeme hareketini tam zamanında yapan bütün imalat faaliyetlerini kapsar.

Felsefenin hedefleri; israfı ortadan kaldırmak, kaliteyi geliştirmek, verimliliği arttırmak, ürünlerde ve üretim sürecinde sürekli gelişmeyi sağlamaktır. Buna göre: "Yalın Üretim; israfı sürekli olarak ortadan kaldırmaya dayalı, mükemmelliğe ulaşmaya yönelik bir yaklaşımdır" **(Emre, 1995)**. Bu tanım malzeme hareketlerinin tam zamanında yapılmasına engel olan tüm problemlerin tanınması ve ortadan kaldırılmasına dikkatleri yoğunlaştırmıştır.

Genellikle yalın üretimin ne olduğu sorusuna verilen cevaplar bu sistemin bir Kanban sistemi olduğu ya da stoksuz üretim anlamına geldiği yolundadır. Toyota Üretim Sisteminin tam tarifini yapmak gerekirse israfların (mudaların) tamamen ortadan kaldırılmasını amaçlayan bir sistemdir. Bu bakış açısından bakıldığında ise bir üretim siteminin ötesinde bir felsefe olduğu da söylenebilir

Muda Japonca da israf demektir. Yalın üretim terminolojisi açısından muda ürün üzerinde katma değer yaratmayan tüm faaliyetlerdir. Mudayı iki tipte tanımlamak mümkündür:

- Ürün üzerinde değer yaratmamasına rağmen, mevcut teknolojiler ve üretim varlıkları nedeniyle kaçınılmaz olan mudalar. (Kaliteyi sağlamak için muayene yapmak)
- Hiçbir değer yaratmayan ve hemen kaldırılabilen mudalar.

Ohno bir üretim sisteminde 7 tür muda olduğunu saptamıştır. Bu mudalar:

1. Üretim fazlası
2. Ölü zamanlar
3. Nakliye ve gereksiz bakım
4. Gereksiz ya da uygun olmayan çalışma süreçleri
5. Stok fazlası
6. Gereksiz hareketler
7. Hatalı parça üretilmesi

Yalın üretimin kritik başlangıç noktası değerdir ve değer ancak nihai müşteri tarafından tanımlanabilir. Değer tanımının anlamlı olabilmesi için, müşterinin ihtiyaçlarını belli bir zamanda belli fiyattan karşılayan belli bir ürün (mal, hizmet ya da sıklıkla ikisinin birleşimi) cinsinden ifade edilmesi gerekir.

2.1. Yalın Üretim Sisteminin Amaçları

Yalın üretim sistemi felsefesinin temelinde, üretimin tüm aşamalarında israfın önlenerek maliyetlerin azaltılması hedefi yer alır. Bir işletmede ancak tüm israfın önlenebildiği noktada yalın üretim gerçekleşecektir. Yalın üretim felsefesi ürünün değerini arttırmayan tüm unsurları israf olarak tanımlamıştır. Bu bağlamda üretimin her aşamasındaki stoklar (hammadde, ara mamul, mal stokları) ile kalitesizlik (satın alınan veya imal edilen parça ve mamullerde hatalar) en temel israf unsurları olarak belirlenmiştir. Bu nedenle;

- Sıfır stok
- Sıfır hata

Bu hedeflere ulaşmak pratik olarak mümkün olmadığından, burada önemli olan, bu iki hedef doğrultusunda sürekli gelişme çabalarını yoğunlaştırmak ve bu yolla israfı önleyip, maliyetleri azaltabilmektir. Bu noktada, yalın üretim sistemlerinin temel hedefinin diğer üretim sistemlerinin temel hedefinden farklı olmadığı görülmektedir.

Ancak yalın üretim felsefesini diğer klasik sistemlerden ayıran farklı ve yeni olan taraf, bu felsefenin, üretim ortamındaki problemleri kapatmak ve olumsuz etkilerini azaltmaya çalışmak yerine, problemlerin temeline inerek çözümlemek için sürekli çaba harcamayı özendiriyor olmasıdır.

Çağımızda yalnızca ürün değil beraberinde kalite de üretilip satılmaktadır. Yalın üretim ve kalite kavram olarak birbirlerinin tamamlayıcısıdır. Yalın üretim sisteminin başarısı yüksek kalitede malzeme teminine bağlıdır. Başka bir deyişle kalite yalın üretim sistemini mümkün kılmaktadır.

3. KANBAN SİSTEMLERİ

Yalın üretim uygulamalarında en zor ve en son aşama kanban sisteminin kurulmasıdır. Genelde aşamalı olarak gerçekleştirilecek bu çalışmalarda, öncelikle seçilecek atölyelerde "ortaklığı çok, kritikliği az" olan parçalar bazında kanban uygulamalarının başlatılması gerekmektedir. Ancak kanban sistemine geçmeden evvel; işletmelerde alt yapının hazırlanması ve çekme sistemi için gerekli çalışmaların tamamlanması çok önemlidir. Bu kapsamda yapılacak en önemli çalışma ise kafile büyüklüklerinin azaltılması ve bu amaçla hazırlık zamanlarının ve ön sürelerin kısaltılmasıdır.

Yalın üretim felsefesinin ve çekme mekanizmasının en önemli özelliklerinden biri kanban sistemidir. Kanban, Japonca'da "görsel kayıt" yada "kart" anlamına gelen bir kelimedir. Kanban sisteminde, kartlar belirlenen malzemelerin üretim ve taşımalarını yönlendirmek için kullanılırlar. Bu sistem, yalın üretim felsefesinin bilgi işleme bundan dolayı da üretim kontrol sistemidir. Kanbanlar parçaların çekimi sırasında kullanılırken, ayrıca süreç içi stok seviyelerinin görselleştirilmesi ve kontrol altında tutulması içinde kullanılırlar. Bu sistem süreç içi stok seviyesini etkin bir şekilde sınırlandırır ve ardışık üretim birimleri arasındaki üretim ve taşıma işlerini koordine eder.

Kanban sistemi, ya çift kartlı yada tek kartlı bir sistemdir. Çift kartlı kanban sistemi temel olarak iki çeşit kanban kartı kullanır: üretim kanbanı ve taşıma (nakil yada çekme) kanbanı. Bir çekme kanbanı, sonraki üretim aşamasının kendisinden önceki üretim aşamasından çekebileceği üretim miktarını tanımlar. Diğer taraftan bir üretim kanbanı ise, çekilen miktarın yerine konulabilmesi için ilgili parçadan ne kadar üretilmesi gerektiği tanımlayan karttır **(Groenevelt, 1993)**. Çift kartlı kanban

sistemi, üretim sisteminin tasarımı, üretimin düzgünleştirilmesi ve operasyonların standartlaşması gibi kendine has net varsayımları ve ön gereksinimleri yüzünden güçlü bir üretim kontrolü sağlamasına rağmen uygulanması zor bir sistemdir. Bu yüzden benzer bir sistem olan tek kartlı sistem çift kartlı kanban sistemine geçilmek için ilk adım olarak uygulanabilir. Tek kartlı kanban sistemlerinde, malzemelerin çekilmesi işlemi çekme kanbanları ile kontrol edilmeye devam edilmelidir. Ancak, kanbanlar yerine merkezi bir planlama tarafından yapılan üretim planları, üretim hücrelerinin üretimlerinin kontrol edilmesi için kullanılır. Parçaların hareketinin koordine edilmesi için çekme unsurlarının yanında merkezi üretim planları ile üretimin kontrol edilmesi yönü ile geleneksel itme sistemine benzer. Tek kartlı çekme-itme sisteminin avantajlarından bir tanesi uygulamasının kolay olmasıdır. Bunun yanında, talep ile ilgili tüm bilgiler tüm üretim birimlerine gönderilir. Tek kartlı kanban sistemi çift kartlı sistem ile karşılaştırıldığında daha kısa bilgi çevrim zamanına sahiptir. Diğer taraftan, tek kartlı kanban sistemi ardışık üretim sistemleri birbirlerine fiziksel olarak çok yakınsa da kullanılabilirler. Bu durumda, çekme kanbanı elimine edilir, konteynırlar gerekli olduğu zaman hareket ettirilirler. Sadece üretim kanbanları kullanılır.

Kanban sistemi anlık yada sürekli bir sistem olabilir. Anlık sistemlerde, kanbanlar bir sipariş oluşur oluşmaz önceki üretim birimine gönderilir. Sürekli sistemlerde, kanbanlar toplanır ve belli periyotlarda üretim akışına ters olarak hareket ettirilirler. Sürekli sistemler, ya değişken çekme çevrimli sabit miktarlı yada sabit çekme çevrimli değişken miktarlı olabilir **(Monden, 1993)**. Değişken çekme çevrimli sabit miktarlı sistemde kanbanlar, kanban sayısı önceden belirlenmiş sipariş noktasına ulaştığında önceki üretim birimlerine doğru hareket ettirilir. Sabit çekme çevrimli değişken miktarlı sistemde malzeme elleçleme operasyonları arası zaman sabittir ve sipariş edilen miktar çekme çevrimine bağlıdır.

3.1. Temel Kanban Çeşitleri

Kanban, plastik bir koruyucu içinde muhafaza edilen bir karttır. Kanbanlar fiziksel birimlerle birlikte hareket eden, daima üretimin akışına ters yönde, son prosesten ilk

prosese doğru hareket ederek üretim aşamalarını birbirine bağlar. İki iş istasyonu arasındaki akışın kontrolünde iki kart ve küçük arabalar kullanılır. Bu kartlardan birincisi: belirli bir istasyonunun üretmesi gereken parça miktarını belirleyen Üretim Sipariş Kanbanı; ikincisi ise prosesler arasındaki bağlantıyı sağlayan ve çekme kanbanı olarak da adlandırabileceğimiz Çekme Kanbanıdır.

3.1.1. Üretim - Sipariş Kanbanı

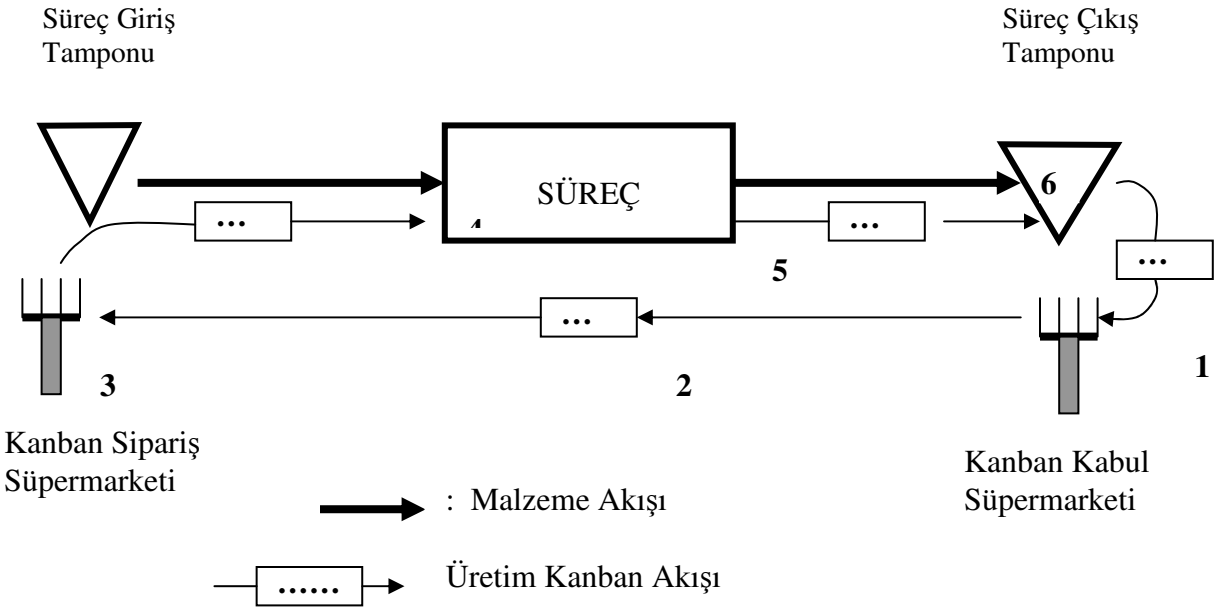
Proses içi kanban olup belirli bir proses içinde üretim kontrolünü sağlar. Bir önceki istasyonun üretmesi gereken parça cinsi ve miktarını belirleyen üretim sipariş kanbanı sadece üretim kanbanı olarak da tanımlanmaktadır. Şekil 3.1'de üretim sipariş kanbanı gösterilmektedir.

Stok Raf No : F26 - 18	Parça Arka No: A5-34	Operasyon
Parça No : 56790-321		Talaşlı
Parça Adı : Krank Mili		İmalat
Araba Tipi : Sx50BC -150		SB-8

Şekil 3.1 : Üretim Sipariş kanbanı **(Acar, 1999)**

Şekilde verilen üretim-sipariş kanbanı; SB-8 No'lu Talaşlı imalat operasyonunun S*50BC-150 kodlu araba tipi için krank mili üreteceğini göstermektedir. Ayrıca üretilen krank milinin F26-18 No'lu stok rafına yerleştirileceği belirtilmektedir.

Kanban kontrollü bir üretim sisteminde üretim kanbanlarının hareketi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Üretim Sipariş kanbanı hareketi

Bir üretim kanbanı, daha önceden belirtilmiş miktarda parçanın üretilmesi için süreç giriş tampon bölgesinden gelen parçalar ile birlikte süreç çıkış tampon bölgesine giden kanbandır. Değinilmesi gereken diğer konu, eğer süreç tek makinadan oluşan bir üretim süreci ise, klasik anlamda tek makinalı üretim kanban ortamından bahsedebiliriz. Eğer birden fazla makinayı kapsayan bir ortam söz konusu ise CONWIP yapısından bahsetmemiz gerekir.

Her bir süreç ve her bir ürün için gerekli olan kanban sayısını belirlemek için son tampon bölgesinde tutmak istediğimiz ara stok miktarını hesaplamak zorundayız. Bu ara stok miktarı, bir üretim kanbanına karşılık önceki istasyonun çekme kanbanını üretmesi için geçen sürede, sonraki iş istasyonun tükettiği ortalama parça sayısı kadardır.

Bir kanban çevrimi boyunca tüketilen parça sayısı = Ortalama talep x kanban çevrim süresi

Talep sabit olmadığı düşünülürse, bir emniyet katsayısının (α) formül içinde tanımlanmış olması gereklidir.

Bir kanban çevrimi boyunca tüketilen parça sayısı = Ortalama talep ***x*** *(1+α)* ***x*** *kanban çevrim süresi*

α, %10'dan düşük olmalıdır ve talep düzgünleştikçe emniyet katsayısı azaltılmalıdır.

Her bir konteynır üzerinde bir kanban taşınabilecektir; kanban sayısı, bir kanban çevrimi boyunca harcanan parça sayısının kanban büyüklüğüne bölünmesi ile hesaplanabilir:

$$\text{Kanban sayisi} = \frac{\text{Bir kanban çevrimi boyunca tüketilen parça sayisi}}{\text{Kanban büyüklügü}} \qquad \textbf{(3.1)}$$

Daha kesin bir şekilde ifade etmek gerekirse;

$$\text{Kanban sayisi} = \frac{\text{Ortalama talep x } (1+\alpha) \textit{ x kanban çevrim süresi}}{\text{Kanban büyüklügü}} \qquad \textbf{(3.2)}$$

Kanban çevrim süresi = kanban kabul süpermarketinde kanban bekleme süresi
+ kanban sipariş süpermarketine kanban taşıma süresi
+ kanban sipariş süpermarketinde kanban bekleme süresi
+ süreç zamanı (iç hazırlık + çalışma + süreç bekleme süreleri)
+ konteynırın çıkış tampon bölgesine taşıma süresi
+ konteynırın çıkış tampon bölgesinde bekleme süresi

Kanban sipariş süpermarketinde bekleme zamanı gibi bazı süreler doğrudan hesaplanamayabilinir, bu durumda ilgili süreler deneyim ile belirlenebilir. Bu yüzden, kanban sayısı yukarıda belirtilen formül uygulanarak tespit edilebilir. Eğer çıkış tampon bölgesinde çok fazla ara stok birikmesi söz konusu olursa bir ya da birden fazla kanban sistemden çıkartılabilir. Eğer bir elde bulundurmama söz konusu olur ise de kanban sayısı arttırılabilir ya da kanban çevrim süresi düşürülebilir (süreç iyileştirme ile).

Kanban büyüklüğü sistem davranışını doğrudan etkiler. Genel kural, kanban büyüklüğünü günlük talebin %10'u olarak belirlemek şeklindedir. Bu yüzden iş

istasyonundaki her ebad değişimi için gerekli makine hazırlık sayısı 10 ile sınırlandırılmış olunur ve makine hazırlık sürelerinin tek haneli sayılara (10 dakikadan az) düşürülmesi zorunluluğu ortaya çıkar.

Örnek:

Ortalama talep = 100 parça/saat,
Kanban büyüklüğü = 100 parça,
Kanban kabul süpermarketinde kanban bekleme zamanı = 5 dak.,
Kanban sipariş süpermarketine kanban taşıma süresi = 5 dak.,
Kanban sipariş süpermarketinde kanban bekleme süresi = 30 dak.,
Maksimum iç hazırlık süresi = 5 dak.,
Maksimum süreç zamanı = 0.25 dak/parça,
Süreç içi bekleme süresi = 10 dak.,
Süreç çıkış tamponuna konteynır taşıma süresi = 5 dak.,
Süreç çıkış tamponunda konteynır bekleme süresi = 10 dak.,
Emniyet katsayısı: $\alpha = 0\%$.
Böylece

Kanban çevrim süresi = 5 + 1 + 30 + (5 + 0.25x100 + 10) + 5 + 10 = 91 dak.,

ve

$$\text{Kanban sayisi} = \frac{\frac{100\,\text{parça}}{60\,\text{dak.}}\, x\, 91\text{dak}}{100\,\text{parça}} = 1.52.$$

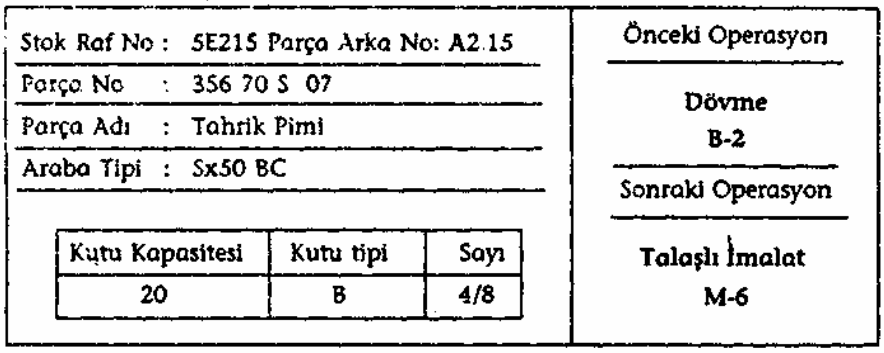
En yakın tamsayıya yuvarlanarak kanban sayısı 2 olarak bulunur. 2 kanban kartına göre, gerçek kanban çevrim süresi:

$$\text{Kanban çevrim süresi} = \frac{91\,\text{dak. x 2 kanban}}{1.52} = 120\,\text{dak.}$$

91 ve 120 dakika arasında ki fark kanban çevrim süresinin yaklaşık olarak %25'idir; bu da süreç için fazladan bir emniyet katsayısına gerek duyulmadığını göstermektedir.

3.1.2. Çekme Kanbanı

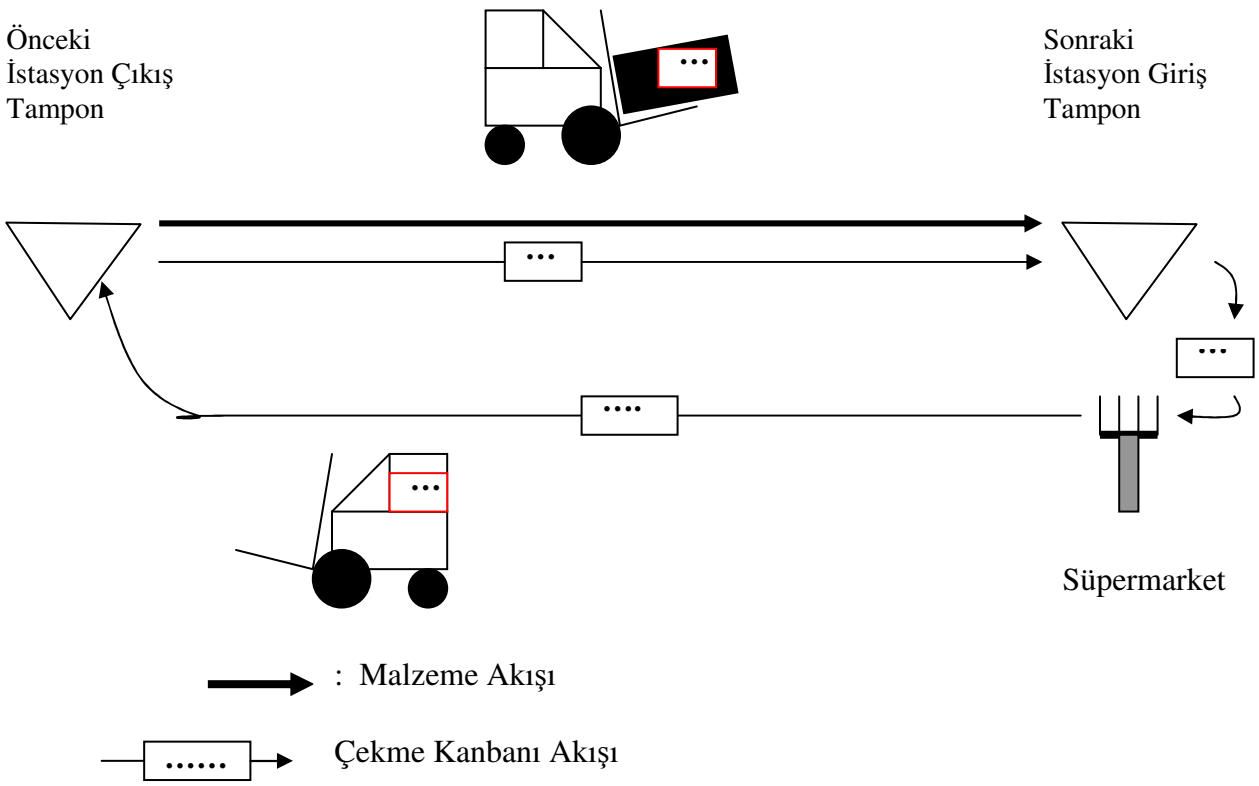
Malzeme isteklerini prosesler arasında iletir. Bir sonraki istasyonun, bir önceki istasyondan çekmek istediği parça cinsi ve miktarını belirleyen ve parça / malzeme çekmek amacıyla kullanılan karttır. Bir çekme kanbanı örneği Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Çekme kanbanı **(Acar, 1999)**

Şekilde verilen çekme kanbanı ile söz konusu parça için bir önceki operasyonun dövme işlemi olduğu ve talaşlı imalat M-6'da bulunan taşıyıcının tahrik pimini alabilmek için B-2 No'lu Dövme istasyonuna gitmesi gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca söz konusu parça için bir sonraki operasyon talaşlı imalattır. Kutu kapasitesi 20 adet olup kutu şekli "B" olarak belirtilmiştir.

Çekme kanbanı çift-kart kanban sisteminin ikinci en temel unsurudur. Çekme kanbanı, daha önceden belirlenmiş miktarı önceki istasyonun tampon bölgesinden sonraki istasyonun giriş tampon bölgesine çekilmesi için kullanılır. Ürünler, önceki istasyonu bir çekme kanbanı olmadan terk edemez. Çekme kanbanı önceki istasyondan ne zaman sonraki istasyon üretimi için gerekli olduğu zaman ayrılabilir. Çekme kanbanı hareketi şekli aşağıda gösterilmiştir:



Şekil 3.4 : Çekme kanbanı hareketi

Çekme kanbanı, iki ardışık istasyonun tampon bölgeleri arasındaki mesafenin (ve dolayısı ile termin zamanlarının) çok olduğu durumlarda kullanılması önerilir. Eğer istasyonlar birbirlerine yakın ise, çekme kanbanı kullanmaya gerek yoktur. Örneğin iki bitişik üretim hücresi için genel bir tampon bölgesi yeterli ise, önceki istasyonun üretim kanbanları konteynırlardan ayrıldığı zaman sonraki istasyonun üretim kanbanları ile yer değiştirebilir.

Çekme kanbanlarının formülleri üretim kanbanı formülleri ile benzedir.

Bir kanban çevrimi süresince tüketilen parça = Ortalama talep x(1+α) x kanban çevrim zamanı

Kanban sayısı da benzer şekilde hesaplanabilir:

$$\text{Kanban sayisi} = \frac{\text{Bir kanban çevrimi boyunca tüketilen parça sayisi}}{\text{Kanban büyüklügü}} \qquad \textbf{(3.3)}$$

Kanban çevrimi şu şekilde hesaplanabilir:

Kanban çevrim süresi = kabul süpermarketinde kanban bekleme süresi
+ kanbanı önceki istasyona taşıma süresi
+ konteynırın sonraki istasyona taşıma süresi
+ sonraki istasyonda konteynırın bekleme süresi

Örnek:

Ortalama talep = 100 parça/saat,

Kanban büyüklüğü = 100 parça,

Kabul süpermarketinde kanban bekleme süresi = 5 dak.,

Kanbanı önceki istasyona taşıma süresi = 10 dak.,

konteynırın sonraki istasyona taşıma süresi = 15 dak.,

Sonraki istasyonda konteynırın bekleme süresi = 10 dak.,

Emniyet katsayısı: $\alpha = 0\%$.

Böylece,

Kanban çevrim süresi = 5 + 10 + 15 + 10 = 40 dak.

ve,

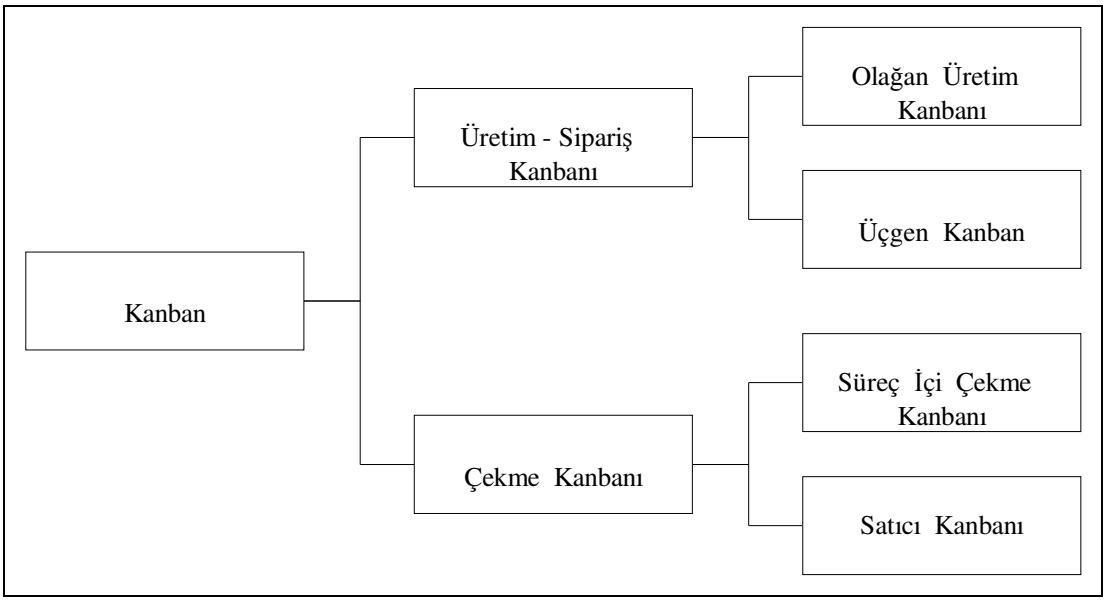
$$\text{Kanban sayisi} = \frac{\frac{100\ \text{parça}}{60\ \text{dak.}}\ x 40\text{dak..}}{100\ \text{parça}} = 0.67.$$

Kanban sayısı 1 olarak tespit edilir, gerçek kanban çevrim süresi şu şekilde

$$\text{Kanban çevrim süresi} = \frac{40\ \text{dak. x 1 kanban}}{0.67} = 60\ \text{dak.}$$

hesaplanabilir:

Uygulamada daha başka kanban tipleri de kullanılmaktadır. Temelde kullanılan kanban tipleri Şekil 3.5'de verilmiştir.

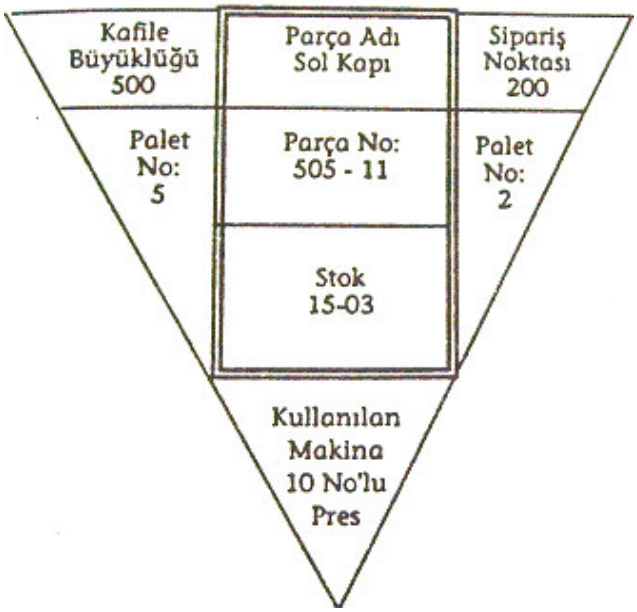


Şekil 3.5 : Kullanılan Kanban Tipleri (**Acar, 1999**)

3.1.3. Parti Üretimleri için İşaret Kanbanı (Üçgen Kanban)

Parti üretimleri için işaret kanbanı, belirli parçalar için yüksek miktarlarda üretimin yapıldığı, hazırlık sürelerinin tek haneli sayılar ile ifade edilebildiği (10 dakikadan az) üretim süreçleri için önerilmektedir. Minimum parti büyüklüğü, dış hazırlık süresi boyunca üretilebilecek parça sayısı kadardır. Parti üretimlerinde, parti büyüklüğü konteynır yada palet büyüklüğü ile ifade edilir. Parti büyüklüğü değişmediği sürece, her bir konteynıra bir üretim kanbanı konulmasına gerek yoktur; sadece bir kanban, sinyal kanbanı, tüm parti üretimi için kullanır.

Kafile üretimi yapan imalat ortamlarında kullanılır. Sinyal kanbanı üçgen kanbanı ve malzeme istek kanbanı olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 3.6'da ve Şekil 3.7'de bu kanbanları görmek mümkündür.



Şekil 3.6 : Üçgen Kanbanı **(Monden, 1993)**

Önceki İşlem	Stok 25 ⟹	10 No'lu Pres	Sonraki İşlem
Arka No:	MA 36	Malzeme Adı	Çelik Levha
Malzeme Ebatları	40x3' x 5'	Konteynır Kapasitesi	100
Kafile Büyüklüğü	500	Konteynır No:	5

Şekil 3.7 : Malzeme İstek Kanbanı **(Monden, 1993)**

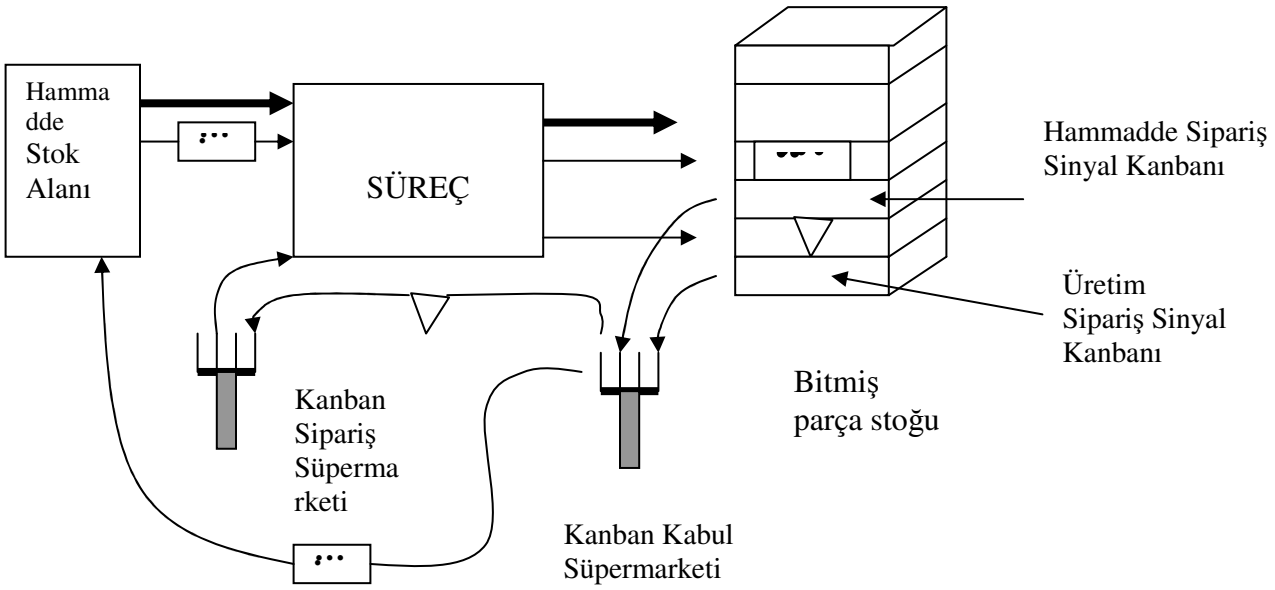
Parti büyüklüğü ve sinyal kanbanının yeri, tüketilen parça stoğunun yerine konulabilmesine imkan tanıyacak bir yerde olmalıdır. Parti büyüklüğü günlük ortalama hazırlık sayısı fonksiyonu ile belirlenebilir. Örneğin, toplam ortalama hazırlık süresi (iç + dış) iki saat olsun ve iki vardiyalı bir üretim süreci için günlük maksimum hazırlık sayısı ortalama sekiz olsun. Minimum parti büyüklüğü aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\text{Minimal parti büyüklügü} = \frac{1}{\text{Ortalama hazirlik sayisi}} \text{ x Talep} \qquad \textbf{(3.4)}$$

Düşük talep değişkenliği için, yukarıdaki formüle bir emniyet faktörü eklenebilir:

$$\text{Minimal parti büyüklügü} = \frac{1}{\text{Ortalama hazirlik sayisi}} \text{ x Ortalama talep x } (1+\alpha) \quad \textbf{(3.5)}$$

Şekil 3.8'de malzeme ve sinyal kanbanlarının akışları aşağıda gösterilmiştir.



: Malzeme Akışı

: Üretim Sipariş Kanban Akışı

: Malzeme Sipariş Kanban Akışı

Şekil 3.8 : Malzeme ve sinyal kanbanlarının akışları

Örnek:

Bir makine beş değişik parça üretmektedir. Her bir parça için maksimum 8/5 = 1.6 olası hazırlık sayısı bulunur. Günlük her bir parça için 1000 adetlik bir talep ve parti büyüklüğünün 100 olduğunu düşünülürse, α %10 için her bir parça için minimal parti büyüklüğü şu şekilde hesaplanabilir:

Minimal parti büyüklüğü = (1/1.6)x1000x110% = 688 adet.

Minimal parti büyüklüğü, en ekonomik parti büyüklüğüdür (minimum WIP); ancak her bir konteynırın 100 adet parça taşıdığı göz önüne alınırsa bulduğumuz minimal parti büyüklüğünü 700 adete yuvarlamalıyız. Buradan her bir üretim partisinin, her bir hazırlık için 7 konteynırlık üretim olacağının söyleyebiliriz.

Sonraki soru, parti içindeki sinyal kanbanının yeri olacaktır. Diğer bir değişle her seferinde 100 adet tüketilen bir 700 adetlik bir parti için ikame sinyalini hangi seviyede vermeliyiz? Bu konum, arzu edilen emniyet stoğu seviyesi ile belirlenebilecektir. Emniyet stoğu bir parti siparişinin gelmesi ile bitmiş ürünlerin stoğa taşınmaları arasında geçen süre için tüketilecek ortalama parça sayısına eşittir. Aşağıdaki formül sinyal kanbanının konumu verecektir:

Üretim sinyal kanbanı konumu = Ortalama talep x(1+α) x kanban çevrim süresi

Bu konum konteynır şeklinde tam sayı olarak ifade edilmelidir, böylece;

$$\text{Kanban sayisi} = \frac{\text{Ortalama talep x } (1+\alpha)\ x \textit{ kanban çevrim süresi}}{\text{Kanban büyüklügü}} \qquad \textbf{(3.6)}$$

Kanban çevrim süresi şu şekilde hesaplanabilir:

Kanban çevrim süresi = kanban kabul süpermarketinde kanban bekleme süresi
+ kanban sipariş süpermarketine kanban taşıma süresi
+ kanban sipariş süpermarketinde kanban bekleme süresi
+ parti süreç süresi (iç hazırlık + üretim süresi + süreç içi bekleme süresi)
+ konteynırın son tampon bölgesine taşıma süresi

Örnek:

Ortalama talep = 1000 parça/gün yada 1.042 parça/dak,

Parti büyüklüğü = 700 parça,

Kanban kabul süpermarketinde kanban bekleme süresi = 5 dak.,

Kanban sipariş süpermarketine kanban taşıma süresi = 1 dak.,

Kanban sipariş süpermarketinde kanban bekleme süresi = 30 dak.,

Maksimum iç hazırlık süresi = 10 dak.,

Maksimum süreç zamanı = 12 sn./parça,

Süreç içi bekleme süresi = 10 dak.,

Konteynırın son tampon bölgesine taşıma süresi = 5 dak.,

Emniyet katsayısı: α = 10%.

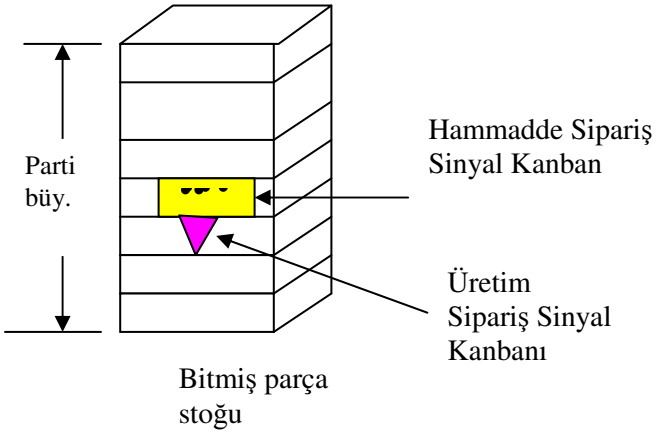
Böylece,

Kanban çevrim süresi = 5 + 1 + 30 + (10 + (12/60)x700 +10) + 5 = 201 dak.

Üretim sinyal kanbanı konumu = [1.042x(1 + 10%)x201]/100 = 2.30 konteynır.

Bu sayıyı 3'e yuvarlamak gereklidir. Bu konum aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Bu ara stok miktarı 3 yada daha düşük bir seviyeye indiği zaman yeni bir üretim parti sipariş verilir demektir.

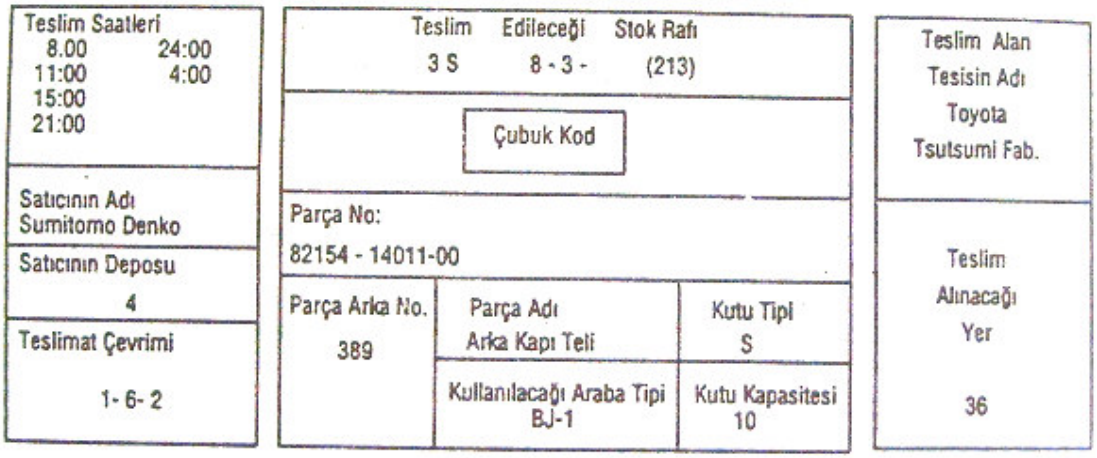
Şekil 3.9'da bir parti içinde hammadde sipariş sinyal kanbanı ile üretim sipariş sinyal kanbanlarının kullanım yerleri gösterilmektedir.



Şekil 3.9 : Parti içinde hammadde sipariş ve üretim sipariş sinyal kanbanları

3.1.4. Satıcı Kanbanı

Satıcılarda parça çekmede kullanılan, satıcıya gerekli parçaları göndermesi için talimat vermek amacıyla kullanılır. Şekil 3.10'da bir satıcı kanbanı örneği veilmiştir.



Şekil 3.10 : Satıcı Kanbanı **(Monden, 1993)**

Kanban kartları işletmelerde farklı şekillerde dizayn edilerek kullanılırlar. Bazı işletmelerde bir tür detay kontrol aracı olarak da kullanılan kanban kartları çok fazla ayrıntılandırılmış bilgiler içerebildiği gibi bazı işletmelerde ise yalnızca basit ve temel ihtiyaç bilgilerini içerirler. Kullanım ve takip kolaylığı açısından kanban bu tip kanbanlar daha uygun olabilirler. Günümüzde bazı firmalar kanban kartlarını tümüyle elektronik kartlar haline getirmiş ve bilgisayar desteği ile takip edilebilir duruma sokmuştur. Bu sayede hem ihtiyaç duyulabilecek tüm bilgileri ihtiva eden kanban kartlarının oluşturulabilmesi sağlanmış hem de takip sorunları ortadan kaldırılmıştır.

3.2. Kanban Sisteminin Uygulanması

Bir yalın üretim sisteminde aslında iki tür kanbandan yararlanılmaktadır. Birincisi çekme kanbanı, diğeri de üretim kanbanıdır. Çekme kanbanı, montaj hattından başlayarak değişik atölyeler arasında ve nihayet fabrika ile yan sanayiler arasında ürün çekilmesi sırasında kullanılır. Üretim kanbanı ise, üretime geç sinyalini verir, ve her bir atölyenin yada yan sanayi firmasının kendi içinde üretimin gerçekleşmesi sırasında kullanılır. Kanban hareketleri aşağıda adımlar halinde belirtilmiştir **(ytukvk.org.tr, 2004)**.

1. Adım: Parçalar paletlerden alınıp ürüne ve her bir palet boşaldıkça, üzerindeki çekme kanbanları çıkarılıp bir çekme kanbanı kutusuna yerleştirilir.

2. Adım: Bu kutudaki çekme kanbanları önceden belirlenmiş bir sayıya ulaşınca, montaj hattındaki bir işçi boşalmış paletlerle birikmiş kanbanları alıp, bir forkliftle talaşlı imalat atölyesine gider.

3. Adım: Bu atölyede ilk iş olarak getirdiği boş paletleri belli bir yere bırakır. Burada elindeki kanban sayısı kadar paleti alır ve forklifte yerleştirir.

4. Adım: Paletleri forklifte yerleştirirken üretim kanbanlarını çıkarır ve her birinin yerine beraberinde getirdiği ve o üretim kanbanına karşılık gelen bir çekme kanbanı iliştirir. Elindeki çekme kanbanlarının tümü bitene kadar bu işlemi sürdürür.

5. Adım: Paletlerden çıkardığı üretim kanbanlarını talaşlı imalat atölyesinde bekleyen bir üretim kanbanı kutusuna yerleştirir. Sonuç olarak çektiği parça paleti kadar üretim kanbanı bu kutuya konmuş olur.

6. Adım: Dolu parça paletlerini alıp tekrar montaj hattına döner ve bu durumda montaj hattında 1. adımdaki devir yeniden başlamış olur.

7. Adım: Talaşlı imalat atölyesinde bir işçi üretim kanbanlarını alır ve o atölyede o an birikmiş üretim kanbanları kadar ve değişik ürünlere ait olabilecek bu kanbanların kutudaki sıralamasına da aynen uyularak, tekrar üretime geçilir.

8. Adım: İşlenen parçalar birer birer üretim kanbanlarıyla birlikte boş paletlere yerleştirilir. Bir müddet sonra montaj hattındaki işçi yine gelir ve 3. adım tekrar başlar.

Kanbanla çalışmak, binlerce parçanın üretimini kapsayan, örneğin, otomobil gibi karmaşık bir ürün söz konusu olduğunda, son derece etkin ve esnek bir haberleşme sistemini kendiliğinden sağlar.

Sonuç olarak; kanban yönteminde ıskartaya, arızaya ve uzun hazırlık sürelerine yer yoktur. Tam anlamıyla sıfır stok seviyesinin gerçekleşebilmesi için sistemin yapısında görülen hatalı parça üretimine sebep olan bütün problemlerin giderilmesi ve tezgah hazırlık sürelerinin olmaması gerekir. Kanban uygulamasında başarılı olan şirketlerin işçilik prodüktivitesinde %30'luk artış, stok düzeylerinde %60 ve ıskarta oranlarında %90 azalma, fabrika alanının kullanımında %15 tasarruf sağladıkları görülmüştür **(Shoenberger, 1982)**.

Ancak bu sistemin işletmelerde oturtulması, güvenli ve devamlı bir şekilde çalışabilmesi için ciddi bir entegrasyon sürecine ihtiyaç duyulur. Yalın üretim felsefesi herşeyden önce firma kültüründe önemli değişiklikler yapar ve her sistem, kendisini değiştirmeye yönelik çabalara karşı direnç gösterir. Firma kültüründe değişim yapmak bu nedenle çok zordur. Kanban sisteminin kurulması öncelikle bu değişime direnç nedeniyle zor olmaktadır.

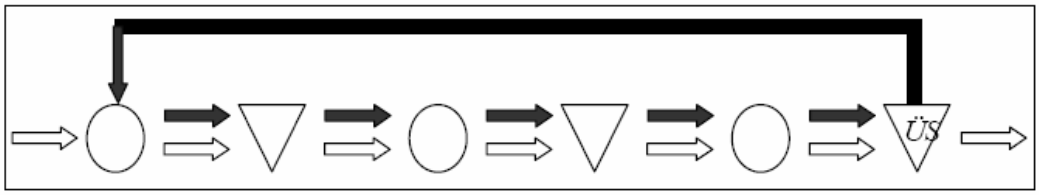
Kanban Sistemi yönetim gereklerini aşağıda sıralandığı şekilde tanımlayabiliriz.

- Sonraki üretim süreci, önceki süreçten gerekli parçaları, gerekli miktarlarda ve gereken zamanlarda çekmelidir.
- Kanban olmadan herhangi bir parçanın çekilmesine izin vermemelidir.
- Kanbanların sayısından fazla parça çekilmesine izin verilmemelidir.
- Fiziksel üretime daima bir kanban yapıştırılmış olmalıdır
- Hatalı parçalar hiçbir zaman bir sonraki üretim sistemine geçirilmemelidir.
- Kanban sayısı en aza indirilmeli ve bu sayı talepteki değişmelere adapte olmak için kullanılmalıdır.
- Kanban, talepteki ufak dalgalanmalar karşısında üretim hızını ayarlamak amacıyla kullanılmalıdır. Kanban sisteminde üretim çizelgeleri sadece son prosese gönderildiği için talepte bir dalgalanma olduğunda, olası değişiklikler son prosesten geriye doğru aktarılarak sağlanır.

4. CONWIP SİSTEMLERİ

CONWIP, kanbanın genelleştirilmiş şeklidir. Kanban gibi, CONWIP sistemleri de sinyaller ile çalışır. CONWIP sisteminde, kartlar tüm üretim sistemini kapsayan bir devre üzerinde dolaşırlar. Bir kart, hattın başında bekleyen parça konteynırına iliştirilir. Konteynır üretim boyunca tüketilir ve hat sonunda kart konteynırdan ayrılarak hattın başına başka bir parça konteynırına iliştirilmek üzere kart sırasına gönderilir. Bir kanban sisteminde, her bir kart belirli bir ürünün üretimi için işaret olarak kullanılır. *CONWIP üretim kartları üretim hatlarına atanır, doğrudan belirli bir ürüne atanmaz.* Parçalar hattın başında kartlara atanır. Hangi parçanın hangi karta atanacağı, bir gecikmiş (backlog) işler listesine göre yapılır. Hattın ilk istasyonunda üretim başladığı zaman üretimde tüketilecek parçalar için bir kart sıradan ayrılır ve gecikmiş işler listesindeki hammaddesi hazır ilk sıradaki iş ile eşleşir.

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, bir parça serbest bırakıldığında, bitmiş ürün halini alıncaya kadar işlenir ve son stok alanında müşteriye gönderilmek üzere hazır hale geldiğinde, zincirde yer alan ilk iş istasyonuna diğer parçanın yüklenmesi için izin verilir. Şekilde görülen beyaz oklar parçanın hareketini ve siyah oklar da serbest bırakma yetki çevrimini göstermektedir **(Bonvik, 1997)**.



Şekil 4.1 : CONWIP Kontrolü **(Bonvik, 1997)**

Gecikmiş işler listesinin bakımı ve güncellenmesinin sorumluluğu üretim ve envanter kontrol görevlisindedir. Gecikmiş işler listesindeki birçok giriş ana üretim programına göre yapılacaktır. Diğer girişler, beklenmeyen siparişlerin alınması ile birlikte listeye eklenmesi şeklinde olacaktır. Hiçbir şekilde (üretimi hızlandırmak adına bile olsa) bir üretim kartsız başlamaz ve buna izin verilmez.

Hat üzerindeki tüm süreç merkezlerinde kullanılan sıralama kuralı "ilk gelen ilk hizmet görür"dür (first come first served – FCFS). Diğer bir değişler, en küçük sisteme giriş zamanına sahip olan iş ilk başlar. Tek istisna çok yüksek önceliği olan rework işlemleridir.

CONWIP sisteminin parametreleri şunlarıdır:

m, kart sayısı. Bu parametre sistem içinde maksimum WIP seviyesinin belirlemek içindir.

q, üretim kotası. Bu parametre belirli bir periyot için hedeflenen üretim miktarını gösterir.

n, ileriye dönük olarak maksimum iş miktarı. bir periyot içinde q + n kadar miktar üretilmiş ise, hat diğer üretim periyodu başlayana kadar duracaktır.

r, kapasite yoksatma tetiği. Bu parametre t'ye bağlı gerçek üretim miktarı fonksiyonudur. Tetik fonksiyonu, ek bir kapasitenin kullanılması gerektiğini gösterir (örneğin fazla mesai programlanmalıdır).

Bu bahsedilen parametrelerin optimizasyonu hali hazırda süren çalışmaların bir amacıdır. Optimal değerlerin bulunması, ekonomik trade-off'larında göz önünde tutulması ile olacaktır. n ve/veya m'nin artırılması, yüksek stok seviyeleri oluşturacağı gibi müşteri hizmet seviyesini yükseltecektir. q'nun artırılması ise düşen hizmet seviyelerinde beklenen gelirleri artıracaktır. CONWIP uygulamaları için, kanban uygulamacıları tarafından önerilen yaklaşım şu şekildedir; stok

parametreleri olan n ve m'i optimal seviyelerinden daha yüksek olarak sistemde tanımlayın, fazla mesai durumlarında bu parametreleri göreceli olarak azaltın.

Bazı durumlarda, CONWIP bir girdi-çıktı kontrol sistemi olarak düşünülebilir. Wight (1970) "bir istasyona giren miktar çıkan miktara eşit olmalıdır" demiştir. Çalışmasında Wight, bir üretim kontrol fonksiyonu ile girdi-çıktı kontrollerinin uygulaması üzerinde çalışmıştır. CONWIP, bir fabrika ortamında girdi-çıktı kontrol uygulamaları için pratik bir metot sağlar.

CONWIP, doğal olarak Goldratt'ın uyarına uyar "akışı dengele, kapasiteyi değil" (Goldratt, 1988). CONWIP hattındaki kaynaklar darboğaz göre düzenlenir. Hat üzerinden istenilen çıktıyı elde etmek için yeterli kaynakların bulunduğu varsayımı yapılırsa, doğru sayıda karta sahip bir CONWIP sistemi sadece darboğazları meşgul edecek kadar WIP'yi taşıyacaktır. Eğer iş darboğazın arkasında yığınlaşmaya başlarsa, kart hattın sonuna taşınmayacak, yeni işe başlanmayacaktır. Diğer yandan, eğer darboğaz işini çok hızlı bir şekilde bitirirse kartlar çok hızlı bir şekilde sisteme girecektir.

4.1. CONWIP ile Kanban Sisteminin Karşılaştırılması

Bu bölümde CONWIP sistemini tek üretim hattı için kanban ve çekme bazlı üretim kontrol sistemleri ile karlılaştıracağız. CONWIP kanban sisteminden üç şekilde ayrılır:

- parça sırasını belirlemek için bir gecikmiş işler listesinin kullanılır,
- kartlar parçalara değil iş istasyonlarına atanır,
- üretim hattın başında bir kartla başlamasına rağmen istasyonlar arası akış çekme şeklidedir.

4.2. CONWIP Sisteminin Avantajları

4.2.1. CONWIP, kanbandan daha geneldir

Birçok üretim ortamı, bir kanban sistemi kurmak için uygun değildir. Özellikle, birçok farklı parça üreten üretim hatları, kanban kontrollü üretim sistemlerinde ciddi problemler ile karşı karşıya kalırlar. En basitinden, her bir parça için standart bir konteynırın sığdırabileceği yeterli alanı bulmak çok güçtür, böyle bir alan bulunsa bile WIP seviyeleri gerektiğinden daha yüksek olacaktır.

CONWIP birçok farklı durum için bu problemi çözer. Çünkü CONWIP sisteminde kullanılan geciken işler listesi hangi parçanın hangi sırada üretileceğinin kontrolünü yapmaktadır. CONWIP sisteminde WIP her bir parça için tutulmaz

Önemli ölçüde hazırlık sürelerinin elimine edilemediği üretim ortamlarında kanban sisteminin genellikle uygun olmadığı düşünülür **(Hall, 1983)**. Diğer yandan CONWIP sisteminde parça üretim sıraları belli olduğu için hazırlık süreleri de planlama sürecine dahil edilebilmektedir.

Gecikmiş işler listesinin kullanımı, işlerin sıralanmasının bir üretim kontrol sorumlusu tarafından yapılabilmesine olanak tanır. Bu, sıralamanın iş istasyonlarınca yapılmasını öngören kanban sistemi ile terstir. Sıralamalar, eğer işler için farklı öncelikler söz konusu ise kontrol edilme gereği duyulabilir.

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki; aynı üretim koşulları altında aynı çıktı miktarını CONWIP sistemleri daha düşük WIP stokları ile elde etmişlerdir **(Gstettner ve Kuhn, 1996)**. **Spearman ve Zazanis (1998)**'da yaptıkları çalışmada aynı çıktı miktarı için CONWIP sisteminin kanban sisteminden daha az WIP seviyeleri oluşturduğuna ilişkin teorik nedenler vermişlerdir. Bunu belirgin bir darboğaz ile görmek mümkündür. Bir kanban isteminde, WIP darboğazdan sonra gelen iş istasyonunda oluşurken, CONWIP sisteminde WIP stoğu darboğaz istasyonunda oluşur. Bundan dolayı, CONWIP sistemi darboğazların daha yüksek kullanım oranları ile çalıştırmaya çalışır, bu da bir kanban sistemi ile karşılaştırıldığında daha fazla çıktı üretilmesini sağlar.

Bir üretim hattının kontrol için hem kanban hem de CONWIP aynı özellikleri taşırlar. Kanbanın birçok çevresel ve fiziksel etkileri CONWIP sistemi içinde de görülebilir. Bu etkileri çoğu WIP stoğunun kontrolü ile ilgilidir. WIP'nin düşük seviyelerde tutulması şu faydalı etkilere sahiptir:

- Kalite problemlerinin erken farkına varılması şansı artar. Eğer WIP stok seviyeleri düşükse, akış zamanı da düşer. Eğer süreç problemli ürünler üretiyorsa, süreç sahibi daha fazla hatalı ürün üretmeden problemi kaynağında çözer.
- Üretim sisteminde daha az bir karmaşıklık söz konusudur. WIP seviyeleri düşükse, sürecin bir sonraki işi için gerekli bir WIP'yi aramakta harcanan zaman daha az olacaktır. Parçaya stokta beklerken zarar vermek yada şeklini bozma sanşı azalacaktır.
- Azaltılmış WIP makine hataları, ürün hataları, kayıplar, hırsızlıklar ve gerekli beklemeler gibi problemleri örtemeyecektir.

Kısacası, eğer kanban sistemi iyi bir sitem ise, CONWIP kanban sisteminin iyi yanlarını birçok durum için gösterebildiği için daha iyi bir sistemdir.

4.2.2. CONWIP, çekme sisteminden daha etkindir

Eğer fabrika en yüksek olası çıktı oranların da çalıştırılmak isteniyorsa, CONWIP sistemi çekme sisteminden daha üstün bir sistemdir. Pratikte, bir tesisi dolu kapasiteye yakın çalıştırmak zordur, çünkü kapasiteyi önceden belirlemek zordur.

CONWIP'in çekme sistemi üzerindeki bir avantajı şudur. Eğer kapasitenin üstünden bir üretim yanlışlıkla planlanmış ise CONWIP sistemi planlamacılara daha esnek karar verebilecekleri bir ortam sağlar. Çekme sistemi hata fark edildiği zaman WIP ile tıkanacaktır. Diğer taraftan, CONWIP sistemi başlayabilmek için uzun bir gecikmiş işler listesine sahiptir. İş listesini manipüle etmek, WIP stoğunu manipüle etmekten daha kolaydır **(Spearman ve diğ. 1990)**.

CONWIP sistemi içindeki kartların geri bildirimi sayesinde üretim hattının performansı yakından takip edilebilir, böylece de fazla WIP stoğun önüne geçilmiş olunur. Hat beklenenden daha düşük bir kapasite ile çalıştığı durumlar için bu geribildirim sistemini "doğal bir kapasite kontrolü" olarak düşünebiliriz.

CONWIP ayrıca itme sistemlerinde ortaya çıkan, aşağıda döngüsü anlatılan ve "fazla mesaili tehlikeli döngü – overtime vicious cycle" olarak bilinen problemin etkilerini de azaltacaktır **(Spearman ve diğ. 1990)**.

Üretim planlama verilen bir periyotta üretim için kapasite gereksinimini hesaplar ve bu değeri satış departmanına raporlar. Darboğazlardaki olası üretim zamanları, (a) bakım-onarım, (b) operatör verimsizliği, (c) hazırlık süreleri, (d) bozulmalar, (e) rework gibi kayıplarda düşünülerek hesaplanır. Satış personeli, üretim planlamadan gelen kapasite bilgisini müşteri siparişleri ve talep tahminleri ile doldurur ve ana üretim programını oluşturur (MPS). İşler MPS'den MRP sistemi ile fabrikaya iletiliri. Ortaya verilen işemri miktarı ortalama kapasiteye eşit olacaktır. Bazı nedenlerden dolayı düşünülmeyen yada düşünülmesine rağmen sapması beklenenden fazla gerçekleşen darboğaz merkezleri tıkanacaktır.

Darboğazın tıkanmasından sonra sisteme verilen her iş WIP seviyesini artıracaktır. WIP düzeyi artarsa, akış süreleri da artacaktır. Akış süreleri artarsa, işler geç kalmaya başlayacaktır. Süreç içindeki tüm işler tıkanacak ve müşteri şikayetleri başlayacaktır. Yönetim geciken işleri yoluna sokmak için fazla mesailere başvuracaktır. Bu döngü, üretim planlama sorumlusunun mevcut kapasite konusunda sürekli iyimser davranması ile daha da kötüleşecektir.

CONWIP sisteminde, kapasiteyi aşan siparişlerin sisteme sokulma isteği azalacaktır çünkü fazla kapasite gerekliliği daha erken görünebilecektir. WIP stoğu sabit kaldığı sürece, akış sürelerinin tahmin edilmesi daha olası olacaktır. Böylece zamanında bitirilemeyecek işleri görmek de kolaylaşacaktır. Bu gibi durumlar oluştuğu zaman fazla mesai hala gerekli olacaktır ama üretim ortamı çekme sisteminde ki gibi tıkanmalar yaşamayacaktır.

Benzer bir konuda düşük öncelikli işlerin programlanmasıdır. Birçok vakada, üretim hattı düşük öncelikli üretimleri yapmaktan gereksiz yere meşgul durumda kalır. Bu da üretim hattının yüksek öncelikli üretimler için yeterli kapasiteyi ayıramamasına neden olur. İtme sistemlerinde, üretim kontrol elemanı düşük öncelikli üretimlerin programlanıp programlanamayacağına karar vermek için kapasite projeksiyonu yapmak zorundadır. İtme sistemlerinde düşük öncelikli işler darboğaz istasyonların gerçekleşen kapasiteleri hakkında bilgi sahibi olunmadan programlanır. CONWIP sistemlerinde bu duruma daha az rastlanır, çünkü üretimini yöneten kartların gelişleri hattın gerçek hızı ile kontrol edilirler.

5. DENEYSEL TASARIM

5.1. Deneyin Amacı

Deney, deney birimine (insan, deney hayvanı, vasatlar, preparatlar, cansız varlıklar vb.) evrendeki doğal yaşamdan farklı olarak bir etkide bulunarak bir ya da bir kaç faktörün değişik seviyelerdeki etkilerini ortaya koyma; bir olaya maruz bırakma ya da ondan koruma vb. biçimlerde düzenlenmiş olan yapay ortam çalışmalardır. Deneyler aracılığı ile veri toplama yöntemine çoğunlukla deneysel çalışma, deneysel araştırma adı da verilmektedir.

İleri sürülen varsayımları denetlemek amacıyla bu varsayımda yer alan olayların evrende gerçekleşmesini beklemek mümkün olmayabilir. Bu nedenle sorunlara erken ve güncel çözümler üretebilmek için tasarlanan koşulları yapay olarak oluşturmak gerekebilir. Bilimsel olarak ifade edilecek olursa; deneyler, bağımlı değişken ile bu bağımlı değişkenin değişimi üzerinde etkide bulunduğu varsayılan bağımsız (açıklayıcı, faktör) değişkenlerin sebep-sonuç ilişkilerini ortaya koymak amacıyla düzenlenmiş yapay düzenlerdir.

5.2. Deneysel Tasarım

Deney tasarımı, 1920'lerde, istatistik biliminin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher, ayrıca, deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan "varyans analizi" yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem, kısa bir süre içinde, Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda dünya lideri konumuna gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında, çeşitli gübre ve dozlar ile iklim koşullarının ve

sulama seviyelerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır. Deneysel tasarım literatüründe adı önemle vurgulanan diğer bilim adamları arasında F. Yates, R. C. Bose, O. Kempthorne, W. G. Cochran, R. H. Myers, J. S. Hunter, W. G. Hunter ve G.E.P. Box sayılabilir **(Şirvancı, 1997)**.

Deney tasarımı daha sonra kimya ve ilaç sektöründe de uygulanmış olmasına rağmen, imalat sektöründeki uygulamaları, 1970'lere kadar son derece kısıtlı kalmıştır. Amarika'da imalat sektörü, 1980'lerin başında, deney tasarımını, Japon kalitesinin nedenlerini araştırırken yeniden keşfetmiştir. Deney tasarımı, o tarihlerde Japonya'da Profesör Genichi Taguchi'nin önderliğinde yoğun ve etkili olarak uygulanmıştır. Taguchi, deney tasarımına kuramsal yenilikler getirmemiştir. Ancak, üretimdeki uygulamalarda yenilikler yapmış ve başarılı uygulamalarla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır **(Şirvancı, 1997)**.

Deney tasarımı bir sürecin performansını iyileştirmek amacıyla, süreci etkileyen faktörler üzerinde değişiklikler yaparak, sürecin çıktısı üzerindeki değişkenliklerin gözlemlenmesi ve yorumlanmasıdır.

Deney tasarımı, analiz tekniklerinden en etkili olanlardan biridir ve aşağıda belirtilen her iki alanda da etkin olarak kullanılabilir:

1. Ürün veya proses tasarımındaki kritik problemlerin çözülmesi.

2. Üretimdeki kritik problemlerinin çözülmesi.

Ürün veya üretim sisteminde belirlenen problemlerinin çözümüne yönelik değişik iyileştirme ve geliştirme çalışmaları yapılabilir ancak bu çalışmalar belirli bir sistematik içinde belirli araç ve tekniklerini kullanılmadan gerçekleştirilirse, istenen amaca ulaşmak oldukça uzun bir zaman alabilir. Bu yüzden üründe veya üretim sisteminde belirlenen problemlerin çözümüne yönelik olarak birtakım araştırmalar yapılır. Bu araştırmalarda öngörülen deneylerin anlaşılır ve üzerinde yorum yapılabilir olması için uzun süren ön çalışmalarla alt yapısı hazırlanmalı ve iyi tasarlanmalıdır.

Ürünün ve/veya üretim sisteminin performansını etkileyen faktörlerin ve bunların etki seviyelerinin belirlenmesi ile başlayan bu ön hazırlık safhasında beyin fırtınası, balık kılçığı ve hata ağacı gibi araçlarının kullanılması gereklidir. Yapılan ön hazırlıklar genelde deneyin oluşum mekanizmasına da yansıyarak değişik deney tasarımı yöntemlerinin oluşmasına neden olur. Bu deney tasarımı yöntemleri temelde aynı amaca hizmet etmekle birlikte sonuca en kısa sürede ve maksimum kazançla ulaşabilmek için gerek ön çalışma gerekse deney matrisinin oluşturulmasında farklı yollar izlemektedir.

Deneysel tasarım yöntemleri yeni ürün veya varolan ürünü geliştirilmesi amacıyla,

I. Temel yapıların değerlendirilip diğerleri ile karşılaştırılması

II. Malzeme alternatiflerinin değerlendirilmesi

III. Performans üzerine etkili ürün parametrelerinin incelenmesi

gibi mühendislik tasarım uygulamalarını içerir. Deneysel tasarım yöntemleri incelenen sistemde;

- Değişimlerin nedenlerinin araştırmayı,
- Bu değişimleri yok etmeyi veya değişimlere karşı güçlü bir sistem oluşturmayı

hedefler.

Deneysel tasarım yöntemlerinde sistemi etkileyen tüm faktörler ele alındığı için normalde sistemdeki bir faktörü düzeltmekle elde edilebilecek fayda yerine, birkaç faktörde küçük değişiklikler yaparak toplamda daha çok fayda sağlanabilir.

Deney tasarımları mühendislik dünyasında üretim prosesleri performanslarını iyileştirmede önemli role sahiptir. Ayrıca yeni prosesler geliştirilmesinde de yoğun uygulamaları vardır. Proses geliştirilmesinde, deney tasarım tekniklerinin uygulanması şu sonuçları doğurabilir:

1. İyileştirilmiş proses çıktısı
2. Azaltılmış değişkenlik ve istenilen özelliklere daha yakın uygunluk
3. Azaltılmış gelişme zamanı
4. Azaltılmış maliyetler

Deney tasarım yöntemleri, yeni ürünlerin geliştirildiği ve mevcut ürünlerin iyileştirildiği mühendislik tasarım aktivitelerinde de önemli rol oynar. Mühendislik tasarımı alanında deney tasarım uygulamalarına şunları gösterebiliriz:

1. Temel tasarım konfigürasyonlarının karşılaştırılması ve değerlendirilmesi
2. Malzeme alternatiflerinin değerlendirilmesi
3. Ürünün değişik ortam koşullarından etkilenmemesini sağlayacak tasarım parametrelerinin seçilme, ki böylece ürünün dayanıklı olmasının sağlanması
4. Ürün performansı üzerinde etkisi olan tasarım parametrelerinin belirlenmesi

Bu alanlarda kullanılan deney tasarımları, daha kolay üretilen ürünler, performansı ve güvenirliği iyileştirilen ürünler, azaltılan tüm maliyetleri, kısaltılan ürün tasarım ve geliştirme aşamaları süreleri ile sonuçlanabilir.

5.3. Deney Tasarım Parametreleri

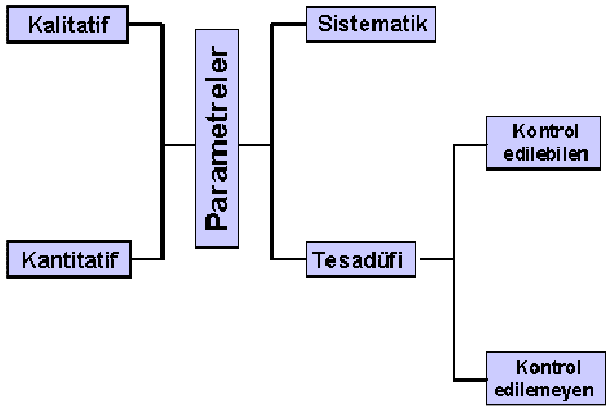
Deney tasarımı metodunun ana hedefi; zaman ve maliyet gerektiren optimizasyon problemlerine etki eden parametreler ile ilgili bilgilerin istatistiksel teknikler kullanılarak minimize edilmesidir. Deneysel tasarım metodunda söz konusu olan parametreler, herhangi bir ürün veya prosesin kalitesine etki eden değişkenlerdir. Parametreler;

- Sıcaklık, basınç vb. gibi kantitatif,
- Farklı malzemeler, renkler vb. gibi kalitatif

olarak sınıflandırılabileceği gibi;

- Ürün- ve proses spesifik parametreler (örneğin; ölçü veya kesme hızı)
- Parazit faktörler (örneğin; çevre etkileri)

gibi de sınıflandırılabilir **(www.inoteconline.com)**. Deneysel tasarım parametreleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Parametre Sınıfları **(www.inoteconline.com)**

5.4. Deneysel Tasarım Prensipleri

Aşağıda iyi bir deney için gerekli olan prensipler açıklanmağa çalışılmıştır. Çoğu zaten açık, belli ve genel olan bu şartlar maalesef genellikle karşılanmaz.

Tekrarlama: Tekrarlama, temel deneyin tekrarlanması anlamına gelir. Örneğin, alüminyum alaşımının soğutulması deneyinde, bir örneğin yağ ile soğutulması ve bir örneğin su ile soğutulması ile bir tekrar yapılmış olunur. Böylece her bir soğutma yöntemi için beşer adet örek kullanıldığında, beş adet tekrar yapılmış olur. İki önemli özelliği vardır: Birincisi tekrar ile, deney sahibi, deneysel hataları tahmin etme şansını yakalar. Hata tahmini, toplanan veriler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olup olmadığını belirlemede temel noktadır. İkinci olarak, veriler hakkında daha kesin bilginin elde edilmesini sağlar. Bunun anlamı şudur: n tekrar sayısı artıkça, örnek ortalamasının varyansı azalır, daha kesin sonuç elde edilir.

Aleyhte tesirlerin olmaması: Deney için göz önüne alınan belli bir tasarımda, eğer deney büyük sayıda deneysel birim kullanılarak yapılıyor ise, etüt altındaki değişkenlerin her birinin etkisini doğru tahmin etmek için bu şart kesin olarak gereklidir. Bu şart karşılanamıyor olabilir, örneğin eğer deney şartı 1 daima sabah kullanılıyor ve deney şartı 2 daima akşam kullanılıyor ise, günün zamanı ile ilgili hesaba alınmamış bazı faktörlerden sonucu karıştırdığından emin olunamaz. Bu olasılığı elimine etmek için blok yapma, ve tesadüfleştirme teknikleri kullanılmalıdır.

Bloklama: Deneyin kesinliğini arttırmak amacıyla kullanılan tekniktir. Bir deneyde, deneysel malzeme bütününden farklılık gösteren ancak birbiri içinde homojen olarak dağılmış verilere sahip olan deneysel malzeme parçası, bir blok oluşturur.

Uygun duyarlılık. Eğer aynı şartlar altındaki bir deneyden her zaman tamamen aynı sonuç elde ediliyorsa, etüt altındaki faktörlerin her birinin etkisini bilmek için, her şartta bir defa çalıştırmak yeterli olacaktır. Maalesef bu şekilde tekrarlayan çalışmalardan elde edilen sonuçlar faklı olmağa meyillidir ve etüt altındaki faktörlerin etkileri sadece tahmin edilebilir İyi bir deneysel tasarımın şartlarından biri, bu etkilerden iyi tahminler sağlamaktır; iyi tahmin faktörün gerçek etkisine yakın olacaktır. Basit tasarımlarda tahminin duyarlılığı örnek sayısının kare kökü ile orantılıdır. Bu nedenle duyarlılığı artırmanın bir yolu numune büyüklüğünü artırmaktır, ancak bu genellikle masraflı hatta imkansızdır ve yukarıdaki belirtilerin ilişkileri azalan verim verir. Bazı zamanlar blok yapma tekniğini kullanarak çok çarpıcı gelişmeler elde etmek mümkündür

Rassallık: Rassalıkla kastedilen, deney bireysel koşumlarında hem deneysel materyallerin hem de sıralamanın rassal olarak dağıtılmasıdır. İstatistiksel metotlar, gözlemlerin ve hataların bağımsız dağılmış rassal değişkenler olmasını gerektirir. Rassallık, çoğunlukla bu varsayımı geçerli kılar. Deneyleri doğru şekilde rassallaştırmak ile varolabilecek dışsal faktörlerin deney sonuçlarına etkilerini de yok etmiş olur. Örneğin, alüminyum sertleştirilmesi deneyinde, örneklerin farklı kalınlıkta olduklarını ve soğutma arcı üzerinde kalınlığın etkisi olduğunu

varsayalım. Eğer, yağ ile soğutmada kullanılan örneklerin tümü, su ile soğutmada kullanılan örneklerden daha kalınsa, bir soğutma yöntemini diğerine tercih ederken yanılgıya düşmemek olası değildir. Oysa örnekleri soğutma araçlarına rassal dağıtma, bu problemi yok edecektir.

Geçerlilik aralığı: Bir deneyden elde edilen herhangi bir sonuç tam anlamıyla sadece deneyde kullanılan gerçek deneysel birimlere uygulanabilir. Ancak bu sonuçlardan daima, deneysel şartlardan farklı şartlardaki diğer deneysel birimler tahmin edilmek istenir. İyi tanımlanmış bir birim nüfusundan uygun örneklemiş deneysel birimler önemlidir ve eğer şartlar izin verirse deneyin kendisi içindeki geniş bir şart aralığı dikkatle gözden geçirilmelidir. Genellikle bir prototip özel dikkat gösterilirse mükemmel çalışır, ancak normal üretime aktarıldığı zaman başarısız olur.

Basitlik: Özellikle eğer deneyin kendisi bir üretim çevresi içinde yönetilecekse basit tasarımlar tercih edilir. Daha önceki deneylerin sonucunun aydınlattığı birçok küçük ölçekli deney, büyük her şeyi kapsayan deneylerden daha iyidir Basit bir tasarım genellikle basit bir analize götürür. Bununla birlikte karmaşık bir tasarımın kullanılmasını haklı çıkaran bazı durumlar vardır.

Kararsızlığın hesaplanması: Daha önce de ifade edildiği gibi deney sonuçlarında kararsızlık doğaldır; deneyin gereksinimlerinden biri bu kararsızlığın miktarını belirtmek ve ölçmektir. Bunu tam olarak yapmak için bu şartlardan en azından bazılarını tekrarlamağa ihtiyaç duyulur. Örneğin bazı deneysel şartlar altında çalışan bir set deneysel birime ihtiyaç duyulur. Bu sadece aynı deneysel birim üzerindeki tekrarlayan ölçümler almak değil temel deneysel birimlerin kendilerini tekrarlamaktır.

5.5. Deneysel Tasarım Adımları

Deneysel tasarım metodu ürün ve proses düzeyinde 3 adımda uygulanır:

a. Sistem Tasarımı (Birincil Tasarım)

Sistem Tasarımı, kalite karakteristiğinin hedef değerinden sapmasız ve minimum değişkenliğe sahip olarak, ürünün istenilen ve gerekli olan fonksiyonlarını gerçekleştiren bir temel prototip tasarımın geliştirilmesini ifade etmektedir. Bu adım hammadde, parça eleman ve montaj sisteminin seçimini içerir **(Şirvancı, 1997)**.

b. Parametre Tasarımı (İkincil Tasarım)

Sistem tasarımı oluşturulduktan sonra geçilecek adım, ürünün fonksiyonel sapmalarını minimize edecek olan, sistemdeki her bir elemanın parametreleri için optimal seviyelerinin araştırılmasıdır. Taguchi'ye göre maliyetin indirgenmesinde ve kalitenin geliştirilmesinde en etkin aşama parametre tasarımıdır **(Şirvancı, 1997)**.

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 **(Şirvancı, 1997)**.

İç gürültü faktörleri, üretilecek ürünün belirlenen karakteristik değerlerinden sapmasına neden olan faktörlerdir. Bunlar imalât 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 **(Şirvancı, 1997)**.

Parametre tasarımı aşamasında gürültü faktörlerine karşı kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal olacak şekilde belirlenmesi, ürün ve süreçteki varyansı minimuma indirebilir. Taguchi bu amaçla yapılan ürün ve süreç tasarımına dayanıklı (robust) tasarım demektedir. Burada dayanıklı, 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 dayanıklılığı, 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 dayanıklı tasarıma ulaşmak için deney tasarımı uygulamasını önermiştir **(Şirvancı, 1997)**.

c. Tolerans Tasarımı (Üçüncül Tasarım)

Sistem tasarımını tamamlayıp, sistemi oluşturan elemanların parametrelerinin optimal değerleri belirlendikten sonra oluşacak kalite kaybı sonucunda katlanılacak kalite maliyeti oluşan bu kayıp ile birlikte değerlendirilerek, her bir parametre (faktör) için tolerans elde edilir. Tolerans sınırları daraldıkça ürün daha maliyetli olarak üretilir, çünkü üretim maliyetleri artacaktır. Üretim maliyetlerindeki artışın nedeni üretim hattının daha sıkı kontrol edilmesi ve bozuk ürünlerin ayıklanmasıdır. Diğer taraftan tolerans sınırları genişledikçe, ürünün ilgilenilen fonksiyonunun hedef değerden sapmaları da büyüyecektir. Bunun sonucu olarak kalite kayıpları da artacaktır. Tolerans tasarım adımında en ekonomik tolerans belirlenir. Belirlenen bu toleranslar, hedef değerden kabul edilebilir sapmalara göre ürün maliyetini minimize eder **(Şirvancı, 1997)**.

5.6. Deneysel Tasarım Aşamaları

Deney tasarım ve analiz aşamalarında istatistik yaklaşımını kullanabilmek için, üzerinde çalışılacak konunun açıkça ifade edilmesi ve anlaşılması, verilerin toplanma şekli ve bu verilerin nasıl analiz edileceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Deney tasarım önerileri, Tablo 5.1'de özetlenmiştir. Her bir maddenin temel noktaları aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Deney Tasarım Aşamaları

1. Problem seçme ve tanımlama
2. Faktörleri, seviyelerini ve aralıklarını seçme
3. Çıktı değişkeninin seçilmesi
4. Deney tasarımını seçme
5. Deneyi gerçekleştirme
6. Verilerin istatistiksel analizlerini yapma
7. Sonuç ve öneriler

1. Problem seçme ve tanımlama: Deney gerektirecek bir problemi fark etmek pratikte çok kolay değildir. Bir deney gerçekleşeceği zaman, amaç ile ilgili tüm detaylar göz önünde bulundurulmalıdır. Probleme net bir çözüm getirmek için problemin iyi belirlenmesi ve anlaşılması gerekmektedir.

2. Faktörleri, seviyelerini ve aralıklarını seçme: (2. ve 3. adımlar eş zamanlı veya ters sırada yapılabilir.) Deneyde değiştirilecek faktörler seçilmeli, bu faktörlerin değişim aralıkları ve denemelerde hangi seviyelerde tutulacağı belirlenmelidir. Bu faktörlerin istenilen seviyelerde nasıl kontrol altında tutulacağı ve nasıl ölçülmeleri gerektiği de üzerinde düşünülmesi gerekli konulardan biridir. Bunun içinde proses bilgisi gerekli olacaktır. Bu proses bilgisi, pratik deneyim ve teorik bilgilerin kombinasyonlarından oluşabilir.

Deneyin amacı faktör inceleme olduğu zaman, faktör seviyelerini az sayıda tutmakta fayda vardır. Genelde iki seviye seçme, bu tür çalışmalarda iyi sonuçlar vermektedir. Aralık seçme de önemli bir konudur. Faktör incelemede ilgilenilen aralığın geniş seçilmesi yine verimli sonuçlar çıkaracaktır. Daha sonra, hangi

değişkenlerin önemli olduğunu ve hangi seviyelerde iyi sonuçlar verdiğini öğrendikçe, ilgilenilen aralık daha çok daraltılabilir.

3. Çıktı değişkeninin seçilmesi: Çıktı değişkeninin seçilmesinde dikkat edilecek nokta, üzerinde çalışılan proses hakkında gerekli bilgiyi sağlamasıdır. Birden fazla çıktı değişkeni seçilmesi de mümkündür.

1, 2, ve 3. adımlar **deney öncesi planlama** adı altında toplanırlar.

4. Deney tasarımını seçme: Yukarıdaki deney öncesi planlama aktiviteleri doğru bir şekilde yapıldıktan sonra, bu aşama daha kolay hale gelir. Örnek sayısının seçilmesi, her bir deney koşulunun deneme sırasının ve tekrarlanma sayısının belirlenmesi, blok veya daha başka kısıtlayıcı şartların bulunup bulunmadığının saptanması gibi kraterler, deney tasarımını oluşturur.

Bu adımı destekleyecek istatistiksel paket programları da mevcuttur. Bu programa; faktör sayıları, seviyeler, aralık (minimum değer – maksimum değer) girilir ve istenilen tasarıma göre analizler yapılır.

Tasarımı seçerken, deney amaçlarını da göz önünde tutmak gereklidir. Hangi faktörlerin çıktıda farklılık oluşturduğu ve ne derece etkili olduklarını, bu amaç çerçevesinde inceleriz. Bu durumda hangi faktörlerin farkı oluşturduğu ve çıktı üzerinde ne derece etkili olduğunu bulmak isteriz. Bizim için benzerliğin / eşitliğin önemli olduğu durumlarda ortaya çıkabilir. Örneğin, A standart ve B daha maliyetli yöntem olmak üzere, iki farklı üretim yönteminin karşılaştırılması ile ilgilenilebilir. Bu durumda, iki yöntemin çıktı üzerinde fark oluşturmadığını ispatlamaya yönelik bir deney de olabilir.

5. Deneyi gerçekleştirme: Deneyi gerçekleştirirken, her şeyin planlandığı gibi yapıldığından emin olmak için prosesi takip etmek çok önemlidir. Deney prosedüründeki hatalar, deney geçerliliğini yok edecektir.

6. Verilerin istatistiksel analizlerini yapma: Veri analizlerini destekleyecek pek çok yazılım paketleri bulunmaktadır. Özellikle basit grafiksel metotları, sapma /

hata analizleri ve model uygunluk kontrolleri önemli analiz teknikleridir. Hata analizleri ve model uygunluk sınamaları da kullanılan önemli analizlerdendir.

Unutulmamalıdır ki istatistiksel yöntem, faktör veya faktörlerin etkilerini kanıtlayamaz. Sadece sonuçların güvenilirliği veya geçerliliği üzerine yol göstericidir. Yerinde kullanımında, istatistiksel yöntem hiçbir şeyi ispatlamaya yönelmez, ancak oluşan farklılıkları ölçmemize ve belirlenen bir güven aralığı atamamıza yarar. İstatistiksel yöntemlerin en önemli avantajı, karar verme sürecine nesnellik katmasıdır.

7. Sonuç ve öneriler: Veri analizlerinden sonra, deney sahibi, sonuçlara göre çıkarımlar yapmalı, nasıl hareket edileceğini belirlemelidir. Bu safhada grafiksel gösterimlerden sıkça faydalanılmaktadır.

Tüm bu proses boyunca, unutulmamalıdır ki deney öğrenme sürecinin bir parçasıdır. Sistem ile ilgili hipotezler formüle edilir, bu hipotezlerin geçerliliğini araştırmak için deneyler yapılır, çıkan sonuçlara göre yeni hipotezler formüle edilir ve böylece devem eder. Görülmektedir ki, deney, iteratif bir çalışmadır. Çalışmanın başlangıcında çok büyük, kapsamlı, tek bir deney yapmak hatalı bir davranıştır. Başarılı bir deney için, ilgili faktörleri, bu faktörlerin değişeceği aralığı, doğru seviye sayılarını ve bu değişkenlerin doğru ölçüm ünitelerini bilmek gerekmektedir. Genellikle, bu soruların cevabı tam olarak başlangıçta bilinmez, ancak deney prosesi süresince öğrenilir. Deneyde ilerledikçe, bazı değişkenler ilave edilir, bazıları çıkarılır, bazı faktörler için arlık değiştirilir veya farklı çıktı değişkeni üzerinde durulmaya başlanır. Genel bir kural olarak, mevcut kaynakların %25'inden fazlası ilk deney için kullanılmaz. Böylece deney süresince, diğer aşamalar içinde yeterli kaynak kalınması sağlanmış olur.

5.7. Deney Stratejileri

Bir deneyi planlama ve yürütme yöntemine **"deney stratejisi"** adı verilir. Bir örnekle değişik deney stratejilerine göz atalım:

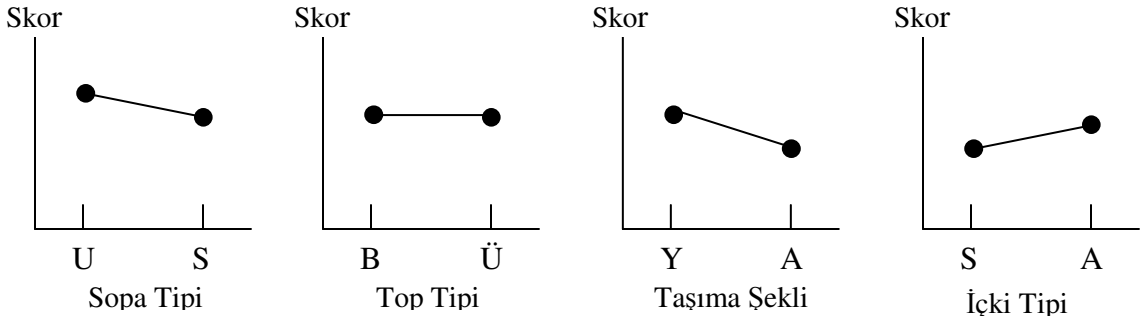
Golf oynamaktan hoşlanan ama alıştırma yapmaktan hoşlanmayıp iyi skorlar almak isteyen birini göz önüne alalım **(Montgomery, 1996)**. Golf oyununda amaç, skoru minimuma getirmektir. Golf skoru üzerinde önemli olduğunu düşündüğü faktörler aşağıda sıralanmıştır:

1. Kullanılan sopa tipi (uzun veya standart ölçülü)
2. Kullanılan top tipi (balata veya üç parça)
3. Golf gereçlerini yürüterek taşımak veya golf arabası ile taşımak
4. Oyun esnasında su içmek veya alkollü içki içmek
5. Sabah oynamak veya öğleden sonra oynamak

Bu faktörlerin, oyuncunun skoru üzerinde etkilerini göz önüne alalım. Oyun esnasında, oyuncu uzun sopa ile atışlar kaçırdığını fark eder ve diğer tüm faktörleri değiştirmeden sabit tutarak, standart sopa ile diğer oyunu oynamaya karar verir. Bu yöntem, o andaki oyunun skoruna bakarak bir veya daha çok faktörü değiştirerek belirsiz bir şekilde devam edebilir. Bu yönteme **"en iyi tahmin yöntemi"** denir. Bu yöntem genelde iyi sonuçlar verir, çünkü deney sahibinin genelde çalıştığı sistem üzerinde derin teknik ve teorik bilgisi ve önemli pratik deneyimleri mevcuttur. Bununla beraber, bu yöntemin iki dezavantajı vardır: ilk "en iyi tahmin"in istenilen sonucu vermediğini varsayalım. Bu durumda deney sahibi, faktör seviyelerinin doğru kombinasyonları üzerine farklı bir tahminde bulunmak zorundadır. Bu durum, başarı garantisi olmadan, uzun bir süre devam edebilir. İkinci olarak, ilk "en iyi tahmin"in kabul edilir bir sonuç verdiğini tahmin edelim. Burada da, en iyi sonucun bulunduğu garantisi var olmadığı halde, deney sahibi denemeyi bırakmaya yönelir.

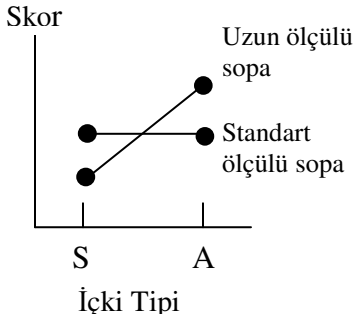
Uygulamalarda kullanılan bir başka deney stratejisi, **"bir kerede bir faktör"** yöntemidir. Bu metot, her bir faktör için bir başlangıç noktası veya temel seviye seçmekle başlar ve kendi dışındaki faktörleri temel seviyelerinde sabit tutarak her bir faktörü kendi aralığı üzerinde değiştirerek devam eder. Şekil 5.2 golf deneyi için uzun sopa, balata top, yürüme ve su içme faktörlerinin temel seviyelerini gösteren bir dizi grafiklerdir. Bu grafiklerin yorumu basittir. Örneğin taşıma şekli

doğrusunun eğimi negatif olduğundan, arabayla taşımanın skoru iyileştirdiği sonucuna varıyoruz. Buradaki bir kerede bir faktör grafiklerini kullanarak, optimal kombinasyonun şu şekilde olacağı sonucunu çıkarırız: standart sopa, araba ile taşıma, su içme. Top tipinin skor üzerinde önemsiz olduğunu görmekteyiz.



Şekil 5.2 : Golf örneği için bir kerede bir faktör stratejisinin sonuçları

Bir kerede bir faktör stratejisinin en önemli dezavantajı, faktörler arasındaki olası herhangi bir etkileşimi göz ardı etmesidir. Etkileşim; bir faktörün, farklı bir faktörün değişik seviyeleri ile birlikte kullanıldığında, çıktı üzerinde aynı etkiyi göstermesinin yok olmasıdır. Şekil 5.3 golf deneyi için, içki faktörünün ve sopa şeklinin etkileşimini göstermektedir. Oyuncu, standart sopa kullandığında, tüketilen içkinin skor üzerinde hiçbir etkisi olmadığı gözlenir. Ancak, uzun sopalar kullanıldığında, alkollü içki içmektense su içildiğinde daha iyi sonuçlar çıkarıldığı görülmektedir. Faktörler arasındaki etkileşimler sıklıkla mevcuttur, ancak bir kerede bir faktör stratejisi, bu konuda oldukça zayıf kalmaktadır. Pek çok kişi, bunu fark edememekte ve uygulamalarda bir kerede bir faktör stratejisi oldukça sık kullanılmaktadır.



Şekil 5.3 : Golf deneyi için sopa tipi ile içki tipi arasındaki etkileşim

5.8. Deneysel Tasarım Yöntemleri

Değişik bilim alanlarında yapılabilecek deneysel çalışmaların veri güvenirliği ve geçerliliğini sağlayacak biçimde hazırlanmış çok sayıda deney tasarımı (deney planları) bulunmaktadır.

5.8.1. Tek Rassal Gruplu Tarihsel yada Parametre Kontrollü Deney Tasarımları

Bağımlı değişkenin evren değerlerine (μ, σ) ya da tarih olarak daha önce yapılmış denemelerden elde edilen araştırma istatistiklerine (X, *S*) göre değişimlerini incelemek amacıyla yararlanılan denemelerdir. Evrenden n sayıda rasgele seçilen bir grupta denemeler yapılarak X değişkeni gözlemleri elde edilir. Örnekten elde edilen bulgular evren değerleri ya da önceki deneysel çalışma istatistiklerine göre test edilir. Değerlendirmeler için normal dağılım varsayımı göz önüne alınarak z testi ya da tek örneklem t testi ile test edilir. Eğer veriler ikili (binary) yapıda iseler Binomial test ile bulgular değerlendirilir. Bu tip denemelerde ayrıca bir kontrol grubu kullanmak gerekmez.

5.8.2. Rassal Bağımsız Deney Tasarımları

Faktörlerin birimlerde eşitlenemediği ya da standardize edilemediği durumlarda farklı faktörlere sahip ya da k tane grup seçerek ($k > 2$) bu gruplarda denemeyi yürütmek ve gruplarda grup içi değişimin (grup içi varyasyon) gruplar arasındaki değişim ile benzer olup olmadığının araştırıldığı deney düzenidir. Bu deneme düzeninde gruplardan birisi kontrol grubu olabilir. Rassal bağımsız gruplar düzeninde elde edilen veriler normal dağılım varsayımı altında aralıklı ya da oransal ölçekle elde edilmiş iseler Tek Yönlü Varyans Analizi (Oneway ANOVA) ile test edilirler. Veriler skor değerlerinden oluşuyorsa ya da dağılım varsayımı kullanılmak istenmiyorsa Kruskal-Wallis Tekyönlü Varyans Analizi ile test edilirler. Eğer veriler nominal ölçekli iseler gruplara göre değişkenin bağıntısı ya da bağımsızlığı Ki kare (tablonun boyutuna göre Fisher, Yates, Pearson, Mantel Haenzsel) testi ile test edilir.

5.8.3. Rassal Bloklar Deney Tasarımları

Kontrol kullanma olanağı bulunmayan ve faktör değişkenlerin sabitlenemediği, eşitlenemediği durumlarda bir faktörün ikiden daha fazla seviyesinin bağımsız değişken üzerindeki etkileri denenmek istendiğinde başvurulan bir deneme düzenidir.

Farklı zamanda, farklı faktör seviyelerinde bağımsız değişkenin aynı birim üzerinde etkisi test edilerek deneme yürütülür. Bu tür denemelere çok tekrarlı eşleştirilmiş düzen de denilmektedir. Rassal seçilen n birim önce faktörün 1. seviyesine tabi tutulur ve deneme sonuçları kayıt edilir. 1. seviyenin etkisi kaybolduktan sonra aynı birimler ikinci seviyeye tabi tutulur. Bu işlemler uygun olan k kez tekrarlanır. Bu tür deneme düzeninde deneme grubunun değişik zamanlarda X değişkeni ölçülerek zamana göre X değişkeninin değişimi incelenebilir. Bu deneme düzeninde gruplardan birisi kontrol grubu olabilir.

Bu düzende bir grup rassal seçilir ve k işleme tabi tutularak farklı işlem seviyelerinde X değişkenine ilişkin ölçümler elde edilir. İşlemlerde ölçülen veriler bağımlı verilerdir. Rassal bloklar düzeninde elde edilen veriler normal dağılım varsayımı altında aralıklı ya da oransal ölçekle elde edilmiş iseler İkiyönlü Varyans Analizi (Two-way ANOVA) ile test edilirler. Veriler skor değerlerinden oluşuyorsa ya da dağılım varsayımı kullanılmak istenmiyorsa Friedman İkiyönlü Varyans Analizi ile test edilirler. Eğer veriler nominal ölçekli iseler ya da kodlanarak c kategoride gösterilmiş iseler gruplara göre değişkenin bağıntısı ya da bağımsızlığı Cochran Ki kare testi ile test edilir.

5.8.4. Latin Kare Deney Tasarımları

Deney birimlerini etkileyen faktörler arasında birimin bulunduğu yer, konum ve koşullar etkili ise ve birimleri bu etkenlere göre değişik zamanlarda birer kez denemeye alma olanağı varsa uygulanan bir deneme düzenidir. Rassal seçilen koşul sayısı kadar birim, her koşulda en az bir kez denemeye alınarak verileri elde edilir ve farklı yer, konum ya da koşulun bağımlı değişken üzerindeki etkisi elemine edilerek deneme yürütülür. Birimlerin koşullarda deneme sırası rasgele olarak

belirlenir. Örneğin bireylerin iş gücü performanslarını belirlerken bir iş yerinde iki ya da daha fazla departman varsa bu departmanların iş verimine etkilerini test etmek için her işçi farklı departmanlarda eşit sürelerde çalıştırılarak iş verimi ölçülür ve işçinin işyerindeki bölüm etkisinden arındırılmış iş verimi elde edilebilir. Bu deneme düzeninde her birim tüm koşullarda bir kez denemeye alınır.

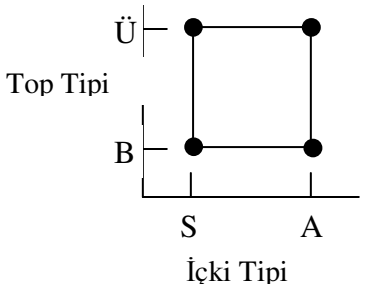
5.8.5. Faktöriyel Deney Tasarımları

Birbirleri ile etkileşim (interaction) içinde olabilecek en az iki faktörün en az ikişer seviyelerinin (etki düzeyleri, dozları vb.) birlikte ele alınarak denendiği deneme düzenleridir. Faktöriyel tasarımlar, değişik faktörlerin bulunduğu ve bu faktörlerin etkileşimlerini incelemede sıkça kullanılan deneylerdir. Çeşitli faktörler söz konusu olduğunda en doğru yaklaşım, faktöriyel deneylerdir. Bu stratejide, bir kerede bir faktör incelemek yerine, faktörler birlikte incelenir. Faktöriyel deney tasarımlar oldukça önemli bir yöntemdir ve çalışmada üzerinde ayrıntılarıyla durulacaktır.

Bu özel durumların en önemlisi, sadece ikişer seviyeye sahip olan *k* faktörün incelenenidir. Bu seviyeler nicel olabilir; sıcaklık, basınç veya zamanın iki değeri gibi. Seviyeler, nitel de olabilir; iki makine, iki işçi, bir faktörün "üst" ve "alt" seviyesi, yada bir faktörün bulunması ya da bulunmaması gibi. Böyle bir tasarımın tüm kombinasyonlarının denenmesi için 2 x 2 x 2 x .....x 2 = 2^k adet gözlem gerekmektedir ve böyle bir tasarıma da 2^k faktöriyel tasarım denir.

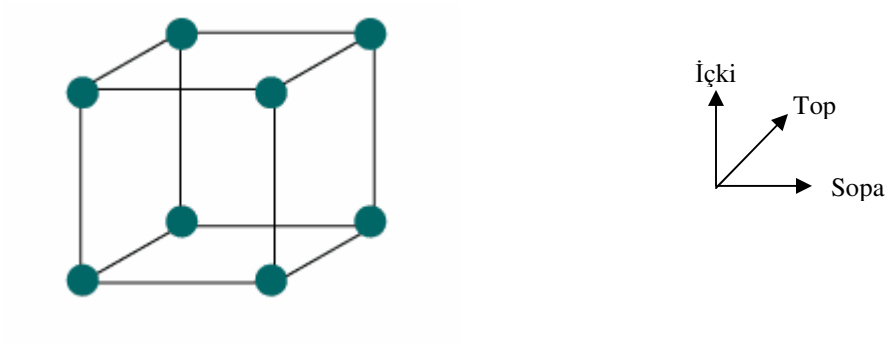
Faktöriyel deneyin nasıl yürütüldüğünü anlamak için yukarıda anlatılan golf örneğindeki sadece iki faktörü göz önüne alalım: içki tipi ve top tipi. Şekil 5.4 bu iki faktörün skor üzerindeki birleşik etkisin, belirlemek için oluşturulmuş iki-faktörlü-faktöriyel deneydir. Bu faktöriyel deney, her bir faktörün iki seviyesini ve bu iki faktörün seviyeleri göz önünde tutularak olası tüm kombinasyonlarını içermektedir. Geometrik olarak, dört deneme, karenin dört köşesini oluşturmaktadır. Bu tip faktöriyel deneylere **2^2 faktöriyel tasarım** (iki faktör, her biri için ikişer seviye) adı verilir. Oyuncu bu kombinasyonları araştırmak için sekiz adet oyun oynayabileceğine göre, en mantıklı plan her bir kombinasyonu ikişer kere oynamaktır. Buradaki tasarım iki tekrarlıdır. Bu deneysel tasarım, deney sahibine,

her bir faktörün deneysel etkisini (esas etki) inceleme ve faktörler arasında etkileşim olup olmadığını belirleme imkanı sağlayacaktır.



Şekil 5.4 : İçki tipi ile top tipini içeren iki-faktörlü faktöriyel deney

Bu deneyi üç faktöre de çıkarabiliriz. Oyuncunun sopa tipi, top tipi ve tüketilen içki tipi faktörlerinin skor üzerindeki etkilerini incelemek istediğini varsayalım. Her bir faktörün iki seviyesi olduğunu varsayarak faktöriyel tasarımı Şekil 5.5'deki gibi oluşturabiliriz.



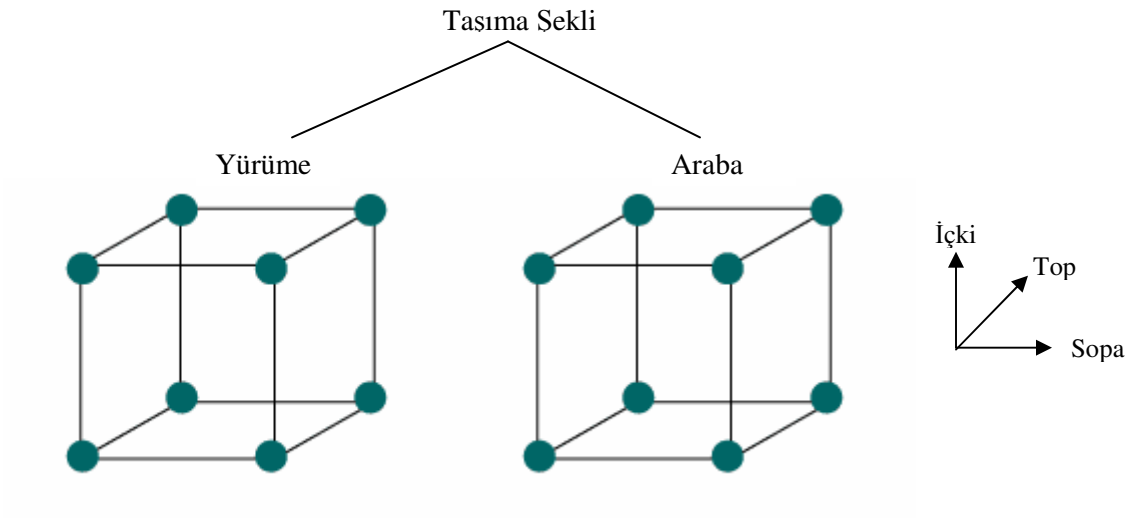
Şekil 5.5 : Sopa tipi, top tipi, ve içki tipini içeren üç-faktörlü faktöriyel deney

Bu üç faktörün, her birinin ikişer seviyeleri olduğu göz önüne alındığında, sekiz kombinasyonu bulunmakta ve bu sekiz deneme geometrik olarak bir küpün köşeleri olarak ifade edilebilmektedir. Bu deney, **2^3 faktöriyel tasarıma** örnektir. Oyuncu sadece 8 oyun oynamak istediğinden dolayı, her bir kombinasyon için bir oyun oynanabilecektir. Bu deneyi, Şekil 5.4'deki iki-faktör-faktöriyel ile karşılaştırdığımızda, 2^3 faktöriyel tasarım faktör etkileri ile ilgili aynı bilgiyi sağlayacaktır. Örneğin, iki-faktör tasarımdaki her bir kombinasyonun iki kere tekrar

edildiğini düşünerek, iki tasarımda da, standart sopa ile ilgili dört sınama ve uzun sopa ile ilgili dört sınama bulunmaktadır.

Şekil 5.6 dört faktörün hepsinin; sopa, top, içki ve taşıma; **2^4 faktöriyel tasarım** ile nasıl ifade edileceğini göstermektedir. Tüm faktöriyel tasarımlarda olduğu gibi, burada da her bir faktörün seviyelerinin tüm olası kombinasyonları kullanılmıştır. Dört faktörün hepsinin ikişer seviyeleri bulunduğu için, bu deneysel tasarım yine bir küp üzerinde ifade edilebilir (aslında iki küp).

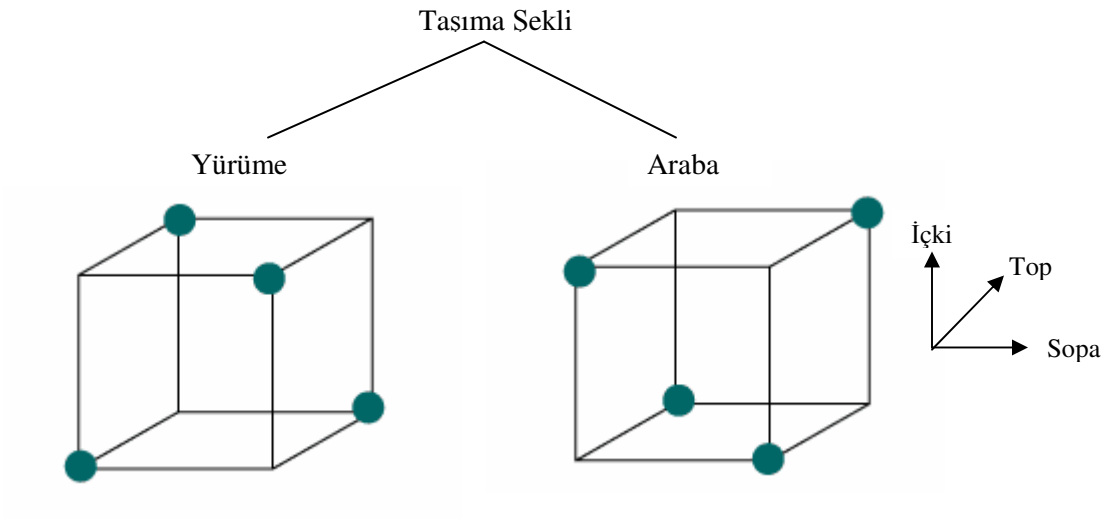
Genel olarak, eğer *k* adet faktör varsa, faktöriyel tasarım 2^k adet deneme gerektirir. Örneğin, Şekil 5.6'daki deney 16 adet deneme gerektirir. İlgilenilen faktör sayıları arttıkça, gerekli deneme sayıları da hızla artar. Örneğin on faktörlü bir tasarımın 1024 adet denemeye ihtiyacı vardır. Bu durum zaman ve kaynak açısından pek de uygun düşmeyebilir. Golf deneyinde oyuncu sekiz oyun oynayabilmekte, Şekil 5.6'daki deney bile bu açıdan imkansız bir hal almaktadır.



Şekil 5.6 : Sopa tipi, top tipi, içki tipi ve taşıma şeklini içeren dört faktörlü faktöriyel deney

Aslında eğer dört, beş veya daha fazla mevcutsa, faktör seviyelerine ait olası tüm kombinasyonları denemek gereksizdir. **Kesirli faktöriyel deney**, temel faktöriyel tasarımların bir varyasyonudur: kombinasyonların sadece bir alt kümesi yapılır.

Şekil 5.7, dört faktörlü golf deneyi için kesirli faktöriyel tasarımı göstermektedir. Bu deney 16 yerine 8 adet koşum gerektirmektedir ve bu deneye **yarım kesir** denmektedir. Eğer golf oyuncusu sekiz adet oyun oynayabiliyorsa, bu tip deney dört faktörü incelemek için mükemmel bir tasarım olacaktır. Böylece hem dört faktörün esas etkileri hakkında bilgi edinecek hem de bu faktörün nasıl etkileşim içinde bulunduklarını öğrenecek.



Şekil 5.7 : Sopa tipi, top tipi, içki tipi ve taşıma şeklini içeren dört-faktörlü kesirli deney

Uygulama aşamasında yarım kesirli faktöriyel tasarımı kullanılacağından dolayı daha geniş açıklama uygulama modeli anlatılırken verilecektir.

5.8.6. Eksik Bloklu Deney Tasarımları

Denemeye alınan birim sayısını azaltmak amacıyla bazı faktörlerde bazı faktör seviyelerinin denenmeksizin işlemlerin yürütüldüğü deneme düzenleridir. Genellikle sosyal bilim alanlarında uygulanması olanağı sınırlı olan deney düzenleridir. Denemeye alınan iki ya da daha çok faktörün bazı düzeyleri uygulanmaksızın atlanır. Bu atlama ikinci kez ele alınan blokta denemeye alınır. Bu tip denemelerde her faktör için daha az sayıda blok denemeye alınmış olur.

5.9. İç Tutarlılık ve Dış Tutarlılık (İç Geçerlilik ve Dış Geçerlilik)

Deneylerin düzenlenmesinde yukarıda kısaca söz edilen kurallara uyulmasına rağmen elde edilen verilerin gerçekten varsayımları denetlemede kullanılabilir olup olmadığı tartışmalıdır. Eğer deneysel çalışmada doğru değişkenler doğru ölçeklerle ölçülmemiş ise deney tüm kurallara uyularak düzenlenmiş olsa bile sonuçların güvenirliği azdır.

İç tutarlılık, bir deneyde deneme sonuçlarının ölçülmesinde kullanılan ölçme araçlarının gerçekten denemede ele alınan olayı (durumu) varsayımları denetlemek amacıyla kullanılabilecek doğruluk ve geçerlilikte ölçüp ölçmediğinin belirlenmesidir. Deneyde, öncelikle bağımlı değişkenin değişiminin araştırma modelinde yer alan bağımsız değişkenler tarafından gerçekten açıklanıp açıklanmadığının belirlenmesi temel hedeftir. Deneylerin iç tutarlılığının yüksek olması için birimlerde yapılan ölçümlerin deneyde kapsanmayan yer, zaman ve birey özelliklerinden olabildiğinde bağımsız olarak ölçülmesi gerekir. Ayrıca deney öncesi ölçümler ile deneme ölçümleri arasında bir etkileşim bulunmaması gerekir.

Deneyin iç tutarlılığının belirlenmesinde deney birimlerinin grup içi homojenliğinin sağlanması gerekir. Örneğin deney grupları yaş, cins, boy, ağırlık vb. değişkenler yönünden dağılım gösterdiklerinin belirlenmesi için değişkenlerin tipine ve verinin ölçeğine göre iki gruplu denemelerde (deney-Kontrol, Grup1-Grup2) kikare homojenlik testi ya da Kolmogorov-Smirnov iki örneklem testi yapılması gerekir. İkiden fazla grup söz konusu olduğunda ise Barttlet testi ile homojenlik kontrolu yapılması gerekir. Homojen olmayan deney gruplarında yapılan deneme sonuçlarının iç tutarlılığından söz edilemez.

Ayrıca deneylerdeki değişkenleri ölçmekte kullanılan ölçme araçlarının güvenirliğinin yüksek olması deneyin iç tutarlılığının yüksek olduğunu gösterir. Bu amaçla deneysel sonuçların elde edildiği ölçme araçlarının güvenirlik katsayıları hesaplanır. Bu katsayılar sorulardaki seçeneklerin 2'den fazla olduğu durumlarda Cronbach Alfa katsayısı ile belirlenir, soru seçenekleri ikili olduğunda (Doğru-Yanlış, Evet-Hayır vb.) ise Kuder-Richarson Güvenirlik katsayılarından yararlanılır.

Dış Tutarlılık, bir deneyden elde edilen sonuçların evrene genellenebilmesi olarak ifade edilebilir. Deneysel araştırma sonuçlarının dış geçerliliği, yapay ortamda elde edilen sonuçların doğal yaşamda (evrende) da tekrarlanabilir, gözlenebilir olmasıdır. Deneysel çalışmalardan elde edilen parametre tahminlerinin evren değerlerin tahmininde yeterli birer istatistik olması gerekir. Bir parametre tahmininin minimum varyanslı, yeterli istatistik, yansız istatistik vb. özelliklerini taşıması gerekir.

Deneysel çalışmadan elde edilen istatistiklerin (ortalama, standart sapma, medyan, korelasyon katsayısı vb.) evren değerlerini tahminde kullanılması için deneysel hatanın minimum olması gerekir. Deneysel hatanın en aza indirilmesi için gerekli kurallara yukarıda değinilmiştir. Bu koşulların yerine getirilmesi halinde bile deneysel hatanın en aza indirilemediği durumlar olabilir. Bu gibi durumlar söz konusu olduğunda değişkenler arasındaki etkileşimleri, ortak değişkenlerin etkilerini istatistiksel yöntemlerle ayırt ederek gerçek varyansı hesaplamak ve bu varyans değerlerini kullanarak tahminlerde bulunmak gerekir. Deneydeki toplam varyasyonu öğelerine ayırarak deneysel hatayı hesaplayabilmek için Varyans Analizi, Kovaryans Analizi, Çokdeğişkenli Varyans Analizi, Regresyon Analizi gibi yöntemlerden yararlanılır.

Bir deneyin iç tutarlılığının yüksek olması o deneyin dış tutarlılığının da yüksek olacağı anlamına gelmez. Her iki ölçütünde yüksek olması gerekir. Bu ise deneyin, çok sayıda türdeş deney birimleri üzerinde kontrol grubu kullanılarak yapılması halinde mümkün olabilir.

6. LİTERATÜR TARAMASI

6.1. Kanban Üretim Sistemi Modellenmesi ile ilgili Literatür Taraması

Kanban bazlı operasyonel planlama ve kontrol problemleri ile ilgili analitik yada simülasyon modellemelerinin konu edildiği çok sayıda çalışma yapılmıştır. **Berkley (1992a)** kanban üretim kontrol alanında 50 makale incelemiş ve sınıflandırmıştır. Ayrıca kanban sistemlerinde ki çok gerekli 24 tane operasyonel tasarım faktörünü listelemiştir. **Price, Gravel ve Nsakanda (1994)** kanban bazlı sistemlerin optimizasyon modellerini incelemişlerdir. Yazarlar makalelerin sonunda kanban sistemleri ile ilgili gelecekteki ilginin, üretim kontrol için kanban sistemleri ile karar destek sistemlerinin ilişkisi olacağını iddia etmişlerdir.

6.1.1. Matematiksel Modeller

Birçok araştırmacı matematiksel modelleme yaklaşımını kullanmışlardır. Bu modellerde talebin öngörülebildiği, malzeme elleçlemenin periyodik yapıldığı ve periyotların sabit zaman devirleri olduğu kabul edilmiştir. **Kimura ve Terada (1981)**, kanban modellemesi konusunda öncü sayılabilecek bir kanban sistemi modeli geliştirmişlerdir. Bu model arkasından gelen diğer çalışmalara referans olmuştur. **Bitran ve Chang (1987)**, **Kimura ve Terada**'nın çalışmasını geliştirerek çok aşamalı üretim sistemlerinde ki (multi-stage production setting) kanban sistemleri için bir matematiksel model önermişlerdir. Öngördükleri deterministik model, her bir üretim aşamasında kullanılan kanban sayısı seçimi ve böylece de stok seviyelerinin kontrolünü konusunda yardımcı olması için tasarlanmıştır. **Bard ve Golany (1991)**, hammadde kısıdı ve her üretim şamasında birden fazla parçanın üretilmesi faktörlerini de modellerine ekleyerek **Bitran ve Chang**'ın çalışmalarını geliştirdikleri bir karmaşık tam sayılı programlama modeli kurmuşlardır. **Fukukawa ve Hong (1993)**, kanban sayısı belirlemek için karmaşık tam sayılı

programlama modeli geliştirmişlerdir. **Mitwasi ve Aşkın (1994)** çok-ürünlü tek aşama kanban sistemi için doğrusal olmayan model dizayn etmişlerdir. **Price, Gravel, Nsaknada ve Cantin (1995)** kanban bazlı montaj hücresinde tam sayılı doğrusal programlama modeli formüle etmişlerdir; bu model zaman periyotları arasında hücre içinde kanban akışını takip eden değişkenleri olan çok periyotlu bir model idi. Modellin kısıtları, maksimum kanban sayısı, bir üretim işlemi için gerekli malzemelerin imkanı, talebi karşılayabilecek üretim miktarı sınırı ve makine imkanıdır. Amaç kanban dolaşım mesafesinin minimize edilmesidir. Tam sayılı doğrusal programının çözümü sadece baskı ürünleri için mümkün olmuştur. Ancak bu model karmaşık montaj akışlarına sahip ürünler için uygulanabilir değildir. Maalesef ki kanban dolaşım mesafesinin azaltılabilmesi için çok sayıda kanban kullanılmak gerektiği ve süreç içinde ki WIP'lerin artığı sonucu bulunmuştur. **Gupta ve Al-Turki (1998)** "esnek kanban sistemi" adında yeni bir kanban sistemi tanımlamışlardır. Bu sistem dinamik ve sistematik olarak kanban sayısını ve stokastik faktörler yüzünden sistemde oluşabilecek dengesizlikleri manipüle edebilen matematiksel modelleme bazlı bir algoritma kullanmıştır.

6.1.2. Kuyruk ve Markov Zinciri Modelleri

Markov zincirleri, kanban kontrolleri üretim hatlarının modellenmesi ve optimal kanban sayısının bulunması konusunda popüler stratejilerden biridir. Bu modellerde, araştırmacılar genellikle üretim istasyonları çiftleri arasındaki dolu konteynırların sayıları ile sistemin durumunu modele yansıtarak süreç zamanlarının üstsel olduğunu varsaymışlardır.

Deleersnyder, **Hodgson, Muller ve O'Grady (1989)**, kanban sayılarının, makine güvenilirliğinin, süreç zamanı ve bitmiş ürün talep değişkenliğinin etkilerini inceledikleri süreksiz zamanlı Markov Zinciri modeli kumuşlardır. Kurdukları modelde; talep, süreç zamanları, makine bozulmaları değişkenler olarak tanımlanmıştır. Eğer süreç zamanı beklenenden uzun olursa o periyotta daha az parça üretilecektir. **Berkley (1992b)**, periyodik malzeme elleçlemeli ve Erlang süreç zamanları olan iki-kart sistemleri için gömülü Markov Zinciri kullandığı bir yaklaşım geliştirmiştir. Yazar çalışmasında, bu yaklaşımının gerekli kanban sayısı

ve gerekli çevrim süresini bulmak için nasıl kullanılacağına dair örnekler vermiştir. **Berkley (1994)** arzulanan üretim oranı sağlamak için ortalama üretim istasyonu süreç zamanlarından bağımsız olarak minimum performans seviyesinin belirlenebildiği sürekli zamanlı Markov zinciri kullanmıştır. Çalışmada performans göstergesi olarak tüm talebin stoktan karşılanabilme oranı ve ortalama kanban kuyruk zamanları kabul edilmiştir. Çalışmada talep sonsuz, elleçleme zamanları ise 0 olarak tanımlanmıştır. **Nori ve Sarker (1998)** birbirini takip eden istasyonlar arasındaki optimum kanban sayısını bulmakta Markov Zinciri kullanarak kanban sistemi modellemişlerdir. Çalışma içinde yapılan sayısal bir örnek ile **Wang ve Wang (1991)**de yapmış oldukları çalışmadan daha iyi sonuç elde eden bir prosedür geliştirmiş ve optimum kanban sayısı tespitinde daha başarılı olmuşlardır.

6.1.3. Simülasyon Bazlı Modelleri

Gerekli kanban sayısı bulma ve üretim miktarı belirleme çalışmalarında simülasyon tekniği birçok avantaj sunmaktadır. Süreç zamanları ve termin sürelerinin dağılımları hakkında bazı varsayımlarda bulunmak zorundadır. Simülasyon en çok yaşanan üretim koşulları altında koşturulabilir. Sabit sipariş noktaları (fixed order points) dört üretim istasyonlu bir simülasyon çalışmasında **Berkley (1993)** sipariş noktalarının ortalama stok ve üretim oranları üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olduklarını göstermiştir. Sabit çevrim zamanlı iki kartlı sistem simülasyon çalışmasında, **Berkley ve Kıran (1991)** ortalama süreç stoklarının yüksek ölçüde çekme çevrim süreleri ile duyarlı iken son ürün çekme kanban kuyruk süresi zamanı ile daha az duyarlı olduğunu bulmuşlardır. Bu çalışma malzeme elleçleme sıklığının, düşük müşteri hizmet maliyeti seviyelerinde önemli ölçüde stok tasarrufu sağlamada azaltılabileceğini önermiştir. **Gravel ve Price (1988, 1991)** WIP ve kanban dolaşım mesafesini azaltma amaçlı kanban simülasyon modelleri geliştirmişlerdir. **Abdou ve Dutta (1993)**, toplam hazırlık süreleri, stok tutma ve makina kullanım maliyetleri üzerinde konteynır büyüklüğü, kanban sayısı ve malzeme elleçleme sıklığının etkileri üzerinde çalışmışlardır. Çok ürünlü, çok hatlı iki-kart kanban sistemi için yapılan simülasyon çalışmaları göstermiştir ki, konteynır büyüklüğünün minimize edilmesinin maliyeti, malzeme elleçleme sıklığını ve kanban sayısının artmasının maliyetini dengelemektedir. **Savsar (1996)**

bir JIT üretim kontrol sistemi için bir simülasyon çalışmasını ve değişik üretim koşulları altındaki sistemin performansını çalışmasında sunmuştur. **Berkley (1996)**, ortalama stok ve müşteri hizmet seviyelerinde konteynır büyüklüğünün etkisini belirlemek için çok ürünlü iki-kartlı kanban sistemini simüle etmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki; daha küçük konteynırın daha küçük ortalama da envanter yaratmaktadır. Ayrıca Berkley, daha küçük konteynırların her zaman da daha zayıf müşteri hizmet seviyesi yaratmadığı sonucuna da varmıştır. **Andijani (1997)**, çıktı oranını maksimize etmek ortalama sistem zamanını da minimize etmek için bir kanban alokasyon kümesi üretecek bir stokastik sistem simülasyonu kullanmıştır.

Marek ve diğ. (2001), Arena/Siman 3.5/4.0 kullanarak, Kanban ve CONWIP bazlı çekme sistemlerinin kontrolüne yönelik benzetim modeli ortaya koymuşlardır. Çekme sistemine yönelik temel kavramların şekillerle açıklandığı çalışmada, modelleme teknikleri yanısıra, Kanban ve CONWIP çekme sistemleri için kart azaltma teknikleri sunulmuştur. Bir çekme sistemi uygulamasının temel avantajı, çevrim süresini azaltması ve mühendislik ve tasarım değişkenliklerine yönelik ekonomik esneklik kazandırmasıdır. Kanban sistemi, her bir iş istasyonunda daha az proses içi stok tutulmasına imkan verirken, CONWIP sistemi sadece bir dizi kart ile proses içi stoğun yönetimine imkan verdiğinden, uygulaması ve kontrol etmesi daha kolay bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmada, kart azaltma stratejisi tartışılmış ve üretim operasyonları için benzetimin etkin bir karar destek aracı olduğuna yönelik görüşler ortaya konmuştur. Arena ile çalışılmasının nedeni olarak da, Siman bazlı olması yanısıra, endüstride yaygın kullanım olanağı bulmuş olmasıdır.

6.1.4. Önceki Çalışmalarda Kullanılan Performans Göstergeleri

Literatürde kullanılan çeşitli performans göstergeleri aşağıda listelenmiştir **(Shahabudeen ve diğ., 2002)**:

(a) Ortalama girdi stoğu: ilk istasyon hariç tüm istasyonların önünde bekleyen ortalama girdi malzeme kuyruğu toplamı

(b) Ortalama çıktı stoğu: son istasyon hariç tüm istasyonların arkasında bekleyen ortalama çıktı malzeme kuyruğu toplamı

(c) Toplam WIP stoğu: ortalama girdi-çıktı stok toplamı

(d) Son ürün çekme kanbanı bekleme zamanı: son istasyonun stok noktasına son ürün çekme kanbanının gelmesinden (aynı tip) bitmiş ürün konteynırının çekilmeye hazır olmasına kadar geçen zaman

(e) Doluluk oranı: stoktan talebin karşılanabilme oranı

(f) Son ürün sipariş kuyruk zamanı: siparişin gelmesinden son ürün olarak tamamen karşılandığı zamana kadar geçen zaman

(g) Ortalama kümülatif çıktı oranı: toplam karşılanmış talebin gelen toplam talebe oranı

(h) Ortalama hat kullanımı: son istasyonun ortalama kullanımı

(i) Ortalama toplam WIP büyüklüğü: son ürün stokları da dahil olmak üzere tüm ürünler için süreç içi stok büyüklükleri ortalaması

(j) Ortalama toplam bekleme zamanı: tüm süreç içi ve son ürün stoklarında tüm ürünlerin ortalama bekleme zamanı

(k) Çevrim süresi: iki ardışık çıktı arasında ki zaman

6.2. Kanban Sayısı ile ilgili Literatür Taraması

Kanban sayısı ile aşağıda yapılmış olan çalışma **Aktürk ve Erhun (1999)**'un çalışması baz alınarak genişletilmiştir. **Aktürk ve Erhun (1999)** yaptıkları çalışmada tasarım parametrelerini belirleyerek ve tabular formatta literatür sınıflandırılması yapmışlardır.

6.2.1. Tasarım Parametreleri

Bu bölümde, bir kanban sistemindeki tasarım parametrelerini belirleyen modeller üzerinde durulacak ve bu modellerin yapıları, karar değişkenleri, performans ölçütleri ve varsayımlar ifade edilecektir.

1. Model yapısı: Matematiksel programlama (**M**athematical programming), Simülasyon (**S**imulation) , Markov Zincirleri (Markov **C**hains), Diğerleri (**O**thers)
2. Çözüm yaklaşımı:
    - 2.1. Sezgisel (**H**euristic)
    - 2.2. Kesin: Dinamik programlama (**D**ynamic programming), Tamsayılı programlama (**I**nteger programming), Doğrusal programlama (**L**inear programming), Karmaşık tamsayılı programlama (**M**ixed integer programming), Doğrusal olmayan tamsayılı programlama (**N**onlinear integer programming)
3. Karar değişkenleri:
    - 3.1. Kanban sayısı
    - 3.2. Sipariş aralığı
    - 3.3. Güvenlik stok seviyesi
    - 3.4. Kanban büyüklüğü
4. Performans ölçütleri
    - 4.1.Kanban sayısı
    - 4.2.Kullanım
    - 4.3.Ölçütler: Stok tutma maliyeti (**I**nventory holding cost), Elde bulundurmama maliyeti (**S**hortage cost), Sipariş karşılama oranı (**F**ill rate)
5. Amaç:
    - 5.1.Maliyetin minimize edilmesi: Stok tutma maliyeti (**I**nventory **H**olding cost), Üretim maliyetleri (**O**perating costs), Elde bulundurmama maliyeti (**S**hortage cost), Hazırlık maliyeti (Se**T**up cost)
    - 5.2.Stok seviyesinin azaltılması
    - 5.3.Çıktının maksimize edilmesi

6. Çerçeve:
    6.1. Yerleşim: Montaj ağacı (**A**ssembly-tree), Seri (**S**erial), Ağ (**N**etwork without backtracking)
    6.2. Zaman periyodu: Çoklu-periyot (**M**ulti-period), Tek-periyot (**S**ingle-period)
    6.3. Parça: Çoklu-parça (**M**ulti-item), tek-parça (**S**ingle-item)
    6.4. Aşama: Çoklu-aşama (**M**ulti-stage), Tek-aşama (**S**ingle-stage)
    6.5. Kapasite: Sınırlı kapasite (**C**apacitated), Sınırsız kapasite (**U**ncapacitated)
7. Kanban tipi: Tek kartlı kanban (**S**ingle-card kanban), Çift-kartlı kanban (**D**ual-card kanban)
8. Varsayımlar:
    8.1. Kanban büyüklüğü: Biliniyor (**K**nown), Birim (**U**nit)
    8.2. Stokastiklik durumu: Talep (**D**emand), Termin zamanı (**L**ead time), Süreç zamanı (**P**rocessing time), Hazırlık zamanı (**S**etup time)
    8.3. Üretim çevrimi: Sabit üretim aralıkları (**F**ixed production intervals), Sürekli üretim (**C**ontinuous production)
    8.4. Malzeme elleçleme: Sabit çekme çevrimi (**F**ixed withdrawal cycle), Anlık (**I**nstantaneous)
    8.5. Yoksatma durumu yok
    8.6. Sistem güvenirliği: Dinamik talep (**D**ynamic demand), Makine güvenirliliği (**M**achine unreliability), Aşamalar arası dengesizlik (**I**mbalance between stages), Rework (**R**ework)

Literatürdeki çalışmaların çoğu, matematiksel programlama, Markov zincirleri veya simülasyon yaklaşımları kullanılarak modellenmiştir. Bunların dışında istatistiksel analizler veya Toyota formülü gibi diğer metotları kullanan birkaç istisnai çalışma da vardır. Tablo 6.1'de, bu modeller "diğer" başlığı altında toplandı. Diğer taraftan,

bir çözüm yaklaşımı “sezgisel” yada “kesin” olarak tanımlanabilir. Kesin bir çözüm metodolojisinde, dinamik programlama, tamsayılı programlama, doğrusal programlama, karmaşık tamsayılı programlama yada doğrusal olmayan tamsayılı programlama yaklaşımlarından biri optimum çözümün bulunmasında kullanılabilir.

Analitik modeller için, karar değişkenleri çoğunlukla kanban büyüklükleri, kanban sayıları, çekme çevrim uzunluğu ve güvenlik stok seviyeleridir. Simülasyon modelleri için genellikle kullanılan performans ölçütleri kanban sayısı, makine kullanımları, stok tutma maliyeti, iade sipariş maliyeti ve sipariş karşılanma oranı’dır. Sipariş karşılama oranı, gelen siparişin stoktan ne ölçüde karşılanabildiğinin ihtimalidir. Modeller, yukarıda tanımlanan kriterlerinin değişik kombinasyonları olarak değerlendirilebilir. Analitik modellerin amaçları maliyetlerin yada stokların minimize edilmesi için kullanılabilir. Maliyet minimizasyonu için, maliyet kalemleri, stok tutma maliyeti, yoksatma maliyeti ve hazırlık maliyeti gibi birbirinden bağımsız olabileceği gibi operasyon maliyeti gibi bu kalemlerin kombinasyonu şeklinde de olabilir. Stokastik modellerin diğer bir amacı sistemin çıktısının maksimize edilmesi olabilir.

Modellerin üretim parametreleri içinde, yerleşim, zaman periyodu sayısı, parça sayısı, aşama sayısı ve kapasite vardır. Yerleşim seri (flow line), montaj ağacı yada ağ yapısında olabilir (modified flowline).

Kanban sistemi tek-kartlı yada çift-kartlı olabilir. Modeller için yapılan varsayımlar tabular formatta ayrıca belirtilmiştir. En belirgin varsayımlar modellerin açıklaması içinde belirtilmiştir. İlk varsayım kanban büyüklüğüdür. Bu karakter için bırakılan boş hücre bunun bir parametre değil sistemin bir karar değişkeni olduğunu göstermektedir. Diğer varsayım sistemin doğası ile ilgilidir; sistem deterministik yada stokastik olabilir. Deterministik modeller için bu hücre boş bırakılmıştır. Stokastik modeller için ise stokastik parametreler belirtilmiştir. Üretim çevrimleri, sürekli üretimlerdeki yada sabit aralıklı üretimlerde ki modeller için farklılaşacaktır. Dördüncü varsayım malzeme elleçleme mekanizmasını belirtir ve mekanizma ya anlık yada periyodik olabilir. Beşinci varsayım iade siparişler içindir. Boş bırakılan

hücre iade siparişlere izin verildiğini gösterir. Son varsayım ise sistemin güvenirliğidir. Eğer sistem güvenilir ise hücre boş bırakılır, diğer durum ise sistem güvensizliğini gösterir.

Kimura ve Terada (1981) kanban sistemi operasyonu tanımlayıp stok dalgalanmasını incelemişlerdir. Son ürün talep dalgalanmasının üretim aşamalarındaki üretim ve stok dalgalanmalarını nasıl etkilediğini gösterebilmek için tek parça, çok-aşamalı, sınırsız kapasiteli seri üretim hattındaki kanban sistemini için birkaç denge denklemi elde etmişlerdir. Yazarlar, sipariş büyüklüğünün ve/veya termin zamanı çok arttığı zaman bu dalgalanmaların nasıl etkilendiğini gösterebilmek için simülasyon kullanmışlardır.

Huang ve diğ. (1983) bir Amerikan üretim çevresine JIT sisteminin uygulanabilirliğinin görebilmek için çok-hatlı, çok-aşamalı bir üretim sisteminde kanban simülasyonu yapmışlardır. Simüle edilmiş üretim sistemi değişken süreç zamanları (normal dağılım), değişken ana üretim programı (üstel dağılan talep) ve üretim aşamaları arası dengesizlikler içermektedir. Yazarlara göre süreç zamanları ve talep oranlarındaki değişkenlik çok aşamalı bir üretim ortamı için artırılabilir ve darboğazlardan kurtulmak için fazla kapasite olanağı mevcuttur. **Monden (1984)**, **Huang ve diğ. (1983)** tarafından yapılan tespitlere yorumlar yapmıştır. **Monden**'e göre kanban sistemleri, aylık ana üretim planına (MPS) göre %10'a kadar talepteki günlük değişimlere uyum sağlayabilir. Talepteki büyük mevsimsel değişimler aylık MPS'de zamanında belirtilerek yapılır.

Bitran ve Chang (1987), **Kimura ve Terada**'nın **(1981)** seri modellerini geliştirmişlerdir. Yazarlar, deterministik, tek-ürün, çok-aşamalı, sınırlı kapasite, montaj ağacı üretim ortamındaki kanban sistemleri için doğrusal olmayan tamsayı formülasyonu vermişlerdir. Bu formülasyonda taşıma zamanları 0 ve planlama periyotlarının bilindiği farz edilmiş ve olası minimum kanban sayısı tespit edilmiştir. Yazarlar, ilk kurdukları doğrusal olmayan modelin aynı olası ve optimal çözümler ile tamsayılı doğrusal programlamaya çevrilebileceğini göstermişlerdir. Önerilen model belirsizlikleri kapsamamaktadır.

Rees ve diğ. (1987) değişken bir üretim ortamında kanban sayısını tespit edebilecek dinamik bir metodoloji geliştirmişlerdir. Kanban sayısını belirlemek, birim kanban kapasiteleri ve talep tahminlerini içeren Toyota formülasyonu kullanarak kanban çevrim zaman olasılık yoğunluk fonksiyonunu hesaplamışlardır.

Miyazaki ve diğ. (1988) sabit aralıklı çekme ve tedarikçi kanban sistemleri için ortalama stok seviyelerini belirleyecek ekonomik sipariş miktarı modeli kurmuşlardır. Gerekli minimum kanban sayısı belirleme formülü ve optimal sipariş aralığını verecek bir algoritma kurmuşlardır. Modeldeki amaç deterministik bir ortam için ortalama stok bulundurma ve sipariş maliyetlerini minimize etmektir.

Gupta ve Gupta (1989) tek parça, çoklu-hat, çoklu-aşama, çift-kart kanban sistemi simüle etmişlerdir. Yazarlar kanban sayısındaki ve kanban büyüklüğündeki değişimlerin sistem performansı üzerindeki etkiyi incelemişlerdir. Performans ölçütleri olarak "süreç içi stok miktarı", "kapasite kullanımı" yada "üretim boş bekleme zamanı" ve "son üründeki yokluk" seçilmiştir. Makalede kanban sayısının belirlenmesinin sistem performansı üzerine önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak talepteki artı değişimler sistem performansını düşürecektir.

Karmarkar ve Kekre (1989) üretim termin zamanları ve stok seviyeleri üzerinde yığın büyüklüğü politikalarının etkisi konusunda sürekli zamanlı Markov zinciri modeli geliştirmişlerdir. Hem tekli hem de çift kartlı kanban hücreleri ve iki-aşamalı sistemler modellenmiştir. Ayrıca kanban sayısındaki değişimleri etkisi incelenmiştir. Araştırmanın birincil amacı kanban sistemlerinin parametrik davranışlarını gösterebilecek bir kalitatif analiz geliştirmektir. Sonuçlar göstermiştir ki; kanban büyüklüğü kanban sistemlerinin performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Philipoom ve diğ. (1990) çok-ürünlü, çok-aşamalı üretim ortamlarındaki sinyal kanbanlarına optimal lot büyüklüğü tanımlamak için iki versiyonlu bir tam sayılı matematiksel programlama yaklaşımı geliştirmiş ve bir sinyal kanban tekniği

tanımlamışlardır. Bir simülasyon modeli programlama modellerinin etkinliğini test edilmek için kullanılmıştır.

Wang ve Wang (1990) her bir üretim aşaması için tek çekme kanban ile çok-parçalı, çok-aşamalı çift kartlı kanban sisteminde kanban sayısını belirlemek için sürekli zamanlı Markov modeli sunmuştur. Model seri montaj ve demontaj üretim hatlarına uygulanabilirdir. Yazarlar, üretim ve talep oranlarının üsttel olduğunu varsaymışlardır. Ayrıca, üretim aşamalarını birbirinden bağımsızdır. Kanban sayısını belirlemek için birkaç farklı kanban sayısı alternatifi belirlenmiş ve minimum maliyeti veren kabul edilmiştir. Sistem güvenilir olmayan makinalı sistemler için de genişletilebilir.

Mitra ve Mitrani (1990) çok-parça, çok-aşama seri üretim ortamı için sürekli zamanlı bir Markov zinciri sunmuşlardır. Süreç zamanları üsttel dağılmıştır ve hammadde ve talep gelişleri Poisson dağılmıştır. Bu dağılım varsayımları altında ayrıca göstermişlerdir ki; kanban sisteminin çıktı-stok ilişkisi geleneksel üretim disiplinine baskındır. Yazarlar simülasyon modeli ile kıyaslanan bir yaklaşım algoritması geliştirmişlerdir. Sonuç olarak, yaklaşım algoritması her bir üretim hücresi için daha fazla hata doğurmuştur. Model güvenilir olmayan makinalı sistemler içinde genişletilebilir.

Bard ve Golony (1991) çok parçalı, çok aşamalı, sınırlı kapasiteli bir montaj hattında kanban sayısı belirlemek için karmaşık tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Amaç temel kanban prensiplerine karşı gelinmeden verilen bir talep ve planlama kesitinde stok tutma, yok satma ve hazırlık maliyetlerini minimize etmektir. Model talebin düşük termin zamanının kısa olduğu üretim şartları için uygundur.

Li ve Co (1991), **Bitran ve Chang**'in **(1987)** modelini daha etkin bir kanban atama sistemi kurabilmek için geliştirmişler ve deterministik tek parça, çok aşamalı, seri/montaj ağacı üretim ortamına için kurulmuş dinamik programlama modelini çözmek için uygulanmıştır. Yazarlar sonsuz kapasite varsayımında bulunmuşlardır.

Bu varsayım sadece kapasite kısıtından modeli kurtarmamış ayrıca kısmen dolu kanbanlardaki parça sayısının takip edilmesi gerekliliğini de ortadan kaldırmıştır. Bu yüzden model karmaşık bir seri olmayan sistem için bile bilgisayar açısından çok etkindir.

Mittal ve Wang (1992), arıza, yeniden işlem, hazırlık zamanları, değişken süreç zamanları (normal dağılmış) ve değişken talep (üsttel dağılmış) bir üretim ortamında kanban sayısını belirlemek için CADOK (computer aided determination of kanbans) isimli bir simülasyon programı kullanmışlardır. İade siparişlerin kaçınılacak ölçüde yüksek cezalı olduğu varsayılmıştır. Model, birçok üretim aşamasının tek üretim aşamasını beslediği, yada bir üretim aşamasının bir çok farklı üretim aşamasına parça gönderdiği montaj ve demontaj üretim tiplerine uygundur. Ancak model geri dönüşler için uygun değildir, ancak üretim akışı sırasına göre çalışmaktadır.

Aşkın ve diğ. (1993) çok parça, çok aşamalı seri üretim ortamı için optimal üretim kanbanı belirlemek için sürekli zamanlı bir Markov zinciri modeli geliştirmişlerdir. Amaç verilen talep ve kanban büyüklüğüne göre stok tutma ve yok satma maliyetlerini minimize edebilmektir. Model Toyota eşitliğini kullanmış ve kanban sayısı ve güvenlik faktörünü bulmuştur. Modelin performansı kuyruk uzunluğunu doğru tahmin edilme hassasiyetidir.

Mitwasi ve Aşkın (1994) çok parça, tek aşama sınırlı kapasiteli kanban sistemleri için doğrusal olmayan tam sayılı matematiksel model sunmuşlardır. Talebin dinamik olduğu, sistemin güvenilir hazırlık sürelerinin küçük yığın büyüklüklerine imkan tanıyacak kadar küçük olduğu kabul edilmiştir. Olası üst ve alt sınır kanban sayısı belirlenmiştir. Sezgisel bir çözüm sunulmuştur.

Takahashi (1994) stokastik koşullar altında (talep üsttel süreç zamanları gamma dağılmıştır) tek parça dengelenmemiş seri üretim sistemleri için kanban sayısını belirleyecek bir simülasyon modeli kurmuştur. Bir stok seviyesinde farklı sayıdaki üretim ve çekme kanban sayılarını içerecek bir algoritma önermişlerdir. Toplam

kanban sayısının bilindiği, çekme temin zamanının ihmal edilebilir olduğu ve iade siparişlere izin verildiği varsayılmıştır.

Ohno ve diğ. (1995) stokastik talep ve deterministik üretim zamanları altında üretim ve tedarikçi kanbanları olan bir JIT üretim sisteminin kararlılık halini sunmuşlardır. İki kanban çeşidi içinde optimal sayıyı belirlemek için ortalama beklenen maliyeti en küçükleyen bir algoritma geliştirmişlerdir. Diğer bir değişle, bu algoritma Toyota eşitliğindeki güvenlik faktörünü optimal yapmaktadır.

Philipoom ve diğ. (1996) çok parça, çok aşamalı, çok periyotlu, sınırlı kapasite bir kanban sistemi için doğrusal olmayan tamsayılı matematik modeli geliştirmişlerdir. Talebin deterministik olduğu sistemin güvenilir ve hazırlıkların üretim sırası bağımsız, üretim maliyetlerinin sabit olduğu varsayılmıştır. Model stok tutma ve hazırlık maliyetlerini minimize ederek eş zamanlı kanban büyüklüğü, kanban sayısı ve son montaj sırasını belirlemektedir.

Berkley (1996) çok parça, çok aşamalı çift kart kanban sisteminde kanban büyüklüğünün sistem performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Sistemin performans ölçütleri süreç için stok ve müşteri hizmet seviyeleridir. Yazar aşamalar arası toplam stok kapasitesini sabitlemek için kanban büyüklüğü ve kanban sayısı ile oynamıştır. Simülasyon sonuçları göstermiştir ki; daha büyük hazırlık zamanları daha sık malzeme elleçleme faydalarını dengelerken, daha küçük kanban büyüklüğünün daha iyi müşteri memnuniyet seviyesi sağlamıştır. Çalışmada, tüm parçalar için kanban büyüklüğü ve kanban sayılarının aynı ve kanban büyüklüğünün de talep dağılımından bağımsız olduğu varsayılmıştır.

Moeeni ve diğ. (1997) belirsiz koşullar altındaki üretim çevrelerindeki kanban sistemlerine uygulanmak üzere Taguchi'nin dayanıklılık tasarımını temel alan bir metodoloji sunmuşlardır. Yazarlar, kanban sisteminin performansı üzerinde talep desenleri, tedarikçi termin zamanları, hazırlık zamanları, süreç zamanları ve arızalar arası süreler ve onarım zamanları gibi çevresel değişkenleri modellemişlerdir. Tasarımın performansını değerlendirmek için, kuadratik kayıp fonksiyonu

kullanmışlardır. Önerilen metodoloji simülasyon ile sınanmıştır. Kanban sayısı, kanban gözden geçirme periyodu ve kanban büyüklüğünü parametre olarak kabul eden bir deneysel tasarım yapılmıştır. Yazarlar kendi sistemleri için kanban büyüklüğünün diğer faktörlere göre sistem performansı üzerinde en önemli faktör olduğunu belirtmişlerdir.

Bu literatür çalışması şu şekilde genişletilebilir. Bir kanban sisteminin iki temel tasarım parametresi vardır: kanban büyüklüğü ve kanban sayısı. **Gupta ve Gupta (1989)**, **Karmarkar ve Kekre (1989)**, **Philipoom ve diğ. (1996)** ve **Moeeni ve diğ. (1997)** belirgin bir şekilde kanban büyüklüğüne odaklanmış çalışmalar yapmışlardır. **Berkley (1996)** kanban büyüklüğü etkisini incelerken kanban büyüklüğünü talep değişkenliği ile ilişkilendirmiştir. Modellerin çoğu kanban büyüklüklerinin bilindiği ve bu öngürülen büyüklük değerleri kullanılarak kanban sayısının belirlenebileceğini varsaymaktadır. Gerçek şudur ki, kanban sayısı ve kanban büyüklüğü beraber sistemin performansını etkilerken eş zamanlı olarak tespit edilebilir. **Philipoom ve diğ. (1996)** çalışması dışındaki hiç bir çalışma tasarım parametreleri üzerindeki operasyonel problemlerinin etkilerini dikkate almamıştır. Genel olarak varsayılan kontrol periyotlarının yığın sıralama problemini dikkate alınmayacak kadar küçük olduğu varsayılmıştır. **Philipoom ve diğ.** çalışmasında bile sadece son montaj sırası belirlenmiş ve ilk gelen ilk hizmet görür (first-come-first-served – FCFS) ilkesine göre montaja gireceği varsayılmıştır. Genel olarak anlık malzeme elleçlemelerini kullanılmıştır. Sadece iki çalışmadan anlık olmayan malzeme elleçleme kullanılmıştır: **Miyazaki ve diğ. (1988)** çalışmasında tedarikçi ve çekme kanbanları ve **Philipoom ve diğ. (1990)** çalışmasında çekme kanbanlarıdır. Model yapıları farklıdır ve bulgular çift kart kanban sistemine genellenemezler.

Literatürdeki birkaç modelde durum bağımsızdır. **Aşkın ve diğ. (1993)** ve **Mitwasi ve Aşkın (1994)** dış talep varsaymışlardır. Herbir üretim aşaması için talep, yeterli kapasite varsayımı ile harici olarak üretilmiş ve çok aşamalı bir sistem modellenmiştir. **Kimura ve Terada (1981)**, **Philipoom ve diğ. (1990)** ve **Li ve Co (1991)** kapasiteyi sınırsız olarak kabul etmişlerdir. **Bitran ve Chang (1987)**,

Philipoom ve diğ. (1990) ve **Philipoom ve diğ. (1996)** iade siparişleri varsaymamışlardır. JIT sisteminde, tüm üretim aşamaları birbirlerine bağlanmışlardır ve eğer bir aşamada bir gecikme yaşanırsa önceki ve sonraki tüm aşamalar birbirleri arasındaki bağımlılıkları belirgin şekilde ortaya çıkartacak şekilde bundan etkilenecektir. Bu stok seviyelerinin düşürülme ve firenin elimine edilmesi için önemlidir. İade siparişler ve sınırsız kapasite varsayımı ile bu olasılık elimine edilmesine rağmen aşamalar arası bağımlılığın tüm süreci etkilemesinden dolayı herbir süreç bir birinden bağımsız olarak modellenebilir.

Tablo 6.1: Kanban Sayısı Literatürü Sınıflandırması **(Aktürk ve Erhun, 1999)**

		Kimura&Terada	Huang ve diğ.	Bitran&Chang	Rees ve diğ.	Miyazaki ve diğ.	Gupta&Gupta	Karmarkar&Kekre	Philipoom ve diğ.	Wang&Wang	Mitra&Mitrani
Yıl		81	83	87	87	88	89	89	90	90	90
Model Yapısı		M,S	S	M	O	O	S	C	M,S	C	C,S
Çözüm Yaklaşımı	**Sezgisel**										
	D,I,L,M,N			N,M					I		
Karar Değişkenleri	**Kanban sayısı**	X		X	X	X		X		X	X
	Sipariş aralığı					X					
	Emniyet stoğu										
	Kanban büyüklüğü							X	X		
Performans ölçütleri	**Kanban sayısı**										
	Kullanım						X				
	I.S.F.		I				I,S				
Amaç	**Maliyet**	O		O	H,S	H,ST		H,S	H,ST	H,S	
	Stok								X		
	Çıktı										X
Üretim ortamı	**Yerleşim**	S	A	A			A			N	S
	Zaman ufku	M	M	M			M	S	S	S	M
	Parça	S	M	S			S	S	M	M	M
	Aşama	M	M	M			M	M	M	M	M
	Kapasite	U	C	C			C		C	U	U
Kanban tipi	**S,D**	D	D	D	D	D	D	S,D	D	D	S
Varsayımlar	**Kanban büyüklüğü**	K	K	K	U	K				K	K
	Stoktastiki	D	D,P		L		P	D,P		D	D,P
	Üretim çevrimi	F	C	F	C	F	C	F	F	C	C
	Malzeme elleçleme	I	I	I	I	F	I	I	F	I	I
	Elde Bulundurmama			X					X		
	Sistem güvenirliği		I		D		M,I			M	

Model yapısı: Matematiksel programlama (**M**), Simülasyon (**S**) , Markov Zincirleri (**C**), Diğerleri (**O**); **Çözüm yaklaşımı:** Sezgisel (**H**), Dinamik programlama (**D**), Tamsayılı programlama (**I**), Doğrusal programlama (**L**) Karmaşık tamsayılı programlama (**M**), Doğrusal olmayan tamsayılı programlama (**N**); **Ölçütler:** Stok tutma maliyeti (**I**), Elde bulundurmama maliyeti (**S**), Sipariş karşılama oranı (**F**); **Amaç:** Stok tutma maliyeti (**IH**), Üretim maliyetleri (**O**), Elde bulundurmama maliyeti (**S**), Hazırlık maliyeti (**ST**); **Yerleşim:** Montaj ağacı (**A**), Seri (**S**), Ağ (**N**); **Zaman periyodu:** Çoklu-periyot (**M),** Tek-periyot (**S**); **Parça:** Çoklu-parça (**M**), Tek-parça (**S**); **Aşama:** Çoklu-aşama (**M**), Tek-aşama (**S**); **Kapasite:** Sınırlı kapasite (**C**), Sınırsız kapasite (**U**); **Kanban tipi:** Tek kartlı kanban (**S**), Çift-kartlı kanban (**D**); **Kanban büyüklüğü:** Biliniyor (**K**), Birim (**U**); **Stokastiklik durumu:** Talep (**D**), Termin zamanı (**L**), Süreç zamanı (**P**), Hazırlık zamanı (**S**) **; Üretim çevrimi:** Sabit üretim aralıkları (**F**), Sürekli üretim (**C**); **Malzeme elleçleme:** Sabit çekme çevrimi (**F**), Anlık (**I**); **Sistem güvenirliği:** Dinamik talep (**D**), Makine güvenirliliği (**M**), Aşamalar arası dengesizlik (**I**), Rework (**R**)

		Bard&Golony	Li&Co	Mittal&Wang	Aşkın ve diğ.	Mitwasi&Aşkın	Takahashi	Ohno ve diğ.	Philipoom ve diğ.	Berkley	Moeeni ve diğ.
Yıl		91	91	92	93	94	94	95	96	96	97
Model Yapısı		M	M	S	C	M	S	O	M	S	O,S
Çözüm Yaklaşımı	**Sezgisel**										
	D,I,L,M,N	M	D			N,M			I		
Karar Değişkenleri	**Kanban sayısı**	X	X		X	X		X	X		
	Sipariş aralığı										
	Emniyet stoğu				X			X			
	Kanban büyüklüğü								X		
Performans ölçütleri	**Kanban sayısı**			X			X				
	Kullanım										
	I.S.F.									I,F	I,F
Amaç	**Maliyet**	S,H,ST	H		H,S	O		H,S,ST	H,ST		
	Stok										
	Çıktı										
Üretim ortamı	**Yerleşim**	A	S,A	N	S		S		A	S	S
	Zaman ufku	M	M	M	S	M	M	M	M	M	M
	Parça	M	S	M	M	M	S	S	M	M	S
	Aşama	M	M	M	M	S	M	S	M	M	M
	Kapasite	C	U			C		C	C	C	
Kanban tipi	**S,D**	S	D	D	S	D	D	D	D	D	S
Varsayımlar	**Kanban büyüklüğü**	K	K	K	K	K	K	U			K
	Stoktastiki			D,P	D,P		D,P	D		D,P	D,P,S
	Üretim çevrimi	F	F		F	F	C	F	F	C	F
	Malzeme elleçleme	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	Elde Bulundurmama			X		X			X		
	Sistem güvenirliği			M,R		D	I				M

Model yapısı: Matematiksel programlama (**M**), Simülasyon (**S**) , Markov Zincirleri (**C**), Diğerleri (**O**); **Çözüm yaklaşımı:** Sezgisel (**H**), Dinamik programlama (**D**), Tamsayılı programlama (**I**), Doğrusal programlama (**L**) Karmaşık tamsayılı programlama (**M**), Doğrusal olmayan tamsayılı programlama (**N**); **Ölçütler:** Stok tutma maliyeti (**I**), Elde bulundurmama maliyeti (**S**), Sipariş karşılama oranı (**F**); **Amaç:** Stok tutma maliyeti (**IH**), Üretim maliyetleri (**O**), Elde bulundurmama maliyeti (**S**), Hazırlık maliyeti (**ST**); **Yerleşim:** Montaj ağacı (**A**), Seri (**S**), Ağ (**N**); **Zaman periyodu:** Çoklu-periyot (**M**)**,** Tek-periyot (**S**); **Parça:** Çoklu-parça (**M**), Tek-parça (**S**); **Aşama:** Çoklu-aşama (**M**), Tek-aşama (**S**); **Kapasite:** Sınırlı kapasite (**C**), Sınırsız kapasite (**U**); **Kanban tipi:** Tek kartlı kanban (**S**), Çift-kartlı kanban (**D**); **Kanban büyüklüğü:** Biliniyor (**K**), Birim (**U**); **Stokastiklik durumu:** Talep (**D**), Termin zamanı (**L**), Süreç zamanı (**P**), Hazırlık zamanı (**S**) **; Üretim çevrimi:** Sabit üretim aralıkları (**F**), Sürekli üretim (**C**); **Malzeme elleçleme:** Sabit çekme çevrimi (**F**), Anlık (**I**); **Sistem güvenirliği:** Dinamik talep (**D**), Makine güvenirliliği (**M**), Aşamalar arası dengesizlik (**I**), Rework (**R**)

Literatür taraması sonucunda;

- Birçok çalışmanın ayrı ayrı kanban sayısı ve kanban büyüklüğü ile ilgilendiği görülmektedir.
- Süreç zamanları ve talep oranlarındaki değişimler çok aşamalı üretim uygulamaları için denenmiştir, fazla kapasite mümkün kabul edilmiştir.
- Kanban sayısı, üretim sisteminin performansı için anahtar özelliklerden biri olarak kabul edilmiştir.
- Düzgün bir operasyon için, üretim aşamaları dengeli olabilir. Sistemin tedarikçilerinin güvenirliği vardır. Talep değişkenliği artığı zaman sistem performansı düşmektedir.
- Kanban büyüklüğünün, sistem performansı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Küçük kanban büyüklüklerinde daha küçük WIP stoğu ama daha yüksek bir hizmet düzeyi yakalamak mümkün olmaktadır.

6.3. Kanban Sıralama Kuralları ile ilgili Literatür Taraması

1977'de Toyota Üretim Sistemi üzerine **Sugimori ve diğ.** tarafından yapılan ilk çalışmadan beri literatürde JIT üretim sistemleri üzerine çok sayıda çalışma bulmak mümkündür. Japon üretim sistemleri üzerine yazılan ilk kapsamlı kitap Schonberger tarafından 1982 yılında yazılmışken Toyota Üretim sistemi hakkında yazılan ilk esas kitap **Monden (1983)** imzası taşımaktadır. JIT üzerine yapılan çalışmaların çoğunda hem uygulamaya yönelik ampirik çözümler varken hem de JIT sistemlerinin tasarım ve performansına yönelik teorik uygulamalarda bulunmaktadır. JIT sistemleri için hem ampirik hem de teorik uygulamaları konusunda son yılların literatürden **Keller ve Fouad (1989)** ve **Golhar ve Stamm (1991)** çalışmaları önerilebilir. JIT üretim sistemi ile ilgili tüm alanların literatür taramasının yapıldığı **Korgaonger'in (1992)** kitabı da doğru bir kaynak olacaktır.

JIT sistemlerinde son montaj sıralaması fabrika içindeki tüm ürerim aşamalarında ki işlerin sırasını belirler. Bir kere montaj hattı sıralandığı zaman, geriye doğru tüm sistemin sıralandığı varsayılır. Diğer iş istasyonlarındaki geriye kalan kanbanlar

önceki iş istasyonları tarafından alındıkları zaman işlenirler, örneğin FCFS. Bu varsayımı test eden literatürde birçok çalışma bulunabilir **(Hum ve Lee, 1998)**.

JIT üretim sistemi üzerine birçok literatüre ulaşmak mümkünken, JIT sistemi içinde programlama yapma konusunda yapılmış az sayıda literatür çalışması bulunabilmektedir. **Lummus (1995)** ve **Philipoom ve diğ. (1996)** JIT üretiminde sıralama kurallarını belirleyen çalışmalar yapmış olmalarına rağmen, bu kurallar son montaj ünitesindeki sıralama ile ilgili idi. **Lee**'nin **(1987)** çalışması JIT ortamında tüm sıralama kurallarının performansı üzerine yazılmış ilk çalışmadır. Lee, istasyonlar arası taşıma gecikmelerinin olmadığı sekiz istasyonlu bir seri üretim hattında 5 programlama kuralı için bir simülasyon çalışması yapmıştır. Bu beş sıralama kuralı şunlardır: İlk gelen ilk hizmet görür (FCFS – First Come First Served), En Kısa İşlem Zamanı Olan (SPT – Shortest Process Time), Daha Yüksek Çekme Frekansı Olan (HPF – Higher Pull Frequency), SPT/LATE ve HPF/LATE'dir. İlk iki kural literatürde en iyi bilene ve en çok kullanılan kurallardır. HPF kuralı, ilgili parçanın kanban sayısı ile belirlenen ilk önceki istasyon tarafından en çok çekilen parçanın önceliği kuralıdır. Son iki kural ise sistemdeki gecikmenin kontrol altında tutulması için eklenen kurallardır. Eğer önceki istasyon tarafından çekme yapılamadığı için sonraki istasyonda işin başlanması imkanı yok ise o işe geç kalmış iş denir.

Lee (1987) bu belirtilen 5 sıralama kuralını verilen aynı senaryo için denemiştir. SPT/LATE kuralı verilen diğer kurallara göre genellikle daha iyi performanslar vermiştir. Performans ölçütü olarak kullanılan kriterler şunlar olmuştur: hattan çekilen iş sayısı, ortalama iş gecikme süresi, ortalama iş kuyruk zamanı, toplam hazırlık sürelerinin toplam operasyon süresine oranı ve çıktı kanban stok düzeyidir. Lee, daha sonra SPT/LATE kuralının performansını günlük değişen talep koşulu altında FCFS ve HPF/LATE kurallarının performansı ile karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırmada da SPT/LATE kuralının performansı daha iyi çıkmıştır. Lee, son olarak SPT/LATE kuralını üretim kanban büyüklüğünün ve minimum çıktı kanban seviyesinin değiştiği üretim ortamı için denemiştir. Ayrıca SPT/LATE kuralı değişen iş miksi için de denenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada sadece SPT/LATE

kuralı değişik senaryolar altındaki performansına odaklanılırken diğer kurallar için değişik senaryolar üretilmemiştir.

Lee ve Seah (1988), **Lee**'nin **(1987)** yapmış olduğu bu çalışmayı geliştirerek FCFS ve SPT/LATE kurallarının performanslarını değişken süreç zamanlı üretim ortamı senaryosunda detaylı olarak incelemişlerdir. **Lee ve Seah**, **Lee**'nin çalışmasında olduğu gibi sekiz istasyonlu bir seri üretim hattını simüle etmişlerdir. Yazarlar bu iki kuralı süreç zamanlarının şu dağılımlarına göre incelemişlerdir: negatif üsttel dağılımlı süreç zamanı ile 0.2 ve 0.4 varyasyon katsayılı normal dağılım. Sonuçlar göstermiştir ki; her iki kural içinde normal dağılımlı süreç zamanlarında performansları daha iyi çıkarken, negatif üsttel dağılımlı üretim ortamında iki kuralın performansında gerileme olmaktadır. Ayrıca SPT/LATE kuralının performansının ise FCFS kuralından çok daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Berkley ve Kıran (1991), JIT üretim sistemlerindeki programlama kurallarının etkinliği üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarını odağında, FCFS, SPT, SPT/LATE ve FCFS/SPT kuralları vardı. Simülasyon modelleri, sürekli malzeme akışına ters olarak periyodik bir malzeme elleçleme mekanizması olan 6 istasyonlu çift-kartlı kanban sistemidir. Bu çalışmada **Berkley ve Kıran** malzeme hareketinin sıralama kurallarının performansları üzerindeki etkisini de incelemişlerdir.

Stok ile ilgili (ortalama girdi, çıktı ve toplam WIP stok seviyesi) performans göstergeleri ile son ürün çekme kanbanlarının bekleme süreleri göstergesi kullanılarak SPT kuralının FCFS kuralına göre daha zayıf performansa neden olduğu gösterilmiştir. SPT sadece daha büyük ortalama stok seviyelerine neden olduğu gibi ayrıca daha uzun son ürün çekme kanbanı bekleme sürelerini de neden olmuştur. Ayrıca kurallar açık şekilde malzeme çekme periyotlarından etkilenmişlerdir.

Berkley (1993a), SPT ve FCFS kurallarına odaklanan **Berkley ve Kıran** yaptığı çalışmayı daha da ileriye götürerek kuyruk kapasitesi ve periyodik malzeme elleçleme mekanizması altında kuralların performanslarını incelemiştir. Ancak

Berkley diğer çalışmadan farklı olarak altı istasyonlu tek-kartlı kanban sistemini simüle etmiştir. Çalışma sonunda, SPT kuralının FCFS kuralına göre daha uzun kuyruklara ve daha az sık malzeme elleçlemelerine neden olan daha kötü bir performans ortaya koyduğu belirtilmiştir.

Berkley (1993b), çalışmasında istasyonların değişken girdi tampon (buffer) kapasite seviyeleri için SPT ve FCFS kurallarının etkinliğini ölçmüştür. **Berkley**'nin çalışması göstermiştir ki; tampon büyüklüğünün küçük olduğu durumlarda SPT kuralı daha etkin iken tampon kapasitesinin büyüdüğü durumlarda ise FCFS daha iyi sonuçlar vermektedir (süreç zamanları normal dağılımdır).

Chao ve diğ. (1995) birbirinden ayrı kanban döngüleri ile diğer sonraki iş istasyonlarına bağlanmış (seri olmayan) tek bir merkezi istasyon için K-önceliği programlama problemi tanımlamışlardır. **Chao ve diğ.**, K-öncelik probleminin adreslendiği hiçbir öncelikli iş bulamadıklarını söylerken, problemlerinin literatürde geçen kanban programlama problemine çok benzer bir hal aldığını belirtmişlerdir. **Chao ve diğ.**, Markovian karar süreçleri ve dinamik programlama kullanarak K-kuralı olarak adlandırdıkları bir sıralama kuralı geliştirmişlerdir. Çalışmalarında K-kuralının FCFS ve En Uzun Kuyruk (LQ – longest queue) kurallarına karşı üstünlüğü göstermiş ancak bilgisayar çalışmasının harcana çaba K-kuralının uygulanabilirlik için çok pratik bir kural olmadığı göstermiştir.

Yavuz ve Şatır (1995) yedi farklı performans göstergesi ve sıralama kurallarını da içeren 9 farklı deneysel tasarım faktörünü kapsayan kanban kontrollü bir JIT üretim ortamı için detaylı bir simülasyon çalışması yapmışlardır. Çalışmada buldukları sonuçlara göre sıralama kuralları içinde SPT kuralı özellikle kısıtlı üretim ortamları için en üstün performansı gösterdiği vurgulanmıştır. Ayrıca SPT kuralı ile FCFS ve HPF kurallarını da karşılaştırmışlardır.

Framinan ve diğ. (2000) çalışmalarında, stoğa üretim ortamında "CONWIP" tarafından kontrol edilen bir akış atölyesinde kullanılabilecek sıralama kuralları ve girdi kontrolü üzerinde odaklanmışlardır. CONWIP'in performansının diğer girdi

kontrollerinin ve farklı sıralama kurallarının kullanılmasıyla arttırılabileceği gösterilmesine rağmen, "CONWIP" sistemi temelde tek kart hesap kontrolüne ve İlk Giren İlk Servis görür (FCFS) sıralama kuralına dayanmaktadır.

Durmuşoğlu ve Nomak (2003), bir hücresel üretim ortamı için yaptıkları simülasyon çalışmalarında, CONWIP sistemi için performansın diğer girdi kontrollerinin ve farklı sıralama kurallarının kullanılmasıyla arttırılabileceği gösterilmesine rağmen, "CONWIP" sistemi temelde tek kanban kontrolüne ve İlk Giren İlk Servis görür (FCFS) sıralama kuralına dayandığı tespitini yapmışlardır.

Literatür çalışmalarında görüldüğü gibi SPT kuralının FCFS üzerine çokta belirgin olan bir üstünlüğü bulunmamaktadır. Kuralların birbirlerine karşı göreceli üstünlük sağlamalarına neden olan şey analiz edilen değişik JIT üretim ortamını senaryolarıdır **(Hum ve Lee, 1998)**.

6.4. Deneysel Tasarım ile ilgili Literatür Taraması

Deney tasarımı yöntemi ilk defa 1920'lerde istatistikçi Sir Ronald A. Fisher tarafından tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher, ayrıca, deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan "varyans analizi" (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir **(Şirvancı, 1997)**.

Taguchi yaklaşımının dayanıklı (robust) tasarımına olan katkısı inkar edilemez. Örneğin, **Pignatiello ve Ramberg (1987)** dayanıklılık için Taguchi felsefesinin stratejik özelliklerini ve sinyal-gürültü (signal to noise S/N) oranları gibi taktik meseleleri inceledikleri bir çalışma yapmışlardır. Buna benzer birçok taktiksel alternatifli çalışmayı literatürde bulmak mümkündür. Tablo 6.2'de literatürde Taguchi tasarımını kullanan birkaç çalışma özetlenmiştir. Taguchi bu tekniği özellikle ürün tasarımı için önermiştir. Ancak daha sonraları araştırmacılar bu tekniği sistemleri simle etmek için dayanıklı tasarım uygulamalarında da kullanmışlardır. Örneğin; **Wild and Pignatiello (1991)**, **Dooley ve Mahmoodi (1992)**, **Benjamin, Erraguntla ve Mayer (1995)**, ve **Sanchez ve diğ. (1996)** dayanıklı üretim sistemleri için simülasyon bazlı metodolojiler önermişlerdir. Bahsi

geçen bu çalışmalar için **Gaury ve Kleijnen (1998**) tarafından yapılan analiz tablosu aşağıdadır.

Tablo 6.2: Literatürde Taguchi tasarımını kullanan birkaç çalışma

Referans	# Tasarım / Gürültü faktörü	Dayanıklılık Ölçüsü	Deneysel Tasarım
Sanchez ve diğ. (1996)	5/2	kuadratik kayıp fonksiyonu	Birleşik: 2^{7-2} ortogonal dizin Geçişli: 2^{5-1} x 2^2 ortogonal dizin
Mayer ve Benjamin (1992)	4/2	hedeflenen sinyal-gürültü faktörlerine yakınlık	2^{4-1} x 2^2
Lim ve diğ. (1996)	4/6	kuadratik kayıp fonksiyonu	2^7
Dooley ve Mamoodi (1992)	2/4	Sinyal-gürültü oranları	2^2 x 2^{4-1}
Sanchez ve diğ. (1993)	4/1	Y(x), log(S(x))	2^{4-1} x 2^1
Mooeni, Sanchez ve Vakharia (1997)	7/34	kuadratik kayıp fonksiyonu	2^{7-1}

McKinney (1993), **Hakim ve Mashadi (1992)**; deneysel tasarım tekniklerini ürün ömrü testleri ve ürün ömrü uzatma stratejileri belirlemek için kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda test sıralarını rassalaştırıp bloklayarak istenmeyen gürültü etkilerini minimize etmişler ve varyans düşürmüşlerdir.

Literatürdeki bir çok yöneylem araştırması çalışması, kolaylığı ve analizcilere faktörler arası ilişkileri ve etkileri görmelerine imkan sağladığı için tam faktöryel tasarımları kullanmışlardır. Örneğin **Enns (1995)** sonlu programlamalı bir fabrika ortamında ortalama kullanım, yükleme kuralları ve programlama yaklaşımlarının etkilerini incelemek için 2x3x2'lik bir tasarım kullanmıştır. **Malhotra ve Ritzman (1994)** postahane hizmetlerindeki talep değişkenliği, kapasite kullanımı, rotaların esnekliği ve miksinin etkisini incelemek için 2^4 faktöriyel tasarım geliştirmiştir. **Kim ve Bobrowski (1995)** iş emir verme mekanizmaları, üretim programlama kuralları ve termin zamanı yaklaşması seviyeleri için 4x4x2 tam faktöriyel kullanarak üretim performansını incelemiştir. **Vakharia ve diğ. (1996)** üretimde

kullanılan parçaların operasyonel etkilerini görebilmek için 6 deneysel faktörlü bir faktöriyel tasarım kullanmıştır.

Daha sonra, **Dietrich ve Mazzuchi (1996)** daha önce yapılmış ürün ömrü tasarım çalışmalarına Bayesian analizlerini de ekleyerek klasik DOE uygulamalarını ilerletmişlerdir. Bu çalışmalarında yazarlar, **Dorp, Mazzuchi, Fornell ve Potlock (1995)** tarafından ortaya konmuş Bayesian yaklaşımını geliştirerek kullanmışlardır. Rassal ürünler üzerinde farklı stres parametreleri belirlenerek ürün ömrü deneyleri yapılmıştır.

Mezgar ve diğ. (1997), üretim sistemlerinin zaman değerlerinin yeniden düzenlenmesi ve üretim sistemi tasarımının yapılabilmesi için; deney tasarımı, Taguchi yöntemi ve simülasyon tekniklerinden oluşan bir kombinasyon kullanmışlardır. Bu çalışmada bu üç yönteme ek olarak yapay sinir ağları da kullanılmıştır. Yapay sinir ağları, tasarım faktörleri ile sistem performansı arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılmıştır. İlişki tanımlama aşamasında üç katmanlı geriye yayılımlı yapay sinir ağı modeli (BPN) kullanılmıştır. Yapay sinir ağı, etkileşim içerisindeki ilişkilerin aralık genişliğini ortaya çıkartmıştır. Çalışmada istenen sistem performansına ulaşmak için gereken parametre değişim değeri belirlenmiştir.

Kao ve Gong (1997), Taguchi yöntemlerini uygulayarak, yol izleme için robot proses kapasitesini belirlemiş ve en iyilemişlerdir. Bu yöntemleri robotların kinematik parametreler için tolerans tasarımında kullanmışlardır. Taguchi yöntemlerinin kalite mühendisliğinde etkili olduğu deneysel olarak hesaplanmıştır.

Deneysel tasarım birçok üretim odaklı iş süreci için çıktıların optimize edilmesine yardımcı olan etkili bir yaklaşımdır. DOE daha iyi üretim kalitesi elde edebilmek için hangi parametrenin üretimi ne ölçüde etkilediği görebilmek için uygulanır. **Fidan ve diğ. (1998)** otomasyonel plastik yüzey yerleştirme sistemi için üç seviyeli üç faktör belirlemiştir. Tam faktöriyel deney için 27 deneysel koşum yapılmıştır. Süreç parametreleri olarak kalıp sıcaklığı, yerleştirme basınç ve soğuma zamanı

seçilmiştir. Bu plastik parçanın geometrisi MoldFlow isimli bir yazılım tarafından görselleştirilmiştir.

Sette ve diğ. (1998), elyaf-iplik prosesindeki bükme işleminde optimum kontrol stratejisinin tasarımı için yapay sinir ağları ve genetik algoritmaları kullanmışlardır. Yapay sinir ağları, makine parametrelerini ve elyafın kalite parametrelerini girdi değeri olarak; iplik mukavemeti ve çıktı değeri olarak iplik uzamalarını kabul edip sistemi modellemeye çalışmışlardır. Genetik algoritma ise iki amaç için kullanılmıştır. Bunlar:

• Üretim prosesini ve kalite modelinin en etkin şekilde ortaya koyacak sistem parametrelerinin ve yapay sinir ağı parametrelerinin belirlenmesinde,

• İplik prosesindeki bükme işleminin optimum kalite olmasını sağlayacak işlenmemiş iplik karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Wehrens ve diğ. (1999), deney tasarımı parametrelerini seçimi, proses kalitesini arttırmak için en uygun tasarım parametreleri belirlemek amacı ile genetik algoritmaları kullanmıştır. Genetik algoritmaların, deney tasarımı içerisinde kullanılması, deney tasarımının performansını arttırmıştır.

Celano ve Fichera (1999), genetik algoritmalar yardımı ile kontrol diyagramı tasarımını, kontrol diyagramlarının sebep olacağı maliyetler ve aynı zamanda istatistiksel yeterliliklerini dikkate alarak, gerçekleştirmiştir. Kontrol diyagramları çok etkili bir yöntem olmasına rağmen maliyet açısından üretim maliyetlerinin yükselmesine yol açtığı için kullanımı çok zordur. Bu sebepten dolayı kontrol diyagramları kullanmadan önce uygun tasarım parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada bu amaçla genetik algoritmalar kullanılmıştır. Genetik algoritmalar, daha önce bu amaç ile kullanılan sezgisel yöntemlerden daha iyi sonuç vermiştirler.

Stich ve diğ. (1999), proses kontrol sistemi için otomatik olarak çalışan bir yapay sinir ağı modeli tanımlamıştırlar. Çalışmada; yapay sinir ağlarının, aralarında karmaşık etkileşimler bulunan değişkenlerden oluşan problemleri çözme ve

değerlendirme yeteneği incelenmiştir. Ayrıca yapay sinir ağları, henüz etkileşimini tamamlamamış ve/veya tam olarak ortaya çıkmamış olan çıktı değerlerini tahmin etmek için kullanılmıştır. Çalışmada; yapay sinir ağlarının girdi nöronları sisteme giren değerlerden, çıktı nöronları olarak ise, prosesin performans değeri ve parti ölçüm değeri kullanılmıştır. Çalışmada; "motor hızı, bobin yüksekliği, soğutma mesafesi ve bölüm sıcaklığı" için deney tasarımı uygulanmış; "motor hızı" ve "bölüm sıcaklığı" için yapay sinir ağı kullanılmıştır.

Ke ve diğ. (2002), çalışmalarında manyetik alanın kuvveti ve düzgünlüğü (uniformity) değer göstergesi olarak kullanarak, ince tip CD/DVD sürücü için en iyi manyetik tasarım Taguchi Yöntemi'ni uygulayarak tamamlamışlardır. Elde edilen sonuç, en iyi tasarım araştırmasının başarısı Taguchi Yöntemi ile kanıtlanmıştır.

Park ve Ahn (2004), enjeksiyon kalıplama operasyonların optimal tasarımı için deneysel tasarım tekniğini kullanmışlardır. Kalıplama süreç parametreleri olarak kalıp spesifikasyonu ve soğutma kanalı konfigürasyonu seçilmiştir. 2k faktöriyel tasarım yapılmıştır. Sonuç olarak kalıplama sürecinin kalitesi ve verimliliği artırılmış ve deneysel tasarım yaklaşımının benzer kalıplama süreçleri için kullanılabileceği kanıtlanmıştır.

Yukarıda deneysel tasarım teknikleri için yapılan literatür taramasına ek olarak **Aytuğ ve diğ. (2003)** tarafından yapılan yöneylem araştırma teknikleri ile deneysel tasarım tekniklerinin birlikte kullanıldığı literatür çalışmalarını gösteren analizi de burada vermekte fayda vardır.

Tablo 6.3: Deneysel tasarım teknikleri için yapılan literatür taraması **(Aytuğ ve diğ., 2003)**

Makale	Problem	Makalede Kullanılan Yöneylem Araştırması Tekniği	Deneysel Tasarım Tipi	Deneysel Tasarım ile Elde Edilen Sonuç
Janiak ve Portmann (1998)	Bir fabrikada operasyonların doğrusal bir hat üzerinde modellenerek malzeme hareketinin minimize edilmesi	Genetik Algoritma (GA)	Faktöriyel Tasarım	GA, sezgisel olarak üretilen çözümü % 0.5'den daha az geliştirmiştir
Yoon ve Ventura (2002)	En erken gecikme cezası (earliness lateness penalty) ile üretim sıralama problemleri	Tam sıralı karşılıklı yer değiştirme sezgiseli (Complete enumeration. Pair-wise interchange (PI) heuristic)	Faktöriyel Tasarım	Büyük kapsamlı problemlerde diğer sezgisel yaklaşımlardan iyi, küçük boyutlu problemler için optimal sonuç
Baek ve Yoon (2000)	Birden fazla makinalı üretim istasyonunda ortalama gecikmeyi minimize etmek	Tek konfigürasyonlu çoklu simülasyon (Single configuration, multiple simulation)	Taguchi Tasarımı	
Mori ve Tseng (1997)	Çoklu kaynak kısıtlı proje planlama problemi	Sezgisel (STOCOM)	Deneysel Tasarım, 600 problem	Küçük problemlerde iyi, büyük problemlerde kötü sonuç
Pongcharoen ve diğ. (2002)	Minimum maliyeti ve yayılımı elde etmek için üretimin sıralanması ve çok kaynak kısıtlı karmaşık ürün montajı problemi	Simülasyon	GA parametrelerini optimize etmek için Faktöriyel Tasarım	GA % 63 maliyet azalımı sağlamıştır. Her ürün için en iyi sıralama şirket üretim programına göre %83 daha az ceza maliyeti sağlamıştır.
Wang ve Uzsoy (2002)	Dinamik şekilde üretim siparişi gelen ve yığın üretimi yapan bir makinada maksimum gecikmeyi minimize etmek	Dispatching Sezgiseli	Faktöriyel Tasarım	Bilinen en iyi dispatching kurallarından daha iyi sonuç

Norman ve Bean (2000)	Paralel makinelerde yayılımın minimize edilmesi	Genetik Algoritma ve sezgisel bir metot	Deneysel Tasarım 648 test problemi	
Azadivar ve Wang (2000)	Fabrika yerleşimi: Dilim Ağaç (Slicing Tree) data yapısı ve uygunluk kontrolü için simülasyon	Simülasyon	İstatistiksel Deney	
Tam ve Chan (1998)	Paralel GA kullanılarak optimum fabrika yerleşimi problemi	Dört paralel genetik algoritma uygulaması	3 faktörlü deneysel tasarım	İki GA tekniği diğer ikisinden daha iyi sonuç vermiştir
Zhang ve diğ. (2002)	Çok seviyeli ambar yerleşimi, hem yatay hem de dikey malzeme hareketi maliyeti değerlendirilmiştir	3 farklı genetik algoritma (GAO, BGA ve TGA)	3 faktörlü deneysel tasarım	
Sabuncuoglu ve diğ. (2000)	Montaj hattı dengeleme: minimum sayıda gerekli iş istasyonu sayısı belirleme	6 sezgisel yaklaşım ve birkaç tane bilinen optimal çözüm	Deneysel tasarım ve benchmark problemleri	İki sezgisel birbirleri ile aynı sonucu verirken diğer dört yaklaşımdan daha iyi sonuç vermiştir.
Maimon ve Braha (1998)	Montaj hattı dengeleme: Baskı devre kartları	Yayılan ağaç sezgiseli	İstatistiksel tasarım ve ANOVA analizi	
Hyun ve diğ. (1998)	Çok amaçlı karmaşık modelli montaj hattı sıralama problemi	Vektör Değerlendirme GA, Pareto GA, İyileştirilmiş Pareto GA ve bilinen birkaç optimum çözüm	Dört faktörlü deneysel tasarım	
Dellaert ve diğ. (2000)	MRP'de çok seviyeli lot büyüklüğü belirleme	Küçük problemler için global optimal ve büyük problemler için en iyi sezgisel	İstatistiksel deneysel tasarım	%97 küçük problemler için optimum yakalanmıştır, büyük problemler için de sezgisel uygulanmıştır

Khouja ve diğ. (2000)	Ortak İkame Problemi: benzer cevrime sahip n adet malzemenin ikame edilmesi	RVE adında bilinen en iyi sezgisel	İstatistiksel deneysel tasarım	Problemlerin çoğu için optimum yakalanmıştır
McMullen ve diğ. (2000)	Karışık model montaj hattı üzerinde montaj sırası modeli	Tabu modeli Simüle edilmiş tavlama	Deneysel tasarım	TM ve ST aynı sonuçları vermiştir
Hung ve diğ. (1999)	Çok parçalı üretim lot büyüklüğü belirleme problemi	1. Dal-sınır algoritması 2. En iyi sezgisel	İstatistiksel deneysel tasarım	Optimal sonucun % 0.0112 farkı ile en iyi sonuç sezgisel metot ile elde edilmiştir.
Kimms (1999)	Çok seviyeli lot büyüklüğü ve çok makinalı üretim sıralama probleminde elde tutma ve hazırlık maliyetlerinin minimize edilmesi	CPLEX kullanılarak elde edilen global optimum	İstatistiksel deneysel tasarım	Optimumdan ortalama % 19.89 sapma
Wagner (1999)	Tek boyutlu stok kesme	Tam sayılı programlama	Taguchi tasarımı	% 5.9 oran ile optimal sonuca yakın sonuç elde edilmiştir

7. UYGULAMA MODELİ

7.1. Kanban Sayısı Modeli

Uygulama için kuracağımız kanban kontrollü üretim sistemi için kanban sayısını belirlemek için **Sarker ve Balan (1999)** tarafından geliştirilen model kullanılmıştır. Modelin kullanılma nedeni kanban sayısını belirlemede literatürde yoğun olarak kullanılan Toyota denkleminde daha farklı bir yaklaşım geliştirmiş olmaları ve kanban sayılarını maliyet bağımlı bir şekilde hesaplamış olmalarıdır. Ayrıca literatür tarandığı zaman **Sarker ve Balan**'ın bu modelini kullanan dikkate değer sayıda çalışmada görülecektir. **Sarker ve Balan**'ın yapmış oldukları bu çalışmanın literatür içindeki yeri modelin sonunda verilecektir.

Bu çalışmada Sarker ve Balan'ın modelinin sadece kanban sayısı ve kanban büyüklüğünü belirleyen formülasyonları kullanılmıştır. Ancak modelin bütünlüğü bozulmaması için burada tüm model anlatılmıştır.

7.1.1. Kullanılan Modeldeki Problemin Tanımı ve Amaçları

Tedarikçiden sabit zaman aralıklarında yığınlar şeklinde anlık sağlanan hammaddenin son ürüne çevrilmesi ve müşteriye satılması süreçlerini kapsayan bir üretim sistemini kurulmuştur. Nihai ürünün talebinin zamanla doğrusal şekilde değiştiği varsayılmıştır. Bu çalışmanın amacı, N-kanban aşamalı (N+1 üretim aşaması olan) bir JIT üretim sistemi tasarlamak ve sistemde ilgili tüm maliyet kalemlerini minimize edebilmektir. Sistem ile ilgili maliyet kalemleri, hammadde sipariş maliyeti, stoklama maliyeti, süreç içi (WIP) stoklama maliyeti ve müşteriye son ürünün nakliye maliyetidir. Problem optimal hammadde siparişi, iş istasyonları arasında dolaşan kanban sayısını ve son ürünün üretim yığın büyüklüğünü bulmaktır.

7.1.2. Kullanılan Modeldeki Kanban Sistemi

Model, hammaddenin sağlandığı, son ürüne dönüştürüldüğü ve nihai olarak da müşteriye sevk edildiği bir üretim sistemini temsil etmektedir. Üretim hattı N+1 iş istasyonunda oluşur ve iki iş istasyonu arasında hareket eden kanbanların dolaşacağı N tane WIP alanı vardır. Kanbanlar, sonraki istasyonlardan önceki istasyonları bilgi taşınması ve buna karşılık önceki istasyonlardan da sonrakilere doğru malzeme akışını sağlamak için kullanılan mekanizmalardır.

Hammaddeler ihtiyaç duyulan her zaman erişilebilecek şekilde talep noktalarının yakınlarında stoklanmıştır. Üretim ilk aşamasında hammadde tedarikçiden anlık olarak sabit zaman aralıları şeklinde sağlanmaktadır. Son aşamadaki nihai ürün talebi zamanla ile birlikte doğrusal olarak (doğrusal artarak) değişmektedir. Herhangi bir aşamadaki üretim oranı en azından o aşamadaki WIP talep oranına eşittir ve proses içi stoklar için asla bir elde bulundurmama söz konusu değildir. Son ürünün talebi zaman ile doğrusal artığı için aşamalar arası WIP miktarının da bu şekilde artığı varsayılmıştır.

Bir kanban sistemi iki ardışık iş istasyonu arasında oluşur. Zamanla artan talep miktarı yüzünden her bir WIP alanındaki kanban sayısı ardışık istasyonlar arası malzeme transferi için büyük önem taşımaktadır. Yüksek kanban sayısı yüzünden her bir sevkiyatta taşınan daha az miktardaki WIP stoğu sonraki istasyon için daha az WIP stok maliyetine neden olurken yüksek kanban sayısı daha fazla kanban sistemi maliyeti doğurmaktadır. Aksi durum göz ününe alınırsa, az kanban sayısı ile yapılan her bir sevkiyatta daha yüksek WIP stoğu sonraki istasyona taşınacağından sonraki istasyonun WIP maliyeti artarken daha az kanban kullanıldığı için kanban sisteminin maliyeti düşecektir. Aşamalar arası kanban sisteminin bu çelişkili durumu yüzünden her bir WIP alanı için ayrı bir optimal kanban sayısı belirleme stratejik kararının alınması gereklidir. Bu çalışmanın amacı, hammadde siparişi, stoklama, WIP stoğu tutma ve müşteriye ürünün nakli maliyetlerini minimize edecek bir JIT sisteminin tasarlanmasıdır. Model, optimal hammadde siparişi, iş istasyonları arası kanban sayısı ve son ürünün yığın büyüklüğünü bulmayı amaçlar.

Tek aşamalı kanban sistemi için basit bir model **Sarker ve Balan (1998)** tarafından verilmiştir.

Araştırma amaçlarına ulaşmayı sağlayacak modelde hammadde, WIP ve son ürüne bağlı maliyetler değerlendirilmektedir. Optimal hammadde siparişi, son ürün sevkiyatı, kanban sayısı ile kanban büyüklüğü bulunacaktır. Modelin formülasyonundan önce kullanılan notasyonlar aşağıda belirtilmiştir.

7.1.3. Kullanılan Modelin Formülasyonları

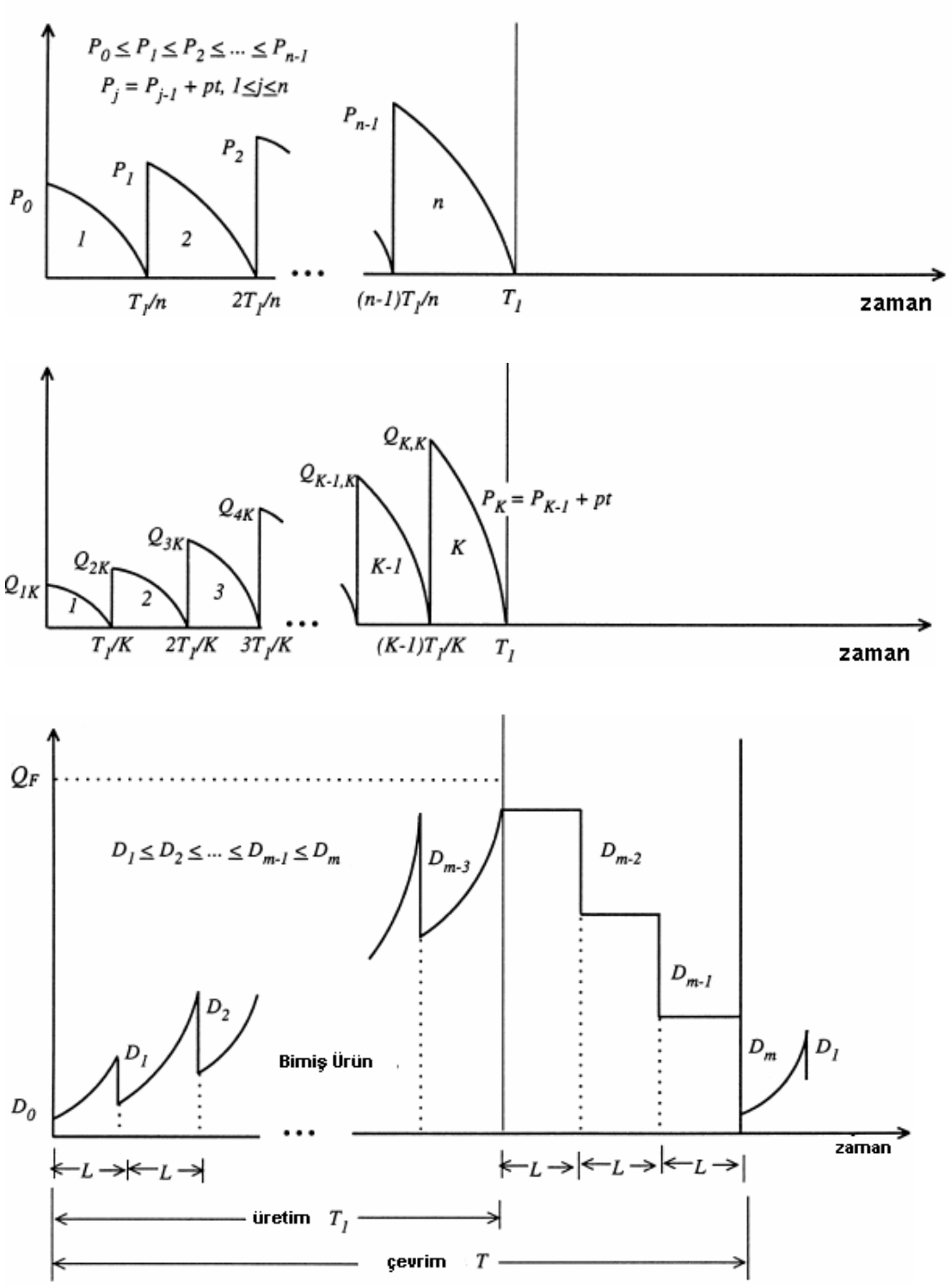
7.1.3.1. Notasyonlar

Tablo 7.1: Kanban Modeli Notasyon Tablosu (Sarker ve Balan, 1999)

α_j	*j.* WIP alanında, WIP stoğu tutma maliyeti H_j'nin hammadde tutma maliyeti H_R'ye oranı; $\alpha_j = H_j/H_R$
β_j	*j.* WIP alanında, kanban çekme maliyeti W_j'nin hammadde sipariş maliyeti K_R'ye oranı; $\beta_j = W_j/K_R$
C^*	minimum konteynır büyüklüğü (birim ürün)
D_0	$t=0$ anındaki talep miktarı (birim ürün)
D_i	*i.* periyot sonundaki talep (birim ürün)
D_F	periyot sonundaki bitmiş ürün talebi (birim ürün/çevrim)
$D(t)$	t anındaki bitmiş ürün talep oranı (birim ürün/birim zaman)
H_F	bitmiş ürün elde tutma maliyeti ($/birim ürün/birim zaman)
H_j	*j.* WIP alanındaki WIP stoğu tutma maliyeti ($/birim ürün/birim zaman)
H_R	hammadde tutma maliyeti ($/birim ürün/birim zaman)
I_{avg}	ortalama hammadde stoğu (birim ürün)
k_j	*j.* kanban aşamasındaki (WIP alanı) kanban sayısı
K_R	hammadde sipariş maliyeti ($/sipariş)
K_F	üretim hazırlık maliyeti ($/yığın)
L	termin zamanı (birim zaman)
M	son istasyondan tam karşılanmış nihai ürün sevkiyat sayısı
N	üretim hattındaki WIP alan sayısı
N	hammadde sipariş sayısı
P	herbir birim zaman başına üretimdeki değişim (artış) oranı
P_i	*i.* hammadde siparişindeki üretim miktarı (t anındaki miktar), $i = 1,2,...,n$
P_0	$t=0$ anındaki üretim oranı (birim ürün)
$P(t)$	t anındaki üretim oranı (birim ürün/birim zaman)
Q	matris $[Q^q_{s,kj}]$; üretim hattındaki herhangi $j=q$ üretim aşamasındaki maksimum kanban sayısının k_q olduğu *j.* aşamadaki toplam k_j yığınlarının *s.* sevkiyatlarındaki sevk miktarıdır. $s = 1,2,...,kj$; $1 \le k_j \le k_q$; $j = 1,...,N$
Q_{avg}	ortalama son ürün stok miktarı (birim ürün)

Q_F	yığın başına üretilen bitmiş ürün miktarı (birim ürün / çevrim yada yığın)
Q_R	sipariş edilen hammadde (birim ürün / çevrim)
$Q_{s,K}$	tek bir aşamadaki *s.* sevkiyatında ki sevk miktarı (birim ürün) *(s = 1,..,K)*
$Q^j_{s,kj}$	*j.* kanban aşamasındaki *s.* sevkiyatında ki sevk miktarı (birim ürün) *(s = 1,..,K)*
T	çevrim zamanı (birim zaman)
T_1	üretim periyodu (birim zaman)
W_{avg}	ortalama WIP stoğu (birim ürün)
W_j	*j.* aşamasında kanban maliyeti ($/kanban)
Ω	son ürünün talebindeki (artış) değişim oranı (birim ürün/birim zaman)

Şekil 7.1'de hammadde, WIP ve son ürünün stok seviyelerini göstermektedir. T_1 üretim aşaması boyunca oluşan son ürün talep miktarına karşılık eş zamanlı üretim ve hammadde tüketimi gerçekleşmiştir. Son ürünün doğrusal artan talebini karşılayabilmek için hammadde sipariş büyüklüğünde eş zamanlı olarak doğrusal artmıştır. Hammadde üretim zamanı boyunca karşılanabilmiştir. T_1/n periyodu için tüketilen her bir sipariş miktarı için P_1 kadar anlık hammadde ikmali yapılmıştır. İlk üretim oranı P_0'dır. Hammadde ikmalleri P_{n-1} olarak gösterilen n. ikmale kadar devam etmiştir. Her L zaman birimi sonundaki $D(t)$ son ürün talep miktarı Şekil 7.1'de gösterildiği gibi T_1 periyodunda stok oluşumuna neden olmuştur. Eldeki son ürün stok miktarı Q_F, stok çevrim zamanı sonuna kadar sürekli L zaman birimi aralıkları boyunca tüketilmiştir.



Şekil 7.1 : Hammadde, WIP ve son ürünün stok seviyelerindeki değişim (Sarker ve Balan, 1999)

Modelin formülasyonunda, bilinmeyen parametreler olan üretim zamanı T_1 ve çevrim zamanı T bilinen parametreler haline getirilmiştir. Daha sonra nihai ürün sevkiyat sayısı *m, j.* aşamasındaki kanban sayısı k_j sipariş sayısı n şeklinde ifade edilmiştir. Malzemelerin sipariş maliyetleri, WIP tutma maliyeti ve son ürün sevkiyat maliyetleri n, k_j ve m notasyonları ile ifade edilmişlerdir. n, k_j ve m notasyonları arası ilişkiler kullanılarak n notasyonu ile ifade edilen çok-aşamalı kanban sisteminin toplam maliyeti formüle edilmiştir.

7.1.3.2. Varsayımlar

1. herhangi bir zamanda, sistemin hiçbir aşamasında elde bulundurmama sözkonusu olmayacaktır $(p \geq \omega)$

2. WIP alanlarının (kanban aşamaları) WIP stoğunu tutabilecek büyüklükte alanlara sahip olduğu varsayılacaktır.

3. ilk istasyonda anlık bir hammadde ikamesi olabileceği varsayılacaktır.

4. üretim sistemi tek ürünlü ve sabit ürün talebine sahip bir üretim sistemi olarak düşünülecektir.

7.1.3.3. Üretim – stok sistemi arasındaki basit ilişkiler

Sarker ve Balan (1998)'de belirtildiği gibi, T_1 üretim zamanı, T çevrim zamanı, Q_R hammadde talebi ve D_F son ürün talebi arasında basit ilişkiler kurulabilir. Doğrusal talep oranı $D(t) = D_0 + \omega t$ eşitliği ile verilebilir. Bu eşitlikte D_0, $t=0$ anındaki talep miktarını; ω, birim zamandaki talepteki artış oranını temsil etmektedir.

7.1.3.4. Üretim zamanı

T_1 üretim periyodu boyunca tüketilen hammadde miktarı, birebir karşılama oranına göre T_1 zamanı boyunca tedarik edilen hammadde miktarına eşit olacaktır $(f = D_F/Q_R = 1)$. Birim zamandaki üretim oranı p'nin artışı için, t anındaki *i.* sipariş için P_i üretim miktarı , T_1 üretim periyodu boyunca n hammadde siparişinin olduğu düşünülerek şu şekilde yazılabilir:

$P_i = p_{i-1} + pt$

$(i-1)T_1/n \le t \le iT_1/n$ ve $i = 1,2,....n$

Bu yüzden tek sipariş üretim periyodu için; $n = 1$ $i = 1$; ve $t = 0$ anındaki üretim miktarı P_0 olmak üzere

$P_1 = P_0 + pt$ $0 \le t \le T_1$

yazılabilir.

Q_R hammadde talebi, D_F son ürün talebine eşittir bu yüzden başlangıç üretim miktarı oranı P_0, üretim artış oranı p ve üretim zamanı T_1;

$D_F = Q_R = \int_0^{T_1} (P_0 + pt)dt$ şeklinde yazılabilir. İntegral çözüldüğü zaman;

$T_1 = \dfrac{-P_0 \pm \sqrt{P_0^2 + 2pD_F}}{p}$ eşitliği elde edilecektir. **(7.1)**

7.1.3.5. Çevrim zamanı

Q_R toplam hammadde miktarı ω birim ürün/birim zaman oranı ile T çevrim zamanı boyunca tüketilecektir. Bu nedenle, D_0 başlangıç talep miktarı, t anındaki talep miktarı $D_1 = D_0 + \omega t$ ve hammadde sipariş miktarı Q_R şu şekilde yazılabilir.

$Q_R = \int_0^{T_1} (D_0 + \omega t)dt$. İntegral çözüldüğü zaman;

$T = \dfrac{-D_0 \pm \sqrt{D_0^2 + 2\omega Q_R}}{\omega}$ eşitliği elde edilecektir. **(7.2)**

7.1.3.6. Son ürün miktarı yada yığın büyüklüğü

Eğer son ürün talebi D_F ise, son sevkiyat sonunda toplam sevk edilmesi gereken miktarda D_F'dir. Ürünler ω doğrusal oranı ile her L zaman aralığında müşteriye sevk edilir. Bu yüzden m sevkiyat boyunca müşteriye yapılan toplam sevk miktarı şu şekilde gösterilebilir:

$mL = T$ olmak üzere

$$D_F = \sum (D_0 + j\omega L) = (m+1)(D_0 + \omega T/2) \text{ dir.} \qquad \textbf{(7.3)}$$

7.1.3.7. Hammadde tedarik büyüklüğü

T_1 üretim zamanı boyunca her bir T_1/n zaman biriminde hammadde ikamesi yapılmak üzere toplam n adet hammadde ikamesi olacaktır. Sipariş edilen hammadde miktarı QR T_1 zaman periyodu boyunca oluşan stok tüketimine denk olacaktır. Doğrusal artan talebi karşılayabilmek için hammadde üretim periyodu boyunca p üretim oranı ile birlikte tüketilmelidir. Şekil 7.1'e göre, *(n-1).* zaman periyodunda yapılan hammadde ikameleri *n.* zaman periyodunun ihtiyacını karşılanabilmelidir. Üretim zamanı boyunca yapılan hammadde ikame sıralaması; $[P_0 + 0pT_1/n]$, $[P_0 + 1pT_1/n]$, $[P_0 + 2pT_1/n]$, $[P_0 + 3pT_1/n]$, ..., $[P_0 + (n-2)pT_1/n]$, $[P_0 + (n-1)pT_1/n]$, $T1$ üretim boyunca ki toplam hammadde siparişini verecektir ki, bu da

$Q_R = nP_0 + (n-1)pT_1/2$ şeklinde ifade edilebilir. **(7.4)**

7.1.3.8. Hammadde stok maliyeti

Çok aşamalı bir kanban sisteminde hammadde stok maliyeti $TC_R^M(n)$ şu şekilde formüle edilebilir:

$$TC_R^M(n) = nK_R + H_R I_{avg} \qquad \textbf{(7.5)}$$

I_{avg} ; ortalama hammadde stoğudur. I_{avg} , Şekil 7.1'de gösterilen stok fonksiyonunda hesaplanabilir. T_1 üretim periyodu boyunca n adet hammadde tedariği düşünülürse, *t* anındaki *i.* tedariğinin stok seviyesi $P_i = P_{i-1} + pt$ şeklinde yazılabilir.

$(i-1)T_1/n \le t \le iT_1/n$ ve $i = 1,2\ldots$

Ortalama hammadde stoğu I_{avg} şu şekilde hesaplanabilir;

$$I_{avg} = \frac{1}{T}\left\{ \int_0^{T_1/n} P_1\left[t - \left(\frac{0T_1}{n} \right) \right] dt + \int_{T_1/n}^{2T_1/n} P_2\left[t - \left(\frac{1T_1}{n} \right) \right] dt + \ldots\ldots + \int_{(n-1)T_1/n}^{T_1} P_n\left[t - \left(\frac{(n-1)T_1}{n} \right) \right] dt \right\}$$

$$I_{avg} = \frac{1}{T}\sum_{i=1}^{n} \int_{(i-1)T_1/n}^{iT_1/n} P_i\left[t - (\frac{(i-1)T_1}{n}) \right] dt \qquad \textbf{(7.6)}$$

Eşitlik (7.6)'de $P_i = P_{i-1} + pt$ yerine koyarsak;

$$I_{avg} = \frac{1}{T}\left\{ \left(\frac{T_1^2 P_0}{2n^2} \right) + \left(\frac{T_1^3 p}{3} \right)\left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n^2} + \frac{1}{2n^3} \right) \right\}$$ eşitliği elde edilir. **(7.7)**

Eşitlik (7.5)'de belirtilen hammadde stok maliyeti yeniden düşünüldüğünde şu eşitlik elde edilir;

$$TC_R^M(n) = nK_R + \frac{H_R}{T}\left(\frac{T_1^2 P_0}{2n^2} \right) + \frac{H_R}{T}\left(\frac{T_1^3 p}{3} \right)\left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n^2} + \frac{1}{2n^3} \right) \qquad \textbf{(7.8)}$$

7.1.3.9. WIP stok maliyeti

Eğer iki iş istasyonu arasındaki ortalama WIP stoğu W_{avg} ifade edilirse, N-aşamalı kanban sistemi için *j.* kanban aşamasında kullanılan k_j kanban sayısı cinsinden toplam maliyet $TC_W^M(k_j)$;

$$TC_W^M(k_j) = \sum_{j=1}^{N}(k_j W_j + H_j W_{avg}) \text{ olur.} \qquad \textbf{(7.9)}$$

$$W_{avg} = \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{N}\left(\frac{P_0 T_1^{\,2}}{2k_j^2} + \frac{pT_1^{\,3}}{3}\left[\frac{1}{k_j} + \frac{1}{k_j^2} + \frac{1}{2k_j^3}\right]\right) \quad \textbf{(7.10)}$$

$$TC_W^M(k_j) = \sum_{j=1}^{N}\left\{k_j W_j + \frac{H_j}{T}\left[\frac{T_1^{\,2}P_0}{2k_j^{\,2}} + \frac{T_1^{\,3}p}{3}\left(\frac{1}{k_j} + \frac{1}{k_j^{\,2}} + \frac{1}{2k_j^{\,3}}\right)\right]\right\} \quad \textbf{(7.11)}$$

7.1.3.10. Kanban Sayısı

Kanban çekme maliyeti W_j hammadde sipariş maliyeti K_R'ye ve WIP stok tutma maliyeti H_j hammadde stok tutma maliyeti H_R'ye eşit olduğu zaman k_j kanban sayısı n hammadde sipariş sayısına eşit olacaktır. Bu yüzden bu eşitliği kullanarak *j.* aşamasındaki kanban sayısı k_j ve hammadde sipariş sayısı n arasındaki ilişki

$k_j = n(\beta_j / \alpha_j)$ şeklinde yazılabilir. **(7.12)**

Bu eşitlikte $\alpha_j = (H_j / H_R)$ ve $\beta_j = (W_j / K_R)$ dir. *j.* aşamasında önceki istasyondan sonrakine WIP naklederken bir kanban kullanma maliyeti W_j'dir. Bu yüzden *j.* aşamadaki kanban sayısının kanban maliyetine direk etkisini görebilmek için k_j, W_j 'nin direk bir fonksiyonu şeklinde tanımlanmalıdır:

$$k_j = n(H_R / K_R)(W_j / H_j) \quad \textbf{(7.13)}$$

(α_j / β_j) oranı kanban sayısı belirleme kararı üzerinde ters etkiye sahiptir.

Gerçektede, tamponsuz durumlarda, parçalar sonraki istasyona stok maliyeti olmaksızın taşınırlar. Ama bir kanban sisteminde üretim aşamaları arasındaki operasyonel hareket ve stoğun fiziksel varlığı yüzünden çekme kanbanlarının bir maliyeti vardır.

Çekme maliyeti tamponsuz üretim hatlarında 0 kabul edilebilir, ama bu durum gerçek bir JIT sistemi için gerçekçi olmayacaktır. Bu maliyet parametrelerinin limitleri ürün tipi, kanban tasarım mekanizması ve ürün değerine göre değişir.

7.1.3.11. Kanban Büyüklüğü

Bir istasyondan diğer istasyona her bir kanban yada sevkiyat ile taşınacak parça adedi optimal kanban sayısı ile belirlenmelidir. Bir iş istasyonuna yapılacak her bir WIP stok hareketine sevkiyat adı verilir ve s ($s = 1, \ldots, k_j$) olarak ifade edilecektir. k_j , j kanban aşamasındaki kullanılan kanban sayısıdır.

$Q^j_{s,kj}$ ($s = 1, \ldots, k_j$, $1 \le k_j \le k_p$ ve $j = 1,\ldots,N$) j. aşamasındaki toplam k_j sevkiyatın s. sevkiyatında taşınan miktarı gösteriyor olsun. Zamanla doğrusal bağlı talep değişkenliği kısıtına istinaden, $Q^j_{s,kj}$ miktarı Q_F ve p üretim oranına bağlı olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$Q^{j}_{s,k_j} = \frac{Q_F}{k_j} + \frac{pT_1}{k_j}\left(\frac{2s - k_j - 1}{2}\right) \quad s = 1,\ldots,k\ ;\ 1 \le k_j \le k_q\ ;\ j = 1,\ldots, N \qquad \textbf{(7.14)}$$

q, $k_q = \max\{ k_j ; j = 1,\ldots, N \}$ olan kanban aşamasını gösteriyor olsun. $Q^j_{s,kj}$ ($s = 1,\ldots, k_j$, $1 \le k_j \le k_p$ ve $j = 1,\ldots,N$) , köşegenin altında kalan değerleri 0 olan **Q** matrisi ile ifade edilebilir.

$$Q = \left[Q^q_{s,k_j}\right] = \begin{pmatrix} Q^q_{1,1} & Q^q_{1,2} & Q^q_{1,3} & Q^q_{1,4} & \cdot & \cdot & \cdot & Q^q_{1,k_q} \\ 0 & Q^q_{2,2} & Q^q_{2,3} & Q^q_{2,4} & \cdot & \cdot & \cdot & Q^q_{2,k_q} \\ 0 & 0 & Q^q_{3,3} & Q^q_{3,4} & \cdot & \cdot & \cdot & Q^q_{3,k_q} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Q^q_{k_q,k_q} \end{pmatrix} \qquad \textbf{(7.15)}$$

Üretim oranının doğrusal olarak arttığı düşünülürse, belirli bir s sevkiyatında taşınan parça miktarı en azından bir önceki sevkiyatta taşınan parça sayısı ile eşit olacaktır; $Q^j_{s-1,kj} \le Q^j_{s-1,kj}$. **Q** matrisinde bulunan değerler bir kanban aşamasındaki herhangi bir sevkiyat sırasında taşınacak parça miktarlarını vereceklerdir. Yoksatma düşünülmediği sürece bu bulunan değerlerin minimum kanban büyüklüğü miktarları olarak düşünülmesi doğrudur.

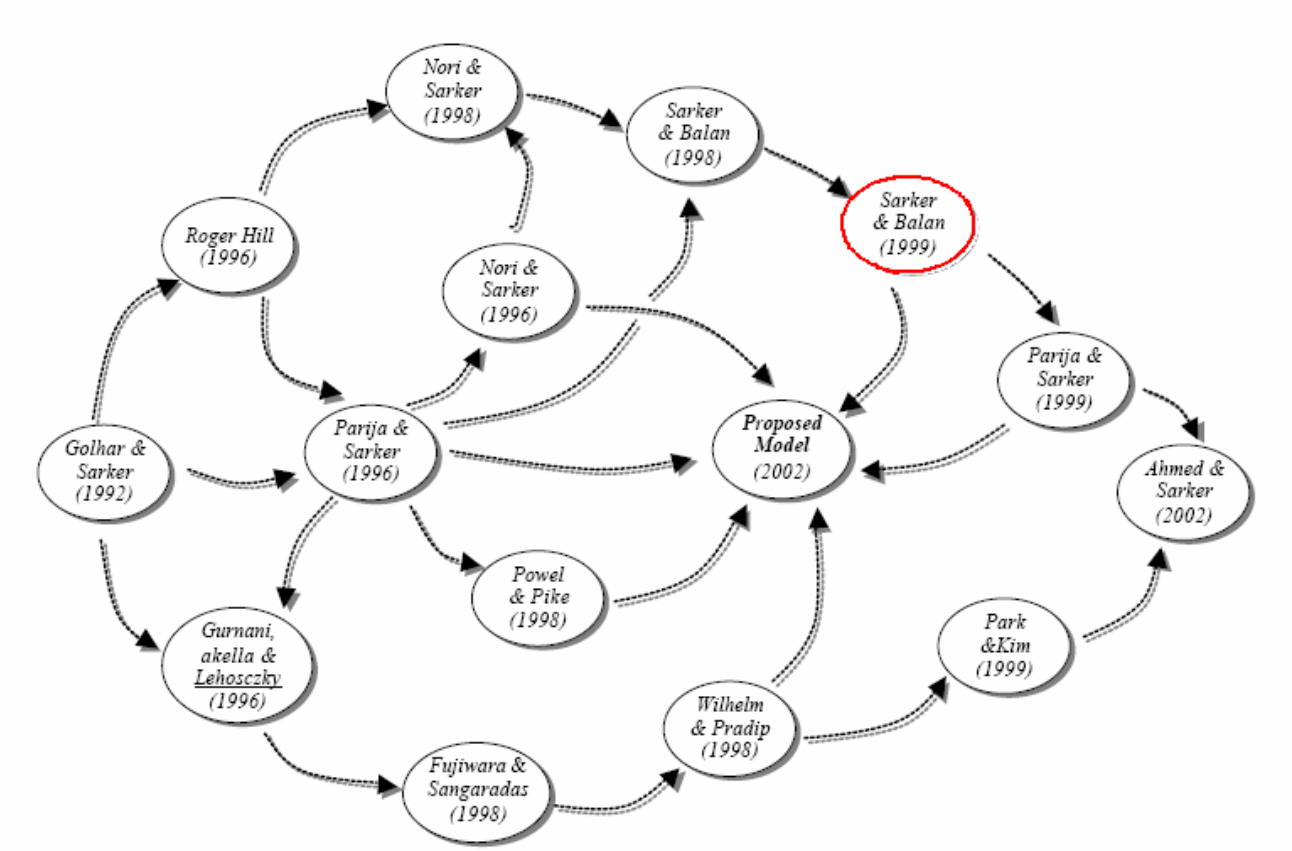
7.1.4. Modelin Alındığı Çalışmanın Literatür İçindeki Yeri

Rahman (2003), **Sarker ve Balan**'ın **(1999)** çalışmasının literatür içinde hangi çalışmalardan etkilendiği ve hangi çalışmaları etkilediği konusunda bir literatür çalışması yapmıştır. Bu çalışma sonucunda ilgili literatürleri şu şekilde sınıflandırmıştır:

Tablo 7.2: Sarker ve Balan (1999) çalışmasına atıfta bulunmuş literatürün sınıflandırılması **(Rahman, 2003)**

Yazarlar	Bitmiş Ürün		Yoksatma Maliyeti	Çözüm Metodu	Çözüm Tipi	Kısıtlar
	Talep	Ürün				
Golhar ve Sarker -1992	Sabit	Tek	Hayır	Math model	Optimal	Hayır
H. M. Roger -1996	Sabit	Tek	Hayır	Math model	Optimal	Hayır
Parija ve Sarker -1996	Sabit	Tek	Hayır	Math model	Optimal	Tamsayılı
Nori ve Sarker -1996	Sabit	Çok	Hayır	Math model	Optimal	Hayır
Gurnani, Akella ve Lehoczky -1996	Stokastik	Tek	Hayır	Math model	Optimal	Hayır
Nori ve Sarker -1998	Poisson	Tek	Hayır	Math (MP)	Optimal	Tamsayılı
Powell ve Pyke -1998	Stokastik	Tek	Hayır	Math model	Sezgisel	Space
Sarker ve Balan -1998	Doğrusal	Tek	Hayır	Math model	Optimal	Hayır
Wilhelm ve Pradip -1998	Stokastik	Tek	Hayır	Math (MP)	Optimal	Space
Fujiwara ve Sangaradas -1998	Stokastik	Tek	Var	Math (MP)	İteratif	Hayır
Sarker ve Balan -1999	**Doğrusal**	**Tek**	**Hayır**	**Math model**	**Optimal**	**Hayır**
Parija ve Sarker -1999	Sabit	Tek	Hayır	Math model	Optimal	Hayır
Park ve Kim -1999	Sabit	Tek	Hayır	Math (NL)	Sezgisel	Due date
Ahmad ve Saker -2002	Üç Aşamalı	Tek	Hayır	Math (L)	Optimal	Hayır
Rahman - 2002	Sabit	Tek	Hayır	Math (NL)	Optimal	Tamsayılı

Şekil 7.2'de çalışmalar arası ilişki görülebilmektedir:



Şekil 7.2 : Modelin alındığı çalışmanın literatür içindeki yeri (Rahman, 2003)

7.2. Deneysel Tasarım Modeli

Uygulamada kullanılacak deneysel tasarım tekniği olarak 3 faktörlü "2^{k-1} Kesirli Faktöriyel Tasarımı" yapılmasına karar verilmiştir. Analiz aşamasında daha hızlı ve daha az koşum imkanı sağladığı için yarım kesirli deneysel tasarımın uygulama için uygun görülmüştür.

7.2.1. Yarım-Kesirli 2^k Tasarımı

2^k faktöriyel tasarımda faktör sayısı artıkça, tam bir tekrar için gerekli deneme sayısı oldukça artar. Örneğin 2^6 tasarımının tam bir tekrarı, 64 deneme gerektirir. Bu tasarımda 63 serbestlik derecesinden sadece 6 tanesi esas etkiyle, yalnızca 15 tanesi iki-faktör etkileşimi ile ilgilidir. Geriye kalan 42 serbestlik derecesi ise üç-faktör ve daha yüksek etkileşimler ile ilgilidir.

Eğer deney sahibi belli yüksek dereceden etkileşimlerin önemsiz olduğunu varsayabiliyorsa esas etki ve düşük dereceli etkileşimler ile ilgili bilgiler, tam faktöriyel deneyin sadece bir kesimi yürütülerek elde edilebilir. Bu kesirli faktöriyel tasarımlar, ürün tasarımı, proses tasarımı, proses iyileştirme gibi alanlarda uygulama alanı çok bulmaktadır.

Kesirli faktöriyel tasarımların kullanımdaki başarısı, üç ana fikre dayanmaktadır.

1.Farklı pek çok değişken olduğunda, sistem yada proses bazı esas etkiler ve düşük dereceden etkileşimler tarafından yönlendirilir.

2.Kesirli deneyler, önemli etkilerin bir alt kümesi olarak geniş tasarımlar haline dönüşebilir.

3.Faktörler ve ilgilenilen etkileşimlerle ilgili etkileri tahmin etmede daha büyük tasarımlar elde etmek için iki yada daha fazla kesirli faktöriyellerin denemeleri birleştirilebilir.

Üç faktörün bulunduğu, ancak deneyde $2^3 = 8$ seviye kombinasyonun hepsinin denenemeyeceği, sadece 4 deneme yapılabileceği bir durum düşünelim. Bu durum 2^3 tasarımı için yarım-kesirli bir tasarımdır. Çünkü tasarım $2^{3-1} = 4$ seviye kombinasyonu içermektedir. 2^3 deneyi için yarım-kesir, 2^{3-1} *tasarım* olarak adlandırılır. 2^3 tasarım için artı ve eksi tablosu, Tablo 7.3'de görülmektedir. Yarım-kesir için *a, b, c* ve *abc* seviye kombinasyonlarını seçtiğimiz varsayalım.

Tablo 7.3: 2^3 tasarım için artı ve eksi işaretleri

Seviye Kombinasyonları	Faktöriyel Etkiler							
	I	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
A	+	+	-	-	-	-	+	+
b	+	-	+	-	-	+	-	+
c	+	-	-	+	+	-	-	+
abc	+	+	+	+	+	+	+	+
ab	+	+	+	-	+	-	-	-
ac	+	+	-	+	-	+	-	-
bc	+	-	+	+	-	-	+	-
(1)	+	-	-	-	+	+	+	-

Dikkat edilirse, 2^{3-1} tasarımı, ABC sütununda + işarete sahip olan seviye kombinasyonları seçilmiştir. Bu nedenle ABC, bu kesirli deney için üreticidir. ABC gibi üreticilere bazen kelime de denilmektedir. Aynı zamanda etkisiz eleman I sadece artılara sahiptir, bu nedenden dolayı

$$I = ABC$$

eşitliğine, bu tasarım için belirleyici ilişki denir. Bir kesirli faktöriyel için belirleyici ilişki, etkisiz sütun I'ya eşit olan tüm sütunlar kümesidir.

2^{3-1} tasarımındaki seviye kombinasyonları, esas etkileri tahmin etmede kullanacağımız üç serbestlik derecesine sahiptir. Tablo 7.3'e baktığımızda A, B, ve C'nin esas etkilerini tahmin etmede kullanılan doğrusal kombinasyonların şunlar oldukları görülür:

$$l_A = ½ (a - b - c + abc)$$

$$l_B = ½ (-a + b - c + abc)$$

$$l_C = ½ (-a - b + c + abc)$$

İki-faktör etkileşimleri için ise doğusal kombinasyonlar aşağıdaki gibidir:

$$l_{BC} = ½ (a - b - c + abc)$$

$$l_{AC} = ½ (-a + b - c + abc)$$

$$l_{AB} = ½ (-a - b + c + abc)$$

Böylece $l_A = l_{BC}$, $l_B = l_{AC}$, $l_C = l_{AB}$ olduğu görülür. Dolayısı ile A ve BC'yi, B ve AC'yi, C ve AB'yi birbirinden ayırmak imkansızdır. A, B ve C'yi tahmin ederken, aslında A + BC, B + AC, C + AB'yi tahmin etmekteyiz. Bu özelliğe sahip iki veya daha çok etkilere eşad denir. Yukarıdaki örnekte, A ve BC, B ve AC, C ve AB

eşaddır. Bu durum $l_A \rightarrow A + BC$, $l_B \rightarrow B + AC$, $l_C \rightarrow C + AB$ notasyonu ile gösterilir.

Bu tasarım için eşad yapı, I = ABC belirleyici ilişkiyi kullanarak kolaya bulunabilir. Herhangi bir sütunu belirleyici ilişki ile çarptığımızda, o etki için eşadlar bulunur.

Örneğin A'nın eşadları şöyle bulunur:

$$A \times I = A \times ABC = A^2BC$$

Herhangi bir sütunun karesi I'ya eşit olduğundan

$$A = BC$$

Benzer şekilde B ve C için eşadlar şöyle bulunur:

$$B \times I = B \times ABC$$

$$B = AB^2C = AC$$

$$C \times I = C \times ABC$$

$$C = ABC^2 = AB$$

I = ABC'ye sahip bu yarım kesre esas kesir denir.

Şimdi de Tablo 7.3'de ABC sütununun eksi işaretli seviye kombinasyonlarının oluşturduğu diğer yarım-kesri göz önüne alalım. Alternatif yada tamamlayıcı yarım-kesir, *(l), ab, ac ve bc* kombinasyonlarını içermektedir. Bu tasarım için belirleyici ilişki şudur: $I = - ABC$

Bu gözlemlerin doğrusal kombinasyonu; l'_A, l'_B, l'_C; aşağıdaki bağıntıları verir:

$$l'_A \rightarrow A - BC$$

$$l'_B \rightarrow B - AC$$

$$l'_C \rightarrow C - AB$$

Böylece A, B ve C'yi tahmin ederken aslında A – BC, B – AC, C – AB etkilerini tahmin ediyoruz.

Pratikte herhangi kesrin kullanıldığının bir önemi yoktur. İki kesitte aynı ailedendir; iki yarım kesir birlikte tam 2^3 tasarımı oluşturur.

2^3 tasarımın bir yarım-kesrini yürüttükten sonra, diğer yarım-kesri de yürüttüğümüzü farz edelim. Böylece tam 2^3 tasarımı ile bağlantılı sekiz adet deneme mevcuttur. Bu durum, iki yarım-kesrin etkilerin doğrusal kombinasyonlarının toplamı ve çıkarımı ile elde edilebilir. Örneğin $l_A \rightarrow A + BC$ ve $l'_A \rightarrow A - BC$ ikilisini göz önüne alalım.

$$½ (l_A + l'_A) = ½ (A + B + A - BC) \rightarrow A$$

$$½ (l_A - l'_A) = ½ (A + BC - A + BC) \rightarrow BC$$

Böylece doğrusal kombinasyonların üç çifti içinde aşağıdaki ifadeler elde edilir.

i	$½ (l_A + l'_A)$	$½ (l_A - l'_A)$
A	A	BC
B	B	AC
C	C	AB

7.2.2. Tasarım Çözünürlüğü

Üstteki 2^{3-1} tasarımına **çözünürlük III tasarımı** adı verilir. Böyle bir tasarımda, esas etkiler iki-faktörlü etkileşimler ile eşaddır. Bir tasarım çözünürlük *R* tasarımı olması için herbir *p*-faktör etkileşiminin R – p'den daha az faktör içeren herhangi bir etkileşimle eşad olmaması gereklidir **(Montgomery, 1996)**. Tasarım çözünürlükleri Romen rakamları ile gösterilir. En önemli çözünürlük tasarımları aşağıda verilmiştir.

1. Çözünürlük III Tasarımı: Bu tasarımda hiçbir esas etki, diğer esas etki ile eşad değildir. Ancak esas etkiler ile iki faktörlü etkiler ve iki faktörlü etkiler ile iki

faktöriyel etkiler eşad yapı oluşturur. Örneğin Tablo 7.3'deki 2^{3-1} tasarımı çözünürlük III tasarımıdır (2_{III}^{3-1})

2. Çözünürlük IV Tasarımı: Bu tasarımda hiçbir esas etki, diğer esas etki ile veya iki faktörlü etkiler ile eşad değildir. Ancak iki faktörlü etkiler ve iki faktörlü etkiler ile eşad yapı oluşturur. Örneğin I = ABCD'li 2^{4-1} tasarımı çözünürlük IV tasarımıdır (2_{IV}^{4-1})

3. Çözünürlük V Tasarımı: Bu tasarımda hiçbir esas etki yada iki faktörlü etki, diğer esas etkiler ile veya iki faktörlü etkiler ile eşad değildir. Ancak iki faktörlü etkiler ve üç faktörlü etkiler ile eşad yapı oluşturur. Örneğin I = ABCDE'li 2^{5-1} tasarımı çözünürlük V tasarımıdır (2_{V}^{5-1})

Genelleme yaptığımızda, iki seviyeli faktöriyel tasarım için çözünürlük, belirleyici ilişkideki kelimelerden en az sayıdaki harf içeren kelimelerin harf sayısı kadardır. Deneyin kesir derecesine göre, kesirli tasarımlara mümkün en yüksek çözünürlüğü uygulamak isteriz. Çözünürlük ne kadar yüksek olursa, hangi etkileşimlerin göz ardı edilebilir olduğu ile ilgili varsayımların sınırlayıcılığı azalır **(Harmada ve Wu, 1992)**.

7.2.3. Yarım Kesirleri Oluşturmak

En yüksek çözünürlük 2^k tasarımını yarım kesrini oluştururken, ilk önce tam bir 2^{k-1} faktöriyelin denemelerinden oluşan temel bir tasarım yazılır. Daha sonra k. faktörü, artı ve eksilerini en yüksek dereceden etkileşimin ABC...(K-1) artı ve eksi işaretleri ile tanımlayarak ekleriz **(Gunst ve Mason, 1991)**. Böylece 2_{III}^{3-1} kesirli deney, temel tasarım olarak 2^2 tasarımı yazarak ve daha sonra faktör C'yi AB etkileşimine eşitleyerek ekleriz. Bu yaklaşım, Tablo 7.4'de görülmektedir. Dikkat edilirse temel tasarım, doğru deneme sayısı içermekte, ancak sütunlardan biri eksik kalmaktadır. Üretici I = ABC...K, kayıp K sütunu için çözülür, böylece K = ABC...(K-1), k. faktörün seviyelerinde kullanılmak üzere herbir satır için artı ve eksi işaretlerin çarpımını sunar.

Herhangi bir etkileşim etkisi, k. faktör sütunu üretmede kullanılabilir. Ancak, ABC..(K-1)'den farklı bir etki kullanmak mümkün en yüksek çözünürlüklü tasarım oluşturmayacaktır.

Tablo 7.4: 2^3 tasarım için iki yarım kesir

Deneme	Tam 2^2 Tasarım Temel Tasarım		2_{III}^{3-1}, I = ABC			2_{III}^{3-1}, I = -ABC		
	A	B	A	B	C = AB	A	B	C = -AB
1	-	-	-	-	+	-	-	-
2	+	-	+	-	-	+	-	+
3	-	+	-	+	-	-	+	+
4	+	+	+	+	+	+	+	-

7.2.4. Kesirleri Faktöriyellere Dönüştürme

R çözünürlüklü herhangi bir kesirli faktöriyel tasarım, R-1 faktörün belirlediği bir alt kümesi için tam bit faktöriyel tasarım (tekrarlı veya tekrarsız) içermektedir. Bu tanım, çok önemli ve kullanışlıdır. Örneğin deneyde çeşitli faktörler varsa ve bu faktörlerden R-1 kadarının önemli olduğuna inanılıyorsa, o halde R çözünürlüklü kesirli deney, uygun bir tasarım olacaktır. Eğer deney sahibi bu inancında haklı çıkıyorsa, R çözünürlüklü kesirli faktöriyel tasarım, R-1 önemli etkinin bulunduğu tam faktöriyel tasarıma dönüşecektir.

Örnek olarak I = ABCD belirleyici ilişkili 2_{IV}^{4-1} tasarımı ele alınabilir. Bu tasarıma ait seviye kombinasyonları Tablo 7.5'de verilmiştir.

Tablo 7.5: I = ABCD belirleyici ilişkili 2_{IV}^{4-1} tasarımı

Deneme	**Temel Tasarım**				**Seviye Kombinasyonu**
	A	**B**	**C**	**D = ABC**	
1	-	-	-	-	(1)
2	+	-	-	+	ad
3	-	+	-	+	bd
4	+	+	-	-	ab
5	-	-	+	+	cd
6	+	-	+	-	ac
7	-	+	+	-	bc
8	+	+	+	+	abcd

7.2.5. Genel 2^{k-p} Kesirli Faktöriyel Tasarımlar

2^{k-p} adet deneme içeren 2^k kesirli faktöriyel tasarımlara $1/2^p$ kesirli 2^k tasarım denir, yada daha basitçe 2^{k-p} kesirli faktöriyel tasarım denir. Bu tasarımlar *p* adet bağımsız üreticinin seçilmesini öngörürler. *p* üreticiden oluşan deney için belirleyici ilişki seçilir.

Eşad yapı, herbir etki sütunun belirleyici ilişki ile çarpılması ile bulunur. Üretici seçerken, ilgilenilen etkilerin birbirleri ile eşad olmamasına önem verilir. Herbir etkinin 2^p-1 adet eşadı vardır. Faktör sayısı k'nın büyük değerleri için, yüksek dereceden etkileşimlerin (örneğin üçüncü, dördüncü veya daha yüksek) gözardı edilebilir olduğu varsayılır, ve bu da eşad yapıyı oldukça basitleştirir.

2^{k-p} kesirli faktöriyel deney için *p* üretici öyle seçilmelidir ki, mümkün en iyi eşad yapı elde edilsin. Üreticileri seçmede mantıklı yol, 2^{k-p} tasarımın mümkün en yüksek çözünürlüğe sahip olmasıdır. Tablo 7.6 faktör sayısı $k \leq 10$ ve deneme sayısı $n \leq 128$ için 2^{k-p} kesirli faktöriyel deney seçimlerini göstermektedir. Bu tabloda önerilen üreticiler, ilgili tasarımlar için mümkün en yüksek çözünürlüğü sağlamaktadır. Bu tabloda verilen eşad yapılar esas etkiler, iki-faktör ve üç-faktör etkileşimlerine odaklanmaktadır.

Tablo 7.6: Seçilmiş 2^{k-p} kesirli faktöriyel tasarımlar

Faktör Sayısı, k	Kesir	Deneme Sayısı	Tasarım Üreticileri
3	2_{III}^{3-1}	4	C = ± AB
4	2_{IV}^{4-1}	8	D = ± ABC
5	2_{V}^{5-1}	16	E = ± ABCD
	2_{III}^{5-2}	8	D = ± AB E = ±AC
6	2_{VI}^{6-1}	32	F = ± ABCDE
	2_{IV}^{6-2}	16	E = ± ABC F = ± BCD
	2_{III}^{6-3}	8	D = ± AB E = ± AC F = ± BC
7	2_{VII}^{7-1}	64	G = ± ABCDEF
	2_{V}^{7-2}	32	F = ± ABCD

			G = ± ABDE
	2_{IV}^{7-3}	16	E = ± ABC F = ± BCD G = ± ACD
	2_{III}^{7-4}	8	D = ± AB E = ± AC F = ± BC G = ± ABC
8	2_{V}^{8-2}	64	G = ± ABCD H = ± ABEF
	2_{IV}^{8-3}	32	F = ± ABC G = ± ABD H = ±BCDE
	2_{IV}^{8-4}	16	E = ± BCD F = ± ACD G = ± ABC H = ± ABD
9	2_{VI}^{9-2}	128	H = ± ACDFG J = ± BCEFG
	2_{IV}^{9-3}	64	G = ± ABCD H = ± ACEF J = ± CDEF
	2_{IV}^{9-4}	32	F = ± BCDE G = ± ACDE H = ± ABDE J = ± ABCE
	2_{III}^{9-5}	16	E = ± ABC F = ± BCD G = ± ACD H = ± ABD J = ± ABCD
10	2_{V}^{10-3}	128	H = ± ABCG J = ± ACDE K = ± ACDF
	2_{IV}^{10-4}	64	G = ± BCDF H = ± ACDF J = ± ABDE K = ± ABCE
	2_{IV}^{10-5}	32	F = ± ABCD G = ± ABCE H = ± ABDE J = ± ACDE K = ± BCDE
	2_{III}^{10-6}	16	E = ± ABC F = ± BCD G = ± ACD H = ± ABD J = ± ABCD K = ± AB

7.2.6. Kesirli Faktöriyelleri Bloklama

Bazı durumlarda, bir kesirli faktöriyel deneyin gerektirdiği tüm gözlemlerin hepsi homojen bir yapıda gerçekleşmeyebilir. Bu durumda kesirli faktöriyel bloklara bölünebilir. Tablo 7.7 çeşitli kesirli faktöriyel tasarımlar için bloklama düzenlemeleri önermektedir. Bu tasarımlar için minimum blok büyüklüğü, sekiz denemedir.

Örnek olarak I = ABCE = BCDF = ADEF belirleyici ilişkiye sahip 2_{IV}^{6-2} kesirli deneyini göz önüne alalım. Tasarımı her biri sekiz seviye kombinasyonuna sahip iki blokta yürüttüğümüzü farz edelim. Bloklarla örtüşen etkileşimi seçerken, eşad yapıyı incelediğimizde sadece üç faktörlü etkileşimlerden oluşan iki eşad kümesi olduğunu gözlemleriz. Buna göre Şekil 7.3'de görülen iki blok oluşur. Dikkat edilirse esas blok, ABD sütunda artı işaretlere sahip seviye kombinasyonlarını içermektedir.

Blok 1	Blok 2
(I)	ae
Abf	acf
Cef	bef
Abce	bc
Aef	df
Bde	abd
Acd	cde
Bcdf	abcdef

Şekil 7.3 : ABD ile örtüşen iki bloklu 2_{IV}^{6-2} tasarımı

Tablo 7.7: Seçilmiş 2^{k-p} kesirli faktöriyel tasarımlar için bloklar

Faktör Sayısı, k	Kesir	Deneme Sayısı	Bloklar
3	2_{III}^{3-1}	4	-
4	2_{IV}^{4-1}	8	-
5	2_{V}^{5-1}	16	8'lik 2 blok : AB = CDE
	2_{III}^{5-2}	8	-
6	2_{VI}^{6-1}	32	8'lik 4 blok : BC; ABF = CDE; ACF = BDE 16'lık 2 blok : ABF = CDE

	2_{IV}^{6-2}	16	8'lik 2 blok : ABD = CDE = ACF = BEF
	2_{III}^{6-3}	8	-
7	2_{VII}^{7-1}	64	16'lık 4 blok : ABC; CEF; CDG 32'lik 2 blok : ACE = AFG
	2_{V}^{7-2}	32	8'lik 4 blok : ACE = AFG; BCE = BFG; AB = CDF = DEG 16'lık 2 blok : ACE = AFG
	2_{IV}^{7-3}	16	8'lik 2 blok : ABD = CDE = ACF = BEF = BCG = AEF = DFG
	2_{III}^{7-4}	8	-
8	2_{V}^{8-2}	64	16'lik 4 blok : CDE = FGH; ACF; BDH 32'lik 2 blok : CDE = FGH
	2_{IV}^{8-3}	32	8'lik 4 blok : ABE = CEF = DEG; ABF = CFH = DGH; EH = BCD = ADF = ACG = BFG 16'lık 2 blok : ABE = CEF = DEG
	2_{IV}^{8-4}	16	8'lik 2 blok : AB = EF = CG = DH
9	2_{IV}^{9-3}	64	16'lık 4 blok : CFG; AGJ = BEF = DGH; ADE = EHJ 32'lik 2 blok : CFG
	2_{IV}^{9-4}	32	8'lik 4 blok : AEF = BEG = CEH = DEJ; AB = FG = DEH = CEJ; CD = BEF = AEG = HJ 16'lık 2 blok : AEF = BEG = CEH = DEJ
	2_{III}^{9-5}	16	8'lik 2 blok : AB = CE = FG = DH
10	2_{IV}^{10-4}	64	16'lık 4 blok : AGJ = CEF = BHJ; AGK = DEF = BHK; CD = BFG = AFH = JK 32'lik 2 blok : AGJ = CEF = BHJ
	2_{IV}^{10-5}	32	8'lik 4 blok : AK = EF = DG = CH = BJ; AJ = CDE = CFG = DFG = EGH = BK; AB = CDF = CEG = DEH = FGH = JK 16'lık 2 blok : AK = EF = DG = CH = BJ
	2_{III}^{10-6}	16	8'lik 2 blok : AG = CD = BF = EH = JK

8. UYGULAMA

8.1. Uygulamanın Amacı

Çekme sistemi ile çalışan bir gerçek üretimda yaşanan süreç problemleri göz önüne alınmış ve problemlere çözüm alternatifleri getirebilmek için öncelikle mevcut durumun simülasyonu yapılıp elde edilen veriler ile değer akış haritasını çıkartılarak darboğaz noktalarını belirlenmiştir. Sonraki aşamada, belirlenen darboğazları ortadan kaldıracak bir kanban kontrollü üretim ortamı tasarlanmış ve gerekli kanban sayısını belirlenmiştir. Tasarlanan yeni üretim sistemi, tek ürün gruplu – çok aşamalı çift kartlı CONWIP sistemi olacaktır. Bir sonraki aşamada ise, CONWIP sisteminin simülasyonunu yaparak belirlenmiş faktörler olan çeşitli kanban sayıları, kanban büyüklükleri ve sipariş verileri dağılımlarına bağlı olarak performans ölçütlerin değişimlerini ölçmek amaçlanmıştır. Uygulamanın son aşamada ise CONWIP sisteminin simülasyonu sonucunda bulunan performans değerleri için deneysel tasarım yapılacak, faktörler ve performans ölçütleri arasındaki ilişki ortaya konulmuştur.

Simülasyon çalışmaları için MS© Excel, deneysel tasarım ve analiz çalışmaları için ise MINITAB programı kullanılmıştır.

8.2. Uygulamada üretim sistemi olarak neden CONWIP sistemi seçilmiştir?

Her üretim tesisi için etkin bir üretim kontrol sistemi önem taşır. **Huang ve diğ. (1998a)** yaptıkları çalışmada bir soğuk çelik haddeleme tesisi için MRP, Kanban ve CONWIP kontrol sistemleri için bir simülasyon analizi yapmışlardır. Bu analizlerin bahsi geçen üç üretim kontrol sistemi kıyaslamışlardır. Simülasyon sonuçları, bu üç kontrol sistemi arasında soğuk çelik haddeleme tesisi için en etkin kontrol

sisteminin CONWIP olduğunu göstermiştir. CONWIP sistemi diğer sistemlere göre daha yüksek bir çıktı oranı ve makine kullanım oranı sağlayarak büyük ölçüde WIP stok seviyesini, ortalama stok ve ortalama stok maliyetlerini düşürmüştür.

Huang ve diğ. (1998b) çalışmalarında yarı sürekli (semi-continuous) bir soğuk haddeleme tesisi için 4 durum için mevcut üretim kontrol sistemi ile CONWIP sisteminin performanslarını kıyaslayan bir simülasyon çalışması yapmışlardır. Bahsi geçen 4 durum sıra ile; (1) hem bitmiş ürün stoğu hem de tampon ara stok büyüklüğü beraber değerlendirildiği durum, (2) sadece tampon ara stok büyüklüğünün değerlendirildiği durum, (3) sadece bitmiş ürün stok büyüklüğünün değerlendirildiği durum, (4) her iki stok büyüklüğünün de değerlendirilmediği durum.

Huang ve diğ. (1998b) simülasyon sonuçları göstermiştir ki; yarı sürekli üretimde üretim ve stok kontrolü için CONWIP sistemi mevcut sistemden daha etkindir. CONWIP sistemi, ortalama ara stok miktarlarını düşürmüştür.

8.3. Uygulamada kanban sıralama metodu olarak neden FCFS seçilmiştir?

Farklı üretim kontrol sistemlerinin farklı kontrol mekanizmaları vardır. MRP sistemlerinde, herbir üretim merkezinde tetiklenen üretim miktarı toplam talepten eldeki stoğun çıkarılması ile bulunur. Yani üretim miktarını belirleyen hesap net talep miktarıdır. Kanban sisteminde, üretim merkezlerinde tetiklenen üretim miktarı sonraki işe istasyonundan gelmiş boşta duran kart sayısı ile hesaplanır. CONWIP sisteminde ise ilk istasyondaki üretim miktarını belirleyen şey, en son üretim istasyonunda ilk üretim istasyonuna gelen ve boşta bekleyen kart sayısıdır. Çekme ile başlayan üretim akışı daha sonra istasyonlar arası itme olarak "ilk gelen ilk hizmet alır" (FCFS) kuralı ile devam eder **(Huang ve diğ., 1998a)**.

Framinan ve diğ. (2000) çalışmalarında, stoğa üretim ortamında "CONWIP" tarafından kontrol edilen bir akış atölyesinde kullanılabilecek sıralama kuralları ve girdi kontrolü üzerinde odaklanmışlar ve "CONWIP" sisteminin temelde "İlk Giren İlk Servis görür (FCFS) sıralama kuralına dayandığını belirtmişlerdir.

8.4. Uygulama Yeri Tanıtımı – Borusan Mannesmann Çelik Boru A.Ş.

Türkiye'de çelik boru sektörü ilk Mannesmann Sümerbank ile 1957'de başlamış, onu Borusan Boru 1958'de takip etmiştir. 1998 yılında Borusan Boru global arenadaki rekabet gücünü sağlamlaştırmak amacıyla büyük bir işbirliğine imza atmış ve Almanya'nın önde gelen sanayi kuruluşu Mannesmannröhren Werke AG ile Türkiye'deki dikişli çelik boru faaliyetlerini birleştirme kararı almıştır. Bu birleşme sonucunda kurulan Borusan Mannesmann Yatırım Holding; yıllık toplam ciroları 250 milyon ABD dolarına ulaşan, 1400'den fazla kişinin çalıştığı ve üretim kapasiteleri 750.000 ton olan tesisleri ile Avrupa'nın en büyük ilk beş çelik boru üreticilerinden biri olmuştur.

Borusan Mannesmann Boru'nun misyonu, Türk sanayicisinin, sektöründe uluslararası kabul gören bir oyuncu konumuna gelebileceğini ve sektörü Avrupa ölçeğinde yönlendirecek bir güce erişebileceğini göstermektir.

Gemlik Fabrikası

Yıllık 300.000 ton üretim kapasitesi olan Gemlik -Bursa'daki fabrikada, toplam 614.000 m^2 saha üzerinde kurulu 76.000 m^2 kapalı alanda, ½" den 12" e kadar inşaat ve sanayi sektörlerine yönelik olarak su boruları, kazan boruları, doğal gaz ve petrol boruları ile ağır yapı profilleri üretimine odaklanılmıştır. Gemlik fabrikası sahası içinde ayrı bir kapalı alanda polipropilen temiz su boruları ve bağlantı parçalarının üretimi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca 1996 yılında çelik boru polietilen Kaplama Tesisi faaliyete geçirilmiştir. Gemlik Fabrikası bünyesinde, üretim tesislerinin hemen yanında bir liman tesisi bulunmaktadır. Buradan gerek hammaddelerin temini, gerekse ürünlerin yurtiçi ve yurtdışı sevkiyatı süratli ve ekonomik şekilde sağlanmaktadır.

Halkalı Fabrikası

Yıllık üretim kapasitesi 150.000 ton olan Halkalı - İstanbul'daki fabrikada, 58.000m^2 saha üzerinde kurulu 20.000 m^2 kapalı alanda, 5 mm'den 80 mm'e kadar

0,5 - 3.0 mm et kalınlığı arasında, sanayi borusu ve profilleri ile soğuk haddelenmiş özel amaçlı boru üretimi konusunda uzmanlaşılmıştır. Burada ayrıca, özel amaçlı borular için hammadde üreten 38.000 ton kapasiteli entegre soğuk haddeleme tesisi bulunmaktadır. Başta otomotiv yan sanayii, bisiklet, mobilya, beyaz eşya, konstrüksiyon, tekstil olmak üzere çeşitli sektörlere yönelik üretim yapılmaktadır.

İzmit Fabrikası

Üretim kapasitesi 300 bin ton/yıl olan İzmit fabrikasında 3/8" - 6 5/8" arasında değişen boyuna kaynaklı (ERW) borular ile dış çapları 8"-100" arasında değişen spiral kaynaklı (SAW) borular üretiliyor. Bu fabrikada üretilen ürünler arasında; genel kullanım amaçlı borular, galvanizli su boruları, kazan boruları, kare ve dikdörtgen profiller, gaz boruları, hassas borular, su, petrol ve doğalgaz hat boruları ve koruyucu kaplamalı borular yer alıyor. İzmit fabrikasında üretilen borulara koruyucu kaplama olarak epoksi, bitüm, polietilen ve beton uygulanabiliyor.

Kasım 2001'de imzalanan anlaşma çerçevesinde, Structo Vobarno boru fabrikası tüm ürünleri ile BM Vobarno adıyla Borusan Grubu bünyesine katılmıştır.



Şekil 8.1 : Borusan Mannesmann Çelik Boru A.Ş. fabrikalarının yerleşim yerleri
1. Gemlik Fabrikası,
2. Halkalı Fabrikası
3. İzmit Fabrikası
4. Vobarno Fabrikası

8.5. Uygulamada Kullanılan Ürün Grubu Tanıtımı – Silindir Borusu

Ölçü, fiziksel özellikler ve yüzey kalitesi açısından otomotiv ana ve yan sanayi, mobilya sanayisi, bisiklet ve motosiklet sanayi, elektrikli ev sanayisi gibi sanayilerin amortisör borusu ihtiyaçları karşılamak için, standart üretimin dışında özel üretim yöntemlerinin uygulandığı, hassas, yuvarlak boru üretimleridir.

DIN 2393-C, TS 6438 standardına göre üretilen, çok hassas iç çap, et kalınlığı ve yüzey pürüzlüğüne sahip borulardır. Mandrelli çekme malafalı yöntemiyle üretilirler.

Müşteri isteğine göre silindir borularında;

iç kaynak çapağının alınması

koruyucu atmosferde tavlama ve normalizasyon

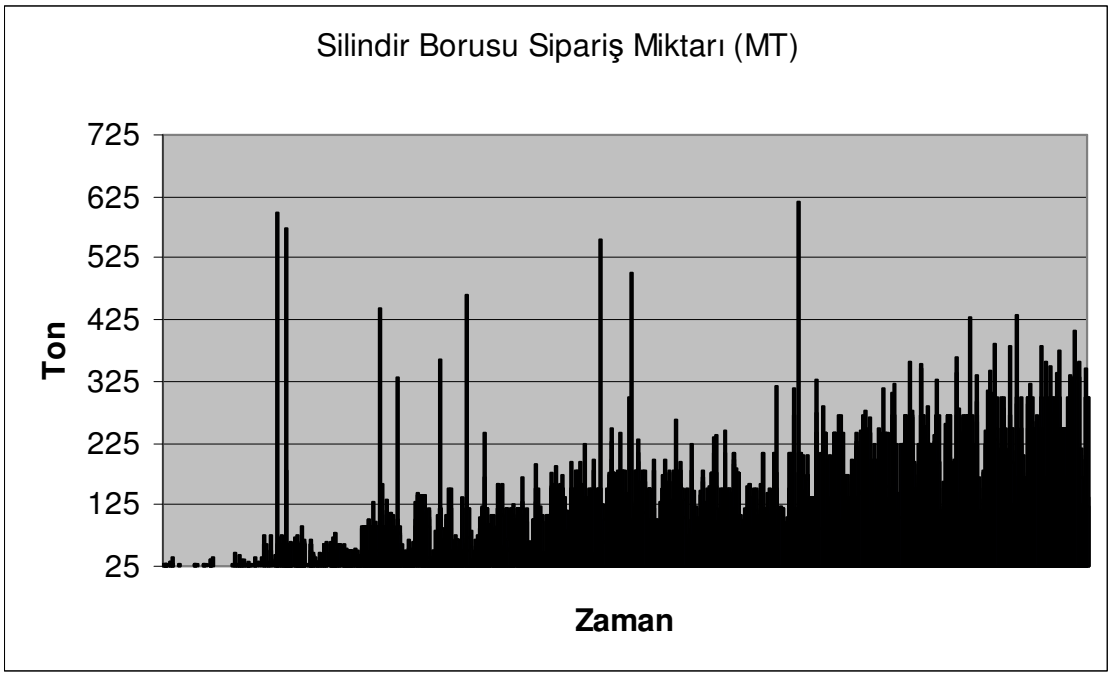
korozyona karşı koruma (fosfatlama, pasa karşı koruyucu yağlama)

kidrostatik test, manyetik test, ultrasonik test

özel ve hassas boy kesme

gibi işlemler yapılmaktadır.

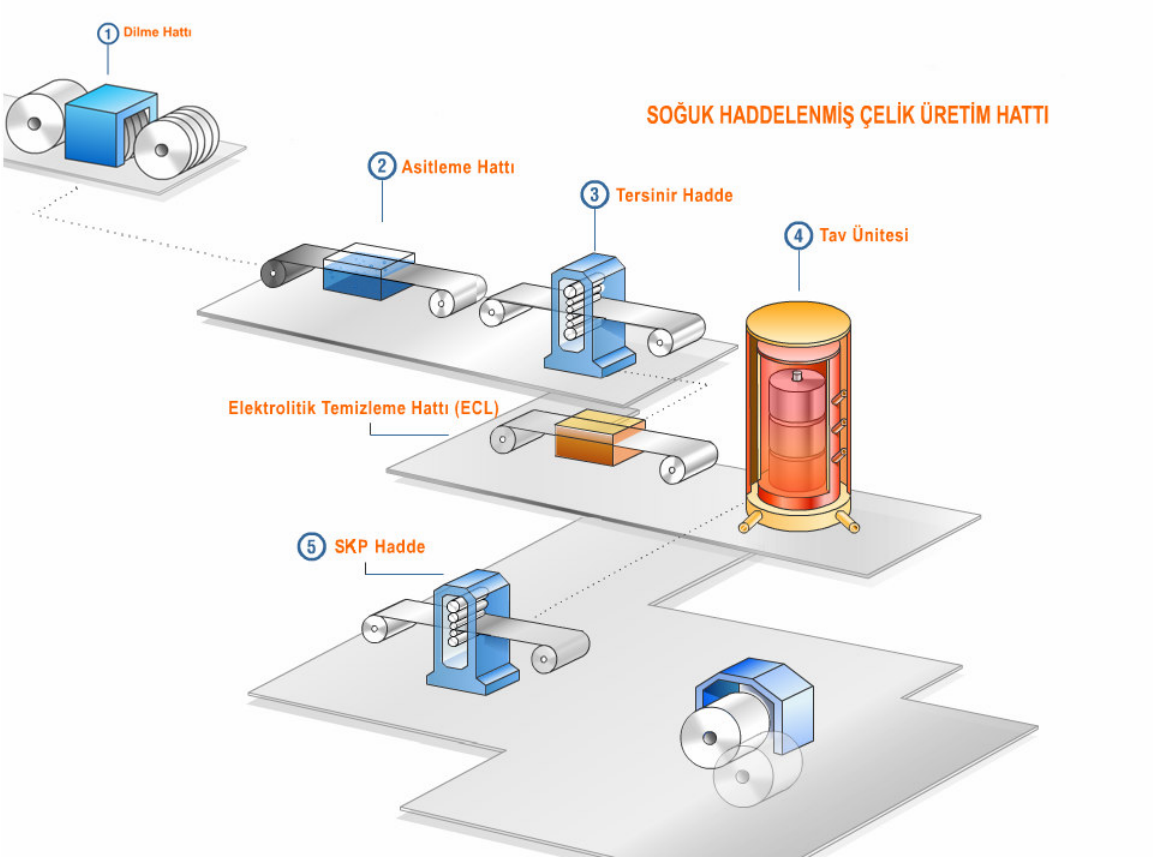
Uygulama için neden silindir borusu seçilmiştir? Borusan Mannesmann Boru şirketinin 2004-2005 silindir borusu satış grafiğine bakıldığında, zamanla artan bir talep gelişinin yaşandığı görülmektedir (Şekil 8.2).



Şekil 8.2 : 2004-2005 silindir borusu satış grafiği (Kaynak: Halkalı Fab. Teknik Raporu)

Silindir boruları, zamanla talebin artığı bir üretim ortamında kanban sayısı belirlenmesi için kullanılan **Sarker ve Balan**'nın **(1999)** modeline uygun bir ürün olacağı için uygulama sırasında bu ürünün satış ve sipariş verileri kullanılmıştır.

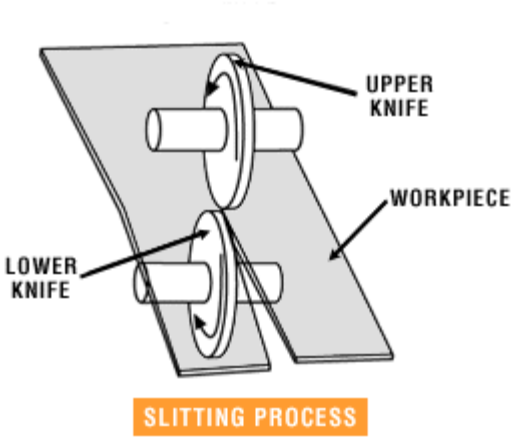
8.6. Uygulamanın İş Akışı



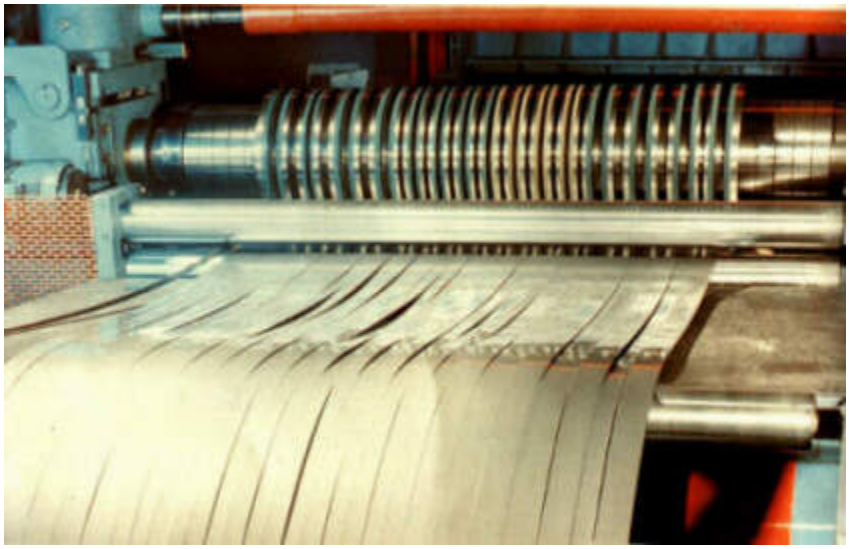
Şekil 8.3 : Silindir borusu için gerekli hammaddenin üretim akışı

- **1. Dilme**

Tedarikçiden sıcak döküm sac olarak gelen çelik rulo bandlar dilme makinasında DKP asitleme hattında işlenecek ebatlara dilinirler. Dilme işlemini makine üzerinde altlı üstlü duran bıçakla sayesinde yapar. Bıçaklar arasında kalan band kesilmiş olur.



Şekil 8.4 : Çelik band dilme bıçağı modeli



Şekil 8.5 : Dilme makinası

- **DKP**

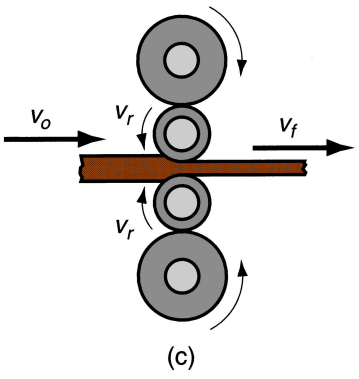
1. Dilme hattından gelen dilinmiş bandlar üzerindeki pas ve kir temizlemek için DKP asitleme hattına girerler. Bandlar rulo halden düz hale getirilerek %85 yoğunluklu H_2SO_4 havuzundan geçirilir. Hat çıkışında dilinmiş band tekrar rulo hale getirilir.



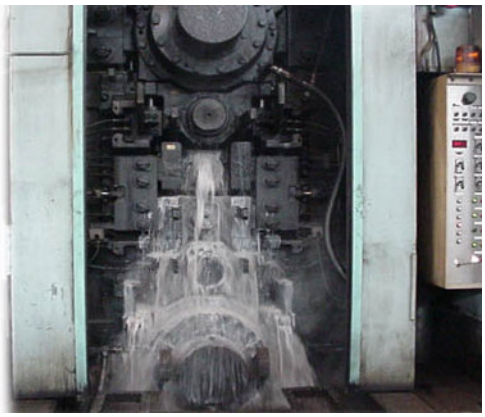
Şekil 8.6 : DKP Havuzu

- **Hadde**

DKP hattında temizlenen bandlar daha sonra haddeleme tesisine getirilir. Bu tesisin amacı bandların et kalınlıklarını nihai borunun et kalınlığına indirmektir. Örneğin ana bandın et kalınlığı 3.00 mm ve müşterinin istediği borunun et kalınlığı 1.00 ise, hadde tesisinde band haddelenerek et kalınlığı 1.00 mm'e indirgenir. Bunu yaparken malzemenin kimyasal özelliği değişmez ancak mekanik özelliklerinde (atom dizilişinde) bozulmalar olur. Ayrıca bandı et kalınlığı azaltılırken burada kaybedilen miktar bandı boyuna uzatacaktır.



Şekil 8.7 : Çelik band haddeleme modeli



Şekil 8.8 : Hadde makinası

- **Band Tav**

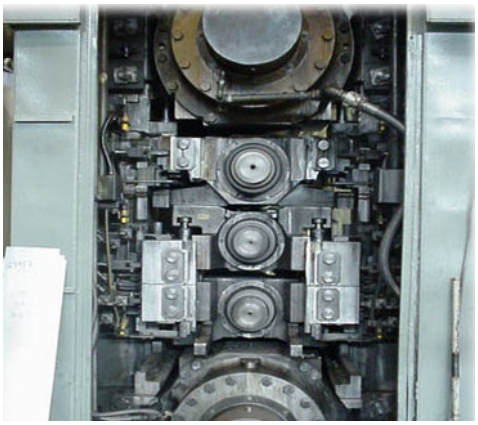
Haddeleme işlemi sırasında mekanik özelliği bozulan bandlar yeniden homojen bir atom dizilişine sahip olması için band tav işleminden geçirilirler. Bandlar, tav istasyonunda 600 C^o derecesine kadar ısıtılarak yavaş soğutulma ile homojen hale getirilirler. Isıtma işlemi doğalgaz ile yapılırken, soğutma işlemi için önce püskürtme hava daha sonra da su kullanılır.



Şekil 8.9 : Band Tav Fırınları

- **SKP Hadde**

Band tavdan çıkan bandlar son bir kez tek paso ile SKP Hadde makinasından geçirilirler. SKP Hadde makinasının ana görevi bandın et kalınlığı düşürmek değil banda parlaklık vermektir. SKP'den çıkan bandlar böylece parlatılmış soğuk band rulosu haline gelmişlerdir.



Şekil 8.10 : SKP makinası

- **2. Dilme**

SKP'den geçtikten sonra soğuk çelik haline gelen dilinmiş bandlar, boru makinelarına girmeden önce nihai borunun çapına uyacak şekilde son kez dilinirler. Çalışma mantığı 1. dilmeden farklı değildir, sadece daha küçük genişliklerde dilme işlemi yapabilmektedir.



Şekil 8.11 : 2. Dilme Makinası

- **Kaynak Makinası**

Müşterinin istediği boruyu üreten makinadır. Dilinmiş boru bandı gerekli form verme, kalibrasyon, kaynak, doğrultma ve kesme gibi işlemlerden geçirerek boru haline getirmektedir.



Şekil 8.12 : Boru Kaynak Makinası

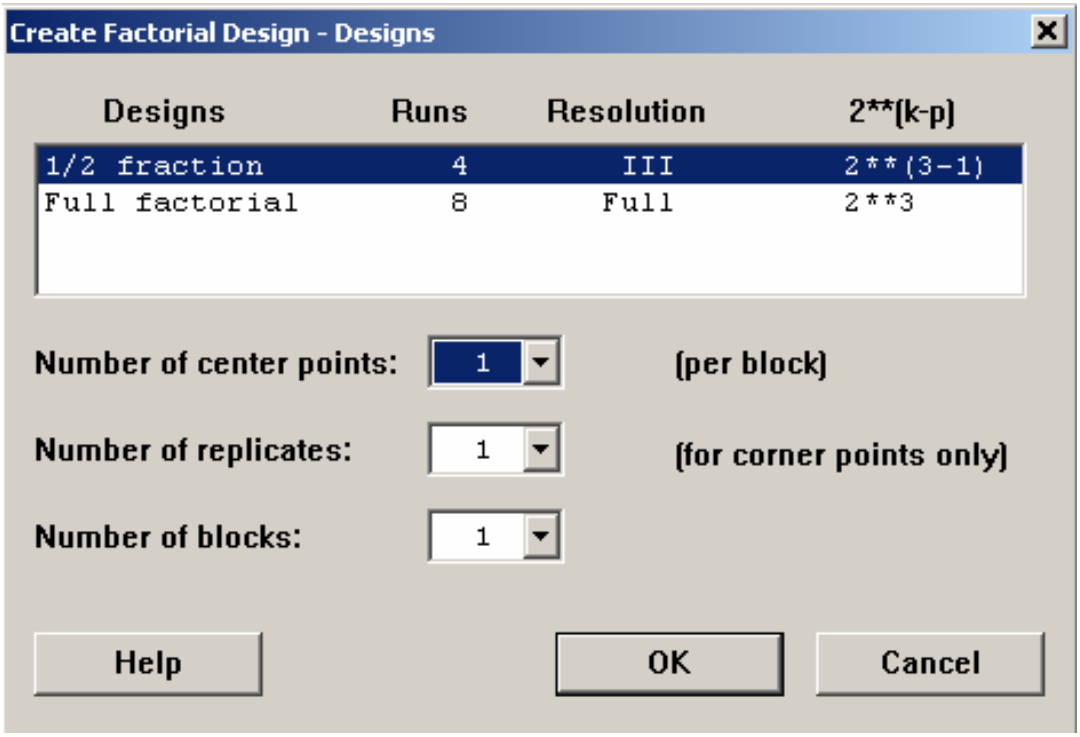


Şekil 8.13 : Paketlenmiş nihai boru

8.7. Uygulamada Kullanılan Deneysel Tasarım Modelinin Minitab'de Tanımlanması

8.7.1. Faktöriyel Deney Tasarımı

.



Şekil 8.14 : Faktöriyel deneysel tasarım modeli seçme Minitab ekranı

Fractional Factorial Design

```
Factors:   3   Base Design:          3; 4   Resolution:   III
Runs:      6   Replicates:              1   Fraction:     1/2
Blocks:    1   Center pts (total):      2

* NOTE * Some main effects are confounded with two-way interactions.

Design Generators: C = AB


Defining Relation:  I = ABC


Alias Structure

I + ABC

A + BC
B + AC
C + AB


Design Table (randomized)

Run  A  B  C
  1  +  -  -
  2  -  -  +
  3  -  +  -
  4  0  +  0
  5  0  -  0
  6  +  +  +
```

Şekil 8.15 : Faktöriyel deneysel tasarım modeli görüntüsü Minitab ekranı

8.7.2. Faktöriyel Deney Faktörleri

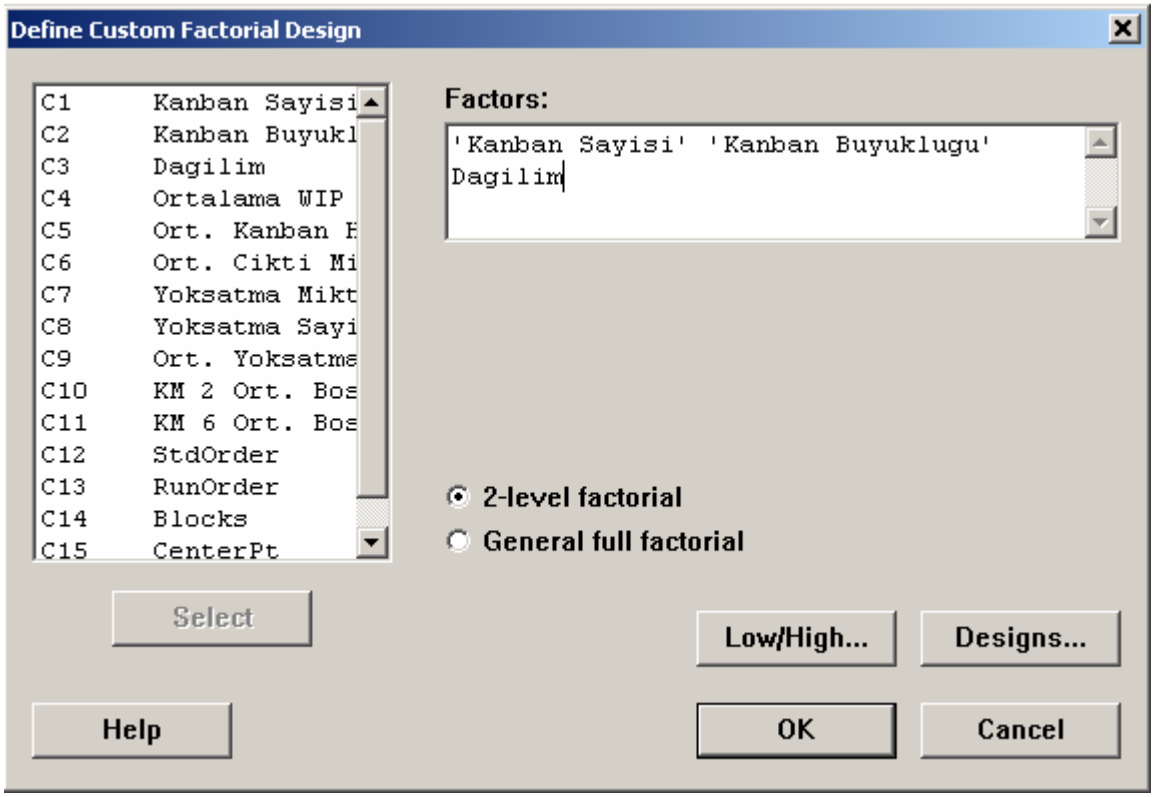
Uygulama içinde üç faktör belirlenmiştir:

- Kanban Sayısı: CONWIP merkezleri arasında dolaşacak kanban kartı adetidir. **Sarker ve Balan**'ın **(1999)** çalışmasına istinaden bulunan optimum kanban sayısının yanında farklı sayılarda kanban kartı sayısı için analiz yapılmıştır. Analiz için kullanılan kanban sayısı faktör seviyeler *[1, 2, 4]*dür.
- Kanban Büyüklüğü: CONWIP merkezleri arasında dolaşacak konteynırların büyüklüğüdür. **Sarker ve Balan**'ın **(1999)** çalışmasına istinaden bulunan optimum kanban büyüklüğünün yanında farklı miktarlarda

kanban büyüklüğü için analiz yapılmıştır. Analiz için kullanılan kanban büyüklüğü faktör seviyeler *[750, 1000, 1250] (ton)* dur.

- Sipariş Verilerinin Dağılımı: Hem "sipariş gelişleri arası süre" hem de "talep miktarları" için farklı istatistiki dağılımlar kullanılarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Zamanla artan talep durumunu gösteren mevcut durum için ilk simülasyon çalışması *"Log-Normal Dağılım"* ile yapılırken, ikinci simülasyon çalışması daha doymuş bir talep durumunu temsil etmesi için *"Normal Dağılım"* ile yapılmıştır.

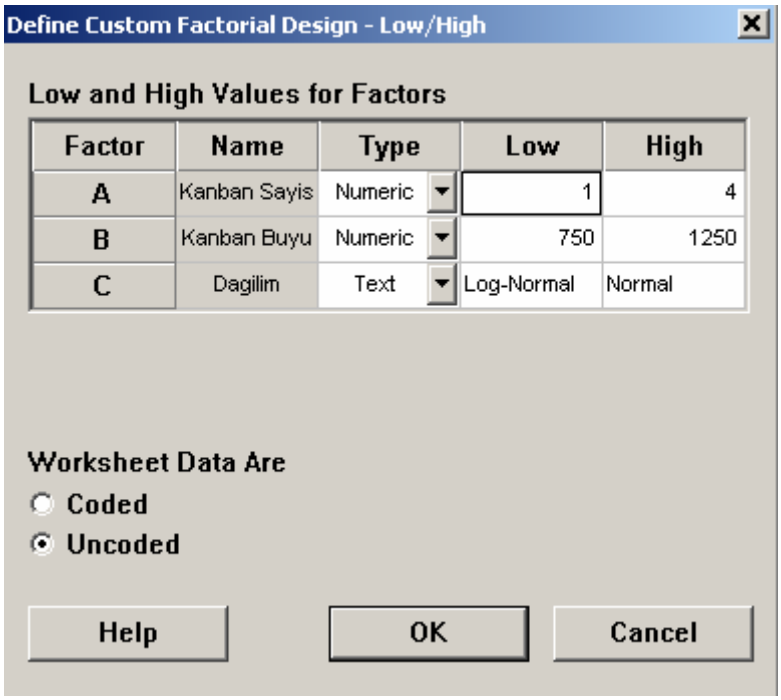
Bu faktörlerin Minitab içinde tanımlanması aşağıda gösterilmiştir:



Şekil 8.16 : Faktöriyel deneysel tasarım modeli faktörlerini seçme Minitab ekranı

8.7.3. Deney Faktörlerinin Seviyeleri

Faktörlerin alabileceği değerler şu şekilde belirlenmiştir;



Şekil 8.17 : Faktör seviyelerinin tanımlandığı Minitab ekranı

8.7.4. Deney Performans Göstergeleri

Tasarımda analizleri yapılacak performans göstergeleri şunlardır;

- Ortalama WIP (ton): İki CONWIP merkezi arasında oluşan CONWIP konteynırları üzerinde taşınan ortalama stok miktarıdır.

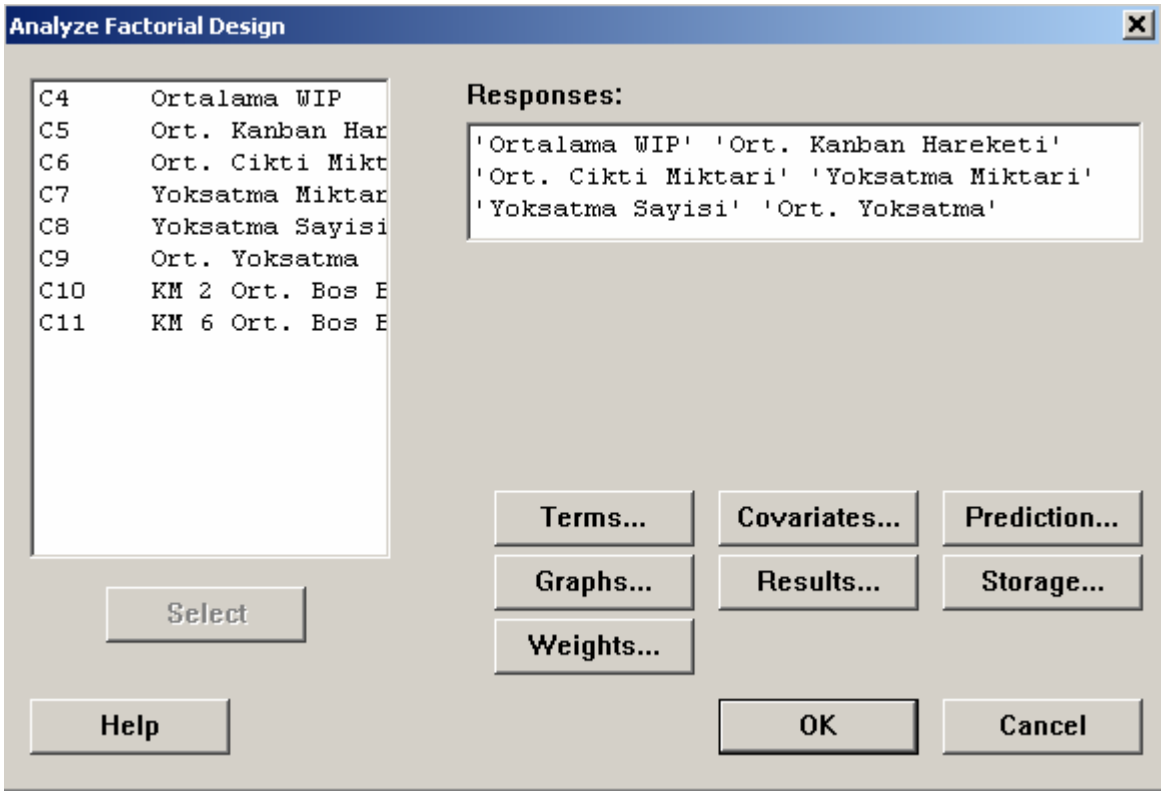
- Ortalama Kanban Hareketi (adet): Bir sonraki CONWIP merkezinin bir önceki CONWIP merkezinde kaç kere çekme yaptığının sayısıdır. Bu gösterge iki merkez arasında dolaşan kanban kartının miktarının da göstergesidir.

- Elde Bulundurmama Miktarı (ton): Bir sonraki CONWIP merkezinin, bir önceki CONWIP merkezi tarafından zamanında beslenmemesi nedeniyle oluşan (-) stok miktarıdır.

- Elde Bulundurmama Frekansı (adet): Bir sonraki CONWIP merkezinin, bir önceki CONWIP merkezi tarafından zamanında beslenmemesi nedeniyle kaç kere (-) stok seviyesine düştüğünün göstergesidir.

- Ortalama Çıktı Miktarı (ton): Kaynak makinaları tarafından üretilen ortalama imalat emri miktarı miktarıdır.

- Kaynak Makinaları Boşta Beklemesi (dak): Kaynak makinalarının bağlı olduğu CONWIP merkezinin bir önceki CONWIP merkezi tarafından gerektiğince beslenemediği durumlarda ne kadar süre boşta beklediğinin göstergesidir.



Şekil 8.18 : Performans göstergelerinin tanımlandığı Minitab ekranı

Performans göstergelerinin anlamları sonraki bölümde açıklanacaktır.

8.7.5. Faktöriyel Analiz Durumları

Performans göstergelerinin simülasyon sonucunda elde edilen değerleri şu faktör kombinasyonları için analiz edilmiştir:

A: Kanban Sayısı

B: Kanban Büyüklüğü

C: Dağılım

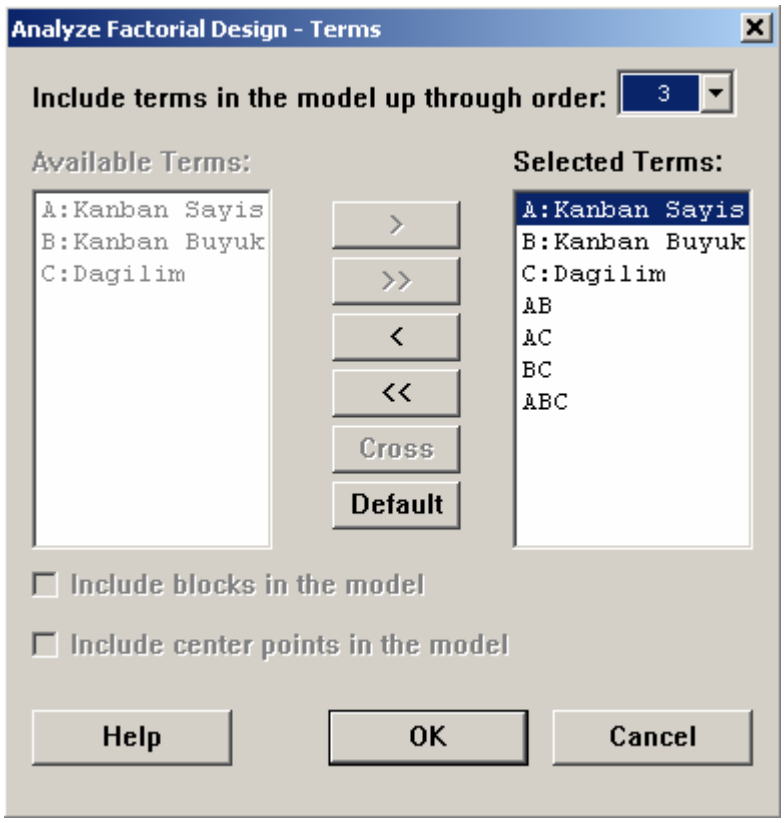
AB: Kanban Sayısı x Kanban Büyüklüğü

AC: Kanban Sayısı x Dağılım

BC: Kanban Büyüklüğü x Dağılım

ABC: Kanban Sayısı x Kanban Büyüklüğü x Dağılım

Analiz koşullarının gösterildiğüi Minitab ekranı aşağıdadır:



Şekil 8.19 : Faktöryel analiz durumlarının tanımlandığı Minitab ekranı

8.8. Uygulamada ki Varsayımlar

a. Model, hammaddenin sağlandığı, son ürüne dönüştürüldüğü üretim sistemini temsil etmektedir.

b. Üretim ortamı **tek ürün gruplu – çok aşamalı çift kartlı** bir üretim sistemidir. Üretim hattı 7 iş (1. Dilme → DKP → Hadde → Band Tav → SKP → 2. Dilme → Kaynak Makinası) istasyonundan oluşur.

c. Hammaddeler ihtiyaç duyulan her zaman erişilebilecek şekilde talep noktalarının yakınlarında stoklanmıştır. Üretim ilk aşamasında hammadde tedarikçiden anlık olarak sabit zaman aralıları şeklinde sağlanmaktadır.

d. Hammadde yüzünden yoksatmaya izin verilmeyecektir, ancak darboğazlar nedeniyle oluşan eksik ara stok yüzünden yoksatmalara izin verilecektir.

e. Son aşamadaki nihai ürün talebi zamanla ile birlikte doğrusal olarak (doğrusal artarak) değişmektedir.

f. Sipariş bazında üretim yapılır ve üretim hattında bir siparişin işi bitmeden diğer sipariş hatta alınmaz.

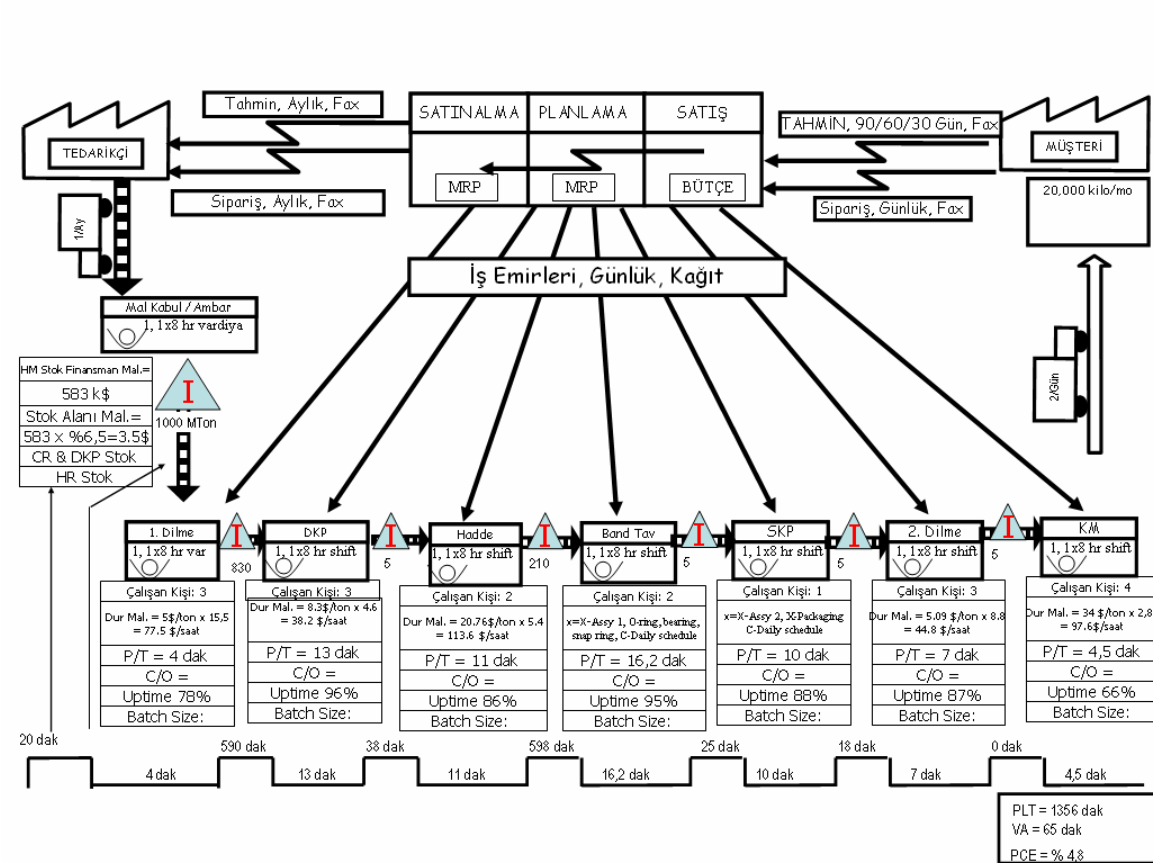
g. Tüm üretim istasyonları 3 vardiya çalıştığı ve bir brüt vardiyanın 8 saat olduğu kabul edilmiştir.

h. Makine iç ve dış hazırlık süreleri (ebad değişim süreleri) yok sayılmıştır.

i. WIP alanlarının, WIP stoğunu tutabilecek büyüklükte alanlara sahip olduğu varsayılacaktır.

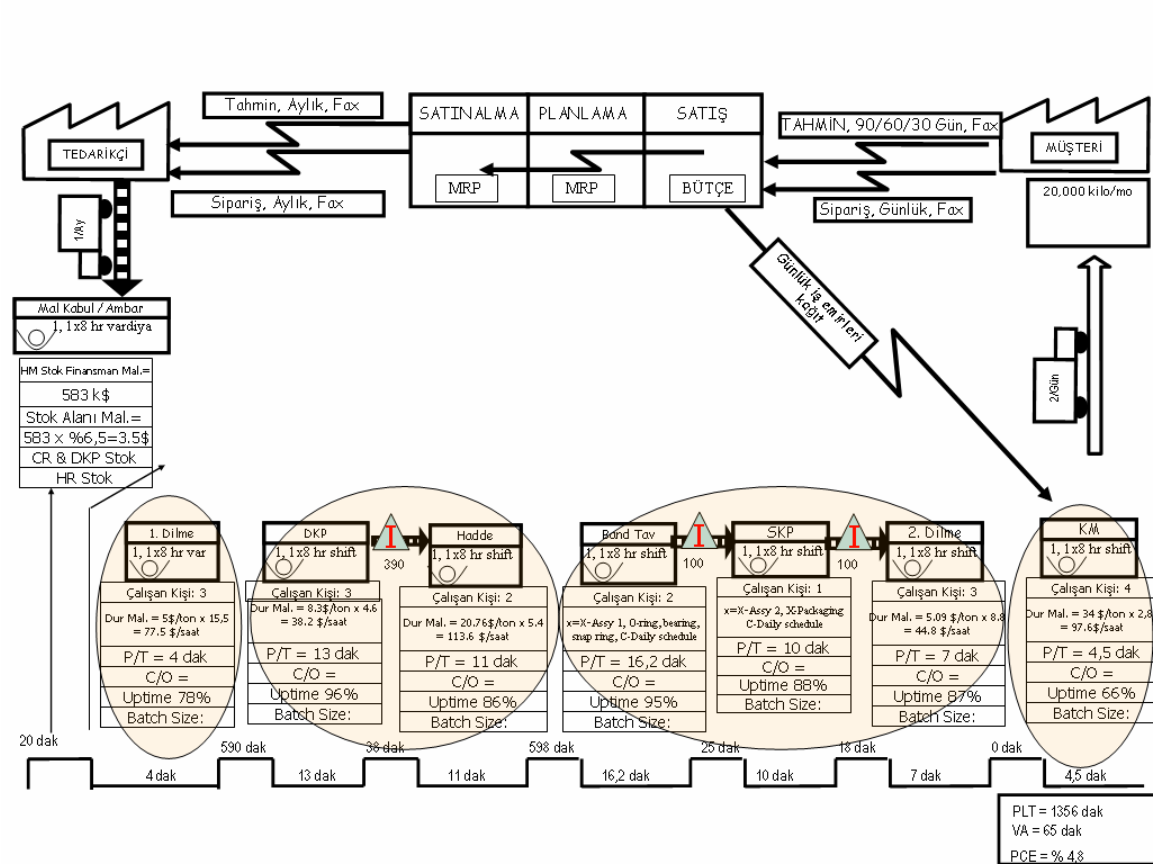
8.9. Değer Akış Haritalama

Şekil 8.20'de mevcut durumun değer akış haritası görülmektedir. Değer akış haritasındaki veriler, mevcut itme üretim ortamı için yapılan simülasyon çalışmasının sonuçlardır. Değer akışı haritasından da görüleceği gibi 1. Dilme, DKP ve Band Tav istasyonları önünde ara stok oluşumu ve bu stokların uzun süre bekledikleri görülmektedir. İtme sistemimizin darboğaz merkezlerini bu istasyonlar oluşturmaktadır.



Şekil 8.20 : Mevcut Durum Değer Akış Haritası

Yeni tasarlayacağız CONWIP sistemi için bu darboğaz merkezi bilgileri kullanılmıştır. Her bir darboğaz istasyonu, bir CONWIP merkezinin ilk istasyonu olacak şekilde CONWIP alanları belirlenmiştir. Belirlenen CONWIP alanları Şekil 8.21'de görülmektedir.



Şekil 8.21 : CONWIP alanları

Değer akış haritalama çalışmasına göre oluşan CONWIP alanları:

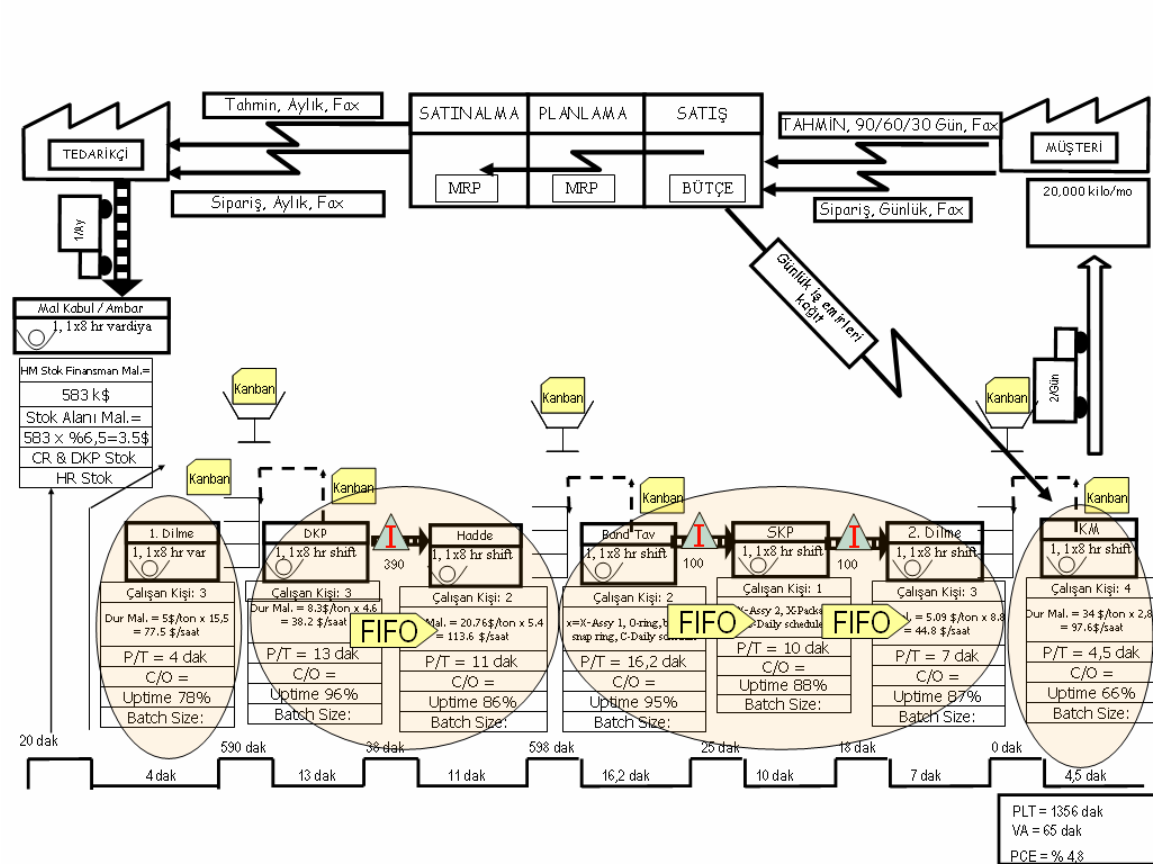
1. CONWIP alanı → 1. Dilme

2. CONWIP alanı → DKP + Hadde

3. CONWIP alanı → Band Tav + SKP + 2. Dilme

4. CONWIP alanı → Kaynak Makinaları'dır.

Nihai tasarlanan durum Şekil 8.22'de görülmektedir. Yeni üretim sistemimiz, CONWIP kontrollü bir üretim sistemidir. Süreç içindeki kanbanlar CONWIP merkezleri arasında hareket edeceklerdir. Üretim sisteminde 4 CONWIP merkezi ve 3 kanban dolaşım alanı vardır.



Şekil 8.22 : Tasarlanan CONWIP kontrollü üretim sistemi

8.10. Kanban Sayısı ve Kanban Büyüklüğünün Belirlenmesi

Sarker ve Balan (1999)'ın önerdiği model kullanılarak, tasarlanan CONWIP sistemi için kanban sayısı ve kanban büyüklüğü tespit edilmiştir. Kanban sayısını tespit etmek için öncelikle sipariş maliyetleri ve stok tutma maliyetleri hesaplanmıştır.

8.10.1. Sipariş Maliyeti ($/sipariş) ($K_R$)

Borusan Mannesmann şirketine ait sipariş maliyeti aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Tablo 8.1: Borusan Mannesmann sipariş maliyet analizi

BMB ENVANTER MALİYET ANALİZLERİ

SİPARİŞ MALİYETLERİ

Kısım	Faaliyet	Görev Detayı	Personel (insan - dakika)				Kırtasiye ($/sipariş)	Telefon/Fax ve Diğer ($/sipariş)
			Satın Alma (dak.)	Ambar (dak.)	Fax (dak.)	Telefon (dak.)		
Satınalma	Net satınalma ihtiyaçlarının tedarikçi kaynaklarının belirlenmesi - *MRP Aşaması*	1 kişi --> İthal Satınalma 1 kişi --> İç Satınalma	1605				0,5	
	Net ihtiyaçların kesinleştirilmesi - *Global Projeksiyon Aşaması*	1 kişi --> İthal Satınalma 1 kişi --> İç Satınalma	315				0,5	
	Tedarikçiler ile görüşme - *Negotiation Aşaması*	1 kişi --> İthal Satınalma 1 kişi --> Satınalma Müdürü	2520			10		0,5
	Siparişin tedarikciye Bildirilmesi - *Bildirim Aşaması*	1 kişi --> İthal Satınalma 1 kişi --> İç Satınalma	690		2			0,1
	Siparişin sisteme girilmesi - *Sipariş Giriş Aşaması AS400*	1 kişi --> İthal Satınalma 1 kişi --> İç Satınalma	45					
	Sipariş Takibi (Telefon görüşmeleri)	1 kişi --> İthal Satınalma 1 kişi --> İç Satınalma				3		0,15
	Sevkiyat İşlemleri	2 kişi --> İthal Satınalma 2 kişi --> İç Satınalma	6			16		0,8
Ambar	Ürün Gelişi / Sipariş Kontrolu (Ürün kamyonda)			3				
	Teslim Alış, Ürün Kontrolü			17		3	0,1	0,15
Satınalma	Sipariş Ödemeleri, Fatura kontrolleri		10	2		2		0,1
	TOPLAM		5191	22	2	34	1,1	1,8

Giydirilmiş Ortalama İşgören Maliyeti ($/insan-ay)	800
Aylık Çalışma Saati	225
Giydirilmiş Ortalama İşgören Maliyeti ($/insan-dak.)	0,059
H_R Sipariş Maliyeti ($/sipariş)	**312,59**
BMB İç Verim Oranı (%/ay)	**5**
Ürünün Depolama Maliyeti ($/m^3-ay) **Sigorta, Isınma, Nakliye ve İşçilik Maliyetleri**	**0,35**

Hesaplamalar sonucunda bir sipariş maliyetinin (K_R) 312 $/sipariş olduğu bulunmuştur.

8.10.2. Hammadde Stok Maliyeti ($/ton yıl) ($H_R$)

Borusan Mannesmann şirketine ait hammadde stok tutma maliyeti aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Tablo 8.2: Borusan Mannesmann envanter maliyet analizi

ENVANTER MALİYETLERİ

Parametreler

C_o = Sipariş Maliyeti ($/sipariş) C_o = **312,59**
i = BMB İç Verim Oranı i = **5**
C_{sv} = Ürünün Depolama Maliyeti ($/$m^3$-ay) C_{sv} = **0,35**

Servis Düzeyi* (%)	Servis Düzeyi Çarpanı
80	0.84
90	1.28
95	1.64
98	2.05
99	2.33

* **Servis Düzeyi** : Son kullanıcı ihtiyacını stoktan karşılama oranı.
100-Servis Düzeyi : Stok boşalması riski (yüzde olarak)

Tedarik süresince talebin normal dağıldığı varsayılmıştır.

Tedarik Süresince Talebin Değişkenlik Katsayısı : Tedarik süresince talep dağılımı standart sapmasının ortalamasına oranıdır.

Stok boşalması maliyeti, toplam maliyet içinde göz önüne alınmamıştır.

Ürün	Yıllık Talep (ton/yıl)	Satın Alma Maliyeti ($/ton)	Ürünün Hacmi (m^3)	Tedarik Süresi (gün)	Elde Bulundurma Maliyeti ($/ton-yıl)	Ekonomik Sipariş Miktarı	Ekonomik Sipariş Miktarı (ton)	Yıllık Sipariş Sayısı (adet)	Tedarik Süresince Talebin Değişkenlik Katsayısı	Servis Düzeyi Çarpanı	Emniyet Stoku	Emniyet Stoku (ton)	Yeniden Sipariş Noktası (adet)	Ortalama Stok (ton)	Depo Hacim İhtiyacı (m3)	Toplam Maliyet ($/yıl)
Silindir Boru Bandı	70.000	500	2,5	45	310,5	375,42	375	187	0,001111111	1,28	1,83	2	8632	189,5	473,75	35.117.189,88

Hesaplamalar sonucunsa elde bulundurma maliyeti (H_R) 310 $/ton yıl olarak hesaplanmıştır. Günlük elde bulundurma maliyeti (H_R) 0.85 $/ton gün olacaktır.

Bu maliyetlere ek olarak ara stok tutma maliyeti (Hj $/ton gün) ve kanban çekme maliyetlerini de (Wj $/kanban) hesaplamamız gerekmektedir. Hj maliyeti, HR maliyetinden yola çıkarak yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Wj maliyetleri ise CONWIP merkezleri arasındaki mesafelerden yola çıkılarak yaklaşık maliyet hesabı yapılmıştır.

H_j ($/ton/day)	W_j ($/kanban)		
0,16	10	*1. İstasyon WIP*	*(1. Dilme / DKP - Haddle)*
0,08	15	*2. İstasyon WIP*	*(DKP - Haddle / BandTav - SKP - 2. Dilme)*
0,10	15	*3. İstasyon WIP*	*(BandTav - SKP - 2. Dilme / KM)*

8.10.3. Kanban Sayısı (kj) ve Kanban Büyüklüğü Q^j_{s,k_j} nün hesaplanması

Bu maliyet kalemleri kullanılarak her bir CONWIP alanı arasında dolaşacak kanban sayıları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

N = 3

ω (ton/gün) = 0,1 (zamanla talep artım miktarı)

p (ton/gün) = 0,1 (zamanla üretim artış miktarı)

D_0 (ton/gün) = 90 (günlük talep miktarı)

P_0 (ton/gün) = 91,8 (günlük üretim miktarı)

D_F (ton) = 1000 (toplam talep miktarı)

Q_R (ton) = 1000 (toplam hammadde miktarı)

için kanban sayısı ve kanban büyüklüğü

Tablo 8.3: Kanban sayısı ve büyüklüğü analizi

N	ω (tons/day)	D_0 (tons/day)	H_R ($/ton/day)	K_R ($/order)	p (tons/day)	P_0 (tons/day)	D_F (tons)	Q_R (tons)
3	0,1	90	0,85	312,59	0,1	91,8	1000	1000

$\alpha_j = H_j / H_R$

$\beta_j = W_j / K_R$

	α_j	β_j	H_j ($/ton/day)	W_j ($/kanban)	k_j	C*	
n=1	0,19	0,03	0,16	10	1	1000	1. İstasyon WIP
n=2	0,09	0,05	0,08	15	2	500	2. İstasyon WIP
n=3	0,12	0,05	0,10	15	1	1000	3. İstasyon WIP

(1. Dilme / DKP - Haddle)

(DKP - Haddle / BandTav - SKP - 2. Dilme

(BandTav - SKP - 2. Dilme / KM)

Q^j_{s,k_j}

s\k_j	1	2	3	4
1	1000	500	333	250
2	0	500	333	250
3	0	0	334	250
4	0	0	0	250

$$Q^j_{s,k_j} = \frac{Q_F}{k_j} + \frac{pT_1}{k_j}\left(\frac{2s - k_j - 1}{2}\right), \quad s = 1, \ldots, k_j,$$
$$1 \leqslant k_j \leqslant k_q, \quad j = 1, \ldots, N. \qquad (23)$$

(k_1) = 1

(k_2) = 2

(k_3) = 1 olarak bulunur. Kanban büyüklüğü değerleri de Q matrisinden görülebilir.

8.11. CONWIP Simülasyon Sonuçları

Log-normal ve normal dağılımlara göre ayrı ayrı simülasyon çalıştırıldığı zaman; Kanban sayısı [1, 2, 3, 4] ve Kanban Büyüklüğü [750, 1000, 1250] için daha önce belirlenen performans göstergeleri için aşağıdaki değerler elde edilmiştir:

Tablo 8.4: Log-normal dağılım için simülasyon sonuçları

Dağılım	Kanban Sayısı	Kanban Büyüklüğü	Ortalama WIP	Ortalama Kanban Hareketi	Ortalama Çıktı Miktarı	Elde Bulundurmama Miktarı	Elde Bulundurmama Sayısı	Ortalama Elde Bulundurmama	KM 2 Ort. Boş Beklemesi (dak)	KM 6 Ort. Boş Beklemesi (dak)
Log-Normal	1	750	388,32	3	22,14	-16,87	1	9,55	128,18	134,55
		1000	384,08	3	21,82	-15,21	1	10,41	193,73	167,79
		1250	351,28	2	22,25	-8,85	1	8,85	186,43	140,23
	1 Total		374,56	3	22,07	-13,64	1	9,60	169,45	147,53
	2	750	590,78	11	22,30	-73,83	6	12,22	120,65	109,48
		1000	652,14	5	21,91	-28,84	2	13,47	124,72	138,56
		1250	692,98	4	21,85	-23,61	2	11,60	120,69	126,87
	2 Total		645,30	6	22,02	-42,09	3	12,43	122,02	124,97
	3	750	577,93	9	21,78	-58,65	5	11,80	141,15	132,84
		1000	748,33	7	22,03	-45,78	4	11,66	162,19	98,43
		1250	860,37	6	22,00	-34,18	3	12,12	150,67	129,73
	3 Total		728,88	7	21,94	-46,20	4	11,86	151,33	120,34
	4	750	599,01	12	21,90	-79,98	7	12,24	171,79	120,81
		1000	792,55	9	21,90	-61,57	4	13,57	178,03	183,26
		1250	972,90	7	21,84	-52,27	4	13,15	163,36	131,55
	4 Total		788,15	9	21,88	-64,60	5	12,98	171,06	145,20
Log-Normal Total			634,22	6	21,98	-41,64	3	11,72	153,46	134,51

Dağılım	Kanban Büyüklüğü	Kanban Sayısı	Ortalama WIP	Ortalama Kanban Hareketi	Ortalama Çıktı Miktarı	Elde Bulundurmama Miktarı	Elde Bulundurmama Sayısı	Ortalama Elde Bulundurmama	KM 2 Ort. Boş Beklemesi (dak)	KM 6 Ort. Boş Beklemesi (dak)
Log-Normal	750	1	388,32	3	22,14	-16,87	1	9,55	128,18	134,55
		2	590,78	11	22,30	-73,83	6	12,22	120,65	109,48
		3	577,93	9	21,78	-58,65	5	11,80	141,15	132,84
		4	599,01	12	21,90	-79,98	7	12,24	171,79	120,81
	750 Total		539,01	9	22,03	-57,33	5	11,45	140,44	124,42
	1000	1	384,08	3	21,82	-15,21	1	10,41	193,73	167,79
		2	652,14	5	21,91	-28,84	2	13,47	124,72	138,56
		3	748,33	7	22,03	-45,78	4	11,66	162,19	98,43
		4	792,55	9	21,90	-61,57	4	13,57	178,03	183,26
	1000 Total		644,28	6	21,92	-37,85	3	12,28	164,67	147,01
	1250	1	351,28	2	22,25	-8,85	1	8,85	186,43	140,23
		2	692,98	4	21,85	-23,61	2	11,60	120,69	126,87
		3	860,37	6	22,00	-34,18	3	12,12	150,67	129,73
		4	972,90	7	21,84	-52,27	4	13,15	163,36	131,55
	1250 Total		719,38	5	21,98	-29,73	2	11,43	155,29	132,10
Log-Normal Total			634,22	6	21,98	-41,64	3	11,72	153,46	134,51

Tablo 8.5: Normal dağılım için simülasyon sonuçları

Dağılım	Kanban Sayısı	Kanban Büyüklüğü	Ortalama WIP	Ortalama Kanban Hareketi	Ortalama Çıktı Miktarı	Elde Bulundurmama Miktarı	Elde Bulundurmama Sayısı	Ortalama Elde Bulundurmama	KM 2 Ort. Boş Beklemesi (dak)	KM 6 Ort. Boş Beklemesi (dak)
Normal	1	750	397,96	3	17,71	-4,22	1	4,22	0,00	73,22
		1000	418,37	2	17,70	-1,13	0	1,13	0,00	72,82
		1250	357,14	2	17,71	-4,02	1	4,02	0,00	73,09
	1 Total		418,37	2	17,71	-3,12	1	3,12	0,00	73,04
	2	750	608,42	5	17,71	-5,90	1	4,67	0,00	73,34
		1000	683,67	4	17,70	-5,99	1	5,11	0,00	73,15
		1250	676,02	3	17,71	-3,37	1	3,37	0,00	73,38
	2 Total		683,67	4	17,71	-5,09	1	4,38	0,00	73,29
	3	750	584,18	7	17,71	-9,59	2	5,27	0,00	73,63
		1000	770,41	6	17,71	-9,60	2	4,35	0,00	73,20
		1250	948,13	5	17,71	-6,44	1	4,45	0,00	73,54
	3 Total		948,13	6	17,71	-8,55	2	4,69	0,00	73,46
	4	750	610,33	10	17,71	-19,35	4	4,75	0,00	73,42
		1000	803,57	7	17,70	-10,54	2	5,32	0,00	73,29
		1250	998,09	6	17,70	-11,33	2	4,64	0,00	73,34
	4 Total		998,09	8	17,70	-13,74	3	4,90	0,00	73,35
Normal Total			998,09	5	17,71	-7,62	2	4,28	0,00	73,29

Dağılım	Kanban Büyüklüğü	Kanban Sayısı	Ortalama WIP	Ortalama Kanban Hareketi	Ortalama Çıktı Miktarı	Elde Bulundurmama Miktarı	Elde Bulundurmama Sayısı	Ortalama Elde Bulundurmama	KM 2 Ort. Boş Beklemesi (dak)	KM 6 Ort. Boş Beklemesi (dak)
Normal	750	1	397,96	3	17,71	-4,22	1	4,22	0,00	73,22
		2	608,42	5	17,71	-5,90	1	4,67	0,00	73,34
		3	584,18	7	17,71	-9,59	2	5,27	0,00	73,63
		4	610,33	10	17,71	-19,35	4	4,75	0,00	73,42
	750 Total		610,33	6	17,71	-9,76	2	4,73	0,00	73,40
	1000	1	418,37	2	17,70	-1,13	0	1,13	0,00	72,82
		2	683,67	4	17,70	-5,99	1	5,11	0,00	73,15
		3	770,41	6	17,71	-9,60	2	4,35	0,00	73,20
		4	803,57	7	17,70	-10,54	2	5,32	0,00	73,29
	1000 Total		803,57	5	17,70	-6,81	1	3,98	0,00	73,11
	1250	1	357,14	2	17,71	-4,02	1	4,02	0,00	73,09
		2	676,02	3	17,71	-3,37	1	3,37	0,00	73,38
		3	948,13	5	17,71	-6,44	1	4,45	0,00	73,54
		4	998,09	6	17,70	-11,33	2	4,64	0,00	73,34
	1250 Total		998,09	4	17,71	-6,29	1	4,12	0,00	73,34
Normal Total			998,09	5	17,71	-7,62	2	4,28	0,00	73,29

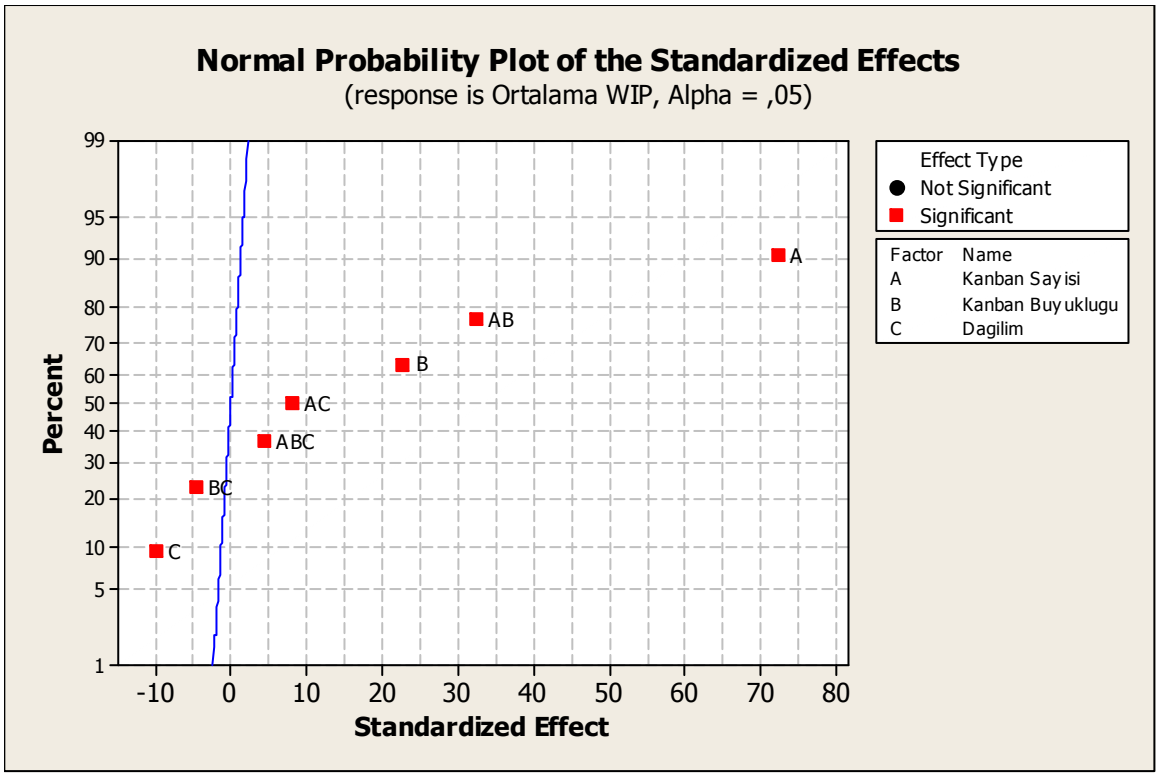
8.12. Deneysel Tasarım Analiz Sonuçları

8.12.1. Faktöriyel Tasarım Analizi

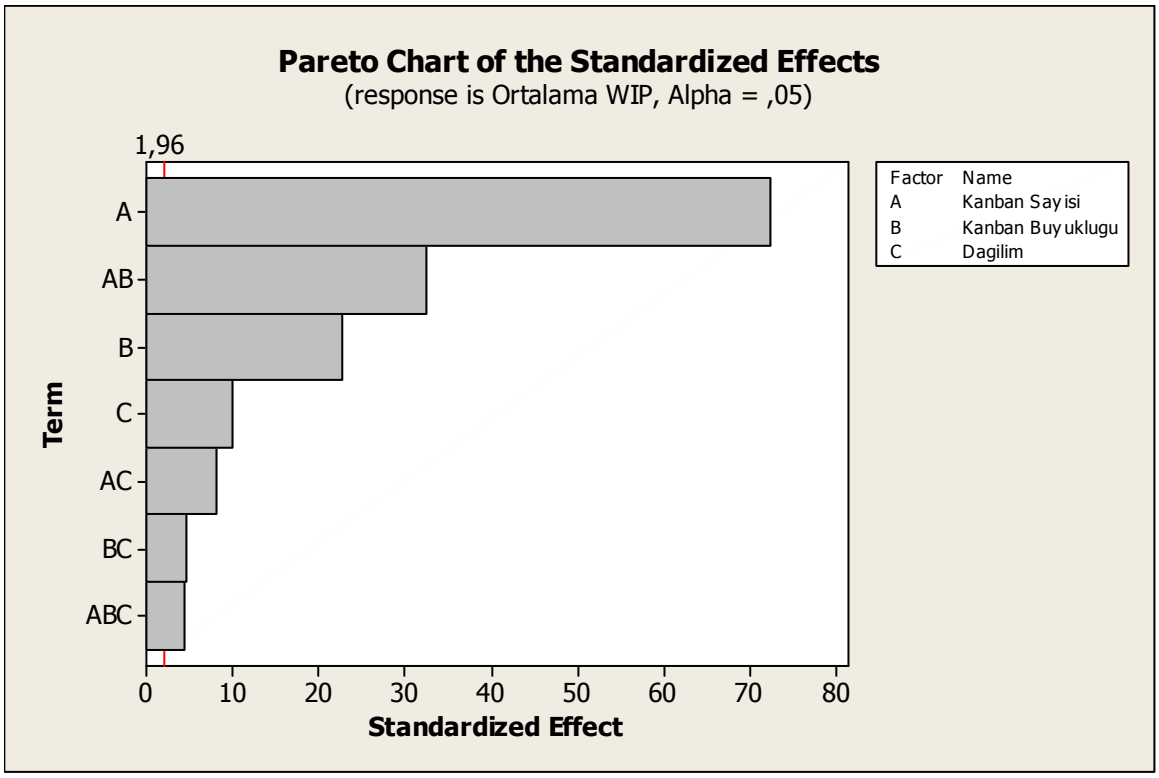
Faktöriyel tasarım analizinde, uygulamamız sırasında belirlediğimiz her bir performans göstergesi için tasarım faktörlerinin ne ölçüde etkili olduğunu göstereceğiz. Performans göstergeleri ile deney faktörleri arasında ki ilişki 7 farklı durum için değerlendirilmiştir:

1. Durum → A: Kanban Sayısı
2. Durum → B: Kanban Büyüklüğü
3. Durum → C: Dağılım
4. Durum → AB: Kanban Sayısı x Kanban Büyüklüğü
5. Durum → AC: Kanban Sayısı x Dağılım
6. Durum → BC: Kanban Büyüklüğü x Dağılım
7. Durum → ABC: Kanban Sayısı x Kanban Büyüklüğü x Dağılım

8.12.1.1. Ortalama WIP Göstergesi ile Deney Faktörleri arasındaki ilişki



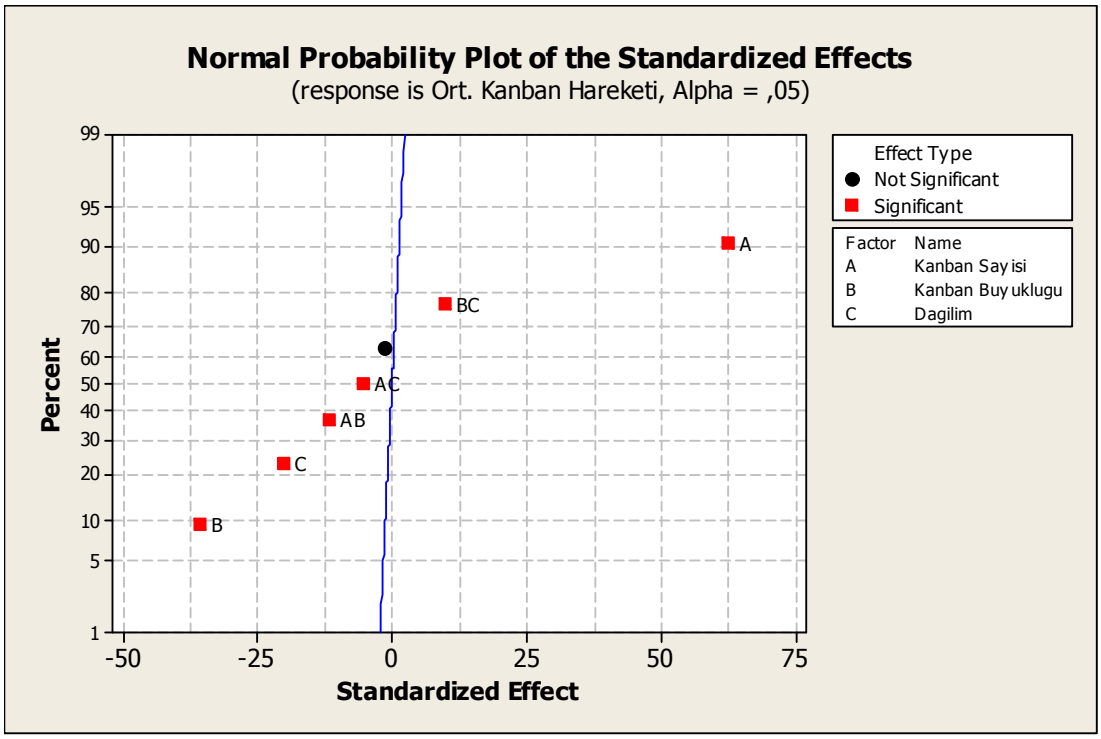
Şekil 8.23 : Ortalama WIP için Normal Effects Plot Grafiği



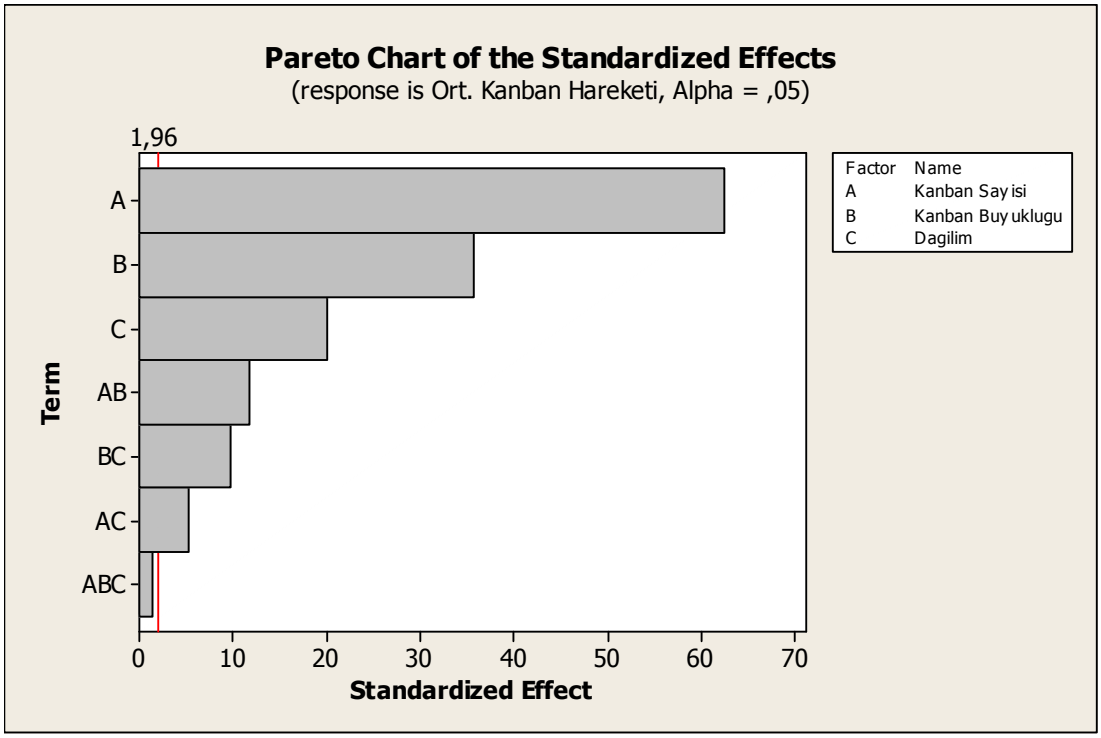
Şekil 8.24 : Ortalama WIP için Pareto Effects Plot Grafiği

Uygulama sonucuna göre "ortalama WIP" performans göstergesini en fazla etkileyen deney faktörünün A: Kanban Sayısı olduğu görülmektedir, daha sonra etkileyen faktör A: Kanban Sayısı ve B: Kanban Büyüklüğü faktörlerinin kombinasyonu olan AB faktörüdür. B: Kanban Büyüklüğü faktörü ise "ortalama WIP"iyi etkileyen üçüncü önemli deney faktörüdür.

8.12.1.2. Ortalama Kanban Hareketi Göstergesi ile Deney Faktörleri arasındaki ilişki



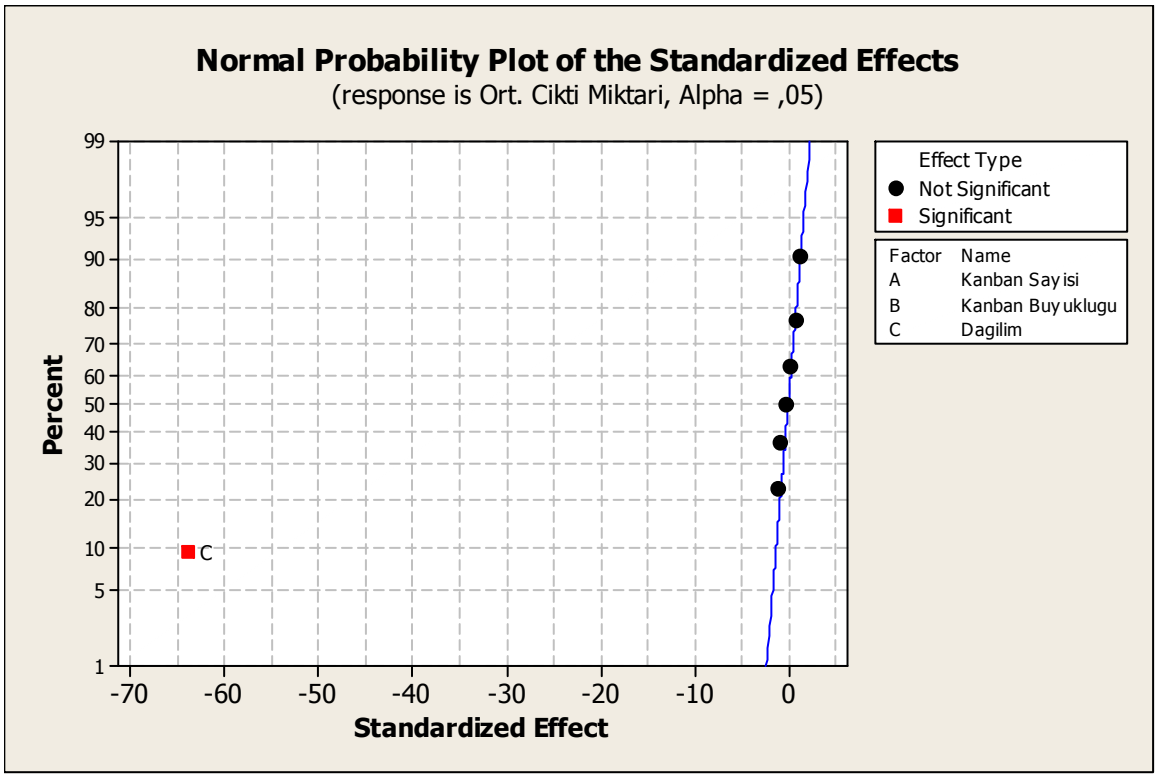
Şekil 8.25 : Ortalama Kanban Hareketi için Normal Effects Plot Grafiği



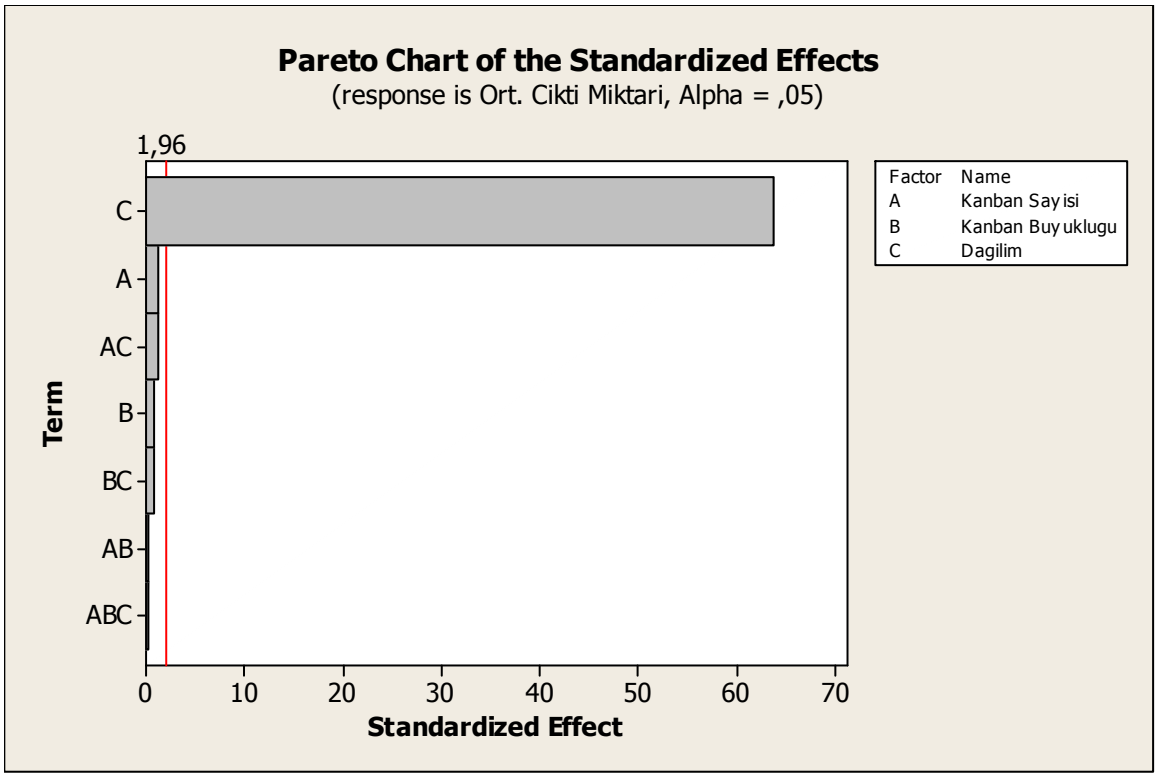
Şekil 8.26 : Ortalama Kanban Hareketi için Pareto Effects Plot Grafiği

"Ortalama Kanban Hareketi" performans göstergesini en fazla etkileyen deney faktörünün A: Kanban Sayısı olduğu görülmektedir, daha sonra etkileyen faktör A ve C'dir.

8.12.1.3. Ortalama Çıktı Miktarı Göstergesi ile Deney Faktörleri arasındaki ilişki



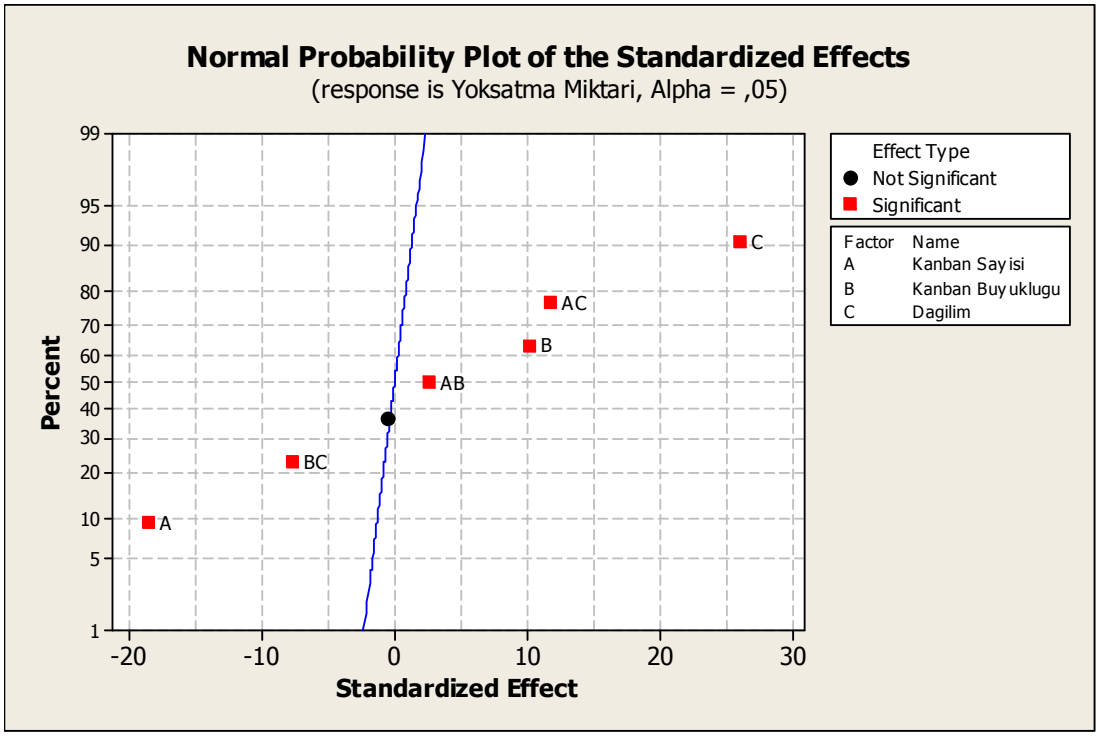
Şekil 8.27 : Ortalama Çıktı Miktarı için Normal Effects Plot Grafiği



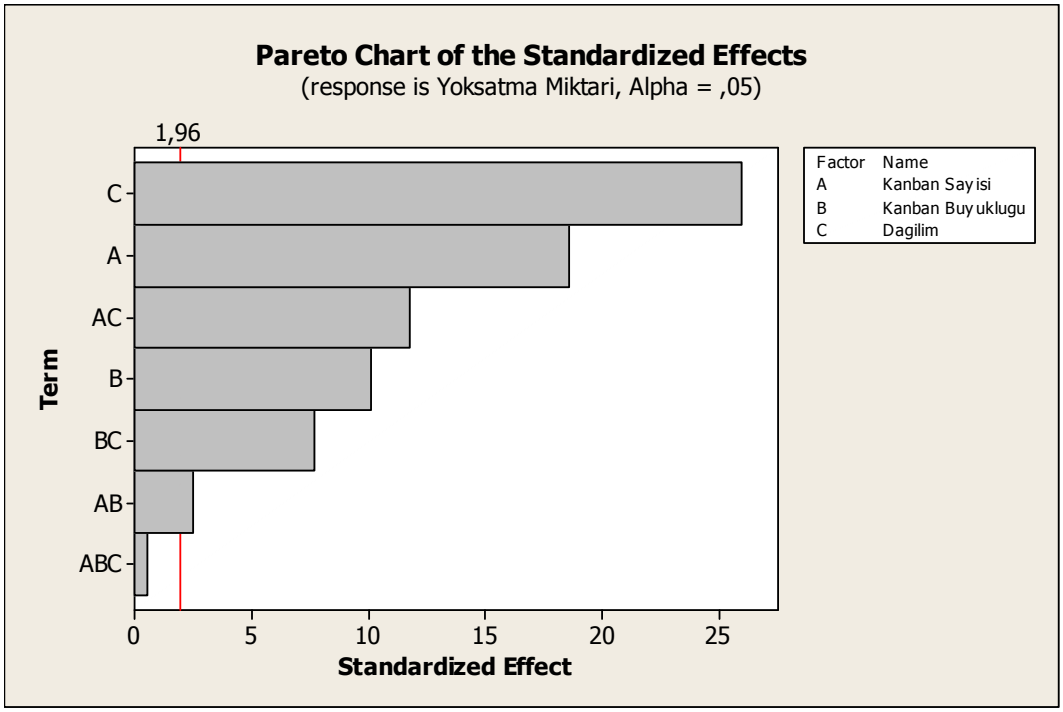
Şekil 8.28 : Ortalama Çıktı Miktarı için Pareto Effects Plot Grafiği

"Ortalama Çıktı Miktarı" performans göstergesini en fazla etkileyen deney faktörü C: Dağılım'dır. Simülasyon çalışmasında süreç çıktımızın tamamen sipariş verilerinin dağılımında etkilendiği görülmektedir. Diğer faktörler bu gösterge üzerinde önemli sayılabilecek bir etkiye sahip değillerdir.

8.12.1.4. Yoksatma Miktarı Göstergesi ile Deney Faktörleri arasındaki ilişki



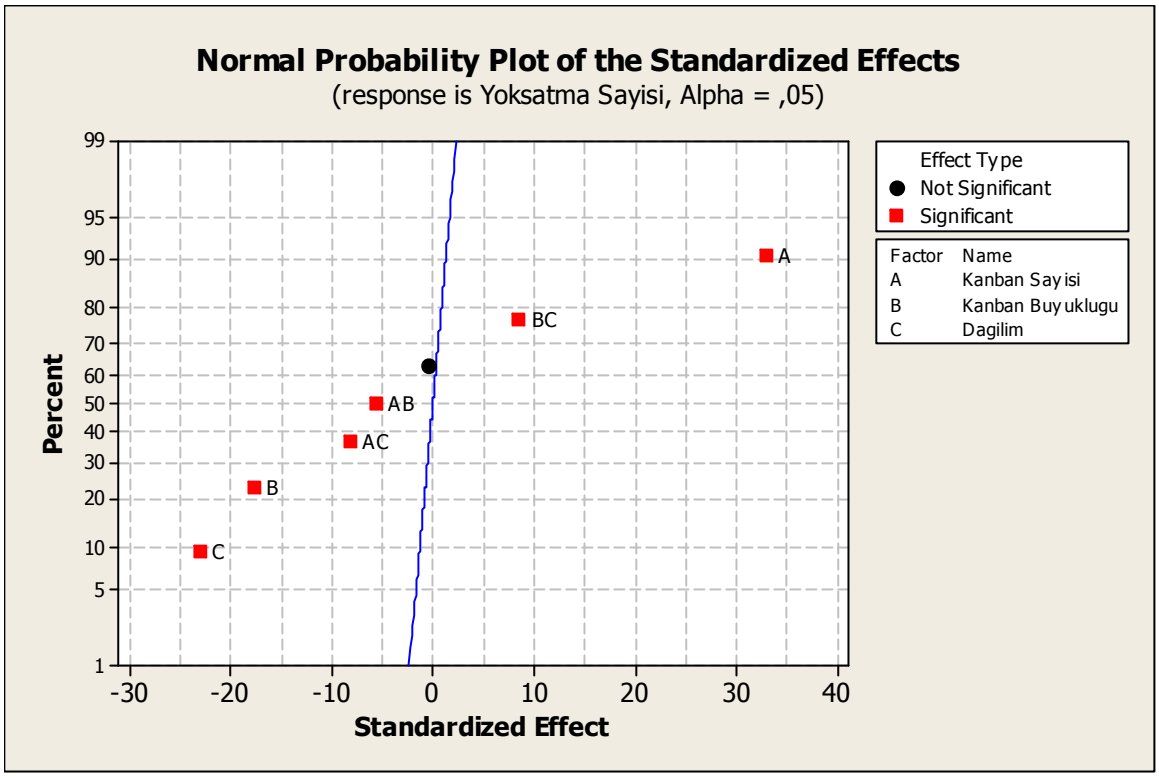
Şekil 8.29 : Yoksatma Miktarı için Normal Effects Plot Grafiği



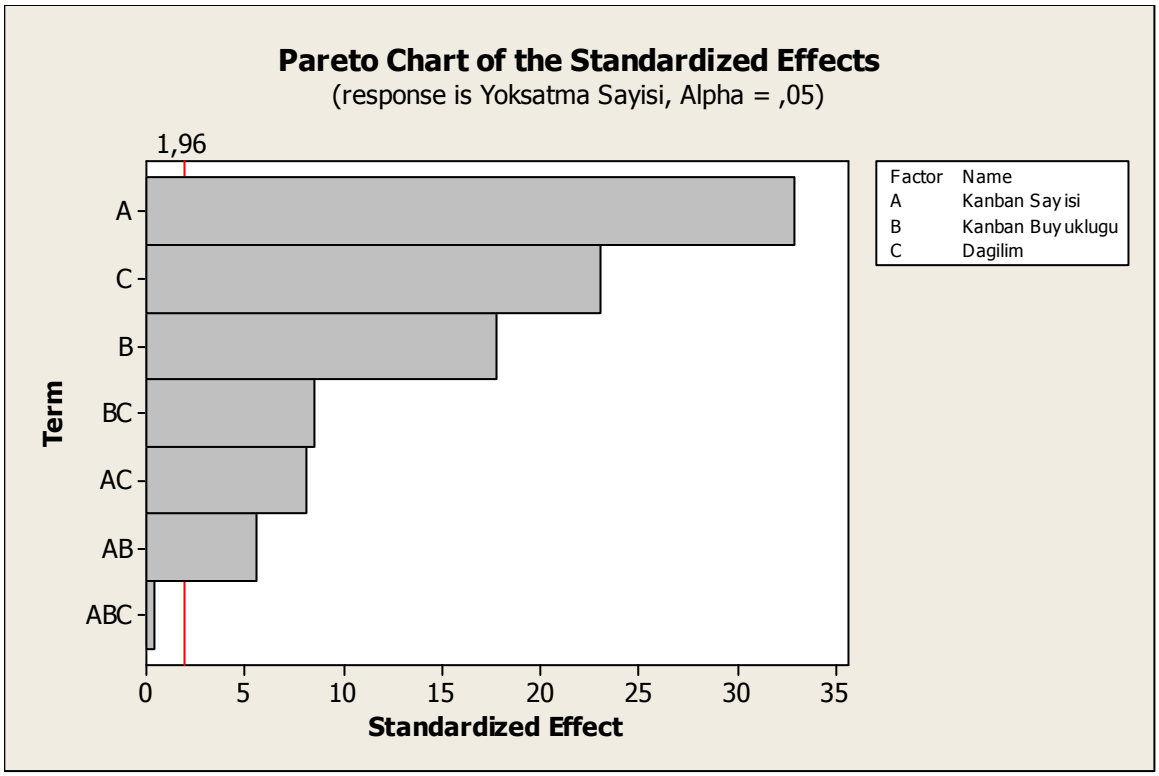
Şekil 8.30 : Yoksatma Miktarı için Pareto Effects Plot Grafiği

"Yoksatma Miktarı" performans göstergesini en fazla etkileyen deney faktörünün C: Dağılım olduğu görülmektedir, daha sonra etkileyen faktör A ve AC'dir.

8.12.1.5. Yoksatma Sayısı Göstergesi ile Deney Faktörleri arasındaki ilişki



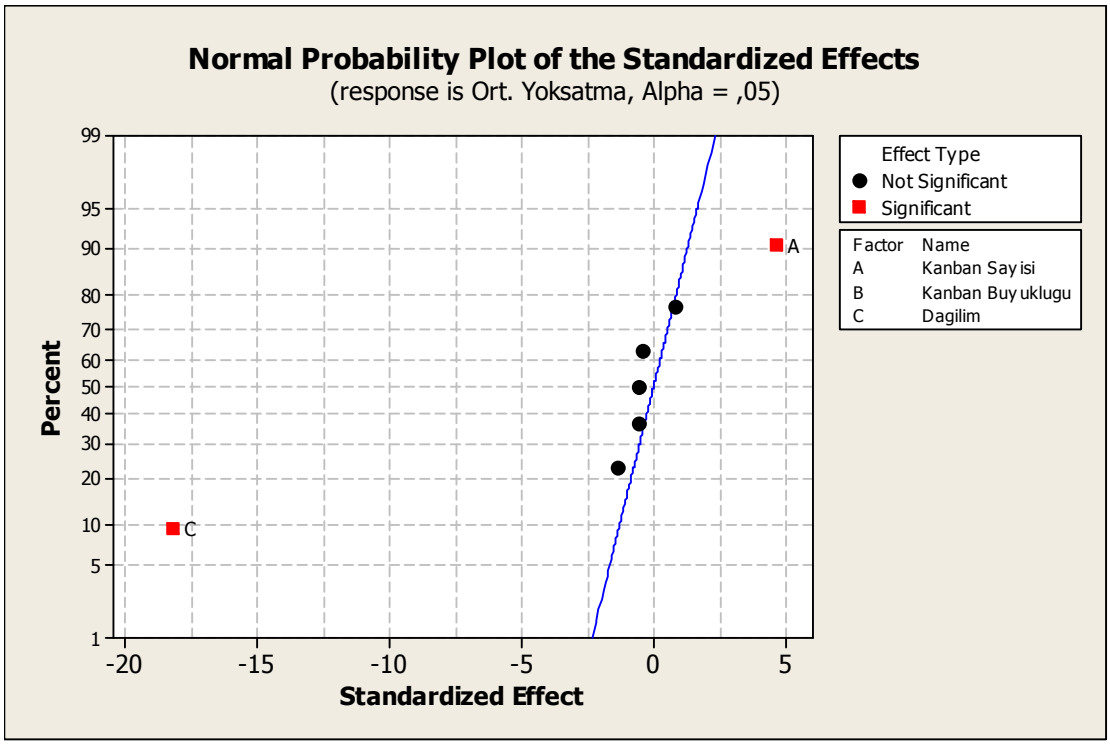
Şekil 8.31 : Yoksatma Sayısı için Normal Effects Plot Grafiği



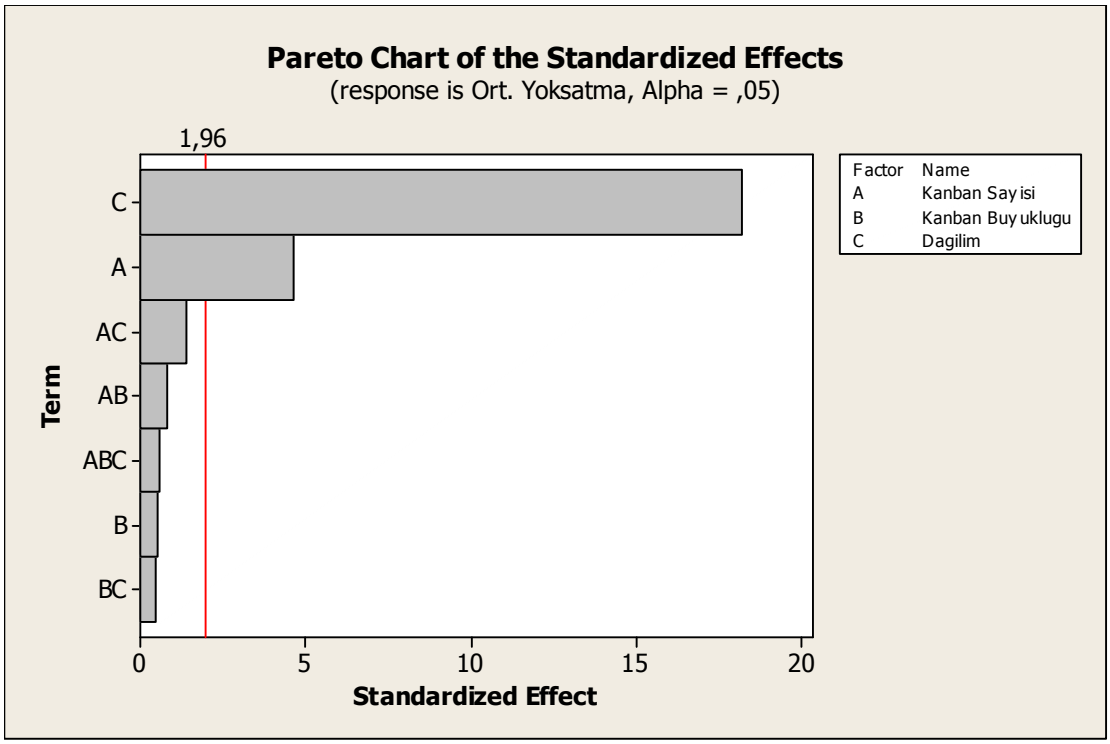
Şekil 8.32 : Yoksatma Sayısı için Pareto Effects Plot Grafiği

"Yoksatma Sayısı"nın en fazla etkilendiği deney faktörünün A: Kanban Sayısı olduğu görülmektedir, daha sonra bu göstergeyi etkileyen diğer faktör C ve B'dir.

8.12.1.6. Ortalama Yoksatma Miktarı Göstergesi ile Deney Faktörleri arasındaki ilişki



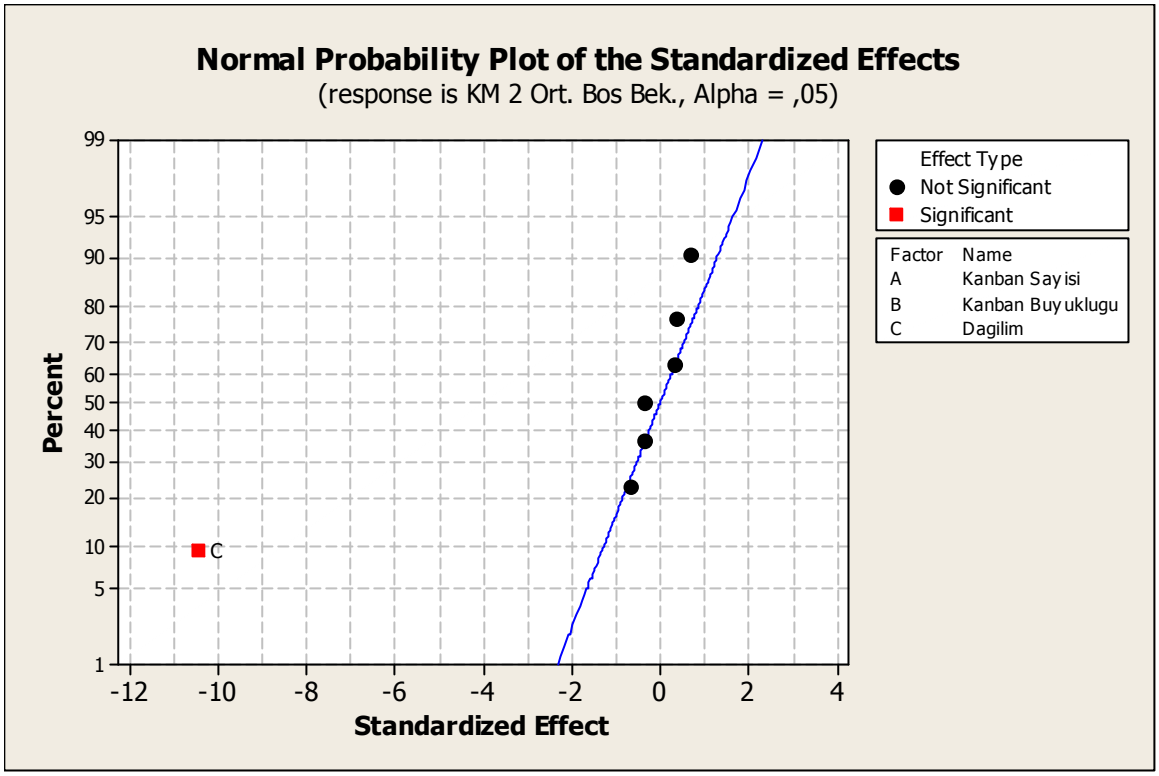
Şekil 8.33 : Ortalama Yoksatma için Normal Effects Plot Grafiği



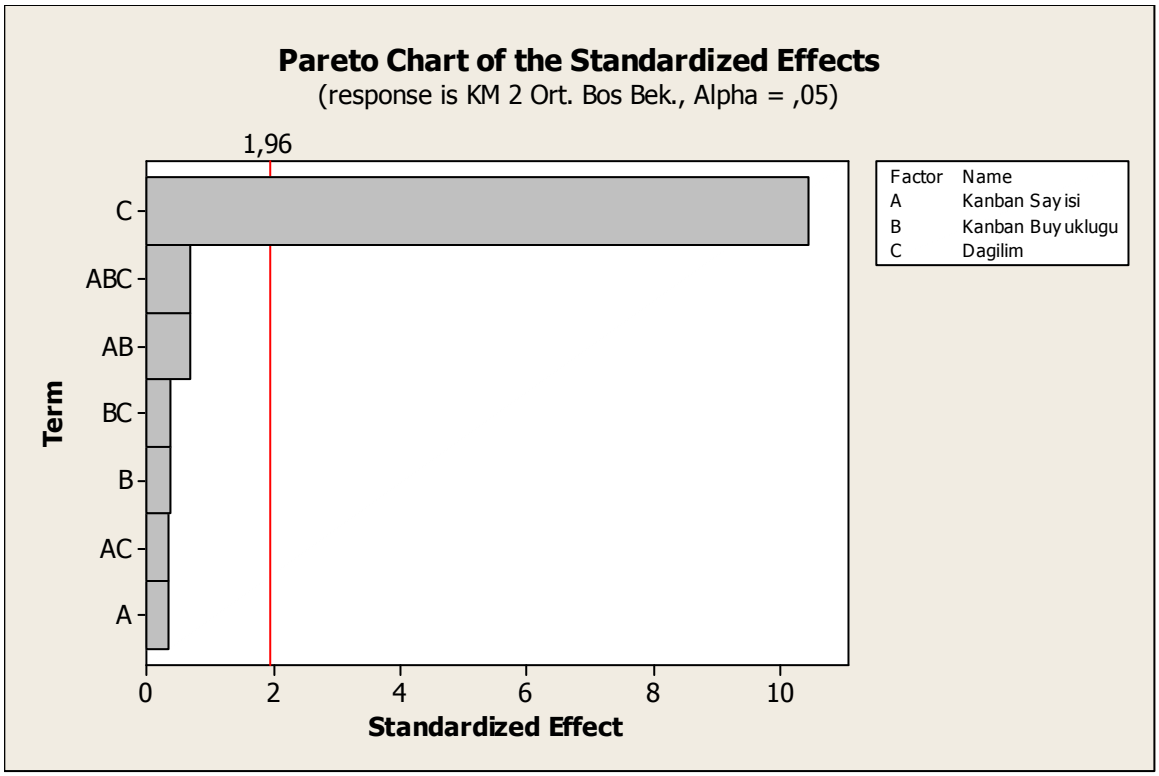
Şekil 8.34 : Ortalama Yoksatma için Pareto Effects Plot Grafiği

"Ortalama Yoksatma" göstergesi en fazla C: Dağılım faktöründen etkilenmektedir, C faktörünün dışında önemli sayılabilecek etkiye A: Kanban Sayısı faktörü sahiptir. Diğer etkiler önemsiz etki olarak görülebilir.

8.12.1.7. 2. Kaynak Mak. Boşta Bekleme Göstergesi ile Deney Faktörleri arasındaki ilişki



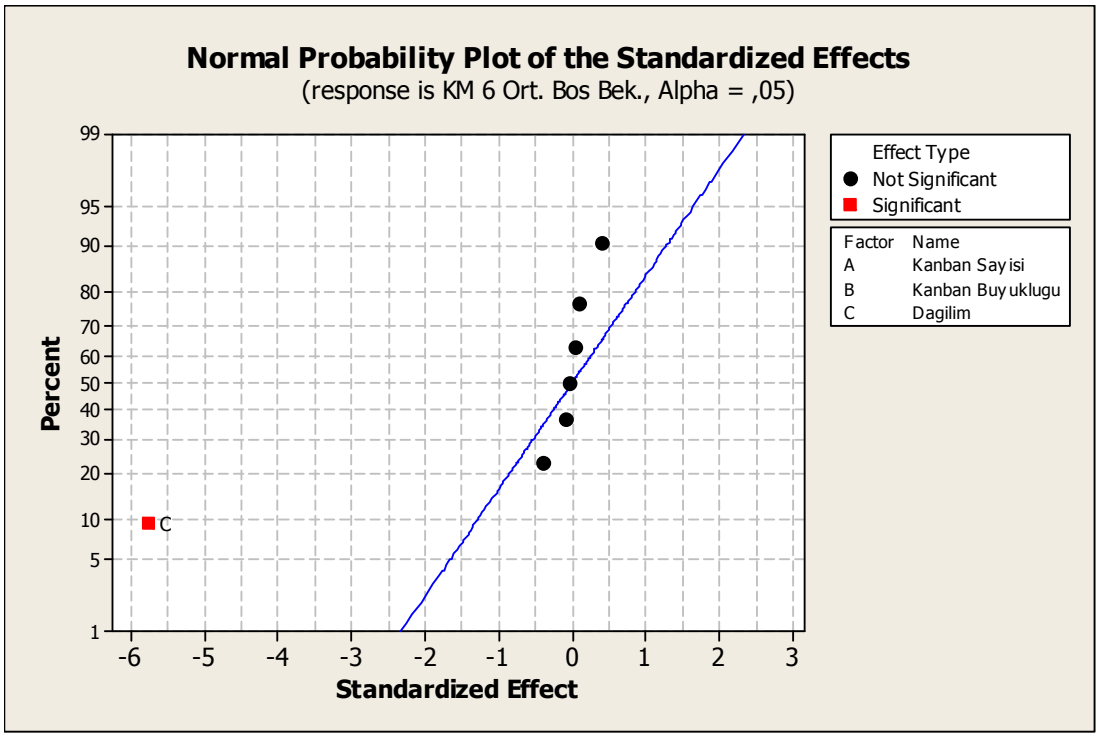
Şekil 8.35 : 2. Kaynak Mak. Boşta Bekleme için Normal Effects Plot Grafiği



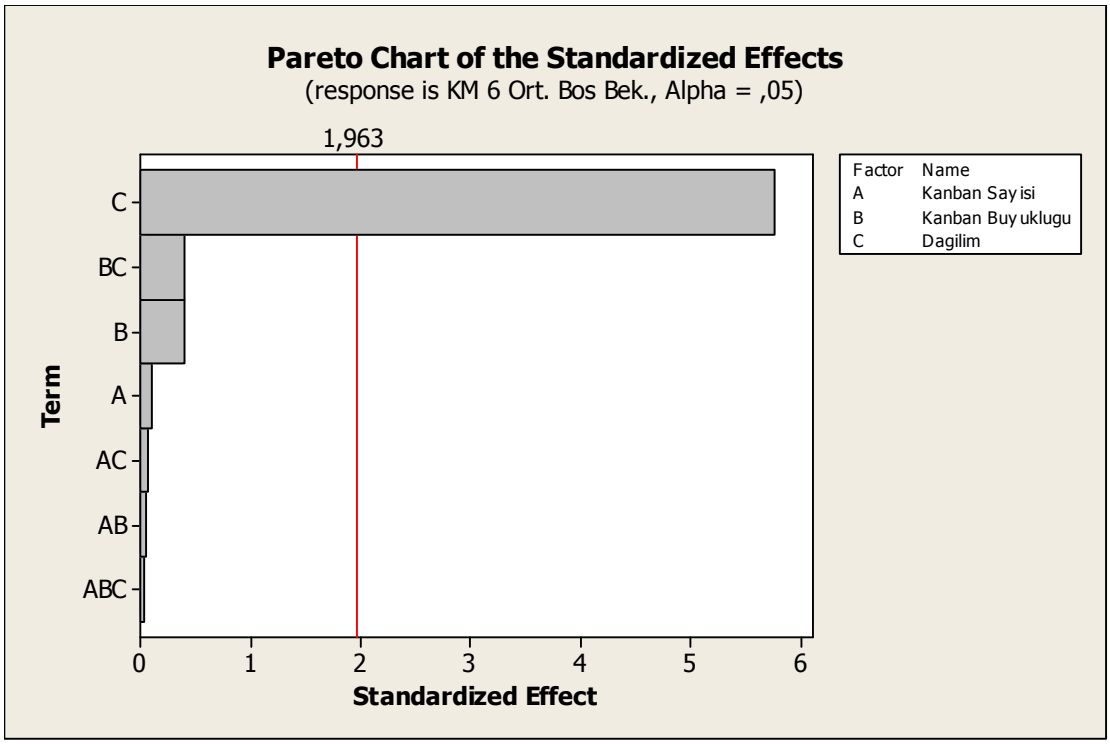
Şekil 8.36 : 2. Kaynak Mak. Boşta Bekleme için Pareto Effects Plot Grafiği

"2. Kaynak Makinasının Boşta Bekleme" süresini C: Dağılım faktöründen en fazla etkilenmektedir. Diğer faktörlerin etkileri önemsiz etki olarak görülebilir.

8.12.1.8. 6. Kaynak Mak. Boşta Bekleme Göstergesi ile Deney Faktörleri arasındaki ilişki



Şekil 8.37 : 6. Kaynak Mak. Boşta Bekleme için Normal Effects Plot Grafiği



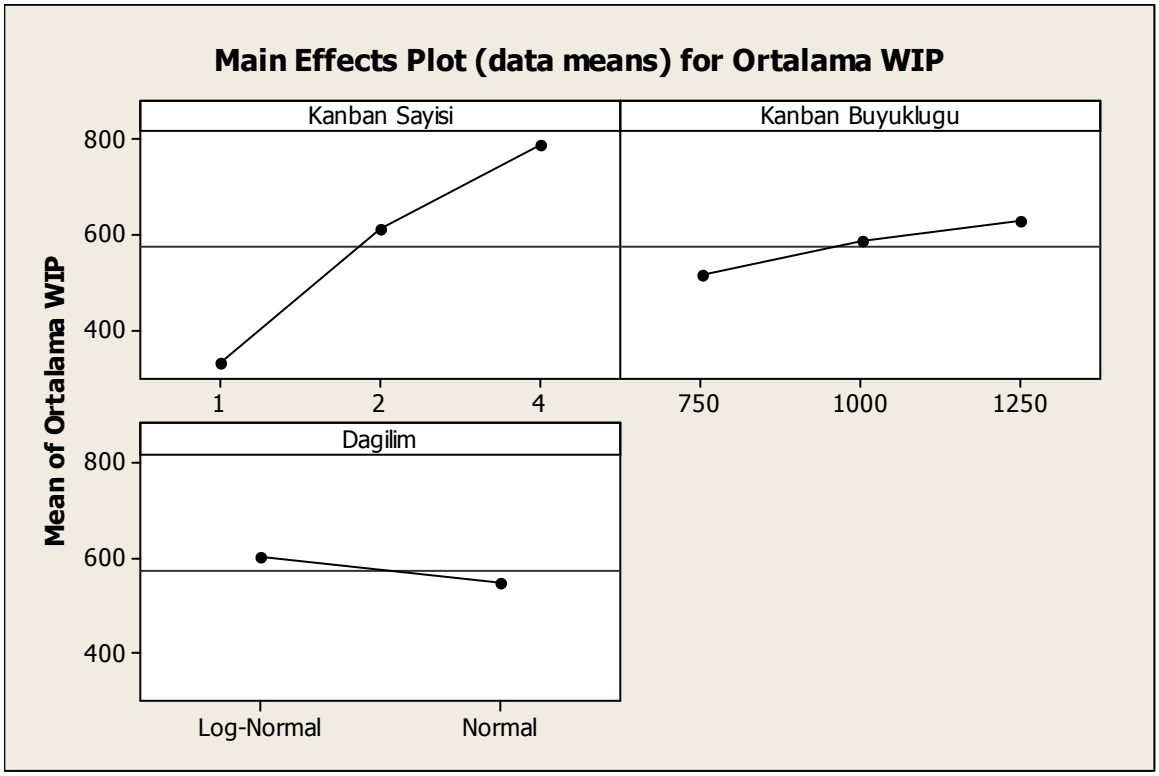
Şekil 8.38 : 6. Kaynak Mak. Boşta Bekleme için Pareto Effects Plot Grafiği

2. Kaynak Makinasın'da olduğu gibi 6. Kaynak Makinası'nın boşta bekleme durumunu en fazla C: Dağılım faktörü belirlemektedir, diğer faktörlerin bu performans göstergesi için önemli bir etkileri yoktur.

8.12.2. Esas Etki Analizleri

Faktöriyel Analiz kısmında performans göstergeleri ile deney faktörleri arasında ki ilişkileri incelemiştik. Ancak bu analiz bize göstergelerini faktörlerden nasıl etkilendiği konusunda bilgi vermemişti. Çalışmanın bu kısmında ise bir performans göstergesinin deney faktörlerinden nasıl etkilendiği göreceğiz.

8.12.2.1. Ortalama WIP için Esas Etki Analizi



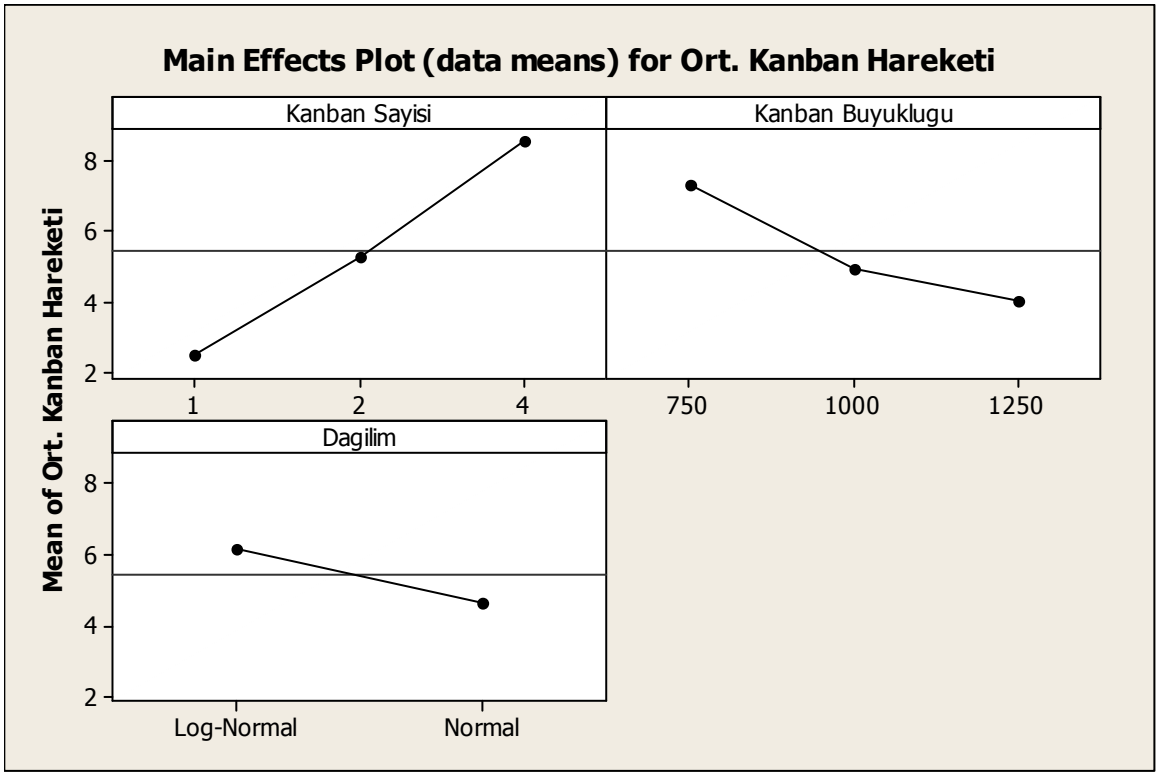
Şekil 8.39 : Ortalama WIP için Main Effects Plot Grafiği

Kanban sayısı artıkça; sistem içindeki ortalama WIP miktarı artmaktadır.

Kanban büyüklüğü artıkça; sistem içindeki ortalama WIP miktarı artmaktadır.

Dağılım Log-normal'den Normal'e değiştiğinde, sistem içindeki ortalama WIP miktarı azalmaktadır. Diğer bir değişle sipariş miktarları ve zamanları daha düzgün geldikçe WIP seviyesi düşmektedir.

8.12.2.2. Ortalama Kanban Hareketi için Esas Etki Analizi



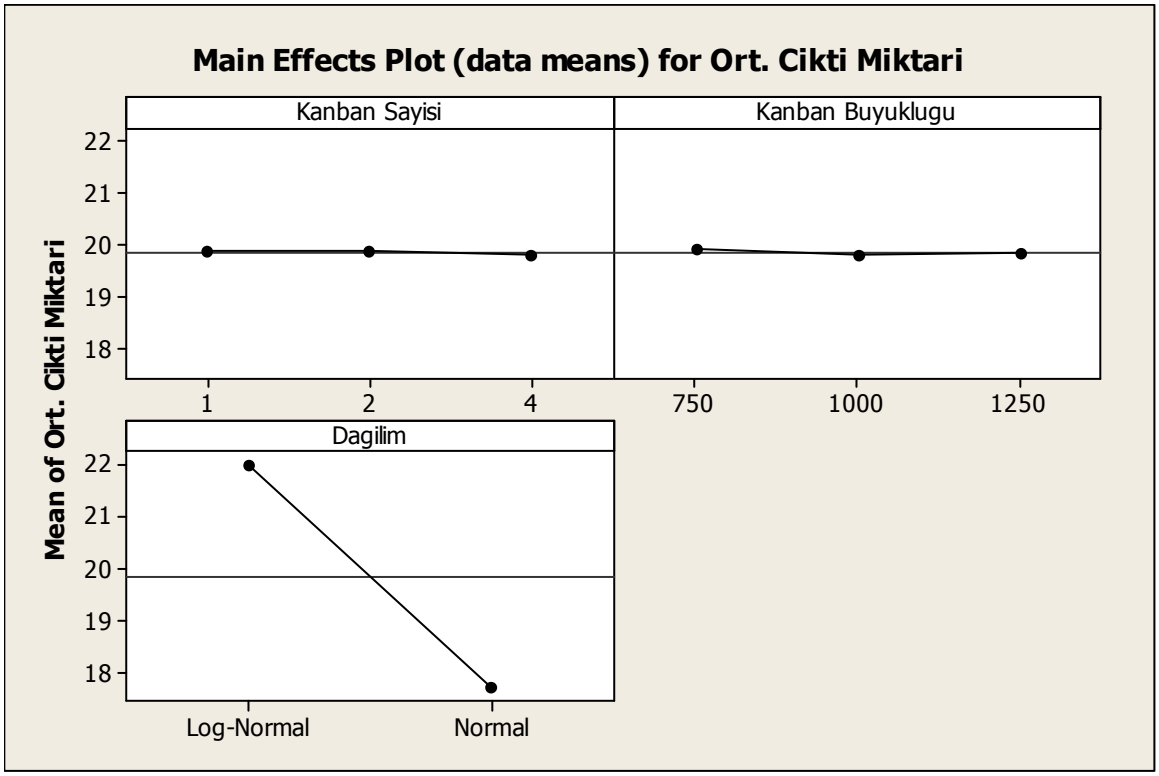
Şekil 8.40 : Ortalama Kanban Hareketi için Main Effects Plot Grafiği

Kanban sayısı artıkça; sistem içinde dolaşan ortalama kanban sayısı artmaktadır.

Kanban büyüklüğü artıkça; sistem içinde dolaşan ortalama kanban sayısı azalmaktadır.

Dağılım Log-normal'den Normal'e değiştiğinde, sistem içinde dolaşan ortalama kanban sayısı azalmaktadır.

8.12.2.3. Ortalama Çıktı Miktarı için Esas Etki Analizi



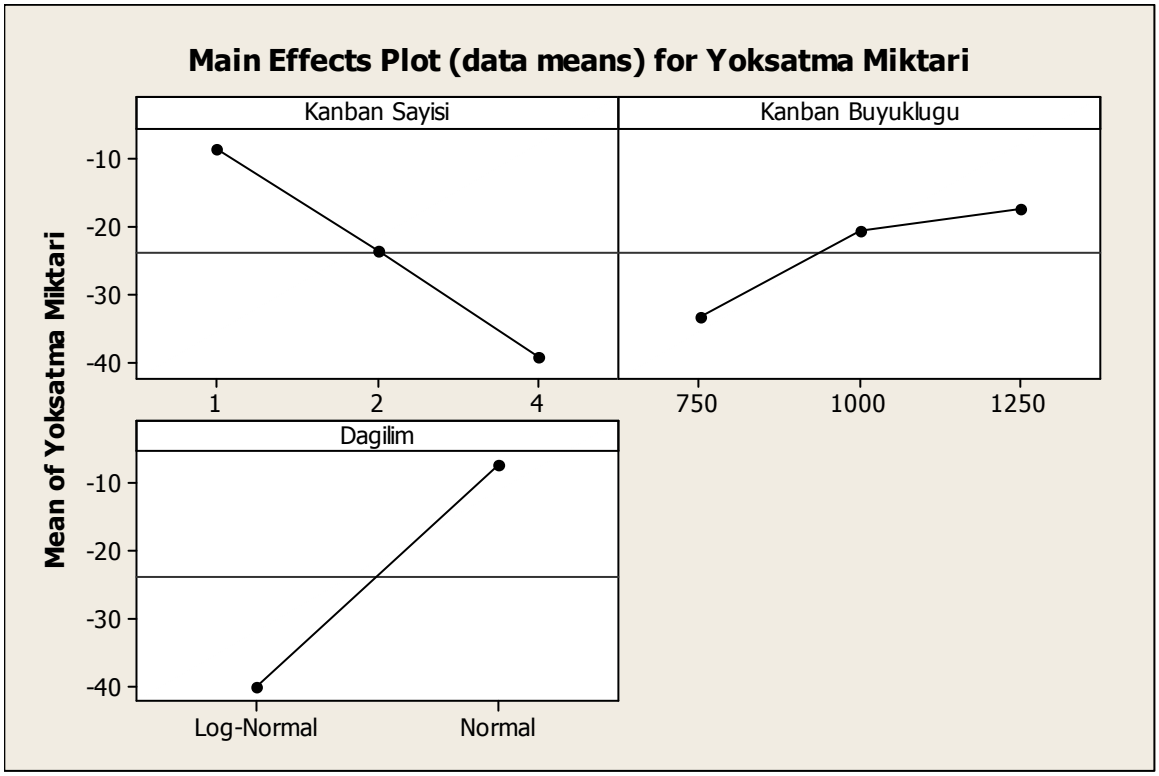
Şekil 8.41 : Ortalama Çıktı Miktarı için Main Effects Plot Grafiği

Kanban sayısı artıkça; sistemin ürettiği ortalama çıktı miktarı değişmemektedir.

Kanban büyüklüğü artıkça; sistemin ürettiği ortalama çıktı miktarı değişmemektedir..

Dağılım Log-normal'den Normal'e değiştiğinde, sistemin ürettiği ortalama çıktı miktarı azalmaktadır.

8.12.2.4. Ortalama Yoksatma Miktarı için Esas Etki Analizi



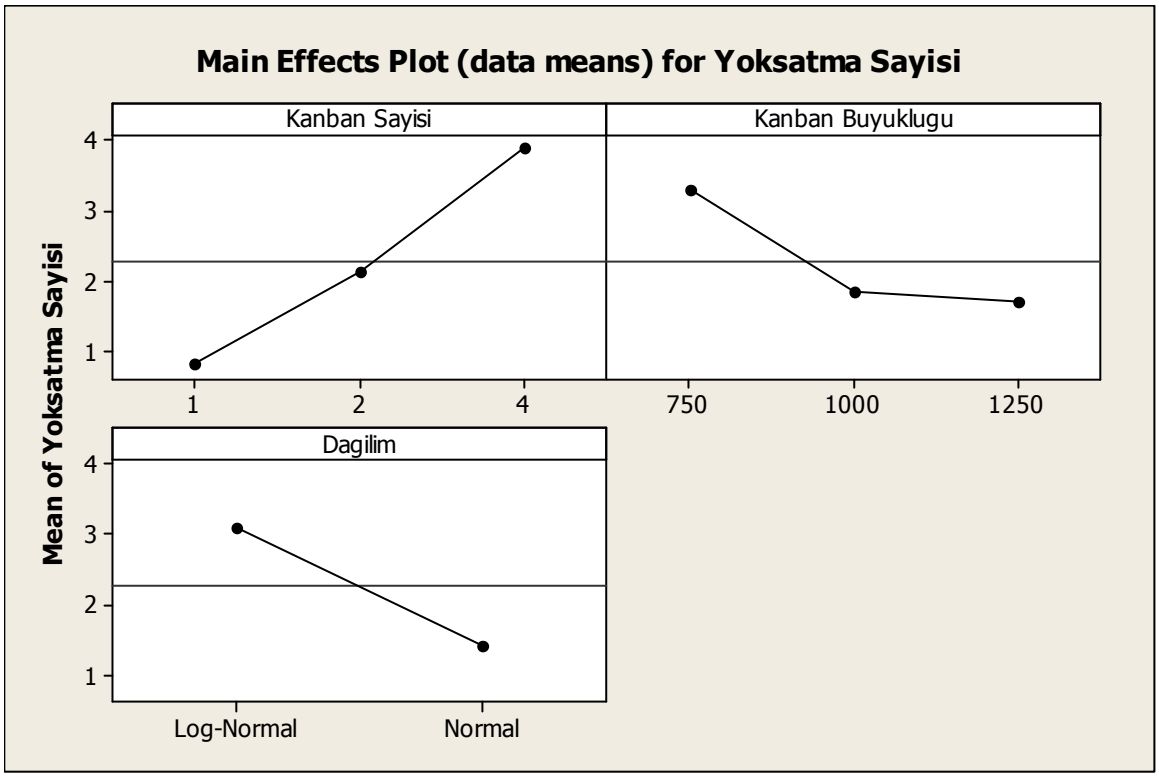
Şekil 8.42 : Yoksatma Miktarı için Main Effects Plot Grafiği

Kanban sayısı artıkça; sistemin elde bulundurmama nedeniyle yoksattığı miktar azalmaktadır.

Kanban büyüklüğü artıkça; sistemin elde bulundurmama nedeniyle yoksattığı miktar artmaktadır.

Dağılım Log-normal'den Normal'e değiştiğinde, sistemin elde bulundurmama nedeniyle yoksattığı miktar artmaktadır.

8.12.2.5. Yoksatma Sayısı için Esas Etki Analizi



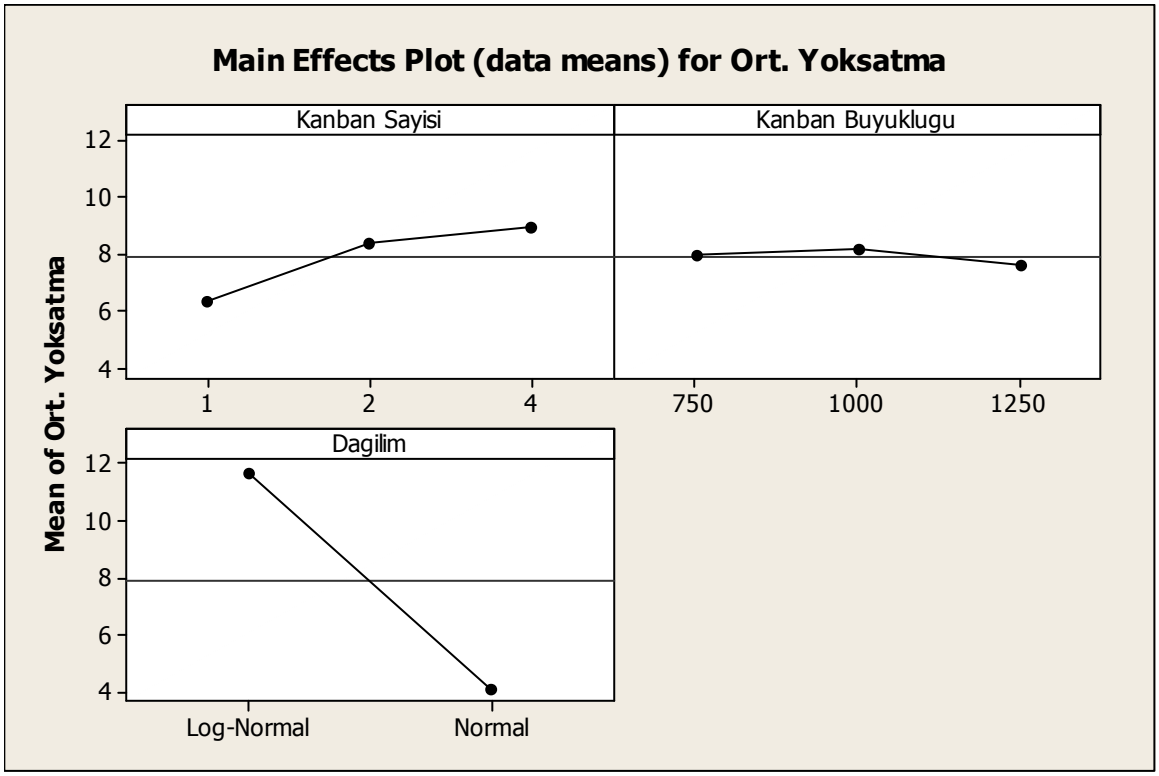
Şekil 8.43 : Yoksatma Sayısı için Main Effects Plot Grafiği

Kanban sayısı artıkça; sistemin elde bulundurmama nedeniyle yoksatma durumuna düşme sayısı artmaktadır.

Kanban büyüklüğü artıkça; sistemin elde bulundurmama nedeniyle yoksatma durumuna düşme sayısı azalmaktadır.

Dağılım Log-normal'den Normal'e değiştiğinde, sistemin elde bulundurmama nedeniyle yoksatma durumuna düşme sayısı azalmaktadır.

8.12.2.6. Ortalama Yoksatma Miktarı için Esas Etki Analizi



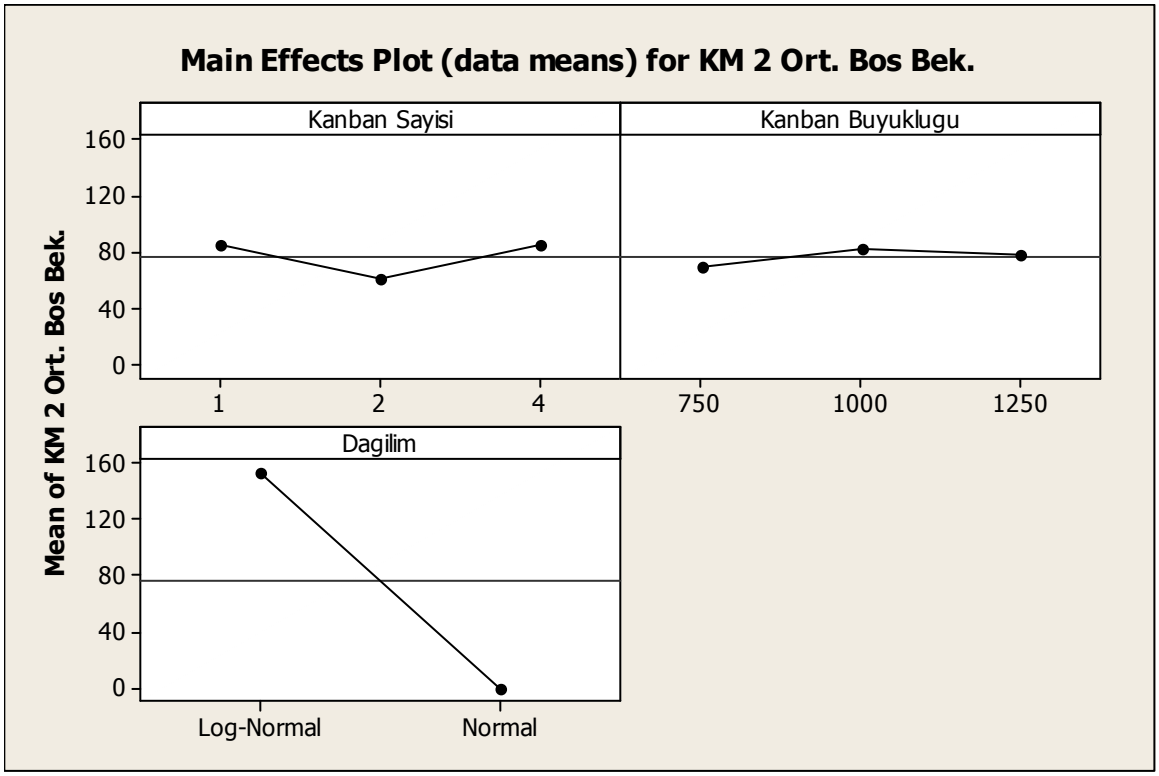
Şekil 8.44 : Ortalama Yoksatma Miktarı için Main Effects Plot Grafiği

Kanban sayısı artıkça; sistemin elde bulundurmama nedeniyle her bir yoksatma durumuna düştüğü zaman ki yoksattığı miktar artmaktadır.

Kanban büyüklüğü artıkça; sistemin elde bulundurmama nedeniyle her bir yoksatma durumuna düştüğü zaman ki yoksattığı miktar değişmemektedir.

Dağılım Log-normal'den Normal'e değiştiğinde, sistemin elde bulundurmama nedeniyle her bir yoksatma durumuna düştüğü zaman ki yoksattığı miktar azalmaktadır.

8.12.2.7. 2. KM Boşta Bekleme Süresi için Esas Etki Analizi



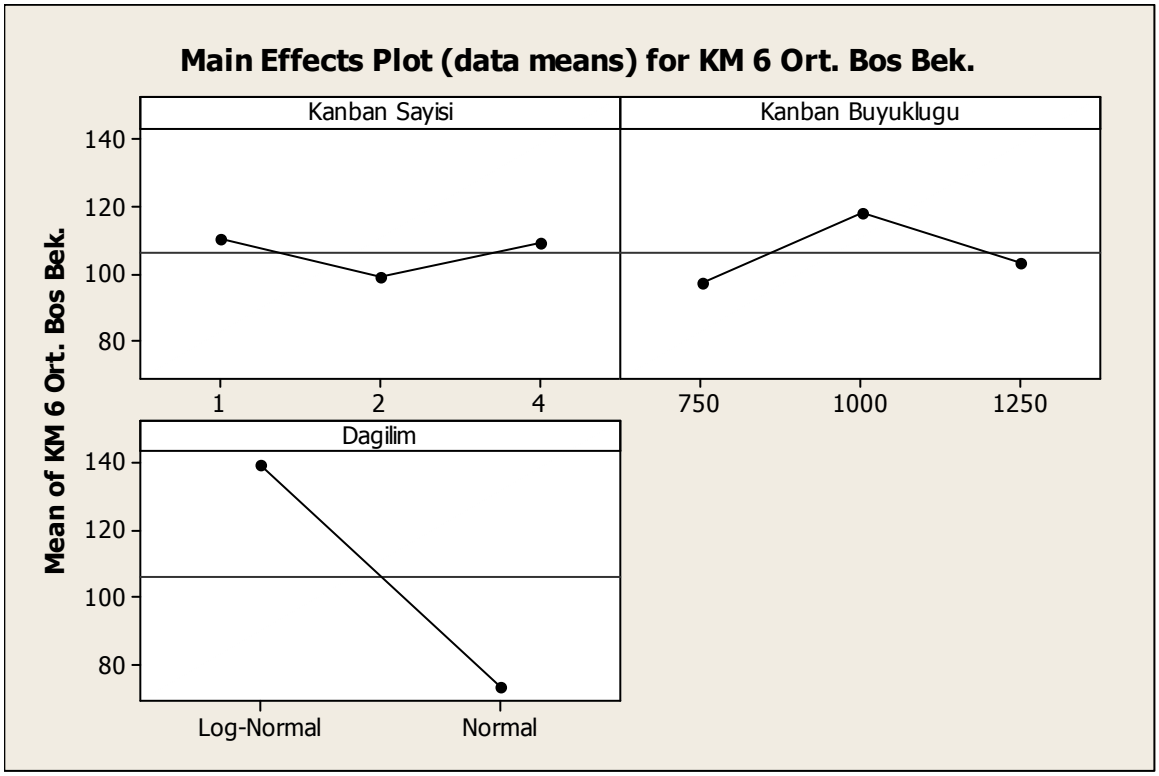
Şekil 8.45 : KM 2 Ortalama Boşta Bekleme için Main Effects Plot Grafiği

Kanban sayısı artıkça; 2. kaynak makinasının önceki CONWIP merkezinin gerekli üretimini yapmaması nedeni ile boşta bekleme süresi değişmemektedir.

Kanban büyüklüğü artıkça; 2. kaynak makinasının önceki CONWIP merkezinin gerekli üretimini yapmaması nedeni ile boşta bekleme süresi değişmemektedir.

Dağılım Log-normal'den Normal'e değiştiğinde, 2. kaynak makinasının önceki CONWIP merkezinin gerekli üretimini yapmaması nedeni ile boşta bekleme süresi azalmaktadır.

8.12.2.8. 6. KM Boşta Bekleme Süresi için Esas Etki Analizi



Şekil 8.46 : KM 6 Ortalama Boşta Bekleme için Main Effects Plot Grafiği

Kanban sayısı artıkça; 6. kaynak makinasının önceki CONWIP merkezinin gerekli üretimini yapmaması nedeni ile boşta bekleme süresi değişmemektedir.

Kanban büyüklüğü artıkça; 6. kaynak makinasının önceki CONWIP merkezinin gerekli üretimini yapmaması nedeni ile boşta bekleme süresi değişmemektedir.

Dağılım Log-normal'den Normal'e değiştiğinde, 6. kaynak makinasının önceki CONWIP merkezinin gerekli üretimini yapmaması nedeni ile boşta bekleme süresi azalmaktadır.

8.12.3. Faktörler Arası Etkileşim Analizleri

Çalışmanın bu kısmında bir performans göstergesini etkileyen deney faktörlerin, o gösterge için etkileşimin ne olduğu gösterilecektir.

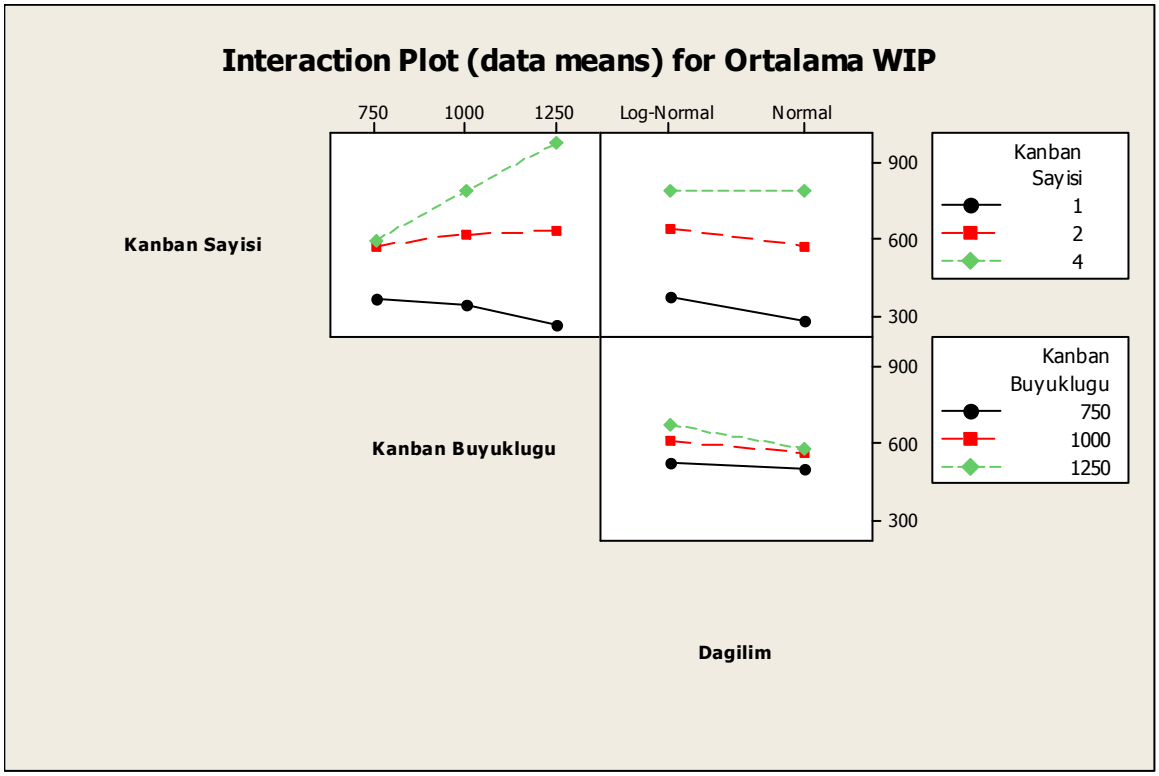
Etkileşim, bir faktörün düşük seviyesinden yüksek seviyesine değişirken performans göstergesinde gerçekleşen değişim aynı şekilde ikinci faktörün iki seviyesi arasında değişimde görülmüyorsa ortaya çıkar. Bu bir faktörün diğerine bağımlı olduğunu göstermektedir.

Bir etkileşim grafiği, bir faktörün her bir seviyesi ile ikinci bir faktörün her bir seviyesi için elde edilen ortalamaları gösterir. Etkileşim grafikleri faktörler arası olası etkileşimleri görmek için faydalı analizlerdir. Eğer bir faktör seviyesinde elde edilen gösterge seviyesi, diğer bir faktör seviyesine de bağlı ise bir etkileşim ortaya çıkacaktır.

Kareler içinde görülen etkileşim doğruları ne kadar birbirlerine paralel ise iki faktör arasında 0 etkileşim, doğrular birbirlerini ne kadar dik kesiyorlar o kadar kesin etkileşim vardır anlamına gelir.

Etkileşim grafikler üzerinde 3 kare alan görülecektir, sol üst köşede ilgili performans göstergesi için kanban sayısı x kanban büyüklüğü etkileşimi, sağ üst köşede ilgili performans göstergesi için kanban sayısı x dağılım etkileşimi, sağ alt köşede ise ilgili performans göstergesi için kanban büyüklüğü x dağılım etkileşimi gösterilmiştir.

8.12.3.1. Ortalama WIP için Etkileşim Analizi



Şekil 8.47 : Ortalama WIP için Interaction Plot Grafiği

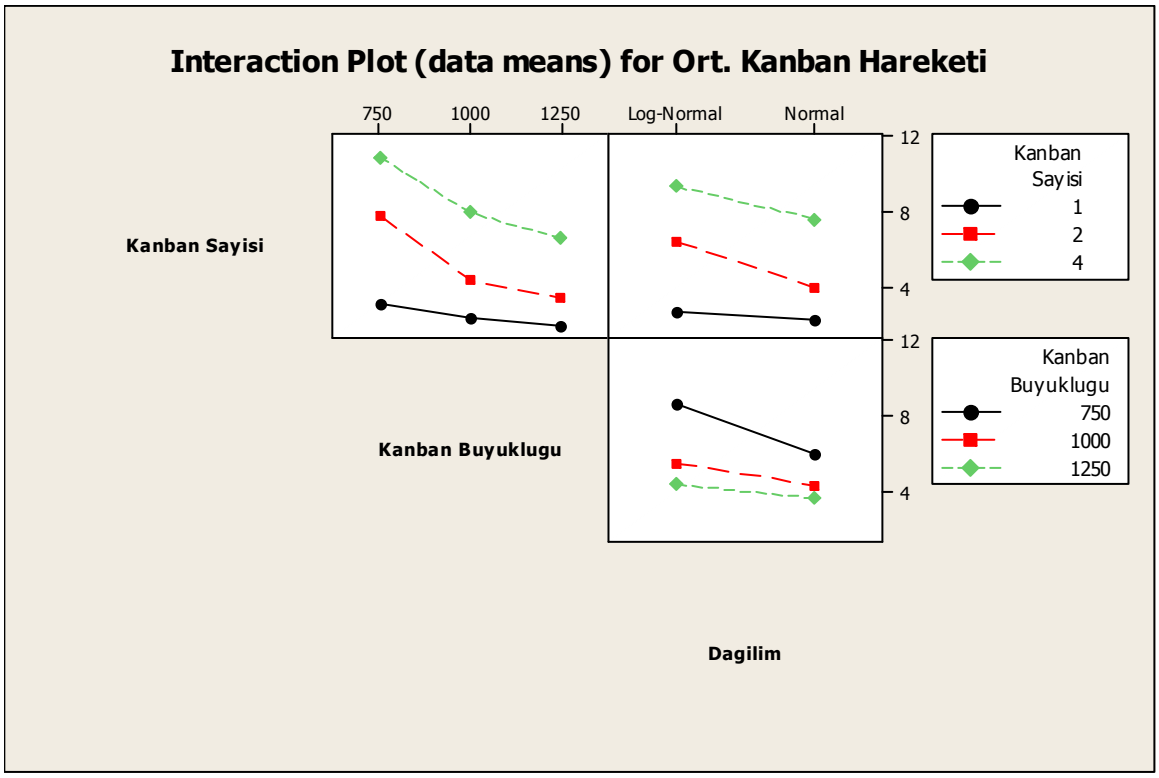
Ortalama WIP miktarı göstergesi için;

Sol üst karede; Kanban Sayısı ile Kanban Büyüklüğü faktörleri arasında etkileşim görülmektedir. Etkileşim doğrularının uzayda bir yerde kesişeceği söylenebilir. Kanban Sayısı faktörünün düşük seviyesinden yüksek seviyesine doğru değişimi ile elde edilen Ortalama WIP miktarı Kanban Büyüklüğünün düşük seviyesinden büyük seviyesine doğru değişmesinden farklı şekilde etkilenmektedir. Yani Kanban Sayısı ve Kanban Büyüklüğü, Ortalama WIP göstergesi için bir birlerine bağımlı faktörlerdir.

Kanban Sayısı ile Dağılım faktör ikilisi ve Kanban Büyüklüğü ve Dağılım faktör ikilisi arasında daha az etkileşimden yada 0 etkileşimden söz edebiliriz. Örneğin sağ üst karede, Kanban Sayısı faktörü düşük seviyesinden yüksek seviyesine doğru değiştiği zaman Ortalama WIP miktarı artarken, dağılım faktörünün seviyelerinin

bu değişime bir katkısı olmadığı (yada az katkısı olduğu) görülmektedir. Aynı şekilde sağ alt karede Kanban Büyüklüğü faktörünün düşük seviyesinden yüksek seviyesine doğru değişmesi sonucu Ortalama WIP miktarındaki değişime dağılım faktörünün seviyelerinin bir katkısı olmadığı (yada az katkısı olduğu) görülmektedir.

8.12.3.2. Ortalama Kanban Hareketi için Etkileşim Analizi



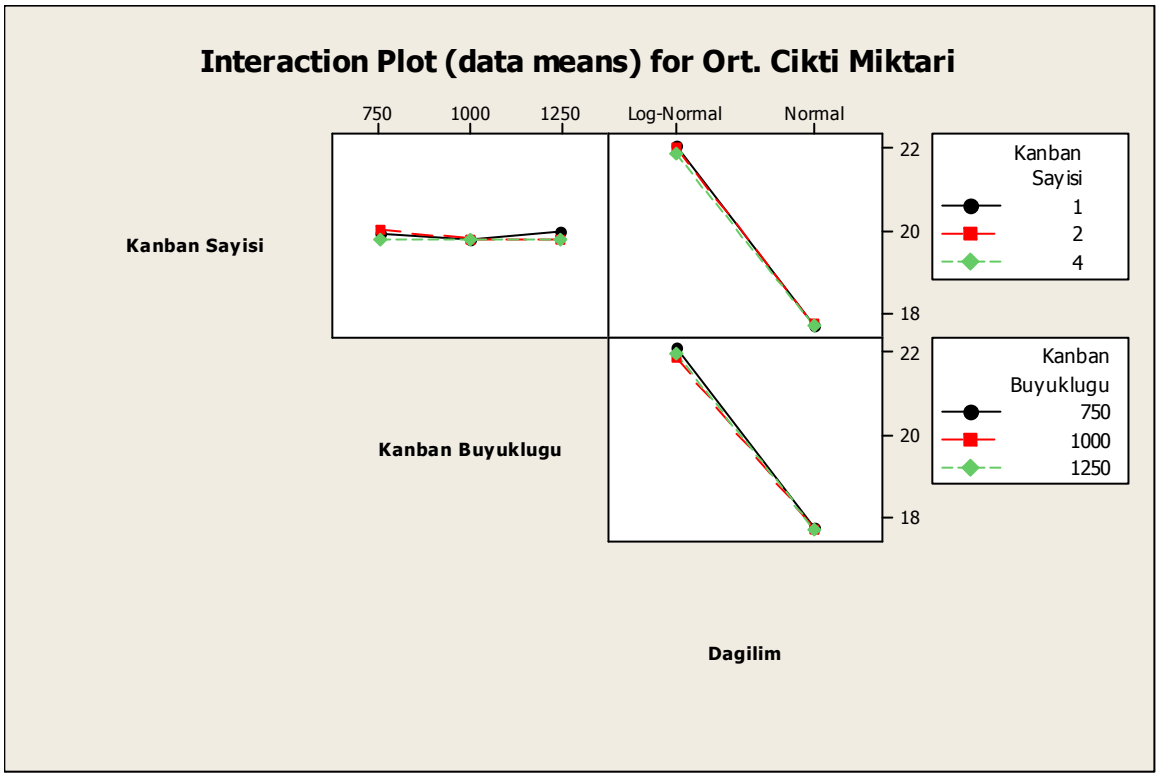
Şekil 8.48 : Ortalama Kanban Hareketi için Interaction Plot Grafiği

Kanban Sayısı ile Kanban Büyüklüğü arasında az etkileşim (yada 0 etkileşim) vardır.

Kanban Sayısı ile Dağılım arasında az etkileşim (yada 0 etkileşim) vardır.

Kanban Büyüklüğü ile Dağılım arasında etkileşim vardır.

8.12.3.3. Ortalama Çıktı Miktarı için Etkileşim Analizi



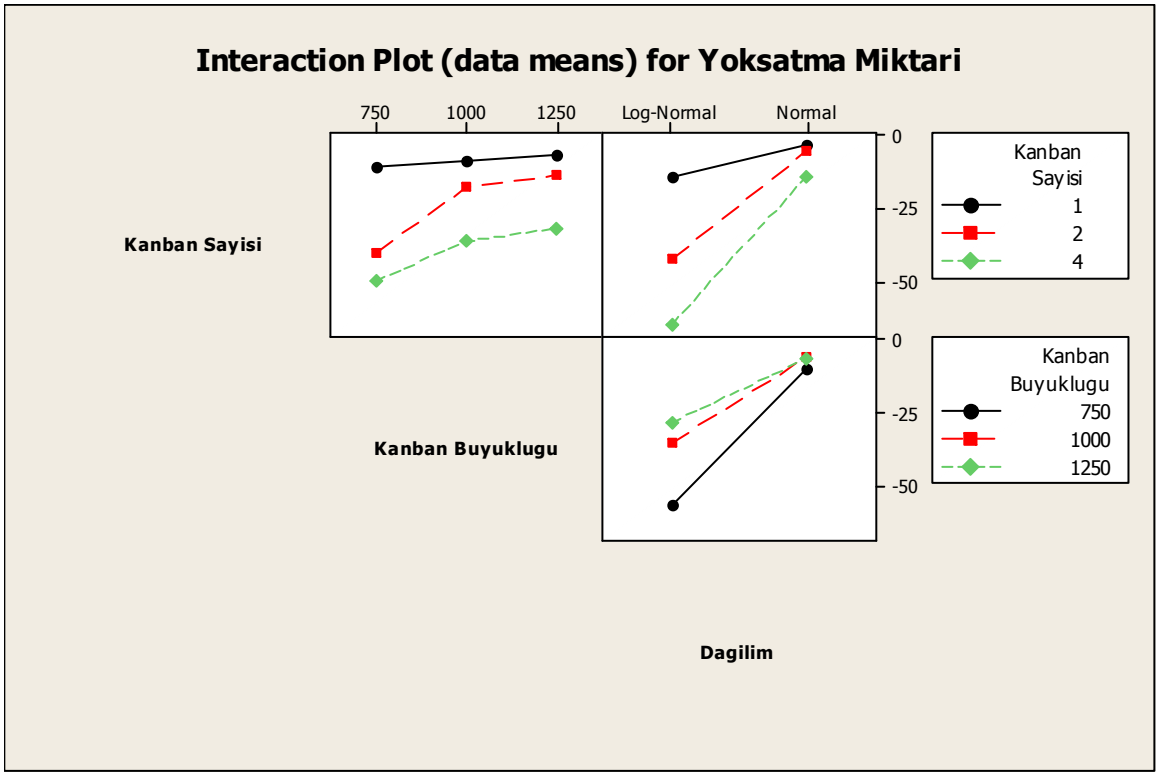
Şekil 8.49 : Ortalama Çıktı Miktarı için Interaction Plot Grafiği

Kanban Sayısı ile Kanban Büyüklüğü arasında 0 etkileşim vardır.

Kanban Sayısı ile Dağılım arasında 0 etkileşim vardır.

Kanban Büyüklüğü ile Dağılım arasında 0 etkileşim vardır.

8.12.3.4. Ortalama Yoksatma Miktarı için Etkileşim Analizi



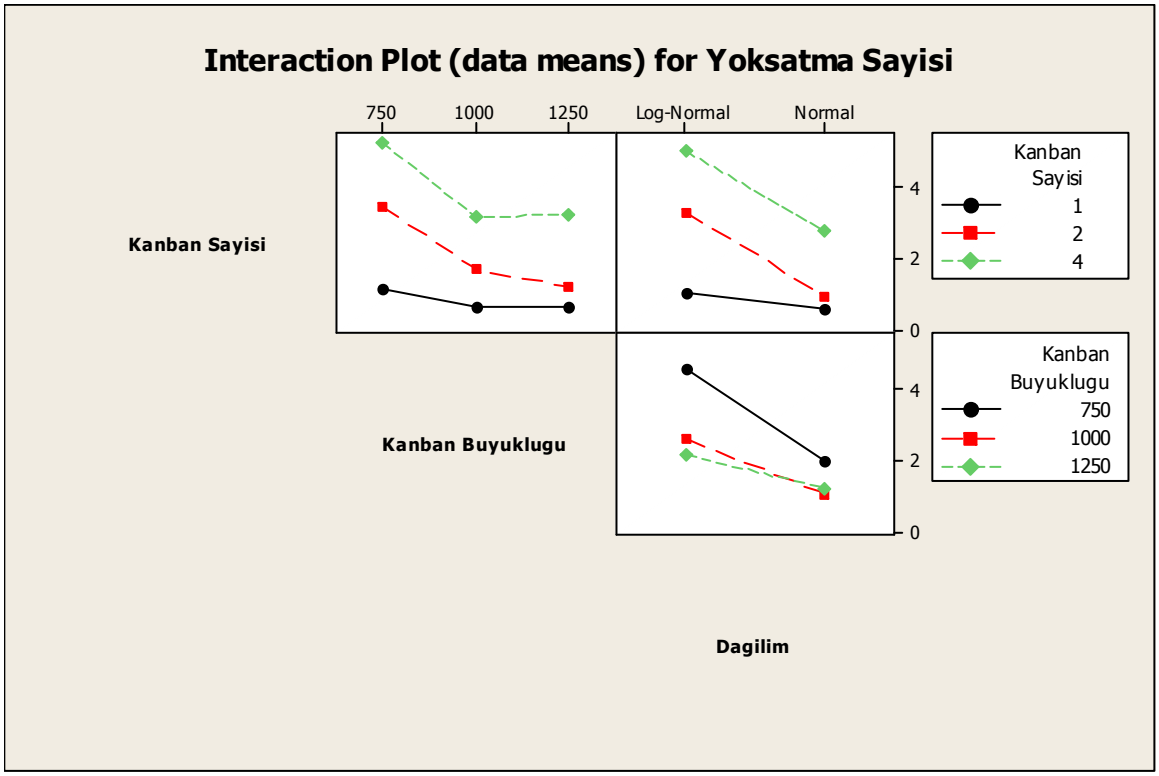
Şekil 8.50 : Yoksatma Miktarı için Interaction Plot Grafiği

Kanban Sayısı ile Kanban Büyüklüğü arasında az etkileşim vardır.

Kanban Sayısı ile Dağılım arasında etkileşim vardır.

Kanban Büyüklüğü ile Dağılım arasında etkileşim vardır.

8.12.3.5. Yoksatma Sayısı için Etkileşim Analizi



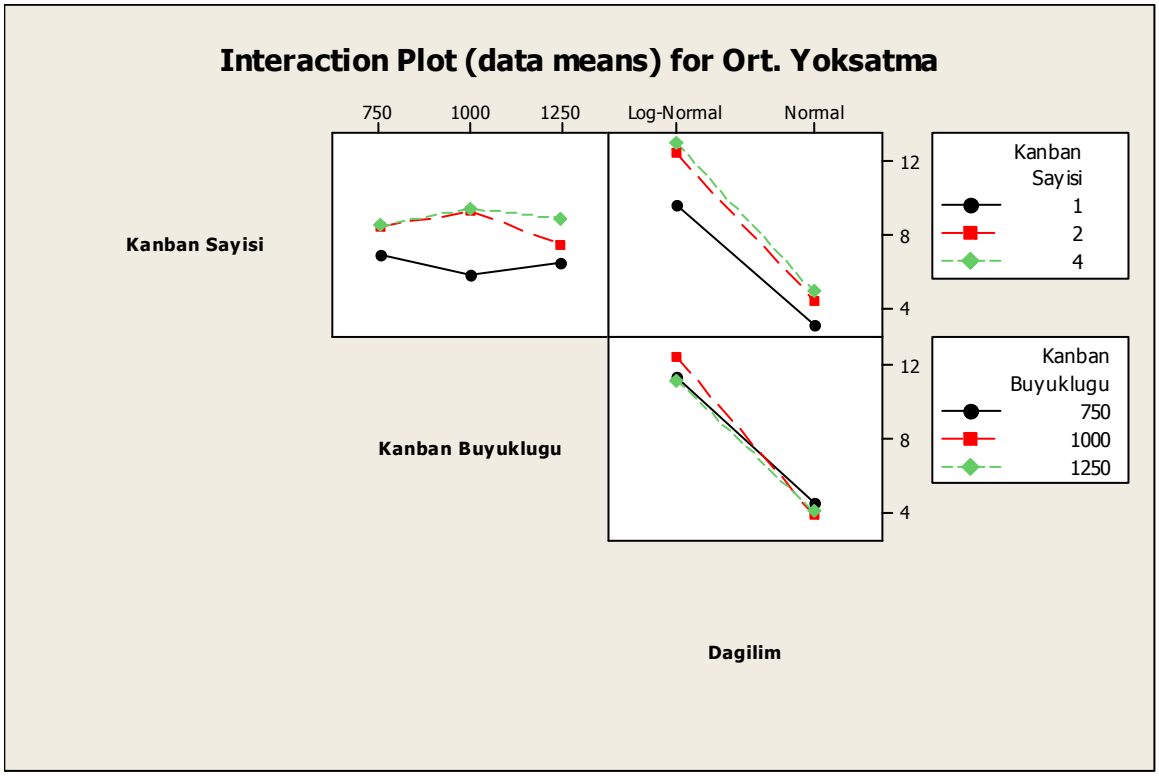
Şekil 8.51 : Yoksatma Sayısı için Interaction Plot Grafiği

Kanban Sayısı ile Kanban Büyüklüğü arasında az etkileşim vardır.

Kanban Sayısı ile Dağılım arasında az etkileşim vardır.

Kanban Büyüklüğü ile Dağılım arasında az etkileşim vardır.

8.12.3.6. Ortalama Yoksatma Miktarı için Etkileşim Analizi



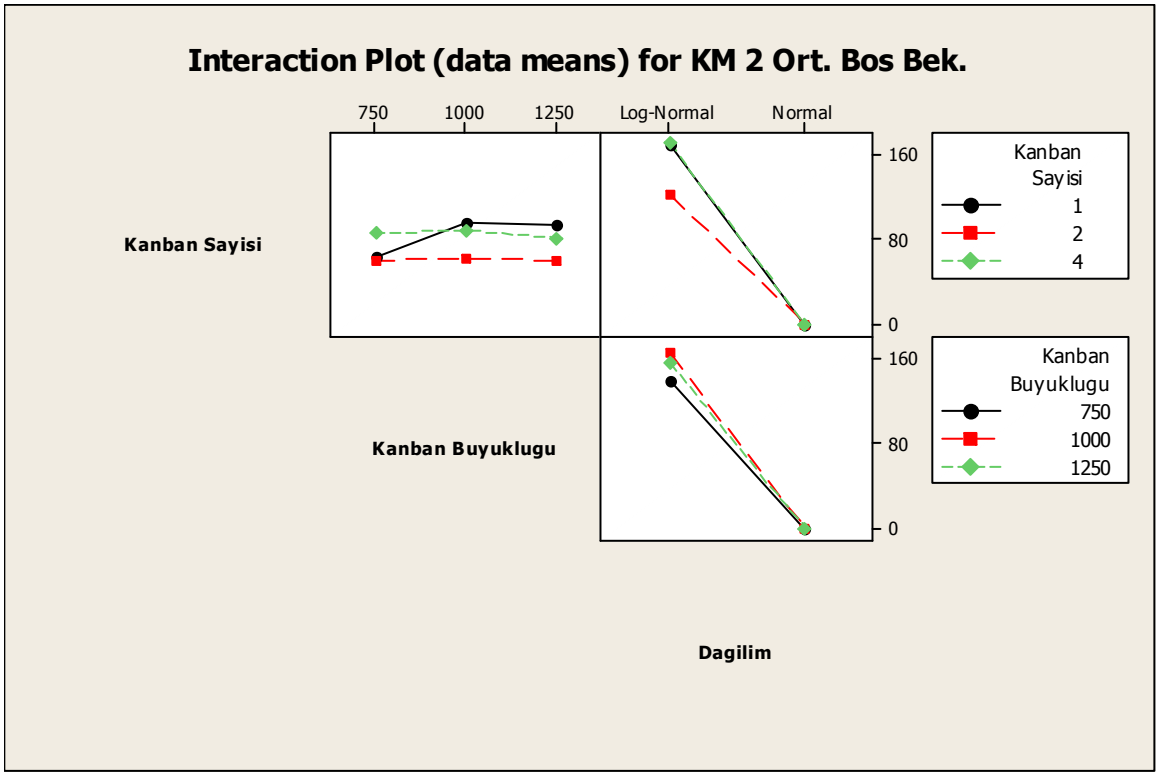
Şekil 8.52 : Ortalama Yoksatma Miktarı için Interaction Plot Grafiği

Kanban Sayısı ile Kanban Büyüklüğü arasında etkileşim vardır.

Kanban Sayısı ile Dağılım arasında 0 etkileşim vardır.

Kanban Büyüklüğü ile Dağılım arasında 0 etkileşim vardır.

8.12.3.7. 2. KM Boşta Bekleme Süresi için Etkileşim Analizi



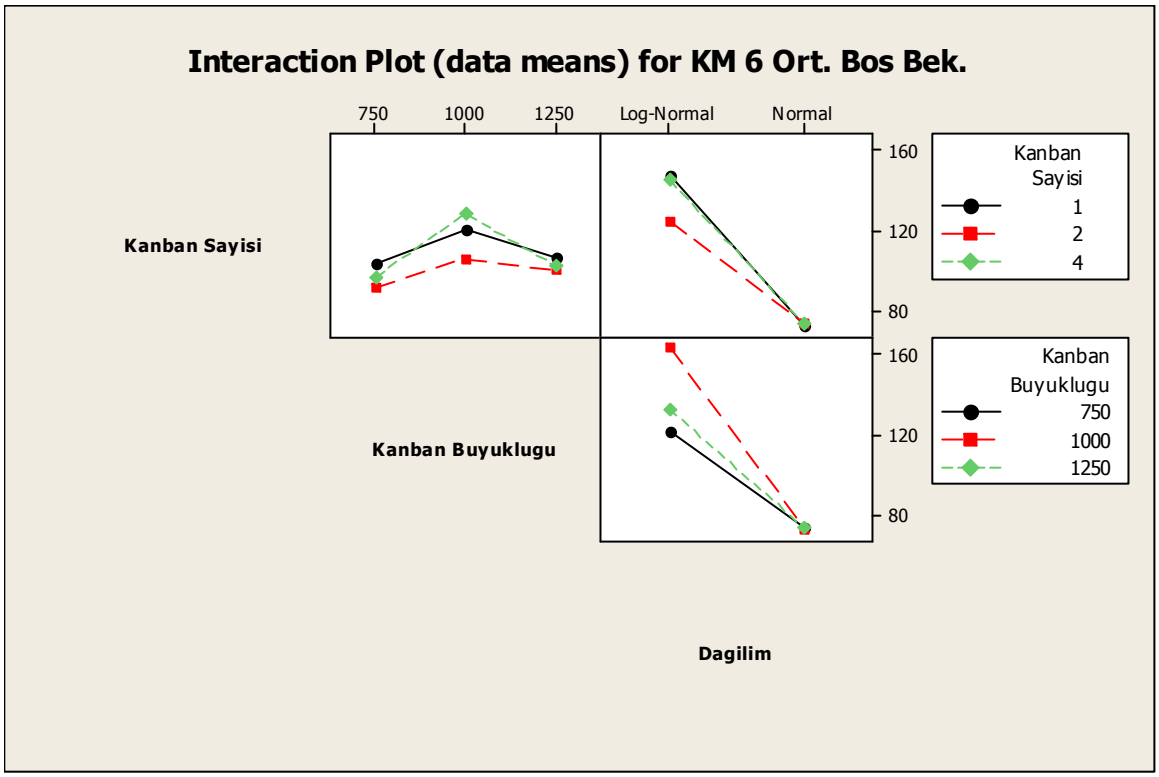
Şekil 8.53 : KM 2 Ortalama Boşta Bekleme için Interaction Plot Grafiği

Kanban Sayısı ile Kanban Büyüklüğü arasında etkileşim vardır.

Kanban Sayısı ile Dağılım arasında 0 etkileşim vardır.

Kanban Büyüklüğü ile Dağılım arasında 0 etkileşim vardır.

8.12.3.8. 6. KM Boşta Bekleme Süresi için Etkileşim Analizi



Şekil 8.54 : KM 6 Ortalama Boşta Bekleme için Interaction Plot Grafiği

Kanban Sayısı ile Kanban Büyüklüğü arasında etkileşim vardır.

Kanban Sayısı ile Dağılım arasında az etkileşim (yada 0 etkileşim) vardır.

Kanban Büyüklüğü ile Dağılım arasında az etkileşim (yada 0 etkileşim) vardır.

9. SONUÇLAR

Gupta ve Gupta (1989), **Karmarkar ve Kekre (1989)**, **Philipoom ve diğ. (1996)**, **Berkley (1996)** ve **Moeeni ve diğ. (1997)** çalışmalarında yapılan tespitlere benzer olarak bu çalışmada da kanban sayısı ve kanban büyüklüğü beraber sistemin performansını eş zamanlı olarak etkilemişlerdir.

Hem kanban sayısının hem de kanban büyüklüğünün artması literatürdeki çalışmaların sonuçlarını doğrular şekilde ortalama WIP seviyelerini artırmışlardır.

CONWIP istasyonları arası çekilen kanban adedi ise kanban sayısının artması ile artarken kanban büyüklüğü arttıkça sistemde daha az kanban hareketi oluşmaktadır. **Abdou ve Dutta (1993)** çalışmasında da malzeme elleçleme sıklığı ve kanban sayısı arasında doğrusal bir ilişki bulunmuşken malzeme elleçleme sıklığı ile kanban büyüklüğü arasında ters bir ilişki tespit etmişlerdir.

Sistem düşük kanban sayılarında daha fazla elde bulundurmama yüzünden yoksatma durumuna düşerken kanban büyüklüğünün yüksek olduğu durumlarda yoksatma daha az yaşandığı görülmüştür. Benzer bir tespit **Berkley (1996)** tarafından da yapılmıştır. **Berkley**'in çalışmasına göre sistemde daha küçük kanban büyüklüklerinde her zaman olmamakla birlikte daha zayıf müşteri hizmet seviyesi oluşabilmektedir.

Sipariş verilerinin dağılım durumu ise en fazla sistem çıktı göstergeleri üzerinde etkisi olmuştur. Zamanla artan talep durumunu temsil eden (yeni gelişen pazar durumu) log-normal dağılıma uygun veriler ile analiz yapıldığında sistemin ürettiği çıktı miktarı yüksek seviyelerde iken zamanla değişmeyen talep durumunu temsil

eden (doymuş pazar durumu) normal dağılıma uygun verilerde daha düşük seviyelerde çıktı oluşturmuşlardır.

Log-normal dağılımda, sistemde daha fazla yoksatma yaşanırken değişmeyen talep durumunu gösteren normal dağılımda sistem daha az sayıda yoksatma durumu yaşamıştır.

Talebin zamanla değişmediği durumlarda kaynak makineleri hiç boşta beklemezken talebin zamanla arttığı durumlarda ise beklemeler söz konusu olmaktadır.

Bu çalışmada ki en önemli nokta, her bir ayrı performans göstergesi için o performans göstergesini optimum eden değişik bir faktör kombinasyonu elde edilmektedir. Örneğin sisteminin için en önemli performans göstergesi sistem içi ortalama WIP seviyelerini düşürmek ise kanban sayısı 1, kanban büyüklüğü 750 ton olarak sisteme tanımlanmalıdır. Eğer CONWIP istasyonları arasında dolaşan kanban adedi azaltılmak istenir ise de kanban sayısı 1, kanban büyüklüğü ise 1250 olarak tanımlanmalıdır. *Ancak tüm sistem için tek bir faktör kombinasyonu bu çalışma içinde belirlenmemiştir.*

Bu çalışma sırasında her bir performans göstergesi için belirlenen optimum faktör kombinasyonlarının özeti Tablo 9.1'de gösterilmiştir:

Tablo 9.1: Mevcut çalışmada performans göstergelerini en iyileyen faktör koşulları

Performans Göstergesi	Amaç	Kanban Sayısı	Kanban Büyüklüğü	Dağılım
Ortalama WIP Seviyesi	Minimizasyon	1	750	Normal
Ortalama Kanban Hareketi	Minimizasyon	1	1250	Normal
Ortalama Çıktı Miktarı	Maksimizasyon	[1 – 2 – 4]	[1 – 2 – 4]	Log-Normal
Ortalama Yoksatma Miktarı	Minimizasyon	1	750	Normal
Yoksatma Sayısı	Minimizasyon	1	1250	Normal
Ortalama Yoksatma Miktarı	Minimizasyon	1	1250	Normal
Makine Boşta Bekleme Süreleri	Minimizasyon	2	1000	Normal

Performans göstergelerinin sistem içindeki önemine göre farklı bir faktör kombinasyonu seçilebilir. Bu çalışmada performans göstergelerinin önem ağırlıklarına göre tek bir optimum faktör kombinasyonunun ne olması gerektiği *belirlenmemiştir*. Gelecekte bu çalışmanın devamı olarak, AHP yada benzer bir karar verme tekniği ile ağırlığı belirlenmiş performans göstergelerinin ışığında tüm sistemi temsil eden tek ve en uygun faktör kombinasyonu belirlenebilir. Bu tarz bir çalışmaya literatür taraması sırasında da karşılaşılmamıştır. Bu yüzden hem literatür için ilk olması hem de bu mevcut çalışmanın devamı olması açısından önemli olacaktır.

10. KAYNAKLAR

Abdou, G. and Dutta, S.P., 1993. A systematic simulation approach for the design of JIT manufacturing systems, *Journal of Operational Management*, **11,** 225-238.

Acar, N., 1999. Tam Zamanında Üretim, *M.P.M. Yayınları*, No: 542, s. 4, Ankara.

Aktürk, M.S. and Erhun, F., 1999. An overview of design and operational issues of kanban systems, *International Journal of Production Research*, **37,** 17, 3859- 3881.

Andijani, A., 1997. Trade off between maximizing throughput rate and minimizing system time in kanban systems, International Journal of Operations and Production Management, **17,** 429-445.

Aşkı, R.G., Mitwasi, M.G. and Goldberg, J.B., 1993. Determining the number of kanbans in multi-item just-in-time systems. *IIE Transactions*, **25,** 89-97.

Aytuğ, H., Khouja, M. and Vergara, F.E., 2003. Use of genetic algorithms to solve production and operations management problems: a review, **41,** 3955-4009.

Azadivar, F. and Wang, J., 2000. Facility layout optimization using simulation and genetic algorithms. International Journal of Production Research, **38,** 4369–4383.

Baek, D.H. and Yoon, W.C., 2002. Co-evolutionary genetic algorithm for multi-machine scheduling: coping with high performance variability, *International Journal of Production Research*, **40,** 239–254.

Bard, J.F. and Golony, B., 1991. Determining the number of kanbans in a multiproduct, multistage production system. *International Journal of Production Research*, **29,** 881-895.

Benjamin, P.C., Erraguntla, M. and Mayer, R.J., 1995. Using simulation for robust system design. *Simulation,* **65,** 2, 116-128.

Berkley, B.J. and Kıran, A.S., 1991. A simulation study of sequencing rules in a kanban, controlled flow shop, *Decision Sciences*, **22,** 559-582.

Berkley, B.J., 1992a. A review of the kanban production control research literature, *Production and Operations Management*, **1,** 393-411.

Berkley, B.J., 1992b. A decomposition approximation for periodic kanban controlled flow shops, *Decision Sciences,* **23,** 291-311.

Berkley, B.J., 1993a. Simulation tests of FCFS and SPS sequencing in kanban systems, *Decision Sciences*, **24,** 218-226.

Berkley, B.J., 1993b. Effect of buffer capacity and sequencing rules on single-card kanban system performance, *International Journal of Production Research*, **31,** 2875-2893.

Berkley, B.J., 1994. Testing minimum performance levels for kanban-controlled lines, *International Journal of Production Research*, **32,** 93-109.

Berkley, B.J., 1996. A simulation study of container size in two-card kanban system, *International Journal of Production Research*, **34,** 3417-3445.

Bitran, G.R. and Chang, L., 1987. A mathematical programming approach to a deterministic kanban system. *Management Science*, **33,** 427-441.

Bonvik, A.M., 1997. Hybrid Control Policies for Manufacturing, *International Journal of Production Research*, **35,** 3, 789-804.

Celano, G. and Fichera, S., 1999. Multi Objective Economic Design of an X-Control Chart, *Computers & Industrial Engineering*. **37,** 129-132.

Chao, X., Das, S.K. and Nagendra, P., 1995. Prioritization of kanbans in the case of a single station serving multiple downstream stations, *International Journal of Production Research*, **33,** 377-389.

Deleersnyder, J., Hodgson, T.J., Muller, H. and O'Grady, P.J., 1989. Kanban controlled pull systems: An analytic approach, *Management Science*, **35,** 1079-1091.

Dellaert, N., Jeunet, J. and Jonard, N., 2000. A genetic algorithm to solve the general multi-level lot-sizing problem with time-varying costs, *International Journal of Production Economics*, **68,** 241–257.

Dietrich, D.L. and Mazzuchi, T.A., 1996. An alternative method of analyzing multi-stress, multi-level life and accelerated life tests, Pro*ceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium*, p. 90-96.

Dooley, K.J., and Mahmoodi, F., 1992. Identification of robust scheduling heuristics: application of Taguchi methods in simulation studies. *Computers and Industrial Engineering,* **22,** 359-368.

van Dorp, J.R., Mazzuchi, T.A., Fomell, L.G., Gordon, E. and Potlock, L.R., 1995. A bayesian approach to step-stress accelerated life testing, *IEEE Transactions on Reliability.*

Durmuşoğlu, M. B. ve Nomak, A., 2003. Bir hücresel üretim ortamında, üretim planlama ve kontrol sistemlerinin benzetim analizi, *İTÜ Dergisi*, **2,** 5, 43-52.

Emre, A., 1995. Tam zamanında üretim sisteminin ülkemizdeki uygulamaları ve sorunları, *M.P.M. Yayınları*, No: 543, s.3 Ankara.

Enns, S.T., 1995. An integrated system for controlling work load and flow in a job shop. *International Journal of Production Research,* **33,** 2801–2820.

Fidan, I., Kraft, R.P., Ruff, L.E. and Derby, S.J., 1998. Designed experiments to investigate the solder joint quality output of a prototype automated surface mount replacement system, *Computer Pack. Manufacturing Technology Part C: Manufacturing, IEEE Transactions,* **21,** 3, 172–181.

Framinan, J.M., Ruiz-Usano, R. and Leisten, R., 2000. Input control and dispatching rules in a dynamic conwip flow-shop, *International Journal of Production Research*, **38,** 18, 4589-4598.

Fukukawa, T. and Hong, S.C., 1993. The determination of optimum number of kanban in a just in time production system, *Computers and Industrial Engineering*, **24,** 551-559.

Gaury, E.G.A. and Kleijnen, J.P.C., 1998. Risk analysis of robust system desing, *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conferenc,* Hollanda.

Goldratt, E.M., 1988. Computerized shop floor scheduling, *International Journal of Production Research*, **26,** 443-455.

Golhar, D. and Stamm, C.L., 1991. The just-in-time philosophy: a literature review, *International Journal of Production Research*, **29,** 657-676.

Gravel, M. and Price, W.L., 1988. Using kanban in a job shop environment, *International Journal of Production Research*, **26,** 1105-1118.

Gravel, M. and Price, W.L., 1991. Visual interactive modeling shows how to use kanban in small business, *Interfacess (ORAS/TIMS)*, **21,** 22-24.

Groenevelt, H., 1993. The just-in-time system. In: *Handbooks in OR &MS* volume 4, ed. by S.C. Graves, A.H.G. Rinnooy Kan, and P.H. Zipkin (Amsterdam: Elsevier), pp. 629- 670.

Gunst, R.F. and Mason, R.L., 1991. How to construct fractional factorial experiments, ASQC Quality Press, Milwaukee.

Gupta, S.M. and Al-Turki, Y.A., 1998. Adapting just-in-time manufacturing systems to preventive maintenance interrupts, *Production Planning and Control*, **9,** 349-359.

Gupta, Y.P. and Gupta, M.C., 1989. A systemdynamics model for amulti-stage, multi-line dual-card JIT-kanban system. *International Journal of Production Research*, **27,** 309-352.

Hall, W.R., 1983. Zero inventories, Homewood, Illinois:DowJones-Irwin.

Hamada, M. and Wu, C.F., 1992. Analysis of Designed Experiments with complex aliasing, *Journal of Quality Technology*, **24,** 130-137.

Huang, P.Y., Rees, P.L. and Taylor, B.W. III, 1983. Simulation analysis of the Japanese just-in-time technique (with kanbans) for a multiline, multistage production system, *Decision Sciences*, **14,** 326-344.

Huang, M., Wang, D. and Ip, W.H., 1998a. A simulation and comparative study of the CONWIP, Kanban and MRP production control systems in a cold rolling plant, *Production Planning & Control*, **9,** 8, 803- 812.

Huang, M., Wang, D. and Ip, W.H., 1998b. Simulation study of CONWIP for a cold rolling plant, *International Journal of Production Economics,* **54,** 257-266.

Hum, S.H. and Lee, C.K., 1998. JIT scheduling rules: a simulation evaluation, *International Journal of Management Science*, **26,** 381-395.

Hung, Y. F., Shih, C. C. and Chen, C. P., 1999. Evolutionary algorithms for production planning problems with setup decisions, *Journal of the Operational Research Society*, **50,** 857–866.

Hyun, C.J., Kim, Y. and Kim, Y.K., 1998. A genetic algorithm for multiple objective sequencing problems in mixed model assembly lines, *Computers and Operations Research*, **25,** 675–690.

Janiak, A. and Portmann, M.C., 1998. Genetic algorithm for the permutation flow-shop scheduling problem with linear models of operations. *Annals of Operations Research*, **83,** 95–114.

Kao, I. and Gong, C., 1997. Robot-Based computer-integrated manufacturing as applied in manufacturing automation , *Robotics&Computer-Integrated Manufacturing*, **13,** 2,157-167.

Karmarkar, U. and Kekre, S., 1989. Batching policy in kanban systems. *Journal of Manufacturing Systems*, **8,** 317-328.

Ke, C.Y., Chang, C.L., Ju, J.J., Huang, D.R. and Huang, R.S., 2002. A Magnetic design for a slim type dvd actuator, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **239,** 604-606.

Keller, A. and Fouad, R., 1989. A review of literature relating to JIT, *International Journal of Operations and Production Management,* **9,** 15-25.

Khouja, M., Michalewicz, M. and Satoskar, S., 2000. A comparison between genetic algorithms and the RAND method for solving the joint replenishment problem, *Production Planning and Control*, **9,** 127–137.

Kim, S.C. and Bobrowski, P.M., 1995. Evaluating order release mechanisms in a job-shop with sequence-dependent setup times, *Production & Operations Management,* **4,** 165–180.

Kimms, A., A genetic algorithm for multi-level, multi-machine lot sizing and scheduling. *Computers and Operations Research*, **26,** 829–848.

Kimura, O. and Terada, H., 1981. Design and analysis of pull system: a method of multistage production control. *International Journal of Production Research,* **19,** 241-253.

Korgaonker, M., 1992. Just-in-time manufacturing, MacMillian India Pres, Madras.

Lee, L.C., 1987. Parametric appraisal of the JIT system, Inte*rnational Journal of Production Research*, **25,** 1415-1429.

Lee, L.C. and Seah, K.H.W., 1988. JIT and the effects of varying process and setup times, *International Journal of Operations and Production Management*, **8,** 19-35.

Li, A. and Co, H.C., 1991. A dynamic programming model for the kanban assignment problem in a multistage multiperiod production system. *International Journal of Production Research*, **29,** 1-16.

Lim, J.-M., Kim, K.S., Yum, B.J. and Hwang, H., 1996. Determination of an optimal configuration of operating policies for direct-input-output manufacturing systems using the Taguchi method. *Computers and Industrial Engineering,* **31,** 555-560.

Lummus, R.R., 1995. A simulation analysis of sequencing alternatives for JIT lines using kanbans, *Journal of Operations Management*, **13,** 183-191.

Maimon, O.Z. and Braha, D., 1998. A genetic approach to scheduling PCBs on a single machine, *International Journal of Production Research*, **36,** 761–784.

Malhotra, M.K. and Ritzman, L.P., 1994. Scheduling flexibility in the service sector: a postal case study, *Production & Operations Management*, **3,** 100–117.

Marek, R.P., Elkins, D.A. and Smith, D.R., 2001. Understanding the fundamentals of kanban and conwip pull systems using simulation, *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, 921-929.

Mayer, R.J. and Benjamin, P.C., 1992. Using the Taguchi paradigm for manufacturing system design using simulation experiments, *Computers and Industrial Engineering,* **22,** 195-209.

McKinney, B.T., 1993. An accelerated multi-stress reliability and performance testing methodology, Ph.D. dissertation, University of Alabama in Huntsville.

McMullen, P.R., Tarasewich, P. and Frazier, G.V., 2000. Using genetic algorithms to solve the multi-product JIT sequencing problem with set-ups. *International Journal of Production Research*, **38,** 2653–2670.

Mezgar, I., Egresist, C.S. and Monostori, L., 1997. Design and real-time reconfiguration of robust manufacturing systems by using design of experiments and artificial neural networks, *Computers in Industry*, **33,** 61-70.

Mitra, D. and Mitrani, I., 1990. Analysis of a kanban discipline for cell coordination in production lines. International *Management Science*, **36,** 1548-1566.

Mittal, S. and Wang, H.P., 1992. Simulation of JIT production to determine number of kanbans, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **7,** 292-305.

Mitwasi, M.G. and Aşkın, R.G., 1994. Production planning for a multi-item, multi-stage kanban system, *International Journal of Production Research,* **32,** 1173-1195.

Miyazaki, S., Ohta, H. and Nishiyama, N., 1988. The optimal operation planning of kanban to minimize the total operation cost, *International Journal of Production Research*, **26,** 1605-1611.

Moeeni, F., Sanchez, S.M. and Vakharia, A.J., 1997. A robust design methodology for Kanban system design, *International Journal of Production Research*, **35,** 2821- 2838.

Mohsen, H. and Mashhadi, 1992. On the application of design of experiments to accelerated life tasting, PHD thesis, Linkiiping University, Linkiiping, Sweden.

Monden, Y, 1983. Toyota production system: a practical approach to production management, *Industrial Engineering and Management Pres*, Atlanta.

Monden, Y., 1984. A simulation analysis of the Japanese just-in-time technique (with kanbans) for a multiline, multistage production system: a comment. *Decision Sciences*, **15,** 445-447.

Montgomery, D.C., 1991. Design and Analysis of Experiments, John Wiley Sons, 649 pages.

Mori, M. and Tseng, C.C., 1997. A genetic algorithm for multi-mode resource constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, **100,** 134–141.

Nori, V.S. and Sarker, B.R., 1998. Optimum number of kanbans between two adjacent stations, *Production Planning and Control*, **9,** 60-65.

Norman, B.A. and Bean, J.C., 2000. Scheduling operations on parallel machine tools, *IIE Transactions*, **32,** 449–459.

Ohno, K., Nakashima, K. and Kojima, M., 1995. Optimal numbers of two kinds of kanbans in a JIT production system, *International Journal of Production Research*, **33,** 1387-1401.

Park, K. and Ahn, J., 2004. Design of experiment considering two-way interactions and its application to injection molding processes with numerical analysis, *Journal of Materials Processing Technology*, **146,** 221-227.

Philipoom, P.R., Rees, L.P., Taylor, B.W. III and Huang, P.Y., 1990. A mathematical programming approach for determining workcentre lot sizes in a just-in-time system with signal kanbans, *International Journal of Production Research*, **28,** 1-15.

Philipoom, P.R., Rees, L.P. and Taylor, B.W. III, 1996. Simultaneously determining the number of kanbans, container sizes, and the final-assembly sequence of products in a just-in-time shop. *International Journal of Production Research*, **34,** 51-69.

Pignatiello, J.J.Jr. and Ramberg, J.S., 1987. Discussion of performance measures independent of adjustment, *Technometrics,* **29,** 274-277.

Pongcharoen, P., Hicks, C., Braiden, P.M. and Stewardson, D.J., 2002. Determining optimum genetic algorithm parameters for scheduling the manufacturing and assembly of complex products, *International Journal of Production Economics*, **78,** 311–322.

Price, W., Gravel, M. and Nsakanda, A.L.A., 1994. Review of optimization models of kanban based production systems, *European Journal of Operations Research*, **75,** 1-12.

Price, W.L., Gravel, M., Nsakanda, A.L.A. and Cantin, F., 1995. Modeling the performance of a kanban assembly shop, *International Journal of Production Research*, **33,** 1171-1177.

Rahman, A., 2003. Supply chain models for an assembly system with preprocessing of raw materials, PhD Thesis, Louisiana State University.

Rees, L.P., Philipoom, P.R., Taylor, B.W. III and Huang, P.Y., 1987. Dynamically adjusting the number of kanbans in a just-in-time production system using estimated values of lead time. *IIE Transactions*, **19,** 199-207.

Sabuncuoglu, I., Erel, E. and Tanyer, M., 2000. Assembly line balancing using genetic algorithms, *Journal of Intelligent Manufacturing*, **11,** 295–310.

Sanchez, S.M., Ramberg, J.F. and Pignatiello, J.J.Jr., 1993. Quality by design. In *Concurrent engineering: automation, tools, and techniques*, ed. Andrew Kusiak, 271-277. John Wiley & Sons, Inc.

Sanchez, S.M., Sanchez, P.J., Ramberg, J.S. and Moeeni, F., 1996. Effective engineering design through simulation. *International Transactions in Operational Research,* **3,** 169-185.

Sarker, B.R. and Balan, C.V., 1998. Operations planning for a single-stage kanban system operating under linear demand, *International Journal Production Research,* **36,** 2, 357-375.

Sarker, B.R. and Balan, C.V., 1999. Operational planning for a multi-stage kanban system, *European Journal of Operational Research*, **112,** 284-303.

Savsar, M., 1996. Effects of kanban withdrawal policies and other factors on the performance of JIT system – a simulation study, *International Journal of Production Research*, **31,** 2927-2945.

Schonberger, R.J., 1982. Japanese manufacturing techniques in nine hidden lessons in simplicity, The Free Pres, New York.

Sette, S., Boullart, L. and Langenhove, L.V., 1998. Using genetic algorithms to design a control strategy of an industrial process, *Control Engineering Practice*, **6,** 527-533.

Shahabudeen, P, Gopinath, R. and Krishnaiah, K., 2002. Design of bi-criteria kanban system using simulated annealing technique, *Computers and Industrial Engineering*, **41,** 355-370.

Spearman, M.L., Woodruff, D.L. and Hoop, W.J., 1990. *International Journal of Production Research*, **28,** 5, 879-894.

Spearman, M.L. and Zazaniz, M.A., 1998. Push and pull production systems: Issues and comparisons, Technical Report 88-24, Department of Industrial Engineering and Management Sciences, Northwestern University, Evanston, IL.

Stich, T.J., Spoerre, J.K. and Velasco, T., 1999. The Application of artificial neural networks to monitoring and control of an induction hardening process, *Journal of Industrial Technology*, **1.**

Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F. and Uchikawa, S., 1977. Toyota production system and kanban system materialization of JIT and respect-for-human system, *International Journal of Production Research*, **15,** 553-564.

Şirvancı, M., 1997. Kalite için deney tasarıımı: taguçi yaklaşımı, *Literatür Yayınları*, İstanbul, 110 sayfa.

Takahashi, K., 1994. Determining the number of kanbans for unbalanced serial production systems, *Computers and Industrial Engineering*, **27,** 213-216.

Tam, K.Y. and Chan, S.K., 1998. Solving facility layout problems with geometric constraints using parallel genetic algorithms: experimentation and findings, *International Journal of Production Research*, **36,** 3253–3272.

Vakharia, A.J., Parmenter, D. and Sanchez, S.M., 1996. The operating impact of parts commonality, *Journal of Operations Management,* **14,** 3–18.

Yavuz, I.H. and Şatır, A., 1995. A kanban-based simulation study of a mixed model just-in-time manufacturing line, *International Journal of Production Research*, **33,** 1027-1048.

Yoon, S.H. and Ventura, J.A., 2002. An application of genetic algorithms to lot streaming flow shop scheduling. *IIE Transactions*, **34,** 779–787.

Wagner, B.J., 1999. A genetic algorithm solution for one-dimensional bundled stock cutting, *European Journal of Operational Research*, **117,** 368–381.

Wang, C.S. and Uzsoy, R., 2002. A genetic algorithm to minimize maximum lateness on a batch processing machine, *Computers and Operations Research*, **29,** 1621–1640.

Wang H. and Wang H.P., 1990. Determining the number of kanbans: A step toward nonstock-production. *International Journal of Production Research*, **28,** 2101-2115.

Wang, H. and Wang, H.P., 1999. Optimum number of kanbans between two adjacent workstations in a JIT system, *International Journal of Production Economics*, **22,** 179-188.

Wehrens, R., Pretsch, E. and Buydens, L.M.C., 1999. The quality of optimization by genetic algorithms, *Analytica Chimica Acta*, **388,** 265-271.

Wild, R.H. and Pignatiello, J.J.Jr., 1991. An experimental design strategy for designing robust systems using discrete-event simulation, *Simulation*, **57,** 6, 358-368.

Wight, O., 1970. Input/output a real handle on lead time, Pro*duction and Inventory Management Journal*, **11,** 3, 9-31.

Zhang, G.Q., Xue, J. and Lai, K.K., 2002. A class of genetic algorithms for multiple-level warehouse layout problems. *International Journal of Production Research*, **40,** 731–744.

http://inoteconline.com/index.asp

http://www.ytukvk.org.tr/arsiv/makaletop.php?makale=yalinuretim, 08.05.2004

EK A

1. Minitab - Deneysel Tasarım Analizi

Senaryo 1.

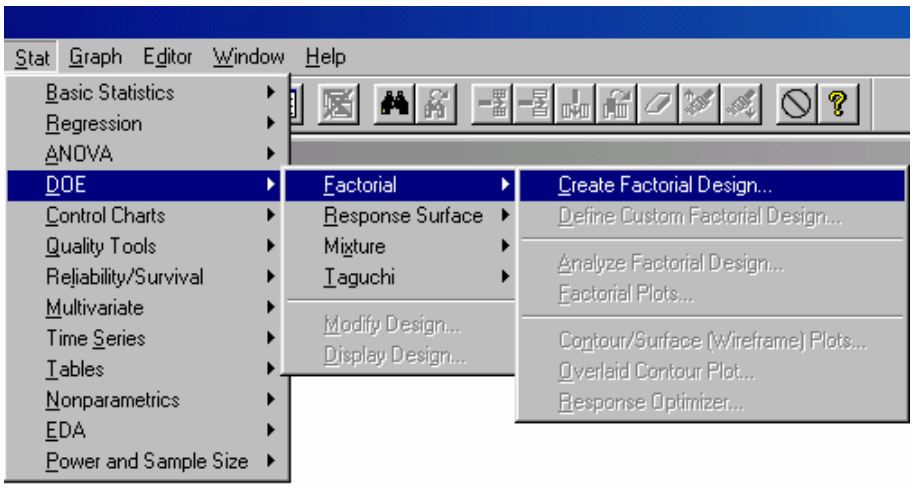
Bir 6 Sigma siyah kuşak projesi için bir kaplama hattı üzerindeki latex yoğunluğu sürekliliğinin iyileştirilmesi için çalışıyor. Proje ekibi, latex yoğunluğu etkileyeceğini düşündüğü faktörleri şu şekilde belirlemişlerdir:

- Hava Basıncı (Air Pressure)
- Dolgu Miktarı (Filler Load)
- Sıcaklık (Temperature)
- Köpük Hızı (Froth Speed)
- Hat Üzerinde Yayılma Hızı (Traverse Speed)

Takım bu faktörlerin latex yoğunluğunu nasıl etkilediğini ve faktörler arası bir etkileşim olup olmadığını belirlemek istiyor. Bunun için Minitab'de ½ Kesirli Faktöriyel Deney Tasarımı yapacaklardır. Bunu yapmak için sıra ile Minitab'de hangi ekranların ne şekilde kullanılacağı aşağıda anlatılacaktır:

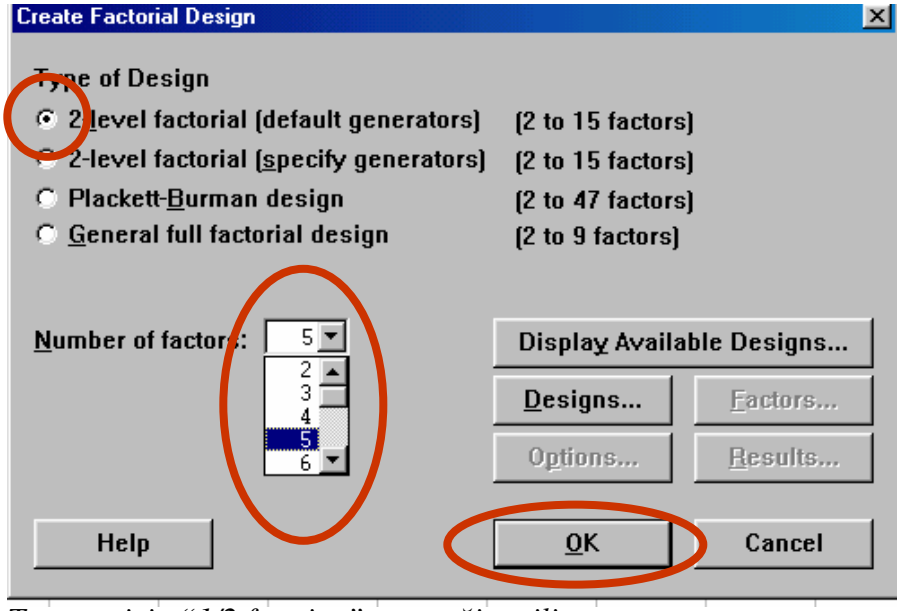
1.1.Faktöriyel Tasarım Oluşturma

Stat>DOE>Factorial>Create Factorial Design



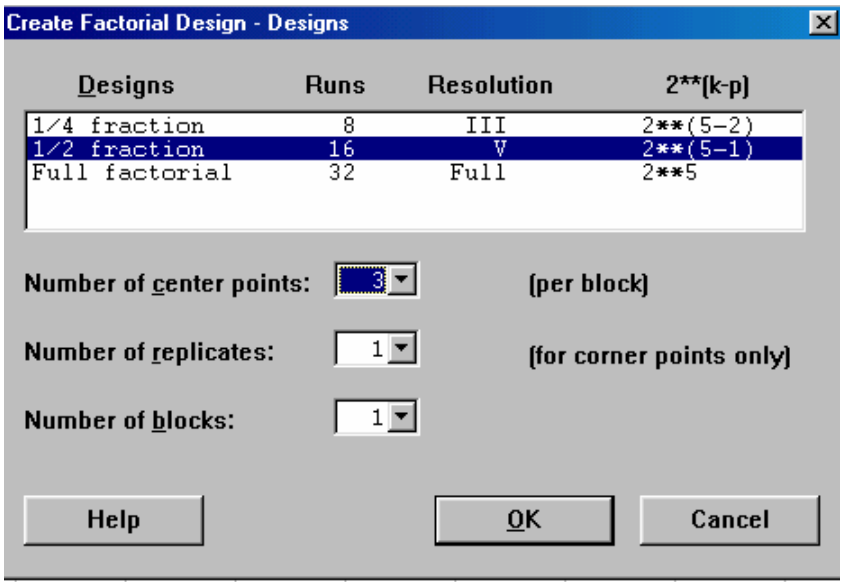
2-level factorial seçilir (default generators)

Faktör sayısı olarak 5 seçilir, Daha sonra "Desings" butonuna basılır

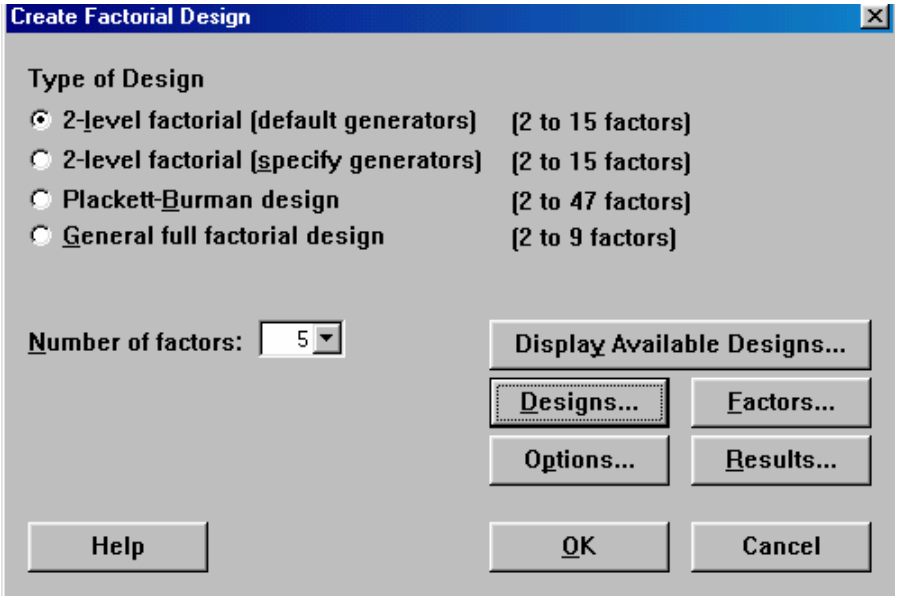


Tasarım için "1/2 fraction" seçeneği seçilir

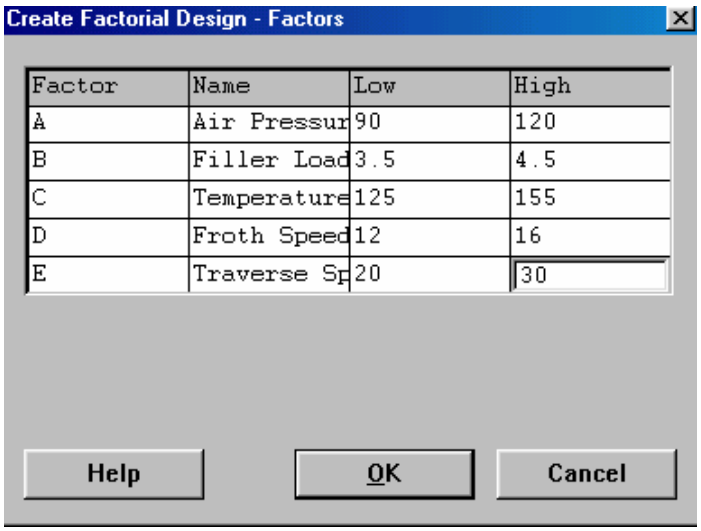
"Number of center points" için 3 seçilir, daha sonra OK'e basılır



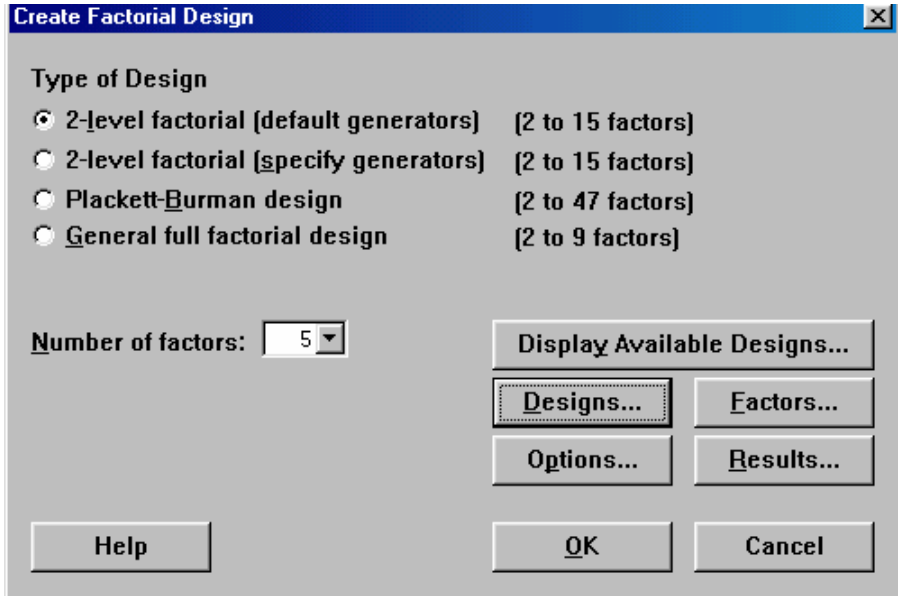
Factors'ler butonuna basılır



Faktör isimlerini ve seviyelerini girin, daha sonra OK'e basın



OK'e basın



Karşımıza ilk çıkan ekran görüntüsü şu şekildedir:

Factorial Design

```
Fractional Factorial Design

Factors:         5   Base Design:          5, 16   Resolution: V
Runs:           19   Replicates:               1   Fraction:  1/2
Blocks:       none   Center pts (total):       3

Design Generators:  E = ABCD
```

Bu görüntü bizim tasarımımızı özetler..

Tasarımımızın "Alias Structure"ı şu şekildedir:

```
Alias Structure

I + ABCDE

A + BCDE
B + ACDE
C + ABDE
D + ABCE
E + ABCD
AB + CDE
AC + BDE
AD + BCE
AE + BCD
BC + ADE
BD + ACE
BE + ACD
CD + ABE
CE + ABD
DE + ABC
```

Sonuç tasarım matrisi şu şekilde oluşur:

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	Air Pressure	Filler Load	Temperature	Froth Speed	Traverse Speed
4	1	1	1	120	4.5	125	12	30
15	2	1	1	90	4.5	155	16	20
14	3	1	1	120	3.5	155	16	20
16	4	1	1	120	4.5	155	16	30
1	5	1	1	90	3.5	125	12	30
12	6	1	1	120	4.5	125	16	20
19	7	0	1	105	4.0	140	14	25
18	8	0	1	105	4.0	140	14	25
10	9	1	1	120	3.5	125	16	30
17	10	0	1	105	4.0	140	14	25
11	11	1	1	90	4.5	125	16	30
7	12	1	1	90	4.5	155	12	30
2	13	1	1	120	3.5	125	12	20
5	14	1	1	90	3.5	155	12	20
8	15	1	1	120	4.5	155	12	20
6	16	1	1	120	3.5	155	12	30
13	17	1	1	90	3.5	155	16	30
9	18	1	1	90	3.5	125	16	20
3	19	1	1	90	4.5	125	12	20

1.2.Minitab – Grafik Analizleri

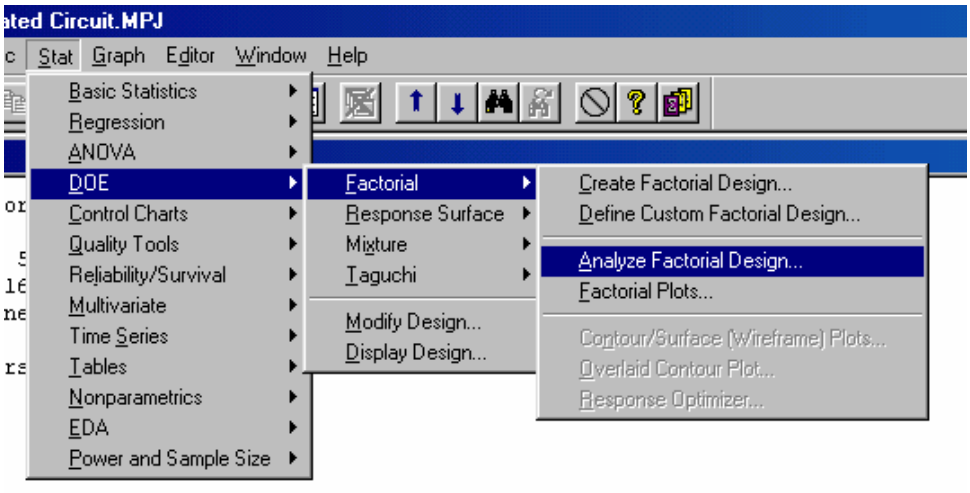
Senaryo 2.

Bir 6 Sigma siyah kuşak projesi için bir proje ekibi, 5 faktörün bir performans göstergesi üzerindeki etkisini incelemek istemektedirler, deneyde kullanılan faktör ve gösterge aşağıdaki gibidir:

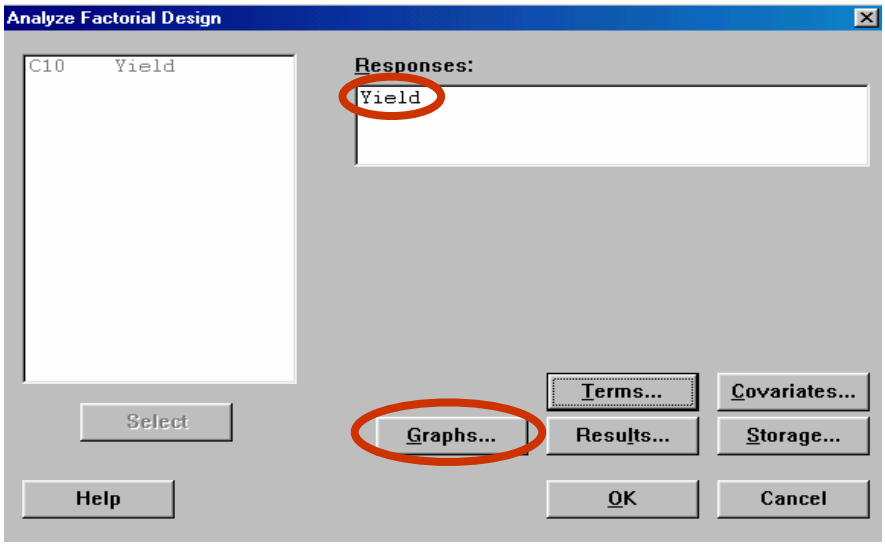
- Aperture Setting - faktör
- Exposure Time - faktör
- Develop Time - faktör
- Mask Dimension - faktör
- Etch Time - faktör
- Yield – performans göstergesi

Ekip faktörler ile performans göstergesi arasındaki ilişkileri görebilmek için sırası ile, (a) faktöriyel tasarım analizi (normal ve pareto plotları), (b) esas etki analizi (main effects plots), (c) etkileşim analizi (interaction plots) yapacaklardır.

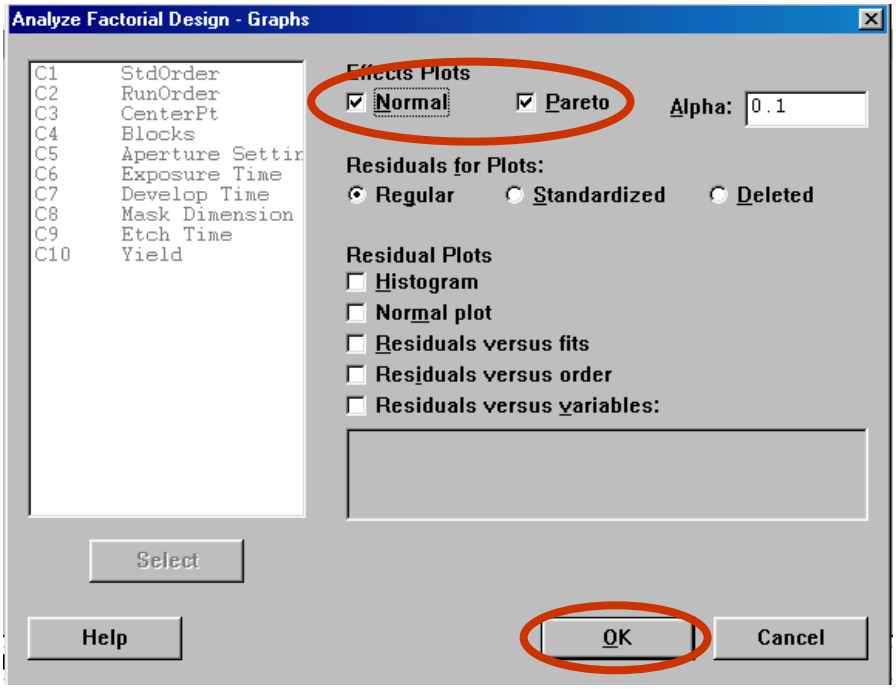
Select *Stat>DOE>Factorial>Analyze Factorial Design*



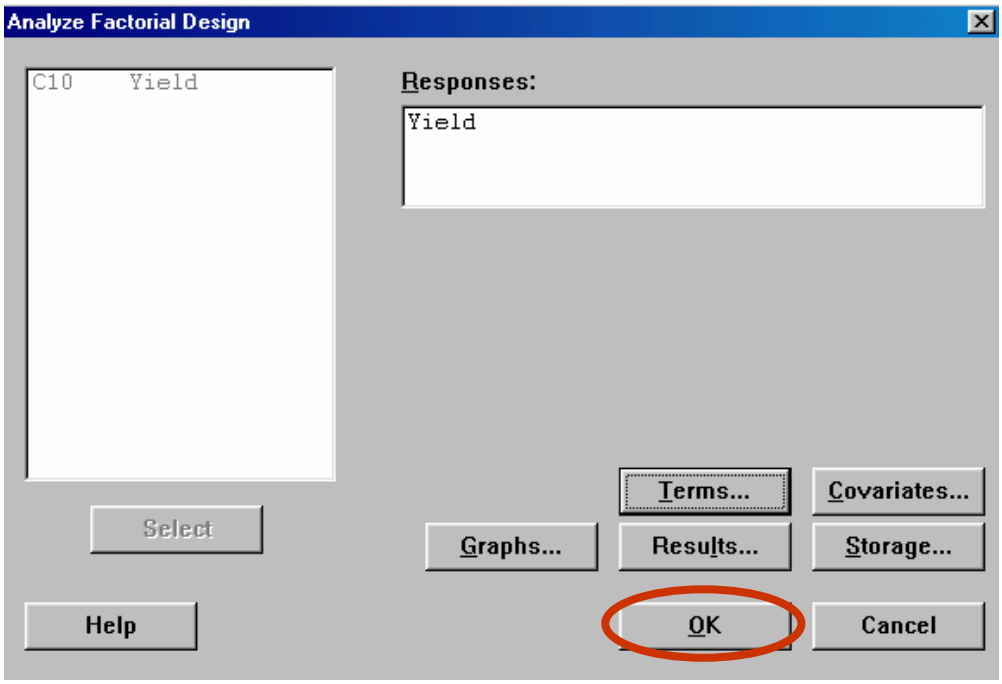
Yield performans göstergesi olarak seçilir ve *Graphs* seçeğine basılır.



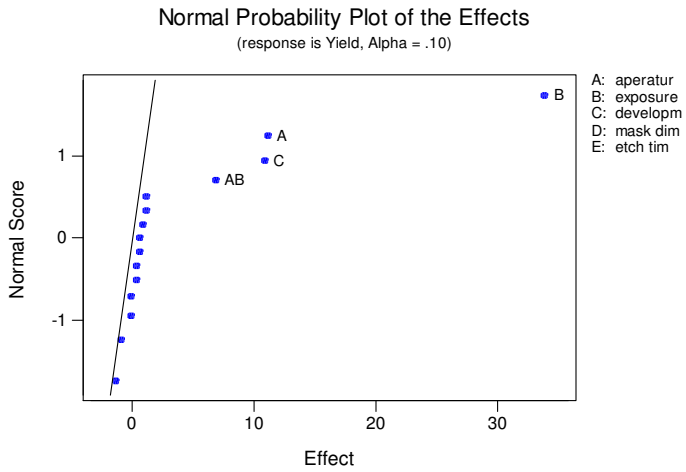
Normal ve *Pareto* Plot seçenekleri seçilir ve OK'e basılır



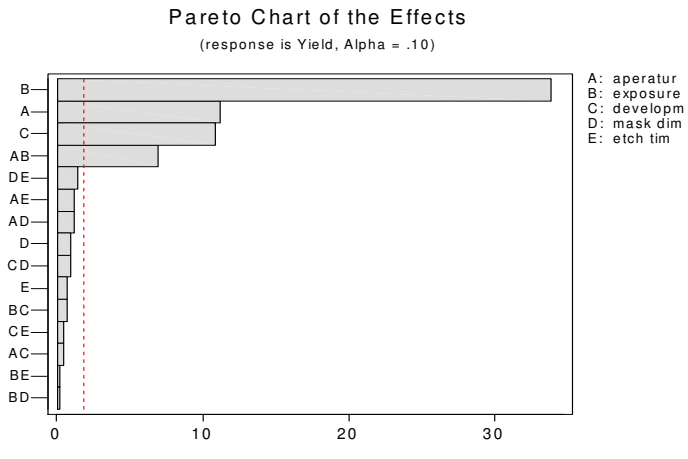
OK'e basılır



Normal Probability Plot

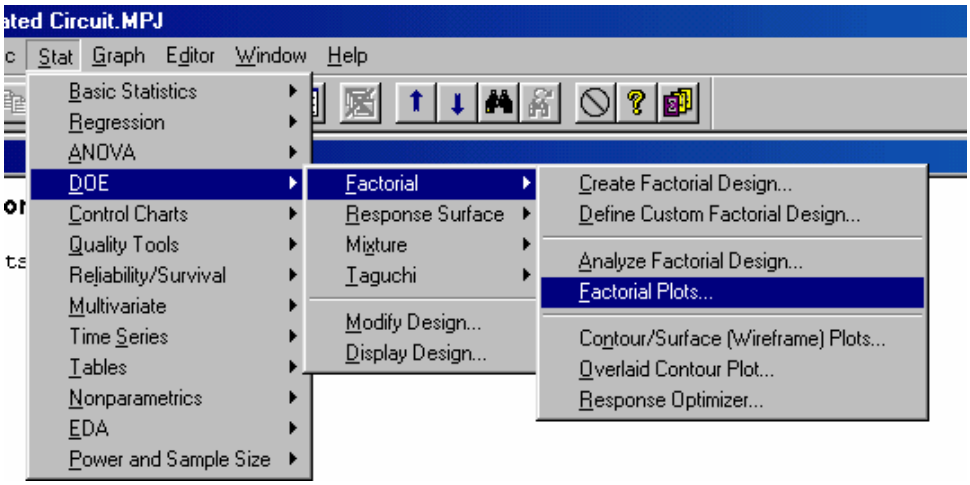


Pareto Chart

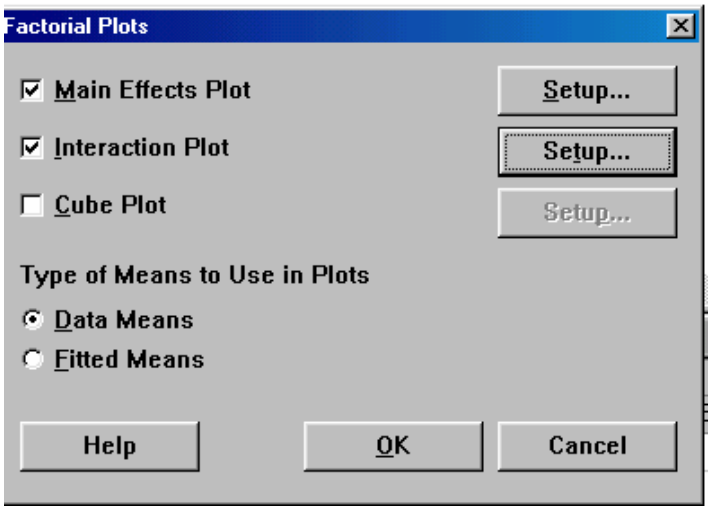


Main Effects Plots & Interaction Plots

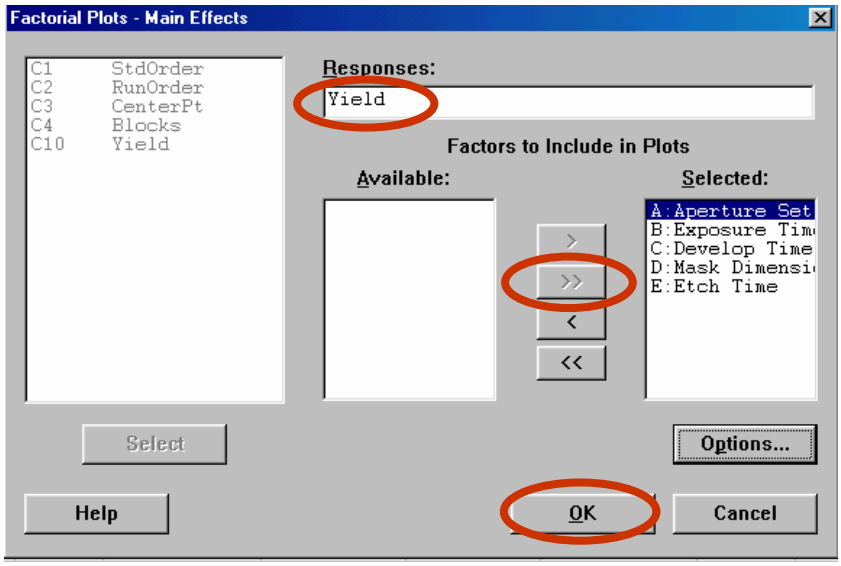
Select *Stat>DOE>Factorial>Factorial Plots*



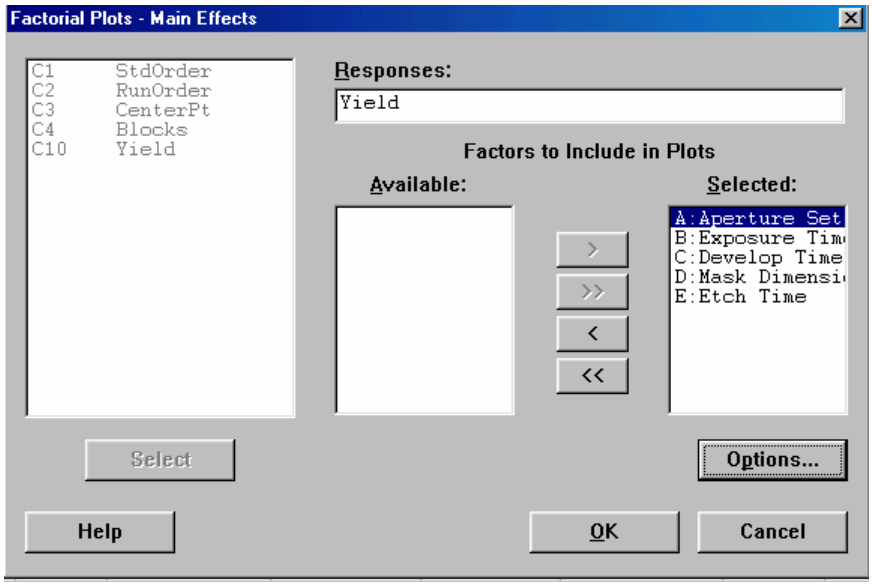
Main Effects Plot ve *Interaction Plot* seçenekleri seçilerek her iki plot içinde *Setup* tuşuna basılır



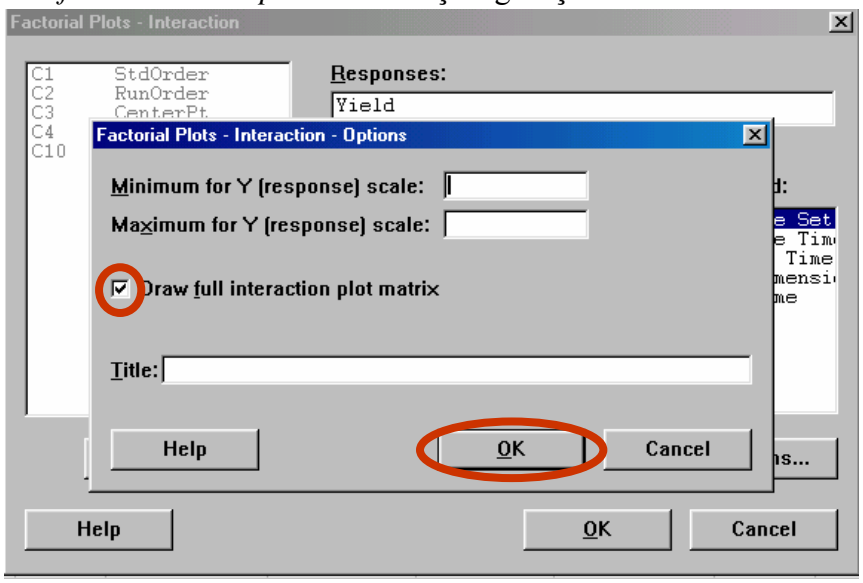
Yield performans göstergesi olarak seçilip tüm faktörleri seçmek için çift sağ-ok (“>>”) seçeneği tıkanır ve *OK*



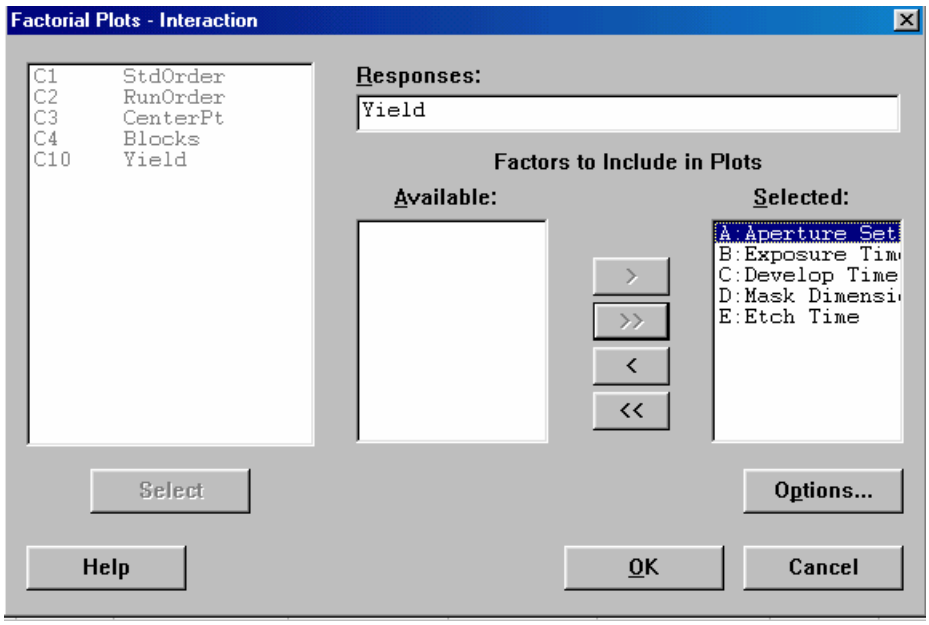
Options tuşuna basılır



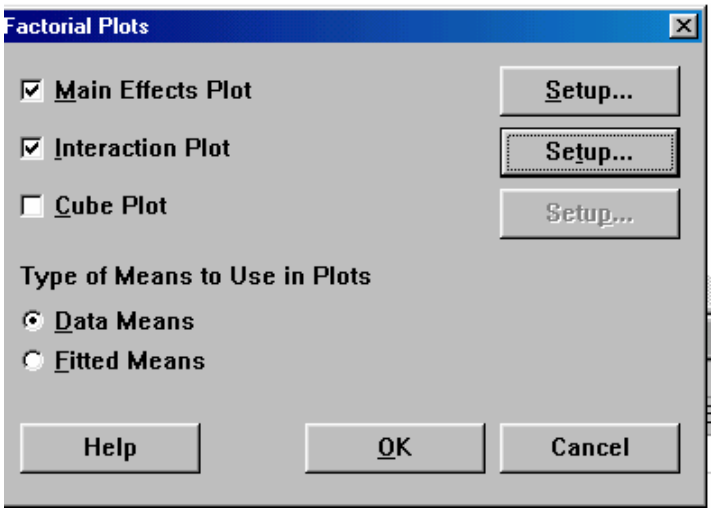
Draw full interaction plot matrix seçeneği seçilir ve *OK*



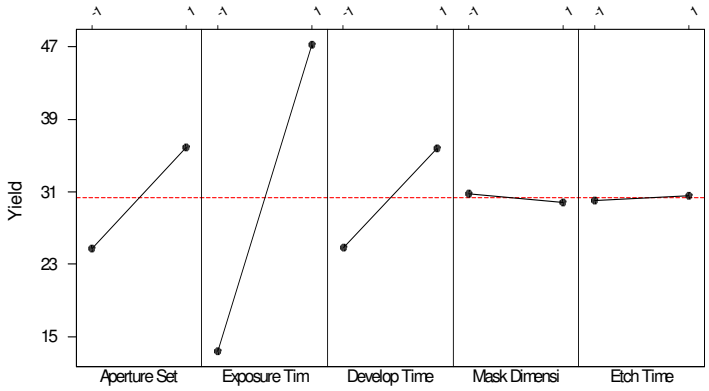
OK


Factorial Plots - Interaction
C1 StdOrder
C2 RunOrder
C3 CenterPt
C4 Blocks
C10 Yield
Responses:
Yield
Factors to Include in Plots
Available:
Selected:
A:Aperture Set
B:Exposure Tim
C:Develop Time
D:Mask Dimensi
E:Etch Time
>
>>
<
<<
Select
Options...
Help
OK
Cancel

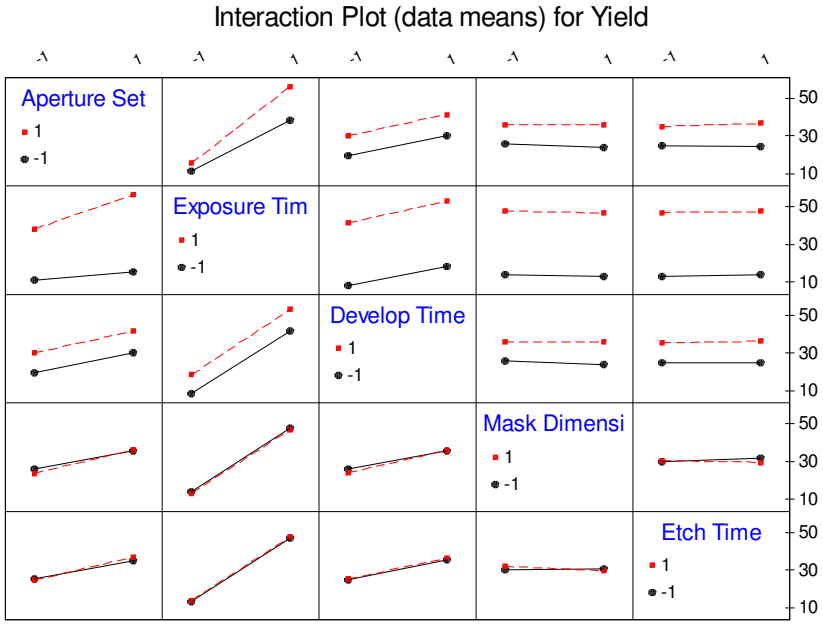
OK


Factorial Plots
Main Effects Plot
Setup...
Interaction Plot
Setup...
Cube Plot
Setup...
Type of Means to Use in Plots
Data Means
Fitted Means
Help
OK
Cancel

Main Effects Plot



Interaction Plots



EK B – Simülasyon Verileri Dağılım Analizleri

Simülasyonda kullanılan veriler Minitab programı ile analiz edilerek hangi istatsitiki dağılıma en uygun oldukları belirlenmiştir. Minitab programı içindeki "Distribution Analysis (Right Censoring) analizi bir veri grubu için en uygun dağılımı veren araçtır. Analiz sonucunda olası dağılımlar ile "Anderson-Darling Katsayısı" ile "Korelasyon Katsayısı" olmak üzere iki parametre değeri oluşmaktadır. Veri grubu için en uygun dağılımı tespit etmek için bu katsayılar kullanılır. Dağılımlar içinde korelasyon katsayısı 1.00'e en yakın dağılım o veri grubu için en uygun dağılımdır. Eğer korelasyon katsayısı eşit olan iki dağılım mevcut ise bu sefer Anderson-Darling katsayısına bakılır. Korelasyon katsayıları eşit iki dağılımdan Anderson-Darling katsayısı en küçük olan dağılım ilgili veri grubu için en uygun dağılımdır.

1. Sipariş Geliş Zamanları Dağılımı

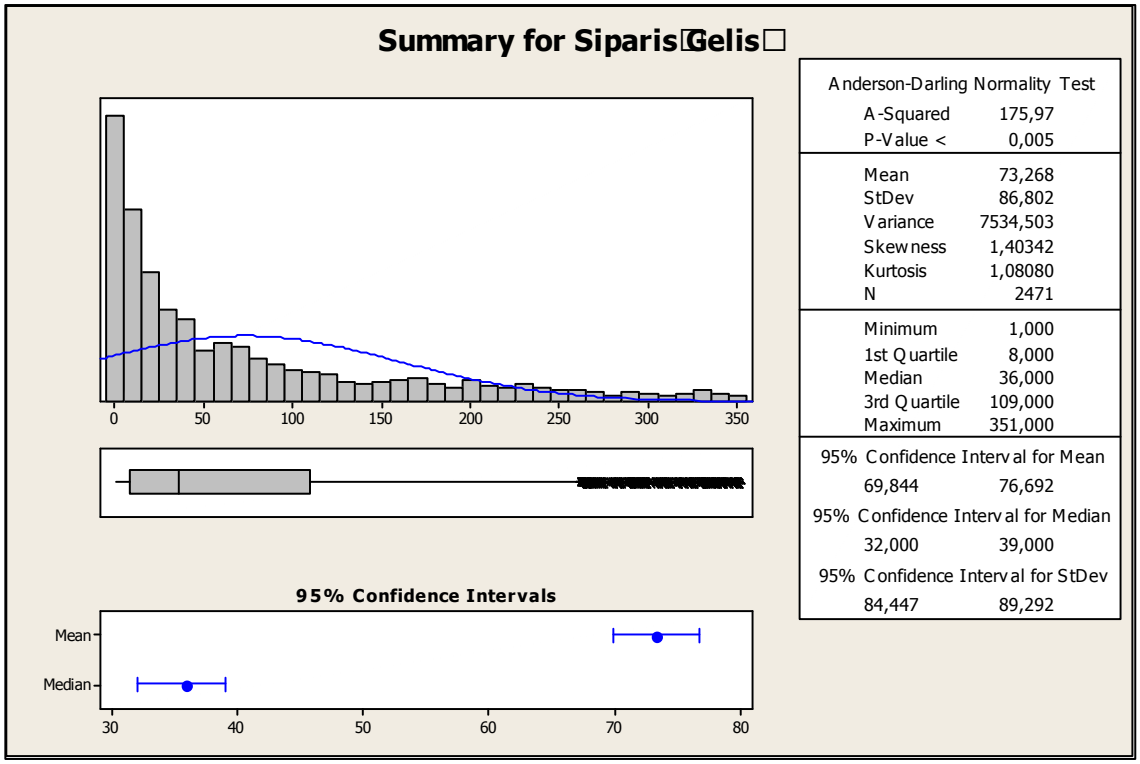
Sipariş Geliş Zamanları Dağılımları

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	43,9	0,949
Lognormal	65,067	0,959
Exponential	233,214 *	
Loglogistic	85,253	0,938
3-Parameter Weibull	36,586	0,951
3-Parameter Lognormal	**42,998**	**0,97**
2-Parameter Exponential	50,263 *	
3-Parameter Loglogistic	74,315	0,946
Smallest Extreme Value	720,79	0,768
Normal	198,318	0,894
Logistic	212,917	0,885

Table of MTTF

Distribution	Mean	Standart Error	95% Normal CI Lower	Upper
Weibull	64,95	1,67	61,76	68,31
Lognormal	112,11	5,93	101,06	124,36
Exponential	79,19	1,66	76,01	82,50
Loglogistic	354,12	74,85	234,01	535,86
3-Parameter Weibull	70,06	2,07	66,11	74,24
3-Parameter Lognormal	**79,09**	**2,77**	**73,66**	**84,52**
2-Parameter Exponential	73,33	1,71	69,97	76,69
3-Parameter Loglogistic	93,63	4,20	85,40	101,85
Smallest Extreme Value	73,24	1,43	70,44	76,03
Normal	73,27	1,56	70,21	76,33
Logistic	73,27	1,67	70,00	76,54



2. Sipariş Miktarları Dağılımı

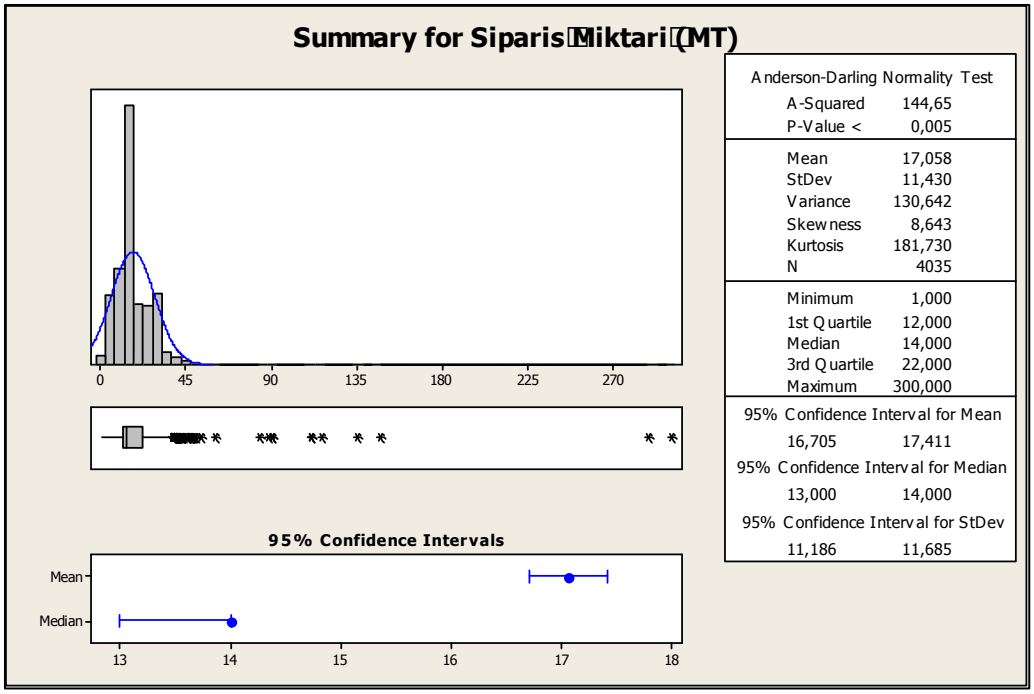
Sipariş Miktarı Dağılımları

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	52,973	0,985
Lognormal	58,859	0,969
Exponential	738,479 *	
Loglogistic	52,144	0,975
3-Parameter Weibull	50,313	0,985
3-Parameter Lognormal	**39,22**	**0,985**
2-Parameter Exponential	618,465 *	
3-Parameter Loglogistic	42,936	0,985
Smallest Extreme Value	351,069	0,725
Normal	98,605	0,81
Logistic	103,902	0,825

Table of MTTF

Distribution	Mean	Standart Error	95% Normal CI Lower	Upper
Weibull	16,76	0,13	16,51	17,02
Lognormal	17,19	0,17	16,86	17,53
Exponential	13,54	0,19	13,17	13,91
Loglogistic	17,34	0,17	17,02	17,68
3-Parameter Weibull	16,79	0,13	16,54	17,05
3-Parameter Lognormal	**16,95**	**0,15**	**16,66**	**17,23**
2-Parameter Exponential	14,03	0,18	13,67	14,40
3-Parameter Loglogistic	17,00	0,15	16,70	17,30
Smallest Extreme Value	17,06	*	*	*
Normal	17,06	0,15	16,77	17,34
Logistic	17,06	0,15	16,77	17,34



3. Makina Bazında Üretim Tonajı Rakamları (2004-2005)

ÜRETİM TON		Periyot	1. Dilme	2. Dilme	DKP	HADDE	BAND TAV	SKİNPAS	KM 2	KM 6
OCAK	2004	2004 OCAK	8.272	5.149	3.785	3.056	2.368	2.489	2.246	1.456
ŞUBAT	2004	2004 ŞUBAT	7.926	4.382	3.416	2.660	2.422	2.292	2.419	1.268
MART	2004	2004 MART	8.394	5.571	3.421	3.578	2.905	2.928	2.314	1.612
NİSAN	2004	2004 NİSAN	6.392	5.393	3.178	2.981	2.361	2.349	1.855	1.109
MAYIS	2004	2004 MAYIS	7.447	5.848	3.218	3.064	2.494	2.404	2.196	1.562
HAZİRAN	2004	2004 HAZİRAN	6.899	5.670	3.033	2.872	2.049	2.020	2.301	1.344
TEMMUZ	2004	2004 TEMMUZ	6.177	5.236	3.358	2.751	2.211	2.212	1.775	1.593
AĞUSTOS	2004	2004 AĞUSTOS	5.157	4.937	3.198	3.187	2.475	2.435	1.766	1.207
EYLUL	2004	2004 EYLUL	6.191	4.965	3.299	3.352	2.668	2.596	1.498	1.227
EKİM	2004	2004 EKİM	5.885	4.691	3.741	3.540	3.084	2.739	1.225	1.117
KASIM	2004	2004 KASIM	5.095	3.492	3.234	3.107	2.464	2.349	1.034	932
ARALIK	2004	2004 ARALIK	4.308	3.482	2.335	1.205	985	1.717	1.028	802
OCAK	2005	2005 OCAK	3.698	3.601	2.030	1.278	1.021	859	998	834
ŞUBAT	2005	2005 ŞUBAT	5.761	5.069	3.509	3.274	2.561	2.164	1.463	1.229
MART	2005	2005 MART	4.580	4.906	2.382	2.067	1.701	2.016	1.447	1.172
NİSAN	2005	2005 NİSAN	6.692	5.467	3.219	3.425	2.917	2.584	1.525	1.518
MAYIS	2005	2005 MAYIS	6.408	4.660	3.666	3.280	2.942	2.737	1.360	1.207
HAZİRAN	2005	2005 HAZİRAN	5.656	4.912	3.030	2.691	2.255	2.528	1.121	1.534
TEMMUZ	2005	2005 TEMMUZ	4.944	5.275	2.997	2.846	2.559	2.067	1.217	1.314
AĞUSTOS	2005	2005 AĞUSTOS	4.394	4.533	2.863	3.054	2.968	2.654	1.227	1.072
EYLUL	2005	2005 EYLUL	6.231	5.213	3.515	3.386	2.801	3.100	1.741	1.528
EKİM	2005	2005 EKİM	5.530	4.968	3.345	3.199	3.142	2.995	1.550	1.243
KASIM	2005	2005 KASIM	4.624	4.431	3.152	2.877	2.405	2.454	1.243	793
ARALIK	2005	2005 ARALIK	3.810	4.172	1.976	2.372	2.058	2.184	1.202	1.047
		σ	1.325	652	491	617	557	461	449	250
		Ortalama	5.853	4.834	3.121	2.879	2.409	2.370	1.573	1.238

ÜRETIM TONAJI 1. Dilme

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	0,985	0,980
Lognormal	0,658	0,993
Exponential	13,006	*
Loglogistic	0,692	0,989
3-Parameter Weibull	**0,650**	**0,994**
3-Parameter Lognormal	0,650	0,993
2-Parameter Exponential	3,197	*
3-Parameter Loglogistic	0,678	0,989
Smallest Extreme Value	1,728	0,954
Normal	0,705	0,989
Logistic	0,701	0,986

ÜRETIM TONAJI 2. Dilme

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	0,748	0,978
Lognormal	1,338	0,948
Exponential	17,018	*
Loglogistic	1,303	0,948
3-Parameter Weibull	**0,669**	**0,984**
3-Parameter Lognormal	1,025	0,968
2-Parameter Exponential	6,767	*
3-Parameter Loglogistic	1,016	0,967
Smallest Extreme Value	0,670	0,984
Normal	1,023	0,969
Logistic	1,009	0,968

ÜRETIM TONAJI DKP

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1,185	0,960
Lognormal	2,069	0,910
Exponential	16,487	*
Loglogistic	2,028	0,913
3-Parameter Weibull	0,922	0,973
3-Parameter Lognormal	1,562	0,939
2-Parameter Exponential	8,444	*
3-Parameter Loglogistic	1,524	0,941
Smallest Extreme Value	**0,917**	**0,974**
Normal	1,556	0,940
Logistic	1,520	0,942

ÜRETIM TONAJI Hadde

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1,756	0,914
Lognormal	2,868	0,836
Exponential	15,001	*
Loglogistic	2,696	0,845
3-Parameter Weibull	1,030	0,960
3-Parameter Lognormal	1,824	0,904
2-Parameter Exponential	10,742	*
3-Parameter Loglogistic	1,721	0,909
Smallest Extreme Value	**1,014**	**0,961**
Normal	1,811	0,906
Logistic	1,712	0,911

ÜRETIM TONAJI BandTav

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1,357	0,931
Lognormal	2,305	0,866
Exponential	13,978	*
Loglogistic	2,126	0,874
3-Parameter Weibull	0,851	0,973
3-Parameter Lognormal	1,350	0,936
2-Parameter Exponential	9,569	*
3-Parameter Loglogistic	1,249	0,940
Smallest Extreme Value	**0,848**	**0,974**
Normal	1,335	0,938
Logistic	1,240	0,941

ÜRETIM TONAJI SKP

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1,156	0,907
Lognormal	1,747	0,843
Exponential	15,309	*
Loglogistic	1,597	0,857
3-Parameter Weibull	0,845	0,968
3-Parameter Lognormal	1,015	0,938
2-Parameter Exponential	11,961	*
3-Parameter Loglogistic	0,913	0,947
Smallest Extreme Value	**0,850**	**0,970**
Normal	1,009	0,940
Logistic	0,913	0,949

ÜRETIM TONAJI KM 2

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	2,032	0,942
Lognormal	0,914	0,978
Exponential	11,052	*
Loglogistic	0,993	0,970
3-Parameter Weibull	**0,754**	**0,988**
3-Parameter Lognormal	0,799	0,984
2-Parameter Exponential	1,371	*
3-Parameter Loglogistic	0,881	0,976
Smallest Extreme Value	3,321	0,906
Normal	1,236	0,962
Logistic	1,279	0,954

ÜRETIM TONAJI KM 6

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	0,892	0,981
Lognormal	0,978	0,970
Exponential	14,150	*
Loglogistic	0,989	0,965
3-Parameter Weibull	0,851	0,981
3-Parameter Lognormal	**0,844**	**0,981**
2-Parameter Exponential	4,558	*
3-Parameter Loglogistic	0,879	0,975
Smallest Extreme Value	1,230	0,972
Normal	**0,844**	**0,981**
Logistic	0,880	0,975

4. Makina Bazında Ton/Brüt Vardiya Tonaj Rakamları (2004-2005)

TON/BRÜT VARDİYA			1. Dilme	2. Dilme	DKP	HADDE	BAND TAV	SKİNPAS	KM 2	KM 6
OCAK	2004	2004 OCAK	115	72	45	38	25	49	32	21
ŞUBAT	2004	2004 ŞUBAT	128	67	42	38	29	57	39	21
MART	2004	2004 MART	119	70	37	42	31	51	35	22
NİSAN	2004	2004 NİSAN	127	74	38	38	27	50	32	21
MAYIS	2004	2004 MAYIS	129	77	36	41	27	51	33	23
HAZİRAN	2004	2004 HAZİRAN	127	76	38	41	25	43	35	21
TEMMUZ	2004	2004 TEMMUZ	122	70	44	41	25	48	32	23
AĞUSTOS	2004	2004 AĞUSTOS	110	69	42	48	28	51	28	27
EYLUL	2004	2004 EYLUL	120	66	40	44	30	53	29	24
EKİM	2004	2004 EKİM	115	63	40	42	33	52	27	23
KASIM	2004	2004 KASIM	115	59	41	44	29	46	28	24
ARALIK	2004	2004 ARALIK	105	58	37	41	25	41	24	18
OCAK	2005	2005 OCAK	97	63	34	41	25	42	24	18
ŞUBAT	2005	2005 ŞUBAT	120	69	42	45	30	49	24	21
MART	2005	2005 MART	110	68	35	44	28	42	27	22
NİSAN	2005	2005 NİSAN	123	70	36	41	31	46	23	21
MAYIS	2005	2005 MAYIS	123	61	39	42	32	45	20	19
HAZİRAN	2005	2005 HAZİRAN	117	62	37	43	27	40	22	21
TEMMUZ	2005	2005 TEMMUZ	116	66	39	41	28	47	20	19
AĞUSTOS	2005	2005 AĞUSTOS	117	69	37	41	32	47	21	19
EYLUL	2005	2005 EYLUL	117	65	40	42	31	49	24	19
EKİM	2005	2005 EKİM	115	67	38	39	34	45	23	19
KASIM	2005	2005 KASIM	126	67	39	41	27	46	24	18
ARALIK	2005	2005 ARALIK	112	71	29	37	30	40	22	19
		σ	8	5	3	2	3	4	5	2
		Ortalama	118	67	39	41	29	47	27	21

TON/BRÜT VARDIYA 1. Dilme

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	0,825	0,985
Lognormal	0,928	0,962
Exponential	20,024	*
Loglogistic	0,892	0,965
3-Parameter Weibull	**0,888**	**0,987**
3-Parameter Lognormal	0,859	0,971
2-Parameter Exponential	9,466	*
3-Parameter Loglogistic	0,834	0,973
Smallest Extreme Value	0,895	0,987
Normal	0,858	0,971
Logistic	0,833	0,973

TON/BRÜT VARDIYA 2. Dilme

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	0,985	0,984
Lognormal	0,734	0,991
Exponential	19,456	*
Loglogistic	0,727	0,991
3-Parameter Weibull	**0,724**	**0,993**
3-Parameter Lognormal	0,710	0,992
2-Parameter Exponential	5,185	*
3-Parameter Loglogistic	0,690	0,992
Smallest Extreme Value	1,179	0,977
Normal	0,710	0,992
Logistic	0,690	0,992

TON/BRÜT VARDIYA DKP

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	0,948	0,975
Lognormal	0,910	0,958
Exponential	18,949	*
Loglogistic	0,837	0,966
3-Parameter Weibull	1,046	0,976
3-Parameter Lognormal	0,836	0,973
2-Parameter Exponential	9,735	*
3-Parameter Loglogistic	**0,770**	**0,979**
Smallest Extreme Value	1,128	0,976
Normal	0,836	0,973
Logistic	0,771	0,979

TON/BRÜT VARDIYA Hadde

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	2,247	0,937
Lognormal	1,309	0,963
Exponential	20,095	*
Loglogistic	1,238	0,968
3-Parameter Weibull	1,364	0,963
3-Parameter Lognormal	1,321	0,964
2-Parameter Exponential	4,904	*
3-Parameter Loglogistic	**1,262**	**0,969**
Smallest Extreme Value	2,635	0,926
Normal	1,323	0,959
Logistic	1,233	0,965

TON/BRÜT VARDIYA BandTav

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1,217	0,959
Lognormal	0,786	0,985
Exponential	18,334	*
Loglogistic	0,906	0,977
3-Parameter Weibull	0,794	0,981
3-Parameter Lognormal	0,783	0,985
2-Parameter Exponential	2,711	*
3-Parameter Loglogistic	0,899	0,977
Smallest Extreme Value	1,406	0,952
Normal	**0,785**	**0,985**
Logistic	0,897	0,977

TON/BRÜT VARDIYA SKP

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1,014	0,971
Lognormal	0,735	0,988
Exponential	18,448	*
Loglogistic	0,769	0,985
3-Parameter Weibull	0,739	0,985
3-Parameter Lognormal	**0,719**	**0,989**
2-Parameter Exponential	3,628	*
3-Parameter Loglogistic	0,737	0,986
Smallest Extreme Value	1,248	0,961
Normal	0,710	0,988
Logistic	0,725	0,986

TON/BRÜT VARDIYA KM 2

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	2,031	0,937
Lognormal	0,969	0,979
Exponential	14,081	*
Loglogistic	1,077	0,973
3-Parameter Weibull	**0,813**	**0,985**
3-Parameter Lognormal	0,844	0,985
2-Parameter Exponential	1,946	*
3-Parameter Loglogistic	0,945	0,979
Smallest Extreme Value	2,762	0,912
Normal	1,138	0,968
Logistic	1,216	0,963

TON/BRÜT VARDIYA KM 6

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	2,306	0,920
Lognormal	1,146	0,966
Exponential	17,760	*
Loglogistic	1,179	0,964
3-Parameter Weibull	1,164	0,963
3-Parameter Lognormal	**1,148**	**0,971**
2-Parameter Exponential	2,915	*
3-Parameter Loglogistic	1,233	0,967
Smallest Extreme Value	2,938	0,903
Normal	1,201	0,958
Logistic	1,186	0,957

5. Makina Bazında Net Çalışma Oranları (2004-2005)

NET ÇALIŞMA ORANI (%)			1. Dilme	2. Dilme	DKP	HADDE	BAND TAV	SKİNPAS	KM 2	KM 6
OCAK	2004	2004 OCAK	78	88	99	85	100	84	70	58
ŞUBAT	2004	2004 ŞUBAT	82	85	98	85	100	85	70	58
MART	2004	2004 MART	74	87	98	86	100	87	66	56
NİSAN	2004	2004 NİSAN	74	88	99	84	100	86	66	62
MAYIS	2004	2004 MAYIS	79	87	97	83	100	88	74	62
HAZİRAN	2004	2004 HAZİRAN	82	88	93	83	100	84	72	65
TEMMUZ	2004	2004 TEMMUZ	81	89	96	86	100	90	67	63
AĞUSTOS	2004	2004 AĞUSTOS	78	89	97	90	100	86	60	72
EYLUL	2004	2004 EYLUL	79	88	96	89	100	88	63	68
EKİM	2004	2004 EKİM	76	84	96	90	100	85	64	66
KASIM	2004	2004 KASIM	79	88	98	91	100	83	63	72
ARALIK	2004	2004 ARALIK	77	84	99	91	100	79	62	62
OCAK	2005	2005 OCAK	73	85	93	83	100	85	60	63
ŞUBAT	2005	2005 ŞUBAT	79	87	97	85	100	89	62	64
MART	2005	2005 MART	78	87	97	56	100	91	65	72
NİSAN	2005	2005 NİSAN	81	89	98	86	100	91	60	73
MAYIS	2005	2005 MAYIS	79	88	99	88	100	93	65	71
HAZİRAN	2005	2005 HAZİRAN	81	89	93	88	100	88	67	67
TEMMUZ	2005	2005 TEMMUZ	81	89	98	84	100	90	65	71
AĞUSTOS	2005	2005 AĞUSTOS	77	87	98	92	100	92	65	66
EYLUL	2005	2005 EYLUL	76	86	97	90	100	91	66	69
EKİM	2005	2005 EKİM	77	85	94	88	100	89	67	69
KASIM	2005	2005 KASIM	80	88	98	86	100	88	71	66
ARALIK	2005	2005 ARALIK	77	86	84	90	100	90	72	68
		σ	3	2	3	7	0	3	4	5
		Ortalama	78	87	96	86	100	88	66	66

NET ÇALIŞMA ORANLARI 1. Dilme

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	0,963	0,983
Lognormal	0,900	0,978
Exponential	21,455	*
Loglogistic	0,925	0,975
3-Parameter Weibull	**0,839**	**0,986**
3-Parameter Lognormal	0,879	0,980
2-Parameter Exponential	6,295	*
3-Parameter Loglogistic	0,906	0,976
Smallest Extreme Value	1,011	0,982
Normal	0,878	0,980
Logistic	0,906	0,976

NET ÇALIŞMA ORANLARI 2. Dilme

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1,176	0,970
Lognormal	1,431	0,951
Exponential	22,166	*
Loglogistic	1,542	0,945
3-Parameter Weibull	**1,169**	**0,970**
3-Parameter Lognormal	1,410	0,952
2-Parameter Exponential	6,269	*
3-Parameter Loglogistic	1,521	0,946
Smallest Extreme Value	1,182	0,970
Normal	1,409	0,952
Logistic	1,520	0,946

NET ÇALIŞMA ORANLARI DKP

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1,762	0,896
Lognormal	2,526	0,814
Exponential	21,849	*
Loglogistic	2,484	0,824
3-Parameter Weibull	1,666	0,906
3-Parameter Lognormal	2,407	0,827
2-Parameter Exponential	14,888	*
3-Parameter Loglogistic	2,378	0,837
Smallest Extreme Value	**1,663**	**0,906**
Normal	2,406	0,827
Logistic	2,375	0,837

NET ÇALIŞMA ORANLARI Hadde

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	2,195	0,781
Lognormal	3,154	0,698
Exponential	20,584	*
Loglogistic	2,872	0,715
3-Parameter Weibull	1,758	0,820
3-Parameter Lognormal	2,545	0,745
2-Parameter Exponential	16,611	*
3-Parameter Loglogistic	2,317	0,761
Smallest Extreme Value	**1,746**	**0,821**
Normal	2,547	0,747
Logistic	2,305	0,762

NET ÇALIŞMA ORANLARI BandTav

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	0,753	0,989
Lognormal	0,838	0,975
Exponential	21,212	*
Loglogistic	0,880	0,976
3-Parameter Weibull	**0,751**	**0,989**
3-Parameter Lognormal	0,807	0,979
2-Parameter Exponential	8,777	*
3-Parameter Loglogistic	0,853	0,979
Smallest Extreme Value	0,783	0,989
Normal	0,807	0,979
Logistic	0,853	0,979

NET ÇALIŞMA ORANLARI KM 2

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1,808	0,950
Lognormal	**0,832**	**0,984**
Exponential	19,966	*
Loglogistic	0,840	0,980
3-Parameter Weibull	0,848	0,978
3-Parameter Lognormal	0,795	0,985
2-Parameter Exponential	3,530	*
3-Parameter Loglogistic	0,809	0,981
Smallest Extreme Value	2,057	0,943
Normal	0,874	0,981
Logistic	0,878	0,978

NET ÇALIŞMA ORANLARI KM 6

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	0,828	0,986
Lognormal	0,854	0,978
Exponential	19,519	*
Loglogistic	0,904	0,973
3-Parameter Weibull	**0,754**	**0,988**
3-Parameter Lognormal	0,805	0,982
2-Parameter Exponential	6,075	*
3-Parameter Loglogistic	0,864	0,977
Smallest Extreme Value	0,914	0,983
Normal	0,804	0,982
Logistic	0,863	0,977

6. Makina Bazında Toplam Duruş Oranları (2004-2005)

TOPLAM DURUŞ ORANI (%)			1. Dilme	2. Dilme	DKP	HADDE	BAND TAV	SKİNPAS	KM 2	KM 6
OCAK	2004	2004 OCAK	22	12	1	15	0	16	30	42
ŞUBAT	2004	2004 ŞUBAT	18	15	2	15	0	15	30	42
MART	2004	2004 MART	26	13	2	14	0	13	34	44
NİSAN	2004	2004 NİSAN	26	12	1	16	0	14	34	38
MAYIS	2004	2004 MAYIS	21	13	3	17	0	12	26	38
HAZİRAN	2004	2004 HAZİRAN	18	12	7	17	0	16	28	35
TEMMUZ	2004	2004 TEMMUZ	19	11	4	14	0	10	33	37
AĞUSTOS	2004	2004 AĞUSTOS	22	11	3	10	0	14	40	28
EYLUL	2004	2004 EYLUL	21	12	4	11	0	12	37	32
EKİM	2004	2004 EKİM	24	16	4	10	0	15	36	34
KASIM	2004	2004 KASIM	21	12	2	9	0	17	37	28
ARALIK	2004	2004 ARALIK	23	16	1	9	0	21	38	38
OCAK	2005	2005 OCAK	28	15	7	17	0	15	40	37
ŞUBAT	2005	2005 ŞUBAT	21	13	3	15	0	11	38	36
MART	2005	2005 MART	22	13	3	44	0	9	35	28
NİSAN	2005	2005 NİSAN	19	11	2	14	0	9	40	27
MAYIS	2005	2005 MAYIS	21	12	1	12	0	7	35	29
HAZİRAN	2005	2005 HAZİRAN	19	11	7	12	0	12	33	33
TEMMUZ	2005	2005 TEMMUZ	19	11	2	16	0	10	35	29
AĞUSTOS	2005	2005 AĞUSTOS	23	13	2	8	0	8	35	34
EYLUL	2005	2005 EYLUL	24	14	3	10	0	9	34	31
EKİM	2005	2005 EKİM	23	15	6	12	0	11	33	31
KASIM	2005	2005 KASIM	20	12	2	14	0	12	29	34
ARALIK	2005	2005 ARALIK	23	14	16	10	0	10	28	32
		σ	3	2	3	7	0	3	4	5
		Ortalama	22	13	4	14	0	12	34	34

TOPLAM DURUŞ ORANLARI 1. Dilme

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1,761	0,947
Lognormal	0,836	0,983
Exponential	17,240	*
Loglogistic	0,830	0,981
3-Parameter Weibull	0,841	0,980
3-Parameter Lognormal	**0,823**	**0,986**
2-Parameter Exponential	2,746	*
3-Parameter Loglogistic	0,843	0,983
Smallest Extreme Value	2,345	0,928
Normal	0,912	0,976
Logistic	0,869	0,975

TOPLAM DURUŞ ORANLARI 2. Dilme

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	2,957	0,907
Lognormal	1,290	0,959
Exponential	17,069	*
Loglogistic	1,353	0,952
3-Parameter Weibull	1,314	0,946
3-Parameter Lognormal	**1,161**	**0,966**
2-Parameter Exponential	5,161	*
3-Parameter Loglogistic	1,242	0,957
Smallest Extreme Value	3,559	0,892
Normal	1,420	0,952
Logistic	1,464	0,946

TOPLAM DURUŞ ORANLARI DKP

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	2,319	0,926
Lognormal	1,086	0,968
Exponential	2,182	*
Loglogistic	1,043	0,967
3-Parameter Weibull	1,294	0,951
3-Parameter Lognormal	**1,078**	**0,970**
2-Parameter Exponential	1,510	*
3-Parameter Loglogistic	1,040	0,969
Smallest Extreme Value	5,278	0,730
Normal	2,670	0,827
Logistic	2,249	0,837

TOPLAM DURUŞ ORANLARI Hadde

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	3,272	0,853
Lognormal	1,436	0,905
Exponential	8,722	*
Loglogistic	1,138	0,913
3-Parameter Weibull	1,496	0,965
3-Parameter Lognormal	1,172	0,959
2-Parameter Exponential	1,645	*
3-Parameter Loglogistic	**1,108**	**0,965**
Smallest Extreme Value	4,478	0,664
Normal	3,100	0,747
Logistic	2,200	0,762

TOPLAM DURUŞ ORANLARI SKP

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1,127	0,975
Lognormal	**0,720**	**0,992**
Exponential	11,689	*
Loglogistic	0,760	0,990
3-Parameter Weibull	0,739	0,992
3-Parameter Lognormal	**0,720**	**0,992**
2-Parameter Exponential	3,435	*
3-Parameter Loglogistic	0,760	0,990
Smallest Extreme Value	2,160	0,934
Normal	0,834	0,979
Logistic	0,819	0,979

TOPLAM DURUŞ ORANLARI KM 2

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	0,845	0,985
Lognormal	0,987	0,974
Exponential	17,611	*
Loglogistic	1,034	0,971
3-Parameter Weibull	**0,808**	**0,986**
3-Parameter Lognormal	0,873	0,981
2-Parameter Exponential	5,940	*
3-Parameter Loglogistic	0,910	0,977
Smallest Extreme Value	0,980	0,980
Normal	0,871	0,981
Logistic	0,908	0,978

TOPLAM DURUŞ ORANLARI KM 6

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1,428	0,955
Lognormal	0,758	0,986
Exponential	16,274	*
Loglogistic	0,812	0,980
3-Parameter Weibull	0,775	0,986
3-Parameter Lognormal	**0,759**	**0,987**
2-Parameter Exponential	2,236	*
3-Parameter Loglogistic	0,822	0,981
Smallest Extreme Value	1,917	0,938
Normal	0,807	0,982
Logistic	0,829	0,977

7. Analiz Sonuçları

Veri analizleri sonucunda, "sipariş geliş zamanları" ve "sipariş miktarları" verilerinin 3-parametreli log-normal dağılıma uyduğu görülmüştür. MS© Excel, log-normal dağılım için ters dönüşüm yapabildiğinden dolayı bu verilerin log-normal dağıldığı kabul edilmiş, simülasyon çalışması sırasında da rassal sayılar bu şekilde üretilmiştir. Diğer veriler için farklı farklı uygun dağılımlar tespit edilmiştir. Ancak normal dağılım, geriye kalan tüm veriler için en uygun olmasa da uygun dağılıma yakın katsayılara sahip olduğu için simülasyon çalışmasında diğer veriler normal dağılmış gibi kabul edilmiştir. Bu veriler için normal rassal sayılar türetilmiştir.

EK C – Anova Analizleri

1. Ortalama WIP Miktarı

Two-way ANOVA: Ortalama WIP versus Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu

```
Source             DF        SS        MS        F      P
Kanban Sayisi       2  32423307  16211653  4801,73  0,000
Kanban Buyuklugu    2   1995603    997802   295,54  0,000
Interaction         4   5869721   1467430   434,64  0,000
Error             891   3008201      3376
Total             899  43296832

S = 58,11   R-Sq = 93,05%   R-Sq(adj) = 92,99%


                Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban          Pooled StDev
Sayisi     Mean ---+---------+---------+---------+------
1       327,109 *)
2       609,874                      (*
4       788,100                                  (*
                ---+---------+---------+---------+------
                 360       480       600       720


                  Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban            Pooled StDev
Buyuklugu    Mean -----+---------+---------+---------+----
 750       512,806 (-*)
1000       585,587                    (-*-)
1250       626,690                               (-*-)
                  -----+---------+---------+---------+----
                     525       560       595       630
```

Two-way ANOVA: Ortalama WIP versus Kanban Sayisi; Dagilim

```
Source          DF        SS        MS        F      P
Kanban Sayisi    2  32423307  16211653  1475,65  0,000
Dagilim          1    687698    687698    62,60  0,000
Interaction      2    364262    182131    16,58  0,000
Error          894   9821566     10986
Total          899  43296832

S = 104,8   R-Sq = 77,32%   R-Sq(adj) = 77,19%


                Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban          Pooled StDev
Sayisi     Mean ---------+---------+---------+---------+
```

```
1       327,109  (*)
2       609,874                    (*
4       788,100                              (*
                 ---------+---------+---------+---------+
                        450       600       750       900

                     Individual 95% CIs For Mean Based on
                     Pooled StDev
Dagilim        Mean   -+---------+---------+---------+--------
Log-Normal  602,670                              (----*----)
Normal      547,385   (----*----)
                      -+---------+---------+---------+--------
                     540       560       580       600
```

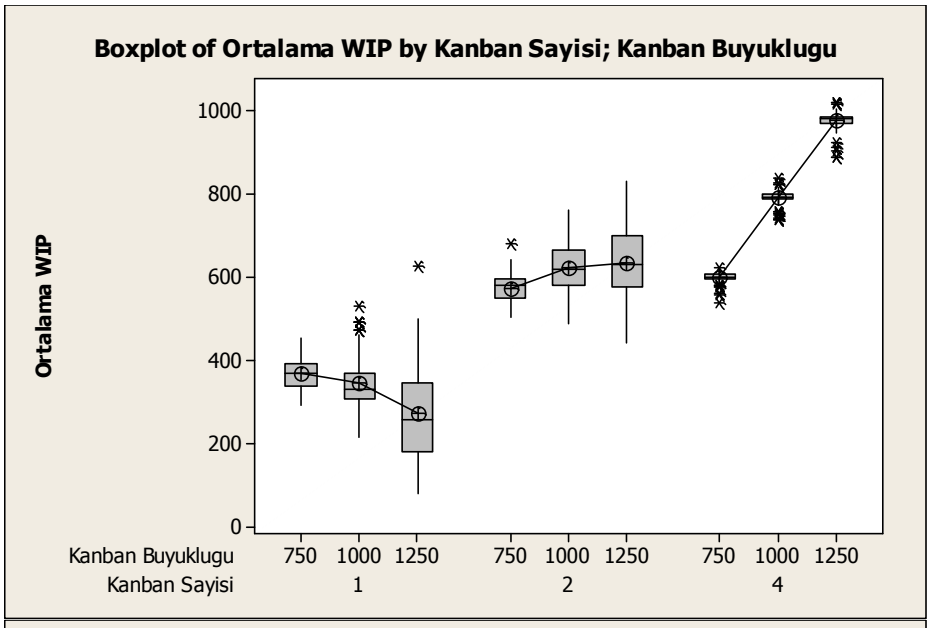
Two-way ANOVA: Ortalama WIP versus Kanban Buyuklugu; Dagilim

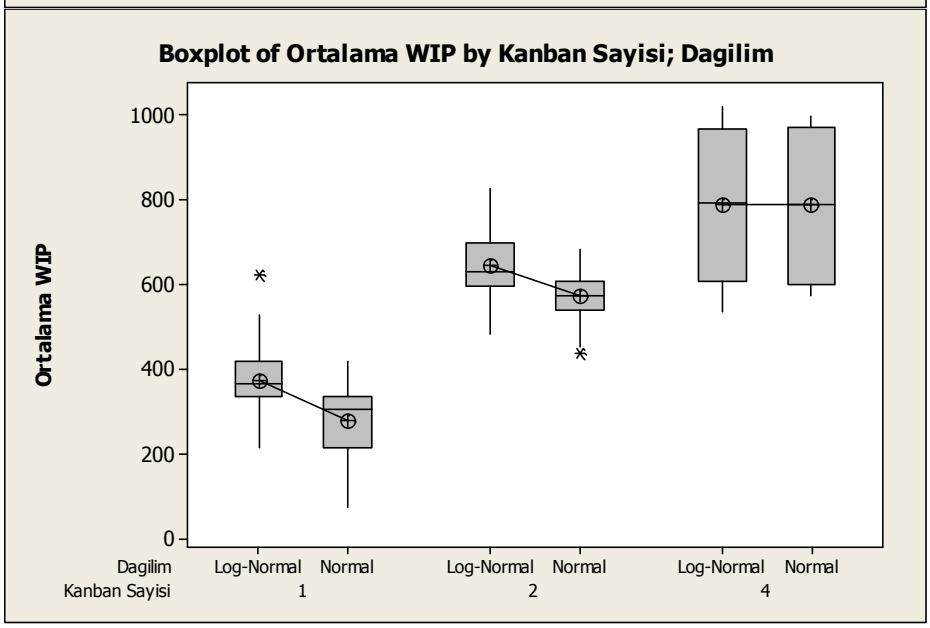
```
Source             DF        SS      MS      F      P
Kanban Buyuklugu    2   1995603  997802  22,05  0,000
Dagilim             1    687698  687698  15,20  0,000
Interaction         2    164081   82041   1,81  0,164
Error             894  40449450   45245
Total             899  43296832

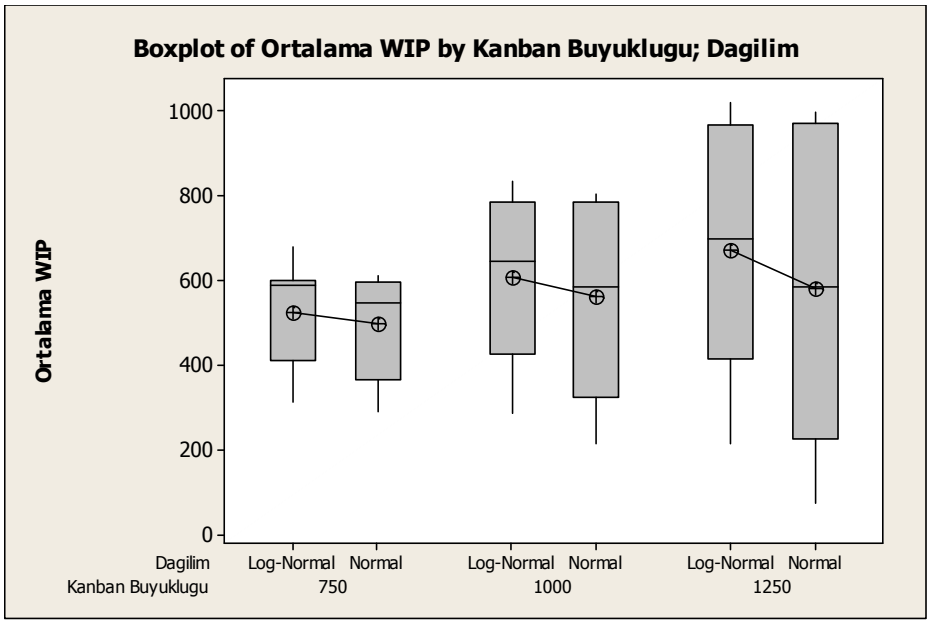
S = 212,7   R-Sq = 6,58%   R-Sq(adj) = 6,05%


                     Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban               Pooled StDev
Buyuklugu     Mean  --+---------+---------+---------+-------
 750       512,806  (----*---)
1000       585,587               (----*----)
1250       626,690                         (---*----)
                    --+---------+---------+---------+-------
                    500       550       600       650

                     Individual 95% CIs For Mean Based on
                     Pooled StDev
Dagilim        Mean  ---------+---------+---------+---------+
Log-Normal  602,670                         (-------*-------)
Normal      547,385  (-------*-------)
                     ---------+---------+---------+---------+
                            550       575       600       625
```


Boxplot of Ortalama WIP by Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu
Ortalama WIP
1000
800
600
400
200
0
Kanban Buyuklugu
750
1000
1250
750
1000
1250
750
1000
1250
Kanban Sayisi
1
2
4


Boxplot of Ortalama WIP by Kanban Sayisi; Dagilim
Ortalama WIP
1000
800
600
400
200
0
Dagilim
Log-Normal
Normal
Log-Normal
Normal
Log-Normal
Normal
Kanban Sayisi
1
2
4



2. Ortalama Kanban Hareketi

Two-way ANOVA: Ort. Kanban Hareketi versus Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu

```
Source             DF       SS       MS        F      P
Kanban Sayisi       2  5420,76  2710,38  1601,22  0,000
Kanban Buyuklugu    2  1722,30   861,15   508,74  0,000
Interaction         4   375,06    93,76    55,39  0,000
Error             891  1508,19     1,69
Total             899  9026,31

S = 1,301   R-Sq = 83,29%   R-Sq(adj) = 83,14%


                Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban          Pooled StDev
Sayisi     Mean -----+---------+---------+---------+----
1       2,51667 (*)
2       5,24667                   (*)
4       8,52000                                     (*)
                -----+---------+---------+---------+----
                   3,2       4,8       6,4       8,0


                  Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban            Pooled StDev
Buyuklugu     Mean  -+---------+---------+---------+--------
 750       7,31333                                     (*-)
1000       4,93667            (*-)
1250       4,03333   (*-)
                  -+---------+---------+---------+--------
                  4,0       5,0       6,0       7,0
```

Two-way ANOVA: Ort. Kanban Hareketi versus Kanban Sayisi; Dagilim

```
Source          DF       SS       MS       F      P
Kanban Sayisi    2  5420,76  2710,38  832,46  0,000
Dagilim          1   521,36   521,36  160,13  0,000
Interaction      2   173,43    86,71   26,63  0,000
Error          894  2910,75     3,26
Total          899  9026,31

S = 1,804   R-Sq = 67,75%   R-Sq(adj) = 67,57%


                 Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban           Pooled StDev
Sayisi     Mean  --------+---------+---------+---------+-
1       2,51667  (*)
2       5,24667               (*)
4       8,52000                                 (*)
                 --------+---------+---------+---------+-
                       4,0       6,0       8,0      10,0

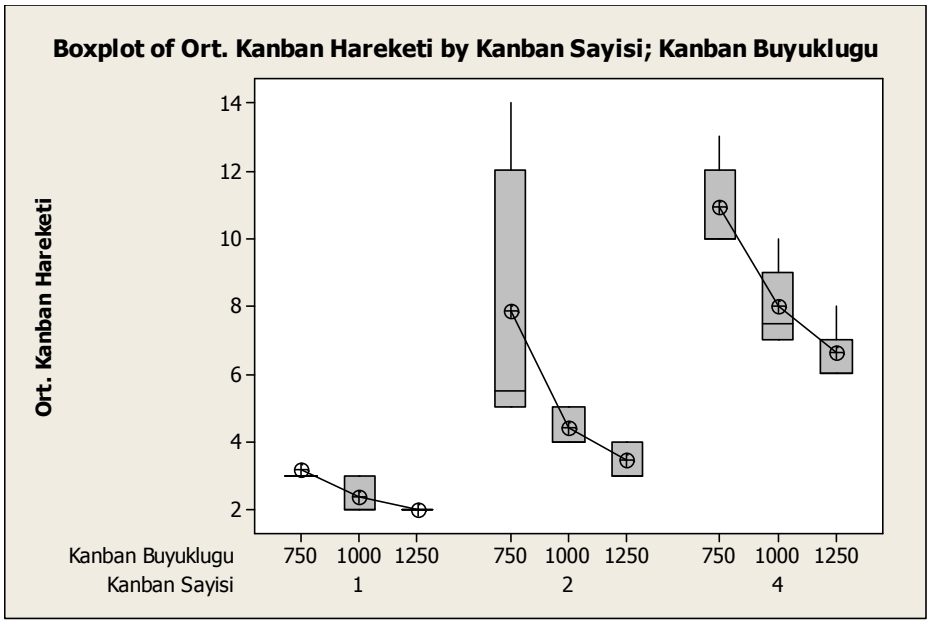

                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                    Pooled StDev
Dagilim        Mean   +---------+---------+---------+---------
Log-Normal  6,18889                                   (---*--)
Normal      4,66667   (--*---)
                    +---------+---------+---------+---------
                    4,50      5,00      5,50      6,00
```

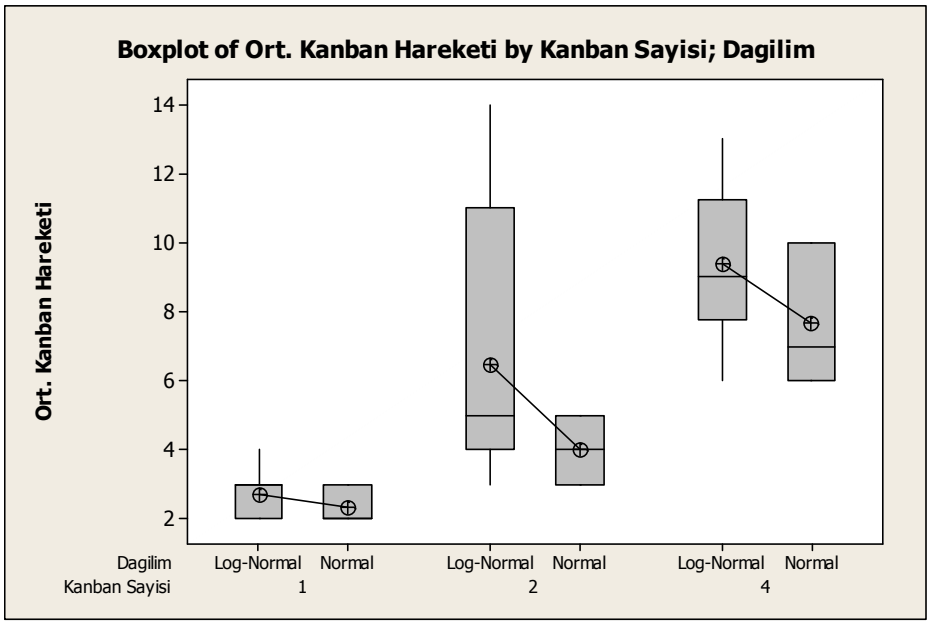
Two-way ANOVA: Ort. Kanban Hareketi versus Kanban Buyuklugu; Dagilim

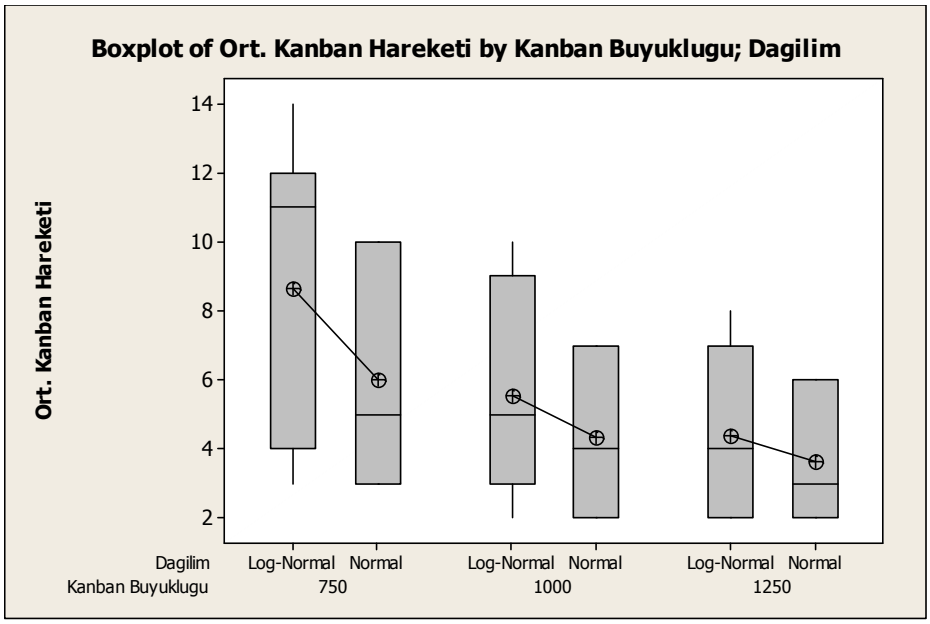
```
Source             DF       SS       MS       F      P
Kanban Buyuklugu    2  1722,30  861,148  116,00  0,000
Dagilim             1   521,36  521,361   70,23  0,000
Interaction         2   145,63   72,814    9,81  0,000
Error             894  6637,02    7,424
Total             899  9026,31

S = 2,725   R-Sq = 26,47%   R-Sq(adj) = 26,06%


                    Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban              Pooled StDev
Buyuklugu     Mean  ---+---------+---------+---------+------
 750       7,31333                                   (--*--)
1000       4,93667           (--*--)
1250       4,03333  (--*--)
                    ---+---------+---------+---------+------
                     4,0       5,0       6,0       7,0
                     Individual 95% CIs For Mean Based on
                     Pooled StDev
Dagilim        Mean  ------+---------+---------+---------+---
Log-Normal  6,18889                             (---*---)
Normal      4,66667  (---*---)
                     ------+---------+---------+---------+---
                         4,80      5,40      6,00      6,60
```


Boxplot of Ort. Kanban Hareketi by Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu
Ort. Kanban Hareketi
14
12
10
8
6
4
2
Kanban Buyuklugu
750
1000
1250
750
1000
1250
750
1000
1250
Kanban Sayisi
1
2
4


Boxplot of Ort. Kanban Hareketi by Kanban Sayisi; Dagilim
Ort. Kanban Hareketi
14
12
10
8
6
4
2
Dagilim
Log-Normal
Normal
Log-Normal
Normal
Log-Normal
Normal
Kanban Sayisi
1
2
4



3. Ortalama Çıktı Miktarı

Two-way ANOVA: Ort. Cikti Miktari versus Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu

```
Source              DF       SS       MS     F      P
Kanban Sayisi        2     1,53  0,76327  0,14  0,873
Kanban Buyuklugu     2     2,12  1,05794  0,19  0,828
Interaction          4     3,48  0,86921  0,15  0,961
Error              891  5005,10  5,61739
Total              899  5012,22

S = 2,370   R-Sq = 0,14%   R-Sq(adj) = 0,00%


Kanban           Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Sayisi     Mean     +---------+---------+---------+---------
1       19,8880           (----------------*----------------)
2       19,8635          (----------------*----------------)
4       19,7910     (----------------*----------------)
                    +---------+---------+---------+---------
                  19,52     19,68     19,84     20,00


                    Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban              Pooled StDev
Buyuklugu     Mean  ----+---------+---------+---------+-----
 750       19,9095        (------------*-------------)
1000       19,7911  (-------------*------------)
1250       19,8418     (------------*-------------)
                    ----+---------+---------+---------+-----
                     19,60     19,80     20,00     20,20
```

Two-way ANOVA: Ort. Cikti Miktari versus Kanban Sayisi; Dagilim

```
Source          DF       SS       MS        F      P
Kanban Sayisi    2     1,53     0,76      0,77  0,463
```

```
Dagilim          1  4124,04  4124,04  4165,07  0,000
Interaction      2     1,46     0,73     0,74  0,479
Error          894   885,19     0,99
Total          899  5012,22

S = 0,9951   R-Sq = 82,34%   R-Sq(adj) = 82,24%


                Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban          Pooled StDev
Sayisi     Mean   --+---------+---------+---------+-------
1       19,8880             (----------*----------)
2       19,8635          (----------*-----------)
4       19,7910   (----------*----------)
                  --+---------+---------+---------+-------
                19,70     19,80     19,90     20,00


                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                    Pooled StDev
Dagilim        Mean  ---+---------+---------+---------+------
Log-Normal  21,9881                                      (*)
Normal      17,7068  (*
                    ---+---------+---------+---------+------
                    18,0      19,2      20,4      21,6
```

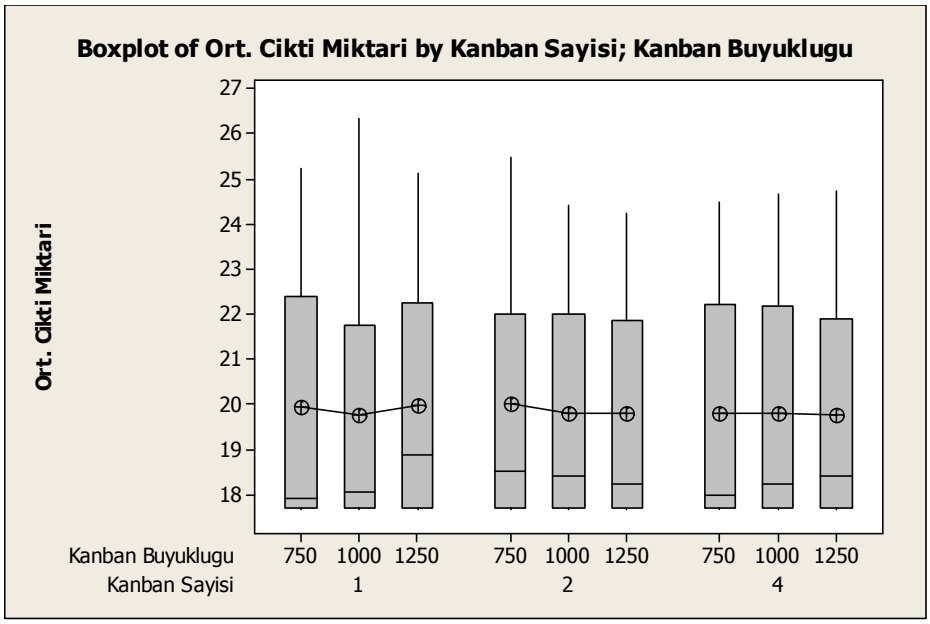
Two-way ANOVA: Ort. Cikti Miktari versus Kanban Buyuklugu; Dagilim

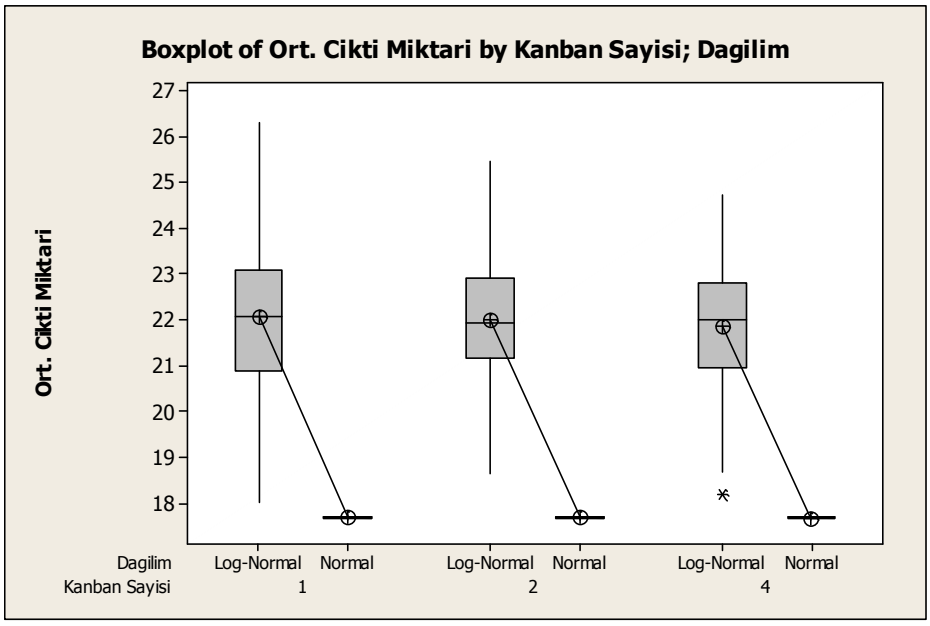
```
Source             DF       SS       MS        F      P
Kanban Buyuklugu    2     2,12     1,06     1,07  0,344
Dagilim             1  4124,04  4124,04  4170,19  0,000
Interaction         2     1,96     0,98     0,99  0,372
Error             894   884,11     0,99
Total             899  5012,22

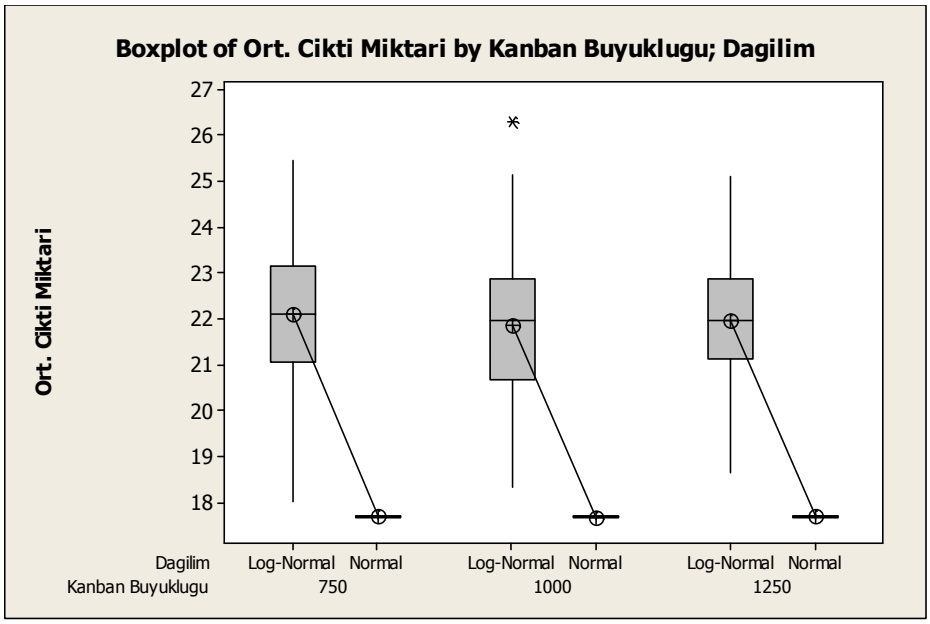
S = 0,9945   R-Sq = 82,36%   R-Sq(adj) = 82,26%


                  Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban            Pooled StDev
Buyuklugu     Mean   --+---------+---------+---------+-------
 750       19,9095              (----------*----------)
1000       19,7911   (----------*----------)
1250       19,8418        (----------*----------)
                    --+---------+---------+---------+-------
                  19,70     19,80     19,90     20,00


                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                    Pooled StDev
Dagilim        Mean  ---+---------+---------+---------+------
Log-Normal  21,9881                                      (*)
Normal      17,7068  (*
                    ---+---------+---------+---------+------
                    18,0      19,2      20,4      21,6
```


Boxplot of Ort. Cikti Miktari by Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu
Ort. Cikti Miktari
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
Kanban Buyuklugu
750
1000
1250
750
1000
1250
750
1000
1250
Kanban Sayisi
1
2
4


Boxplot of Ort. Cikti Miktari by Kanban Sayisi; Dagilim
Ort. Cikti Miktari
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
Dagilim
Log-Normal
Normal
Log-Normal
Normal
Log-Normal
Normal
Kanban Sayisi
1
2
4



4. Yoksatma Miktarı

Two-way ANOVA: Yoksatma Miktari versus Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu

Source	DF	SS	MS	F	P
Kanban Sayisi	2	142203	71101,3	96,88	0,000
Kanban Buyuklugu	2	43463	21731,7	29,61	0,000
Interaction	4	15293	3823,3	5,21	0,000
Error	891	653885	733,9		
Total	899	854844			

S = 27,09 R-Sq = 23,51% R-Sq(adj) = 22,82%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Kanban Sayisi	Mean	--+---------+---------+---------+-------
1	-8,3820	(--*--)
2	-23,5885	(--*--)
4	-39,1711	(--*--)
		--+---------+---------+---------+-------
		-40 -30 -20 -10

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Kanban Buyuklugu	Mean	-+---------+---------+---------+--------
750	-33,3547	(----*-----)
1000	-20,5456	(----*----)
1250	-17,2413	(----*----)
		-+---------+---------+---------+--------
		-36,0 -30,0 -24,0 -18,0

Two-way ANOVA: Yoksatma Miktari versus Kanban Sayisi; Dagilim

```
Source          DF      SS      MS       F      P
Kanban Sayisi    2  142203   71101  155,96  0,000
Dagilim          1  242031  242031  530,89  0,000
Interaction      2   63038   31519   69,14  0,000
Error          894  407573     456
Total          899  854844

S = 21,35   R-Sq = 52,32%   R-Sq(adj) = 52,06%


                  Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban            Pooled StDev
Sayisi      Mean  --+---------+---------+---------+-------
1        -8,3820                                (--*-)
2       -23,5885                    (-*--)
4       -39,1711  (--*-)
                  --+---------+---------+---------+-------
                  -40       -30       -20       -10


                      Individual 95% CIs For Mean Based on
                      Pooled StDev
Dagilim         Mean  --+---------+---------+---------+-------
Log-Normal  -40,1128  (-*-)
Normal       -7,3150                                  (-*-)
                      --+---------+---------+---------+-------
                      -40       -30       -20       -10
```

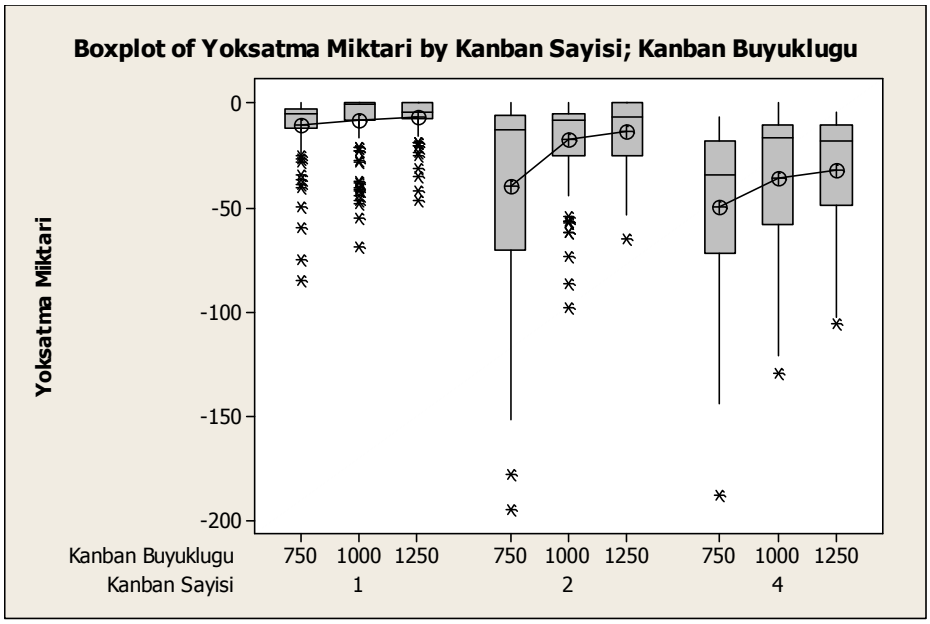
Two-way ANOVA: Yoksatma Miktari versus Kanban Buyuklugu; Dagilim

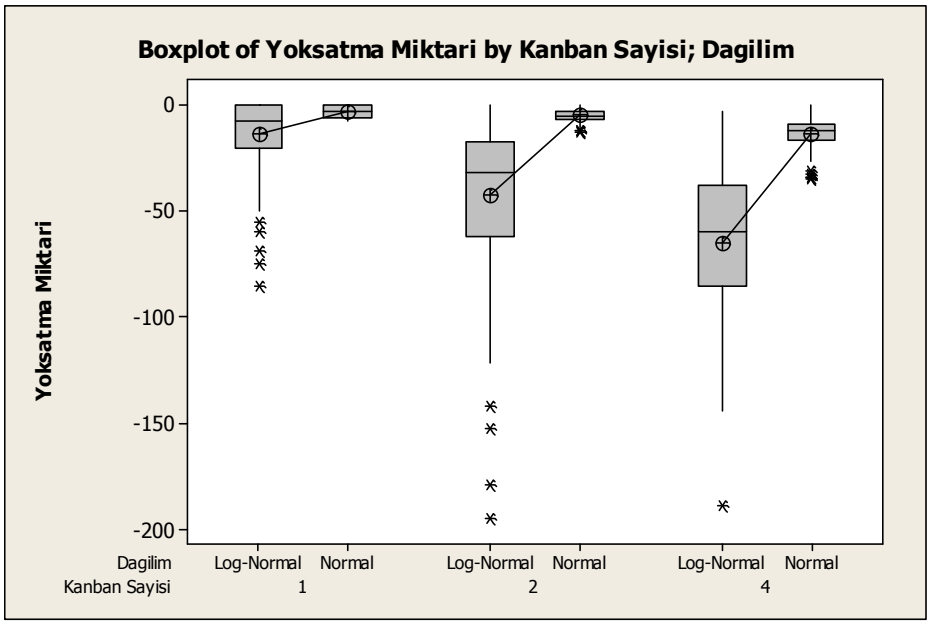
```
Source             DF      SS      MS       F      P
Kanban Buyuklugu    2   43463   21732   35,69  0,000
Dagilim             1  242031  242031  397,44  0,000
Interaction         2   24926   12463   20,47  0,000
Error             894  544425     609
Total             899  854844

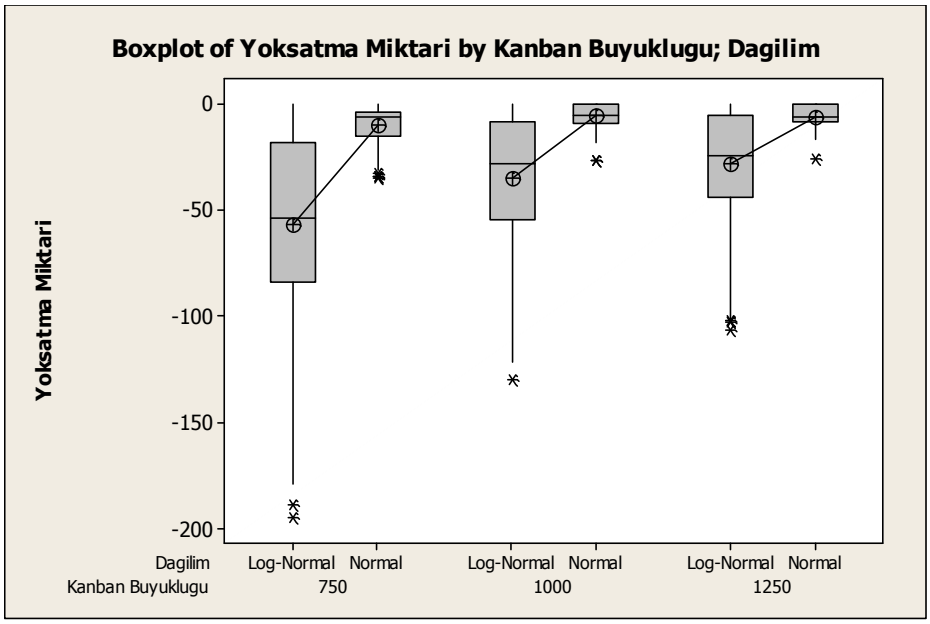
S = 24,68   R-Sq = 36,31%   R-Sq(adj) = 35,96%


Kanban               Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Buyuklugu      Mean      +---------+---------+---------+---------
 750       -33,3547      (---*----)
1000       -20,5456                          (----*---)
1250       -17,2413                                (---*----)
                      +---------+---------+---------+---------
                    -36,0     -30,0     -24,0     -18,0


                      Individual 95% CIs For Mean Based on
                      Pooled StDev
Dagilim         Mean  --+---------+---------+---------+-------
Log-Normal  -40,1128  (-*-)
Normal       -7,3150                                  (--*-)
                      --+---------+---------+---------+-------
                      -40       -30       -20       -10
```


Boxplot of Yoksatma Miktari by Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu
Yoksatma Miktari
0
-50
-100
-150
-200
Kanban Buyuklugu
750 1000 1250 750 1000 1250 750 1000 1250
Kanban Sayisi
1 2 4


Boxplot of Yoksatma Miktari by Kanban Sayisi; Dagilim
Yoksatma Miktari
0
-50
-100
-150
-200
Dagilim
Log-Normal Normal Log-Normal Normal Log-Normal Normal
Kanban Sayisi
1 2 4



5. Yoksatma Sayısı

Two-way ANOVA: Yoksatma Sayisi versus Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu

Source	DF	SS	MS	F	P
Kanban Sayisi	2	1432,64	716,320	350,66	0,000
Kanban Buyuklugu	2	471,41	235,703	115,38	0,000
Interaction	4	114,61	28,653	14,03	0,000
Error	891	1820,10	2,043		
Total	899	3838,76			

S = 1,429 R-Sq = 52,59% R-Sq(adj) = 52,16%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Kanban Sayisi	Mean
1	0,80667
2	2,12667
4	3,88667

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Kanban Buyuklugu	Mean
750	3,29333
1000	1,83667
1250	1,69000

Two-way ANOVA: Yoksatma Sayisi versus Kanban Sayisi; Dagilim

```
Source          DF       SS       MS       F      P
Kanban Sayisi    2  1432,64  716,320  402,50  0,000
Dagilim          1   645,16  645,160  362,52  0,000
Interaction      2   169,95   84,973   47,75  0,000
Error          894  1591,01    1,780
Total          899  3838,76

S = 1,334   R-Sq = 58,55%   R-Sq(adj) = 58,32%


                Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban          Pooled StDev
Sayisi     Mean ---+---------+---------+---------+------
1       0,80667 (*-)
2       2,12667           (*-)
4       3,88667                             (-*)
                ---+---------+---------+---------+------
                 1,0       2,0       3,0       4,0


                   Individual 95% CIs For Mean Based on
                   Pooled StDev
Dagilim        Mean ----+---------+---------+---------+-----
Log-Normal  3,12000                                  (-*--)
Normal      1,42667 (--*-)
                   ----+---------+---------+---------+-----
                     1,50      2,00      2,50      3,00
```

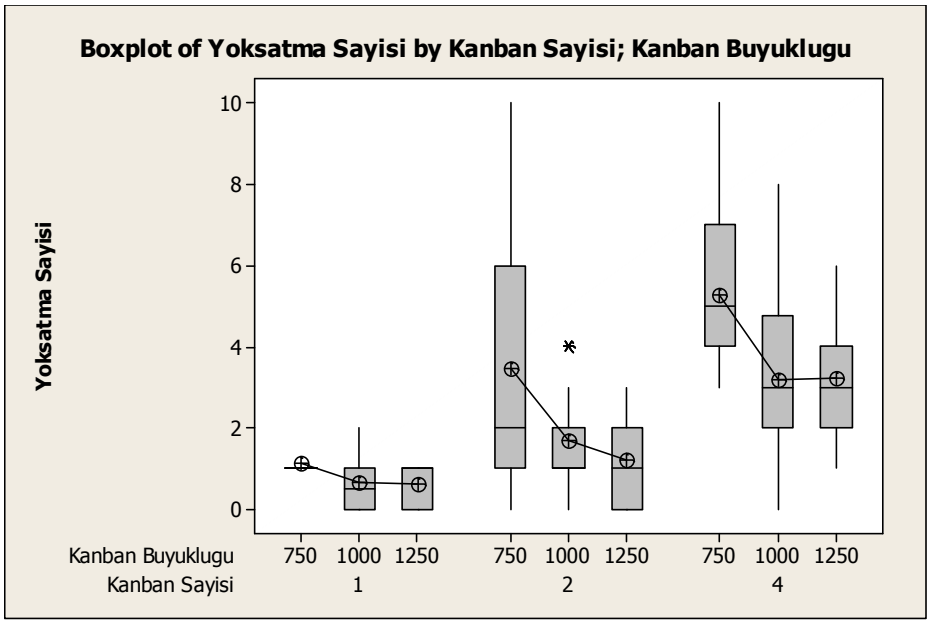
Two-way ANOVA: Yoksatma Sayisi versus Kanban Buyuklugu; Dagilim

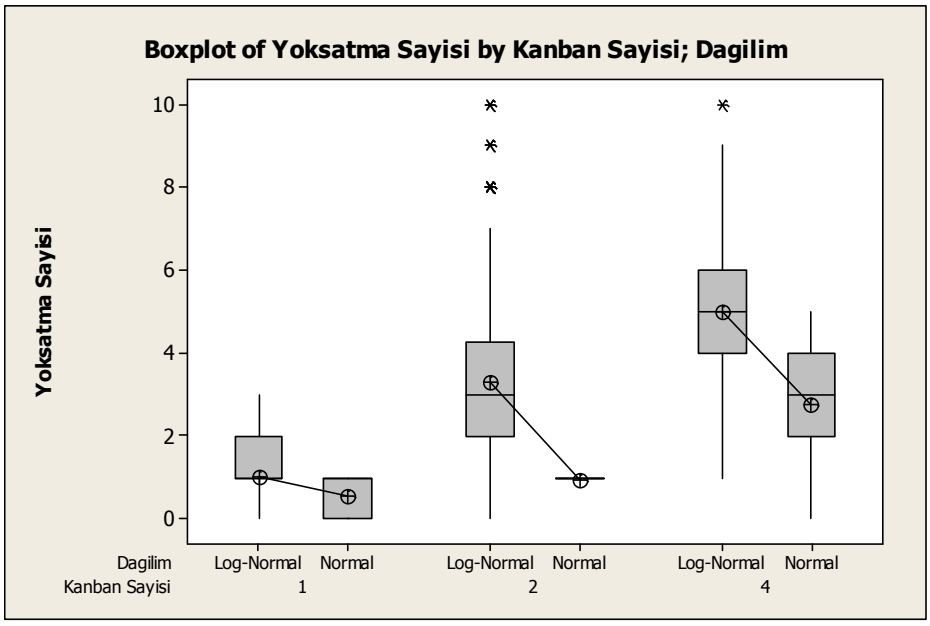
```
Source             DF       SS       MS       F      P
Kanban Buyuklugu    2   471,41  235,703   80,38  0,000
Dagilim             1   645,16  645,160  220,01  0,000
Interaction         2   100,62   50,310   17,16  0,000
Error             894  2621,57    2,932
Total             899  3838,76

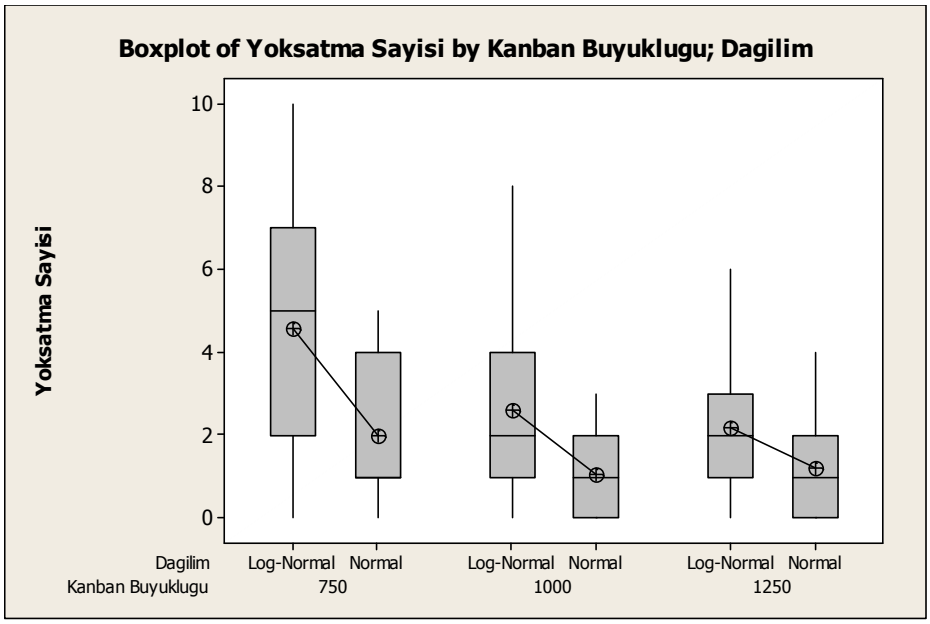
S = 1,712   R-Sq = 31,71%   R-Sq(adj) = 31,33%


                  Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled
Kanban            StDev
Buyuklugu     Mean    +---------+---------+---------+---------
 750       3,29333                                  (---*---)
1000       1,83667       (---*---)
1250       1,69000    (---*---)
                      +---------+---------+---------+---------
                     1,50      2,00      2,50      3,00


                   Individual 95% CIs For Mean Based on
                   Pooled StDev
Dagilim        Mean ---------+---------+---------+---------+
Log-Normal  3,12000                              (--*--)
Normal      1,42667 (--*-)
                   ---------+---------+---------+---------+
                          1,80      2,40      3,00      3,60
```


Boxplot of Yoksatma Sayisi by Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu
Yoksatma Sayisi
10
8
6
4
2
0
Kanban Buyuklugu
750
1000
1250
750
1000
1250
750
1000
1250
Kanban Sayisi
1
2
4


Boxplot of Yoksatma Sayisi by Kanban Sayisi; Dagilim
Yoksatma Sayisi
10
8
6
4
2
0
Dagilim
Log-Normal
Normal
Log-Normal
Normal
Log-Normal
Normal
Kanban Sayisi
1
2
4



6. Ortalama Yoksatma Miktarı

Two-way ANOVA: Ort. Yoksatma versus Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu

Source	DF	SS	MS	F	P
Kanban Sayisi	2	1114,2	557,119	10,59	0,000
Kanban Buyuklugu	2	47,7	23,833	0,45	0,636
Interaction	4	223,5	55,877	1,06	0,374
Error	891	46889,4	52,626		
Total	899	48274,8			

S = 7,254 R-Sq = 2,87% R-Sq(adj) = 2,00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Kanban Sayisi	Mean	----+---------+---------+---------+-----
1	6,36190	(------*------)
2	8,40727	(------*------)
4	8,94457	(------*-----)
		----+---------+---------+---------+-----
		6,0 7,2 8,4 9,6

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Kanban Buyuklugu	Mean	-------+---------+---------+---------+--
750	7,94103	(-----------*-----------)
1000	8,16643	(-----------*-----------)
1250	7,60627	(-----------*-----------)
		-------+---------+---------+---------+--
		7,20 7,80 8,40 9,00

Two-way ANOVA: Ort. Yoksatma versus Kanban Sayisi; Dagilim

```
Source          DF       SS       MS       F      P
Kanban Sayisi    2   1114,2    557,1   14,54  0,000
Dagilim          1  12778,0  12778,0  333,47  0,000
Interaction      2    125,4     62,7    1,64  0,195
Error          894  34257,1     38,3
Total          899  48274,8

S = 6,190   R-Sq = 29,04%   R-Sq(adj) = 28,64%


                 Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban           Pooled StDev
Sayisi     Mean  ---+---------+---------+---------+------
1       6,36190  (------*------)
2       8,40727                (------*------)
4       8,94457                       (------*------)
                 ---+---------+---------+---------+------
                  6,0       7,0       8,0       9,0


                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                    Pooled StDev
Dagilim        Mean  ------+---------+---------+---------+---
Log-Normal  11,6726                              (--*-)
Normal       4,1366  (--*-)
                    ------+---------+---------+---------+---
                        5,0       7,5      10,0      12,5
```

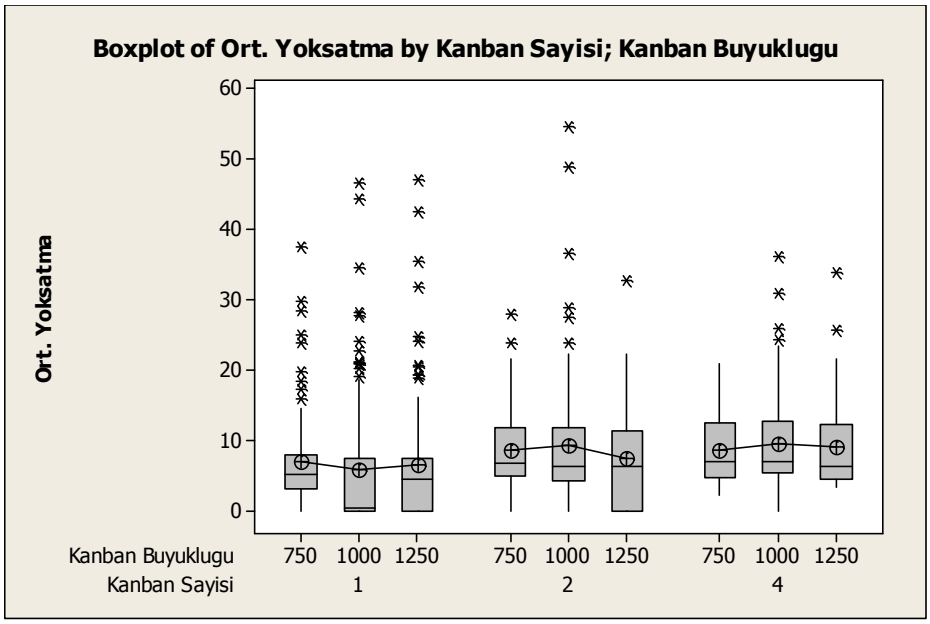
Two-way ANOVA: Ort. Yoksatma versus Kanban Buyuklugu; Dagilim

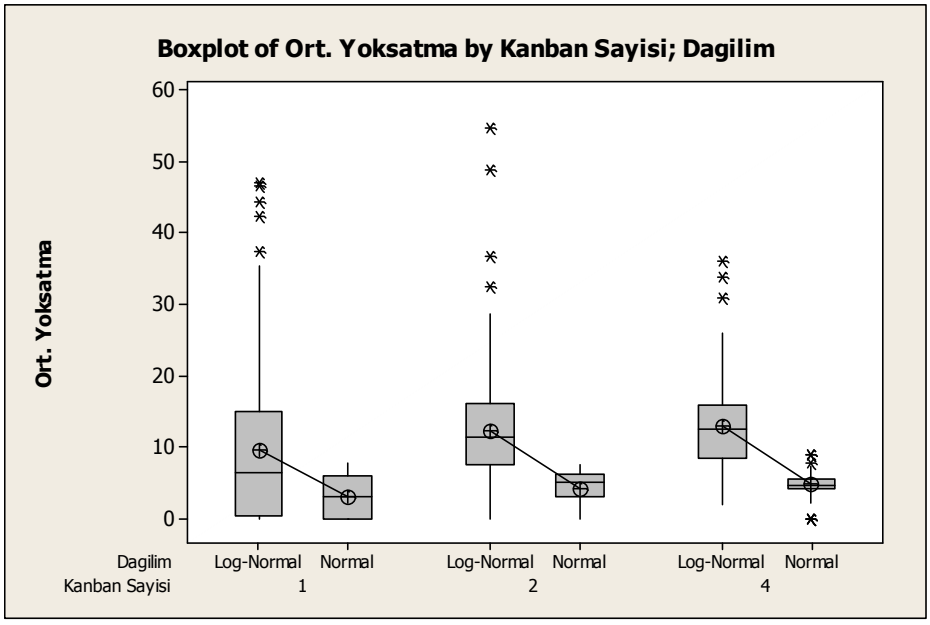
```
Source             DF       SS       MS       F      P
Kanban Buyuklugu    2     47,7     23,8    0,60  0,547
Dagilim             1  12778,0  12778,0  323,53  0,000
Interaction         2    140,0     70,0    1,77  0,171
Error             894  35309,1     39,5
Total             899  48274,8

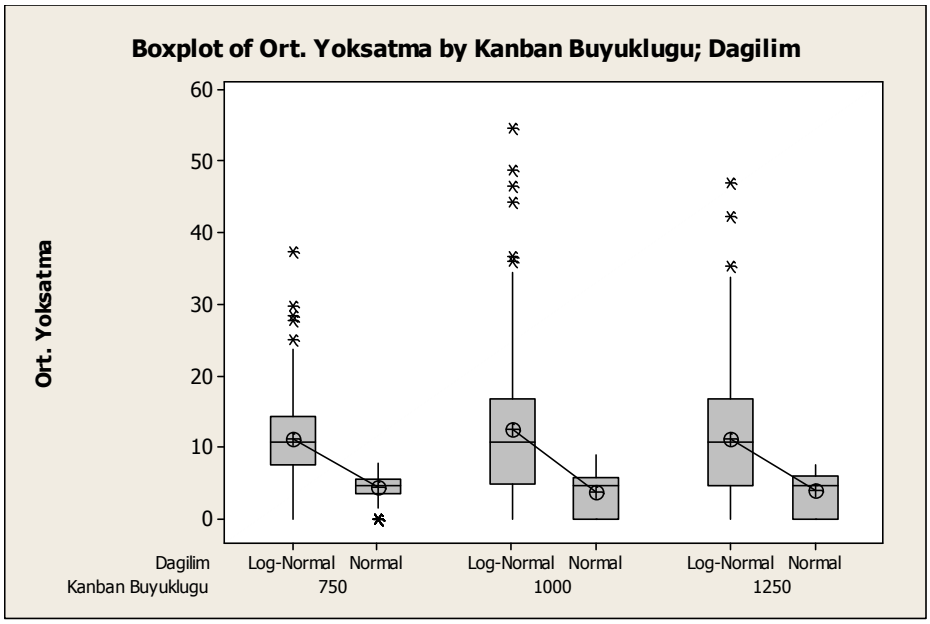
S = 6,285   R-Sq = 26,86%   R-Sq(adj) = 26,45%


                   Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban             Pooled StDev
Buyuklugu     Mean  --+---------+---------+---------+-------
 750       7,94103         (-------------*-------------)
1000       8,16643             (-------------*--------------)
1250       7,60627  (-------------*-------------)
                   --+---------+---------+---------+-------
                   7,00      7,50      8,00      8,50


                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                    Pooled StDev
Dagilim        Mean  ------+---------+---------+---------+---
Log-Normal  11,6726                              (--*-)
Normal       4,1366  (--*-)
                    ------+---------+---------+---------+---
                        5,0       7,5      10,0      12,5
```


Boxplot of Ort. Yoksatma by Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu
Ort. Yoksatma
60
50
40
30
20
10
0
Kanban Buyuklugu
750
1000
1250
750
1000
1250
750
1000
1250
Kanban Sayisi
1
2
4


Boxplot of Ort. Yoksatma by Kanban Sayisi; Dagilim
Ort. Yoksatma
60
50
40
30
20
10
0
Dagilim
Log-Normal
Normal
Log-Normal
Normal
Log-Normal
Normal
Kanban Sayisi
1
2
4



7. 2. KM Boşta Bekleme

Two-way ANOVA: KM 2 Ort. Bos Bek. versus Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu

Source	DF	SS	MS	F	P
Kanban Sayisi	2	116431	58215,3	1,07	0,344
Kanban Buyuklugu	2	24768	12383,8	0,23	0,797
Interaction	4	42748	10687,0	0,20	0,940
Error	891	48550254	54489,6		
Total	899	48734200			

S = 233,4 R-Sq = 0,38% R-Sq(adj) = 0,00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Kanban Sayisi	Mean
1	84,7251
2	61,0091
4	85,5287

40 60 80 100

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Kanban Buyuklugu	Mean
750	70,1036
1000	82,7469
1250	78,4124

60 80 100 120

Two-way ANOVA: KM 2 Ort. Bos Bek. versus Kanban Sayisi; Dagilim

```
Source          DF        SS       MS       F      P
Kanban Sayisi    2    116431    58215    1,21  0,300
Dagilim          1   5348254  5348254  110,80  0,000
Interaction      2    116431    58215    1,21  0,300
Error          894  43153084    48270
Total          899  48734200

S = 219,7   R-Sq = 11,45%   R-Sq(adj) = 10,96%


                Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban          Pooled StDev
Sayisi     Mean  --+---------+---------+---------+-------
1       84,7251              (-----------*-----------)
2       61,0091  (-----------*-----------)
4       85,5287              (-----------*-----------)
                --+---------+---------+---------+-------
                  40        60        80       100


                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                    Pooled StDev
Dagilim        Mean  ----+---------+---------+---------+-----
Log-Normal  154,175                                (---*---)
Normal        0,000  (---*---)
                    ----+---------+---------+---------+-----
                        0        50       100       150
```

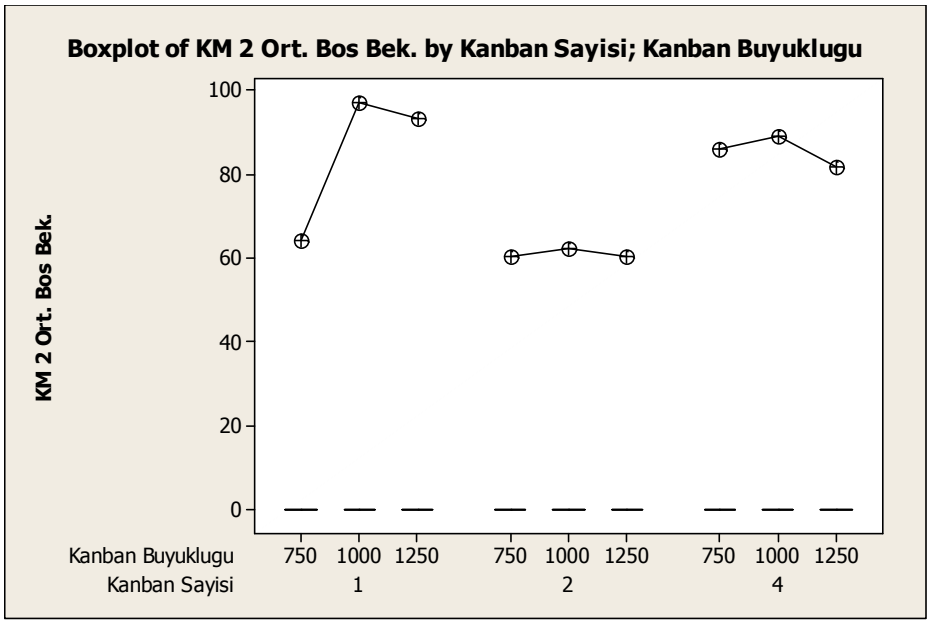
Two-way ANOVA: KM 2 Ort. Bos Bek. versus Kanban Buyuklugu; Dagilim

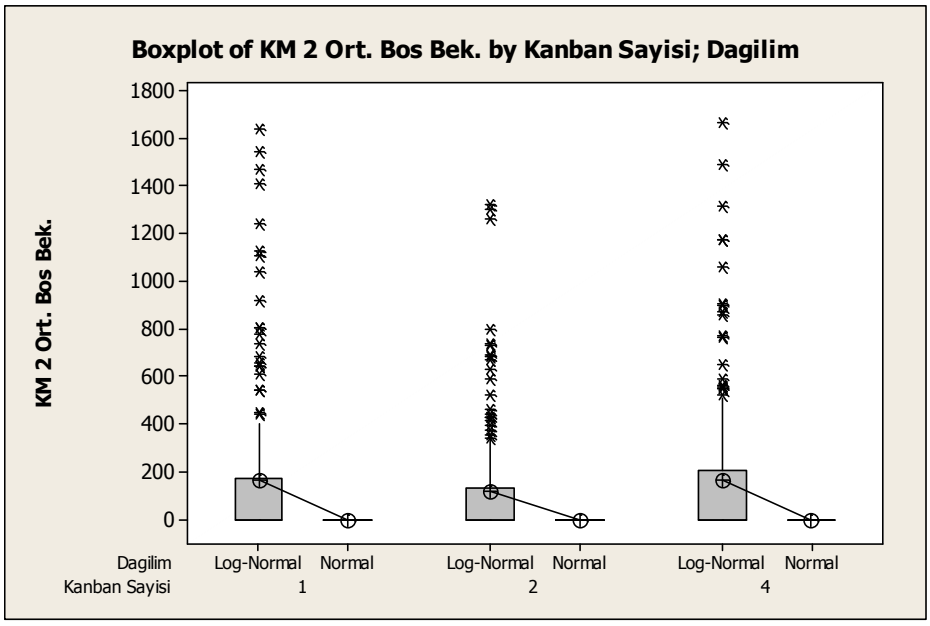
```
Source             DF        SS       MS       F      P
Kanban Buyuklugu    2     24768    12384    0,26  0,775
Dagilim             1   5348254  5348254  110,33  0,000
Interaction         2     24768    12384    0,26  0,775
Error             894  43336410    48475
Total             899  48734200

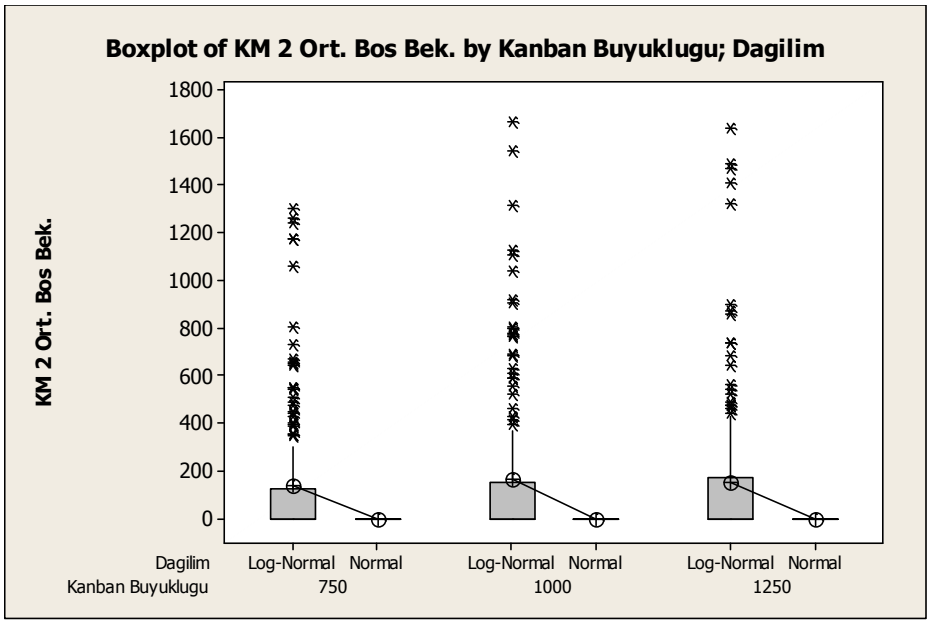
S = 220,2   R-Sq = 11,08%   R-Sq(adj) = 10,58%


                   Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban             Pooled StDev
Buyuklugu     Mean  --+---------+---------+---------+-------
 750       70,1036  (---------------*--------------)
1000       82,7469           (---------------*--------------)
1250       78,4124        (---------------*--------------)
                   --+---------+---------+---------+-------
                     48        64        80        96


                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                    Pooled StDev
Dagilim        Mean  ----+---------+---------+---------+-----
Log-Normal  154,175                                (---*---)
Normal        0,000  (---*---)
                    ----+---------+---------+---------+-----
                        0        50       100       150
```


Boxplot of KM 2 Ort. Bos Bek. by Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu
KM 2 Ort. Bos Bek.
100
80
60
40
20
0
Kanban Buyuklugu
750 1000 1250 750 1000 1250 750 1000 1250
Kanban Sayisi
1
2
4


Boxplot of KM 2 Ort. Bos Bek. by Kanban Sayisi; Dagilim
KM 2 Ort. Bos Bek.
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Dagilim
Log-Normal Normal Log-Normal Normal Log-Normal Normal
Kanban Sayisi
1
2
4



8. 6. KM Boşta Bekleme

Two-way ANOVA: KM 6 Ort. Bos Bek. versus Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu

Source	DF	SS	MS	F	P
Kanban Sayisi	2	22842	11421,0	0,38	0,684
Kanban Buyuklugu	2	68591	34295,7	1,14	0,320
Interaction	4	12984	3246,0	0,11	0,980
Error	891	26816477	30097,1		
Total	899	26920895			

S = 173,5 R-Sq = 0,39% R-Sq(adj) = 0,00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Kanban Sayisi	Mean	----+---------+---------+---------+--
1	110,285	(----------*----------)
2	99,130	(----------*----------)
4	109,278	(----------*----------)
		----+---------+---------+---------+--
		90 105 120 135

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Kanban Buyuklugu	Mean	--------+---------+---------+---------+-
750	97,470	(----------*----------)
1000	118,145	(----------*----------)
1250	103,079	(----------*----------)
		--------+---------+---------+---------+-
		90 105 120 135

Two-way ANOVA: KM 6 Ort. Bos Bek. versus Kanban Sayisi; Dagilim

```
Source          DF        SS      MS      F      P
Kanban Sayisi    2     22842   11421   0,39  0,674
Dagilim          1    980243  980243  33,84  0,000
Interaction      2     23340   11670   0,40  0,669
Error          894  25894471   28965
Total          899  26920895

S = 170,2   R-Sq = 3,81%   R-Sq(adj) = 3,27%


                Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban          Pooled StDev
Sayisi     Mean  -------+---------+---------+---------+--
1       110,285          (------------*-----------)
2        99,130  (------------*------------)
4       109,278         (------------*------------)
                -------+---------+---------+---------+--
                      90       105       120       135


                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                    Pooled StDev
Dagilim        Mean  -------+---------+---------+---------+--
Log-Normal  139,233                            (------*-----)
Normal       73,229  (-----*------)
                    -------+---------+---------+---------+--
                          75       100       125       150
```

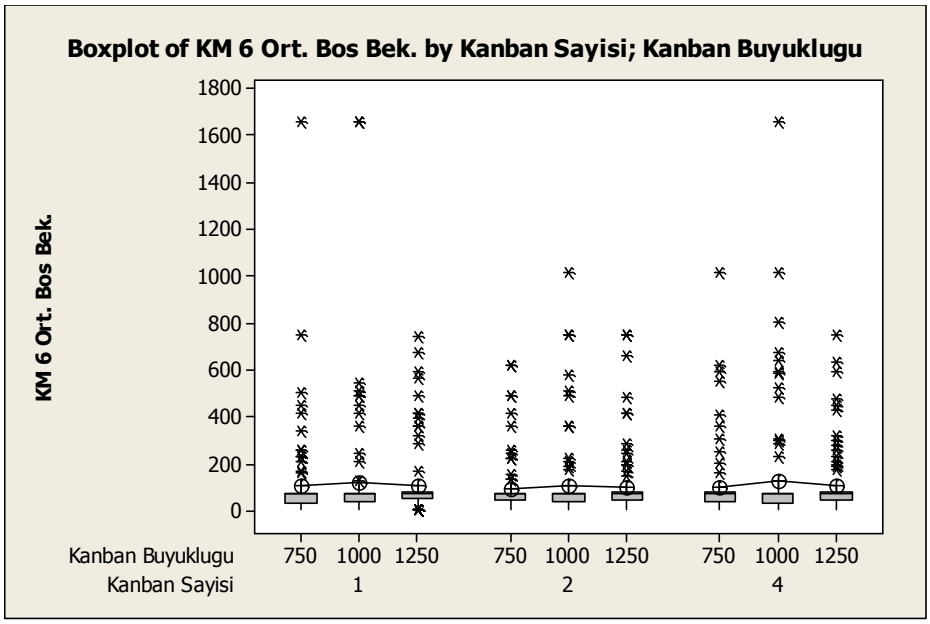
Two-way ANOVA: KM 6 Ort. Bos Bek. versus Kanban Buyuklugu; Dagilim

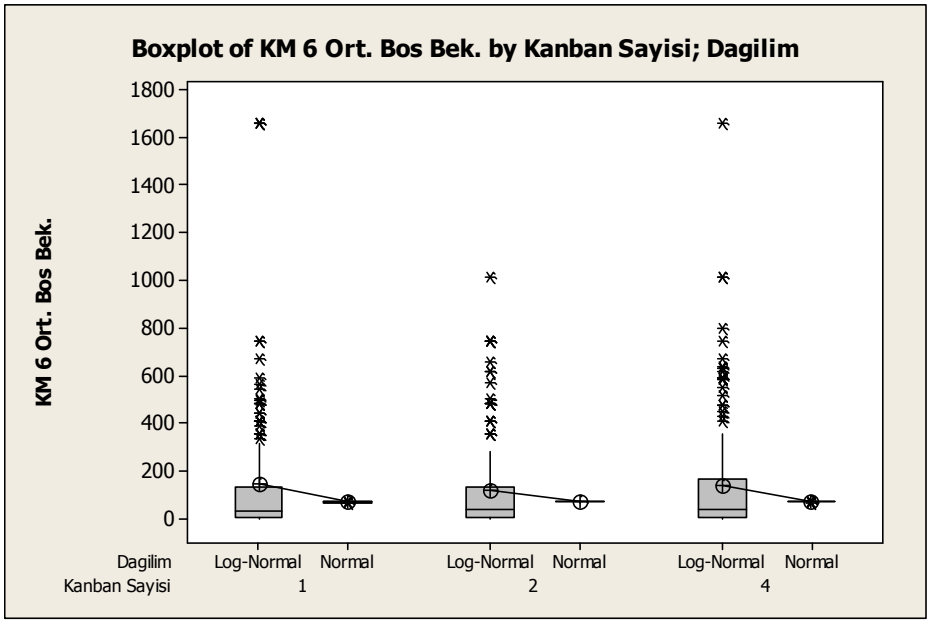
```
Source             DF        SS      MS      F      P
Kanban Buyuklugu    2     68591   34296   1,19  0,305
Dagilim             1    980243  980243  33,96  0,000
Interaction         2     70221   35111   1,22  0,297
Error             894  25801840   28861
Total             899  26920895

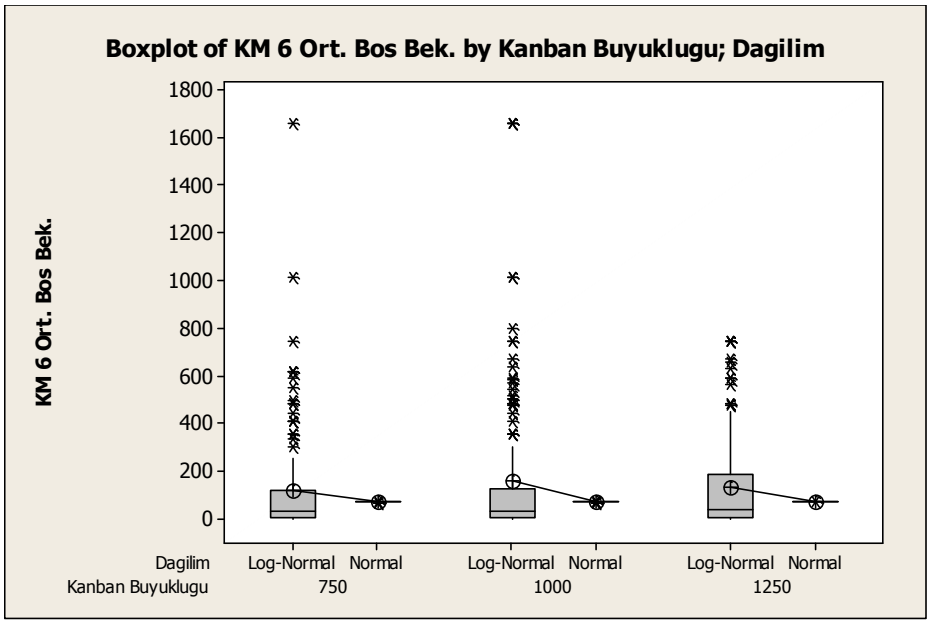
S = 169,9   R-Sq = 4,16%   R-Sq(adj) = 3,62%


                   Individual 95% CIs For Mean Based on
Kanban             Pooled StDev
Buyuklugu     Mean  --------+---------+---------+---------+-
 750        97,470  (------------*------------)
1000       118,145               (------------*------------)
1250       103,079      (------------*------------)
                   --------+---------+---------+---------+-
                          90       105       120       135


                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                    Pooled StDev
Dagilim        Mean  -------+---------+---------+---------+--
Log-Normal  139,233                            (------*-----)
Normal       73,229  (-----*------)
                    -------+---------+---------+---------+--
                          75       100       125       150
```


Boxplot of KM 6 Ort. Bos Bek. by Kanban Sayisi; Kanban Buyuklugu
KM 6 Ort. Bos Bek.
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Kanban Buyuklugu
750 1000 1250 750 1000 1250 750 1000 1250
Kanban Sayisi
1 2 4


Boxplot of KM 6 Ort. Bos Bek. by Kanban Sayisi; Dagilim
KM 6 Ort. Bos Bek.
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Dagilim
Log-Normal Normal Log-Normal Normal Log-Normal Normal
Kanban Sayisi
1 2 4


Boxplot of KM 6 Ort. Bos Bek. by Kanban Buyuklugu; Dagilim
KM 6 Ort. Bos Bek.
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Dagilim
Kanban Buyuklugu
Log-Normal
Normal
750
1000
1250

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Konya'da doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimi Antalya'da tamamlamıştır. 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü tarafından kabul almıştır. 2003 yılında bu bölümden lisans derecesi alıp mezun olduktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitime başlamıştır. Halen yüksek lisans eğitime devam etmektedir.