

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CONWIP ESASLI ÜRETİM SİSTEMLERİNİN
TASARIMI VE YÖNETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Müh. Özgür KABADURMUŞ

Anabilim Dalı: ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı: ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2008

**CONWIP ESASLI ÜRETİM SİSTEMLERİNİN
TASARIMI VE YÖNETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
End. Müh. Özgür KABADURMUŞ
507051125**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. M.Bülent DURMUŞOĞLU (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Tufan Vehbi KOÇ (İ.T.Ü.)
Prof. Dr. Murat DİNÇMEN**

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Günümüzün rekabetçi ve değişken piyasa koşulları, tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizdeki üretim firmalarını da zor durumda bırakmaktadır. Firmalar geçmişten gelen alışkanlıklarını sürdürmekle beraber artık bu yöntemlerin işe yaramadığını da farketmektedirler. Diğer bir ifadeyle, geleneksel yaklaşımların günümüz koşullarında yetersiz kaldığı görülmektedir. Geçmişin kitle tipi üretim yapan işletmelerinin yerini, müşteriye daha yakın olan ve hızlı tepki verebilen işletmeler almaktadır. Darwin'in de evrim teorisinde ortaya attığı gibi, bu değişen koşullarda kendini bu yeni duruma uyarlayabilen firmalar ayakta kalacak ve diğerleri yavaş yavaş silinecek veya güçlerini kaybedeceklerdir.

Bu tez, değişken talep koşullarında yüksek çeşitlilikte ürünler üreten ve ürünlerin taleplerini önceden tahmin edemeyen firmaların kullanabileceği bir model önermektedir. Belirtilmelidir ki, bu tez hem bilimsel bir katkı yapma hem de pratik hayatta firmalar tarafından uygulanabilir bir sistem ortaya koyma ihtiyacından doğmuştur.

Bu çalışmada tez danışmanım Prof. Dr. M. Bülent Durmuşoğlu'na en içten duygularıyla teşekkür ediyorum. Bilgisi ve tecrübesini bana aktarmaktaki cömertliği yanında en karanlık anlarda yol göstericiliği olmasaydı, sanıyorum ki bu çalışmayı bitirmem mümkün olamazdı. Ar. Gör. Özgür Kabak'a kurduğum matematiksel programlama modeli konusundaki yardımları ve çok kıymetli önerileri için teşekkür ederim. Simülasyon modeli konusunda ise Ar. Gör. Serdar Baysan'a teşekkürlerimi sunarım. Modelin uygulaması sırasında verdikleri destek ve her türlü yardımları için; Ermetal Şirketler Grubu Genel Müdürü Yesari Süalp'e, Bürosit Üretim Müdür Yardımcısı İlker Bilbey'e, Bürosit Kalite Sorumlusu Ali Özkan'a ve Bürosit Üretim Planlama Uzmanı Meral Güçlütürk'e şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim. Yüksek lisans çalışmalarım sırasında benden desteklerini esirgemeyen aileme ve tez dönemimdeki destekleri nedeniyle oda arkadaşım Ar. Gör. Ahmet Can Kutlu başta olmak üzere tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Son olarak, yüksek lisans çalışmalarım sırasında verdiği maddi destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Ocak, 2008

Özgür Kabadurmuş

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çekme Kontrollü Üretim Sistemleri	4
1.1.1 Kanban Sistemi	5
1.1.2 CONWIP Sistemi	6
1.1.3 POLCA Sistemi	8
1.2 Aksiyomlarla Tasarım	11
1.2.1 Genel özellikler	11
1.2.2 Aksiyomlarla Tasarım Sürecinde Haritalandırma ve Zikzaklama	12
1.3 Çalışmanın Amacı	14
2. KARMA ÇEKME ÜRETİM SİSTEMLERİNİN AKSİYOMLARLA TASARIMI	15
2.1 Çekme/Kanban Sistemlerinin Aksiyomlarla Tasarımı	15
2.1.1 İlk Ayırıştırma	16
2.1.2 Kanban Bilincinin Yerleştirilmesi	17
2.1.3 Kanban Proje Takımının Kurulması	17
2.1.4 Çekme Sistemi Uygulama Prosedürü	19
2.1.5 Üretim Sistemine Uygun Çekme/Kanban Türünün Seçilmesi	19
2.2 CONWIP Sisteminin Aksiyomlarla Tasarımı	21
2.2.1 “Uzun Üretim Hatları İçin CONWIP Kart Akışını Sağla” Dalı	22
2.2.2 “Temin Süresini Kısalt” Dalı	24
2.2.3 “CONWIP Döngülerindeki Üretim içi Stok Miktarını Sabitle” Dalı	26
2.2.4 “Kart Dolaşımını Düzenle” Dalı	27
2.2.5 “Acil İşlerin Varlığında Sistemin Çalışmasını Uyarla” Dalı	27
2.2.6 “Sistemin Çıktı Miktarına Ulaşma Durumunu Gözle” Dalı	27
2.3 POLCA Sisteminin Aksiyomlarla Tasarımı	28
2.3.1 “Öngörülemeyen Ürün Rotaları İçin Malzeme Akışını Sağla” Dalı	28
2.3.2 “Müşteri Siparişlerini Tek Kart ile Takip Et” Dalı	29
2.3.3 “Üretim içi Stok Miktarını Sabit Tut” Dalı	29
2.3.4 “Malzeme ve Bilgi Akışını Kontrol Et” Dalı	30
3. CONWIP KONTROLÜNDE ÇOK ÜRÜNLÜ, ÇOK VE PARALEL HÜCRELİ BİR SİSTEMİN GELİŞTİRİLMESİNE YÖNELİK BİR YAKLAŞIM	31
3.1 Ele Alınan Sistem	31
3.2 İş Yükleme Sistemleri	32

3.2.1	İş Yüğü Odaklı Üretim Kontrolü	32
3.2.2	ROT Değerinin Üretim Kontrolünde Kullanılması	33
3.2.2.1	Tükenme Zamanı	33
3.3	CONWIP Sistemlerinde Sıralama Problemi	33
3.3.1	Seri CONWIP Hatlarında Sıralama Problemine Ayrıntılı bir Bakış	36
3.3.2	Paralel CONWIP Hatlarında Sıralama Problemine Ayrıntılı bir Bakış	37
3.4	Problemin Ayrıştırılması	39
3.4.1	İş Yükleme Problemi	39
3.4.2	İş Sıralama Modeli	42
3.4.2.1	Modelde Kullanılan İndisler:	43
3.4.2.2	Modelde Kullanılan Parametreler:	43
3.4.2.3	Modelde Kullanılan Karar Değişkenleri:	43
3.4.2.4	Amaç fonksiyonu:	44
3.4.2.5	Modelde Yer Alan Kısıtlar:	45
3.4.3	İş yükleme ve Sıralama için Sezgisel bir Yaklaşım	49
4.	GELİŞTİRİLEN MODELİN UYGULAMASI	53
4.1	Uygulama için Seçilen Sistemin Özellikleri	54
4.2	Kaba Kapasite Hesabı için Pratik Bir Yaklaşım	56
4.3	Kullanılan Yöntem	61
4.3.1	Optimizasyon	61
4.3.2	Simülasyon Çalışması	61
4.4	İş Sıralama Modelinin Pratik Uygulamaya Üstünlüğü	61
4.4.1	Senaryo 1	62
4.4.1.1	İtme Ortamında Karşılaştırma	62
4.4.1.2	Çekme Ortamında Karşılaştırma	63
4.4.1.3	Performans karşılaştırması	64
4.4.2	Senaryo 2	65
4.4.2.1	İtme Ortamında Karşılaştırma	65
4.4.2.2	Çekme Ortamında Karşılaştırma	66
4.4.2.3	Performans Karşılaştırması	68
4.4.3	Senaryo 3	68
4.4.3.1	İtme Ortamında Karşılaştırma	69
4.4.3.2	Çekme Ortamında Karşılaştırma	70
4.4.3.3	Performans Karşılaştırması	71
4.5	İş Yükleme ve Sıralama Modelinin Beraberce Uygulaması	72
4.5.1	Senaryo 1	72
4.5.1.1	Sezgisel Yöntem	72
4.5.1.2	Grupların Ayrı Ayrı Optimizasyonu	76
4.5.1.3	Grupların Beraberce Optimizasyonu	78
4.5.1.4	Senaryo 1 için Performans Karşılaştırması	79
4.5.2	Senaryo 2	81
4.5.2.1	Sezgisel Yöntem	81
4.5.2.2	Grupların Ayrı Ayrı Optimizasyonu	84
4.5.2.3	Grupların Beraberce Optimizasyonu	86
4.5.2.4	Senaryo 2 için Performans Karşılaştırması	87
4.5.3	Senaryo 3	89
4.5.3.1	Sezgisel Yöntem	89
4.5.3.2	Grupların Ayrı Ayrı Optimizasyonu	92
4.5.3.3	Grupların Beraberce Optimizasyonu	93

4.5.3.4	Senaryo 3 için Performans Karşılaştırması	94
4.5.4	Senaryo 4	96
4.5.4.1	Sezgisel Yöntem	96
4.5.4.2	Grupların Ayrı Ayrı Optimizasyonu	99
4.5.4.3	Grupların Beraberce Optimizasyonu	100
4.5.4.4	Senaryo 4 için Performans Karşılaştırması	101
4.5.5	Senaryo 5	103
4.5.5.1	Sezgisel Yöntem	103
4.5.5.2	Grupların Ayrı Ayrı Optimizasyonu	106
4.5.5.3	Grupların Beraberce Optimizasyonu	107
4.5.5.4	Senaryo 5 için Performans Karşılaştırması	108
5.	SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	111
	KAYNAKLAR	114
	EK	116
	ÖZGEÇMİŞ	124

KISALTMALAR

CONWIP	: Constant Work in Process (Üretim içi Sabit Stok)
DBR	: Drum Buffer Rope
KTS	: Kalan Teslim Süresi
LOOR	: Load Oriented Order Release
POLCA	: Paired Overlapping Loops of Cards with Authorization
ROT	: Run out Time (Tükenme Zamanı)
SİS	: Sabit İşlem Süreleri
WIP	: Work in Process (Üretim içi Stok)

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1 : CONWIP Hatlarında Sıralama Çalışmalarını Özetleyen Literatür Matrisi	35
Tablo 4.1 : Monoblok Ürünlere Ait Temin Süreleri	57
Tablo 4.2 : Kaba Kapasite Hesabında Kullanılan Varsayımlar	57
Tablo 4.3 : Kaba Kapasite Hesabı ve Darboğaz Analizi	59
Tablo 4.4 : Monoblok Ürünlere Ait Örnek Talep Bilgileri	60
Tablo 4.5 : Senaryo 1 İçin Seçilen Gerçek Talep Karması	62
Tablo 4.6 : İtme Ortamı İçin Pratik Sıra ve Optimize Edilmiş Sıra (S.1)	62
Tablo 4.7 : Çekme Ortamı (Gerçek uygulama) İçin Pratik Sıra ve Optimize Edilmiş Sıra (S.1)	63
Tablo 4.8 : Senaryo 2 İçin Seçilen Gerçek Talep Karması	65
Tablo 4.9 : İtme Ortamı İçin Pratik Sıra ve Optimize Edilmiş Sıra (S.2)	66
Tablo 4.10 : Çekme Ortamı (Gerçek uygulama) İçin Pratik Sıra ve Optimize Edilmiş Sıra (S.2)	67
Tablo 4.11 : Senaryo 3 İçin Seçilen Gerçek Talep Karması	68
Tablo 4.12 : İtme Ortamı İçin Pratik Sıra ve Optimize Edilmiş Sıra (S.3)	69
Tablo 4.13 : Çekme Ortamı (Gerçek uygulama) İçin Pratik Sıra ve Optimize Edilmiş Sıra (S.3)	70
Tablo 4.14 : KTS=1 Olan İşlerin Grup 1'e Atanması (S.1)	72
Tablo 4.15 : Tüm Talebin Gruplara Atanması (S.1)	74
Tablo 4.16 : Sıralanmak Üzere İşlerin Yeniden Düzenlenmesi (S.1)	75
Tablo 4.17 : Grup 1 ve 2'nin Sıralama Sezgiseli ile Sıralanmış Listeleri (S.1)	75
Tablo 4.18 : Sıralama Sezgiseli ile Elde Edilen Nihai Sıra (S.1)	76
Tablo 4.19 : Grup 1 ve 2'nin Optimizasyon Modeli ile Sıralanmış Listeleri (S.1)	77
Tablo 4.20 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar ayrı ayrı) (S.1)	77
Tablo 4.21 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar beraberce) (S.1)	78
Tablo 4.22 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.1)	79
Tablo 4.23 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.1)	80
Tablo 4.24 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.1)	80
Tablo 4.25 : KTS=1 Olan İşlerin Grup 1'e Atanması (S.2)	82
Tablo 4.26 : Tüm Talebin Gruplara Atanması (S.2)	82
Tablo 4.27 : Sıralanmak Üzere İşlerin Yeniden Düzenlenmesi (S.2)	83
Tablo 4.28 : Grup 1 ve 2'nin Sıralama Sezgiseli ile Sıralanmış Listeleri (S.2)	83
Tablo 4.29 : Sıralama Sezgiseli ile Elde Edilen Nihai Sıra (S.2)	84
Tablo 4.30 : Grup 1 ve 2'nin Optimizasyon Modeli ile Sıralanmış Listeleri (S.2)	84
Tablo 4.31 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar ayrı ayrı) (S.2)	85

Tablo 4.32 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar beraberce) (S.2).....	86
Tablo 4.33 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.2).....	87
Tablo 4.34 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.2)	88
Tablo 4.35 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.2)....	88
Tablo 4.36 : KTS=1 Olan İşlerin Grup 1'e Atanması (S.3)	89
Tablo 4.37 : Tüm Talebin Gruplara Atanması (S.3).....	90
Tablo 4.38 : Sıralanmak Üzere İşlerin Yeniden Düzenlenmesi (S.3).....	90
Tablo 4.39 : Grup 1 ve 2'nin Sıralama Sezgiseli ile Sıralanmış Listeleri (S.3)	90
Tablo 4.40 : Sıralama Sezgiseli ile Elde Edilen Nihai Sıra (S.3)	91
Tablo 4.41 : Grup 1 ve 2'nin Optimizasyon Modeli ile Sıralanmış Listeleri (S.3) ...	92
Tablo 4.42 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar ayrı ayrı) (S.3)	92
Tablo 4.43 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar beraberce) (S.3).....	93
Tablo 4.44 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.3).....	94
Tablo 4.45 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.3)	94
Tablo 4.46 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.3)....	95
Tablo 4.47 : KTS=1 Olan İşlerin Grup 1'e Atanması (S.4)	96
Tablo 4.48 : Tüm Talebin Gruplara Atanması (S.4).....	97
Tablo 4.49 : Sıralanmak Üzere İşlerin Yeniden Düzenlenmesi (S.4).....	97
Tablo 4.50 : Grup 1 ve 2'nin Sıralama Sezgiseli ile Sıralanmış Listeleri (S.4)	97
Tablo 4.51 : Sıralama Sezgiseli ile Elde Edilen Nihai Sıra (S.4)	98
Tablo 4.52 : Grup 1 ve 2'nin Optimizasyon Modeli ile Sıralanmış Listeleri (S.4) ...	99
Tablo 4.53 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar ayrı ayrı) (S.4)	99
Tablo 4.54 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar beraberce) (S.4).....	100
Tablo 4.55 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.4).....	101
Tablo 4.56 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.4) ..	102
Tablo 4.57 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.4)..	103
Tablo 4.58 : KTS=1 Olan İşlerin Grup 1'e Atanması (S.5)	104
Tablo 4.59 : Tüm Talebin Gruplara Atanması (S.5).....	104
Tablo 4.60 : Sıralanmak Üzere İşlerin Yeniden Düzenlenmesi (S.5).....	105
Tablo 4.61 : Grup 1 ve 2'nin Sıralama Sezgiseli ile Sıralanmış Listeleri (S.5)	105
Tablo 4.62 : Sıralama Sezgiseli ile Elde Edilen Nihai Sıra (S.5)	105
Tablo 4.63 : Grup 1 ve 2'nin Optimizasyon Modeli ile Sıralanmış Listeleri (S.5) .	106
Tablo 4.64 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar ayrı ayrı) (S.5)	107
Tablo 4.65 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar beraberce) (S.5).....	107
Tablo 4.66 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.5).....	108
Tablo 4.67 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.5) ..	109
Tablo 4.68 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.5)..	110

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : MRP Çalışma Sistematiği (Hyer ve Wemmerlöv, 2002).....	2
Şekil 1.2 : Temin Süresinin Sistem Yükleme Derecesi ile Değişimi.....	3
Şekil 1.3 : Üretim Kontrolünde Hata Çemberi	3
Şekil 1.4 : Çalışma Şekilleri Açısından MRP, Kanban ve CONWIP sistemleri (Kabadurmuş 2005'ten uyarlanmıştır)	5
Şekil 1.5 : Üretim Hattı Boyunca Çalışan Bir CONWIP Kartı (Hopp ve Spearman, 2001).....	6
Şekil 1.6 : Bir CONWIP Sistemi (Hopp ve Spearman, 2001)	7
Şekil 1.7 : CONWIP Sisteminin Genel İşleyişi (Hopp ve Spearman, 2001).....	8
Şekil 1.8 : Bir POLCA Kartı Örneği (Suri, 2003).....	9
Şekil 1.9 : Örnek bir POLCA döngüsü (Suri, 2003)	10
Şekil 1.10 : Başarmak istenen ile bunun nasıl başarılacağına belirlenmesi (Suh, 2001).....	11
Şekil 1.11 : Aksiyomlarla tasarımda bilgi sahaları (Suh, 2001)	12
Şekil 1.12 : Aksiyomlarla tasarımda haritalandırma süreci (Suh, 2001).....	13
Şekil 1.13 : Tasarımın zikzaklama ile ayrıştırılması (Lindholm, 1999).....	13
Şekil 2.1 : Çekme/Kanban Üretim Sistemlerinin Tasarımı (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007).....	16
Şekil 2.2 : Çekme/Kanban Üretim Sistemlerinin Tasarımının İlk Ayrıştırması (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007).....	16
Şekil 2.3 : “Çekme (Kanban) Bilincini Yerleştir” Dalı (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007).....	17
Şekil 2.4 : “Etkin Bilgi Akışını Sağla” Dalı (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007)...	18
Şekil 2.5 : Çekme/Kanban Üretim Sistemlerinin Tasarımı (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007).....	18
Şekil 2.6 : Çekme/Kanban Üretim Sistemlerinin Tasarımı (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007).....	19
Şekil 2.7 : Çekme/Kanban Üretim Sistemlerinin Tasarımı (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007).....	20
Şekil 2.8 : Ürüne Tahsisli Olmayan CONWIP Sisteminin Aksiyomlarla Tasarımı ..	22
Şekil 2.9 : Darboğaza göre Çalışan bir CONWIP hattı – DBR Sistemi (Hopp ve Spearman, 2001)	23
Şekil 2.10 : Paylaşılan Kaynağa göre Bölünmüş CONWIP Hatları (Hopp ve Spearman, 2001)	23
Şekil 2.11 : Basit ve Bölünmüş CONWIP Hatları (Hopp ve Spearman, 2001)	24
Şekil 2.12 : POLCA Sisteminin Aksiyomlarla Tasarımı.....	28
Şekil 3.1 : İncelenen CONWIP Sistemi	32
Şekil 3.2 : Ürüne Tahsisli Olmayan CONWIP Sisteminde Sipariş Listesinin Gösterimi (Herer ve Masin, 1997)	37

Şekil 3.3 : Her Paralel Hattın Kendi Sipariş Listesiyle Yönetildiği bir CONWIP Sistemi (Cao ve Chen, 1997)	38
Şekil 3.4 : Her paralel hattın kendi sipariş listesiyle yönetildiği bir CONWIP Sistemi	39
Şekil 3.5 : İş Yükleme Algoritması	42
Şekil 3.6 : İş Yükleme ve Sıralama Sezgiseli	52
Şekil 4.1 : Çalışma Uygulama için Seçilen Sistemdeki CONWIP Hattı.....	53
Şekil 4.2 : Çalışma Uygulama için Seçilen Sistemdeki CONWIP Hattı.....	54
Şekil 4.3 : İtme Ortamı İçin Model Sırasının ve Pratik Sıranın Performansı (S.1)....	63
Şekil 4.4 : Çekme Ortamı İçin Model Sırasının ve Pratik Sıranın Performansı (S.1)....	64
Şekil 4.5 : Senaryo 1 İçin Model Sıralamasının ve Pratik Sıralamanın Performansı.....	65
Şekil 4.6 : İtme Ortamı İçin Model Sırasının ve Pratik Sıranın Performansı (S.2)....	66
Şekil 4.7 : Çekme Ortamı İçin Model Sırasının ve Pratik Sıranın Performansı (S.2)....	67
Şekil 4.8 : Senaryo 2 İçin Model Sıralamasının ve Pratik Sıralamanın Performansı.....	68
Şekil 4.9 : İtme Ortamı İçin Model Sırasının ve Pratik Sıranın Performansı (S.2)....	69
Şekil 4.10 : Çekme Ortamı İçin Model Sırasının ve Pratik Sıranın Performansı (S.3)	71
Şekil 4.11 : Senaryo 3 İçin Model Sıralamasının ve Pratik Sıralamanın Performansı	71
Şekil 4.12 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.1)	79
Şekil 4.13 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.1).....	80
Şekil 4.14 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.1)	81
Şekil 4.15 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.2)	87
Şekil 4.16 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.2).....	88
Şekil 4.17 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.2)	89
Şekil 4.18 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.3)	94
Şekil 4.19 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.3).....	95
Şekil 4.20 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.3)	96
Şekil 4.21 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.4)	102
Şekil 4.22 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.4)....	102
Şekil 4.23 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.4) ...	103
Şekil 4.24 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.5)	109
Şekil 4.25 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.5)....	109
Şekil 4.26 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.5) ...	110

CONWIP ESASLI ÜRETİM SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE YÖNETİMİ

ÖZET

Yüksek ürün talebi değişkenliği ve yüksek ürün çeşitliliği olan sistemlerde geleneksel çekme/Kanban sistemlerinin uygulanması mümkün olmamaktadır. Bu noktada belirtilmelidir ki, bu karmaşık talep ortamlarında ürüne tahsisli sistemlerin çekme kontrol üretim sistemlerinin uygulanması üretim içi stokların artmasına neden olmaktadır. Bu tür üretim ortamlarında çekmeyi sağlamak için karma çekme sistemlerinin, örneğin CONWIP (CONWIP: Süreç İçi Sabit Stok) sisteminin, uygulanması uygun olmaktadır. CONWIP sistemleri genel olarak ikiye ayrılır: (1) Ürüne tahsisli olan sistem, (2) Ürüne tahsisli olmayan sistem. Ancak bir karma çekme türü olan CONWIP üretim kontrol sisteminin uygulamaya geçirilebilmesi için belirli adımların bir süreç içerisinde tamamlanması şarttır. Ürüne tahsisli olmayan CONWIP hatları, yüksek ürün talebi ve değişkenliğine sahip ortamlarda çekmeyi sağlamak üzere kullanılır. Bu çalışmada ürüne tahsisli olmayan COWIP sistemleri aksiyomlarla tasarım ilkeleri kullanılarak tasarlanmıştır. Bu tasarım bir yol haritası olarak ele alınmış olup, amacı bir CONWIP sisteminin uygulaması sırasında yapılması gerekenleri sistematik bir şekilde ele almaktır. Diğer taraftan çalışmanın ikinci amacı olarak ise, CONWIP sistemlerinin yönetimi konusu araştırılmıştır. CONWIP hatlarının yönetiminde ortaya çıkan ve çözüm bekleyen sorunları başında siparişlerin uygun şekilde sıralanması yer almaktadır. Ürüne tahsisli olmayan CONWIP sistemlerinin etkin yönetimi için hiyerarşik bir iş yükleme ve sıralama modeli ortaya konmuştur. Önerilen bu model, gerçek bir üretim sisteminde uygulanmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

DESIGN AND MANAGEMENT OF CONWIP PRODUCTION CONTROL SYSTEMS

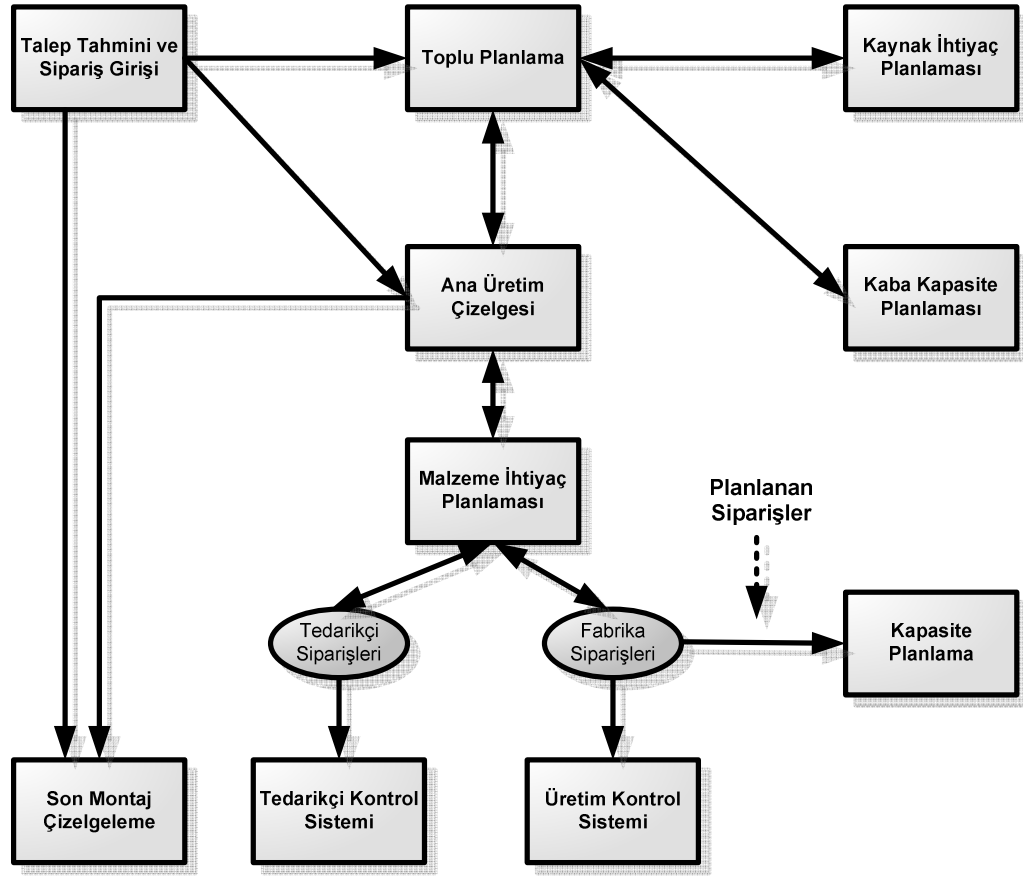
SUMMARY

Traditional pull/Kanban systems could not be applied in certain systems with high demand variability and product variation. Besides, product dedicated pull production control systems are not the appropriate alternatives this erratic demand conditions due to their redundant work-in-process inventory requirements. Hybrid pull systems, such as CONWIP (Constant Work-in-Process) system, is applied to ensure pull in such systems. Besides, some certain tasks should be completed in order to implement this hybrid production control system, hybrid pull system. CONWIP systems are generally considered into two different types: (1) Product dedicated system, (2) Generic system. Generic CONWIP systems are preferred in erratic demand conditions to ensure pull. In this study, the design of generic CONWIP production control systems is proposed by using axiomatic design principles. The design is constructed as a road map; and its aim is to propose a systematic way for implementing CONWIP system. On the other hand, as the second objective, management of CONWIP Systems is investigated. The chief problem occurs on the management of CONWIP lines is the sequencing of the jobs for CONWIP line. A hierarchical loading and sequencing model is proposed for effective management of generic CONWIP lines. Finally, this model was applied on a real manufacturing system and the benefits are discussed.

1. GİRİŞ

Üretim kontrol sistemleri basitçe itme ve çekme sistemleri olarak sınıflandırılabilir. Bilindiği gibi itme sistemleri talebe bağlı olarak işleri ve malzeme akışlarını çizelgeler ve operasyonları bu çizelgeler üzerinden yürütür. Tam tersine çekme sistemleri ise üretimlerini müşterinin ürün çekme hızına göre ayarlarlar. Yani itme sistemlerinde işleri sisteme salınımı çizelgelenir, çekmede ise yetkilendirilir.

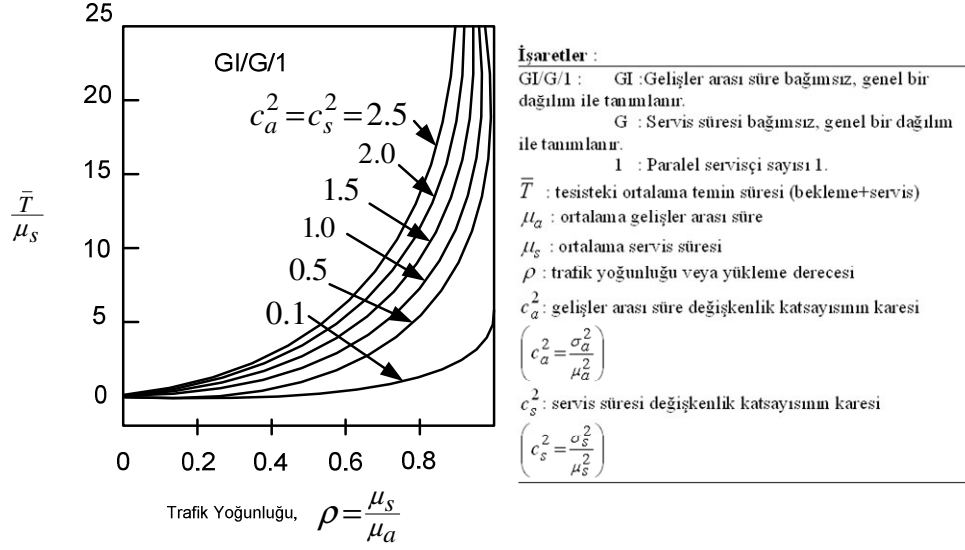
Şekil 1.1, klasik bir itme sistemi özetlemektedir. Bu süreç aslında tipik bir parçalara ayırma süreci olarak düşünülebilir. Buna göre, ürün aileleri düzeyinde toplu üretim planları (İng: Aggregate Planning Level) oluşturulur, daha sonra bu planlar, ana üretim çizelgeleri bazında (İng: Master Production Schedule) bireysel ürünler için veya parça grupları ya da alt montajlar için ayrıntılandırılır. Ana üretim planları talep tahminine ve kabul edilen müşteri siparişlerine dayandırılır. Bu çizelgelerde gerekli olan malzemeler veya ara mamüller de malzeme ihtiyaç planlaması (İng: Materials Requirements Planning) aracılığıyla ortaya çıkarılır. Bu süreç “patlatma” süreci de denir. Bu süreç içerisinde eldeki ürün miktarı, verilen üretim emirleri, malzeme siparişleri, parti büyüklükleri ve temin süreleri dikkate alınarak gerçekleştirilir. Aynı şekil üzerinde gösterilmiş olan bir diğer önemli nokta ise, her planlama seviyesinde hem kapasite planlaması hem de malzeme planlaması yapılmaktadır. Bu nedenle, toplu üretim planı malzemelerle ilgilenirken, kaynak ihtiyaç planlaması (İng: Resource Requirement Planning) da buna karşılık gelen kapasite planını oluşturmaktadır. Benzer şekilde, kaba kapasite planı prosedürü (İng: Rough Capacity Planning) de ana üretim planını ana üretim çizelgesini makine ve işçi saatlerine çevirmektedir. Kapasite ihtiyaç planlaması (İng: Capacity Requirement Planning) da imalat kaynak planlaması (İng: Manufacturing Resource Planning - MRP) sistemi tarafından oluşturulan imalat emirlerini ve atölye kontrol (İng: Shop Floor Control System) sisteminin açık siparişlerini ayrıntılı kapasite planlarına çevirir (Hyer ve Wemmerlöv, 2002).



Şekil 1.1: MRP Çalışma Sistematiği (Hyer ve Wemmerlöv, 2002)

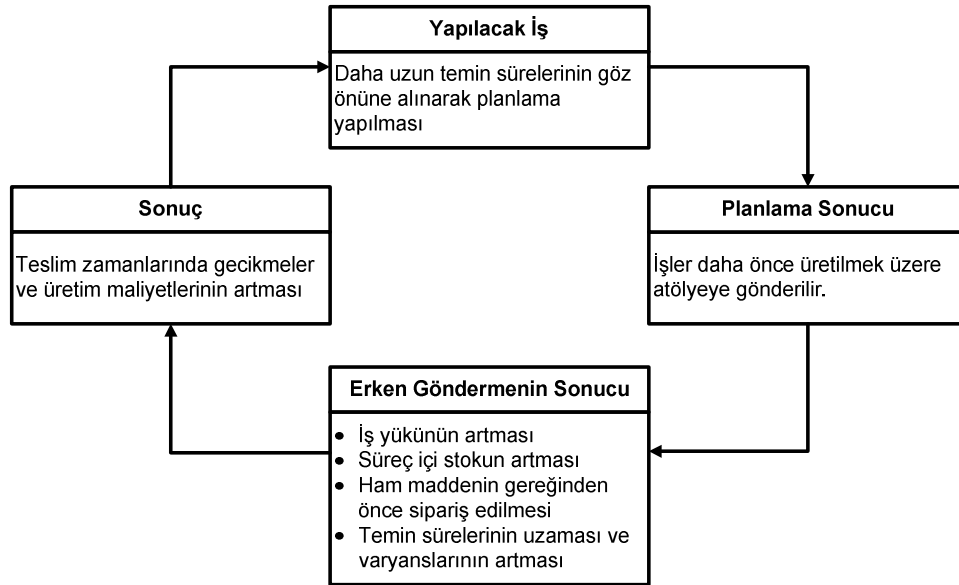
İtme sistemlerinde ortaya çıkan sorunlar şu şekilde özetlenebilir:

1. MRP, üretim ortamının sabit olduğunu, başka bir deyişle temin sürelerinin sabit olduğunu varsayar. Tek bir temin süresi, tüm şartları karşılamaya yetmediğinden, süre, en kötü duruma karşı tüm değişkenlikleri kapsayacak bir şekilde belirlenir (Hendryx, 1990). Gerçek hayatta temin süresi rassaldır ve sistem tıkanıklığına veya yükleme derecesine dayalı olarak değişir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : Temin Süresinin Sistem Yükleme Derecesi ile Değişimi (Hendryx, 1990)

2. Tüm değişkenlikleri kapsayan bir temin süresi dikkate alınarak yapılan bir MRP' de, MRP geriye doğru bir çizelgeleme yaklaşımı olduğundan, işler daha önce üretilmek üzere imalat sistemine gönderilir. Erken göndermenin sonucunda da, imalat sisteminde iş yükü ve süreç içi stok artar, hammadde gereğinden önce sipariş edilebilir ve temin süreleri uzayıp, temin süresi değişkenlikleri artar (Durmuşoğlu, 2007). Nihayetinde teslim sürelerinde gecikmeler ve üretim maliyetlerinde artışlar olur (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 : Üretim Kontrolünde Hata Çemberi (Durmuşoğlu, 2007)

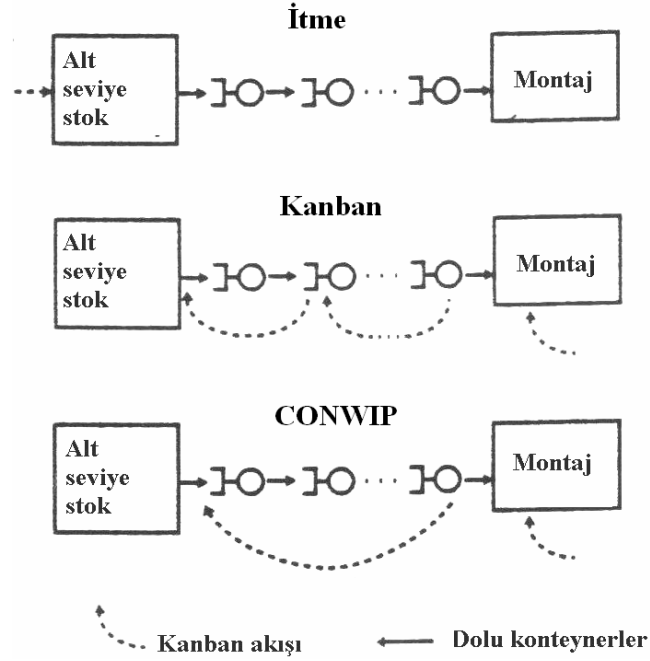
3. MRP, prosesin (hücrenin) sahibinden uzak bir kontrol sistemidir. MRP, bilgi yoğunudur ve bir yönetim bilişim sistemi (MIS) veya merkezi planlama bölümünün idaresini gerektirir. Temin süresi varsayımının merkezi durumu, imalat sisteminden temin süresi sorumluluğunun kalkması ile sonuçlanır. Kötümser temin süreleri, planlama sürecinin kabul edilebilir bir parçası olmaktadır. Ayrıca planlama ile üretim işlemleri arasındaki mesafe, sıklıkla imalat alanı düzeyinde mevcut olan bilginin, daha güvenilir olması ile sonuçlanır. Denetçiler, MRP verisine güvenmek yerine, yerel bilgiye daha fazla bel bağlarlar (Durmuşoğlu, 2007).
4. MRP sistemlerinin uygulamaya alınması ve geçerliliğinin sürdürülmesi, karmaşık ve pahalıdır. MRP'nin maliyeti, bilgisayar donanımı ve yazılımının maliyetinin yanı sıra, eğitim ve uygulamaya alınması maliyetlerini içermektedir. Geçerliliğini sürdürme maliyeti, bilgi tabanının bakımı olduğu kadar, raporların üretimi ve dağıtımını da kapsar (Durmuşoğlu, 2007).

Tüm bu listelenen sorunlardan açıkça görüldüğü gibi itme sistemleri işletim açısından çok etkin olamamaktadır. Bu nedenle çekme sistemleri itme sistemlerinin yerine veya beraberce kullanılmaktadır. Bir sonraki başlıkta çekme sistemleri üzerinde durulacaktır.

1.1 Çekme Kontrollü Üretim Sistemleri

Çekme sistemlerinin çıkışı, ilk olarak Japon Toyota firmasının uygulamaya başladığı Kanban sistemidir. Kanban sistemi kendi içinde çok çeşitli ve ayrıntılı olup, Kabadurmuş (2005) tarafından yapılmış Lisans Tezi ile Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007) çalışmasında ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu nedenle burada ayrıntıya girmemekle birlikte, aşağıdaki başlıklar altında bahsi geçen çekme üretim kontrol sistemleri açıklanacaktır.

Kanban dışında da birçok çekme sistemi mevcuttur. Bunlardan hepsinin ele alınması bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Bu çalışmada, CONWIP (CONWIP: Constant Work-in-Process) ve POLCA (POLCA: Paired Overlapping Loops of Cells with Authorization) çekme sistemleri ele alınmıştır. Bu sistemler aşağıdaki Şekil 1.4'te özetlenmiştir:



Şekil 1.4 : Çalışma Şekilleri Açısından MRP, Kanban ve CONWIP sistemleri
(Kabadurmuş 2005'ten uyarlanmıştır)

1.1.1 Kanban Sistemi

Bu sistem ilk olarak Japon Toyota firmasında kullanılmıştır. Kanban kelimesi Japonca'da kart anlamına gelmektedir. Bu kartlar üretim sistemi içerisindeki malzeme akışını yönetmede kullanılan görsel araçlardır.

Kanban sisteminde üretim taleple tetiklenir. Son stok noktasından bir ürün çekildiği zaman bu, bu bir önceki sürece parçayı üretme yetkisi verir. Bu şekilde yetkilendirme süreci hattın veya üretim sisteminin ilk noktasına kadar devam eder. Hatta, hammadde siparişi de buna göre yapılır. Bir operasyonun başlayabilmesi için iki şey gereklidir: (1) işlenecek malzemenin var olması ve (2) yetki sinyalinin (yani Kanbanın) mevcut olması.

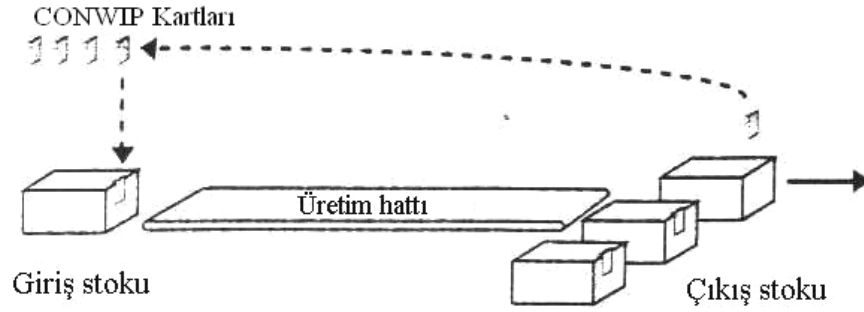
Kanban ilk uygulandığı yer olan Toyota fabrikasında, iki kart sistemi olarak uygulanmıştır. İki kart sisteminde, üretme Kanbanı ve çekme Kanbanı beraberce çalıştırılır. Bunun aksine tek Kanban sistemi de sıkça kullanılan bir uygulamadır. Bunların dışında, çift kutu Kanbanı, boş kap Kanbanı, sinyal Kanbanı, üçgen Kanbanı, acil ihtiyaç Kanbanı, ekspres Kanban, tedarikçi Kanbanı, Kanban karesi, oluk sistemi, elektronik Kanban uygulamada kullanılan Kanban türlerinden bazılarıdır. Bu Kanban çeşitleri Kabadurmuş (2005) lisans tezi ile Kabadurmuş ve

Durmuşoğlu (2007) çalışmasında ayrıntılı olarak incelendiğinden burada ayrıntılandırılmayacaktır.

1.1.2 CONWIP Sistemi

CONWIP (CONWIP: Constant Work in Process) üretim sistemi bir karma çekme sistemidir. Geleneksel olarak bilinen Kanban sisteminin özel bir durumu olarak da nitelenebilen bu sistem, her çekme sistemi gibi üretim için stoku kontrol altında tutarken çıktıyı gözler (Hopp ve Spearman, 2001).

Aşağıdaki Şekil 1.5. CONWIP sisteminin Kanban'dan temel farkı olan hatta özgü olma özelliğini göstermektedir.

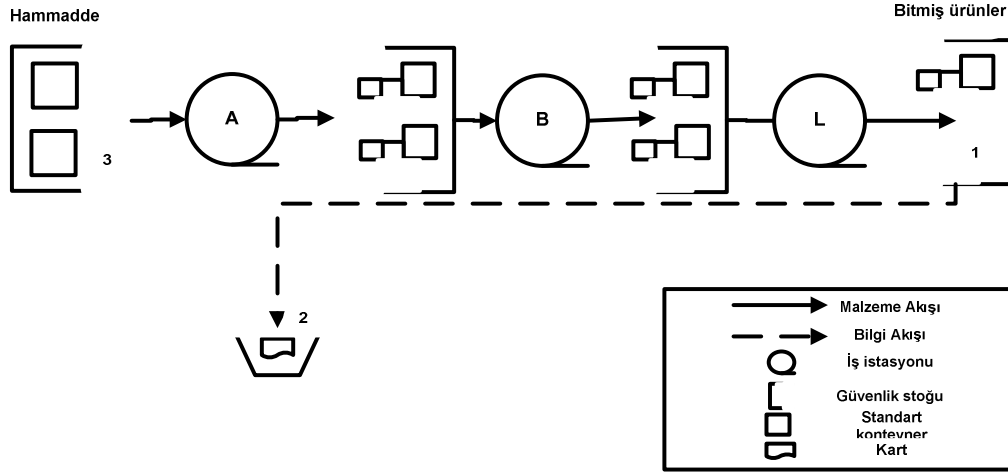


Şekil 1.5 : Üretim Hattı Boyunca Çalışan Bir CONWIP Kartı (Hopp ve Spearman, 2001)

Hammaddeler standart kapla gelir ancak sadece CONWIP kartı varsa serbest bırakılırlar. Bu kartlar yerine kutu veya kap gibi araçlar da kullanılabilir. Kartlarda herhangi bir rotalama veya ürün bilgisi gerekmediğinden kartlar basit olabilir. Bir iş sadece kart geldiğinde hatta sokulduğundan kartlar çevrim halindedir. Üretim hattındaki üretim içi stok miktarı, sistemdeki CONWIP kartları sayısı kadardır.

CONWIP kartları ürün bilgisi içermediğinden hat operatörü ya da yöneticisi hangi işin hatta sokulması gerektiğini gösteren bir ek bilgiye ihtiyaç duyar. Bu bilgi en basit olarak işlerin önceliklerini belirten bir kâğıt olabilir. Buradaki kurallar çok farklı olabilir, örneğin öncelik kuralı en erken teslim tarihine göre sıralanabilir. Bir CONWIP kartı yeni bir ürün üretim için hazır olduğunda (operatöre ulaştığında), yeni hammadde üretime hazır demektir.

İşler ilk giren ilk çıkar (İng: FIFO - First in First out) kuralına göre ilerler, yani hata ilk verilen ürün ilk çıkar. Böylece ürünler sipariş listesine göre aynı sırayı takip ederek çıkar. Ancak, bazı acil işler dikkate alınarak aralara konan süpermarketlerle öncelikli işlerin normal işlerin önüne geçmeleri sağlanabilir (özellikle uzun hatlarda).

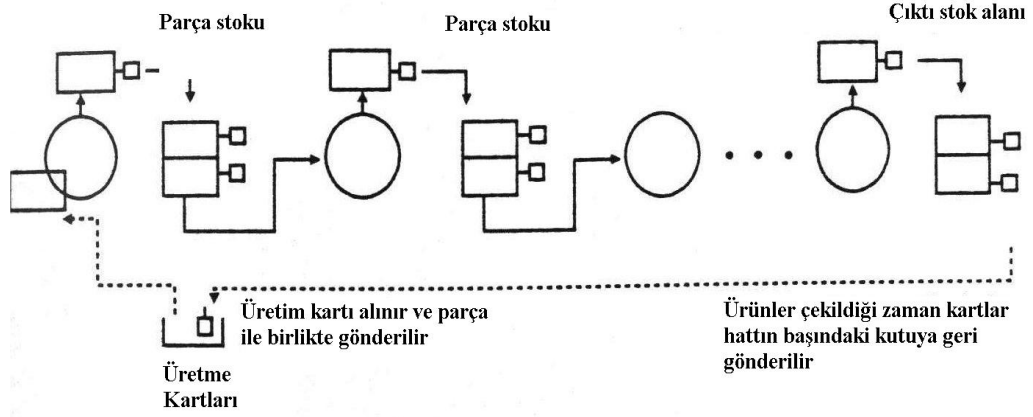


Şekil 1.6 : Bir CONWIP Sistemi (Hopp ve Spearman, 2001)

Şekil 1.6’de gösterilen CONWIP sisteminde bitmiş ürün 1. bölgede tutulur. Buradan sonra üretim kartı A iş istasyonuna yani hattın başına yeni işi serbest bırakmak için gönderilir. Operatör 3 bölgesinde hammaddeyi alır ve üretime başlar. Kanban sistemlerinden farklı olarak her kart belli bir parçaya özgü değildir. Hatta bağlıdır ve bu nedenle parçaya özgü olmaktan çıkarılmıştır. Hangi parçanın üretileceği hattın başındaki sipariş listesi (İng: Backlog list) ile belirlenir. Yeni bilgi son istasyondan ilk istasyona gönderilir.

Bu nedenle, CONWIP sistemindeki kart sayısı daha azdır. Çünkü her istasyona bir tane kart yerine, hattın bütününe bir kart düşer.

Aşağıdaki şekilde bir CONWIP sistemi görülmektedir:



Şekil 1.7 : CONWIP Sisteminin Genel İşleyişi (Hopp ve Spearman, 2001)

Şekil 1.7. her ürünün aynı rotadan geçtiği bir CONWIP sistemini açıklamaktadır. Farklı ürünlerin farklı rotalara sahip olduğu sistemlerde ise daha karmaşık bir yapı mevcuttur.

Bir CONWIP sisteminin kullanılabilmesi için uygun koşullar şunlardır (Hopp ve Spearman, 2001):

1. Sabit rotalar: Her parça aynı sırayı izleyerek aynı makinelerden/veya süreçlerden geçer. Bazı parçalar fazladan operasyonlara gerek duyabilir ancak bu çevrim süresini değiştirmez, bu nedenle CONWIP sistemi çalışır.
2. Benzer işlem zamanları: Yani her parçanın her makinede harcadığı zamanın benzer olmasıdır. Bu da darboğazları önlemek üzere önem taşır.
3. Kısa hazırlık süreleri

Farklı ürünlerin farklı rotalardan geçtiği sistemlerde genel olarak CONWIP sistemlerinin uygulanması zordur. Ancak, yukarıdaki listede de belirtildiği gibi ürünlerin temelde aynı sırayı takip etmesi çekmeyi kolaylaştırır.

1.1.3 POLCA Sistemi

POLCA'yı tanıtmaya başlamadan önce belirtmelidir ki, bu bölüm büyük çoğunluğuyla Kabadurmuş (2005) Lisans tezinden alıntılanmış ve uyarlanmıştır.

Bilindiği gibi Kanban tipik bir stok yenileme sistemidir. Şöyle ki, her ürün için bir makul stok miktarı her istasyonun çıkışını sürdürmek için kullanılır, eğer bu stoktan bir sonraki sürece ürün geçişi yaşanır ise bu stok miktarının bir azaldığını ve

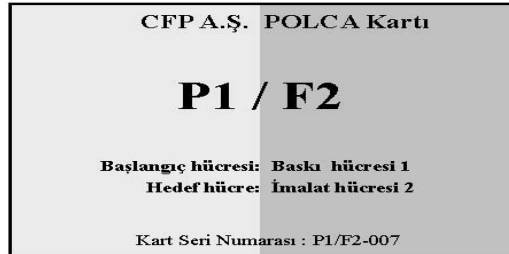
yenilenmesi gerektiğini gösterir. Yani biten ürünlerin (kullanılan ürünlerin) yerine derhal yenileri üretilir.

Çok sayıda ürün üreten, yani ürün çeşitliliği çok olan bir fabrikada klasik çekme/Kanban sistemleri uygulanamaz. Buna ek olarak, ürünleri müşteri talepleri doğrultusunda tasarlayan bir fabrikada da Kanban uygulanması mümkün değildir. Çünkü, önceden belirli çıktılar yoktur (her müşterinin siparişinde çıktı değişir) ve bu nedenle her istasyonun bu şekilde bir stok bulundurması (Kanbanda olduğu gibi) mümkün değildir. Yani Kanban sistemleri tekrarlı ve talep değişkenliği fazla olmayan üretime uygundur.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, önceden tanımlı olmayan ürünlerin olduğu, ürün karışımının sürekli değiştiği, değişken talep miktarı ve sıklığının olduğu imalat ortamlarında kanban sistemleri yetersiz kalmakta, daha doğrusu çökmektedir. Bunun bir nedeni de Kanban sistemlerinde hesaplanması zorunlu olan takt süresinin (müşteri çevrim süresi olarak tanımlanır) önceden tanımlı olmayan ve sipariş sıklığı ve miktarı değişen ürünlerde hesaplanmasının imkansız olmasıdır.

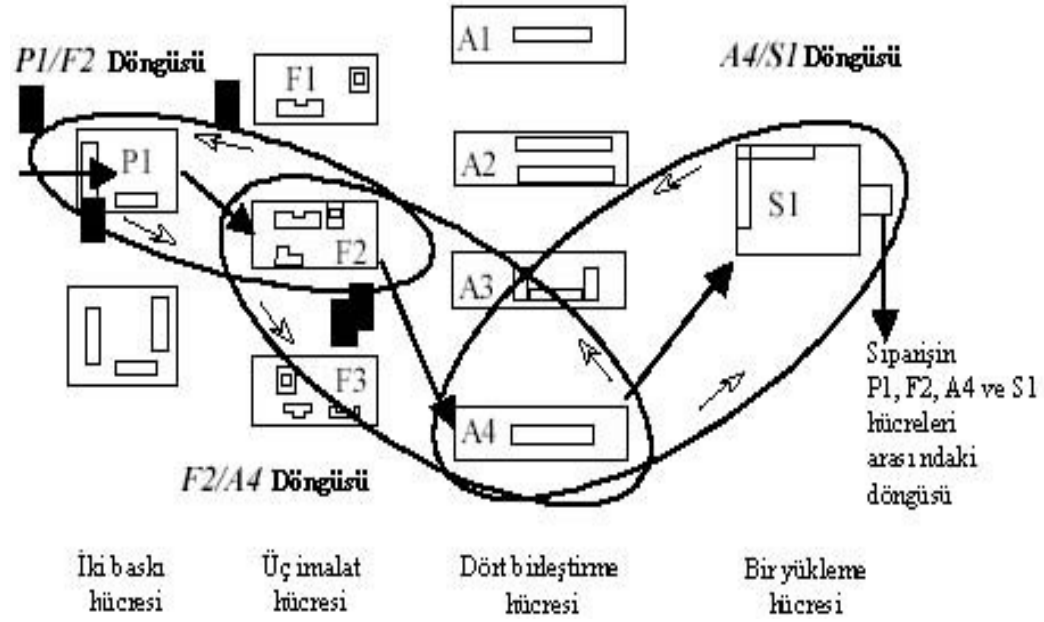
Suri (2003), yüksek değişkenlik gösteren veya önceden tanımlı olmayan ürünlerin üretildiği imalat ortamlarında etkin malzeme kontrolü sağlamak için itme ve çekme/Kanban sistemlerinin bazı özelliklerinin birlikte kullanılmasının faydalı olacağını belirtmektedir. Bu sisteme Suri, “POLCA” adını vermektedir. POLCA, Kanban ve itme sistemlerinin en iyi özelliklerini birleştirmek iddiasıyla oluşturulmuştur.

Aşağıda bir POLCA kartı görülmektedir (Şekil 1.8). Kart üzerinde yazan P1/F2 hücreleri başlangıç ve bitiş hücrelerini yani POLCA döngüsünün hangi hücreleri kapsadığını göstermektedir. Görüldüğü gibi kart üzerinde hücre bilgilerinden başka bir bilgi yer almamaktadır (parça kodu, miktarı gibi). Bunun nedenleri ileride açıklanacaktır.



Şekil 1.8 : Bir POLCA Kartı Örneği (Suri, 2003)

Şekil 1.9 ise POLCA kullanımını açıklamak için çok uygun bir fabrikayı göstermektedir. Bu fabrika çok farklı taleplere sahip ürünler üretmekte ve aynı zamanda müşterilerden gelen taleplere de karşılık vermektedir. Fabrikanın yerleşimi aşağıdaki gibidir:



Şekil 1.9 : Örnek bir POLCA döngüsü (Suri, 2003)

Yukarıdaki şekilde dikkat edilmesi gereken nokta POLCA kartlarının hücre içinde değil hücreler arasında malzeme kontrolünü sağlamasıdır. Bu arada hücre içinde herhangi bir kontrol sistemi uygulanabilir. Yani kısacası POLCA kartları parçaya değil iki hücreye tahsislidir. Çünkü, POLCA döngüsü iki hücre arasında gerçekleşmektedir.

POLCA sistemlerinde hücreler arası siparişlerin akışı bir çekme/üretme kartları karışımı olan POLCA kartı ile sağlanır. Bu sistemin çalışabilmesi için yüksek düzey malzeme planlaması, yani HL/MRP(HL/MRP:High Level Material Requirement Planning), gerekmektedir. HL/MRP sistemi klasik MRP sistemine benzemektedir, fakat farkı operasyonel seviyede olmamasıdır. Bunun yerine sistem, her hücreyi bir kara kutu olarak görmekte ve sadece hücreler arası malzeme akışını planlamaktadır (Suri, 2003).

POLCA kartlarının Kanbandan bir diğer farkı da kartın parçanın işlenmesi devam ederken parçadan ayrılmasındır. Örneğin, P1/F2 döngüsünde P1/F2 kartı parça P1 hücresine işlenmek üzere geldiğinde işlenecek parçaya iliştilir. Parça F2 hücresine geçtiğinde kart da F2 hücresine parça ile beraber geçer. Parça F2 hücresinde

işlenirken kart da parçayla beraberdir. Kartın F2 hücresinden ayrılması ve P1 hücresine dönmesi parçanın F2 hücresinde artık işinin kalmaması ve F2 hücresinden ayrılması ile mümkündür.

1.2 Aksiyomlarla Tasarım

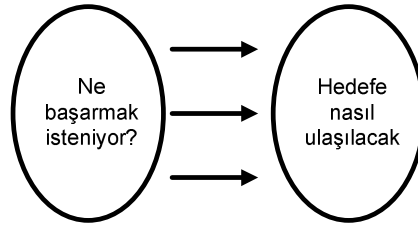
Bu bölümde aksiyomlarla tasarım ilkeleri hakkındabilgi verilecektir. İlk bölümde genel özellikler özetlenirken, izleyen bölümde yöntem içerisinde çok önemli olan haritalandırma süreci açıklanacaktır.

1.2.1 Genel özellikler

Bu bölüme giriş yapmadan önce belirtilmelidir ki, bu kısımda yazılanlar büyük çoğunlukla Kabadurmuş (2005) Lisans Tezi ile Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007) çalışmalarından uyarlanmış ve alıntılanmıştır.

Aksiyomlar kendiliğinden apaçık olan ve başka önermelere dayanak olan genel prensipler veya bir kanıt veya açıklamaya ihtiyaç göstermeyen temel gerçeklerdir (Suh, 2001). Aksiyomlar yeni kavramlar üretir örneğin Newton'un yasalarından sonra güç ve enerji kavramlarının çıkması, ayrıca termodinamikten sonra da entropi kavramının ortaya konması gibi.

Aksiyomlarla tasarım konusunda bilgi vermeden önce tasarım kelimesi üzerinde durmak faydalı olacaktır. Tasarım, Suh (2001)'a göre yapılması gereken ile bunun nasıl yapılacağıının belirlenmesidir. Bu nedenle tasarım konusunda öncelikle sorulması gereken sorular şunlardır: “Biz neyi başarmak istiyoruz?” ve cevap olarak ise “Bu amacımıza nasıl ulaşacağız?”. Aşağıda yer alan Şekil 1.10 bu amacı göstermektedir.



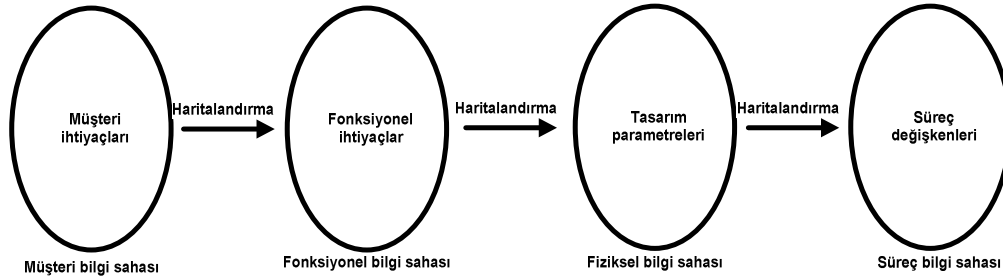
Şekil 1.10 : Başarmak istenen ile bunun nasıl başarılabacağıının belirlenmesi (Suh, 2001)

Aksiyomlarla tasarımın temel amacı tasarım konusunda ve tasarım ile geliştirilen süreçlerde bir bilimsel taban oluşturulmasıdır. Bunu da tasarımcıya bazı mantıksal ve teorik düşünce süreçleri ve araçları ile vermektedir.

Aksiyomlarla tasarım konusunda bir önemli nokta tasarımcının aşağıda listelenen konuları yerine getirmesidir (Suh, 2001):

- Müşteri ihtiyaçlarını anlamak
- İhtiyaçları karşılama konusundaki problemleri çözmek üzere tanımlamak
- Sentez yoluyla çözümleri oluşturmak
- Çözümü optimize etmek için analiz yöntemini kullanmak
- Sonuçta ortaya çıkan tasarım çözümünün gerçekteki müşteri ihtiyaçlarını karşılayıp karşılamadığını kontrol etmek

Tasarım dünyası dört alandan oluşur. Bunlar: müşteri alanı, fonksiyonel alan, fiziksel alan ve işlem alanıdır. Aşağıda sunulan Şekil 1.11 tasarım dünyasını göstermektedir, sol taraftakiler ne, sağ taraftakiler ise nasıl sorularının yanıtlarıdır.

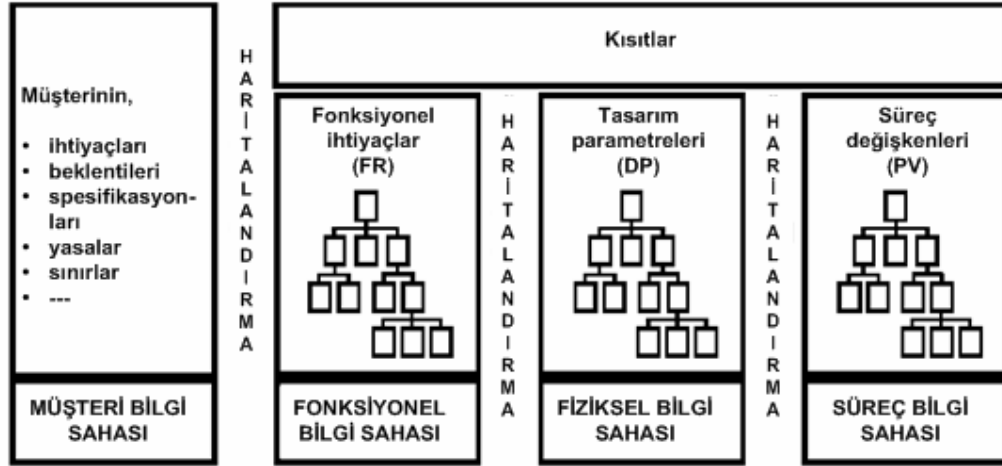


Şekil 1.11 : Aksiyomlarla tasarımda bilgi sahaları (Suh, 2001)

1.2.2 Aksiyomlarla Tasarım Sürecinde Haritalandırma ve Zikzaklama

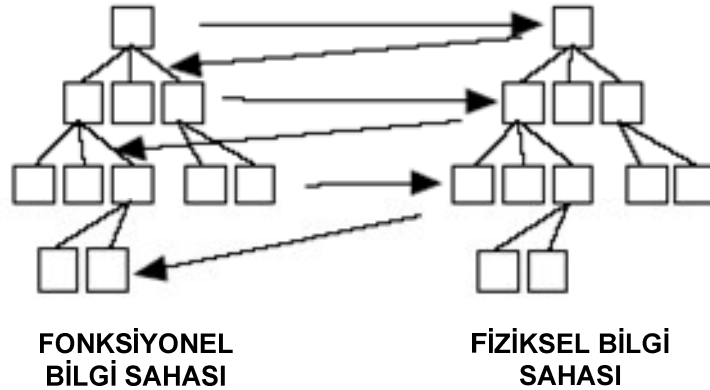
Yukarıdaki şekilde görülen haritalandırma kavramı ne yapılmak istendiğinden bunun nasıl yapılacağına olan geçiş sürecini göstermektedir. Burada fonksiyonel ihtiyaçlar (functional requirements: FR) ile tasarım parametreleri (design parameters: DP) ve süreç değişkenleri (Process variables: PV) için parantez içerisinde belirtilen kısaltmalar kullanılmıştır.

Şekil 1.12 aksiyomlarla tasarımda haritalandırma sürecini göstermektedir.



Şekil 1.12 : Aksiyomlarla tasarımda haritalandırma süreci (Suh, 2001)

Haritalandırma sürecinde “zikzaklama”(zigzagging) süreci izlenmektedir. Bu süreç tasarımı yapan kişinin fonksiyonel ihtiyacı belirledikten sonra(ne yapılacak) fiziksel bilgi sahasına geçip fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen bir çözüm üretmelidir(nasıl yapılacak). Bu süreç sürekli olarak devam etmektedir. Bu nedenle bu süreç zikzaklama denmektedir. Şekil 1.13 zikzaklamayı göstermektedir:



Şekil 1.13 : Tasarımın zikzaklama ile ayrıştırılması (Lindholm, 1999)

1.3 Çalışmanın Amacı

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasının iki temel amacı vardır:

1. Kabadurmuş (2005) Lisans Tezi ile Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007) çalışmalarında gerçekleştirilen çekme/Kanban sistemlerinin Aksiyomlarla Tasarımı konusunda açık kalan nokta olan ürüne tahsisli olmayan sistemlerin eklenmesidir. Bunlar, yukarıda ayrıntıları verilen CONWIP ve POLCA sistemleridir. Bu çekme üretim kontrol sistemleri çekme/Kanban sistemi tasarımı içine eklemlendirilecektir.
2. Ürüne tahsisli olmayan CONWIP sistemlerinde çözüm aranması gereken en önemli iki konu (1) hangi işlerin ele alınacağı, yani işlerin talep havuzundan seçilerek yüklenmesi, (2) yüklenen bu işlerin etkin şekilde sıralanmasıdır. Özetle, ürüne tahsisli olmayan CONWIP hatları için bir iş yükleme ve sıralama modeli ortaya koymak ise diğer amacı oluşturur.

Bu yolla, hem ürüne tahsisli olmayan CONWIP çekme üretim kontrol sistemlerinin tasarımı ortaya konmuş olacak hem de bu sistemlerin en önemli sorunlarının çözümüne yönelik bir sistematik önerilecektir.

Ancak, bu çalışmadaki ağırlık yukarıda ikinci maddede açıklanan amaç olan; iş yükleme ve iş sıralama problemi için sunulan model olacaktır.

2. KARMA ÇEKME ÜRETİM SİSTEMLERİNİN AKSİYOMLARLA TASARIMI

Yukarıda da ayrıntılı olarak incelendiği gibi, aksiyomlarla tasarım yöntemi ürün tasarımında kullanılmasının yanı sıra sistem tasarımında da kullanılabilir. Kabadurmuş (2005) Lisans Tezi ile Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007) çalışmalarında aksiyomlarla tasarım ilkelerini kullanarak çekme/Kanban üretim sistemlerini tasarlamışlardır. Ancak yaptıkları çalışmada, ürüne tahsisli olmayan CONWIP sistemini ve POLCA (POLCA: Paired Overlapping Loops of Cells with Authorization) üretim sistemini detaylı olarak incelememişlerdir.

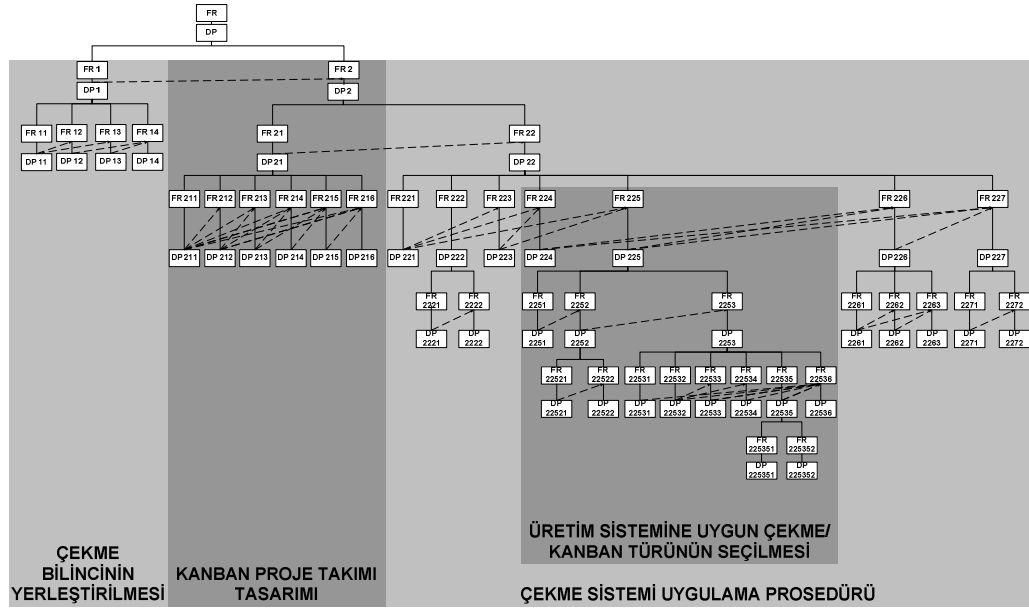
Bu çalışmada, ürüne tahsisli olmayan CONWIP ve POLCA çekme üretim kontrol sistemlerinin tasarımı detaylandırılacaktır.

2.1 Çekme/Kanban Sistemlerinin Aksiyomlarla Tasarımı

Çekme/Kanban üretim sistemlerinin aksiyomlarla tasarımı konusu Kabadurmuş (2005) lisans tezi ile Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007) çalışmalarında ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu çalışmalarda, karma çekme sistemleri olan CONWIP ve POLCA sistemlerinin ayrıntılarına inilmemiş, ayrıntılı olarak ise Kanban sistemleri incelenmiştir.

CONWIP sistemlerinin aksiyomlarla tasarımı ise aynı yazar tarafından daha önce incelenmiş bulunan bu çalışmalarla bağlantılıdır. Bu bağlamda iki çalışma arasında bağ kurabilmek adına, burada çekme/Kanban üretim sisteminin tasarımından da kısaca bahsedilecektir.

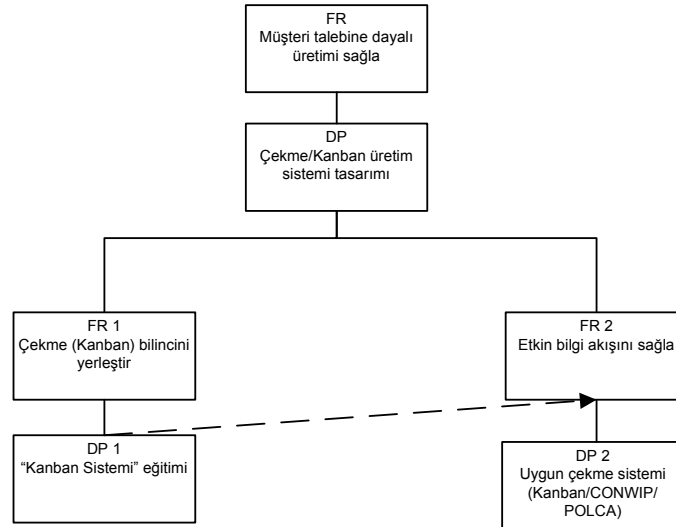
Çekme/Kanban üretim sistemlerinin tasarımı bütünsel olarak şekil 2.1’te gösterilmiştir. Takip eden alt bölümlerde, bu tasarımın ayrıntılarından kısaca bahsedilecektir.



Şekil 2.1 : Çekme/Kanban Üretim Sistemlerinin Tasarımı (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007)

2.1.1 İlk Ayrıştırma

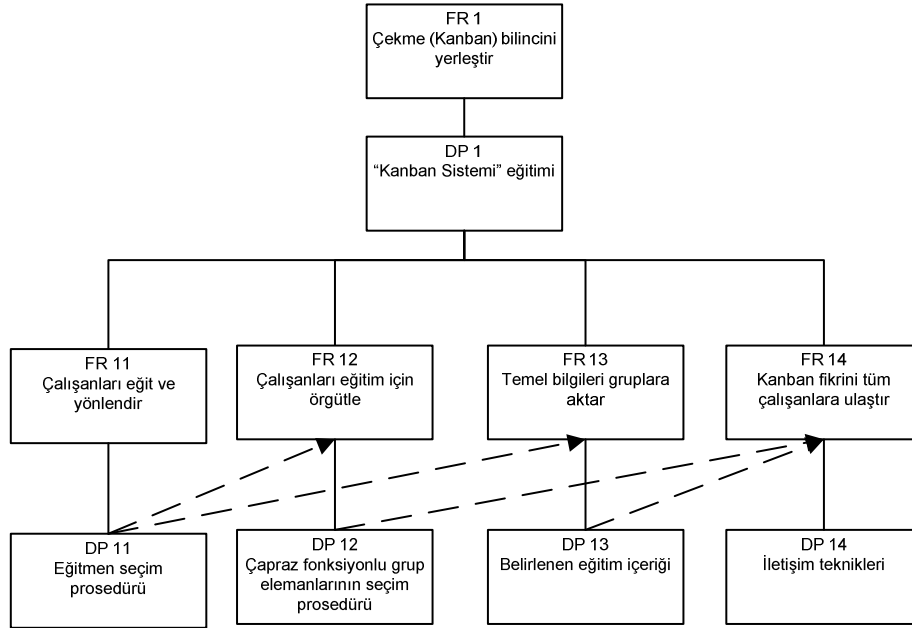
Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007)'ye göre, müşteri talebine dayalı üretim sistemini sağlamak için çekme/Kanban üretim sisteminin kurulması gereklidir. Bu ise iki ana aşamada gerçekleştirilebilir: Çekme bilincinin yerleştirilmesi ve uygun çekme sisteminin kurulması (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Çekme/Kanban Üretim Sistemlerinin Tasarımının İlk Ayrıştırması (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007)

2.1.2 Kanban Bilincinin Yerleştirilmesi

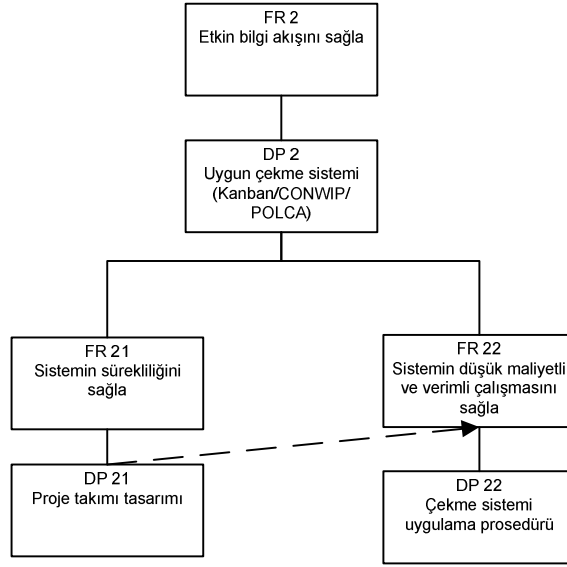
Uygun çekme/Kanban türünün seçilmesinden önce bir çekme eğitiminin gerekli olduğu belirtilmişti. Bu eğitim ile amaçlanan, çalışanlar arasında çekme bilincinin oluşturulmasıdır. Şekil 2.3'te özetlenen bu süreç, kendi içinde bir çok adımdan oluşan bir alt proje olarak nitelendirilebilir. Başarıyla yürütülmesi durumunda bu eğitimler, sonraki çalışmalar için itici güç oluşturacaktır (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007).



Şekil 2.3 : “Çekme (Kanban) Bilincini Yerleştir” Dalı (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007)

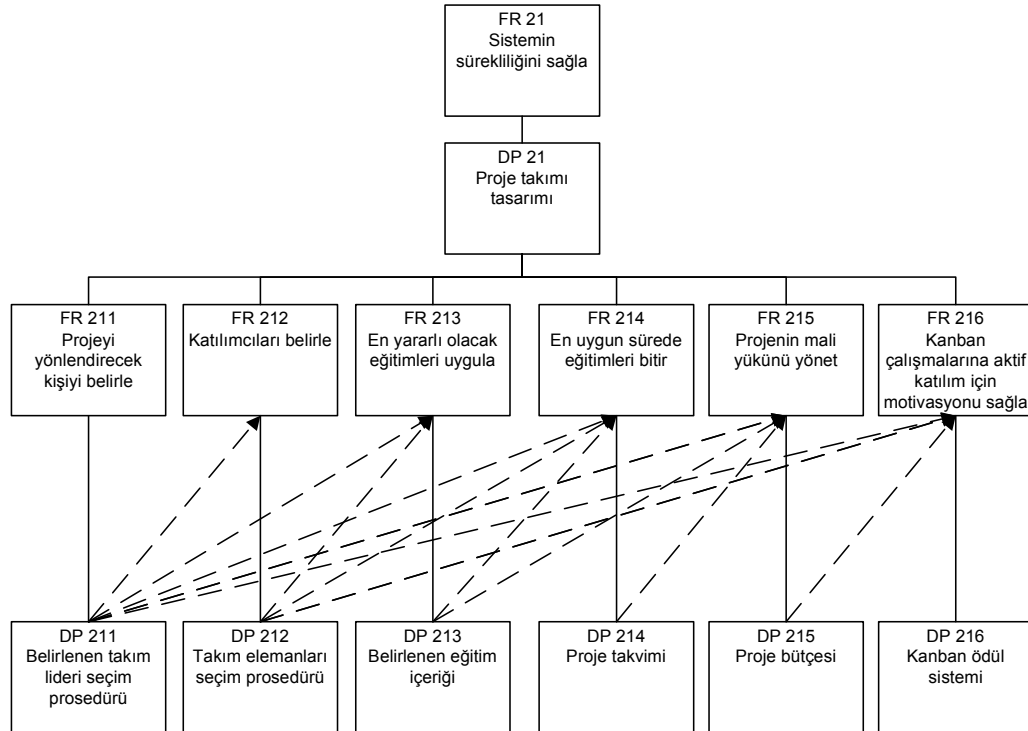
2.1.3 Kanban Proje Takımının Kurulması

Uygun çekme sisteminin seçilmesiyle birlikte, üretim sistemi içerisinde etkin bilgi akışı sağlanacaktır (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007). Bu süreç de kendi içinde ikiye ayrılabilir: Proje takımının kurulması ve çekme sistemi uygulama prosedürü (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : “Etkin Bilgi Akışını Sağla” Dalı (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007)

Projeyi yürütecek takımın oluşturulması ise sistemin sürekliliğini sağlayacaktır (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007). Proje takımının tasarlanması süreci Şekil 2.5’te özetlenmiştir.

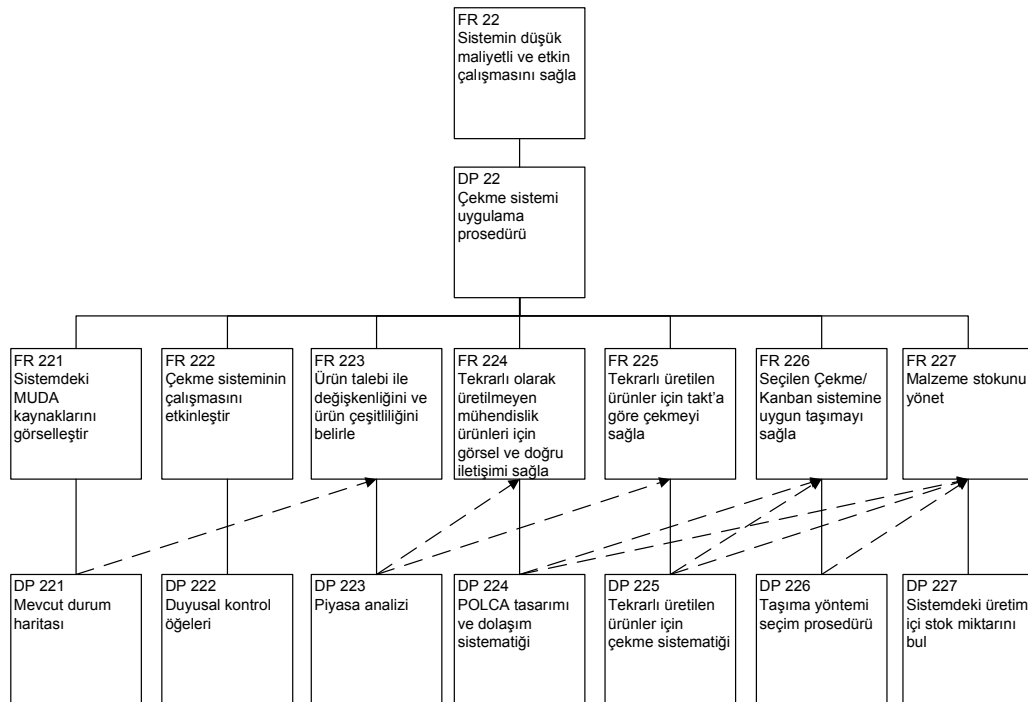


Şekil 2.5 : Çekme/Kanban Üretim Sistemlerinin Tasarımı (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007)

2.1.4 Çekme Sistemi Uygulama Prosedürü

Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007)'ye göre sistemin etkin ve düşük maliyetli olarak çalışmasını sağlamak için, çekme sistemi uygulaması bir prosedür olarak ele alınmalıdır. Bu prosedür, proje takımı tarafından yerine getirilir ve birçok önemli adımdan oluşur (Şekil 2.6).

Bu noktada, FR 224 ile gösterilen dal, tekrarlı olmayan mühendislik ürünlerin görsel ve doğru iletişiminin sağlanması için POLCA üretim kontrol sistemini önermektedir. Ancak, daha önce de bahsedildiği gibi, gerek Kabadurmuş (2005) lisans tezinde gerekse Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007) çalışmalarında POLCA tasarımının ayrıntısına girilmemiştir. Bu çalışmada POLCA sistemi tasarımı da ileriki bölümlerde ele alınacaktır.



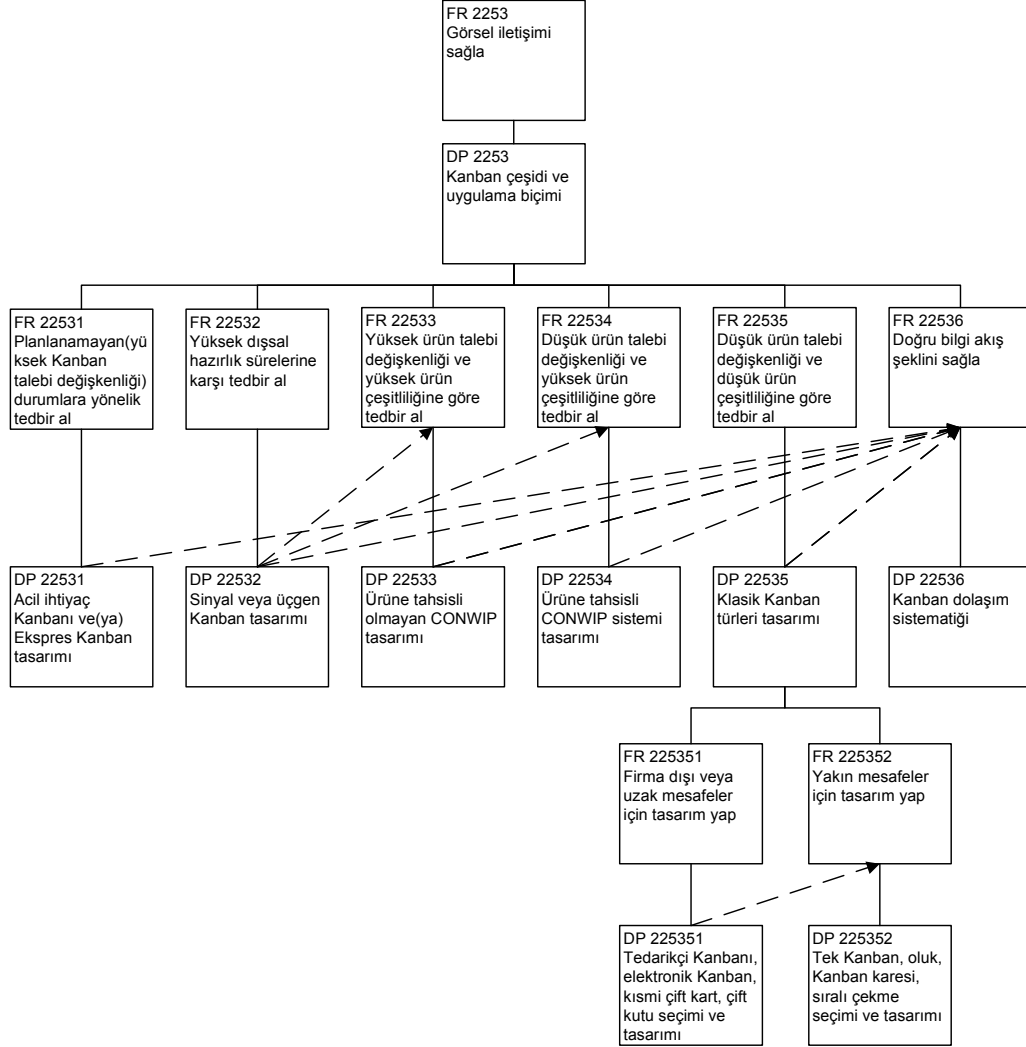
Şekil 2.6 : Çekme/Kanban Üretim Sistemlerinin Tasarımı (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007)

2.1.5 Üretim Sistemine Uygun Çekme/Kanban Türünün Seçilmesi

Şekil 2.7’de de özetlendiği gibi, tekrarlı üretilen ürünler için takt süresine uygun çekmenin sağlanması gerektiğini gösteren fonksiyonel ihtiyaç FR 225’tir. Bu dalın devamında, uygun Kanban çeşidi ve uygulama biçiminin seçilmesini gösteren FR 2253 ele alınmıştır (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007). Bu ayrıştırmada, hem klasik

Kanban çeşitlerinden hem de ürüne tahsisli olmayan CONWIP sistemlerinden bahsedilmektedir (Şekil 2.19).

Ancak, ürüne tahsisli olmayan CONWIP sistemi Kabadurmuş (2005) lisans tezi ile Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007) çalışmalarında ayrıntılandırılmamıştır. Bu yüksek lisans tezinin ana konusu olan ürüne tahsisli olmayan CONWIP sisteminin tasarımı konusu ise 2.2.2 bölümünde derinlemesine incelenecektir.

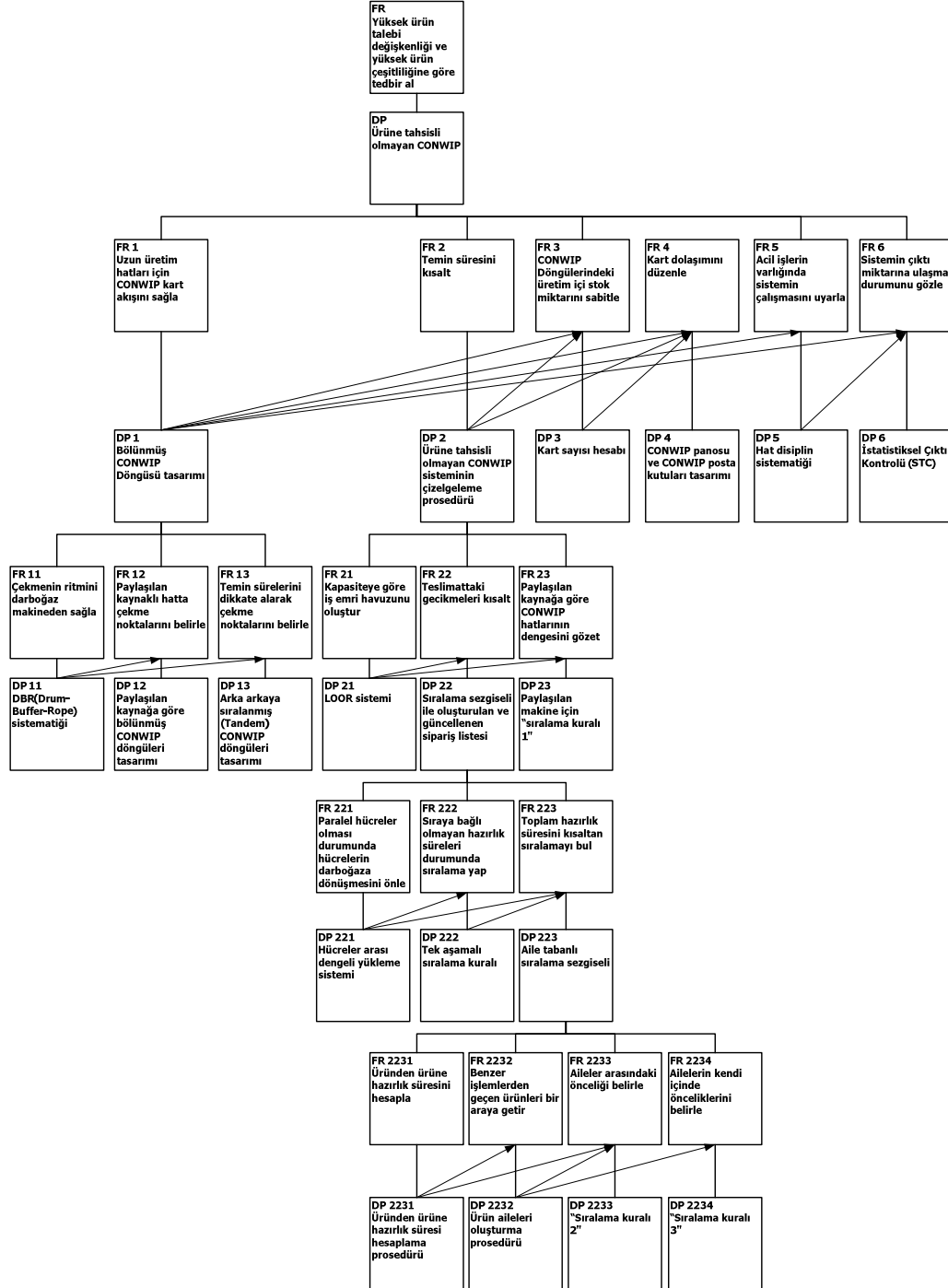


Şekil 2.7 : Çekme/Kanban Üretim Sistemlerinin Tasarımı (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007)

2.2 CONWIP Sisteminin Aksiyomlarla Tasarımı

Takt süresinin hesaplanabildiği yüksek ürün talebi değişkenliği ve yüksek ürün çeşitliliği koşullarına sahip üretim ortamlarında, ürüne tahsisli olmayan CONWIP sistemi uygun bir çözümdür. Bu türlü bir karma çekme sisteminin kurulabilmesi için birçok sistematik adımın gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Şekil 2.8). Bu adımların aksiyomlarla tasarım sistematigi içerisinde bağlı olmayan tasarım şeklinde ele alınması ise üretim sisteminin etkin şekilde kurulmasını sağlayacaktır. Dikkat edilmelidir ki bu ayrıştırma, Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007) çalışmasının devamı olarak tasarlanmıştır ve belirtilen çalışmadaki FR 22533 dalının ayrıştırılmasına karşılık gelmektedir.

Şekil 2.8’de gösterilen bu ayrıştırma, sıradaki alt bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

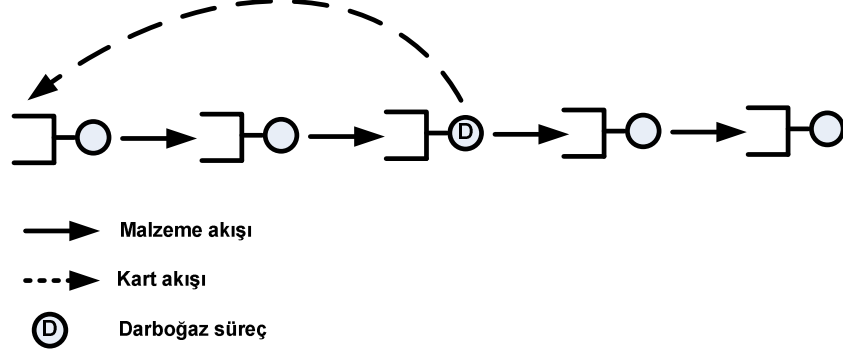


Şekil 2.8 : Ürüne Tahsisli Olmayan CONWIP Sisteminin Aksiyomlarla Tasarımı

2.2.1 “Uzun Üretim Hatları İçin CONWIP Kart Akışını Sağla” Dalı

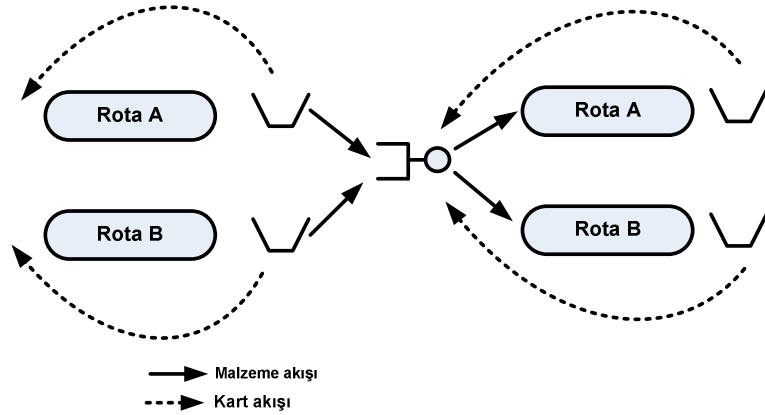
Ele alınan hat eğer tekil bir darboğaz makine içeriyorsa, sistemin çekme ritmi bu makineden sağlanabilir. Bunu gerçekleştiren model ise Hopp ve Spearman (2001) tarafından anlatıldığı şekliyle DBR (DBR: Drum Buffer Rope) sistemidir. Şekil

2.9’de gösterilen bu sistemde, darboğaz sürece kadar sistem CONWIP kontrollü bir çekme ile çalışırken darboğaz süreçten sonrası klasik itme olarak işlemektedir. Eğer sabit darboğaz yoksa, yani darboğazın yeri ürün karmasına göre değişiyorsa bu sistem uygulanamaz. Onun yerine, tempoyu son operasyonun/sürecin sağladığı klasik CONWIP kullanılır (FR – DP 11).



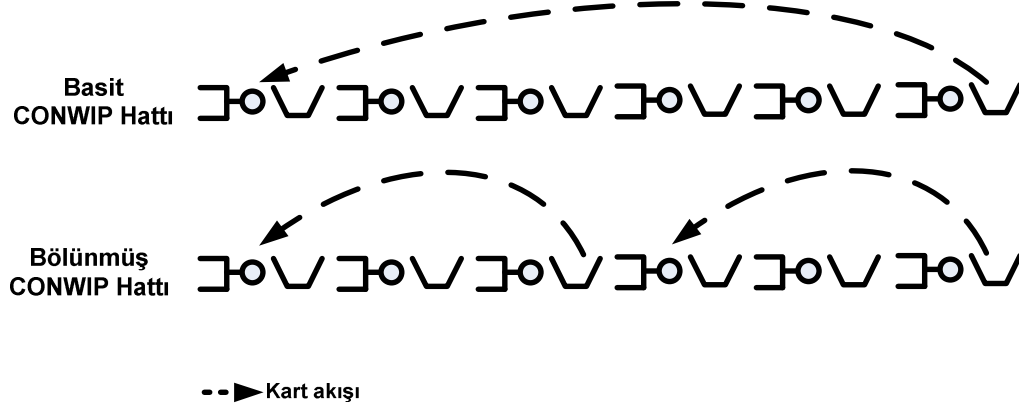
Şekil 2.9 : Darboğaza göre Çalışan bir CONWIP hattı – DBR Sistemi (Hopp ve Spearman, 2001)

Eğer farklı çekme kontrollü hatlar bir süreçte çakışıyorsa, yani paylaşılan kaynak varsa, böyle bir durumda CONWIP hatları paylaşılan kaynağa göre bölünmelidir (FR – DP 12). Örneğin, iki farklı rotaya sahip farklı ürün aynı makineye gereksinim duyuyor ve bu makine de yüksek ilk yatırım maliyetine sahipse bu makineden iki tane almak ekonomik olmayacaktır. Bunun yerine, CONWIP kontrollü bu hatlar paylaşılan kaynağa göre uygun şekilde bölünebilir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 : Paylaşılan Kaynağa göre Bölünmüş CONWIP Hatları (Hopp ve Spearman, 2001)

Aslında, CONWIP sistemi uzun üretim hatları için genellikle uygundur. Ancak Şekil 2.11’de de gösterildiği gibi, bu türlü bir seri sistemin (İng: Tandem) çok uzun olması durumunda CONWIP döngülerinin bir değil birden fazla yapılması sistemin çalışmasını kolaylaştırabilir (Hopp ve Spearman, 2001). Çekme noktalarının belirlenmesinde temin sürelerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu bağlamda hattın yönetimini kolaylaştırmak için ardışık CONWIP döngüleri uzun sistemlerde hattın çalışmasını kolaylaştıran bir çözümdür (FR – DP 13).



Şekil 2.11 : Basit ve Bölünmüş CONWIP Hatları (Hopp ve Spearman, 2001)

Burada hattın ayrılması sistemin daha kontrol edilebilir bir şekilde denetlenmesini sağlar. Ufak döngülerin üretim içi stok miktarları yani kart sayıları ayrıca belirlenir ve bu nedenle daha kontrol edilebilir bir yapı sağlar. Ancak dikkat edilmelidir ki, sistemin bu şekilde ayrılması en uç noktada CONWIP sistemini Kanbana çevirecektir.

2.2.2 “Temin Süresini Kısalt” Dalı

Çekme sisteminin temel amacı stokları azaltarak temin süresini kısaltmaktır. Hâlihazırda Little (1961), kararlı bir sistemde üretim içi stok ile temin süresinin birbirleri arasındaki matematiksel ilişkiyi göstermiştir. Şöyle ki, üretim içi stok miktarının artması temin süresinin de artmasını sağlamaktadır. Ancak, temin süresini kısaltmak üzere yapılması gereken bir diğer şey de CONWIP sisteminin etkin şekilde çizelgelenmesidir. Bu bağlamda, Framinan ve diğ.(2000) en az stok miktarı ile çalışırken bile uygun işi başlatma kuralları (İng: Dispatching rules) ve giriş kontrolleri ile daha iyi sistem performansına ulaşılabileceğini belirtmişlerdir (FR – DP 2).

Sistem içerisinde bekleyen müşteri siparişleri yoğunlukla kapasiteden farklı olacaktır. Bu nedenle bu siparişlerin kapasiteye göre iş emri olarak düzenlenmesi büyük önem taşımaktadır. Burada Bechte (1988)'in belirttiği gibi LOOR (Load Oriented Order Release) sistemi büyük bir açığı kapatmaktadır (FR – DP 21).

Teslimattaki gecikmelerin kısaltılması için ise sistem içerisinde bir sıralama sistemi oluşturulması önem kazanmaktadır. Bu sipariş listesinin (İng: Backlog List) bir sıralama sezgiseli ile oluşturulması sonuca daha kolay gidilmesi açısından genellikle uygundur. Zira, optimum sonuç veren modeller genellikle uzun zaman aldığından gerçek hayat uygulamaları için uygun olmamaktadır. Bunların yerine, optimuma yakın sonuçlar yakalayabilen sezgisel modeller kullanılması önerilir (FR – DP 22).

Daha önce vurgulandığı gibi, ürüne tahsisli olmayan CONWIP sisteminin Kanban'a göre bir faydası da değişken ürün karmasından daha az etkilenmesidir. Çünkü, Kanban'dan farklı olarak üretim hattına özgü bir kart ve sipariş listesi ile çalışmaktadır (Leu, 2000).

CONWIP hattının idaresi altında, paralel hücreler veya makineler olması durumunda bu süreçlerden birinin veya birkaçının darboğaza dönüşmesini önlemek adına hücreler arasında dengeli yükleme yapılmalıdır (FR – DP 221).

Sıraya bağlı hazırlık sürelerinin olmaması durumunda, Leu (2000)'in de önerdiği gibi “tek aşamalı sıralama kuralı”nın kullanılması sıralama sürecini kolaylaştıracaktır. Bu kurallar şöyle sıralanabilir: İlk giren ilk çıkar, kısa işlem süresi olan önce, erken teslim zamanı olan önce, kritik oranı düşük olan önce gibi (FR – DP 222).

Ürüne bağlı hazırlık sürelerinin olması durumunda ise, hazırlık süreleri sistem performansı üzerinde önemli bir rol oynayacağından toplam hazırlık sürelerini kısaltmak üzere ürün ailesi tabanlı bir sıralama yapılması daha uygundur (FR – DP 223). Öncelikle hazırlık sürelerinin dikkate alınmasını sağlamak üzere, üründen ürüne hazırlık sürelerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenle öncelikle bir prosedür geliştirilmesi önemlidir (FR – DP 2231). Benzer işlemlerden geçen ürünleri bir araya getirilmelidir. Ürün aileleri oluşturma prosedürü ise bu noktada uygulanması gereken bir araçtır (FR – DP 2232). Bu ürün ailelerine bakılarak bunların arasındaki önceliklerin belirlenmesi önemlidir. Burada, hemen aşağıda ayrıntısı verilen “sıralama kuralı 2” uygulanmaktadır (FR – DP 2233). Ürün ailelerinin sıralanmasından sonra ürünler kendi aileleri içinde yeniden sıralanmaktadır. Bu da “sıralama kuralı 3” uygulanmaktadır (FR – DP 2234).

Sıralama kuralı 2 : Seçilen tek aşamalı sıralama kuralına göre ürün aileleri içinde tüm işlerin değerleri hesaplanır. Bu hesaplanan değerler arasında en öncelikli olan iş ürün ailesi lideri olarak seçilir. Buna bağlı olarak, ürün ailesi liderleri üzerinden belirlenen tek aşamalı sıralama kuralına göre ürün ailelerinin sıralaması kendileri arasında yapılır. Buna göre; birinci, ikinci ve diğer sıradaki aileler belirlenmiş olur.

Sıralama kuralı 3 : Bu sıralama kuralı, her bir aile içindeki işlerin sıralanması ile gerçekleştirilmiş olur. Bu noktada, tek aşamalı sıralama kuralına göre ürün ailesi içindeki işler sıralanır ve aile içi sıra belirlenmiş olur (FR – DP 23).

Birden çok CONWIP hatlarının çakışması durumunda ise, bu hatların paylaşılan kaynağa göre dengelenmesi önemli bir konu olmaktadır. Bu nedenle “sıralama kuralı 1” devreye alınır (FR – DP 23). Sıralama kuralı 1 dengeli yüklemeyi esas alan bir sıralamayı hedefler. Bu kuralda önemli olan, paylaşılan kaynakta herhangi bir anda eşit düzeyde iş yükü olmasını sağlarken kaynağı paylaşan hatların dengeli şekilde sisteme verilmesidir. Ayrıca, bu paylaşılan süreçte istenen ürünlerin L zaman önce kaynağa gelmesi olası beklmeleri önler ve L’nin büyük olması da sipariş listesindeki sıranın gözetilmesini sağlar (Hopp ve Spearman, 2001).

2.2.3 “CONWIP Döngülerindeki Üretim içi Stok Miktarını Sabitle” Dalı

Bir karma çekme sistemi olan CONWIP’in temel amacı üretim için stok miktarını (İng: WIP) sabitleyerek, sistem için en uygun olan çıktı miktarına erişmektir. Üretim içi stok ise kaç adet CONWIP kartı kullanılacağını ve bu kartların hangi miktarda partileri taşıyabileceğini saptadıktan sonra kontrol altına alınmış olacaktır (FR – DP 3). Hopp ve Spearman (2001) CONWIP sisteminin geleneksel itme sistemine göre avantajlarını sıralarken CONWIP üretim kontrol mekanizmasının itmeyle aynı çıktı miktarına daha az üretim içi stokuyla eriştiğini özellikle belirtmektedirler.

Little (1961)’in üretim için stok ve çevrim süresi arasındaki ilişkiyi gösteren yasasını kullanarak üretim içi stok miktarı belirlenebilir (Hopp ve Spearman, 2001):

$$WIP = TS * r^P \quad (1)$$

WIP: Üretim içi stok

TS: Temin süresi

r^P : Pratikteki üretim oranı

2.2.4 “Kart Dolaşımını Düzenle” Dahı

Sistem içerisindeki CONWIP kartlarının bir düzen içerisinde hareket etmesi ve akışın aksamaması için görsel panolar ve posta kutularının konması çok önemlidir. Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007), POLCA karma çekme sistemi için bir pano önerisi sunmuşlardır. Bu ve benzer görsel araçlarla birlikte CONWIP sisteminin etkin şekilde yönetilmesi mümkün olacaktır (FR – DP 4).

2.2.5 “Acil İşlerin Varlığında Sistemin Çalışmasını Uyarla” Dahı

CONWIP hattına acil işlerin girmesi durumunda sistemin çalışmasının bu yeni duruma uygun olarak uyarlanması gerekmektedir. Bu noktada hat disiplini önem kazanmaktadır. (FR – DP 5).

Genel olarak bir hat ilk giren ilk çıkar kuralına göre çalışmayı sürdürmelidir. Bunun anlamı işlerin salındıkları sıra ile sisteme veya operasyonlara girmeleridir. CONWIP kontrollü bir sistemde hat düzgün bir hızda ilerlediğinden, bu strateji işlerin hangi sırada ve ne sürede biteceğinin tahmin edilmesi olanağını sağlar. Ancak CONWIP hattı uzunsa, bazı işlerin hızlandırılması (İng: Expedite) gerekebilir. Diğer taraftan da, işlerin hızlandırılması değişkenliğin artmasına neden olacağından iş hızlandırmanın uygunsuz veya keyfi kullanılmalarının firma içinde azaltılması gerekse de, bunların sıfıra indirilmesi hedefi de gerçekçi değildir.

İş hızlandırma için bir hat disiplini şarttır. Öncelikle işler acil ve normal olarak ikiye ayrılır. Tahmin edileceği gibi acil işlerin sayısı diğerine oranla oldukça az olacaktır. Acil işlerin normal işleri geçmeleri için bazı “geçiş noktaları” tanımlanır. Bu noktalarda, yani CONWIP hattının bazı bölümlerinde, acil işlerin normal işleri geçmelerine izin verilir. Ancak bu geçişler, sadece bu izin verilen alanlarda gerçekleştirilebilir. Eğer geçiş noktasında, acil işlerden biri veya birkaçı varsa en eski acil iş sisteme sokulur. Eğer acil iş yoksa, ilk giren ilk çıkar kuralına göre en eski iş sürece sokulur. Böylece sistemin davranışı tahmin edilebilir ve analitik olarak daha kolay modellenenebilir halde tutulmuş olur. Ancak, keyfi şekilde hızlandırmalar veya hattın herhangi bir noktasındaki hızlandırmalar sistemin davranışını tahmin edilmesini önler ve sistem kontrol dışı kalır (Hopp ve Spearman, 2001).

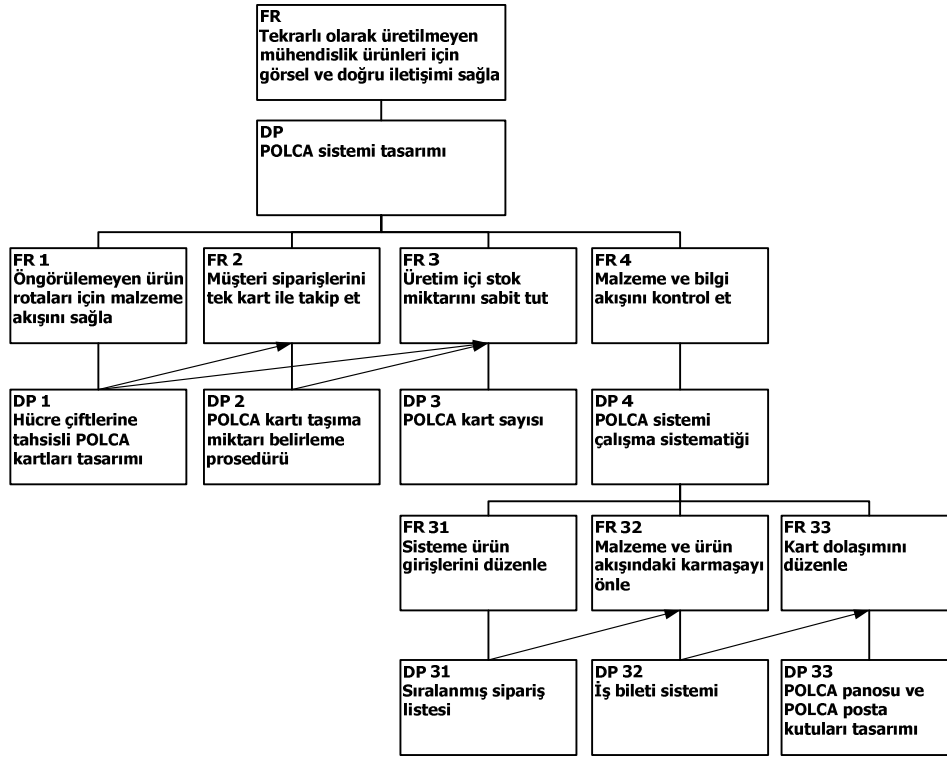
2.2.6 “Sistemin Çıktı Miktarına Ulaşma Durumunu Gözle” Dahı

CONWIP üretim hattının çalışırken nasıl bir düzeyde çalıştığını, yani günlük hedeflerini yakalayıp yakalayamayacağını, önceden saptamak, sistemi hızlandırmak açısından önem taşımaktadır. Bu noktada, Hopp ve Spearman (1998)’in önerdiği

İstatistiksel Çıktı Kontrolü (İng: Statistical Throughput Control) önemli bir araçtır. Bu kontrol sistemiyle birlikte planlanan çizelgenin gerisine düşüldüğünde ek kaynakların tahsisi veya düzeltici faaliyetlerin yapılması için yeterli zaman kazanılmış olur. Bu noktada, çalışmanın ana eksenini bu konu olduğundan burada konunun ayrıntılarına değinilmeyecektir (FR – DP 6).

2.3 POLCA Sisteminin Aksiyomlarla Tasarımı

Çekme/Kanban sistemlerinin aksiyomlarla tasarımı başlığında da bahsedildiği gibi, POLCA sisteminin tasarımı Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007) çalışmasındaki “FR 224” ile belirlenmiş olan fonksiyonel ihtiyacın ayrıştırılmasıdır. Buna göre, POLCA sisteminin çalışabilmesi için belli bazı adımların yerine getirilmesi gerekmektedir (Şekil 2.12). Bu adımlar, aksiyomlarla tasarım ilkeleri kullanılarak ayrıştırılmış ve aşağıdaki başlıklarda ayrıntılı olarak incelenmiştir.



Şekil 2.12 : POLCA Sisteminin Aksiyomlarla Tasarımı

2.3.1 “Öngörülemeyen Ürün Rotaları İçin Malzeme Akışını Sağla” Dalı

POLCA üretim kontrol sistemi yüksek ürün talebi değişkenliği ve yüksek ürün çeşitliliği ortamlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Suri, 2003). Buna göre,

rotaları benzer olmayan çok sayıda ürün ailesine sahip bir üretim sisteminde POLCA sisteminin uygulanması uygundur. Bu gibi öngörülemeyen ürün rotaları için malzeme akışının sağlanması için hücre çiftlerine sahip kartların, yani POLCA kartlarının tasarımı, en uygun çözüm olacaktır (FR – DP 1).

POLCA sisteminin tanıtıldığı giriş bölümünde de üzerinde durulduğu gibi POLCA sistemi ürüne tahsisli olmayıp, hücreler arasında çalışmak üzere tasarlanmıştır. Hangi hücreler arasında malzeme akışı olacağının kabaca belirlenmesinden sonra, bu hücreler arasında POLCA döngüleri kurulur.

2.3.2 “Müşteri Siparişlerini Tek Kart ile Takip Et” Dalı

Suri (2003) ideal olarak, her müşteri siparişinin tek POLCA kartına karşılık gelmesi gerektiğini önerir. Bununla beraber, müşteri siparişinin sayıca fazla ürün içermesi temin sürelerini de artırdığından, siparişin tek kart ile işlem görmesi çoğu zaman pratik açıdan mümkün değildir. Bu durumda, bir POLCA kartının taşıyabileceği ürün miktarı belirlenmelidir. Suri (2003) bu miktarı POLCA “kuantum”u olarak adlandırmaktadır (FR – DP 2).

2.3.3 “Üretim içi Stok Miktarını Sabit Tut” Dalı

POLCA kartının taşıyabileceği en fazla ürün miktarı belirlendikten sonra sıra, üretim içi stoku kontrol etmeye gelir. POLCA, bir karma çekme sistemi olarak çekme sistemlerinin genel özelliği olan üretim içi stoku sabit tutma özelliğini taşır. POLCA kart sayısının bulunması bu anlamda gereklidir (FR – DP 3). Herhangi iki hücre (A ve B olsun) arasında çalışan POLCA kart sayısı Suri (2003)’ün önerdiği aşağıdaki formül yardımıyla bulunur:

$$A/B \text{ POLCA kartı sayısı} = \left\lceil \frac{[LT(A) + LT(B)] * I_s(A, B)}{\text{ÇG}} * \alpha \right\rceil \quad (2)$$

LT (A) = A Hücresinin temin süresi

LT (B) = B Hücresinin temin süresi

NUM (A, B) = Planlama dönemi boyunca A hücresinden B hücresine giden işlerin sayısı

ÇG = Planlama dönemi içerisindeki çalışma günü sayısı

α = Güvenlik çarpanı

2.3.4 “Malzeme ve Bilgi Akışını Kontrol Et” Dah

POLCA sisteminin istenen şekilde çalışabilmesi için bir çalışma sistematığının kurulması ve işletilmesi şarttır. Malzeme ve bilgi akışının etkin şekilde sağlanması buna bağlıdır (FR – DP 4). Öncelikle yapılması gereken, hatta girecek ürünler için sıralanmış bir sipariş listesinin oluşturulmasıdır. Sistemde ürün çeşitliliği çok yüksek olduğundan sipariş listesinin etkin şekilde sıralanması çok önemlidir (FR – DP 41).

Ürünlerin karmaşık rotalara sahip olması durumunda, iş bileti uygulaması malzeme ve ürün akışındaki karmaşayı önlemek üzere kullanılabilir (FR – DP 42). İş bileti sistem içerisinde parçayla beraber hareket eden ve ürünün hangi aşamalardan geçeceğini belirten (hangi hücrelerden) bir nevi kimlik kartıdır (Suri, 2003).

Kart dolaşımının düzenlenmesi için ise, POLCA panosu ve POLCA posta kutuları kullanılır (FR – DP 43). Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007) yaptıkları bir uygulamada, bir POLCA kartı tasarımı sunmuşlardır.

Bu uygulamaların sistematik bir şekilde yapılması ile birlikte, POLCA sistemindeki malzeme ve bilgi akışı kontrol edilmiş olacaktır.

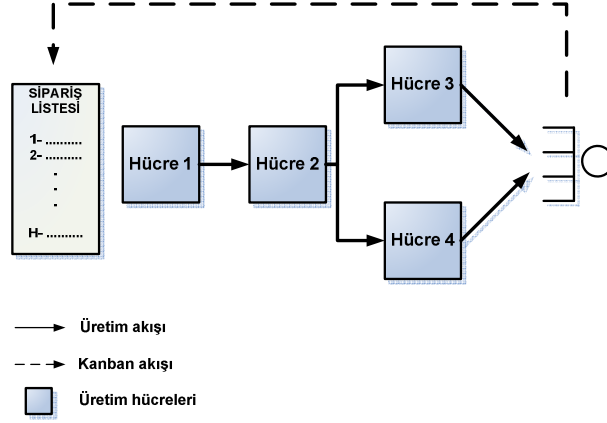
3. CONWIP KONTROLÜNDE ÇOK ÜRÜNLÜ, ÇOK VE PARALEL HÜCRELİ BİR SİSTEMİN GELİŞTİRİLMESİNE YÖNELİK BİR YAKLAŞIM

3.1 Ele Alınan Sistem

Bu çalışmada çok ürünlü, çok hücreli, paralel hatlı bir CONWIP kontrollü üretim sistemi ele alınmıştır. Bu sistemin temel özellikleri, siparişe-göre- yapım (İng: make-to-order veya MTO) usulüne göre çalışması ve talep miktarlarının ürün bazında değişkenlik gösterse de toplamda aynı seviyelerde dalgalanmasıdır.

CONWIP hattına girecek olan ürünler bir sipariş listesi ile belirlenmiştir. Buna göre, her satır bir işe karşılık gelir. Üretim sistemi, sipariş listesindeki farklı ürünleri üretebilecek şekilde örgütlenmiş dört hücreden oluşmaktadır (Şekil 3.1). Bu hücrelerden Hücre 3 ve Hücre 4 paralel şekilde çalışmaktadır. Buna göre, herhangi bir ürün bu iki hücreden sadece birinde işlem görebilmektedir. Ürünler sipariş listesine göre sisteme salınmaktadır. Herhangi bir ürünün sisteme salınabilmesi için iki koşul gereklidir: sipariş listesinde o ürünün sırasının gelmiş olması ve sistemde boşta CONWIP kartı (veya kapları, arabaları) bulunması. Ürün sistemden çıkarken, CONWIP kartları (veya kapları, arabaları) üründen ayrılarak hattın başına gönderilmektedir. Bu, daha önce de bahsedildiği gibi, tipik bir ürüne tahsisli olmayan CONWIP uygulamasıdır.

Hücrelerin içinde tek parça akışı uygulanmaktadır. Hücre içinde işlem gören parti bitmeden başka bir partinin sisteme girmesine izin verilmez. Belirlenen koşullar gerçekleşmeden ürünlerin sisteme girişi mümkün değildir.



Şekil 3.1: İncelenen CONWIP Sistemi

3.2 İş Yükleme Sistemleri

3.2.1 İş Yükü Odaklı Üretim Kontrolü

Geleneksel üretim kontrol sistemlerinde genellikle, kısa dönemli planlama teknikleri uygulanır. Bu sistemler, ardışık bir şekilde günlük yükleme miktarlarını ve işlem sıralarını bularak optimum sonuca ulaşmaya çalışırlar. Ancak, bu optimizasyon hesabı oldukça güç ve zaman alıcıdır. Ayrıca bu sistemler, siparişleri deterministik şekilde, hiçbir boşluğa yer vermeyen bir düzende planlar. Bu durum da, gerçek hayat problemleri nedeniyle (Makine bozulmaları, parça gelmemesi, kalite sorunları, insan faktöründen kaynaklı sorunlar gibi) bu planların sıklıkla güncellenmesini gerektirir (Bechte, 1988).

Bunun yanında, Bechte (1988) ilk kez tarafından ortaya atılan iş yükü odaklı üretim kontrolü (İng: Load Oriented Manufacturing Control) üretim kaynaklarının yüksek kullanımını ve siparişlerin hızlıca sistemden çıkmasını sağlamak üzere üretim içi stoku sınırlamayı ve dengelemeyi amaçlar.

İş yükü kontrolü kavramı ile küçük ve çok değişkenlik göstermeyen kuyruklar elde edilmeye çalışılır. Bir diğer deyişle, iş istasyonlarının direkt yükü düşük ve sabit tutulmaya çalışılır. Bu türlü bir kontrol, iş istasyonları arasındaki akışı düzgünleştirir ve işleri doğru sırada ve doğru zamanda sisteme vermek amacını taşır (Breithaupt ve diğ., 2002).

3.2.2 ROT Değerinin Üretim Kontrolünde Kullanılması

Levén ve Segerstedt (2007) çok ürünli ve tek makineli bir sistemde sezgisel bir sıralama yöntemi önermişlerdir. Önerilen bu sezgisel yaklaşımda, ekonomik parti büyüklüğü probleminin (İng: Economic Lot Sizing Problem) çözümü ile belirlenen sabit sipariş miktarları bulunmakta, ancak değişen talep miktarları ve mevcut stok durumuna göre bu değer güncellenmektedir.

Ekonomik parti büyüklüğü problemi için geleneksel yaklaşımlar farklı ürünler için uzun erimde envanter taşıma maliyetlerini ve hazırlık zamanlarını en azlamaya yönelik çalışmaktadırlar. Yukarıda bahsi geçen çalışmada önerilen bu sezgisel yöntemle ise, bu parti büyüklüklerinin mümkün olup olmadığını sistemin o anki stok durumuna ve talep oranına göre tahmin etmek mümkün olmaktadır.

3.2.2.1 Tükenme Zamanı

Sezgisel yöntemin birinci aşaması, farklı ürün çeşitlerinden oluşan siparişlerin sıralanmasıdır. Bu sıralama, tükenme zamanına (İng: Run-out-Time veya ROT) göre yapılır. Parti miktarları belirlenmiş olan ürünler, en az tükenme zamanı değerinden başlayarak artan sırada sıralanır. Tükenme zamanı, sabit bir talepte ve ürün beslemesi (İng: Replenishment) olmaksızın ürünün sifıra düşeceği zaman olarak tanımlanır (Levén ve Segerstedt, 2007). Matematiksel olarak gösterimi aşağıdaki şekildedir:

$$\text{Tükenme zamanı} = \frac{\text{Stok miktarı}}{\text{Talep}} = \frac{I_i}{D_i} \quad (3)$$

Yapılan hesaplamalara göre en düşük ROT değerine sahip olan iş birinci sıraya yerleşir ve ilk olarak üretilir.

$$ROT_1 \leq ROT_2 \leq \dots \leq ROT_M \quad (4)$$

Bu aşama belirli aralıklarla tekrarlanır ve sonunda, sistemin o anki stok durumuna ve talep miktarına uygun olarak işlerin çizelgelenmesi mümkün hale gelir.

3.3 CONWIP Sistemlerinde Sıralama Problemi

Ürünlerin farklı rotalardan geçtiği CONWIP hatlarında, siparişlerin nasıl bir sırayla hatta giriş yapacağı bir sıralama problemini oluşturur. Bu problemin çözümü ele alınan sistemin karmaşıklığıyla orantılı olarak zorlaşabilir. Bu tür hatlar ürüne tahsisli olmayan CONWIP sistemleri olarak nitelendirilir. Bu sistemde, bir sipariş

listesi ile ürünlerin sisteme giriş sıraları belirlenir. Siparişlerin hatta girebilmesi için geleneksel Kanban sisteminde olduğu gibi, öncelikle ilgili kartın hattın başında boş olarak bulunması gerekir. Bu koşul sağlandıktan sonra sipariş listesinde sıradaki ürün hatta sokulur. Buna karşılık, sipariş listesinin etkin şekilde sıralanması sistemin performansını doğrudan etkileyecek bir parametredir.

Framinan ve diğ. (2001) CONWIP kontrollü üretim hatlarında sıralama problemiyle ilgilenmişlerdir. Yazarlar ilgili çalışmada, basit ve hızlı bir işi başlatma kuralı ile toplam akış süresi (İng: makespan)'i en azlamaya çalışmışlardır. Önerdikleri sistemi, literatürde sıklıkla kullanılan sezgisel modellerle karşılaştırmışlar ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Zhang ve Chen (2001) ise ürüne tahsisli olmayan seri CONWIP hatları (İng: Generic tandem CONWIP) için en uygun ürün sırasını ve bu ürünlerin parti miktarlarının nasıl hesaplanması gerektiğini araştırmışlardır. Bu amaçla, doğrusal olmayan tamsayılı bir matematiksel programlama modelinden yararlanmışlardır. Darboğaz makinelerdeki sıraya bağlı hazırlık zamanları ve hattın dengesizlik maliyetleri en azlanacak şekilde geliştirilen model, 4 makineli ve 3 ürünlü düşünsel (İng: Hypothetic) bir problemde test edilmiştir. Herer ve Masin (1997) yine bir CONWIP hattında sıralama problemi üzerinde çalışmışlardır. Matematiksel programlama ve ortalama değer analizi (İng: Mean Value Analysis) yardımıyla en uygun sırayı bulmak üzere bir matematiksel model kurmuşlardır. Amaç fonksiyonunda en azlanacak değerler yoksatma, fazla mesai, elde bulundurma (bitmiş ürün ve üretim içi stok) maliyetleri olarak seçilmiştir. Cao ve Chen (2005) iki paralel imalat hattından beslenen bir montaj hattı olarak kurulu özel bir CONWIP hattı için bir sıralama modeli sunmuşlardır. Bu modelde, doğrusal olmayan karışık tamsayılı matematiksel programlama modeli kullanılarak toplam hazırlık zamanı ve iş yükü dengesinin en azlanması amaçlanmıştır. Önerilen model, üretime girecek parçaların sırasıyla birlikte, bu ürünlerin paralel hatlardan hangisinde üretileceğini ve parti büyüklüğünün de ne kadar olacağını en uygun şekilde belirlemektedir. Leu (2000), CONWIP hatları için uygun sezgisel yöntemleri incelemiştir. Tek aşamalı (İng: Single stage) ve iki aşamalı (İng: Two stage) sezgiselleri bir simülasyon modeli yardımıyla karşılaştırmıştır. Çift aşamalı sezgisel yöntemler ana hazırlık zamanlarını azaltmadaki göreceli üstünlükleri ile tek aşamalı sezgisel yöntemlerden daha iyi performans göstermişlerdir. Bir başka çalışmada ise lagranj gevşetme (İng: Lagrange relaxation) ve dinamik programlama (İng: Dynamic programming) yöntemleri ile CONIWP hatlarındaki sıralama problemine çözüm aranmıştır (Luh ve diğ., 2000). Yazarlar bu çalışmada, modellerinin amaç fonksiyonu olarak siparişlerin geç kalması (İng: Tardiness) veya erken tamamlanması (İng: Earliness) durumlarının en azlanmasını seçmişlerdir. Golany ve diğ. (1999) ise, çok ürünlü, çok hücreli bir CONWIP kontrollü sistemde üretim içi stok miktarlarını ve sipariş listesi sırasını en

uygun şekilde belirlemek çalışmışlardır. Matematiksel programlama ve tavlama benzetimi (İng: Simulated annealing) yöntemlerini birlikte kullanarak ulaşılabilecek en iyi sonucun %1-2 farkı kadar daha az iyi sonuçları çok daha kısa sürede çözen bir sezgisel model ortaya koymuşlardır. Duenyas (1994) ise, farklı CONWIP hatlarında sıralama konusunu araştırmıştır. İlgili çalışmada ürüne tahsisli olmayan kartlarla çalışan (S-Closed olarak tanımlanmış) ve ürüne tahsisli kartlarla çalışan (M-Closed olarak tanımlanmış) hatlar dikkate alınarak bu hatlarda farklı işi başlatma kuralları simülasyon yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.1.'den de görüldüğü gibi, beklenen şekilde, CONWIP sistemlerinde sıralama problemini ele alan çalışmalar ürüne tahsisli olmayan CONWIP sisteminde yoğunlaşmışlardır. Ancak, bu çalışmaların büyük bir çoğunluğu seri CONWIP hatları üzerinde çalışmışlardır. Çok azı paralel hatlarda sıralama problemini ele almışlardır. Kullanılan yöntemler, genellikle optimizasyon ve simülasyondur. Bunun dışında, lagranj gevşetme ve ortalama değer analizi gibi farklı yöntemler de kullanılmıştır. Amaçlanan değerler çok farklı olmakla beraber, ele alınma sıklığı açısından toplam akış süresi ve çıktı miktarı önemli bir oran teşkil etmektedir.

Performans kriteri olarak seçilen ölçütler ise çok çeşitlidir. Çıktı miktarından, ortalama akış süresine, geç kalma/erken tamamlanma miktarından bekleme sürelerine kadar farklı performans kriterlerine bakılmıştır.

Bir diğer önemli nokta da literatürde yer alan çalışmalarda uygulama yapılıp yapılmadığı konusudur. Bir çalışma haricinde, tüm çalışmalarda uygulama yapılmıştır. Ancak bu uygulamalar, pratik hayattan olmayıp düşünsel boyuttadır.

Tablo 3.1: CONWIP Hatlarında Sıralama Çalışmalarını Özetleyen Literatür Matrisi

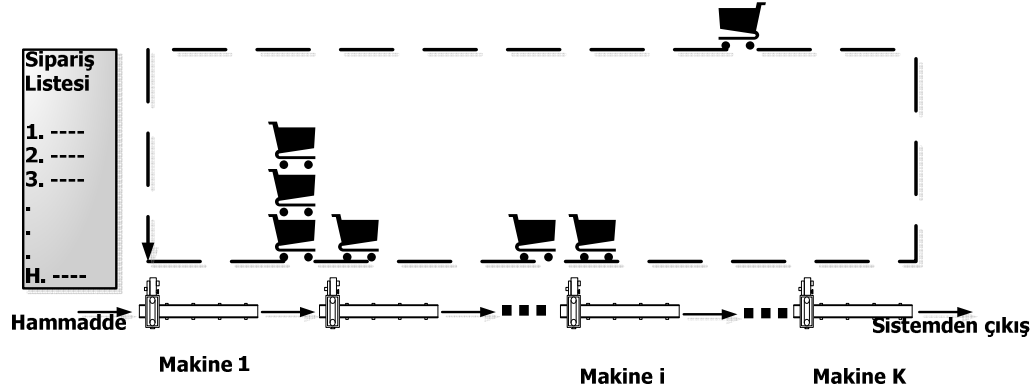
KRİTERLER	MAKALELER	Framinan ve diğ. (2001)	Zhang ve Chen (2001)	Herer ve Masin (1997)	Cao ve Chen (2005)	Leu (2000)	Luh ve diğ., 2001	Golany ve diğ. (1999)	Duenyas (1994)	Framinan ve diğ. (2000)
CONWIP TÜRÜ	Ürüne Tahsisli								X	X
	Ürüne Tahsisli Olmayan	X	X	X		X	X	X	X	X
HAT TÜRÜ	Seri	X	X	X		X	X			X
	Paralel				X			X		
	Hücre							X		

AMAÇLANAN DEĞER	Toplam Hazırlık Zamanı				X					
	Toplam Akış Süresi	X	X							
	İş Yüğü Dengesi				X					
	Çıktı Miktarı							X		
	Yoksatma			X						
	Fazla Mesai			X						
	Elde Bulundurma			X						
İNCELENEN	İşi Başlatma Kuralları	X				X			X	X
	Basit Sıralama Kuralları								X	
YÖNTEM	Optimizasyon		X	X	X			X		
	Lagranj Gevşetme						X			
	Ortalama Değer Analizi			X						
	Tavlama Benzetimi							X		
	Simülasyon					X			X	X
PERFORMANS KRİTERİ	Ortalama Akış Süresi					X				
	Geç Kalma/ Erken Tamamlanma					X	X			
	Çıktı Miktarı								X	X
	Hizmet Düzeyi									X
	Üretim içi Stok									X
	Ortalama Bekleme Süresi									X
UYGULAMA TÜRÜ	Teorik	X	X		X	X	X	X	X	X
	Gerçek									
	Yok			X						

3.3.1 Seri CONWIP Hatlarında Sıralama Problemine Ayrıntılı bir Bakış

Ürüne tahsisli olmayan CONWIP sistemlerinde sıralama probleminin çıkış kaynağı, sistemin ürüne tahsisli olmamasından kaynaklanan durumudur. Böyle bir sistemde,

birden fazla ürün çeşidi olduğundan ürünlerin etkin şekilde sıralanması bir optimizasyon problemi yaratır. Aşağıdaki böyle bir CONWIP sistemi gösterilmiştir (Şekil 3.2):



Şekil 3.2 : Ürüne Tahsisli Olmayan CONWIP Sisteminde Sipariş Listesinin Gösterimi (Herer ve Masin, 1997)

Sisteme herhangi bir sipariş geldiği zaman bu sipariş listesinde uygun bir yere yerleştirilir. Sipariş listesi, basitçe tanımıyla, işlerin hangi sırada işleneceğini gösteren bir listedir. Sıralanmış bu işler sisteme girebilmek için, boş bir kabın (“konteynır”)ın dönmesini bekler. Belirtmekte fayda vardır ki, sistemde kap yerine CONWIP kartı kullanılması sistemin çalışmasını değiştirmez. Sistemdeki kapların sayısı kesin bir şekilde belirlendiğinden, üretim içi stok miktarı sabitlenmiş olur. Ayrıca, kap üzerinde taşınacak olan parti miktarı da kısıtlanmıştır. Boş bir kap ortaya çıktığında, listeye göre o anda sıra hangi siparişte ise bu sipariş sisteme girer. Kaplar, sistemde ilk-giren-ilk-çıkar (Ing: FIFO) yöntemiyle idare edilir. Bir siparişi taşıyan kap sistemin sonuna ulaştığında, üzerindeki bitmiş ürün ayrılarak bir sonraki siparişe doldurulmak üzere hattın başına gönderilir. Eğer sipariş listesindeki işlerin tamamı sisteme sokulduysa, kap(lar) sonraki gelecek sipariş(ler)i boşta bekler (Herer ve Masin, 1997).

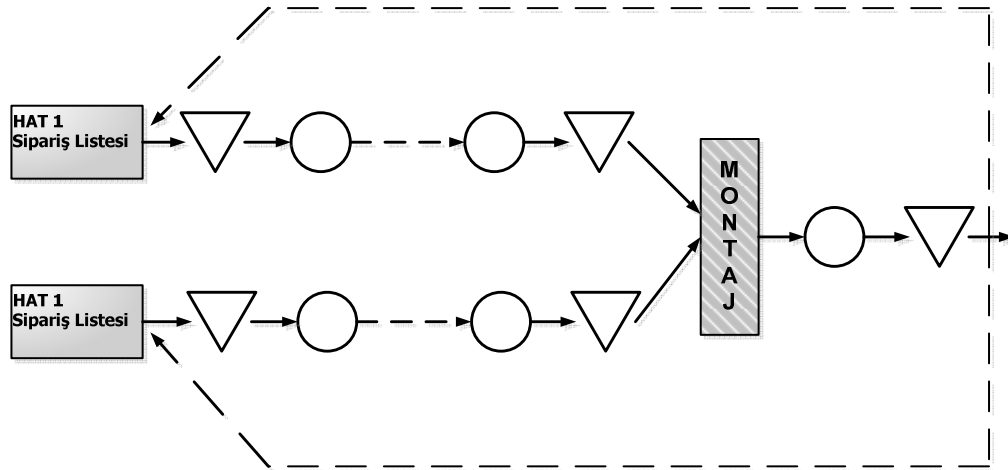
3.3.2 Paralel CONWIP Hatlarında Sıralama Problemine Ayrıntılı bir Bakış

Paralel CONWIP hatlarındaki sıralama problemi seri CONWIP hatlarındaki sıralama sorunu ile temelde aynı kabul edilebilir. Şu farkla ki, paralel sistemde iki hat birbiriyle aynı anda çalışmakta ve bu nedenle sıralama problemi daha karmaşık hale gelmektedir.

Paralel hatların iş yüklerinin etkin şekilde dengelenmesi tüm sistemin etkin çalışması için olmazsa olmaz şartıdır (Cao ve Chen, 2005). Kısacası, buradaki problemin özünü işlerin paralel hatların varlığı altında etkin sıralanması oluşturur.

Bu çalışma içinde, problem şu şekilde sınıflandırılmıştır:

- Sipariş listesi açısından:
 - Paralel hatların tek bir sipariş listesiyle yönetildiği sistemler
 - Her paralel hattın kendi sipariş listesiyle yönetildiği sistemler (Şekil 3.3)
- Ürün işleyebilme yeteneği açısından
 - Paralel hatların sadece belli tip ürünleri işleyebildiği sistemler (*Bu çalışmada incelenmiş olan problem*)
 - Paralel hatların birbirlerinin yerine geçebildiği sistemler
 - Paralel hatların tamamen özdeş olduğu
 - Paralel hatlardan birinin (veya tümü olmayacak şekilde birkaçının) birbirlerinin yapabildiği işi yapabilme yeteneğine sahip olduğu sistemler



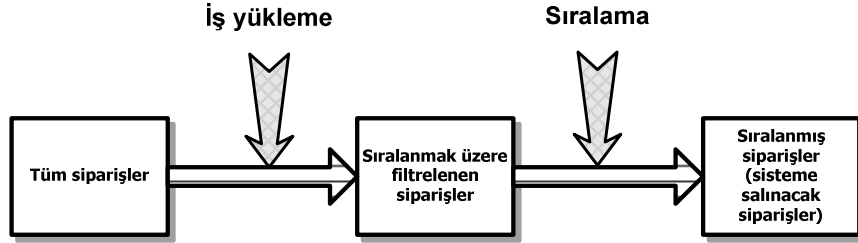
Şekil 3.3 : Her Paralel Hattın Kendi Sipariş Listesiyle Yönetildiği bir CONWIP Sistemi (Cao ve Chen, 1997)

3.4 Problemin Ayrıştırılması

Daha önce de bahsedildiği gibi, ürüne tahsisli olmayan CONWIP sistemleri yüksek ürün talebi değişkenliği ortamlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu sistemlerin gerekçesi, ürün talebi tahmin edilemeyecek kadar radikal şekilde değiştiği ortamlarda ürüne tahsisli kartların üretim içi stoku artırmasıdır. Bu nedenle, problem etkin bir sipariş listesi oluşturmak şeklinde tanımlanabilir. Bu şekilde, paralel hücreler birbirlerine senkronize şekilde çalışacak ve genel olarak takt zamanı yakalanmış olacaktır.

Ancak, sipariş listesinin sıralanmasından önce hangi işlerin sıralanmak üzere seçileceği de ayrı bir konudur. Bu durum iş yükleme olarak tanımlanabilir. İş yükleme probleminin etkin şekilde çözümü, sıralama problemi için uygun bir girdi oluşturmasını sağlar.

Özetle, incelenen problemde, iş yükleme ve iş sıralama olarak hiyerarşik biçimde konumlanmış iki ayrı problem yer almaktadır. Bu durum Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Her paralel hattın kendi sipariş listesiyle yönetildiği bir CONWIP Sistemi

3.4.1 İş Yükleme Problemi

CONWIP hattına giren ürünlerin sağlıklı bir şekilde sıralanabilmesi için öncelikle bu ürünlerin hangilerinin sisteme alınması gerektiği iş yükleme problemi oluşturur. Daha önce de bahsedildiği gibi, iş yükleme modelinin çıktısı sıralama probleminin girdisini teşkil eder.

İş yükleme algoritmasındaki ilk amaç, aciliyeti olan işlerin sisteme sokulmasını sağlamaktır. Bu da aciliyeti olan işlerin belirli kriterlerle netleştirilip sıralama problemi için seçilmesiyle mümkün olacaktır. Bu kriterler şu şekildedir: siparişin kalan teslim süresi (KTS), tükenme zamanı (ROT).

İş yükleme probleminde ele alınan ikinci temel amaç paralel hücrelerdeki işgücü dalgalanmasının enazlanmasıdır. Örneğin, sistemin başlangıcında paralel hücrelerden herhangi birinde işgören ihtiyacı 5 kişi olsun. Toplam işçi sayısının 10 olduğu düşünülürse, ürün karmasının değişimiyle işgören ihtiyacının değiştiği bir ortamda belli sayıda işgörenin boş kalma durumuyla karşı karşıya olduğu gözlenir. Daha belirli bir örnek olarak, işlenme sırasındaki ilk ürünün işgücü ihtiyacının 5, sonrakinin 7 ve sonuncunun da 4 olduğunu düşünelim. Gün içerisinde, işgören ihtiyaçlarının bu şekilde değişmesi hücrenin yapısını ve verimliliğini kötü yönde etkiler. Bu nedenle, işgören sayısındaki herhangi bir artış ve azalış, eğer gerekli değilse engellenmelidir. İşgören sayısının gereğinden fazla olması, verimsizliğe; istenenden az olması da işlerin aksamasına neden olacaktır. Hücrelerdeki bu işgören dalgalanmanın kabul edilebilir sınırlar içinde tutulması hem hücrenin performansını hem de işgücü esnekliğini artıracaktır. Benzer işgören ihtiyaçlarına ve belli bazı özelliklere daha sahip işler iş yükleme algoritması çerçevesinde gruplandırılır. Ardından bu gruplar, kendi içlerinde sıralama modeli tarafından en uygun şekilde sıralanır.

Ele alınan sistemde her ürün herhangi iki paralel imalat hücresinden birinde işlenmektedir. Hücre içinde ürünlere göre değişen operasyon dağılımlarının, ürünlerin takt sürelerini sağlayacak şekilde düzenlendiği kabul edilmektedir. Her işgören bir çevrim boyunca, toplam operasyon süresi takt zamanına eşit veya takt zamanından az olacak şekilde bir veya birkaç operasyon yürütebilir. Farklı ürünler, farklı operasyonlara ihtiyaç duyduklarından ürünler farklı sayıda işgörene ihtiyaç duymaktadırlar. Eğer paralel hücrelerden birinde, ihtiyaçtan fazla sayıda işgören mevcutsa bu diğer hücreye aktarılabilir. Bu yolla, paralel hücrelerde işlerin daha hızlı yürütülebilmesine imkan tanınmaktadır.

İşgören ihtiyacı temelde iki farklı matrisle ortaya çıkarılır. Operasyonlar-ürünler matrisi hangi ürünün hangi operasyona ihtiyaç duyduğunun belirlenmesinde, operasyonlar-işgörenler matrisi de hangi işgörenin hangi operasyonları gerçekleştirebildiğinin ortaya konmasında kullanılır.

Temel amaca dönersek, bir siparişe-göre-yapım firmasında siparişlerin kalan teslim süreleri (KTS) çok önemlidir. KTS, siparişin teslim edilmesine kaç planlama periyodu (Örneğin, gün) kaldığını gösterir. Örneğin bizim için KTS=1 gün olan en öncelikli olan siparişlerdir, zira bu işlerin günün sonunda teslim edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, siparişler önce artan KTS değerlerine göre sıralanmaktadır.

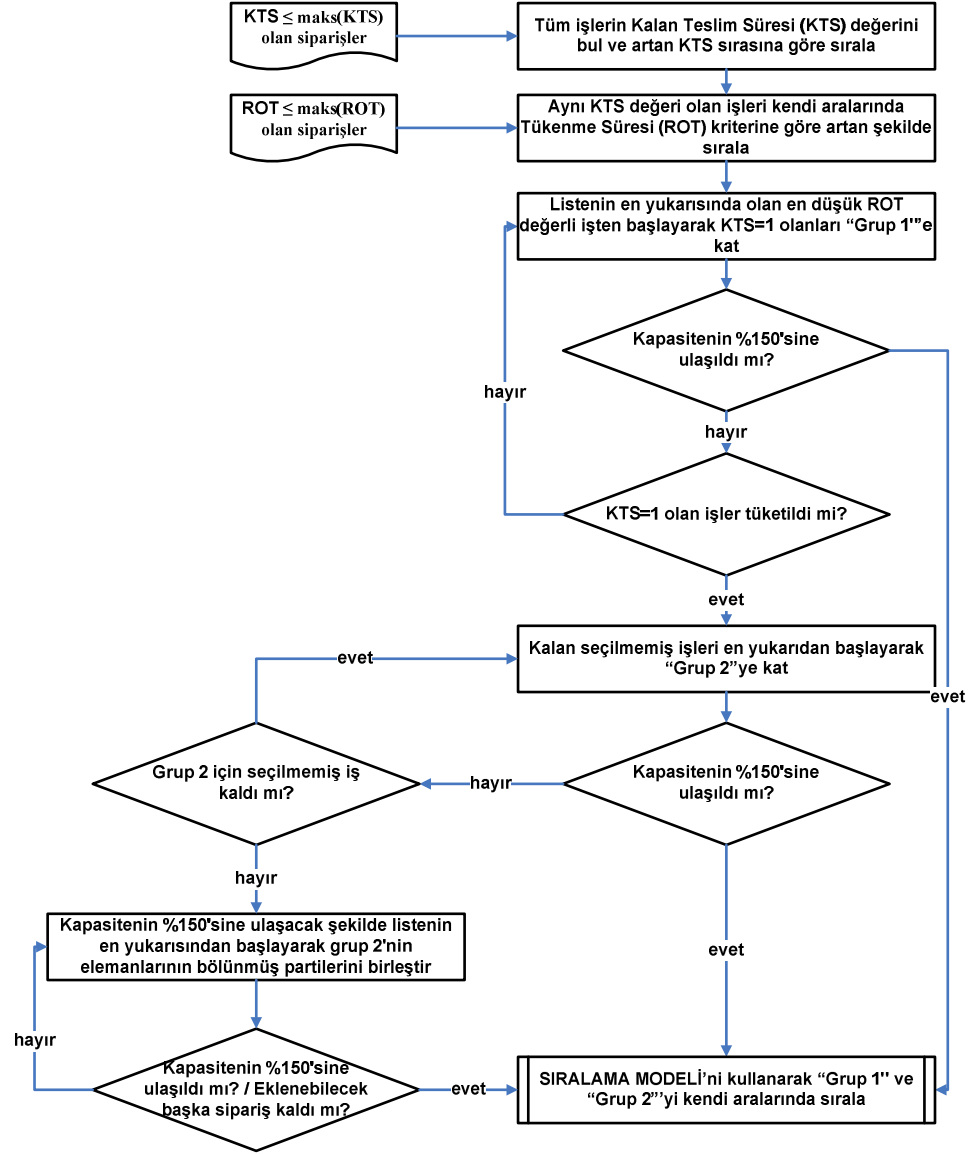
Buna karşılık, sadece KTS değerlerini hesaplamak yeterli değildir. Buna ek olarak tükenme zamanı, iş yükünün belirlenmesine bir diğer önemli kriter olarak kullanılır. Ürün gruplarının oluşturulması sırasında, düşük ROT değerli siparişler önceliklendirilir. Düşük ROT değerleri, kendinden yüksek ROT değerli diğer siparişlere göre işin aciliyetini vurgular. Burada sıra ise şöyledir: önce işler KTS değerlerine göre sıralanır, ardından aynı KTS değerine sahip işler artan ROT değerlerine göre kendi içlerinde yeniden sıralanır.

Her planlama periyodunun başında siparişler için KTS ve ROT değerleri tekrar hesaplanır ve iş yükü sırası güncellenir. ROT değerinin hesaplanmasında kullanılan ilk değer, her ürünün stok miktarıdır (bitmiş ürün veya ara stok). İkinci girdi ise, aynı periyottaki talep miktarıdır. ROT değerleri önceki bölümde açıklanan şekliyle aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır:

$$ROT_u = \frac{u.\text{ürünün stok miktarı}}{u.\text{ürünün talebi}} \quad (5)$$

Önerilen iş yükü belirleme yöntemi Şekil 3.5’de özetlenmiştir. Buna göre, ilk olarak KTS değerleri çıkarılır ve işler artan şekilde sıralanır. Eşit KTS değerine sahip işler, ROT değerleri dikkate alınarak kendi içlerinde tekrar sıralanır. KTS=1 olan işler için listenin en yukarisından başlanarak, ROT değeri en düşük işler “grup 1”e dahil edilir. Bu grup oluşturma süreci, önceden belirlenmiş olan iş yükleme düzeyine gelindiğinde kesilir. Bu düzey, Bechte (1998)’in önermiş olduğu gibi planlama periyodundaki kapasitenin %150’si olarak seçilebilir. Bu bağlamda grup 1 oluşturulurken, gruba yeni eklenen iş ile birlikte kapasitenin %150’sine ulaşılmadıysa sıradaki iş grup 1’e eklenir. Eğer kapasitenin %150’sine ulaşıldıysa, iş yükleme sonlandırılır ve elde edilen grubu sıralamak üzere sıralama modeli uygulanır.

Eğer grup 1’e dahil edilecek iş kalmadıysa ve belirlenen kapasitede boşluk varsa, KTS değerinin 1’den büyük olduğu işlere geçilir. Bu işler, ROT değeri en küçük olandan başlanarak grup 2’ye dahil edilir. Kapasitenin %150’ye ulaştığı noktada iş yükü elde edilmiş olur. Daha sonra, bir sonraki bölümde açıklanacak olan sıralama modeli kullanılarak grup 1 ve grup 2 kendi aralarında sıralanır ve iki grubun da optimum sırası elde edilir. Sonra grup 1’in sıralamasının arkasına, grup 2’ninki eklenerek nihai sıralama oluşturulmuş olur.



Şekil 3.5 : İş Yükleme Algoritması

3.4.2 İş Sıralama Modeli

İş yükleme modeliyle birlikte belirlenen gruplar, sıralanmak üzere iş sıralama modeline getirilirler. Bu lineer matematiksel modelin amacı işlerin toplam akış süresini en azlamaktır. Modelin en önemli karar değişkenleri ise özetle, sipariş listesinin sıralanması ve sipariş listesinde yer alan elemanların parti miktarlarının belirlenmesidir. Ancak burada önemli bir varsayımın yapılması yerinde olacaktır:

Varsayım: CONWIP kartları konusunda bir bekleme olmamaktadır (CONWIP döngüleri sırasında).

Ancak, gerçek hayatta CONWIP kartlarının gecikmesi nedeniyle sistemin işleyişi zarar görebilir. Şöyle ki, sisteme o an girmesi gereken parça CONWIP kartı zamanında gelmediği için hattın başında beklemek zorunda kalabilir. Bu da, optimize edilen sıranın gerçek hayattaki uygulama sorunları nedeniyle etkili sonuç verememesine yol açabilir. Ancak bu durum aşağıda sunulan optimizasyon modeli için yok farzedilecek ve uygulama problemlerinin olmayacağı varsayılacaktır.

3.4.2.1 Modelde Kullanılan İndisler:

I: Hücreler

K: Hücre içindeki makineler

U: Ürünler

H: Sipariş listesindeki girişler

3.4.2.2 Modelde Kullanılan Parametreler:

$Talep(u)$ İlgili periyot için u ürününe ait talep miktarı

$$z(i, u) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } u. \text{ ürün } i. \text{ hücrede işleniyorsa} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$$

$SP(i, u, k)$ u. ürünün i. hücrenin k. makinesinde işlenme süresi

$kmaks(u, i)$ i. hücrede u. ürün için darboğaz süreç

b Mümkün en düşük parti miktarı

c Mümkün en yüksek parti miktarı

$ParÜrün$ Ürün tipinin değiştirilmesine bağlı hazırlık süresi

$Parİşçi$ İşgören sayısının değiştirilmesine bağlı hazırlık süresi

M Yeterince büyük bir sayı

3.4.2.3 Modelde Kullanılan Karar Değişkenleri:

$$x(u, h) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } u. \text{ ürün } h. \text{ sırada işlenecekse} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$$

$S(i, h)$ h. işin i. hücrede işlenmeye başlama zamanı

$Tamamlanma(h)$ h. işin tamamlanma zamanı

$a(u, h)$ u. ürünün h. sırada üretilceği parti miktarı

$P(i, h)$ h. işin i. hücrede işlenme süresi

$$xa(u, h) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } h. \text{ sırada işlenecek } u. \text{ iş bir önceki işten farklıysa} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$$

$$HazırlıÜrün(h, i) = \begin{cases} ParProduct & \begin{matrix} \text{Eğer } h. \text{ sıradaki iş, } i. \text{ hücrede} \\ \text{ürün değişimine bağlı} \\ \text{hazırlık gerektiriyorsa} \end{matrix} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$$

$$İşçifarkı(h, i) = \begin{cases} 1 & \begin{matrix} \text{Eğer } h. \text{ sıradaki iş, işgören sayısı} \\ \text{değişmesi nedeniyle bir hazırlık} \\ \text{gerektiriyorsa} \end{matrix} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$$

$$Hazırlıİşçi(h, i) = \begin{cases} Parİşçi & \begin{matrix} \text{Eğer } h. \text{ sıradaki iş, } i. \text{ hücrede} \\ \text{işçi sayısı değişimine bağlı} \\ \text{hazırlık gerektiriyorsa} \end{matrix} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$$

3.4.2.4 Amaç fonksiyonu:

Amaç fonksiyonu, daha önce de belirtildiği gibi işlerin en geç bitiş zamanını en azlamaktır.

$$Min. \quad maks_h \{ Tamamlanma(h) \} \quad (6)$$

3.4.2.5 Modelde Yer Alan Kısıtlar:

Ürüne bağlı olarak ortaya çıkan hücredeki darboğaz işlemin süresi, ilgili ürünün o hücredeki toplam işleme süresinin bulunmasında kullanılır. u. ürünün i. hücredeki darboğaz sürecinin süresi, matematiksel olarak aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$kmaks(u, i) = maks_K \{ SP(i, u, k) \}$$

h. sırada işlenen işin işleme süresi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} P(i, h) \geq & \left(\sum_u a(u, h) * kmaks(u, i) \right) + \\ & \left(\sum_u \sum_k SP(i, u, k) * x(u, h) \right) - \\ & \left(\sum_u x(u, h) * kmaks(u, i) \right) + \\ & HazırlıkÜrün(h, i) + Hazırlıkİşçi(h, i) \end{aligned} \quad (7)$$

i = Hücreler 1, 2, 3, 4

h = 1, 2, ..., H

Herhangi bir işin bir hücrede işlenebilmesi bazı koşulların gerçekleşmesine bağlıdır. Bunlardan ilki, herhangi bir işin bir hücrede işlenmeye başlayabilmesi için öncelikle o hücredeki bir önceki işin tamamlanması gereklidir. Ayrıca bir işin bir hücrede işlenmeye başlaması için diğer bir koşul da, işin bir önceki hücredeki işleminin tamamlanmasıdır. Son olarak, hücre 3 ve hücre 4'ün paralel olmasından kaynaklanan özel bir koşul vardır. Herhangi bir işin hücre 4'te işlenmeye başlama zamanı, aynı işin hücre 2'de işleminin tamamlanmasından sonra gerçekleşmelidir. Bunun nedeni, eğer ürün hücre 3'e uğramıyorsa, hesaplama hatasını önlemektir.

$$S(i, h) \geq S(i-1, h) + P(i-1, h) \quad (8)$$

i = Hücreler 1, 2, 3

$$S(i, h) \geq S(i, h-1) + P(i, h-1) \quad (9)$$

i = Hücreler 1, 2, 3, 4

$$S(i, h) \geq S(i-2, h) + P(i-2, h) \quad (10)$$

i = Hücre 4

$$h = 1, 2, \dots, H$$

Sipariş listesinin her sırasında en fazla bir adet ürünün olması gerekmektedir. Yani aynı sırada birden fazla ürün yer alamaz.

$$\sum_u x(u, h) \leq 1 \quad (11)$$

Bir önceki kısıtla ortak çalışacak şekilde, 12. kısıt da sipariş listesi arasındaki boşlukları önlemek üzere tanımlanmıştır. Şöyle ki, herhangi bir ürün h. iş olarak sipariş listesinde yer almadan, (h+1). iş veya sonraki işler olarak sipariş listesine giremez. Bu kısıt, aynı zamanda, sistemdeki tüm işler sipariş listesine sokulduktan sonra herhangi başka bir ürün kalmadığında da sipariş listesinin uzamamasını sağlar. Yani, sipariş listesinin uzunluğunu belirler.

$$\sum_u x(u, h) \geq \sum_u x(u, h+1) \quad (12)$$

Bir sonraki kısıtta (13), a(u,h)'nin sıfırdan büyük olması durumunda x(u,h) 1'e eşitlenmektedir. Bu kısıtın önemi, herhangi bir ürünün sipariş listesinin h. sırasına girip girmemesi ve girerse hangi parti miktarıyla girmesi gerektiği kararlarını birleştirmesinden ileri gelmektedir.

$$a(u, h) \leq M * x(u, h) \quad (13)$$

Sipariş listesinin toplam talebi karşılamasını sağlayan kısıt aşağıda gösterilmiştir:

$$\sum_h a(u, h) \geq Talep(u) \quad (14)$$

Sipariş listesinin herhangi bir h. sırasında, mümkün olabilecek en az parti miktarı ve en çok parti miktarı, aşağıdaki kısıtlarda tanımlanmıştır.

$$a(u, h) \geq b * x(u, h) \quad (15)$$

$$a(u, h) \leq c * x(u, h) \quad (16)$$

Sistemin tanımı gereği, herhangi bir iş hücre 3 veya hücre 4'ün herhangi birinden geçerek sistemden ayrılmaktadır. Bu nedenle işlerin tamamlanma zamanları, ürünlerin bu özelliği dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Sonraki iki kısıt (17 ve 18) h. işin sistemden çıkma zamanını hesaplamak üzere tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned}
Tamamlanma(h) \geq & S("Hücre 3", h) + P("Hücre 3", h) + \\
& Hazırlık \ddot{u}n(h, "Cell 3") + \\
& Hazırlık \ddot{i}çi(h, "Cell 3") - \\
& M * \left(\sum_u z("Hücre 4", u) * x(u, h) \right) - \\
& M * \left(1 - \sum_u x(u, h) \right)
\end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned}
Tamamlanma(h) \geq & S("Hücre 4", h) + P("Hücre 4", h) + \\
& Hazırlık \ddot{U}rün(h, "Hücre 4") + \\
& Hazırlık \ddot{I}şçi(h, "Hücre 4") - \\
& M * \left(\sum_u z("Hücre 3", u) * x(u, h) \right) - \\
& M * \left(1 - \sum_u x(u, h) \right)
\end{aligned} \tag{18}$$

Modelde hesaplanması gereken son kısım, hazırlık zamanlarını kapsamaktadır. Daha önce de açıklandığı gibi, sistemde iki tür hazırlık olduğu düşünülmüştür. Bunlar sırasıyla şöyle sıralanabilir: ürün cinsinin değişiminden kaynaklanan ve işgören ihtiyacının değişiminden kaynaklanan hazırlık süreleri.

Eğer h. sırada işlenen ürün, aynı hücrede işlenmiş olan (h-1). üründen (o hücrede işlenmiş bir önceki ürün) farklıysa ürün cinsi değişimi kaynaklı bir sıraya bağlı hazırlık süresi mevcuttur. Diğer hazırlık süresi ise, aynı şekilde, aynı hücrede işlenecek olan işin işgören sayısı ihtiyacının bir önceki işten farklı olması ile gerçekleşir.

Belirtmelidir ki, tüm hazırlık zamanları hücre 3 ve hücre 4 için hesaplanır. Ancak, model diğer seri hücrelerde de bu zamanları hesaplama yeteneğine sahiptir. Sadece paralel hücrelerin ele alınmasının nedeni, ilk iki hücrede bu türlü hazırlıklara gerek olmadığı kabul edilmesindendir. Eğer h. iş i. hücrede (hücre 3 veya 4) işlenmişse, bir önceki işin ne olduğunu öğrenmek için (h-1). işe bakmak yerine i. hücrede işlenen en son işi araştırmak gereklidir. Şöyle ki, i. hücrede h. işin öncülü (h-1). iş olabileceği gibi h-2, h-3, ..., h-j. iş de olabilir. Bu nedenle öncül-ardıl ilişkisi olarak h. iş ile (h-j). iş aranmalıdır.

Ürün tipine bağlı hazırlık süreleri 19 ve 20. kısıtta, işgören sayısına bağlı hazırlık süreleri ise 21-23. kısıtlarda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
xa(u, h) \geq [I - xa(u, h - j)] - \\
M * \sum_{j=1}^{j-1} x(u, h - j)
\end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned}
HazırlıkÜrün(h, i) \geq z(i, u) * \\
\left[ParProduct * xa(u, h) - \right. \\
\left. M * (I - x(u, h)) \right]
\end{aligned} \tag{20}$$

$$\begin{aligned}
M * İşçiFarkı(h, i) \geq \\
\sum_u x(u, h) * işçi(u) - \\
\sum_u x(u, h - j) * işçi(u) - \\
\sum_u \sum_{j=0}^j ((I - z(i, u)) * x(u, h - j))
\end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
M * İşçiFarkı(h, i) \geq \\
\sum_u x(u, h - j) * işçi(u) - \\
\sum_u x(u, h) * işçi(u) - \\
\sum_u \sum_{j=0}^j ((I - z(i, u)) * x(u, h - j))
\end{aligned} \tag{22}$$

$$\begin{aligned}
Hazırlıkİşçi(h, i) \geq \\
Parİşçi * İşçiFarkı(h, i)
\end{aligned} \tag{23}$$

i = Hücreler 3, 4

h = 2, 3, ... H

j = 1, 2, ..., 10

Partilerin temin sürelerinin ortalamaları (hatta üretimi açısından) bir CONWIP sistemi için kullanışlı bir performans göstergesidir. Temin sürelerinin ortalaması, partilerin çıkış zamanları ile giriş zamanları arasındaki farkların toplamının (temin

süresi) parti miktarına bölümüdür. Bu ortalama, CONWIP kartlarının ve işlerin bekleme zamanlarının en azlanması için düşük düzeylerde tutulmalıdır.

Değişkenliğin arttığı durumlarda, temin sürelerinin ortalaması tek başına bir anlam ifade etmeyebilir. Bu nedenle, temin sürelerinin varyansı diğer bir performans göstergesi olarak ele alınabilir. Bu gösterge ise, partiler arasındaki temin süreleri farklarının büyüklüğünü gösterdiğinden, hattın etkinliği açısından önemlidir. Bu değerın büyük olması sistemin etkin olarak çalışmadığını gösterir.

OrtalamaTemin =

$$\frac{\left(\sum_h \sum_u x(u, h) * (Tamamlanma(h) - S(i, h)) \right)}{1 + \sum_u \sum_{h=2}^H x(u, h)} \quad (24)$$

STDTemin =

$$\sqrt{\frac{\left(\sum_h \sum_u (x(u, h) * (Tamamlanma(h) - S(i, h)))^2 \right)}{1 + \sum_u \sum_{h=3}^H x(u, h)} - \frac{(A - L)^2 * \left(1 + \sum_u \sum_{h=2}^H x(u, h) \right)}{\left(1 + \sum_u \sum_{h=3}^H x(u, h) \right)}} \quad (25)$$

i = Hücree 1

h = 1,2,...H

u = u1, u2, ..., U

Bu terimler, amaç fonksiyonuna da dahil edilerek en azlanmaya çalışılabilir. Bununla beraber, bu iki performans göstergesi de doğrusal olmayan (İng: Nonlinear) yapılar içerdiğinden geliştirilen model içerisinde amaç fonksiyonuna dahil edilmemiştir. Bunun nedeni, bu terimlerin çözüm süresi üzerindeki süreyi artırıcı etkileridir.

3.4.3 İş yükleme ve Sıralama için Sezgisel bir Yaklaşım

İş yükleme ve iş sıralama alt başlıklarında verilen yöntemler birbirlerini tamamlayan iki teknikten oluşmaktadır. İş yükleme kısmında talep havuzundan işler seçildikten

sonra bu seçilmiş işler iş sıralama modeli ile sıralanmaktadır. Ancak, sıralama kısmı optimizasyon tekniğini içerdiğinden karmaşık problemlerde pratikte kullanılamayacak kadar uzun çözüm süreleri gerektirebilmektedir. Bu nedenle, bir sezgisel yöntemle optimuma yakın bir çözüm elde edilmesine çalışılacaktır.

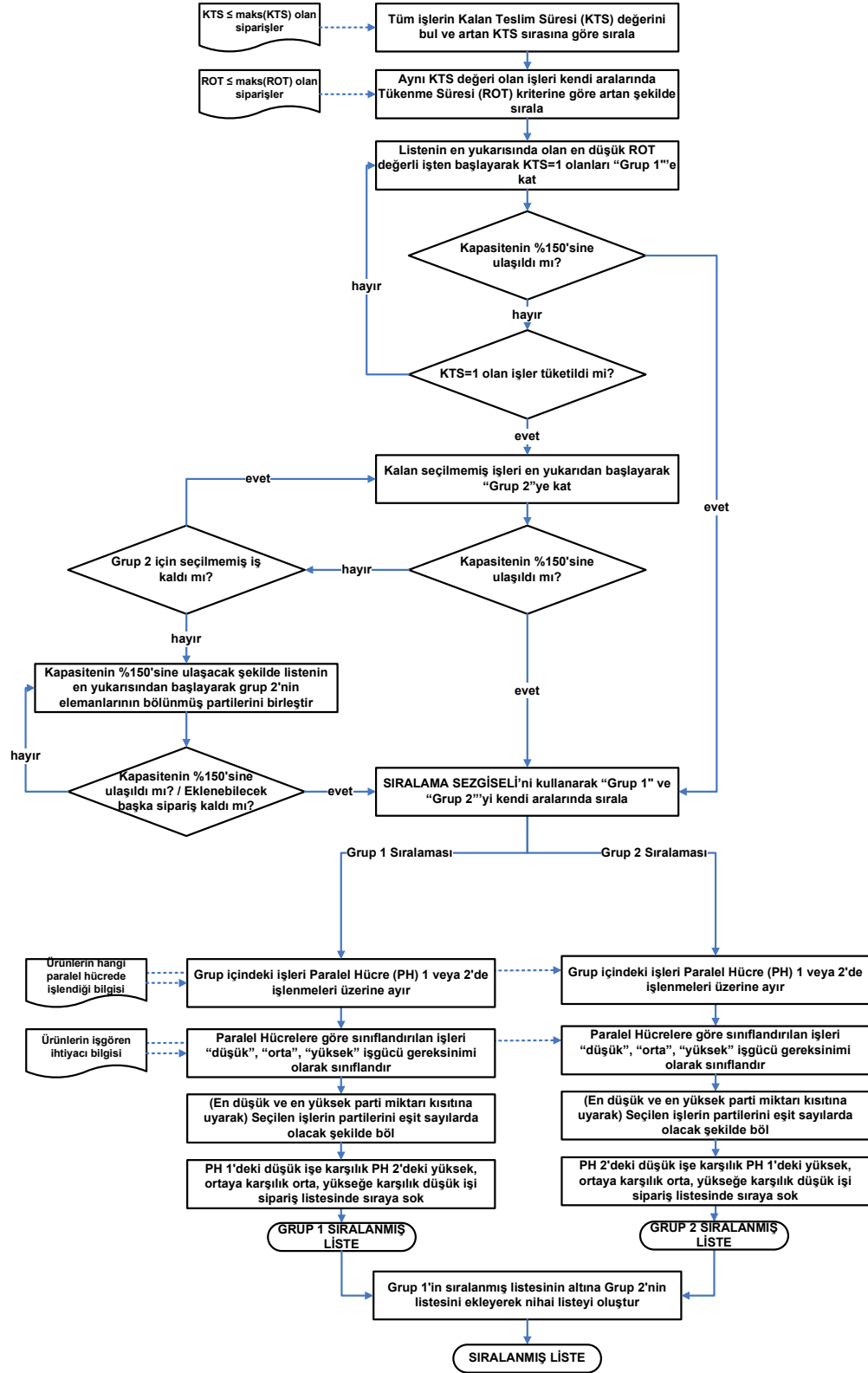
Oluşturulan sezgiselin algoritması Şekil 3.6'de özetlenmiştir. İş yükleme daha önce de ayrıntılarıyla anlatılan şekilde KTS ve ROT üzerinden yapılır. Listenin en yukarisından başlanarak KTS=1 olanlar Grup 1'e katılır. Eğer kapasitenin %150'sine ulaşamadıysa grup 1'e belirtilen koşulları sağlayan yeni işler eklenir. Eğer KTS=1 olan işler kalmadıysa ve kapasitenin %150'si doldurulamadıysa, KTS değeri 1'den büyük olan işler yukarıdan başlanarak (En ufak ROT değerliden başlanarak) seçilmeye başlanır. Bu noktadan önce herhangi bir anda grup 1 oluşturulurken %150 kapasite değerine ulaşıldıysa, işler yüklenmiş olur ve grup 1'in seçilen bu elemanları algoritmanın öngördüğü şekilde sıralanırlar.

Her yeni grup 2 elemanı sisteme katıldığında, %150 kapasite değerine ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilir. Eğer ulaşılmadıysa, sürece devam edilir. %150 kapasite değeri yakalandıysa, grup 1 ve 2 elemanlarını sıralamak üzere algoritmada belirtilen kurallar işletilir. Eğer yeni ekleyecek iş kalmadıysa ve grup 1 ve 2 oluşturulmasına rağmen kapasitede boşluk varsa, grup 2 için tekrar listenin başına dönülür ve seçilen işlerin tamamı listeye dahil edilerek iş yükü artırılır. Yine de önceden belirlen iş yüküne ulaşamadıysa, bir sonraki işin de tüm partisi sisteme alınarak iş yükü istenen düzeye çekilir. Bu süreç, belirlenen iş yükü düzeyine ulaşılma kadar sürdürülür.

Sıralama kuralları her iki grup için de aynıdır ve gruplara ayrı ayrı uygulanır. Öncelikle grup içindeki işler, hangi paralel hücrede işlendiklerine göre ayrılır. Daha sonra ise, işler işgücü ihtiyaçlarına göre “düşük”, “orta” ve “yüksek” olarak sınıflandırılırlar. Daha sonra işlerin parti miktarları, eşit sayıda olacak şekilde bölünür. Örneğin, üretilmesi gereken parti miktarı 24 ve izin verilen en büyük parti miktarı 10 ise ilgili parti 8-8-8 olarak bölünür. Burada önemli olan nokta, en az ve en büyük parti miktarı kısıtına uyulması ve işlerin düzgünleştirilmesinin sağlanmasıdır. Yani, 10-10-4 şeklinde bir parti bölme tercih edilmez. Bir sonraki adım sırayı belirleyen adımdır. İşlerin parti miktarları uygun şekilde bölündükten sonra, herhangi bir paralel hücreden başlayarak (tercihen daha fazla sayıda işin olduğu) bu hücreden alınacak düşük kategorisindeki işe karşılık diğer hücreden yüksek kategorisindeki iş alınır. Bu atamalar sırasında daha önceki adımlarda oluşturulan sıralamaya uyulur. Düşük kategorisindeki işler bu şekilde tüketildikten sonra, orta kategorisindeki işler alınır. Buna karşılık, diğer hücreden de orta kategorisindeki işler seçilir. Eğer, diğer

hücrede orta kategorisinde iş kalmadıysa, düşük kategorisindeki işler seçilir. Son olarak, ilk atamanın yapıldığı başlangıç hücresinde atanmamış bulunan yüksek kategorisindeki işlerin atanmasına başlanır. Bu işlere karşılık, diğer paralel hücreden de düşük kategorisindeki işler atanır. Eğer diğer hücrede, sadece orta veya yüksek kategorisindeki işler kaldıysa, öncelikle diğer hücrede sıralaya yerleştirilen yüksek kategorisindeki işlerin bitmesi beklenir. Daha sonra orta kategorisinden başlanarak diğer hücrenin işleri sıraya konur ve en son yüksek kategorisindeki işlerin de tüketilmesiyle birlikte sıralama oluşturulmuş olur. Grup 2'nin sıralanmasında dikkat edilecek husus ise, eğer grup 1 sıralamasında son sırada yer alan iş, örneğin PH1'de işlenen yüksek kategorisindeki bir iş ise grup 2 sıralamasının da PH2'nin düşük işi ile başlamasıdır. Yani grup 1'de PH1'in düşük işleri ile başlandıysa, grup 2'de PH2'nin düşük işleri ile başlanır. Ancak, grup 1'in son işlerinde PH2'de kalan işler yüksek kategorisindeki işler ise, grup 2'de yine PH1'deki düşük işler alınır. Bu şekilde, işgücü sayısını fazladan değiştirmeden ve hazırlık sürelerini artırmadan süreç devam ettirilmiş olur.

İki grupta da işlerin sıralanmasından sonra grup 1 ve 2'nin kendi sıralamaları ortaya çıkar. Nihai sıra ise, grup 1'in sıralamasının altına grup 2'nin sıralamasının konulmasıyla oluşturulmuş olur.



Şekil 3.6 : İş Yükleme ve Sıralama Sezgiseli

4. GELİŞTİRİLEN MODELİN UYGULAMASI

Geliştirilen iş yükleme ve sıralama sezgiseli ile iş sıralama matematiksel modeli gerçek hayattan alınan verilerle sınanacaktır. Yapılacak deneyler temelde iki başlık altında toplanabilir:

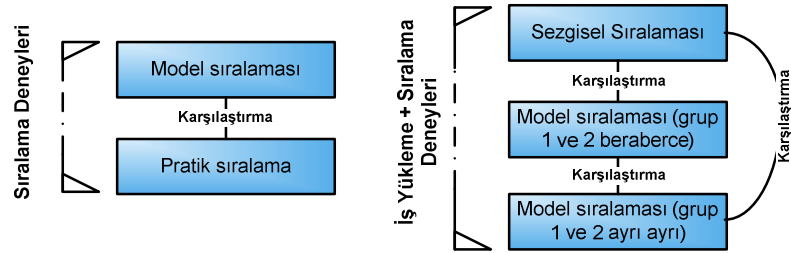
1. Sıralama modeli deneyleri
2. İş yükleme ve sıralama deneyleri

Şekil 4.1 ileride anlatılacak olan bu deneyleri özetlemektedir. Sıralama deneylerinde, herhangi bir gün için üretim sisteminde üretilmek üzere emri verilmiş olan talepler alınacaktır. Bu talepler önce üretim sistemi içerisinde ileride ayrıntıları verilecek olan olagelen *pratik* şekliyle, ardından da sıralama *modeli* yardımıyla sıralanacaktır. Son olarak da bu sıralamaların performansı karşılaştırılacaktır. Burada amaç, sıralama modelinin pratik sıralamadan iyi bir performans verip vermediğini araştırmaktır.

İkinci başlık altında yapılacak deneyler ise iş yüklemenin de dahil olduğu deneylerdir. Bu deneylerde şu alt başlıklar yer alacaktır:

- Sezgisel yardımıyla iş yükleme ve sıralama
- Sezgisel yardımıyla iş yükleme ve oluşacak grupları ayrı ayrı optimize etme
- Sezgisel yardımıyla iş yükleme ve oluşacak grupları beraberce optimize etme

Bu deneyler de kendi içlerinde performans açısından karşılaştırılacaklardır. Burada ise amaç sıralama sezgiselinin gücünü görebilmektir.



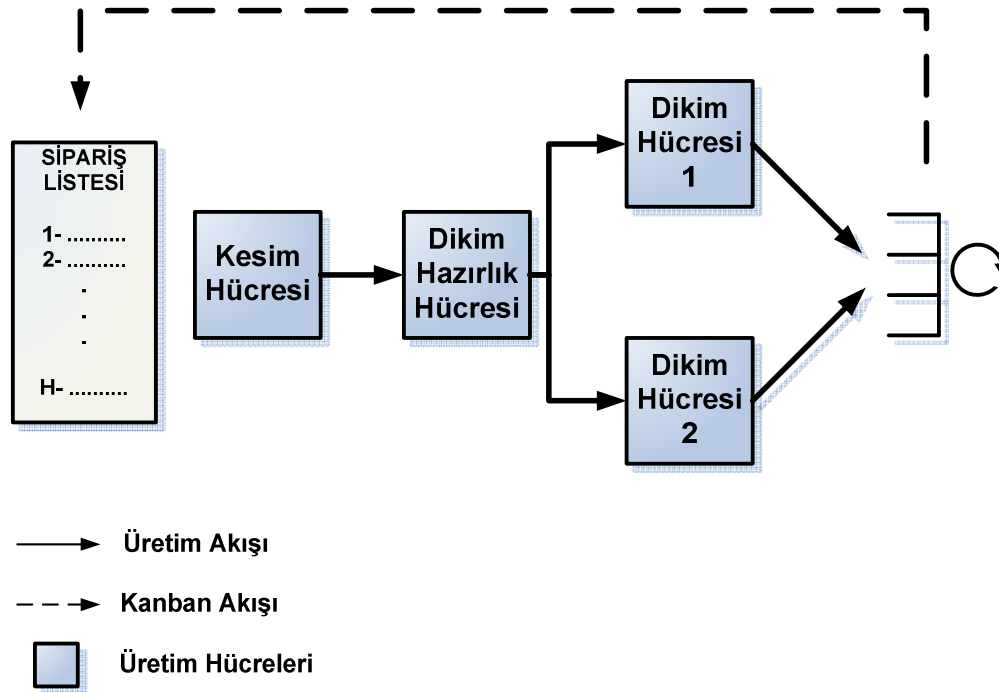
Şekil 4.1 : Çalışma Uygulama için Seçilen Sistemdeki CONWIP Hattı

Uygulamaya geçmeden önce incelenen sistemin özelliklerinin ve kullanılan yaklaşımların bir kez daha özetlenmesi gerekmektedir. Sonraki başlıklar bunları içermektedir.

4.1 Uygulama için Seçilen Sistemin Özellikleri

Uygulama için seçilen üretim sistemi bir koltuk üreticisidir. Bu firmada, geleneksel itme üretim kontrol yaklaşımı benimsenmiştir. Ancak, bu çalışmanın yapıldığı dönemde monoblok adı verilen belli bir ürün ailesi için tam zamanlı üretim felsefesi araçlarının uygulanma çalışması devam etmektedir. Bu noktada, bu ürün ailesi için, hücresel üretim yaklaşımı ile hücreler oluşturulmuş ve ilgili üretim hattının ürüne tahsisli olmayan CONWIP ile yönetilmesi kararlaştırılmıştır. Bu nedenle de, günlük olarak üretilecek ürünleri içeren bir sipariş listesinin oluşturulması ve bunun uygun şekilde sıralanması problemi doğmuştur.

Bu bağlamda ele alınan sistem önce işlerin yüklenmesine, sonra da bu yüklenen işlerin sıralanmasına ihtiyaç göstermektedir. Önerilen model, bu uygun koşullar altında test edilmiştir. İncelenen sistemde hücrelerin yerleşimi Şekil 4.2’de sunulmuştur.:



Şekil 4.2 : Çalışma Uygulama için Seçilen Sistemdeki CONWIP Hattı

Temel olarak bu sistem, ele alınan problem tanımı ile aynıdır. Ancak şüphesiz ki, üretim sisteminin parametre değerleri kendine özgüdür. Sistemde 14 farklı ürün üretilmektedir. Bu ürünlerin oluşturduğu karma fazlaca değişebilse bile günlük olarak ortalama 150 ürün üretilbildiği kabul edilmektedir. Hesaplanan takt süresi 3,5 dakikadır. Bu takt süresine erişmek için paralel hücrelerin senkronize bir şekilde çalıştırılmaları önemli bir sıralama problemi oluşturmaktadır. Her CONWIP kartı ilişkisindeki kapla birlikte 5 ila 10 arasındaki partileri taşıyabilmektedir.

Sistem 4 hücreden oluşan bir CONWIP kontrollü üretim hattıdır ve bu hat montaj hattını beslemektedir. Son iki hücre birbirine paralel olup ürünler ya dikim hücresi 1 ya da dikim hücresi 2’de işlenebilmektedir.

Sisteme girecek olan işler daha önceden belirlenmiş olan bir sipariş listesi aracılığıyla bilinmektedir. Eğer boş bir CONWIP kartı varsa, sipariş listesindeki sıradaki iş sisteme sokulur. Ürün hat boyunca işlenirken, CONWIP kartı yanında bulunur. Ürün sistemden çıkarken kart ayrılır ve hattın başına gönderilir. Eğer hattın başında hazırda CONWIP kartı yoksa, sipariş listesindeki ürün sisteme girebilmek için boş bir CONWIP kartının gelmesini bekler. Sistem içerisinde beş CONWIP kartı düşünülmüş olup inceleme bunun üzerine gitmektedir.

Bir CONWIP kartı ilgili sipariş tarafından kullanılmaya başladığı zaman, öncelikle ilgili ürünün (koltuk çeşidi) ihtiyaç duyduğu hammaddeler süpermarket sisteminden temin edilir. Bu hammaddeler: kumaş, tahta, sünger, arkalık, kolluk gibi koltuk için gerekli olan alt parçalardır. İlk süreç, ilgili koltuk modeline göre belirli olan kumaşın şablon aracılığıyla kesilmesidir. Bu aşamdan sonra ara ürünler dikim hazırlık hücresine gider. Ardından, ürünler hangi paralel dikim hücresinden işlenecekse ilgili hücreye gider ve işlenmeye başlar. Buradaki işlem bittikten sonra, ürün CONWIP kartıyla birlikte montaj hattına gönderilir ve burada teslim olduktan sonra CONWIP kartı hattın başına döndürülerek döngü tamamlanmış olur.

Sistem içerisinde iki türlü hazırlık zamanı vardır: ürün çeşidinin değişimine bağlı hazırlık ve işgücü miktarı değişimine bağlı hazırlık. Her iki hazırlık da hücre hazırlığıdır ve hazırlığın gerektiği hücreler paralel dikim hücreleridir. Herhangi bir paralel hücrede, her ürün değişiminde ve her işgören sayısı değişiminde bu hazırlık zamanları ortaya çıkmaktadır. Ürün çeşidine bağlı hazırlık süresi 3 dakika iken işgören sayısına bağlı hazırlık süresi 12 dakikadır.

Ürün çeşidinin değişimine bağlı hazırlık süresi şu alt işleri kapsar:

- İplik değiştirilmesi

- Kumaş (renk,cins) değiştirilmesi
- Makine ayarları

İşgücü miktarı değişimine bağlı hazırlık süresi şu alt işleri kapsar:

- Ek işgören tedarik süresi
- Eklenen yeni işgörene yeni işin öğretilmesi
- Organize olma
- Ürün değiştirme süresi

Üretim sisteminde günlük olarak işlenecek işler üretim sorumlusu tarafından bir gün önceden sıralanmaktadır. Bu sıralamaya çalışmanın kalanında “pratik sıralama” adı verilmiştir. Bu sıralama, birçok soruna neden olmaktadır: temin süresinin uzaması, takt süresine yetişememe ve hat dengesizliği gibi. Bu nedenle, öncelikle iş yükleme ve ardından iş sıralama modeli bu sorunlarını çözmek için kullanılmıştır.

4.2 Kaba Kapasite Hesabı için Pratik Bir Yaklaşım

Yukarıdaki bölümde sistemin özellikleri tanıtılırken, sisteme ait takt süresi verilmiştir. Bu takt süresi, ele alınan sistem için 3,5 dk/adet olarak müşterinin çekme hızına uygun olarak hesaplanan bir değerdir. Ancak, sistemin kapasitesinin yeterli olup olmadığının da kabaca hesaplanması takt süresine erişilip erişilemeyeceği, bir diğer ifadeyle müşteri talebinin tamamının karşılanıp karşılanamayacağının belirlenmesi önemlidir.

Bu bölümde sistem için ele alınan genel yaklaşımdan bahsedilecektir. Ele alınan ürün ailesi için öncelikle tüm ürünler için akış süreleri bulunur (Tablo 4.1). Burada tüm ürünler gösterilmemekle beraber, süreler saat cinsinden gerçek olmayan verilerdir. Dikkat edilirse, dikim hazırlık hücresinin alınmadığı görülür. Zira, önceki yapılan analizlerde dikim hazırlık hücresinin darboğaz olmadığı ortaya çıktığından bu hücre analizden çıkarılmıştır. Ancak, ele alınan CONWIP hattı montaj hücresini beslediğinden montajın kapasitesi aslında, tüm hattın kapasitesini de etkileyecektir. Bu nedenle montaj hücresi de analizin içerisine dahil edilmiştir.

Tablo 4.1 : Monoblok Ürünlere Ait Temin Süreleri

ÜRÜN	KESİM Temin Süresi	DİKİM Temin Süresi	MONTAJ Temin Süresi
BOLERO 3 - 5 - 7	0,11	0,41	0,34
BOLERO 9 AHC-KT	0,11	0,44	0,36
GALANTE 3 BYL	0,08	0,15	0,26
GALANTE 5 - 7	0,08	0,15	0,28
GALANTE 9 ALM-KRM	0,11	0,17	0,29
IDEA 3 KRM	0,12	0,42	0,78
IDEA 5 KRM	0,14	0,51	0,79
IDEA 7 KRM	0,17	0,55	0,83
IDEA 9 KRM	0,17	0,66	0,94
MİSTRAL 3 - 5 - 7	0,13	0,46	0,35
MİSTRAL 9 AHC	0,17	0,53	0,48
NEPTUNE 3 - 5 - 7	0,11	0,49	0,29
NEPTUNE 9 AHC-KT	0,12	0,52	0,29
NOVA TABURE	0,07	0,14	0,09
OMEGA 3 KRM	0,07	0,14	0,16
OMEGA 5 - 7 PL-KT	0,07	0,14	0,14
OMEGA 9 PL-KT	0,07	0,14	0,14
POWER 3 - 5 - 7	0,12	0,54	0,28
POWER 9 AHC-KT	0,16	0,64	0,32
SERENA 3 - 5 - 7	0,13	0,37	0,20
SERENA 9 PLS	0,13	0,38	0,21

Bu sürelerin çıkarılmasından sonra, bazı varsayımların yapılması gerekmektedir. Bu varsayımlar Tablo 4.2’de özetlenmiştir:

Tablo 4.2 : Kaba Kapasite Hesbında Kullanılan Varsayımlar

Kapasite Kullanım Oranı	80%
Denge kaybı	15%
KESİM - Süreç gereği yok edilebilir katma değersiz süre(dk)/adam	40
Yeni Ürün Dikim Hazırlık Süresi (dk)	5
Vardiyadaki Dikim Hazırlık Sayısı	8
DİKİM - Süreç gereği yok edilebilir katma değersiz süre(dk)/adam	40
Yeni Ürün Montaj Hazırlık Süresi (dk)	20
Vardiyadaki Montaj Hazırlık Sayısı	8
MONTAJ - Süreç gereği yok edilebilir katma değersiz süre(dk)/adam	40
Zaman dönüştürücü	60
Günlük çalışma süresi(dk)	520

Tablo 4.2’den de görüldüğü gibi, kapasite kullanım oranı %80 olarak alınmıştır. Bunun nedeni sistem içerisinde, israf niteliği taşıyan faaliyetlerin bulunması ve bunların engellenebilir olduğu halde sistemde varolduğundan, akışı engellemesidir. Bunlar, takım arama, parça arama, takım liderine danışma, kişisel ihtiyaçlar

nedeniyle işin başından ayrılma gibi sistemde tanımlı olmayan faaliyetler olarak tanımlanabilir.

Bir sonraki satırda denge kaybı parametresi ele alınmaktadır. Şöyle ki, bir ürün için dikim temin süresi 10 dk olsun. Bu dikimin tek bir kişi tarafından yapılması durumunda elde edilecek olan süredir. Ancak, iki kişi tarafından yapılması durumunda bu süre düşecektir. Ancak bu düşüş, tamamen yarıya düşüş anlamına gelmez. Çünkü, işin kendi içinde parçalara ayrılması sırasında bazı bölünemez parçalar nedeniyle bir denge kaybı yaşanabilir. Örnek üzerinden anlatmaya devam edilirse, 10 dk'lık işi iki kişinin yapması durumunda işlerin $5*1,15$ ve $5*0,85$ olarak bölümleneceği varsayılmaktadır. Burada %15 denge kaybı olarak alınan değerdir. Bu parametrenin önemi, işçi sayısının artması durumunda temin sürelerinin düşüşünü gerçeğe yakın şekilde göstermesidir. % 15 değeri ise ampirik bir değerdir ve sistem uzmanları ile yapılan analizlerden sonra bu değer gerçeği birçok ürün için ortaya konmuş ve bu değere karar verilmiştir.

Bir sonraki satırda, kesim hücresindeki işgörenlerin gün içerisinde yaptıkları bir takım tanımlı katma değersiz hareketlerin toplam süresi verilmiştir. Bu süre kesimci işgören başına 40 dakikadır. Benzer şekilde, dikim ve montaj işgörenleri için de bu süreler alınmıştır. Bu süreler daha önceden gözlemlerle ortaya çıkarılmış ve yapılan israf niteliğindeki faaliyetler tanımlanmıştır.

Bir sonraki satırda ise vardiyadaki dikim hazırlık süresi ele alınmıştır. Sistemde ürün çeşitliliği çok fazla olduğundan dolayı ürünlerin arka arkaya gelmesi sırasından bir takım hazırlık süreleri ortaya çıkmaktadır. Bu hazırlık gereksinimi vardiyada 8 adet alınmıştır. Benzer şekilde montaj için de 8 hazırlık seçilmiştir. Bu sayının seçilmesinde geçmiş taleplerin incelenmesi etkili olmuş ve sistemin sıralama probleminde de ele alınacağı gibi çok çeşitli ürün işleyebilecek şekilde tasarlanmış olması ile gün içerisinde çok sayıda ürün çeşidini üretebileceği öngörülmüştür.

Zaman dönüştürücü parametresi ise, temin sürelerinin saat cinsinden olması nedeniyle bu sürelerin dakikaya çevrilmesi amacıyla konmuştur.

Günlük çalışma süresi ise 520 dakikadır. Ancak burada önemli olan nokta, bu sürenin günlük kapasite kullanım oranı kadarlık kısmının alındığıdır. Bu kalan sürenin de, yukarıda belirtilen katma değersiz faaliyetlerin çıkarılmasıyla birlikte daha da düşeceğine dikkat edilmelidir. En son hesaplanan bu süre üzerinden, hücre içerisindeki işçi sayıları da dikkate alınarak darboğaz kaynakları belirlenmektedir. Tablo 4.3, bu durumu özetlemektedir:

Tablo 4.3 : Kaba Kapasite Hesabı ve Darboğaz Analizi

		GÜNDE KAÇ ADET ÜRÜN ÇIKAR?					
		155					
		KESİM		DİKİM		MONTAJ	
		3 işçi	1 vardiya	9 işçi	1 vardiya	9 işçi	1 vardiya
ÜRÜN		ÇEVİRİM	KAPASİTE	ÇEVİRİM2	KAPASİTE	ÇEVİRİM	KAPASİTE
BOLERO 3 - 5 - 7		2,76	174 adet	3,45	128 adet	2,90	110 adet
BOLERO 9 AHC-KT		2,91	165 adet	3,72	118 adet	3,05	105 adet
GALANTE 3 BYL		2,04	235 adet	1,32	334 adet	2,18	147 adet
GALANTE 5 - 7		2,04	235 adet	1,32	334 adet	2,38	134 adet
GALANTE 9 ALM-KRM		2,75	174 adet	1,48	297 adet	2,43	131 adet
IDEA 3 KRM		3,02	159 adet	3,61	122 adet	6,67	48 adet
IDEA 5 KRM		3,60	133 adet	4,38	100 adet	6,73	48 adet
IDEA 7 KRM		4,32	111 adet	4,69	94 adet	7,07	45 adet
IDEA 9 KRM		4,32	111 adet	5,58	79 adet	8,02	40 adet
MİSTRAL 3 - 5 - 7		3,27	147 adet	3,88	114 adet	3,00	107 adet
MİSTRAL 9 AHC		4,29	112 adet	4,51	97 adet	4,06	79 adet
NEPTUNE 3 - 5 - 7		2,82	170 adet	4,19	105 adet	2,44	131 adet
NEPTUNE 9 AHC-KT		3,02	159 adet	4,44	99 adet	2,50	128 adet
OMEGA 3 KRM		1,74	276 adet	1,18	374 adet	1,38	232 adet
OMEGA 5 - 7 PL-KT		1,74	276 adet	1,18	374 adet	1,17	274 adet
OMEGA 9 PL-KT		1,79	268 adet	1,19	369 adet	1,19	268 adet
POWER 3 - 5 - 7		3,07	157 adet	4,63	95 adet	2,36	136 adet
POWER 9 AHC-KT		4,09	117 adet	5,41	81 adet	2,68	119 adet
SERENA 3 - 5 - 7		3,19	150 adet	3,12	141 adet	1,72	186 adet
SERENA 9 PLS		3,32	144 adet	3,25	136 adet	1,75	183 adet
SESTA 1-2		2,40	200 adet	2,44	181 adet	1,91	168 adet
SESTA 5 - 7		2,43	198 adet	2,44	181 adet	2,73	117 adet
SESTA 9 KOL		2,68	179 adet	3,02	145 adet	3,02	106 adet

Bu tablonun uzunluğu nedeniyle, tüm ürünler gösterilmemiştir. Tabloda, açık renkle gösterilen hücreler darboğaz kaynaklarını göstermektedir. Adetlerin yanında verilen içi dolu ve boş daireleri ise atıl kapasite durumunu göstermektedir. İçi boş daireler atıl kapasite olmadığını gösterirken, dolu daireler atıl kapasitenin miktarını göstermektedir. Dikkat edildiği gibi darboğaz kaynakları, ürün cinslerine göre değişmektedir. Bu farklılık nedeniyle, sistem içerisindeki değişkenlik çok fazla olmaktadır.

Bu tablonun içindeki değerler şu şekilde hesaplanır. Öncelikle, her hücre için ayrı ayrı kaç ürün çıkabileceği ortaya konur. Bu da, daha öncede verilen parametrelerle birlikte hücrenin toplam çalışma süresinin (işçi sayısına bağlı olarak hesaplandığına dikkat ediniz) çevrim süresine bölümü ile ortaya çıkar. Çevrim süresi, ise temin süresinden yola çıkarak denge kaybı parametresini de dikkate alan ve işçi sayısına göre azalan bir değerdir. Çevrim süresi bir ürünün kaç dakikada sistemden çıkabileceğini gösterir. Diğer bir ifadeyle toplam süre (dk), çevrim süresi (dk/adet) değerine oranlanarak günlük üretilebilecek adet bulunur. Ancak, her hücre bazında bulunan bu değerler kendi başına anlamsızdır. Çünkü, darboğaz hücre hattın çıkacak ürün miktarını belirler (Goldratt, 1992). Tablonun en son sütunu, bu darboğaz kapasiteleri göstermektedir. Bu nedenle her ürün için, hangi hücrenin kapasitesi minimum ise bu değer hattın kapasitesi olarak seçilir. Bu hesaplamalar tüm ürünler için de yapılır.

Ancak, buraya kadar günde kaç adet ürün çıkabileceği sorusuna bir yanıt verilmiş değildir. Bu noktada da, geçmiş talepler dikkate alınmaktadır (Tablo 4.4). Tablo üzerinde verilen değerlerin tablonun uzunluğu nedeniyle (ve kapasite planlamanın çalışmanın ana eksenini olmaması sebebiyle) tüm monoblok ürünlerini kapsamayacak şekilde kısaltılarak verildiğini ve bu bilgilerin firmanın ticari sırrı olduğundan gerçekten farklı değerler olarak gösterildiğini vurgulamakta yarar vardır. Darboğaz kapasiteler ürünün ürüne çok farklı olduğundan, toplam kapasite tüm ürün karmasından (talepler oranında) etkilenmelidir. Şöyle ki, geçmiş taleplerde hangi ürün ne kadar üretildiyse ve bunun toplam talep içerisindeki oranı ne ise, o ürünün darboğaz kapasitesi hattın toplam kapasitesini o nispette etkiler. Matematiksel olarak ifade edersek, ürünün geçmiş talep oranını darboğaz kapasiteyle oranlandığında toplam kapasiteye, yani günlük ne kadar ürün üretilebileceği bilgisine ulaşılmaktadır.

Tablo 4.4 : Monoblok Ürünlere Ait Örnek Talep Bilgileri

ÜRÜN	SON 10 AYLIK TALEP	TALEP ORANI	DARBOĞAZ KAPASİTESİ
BOLERO 3 - 5 - 7	208	1%	98
BOLERO 9 AHC-KT	81	1%	93
GALANTE 3 BYL	313	2%	131
GALANTE 5 - 7	187	1%	119
GALANTE 9 ALM-KRM	69	0%	117
IDEA 3 KRM	281	2%	43
IDEA 5 KRM	102	1%	42
IDEA 7 KRM	159	1%	40
IDEA 9 KRM	314	2%	35
MİSTRAL 3 - 5 - 7	1116	8%	95
MİSTRAL 9 AHC	653	5%	70
NEPTUNE 3 - 5 - 7	205	1%	93
NEPTUNE 9 AHC-KT	139	1%	88
OMEGA 3 KRM	151	1%	206
OMEGA 5 - 7 PL-KT	191	1%	244
OMEGA 9 PL-KT	174	1%	239
PATIR	3120	22%	85
POWER 3 - 5 - 7	700	5%	85
POWER 9 AHC-KT	269	2%	72
SERENA 3 - 5 - 7	766	5%	125
SERENA 9 PLS	914	6%	121

Burada görülen sonuç ise, firmanın günlük olarak takt süresini karşılayabilmesidir. Zira önceki bölümlerde, günlük talep 150 adet olarak verilmişti. Bu aşamada kapasitenin yeterli olduğu görüldükten sonra, kullanılan yöntemlerin ayrıntısına ve sayısal örneklere geçilebilir.

4.3 Kullanılan Yöntem

İş yükleme ve iş sıralama modellerinin sınanmasında belli bazı teknikler kullanılmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi, en uygun sıralamaya ulaşmak için optimizasyon çalışması yapılmıştır. Ardından da belli performans kriterleri açısından önerilen sıralamam modelinin karşılaştırmak üzere simülasyon tekniği kullanılmıştır.

4.3.1 Optimizasyon

Ele alınan sistemde sıralamanın optimize edilmesi yukarıda sunulan matematiksel model yardımıyla olmuştur. Burada kullanılan bilgisayar programı GAMS 2.0'dir. Doğrusal model için kullanılan çözücü CPLEX'tir. Doğrusal olmayan modeller için de DICOPT çözücüsü kullanılmıştır.

4.3.2 Simülasyon Çalışması

Sistem performansını karşılaştırmak üzere model sıralaması ve pratik sıralama bir simülasyon modeli kurularak karşılaştırılmıştır. Bu simülasyon modeli sistemin hem itme hem de CONWIP kontrollü çekme senaryolarını işleyebilme özelliğine sahip olarak ARENA 9.0 programında modellenmiştir.

Simülasyon modelinde üretim ortamındaki değişkenlikleri göz önüne almak üzere, operasyonlar sabit işlem sürelerinin (SİS) yanı sıra üçgen dağılıma göre değişken olarak da ele alınmıştır. Üçgen dağılım uyarınca değişken işlem süreleri şu şekilde bulunmuştur: $\{(1-\alpha)*SİS), (SİS), [(1+\alpha)* SİS]\}$. Değişkenlik katsayısı α ise, uygulama sisteminin uzmanları ile yapılan görüşmeler neticesinde 0,20 alınmıştır.

4.4 İş Sıralama Modelinin Pratik Uygulamaya Üstünlüğü

İş sıralama modelinin uygulanması sırasında herhangi bir gün içinde firma tarafından üretilmek üzere belirlenen siparişler ele alınacaktır. Bu veriler rastgele seçilmiş olup firmanın gerçek verilerini yansıtmaktadır.

İncelenen bu siparişler sıralama modeli tarafından sıralanacak, ardından da firmanın üretim sorumlusunun kendi yaptığı sıra ile performans açısından karşılaştırılacaktır. Ele alınan performans kriteri, toplam akış süresi olacaktır.

Bu bölümde uygulamalar senaryo bazında yer alacak ve senaryolar arasındaki organizasyon da şu şekilde olacaktır: önce ilgili senaryodaki veri seti

tanımlanacaktır. Ardından, pratik sıralamanın ve model sıralamasının itme ortamlarında ve CONWIP ortamlarındaki simülasyon performansları karşılaştırılacaktır. Burada itme ile tanımlanan ortam parti miktarlarının kısıtlı olmadığı ve ürünlerin sisteme itme mantığı ile girdiği üretim koşullarıdır. Çekme ise özellikleri daha önce verilen CONWIP kontrollü üretim hattını tanımlar. Son olarak da bu iki sıralama sonucunun genel karşılaştırması özetlenecektir.

4.4.1 Senaryo 1

Ele alınan ilk senaryoda 150 ürünlük bir ürün sayısı vardır. Bu veri seti aşağıdaki Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5 : Senaryo 1 İçin Seçilen Gerçek Talep Karması

Ürün Adı	Miktar
serena	120
galante	10
power	10
omega	5
mistral	5
TOPLAM	150

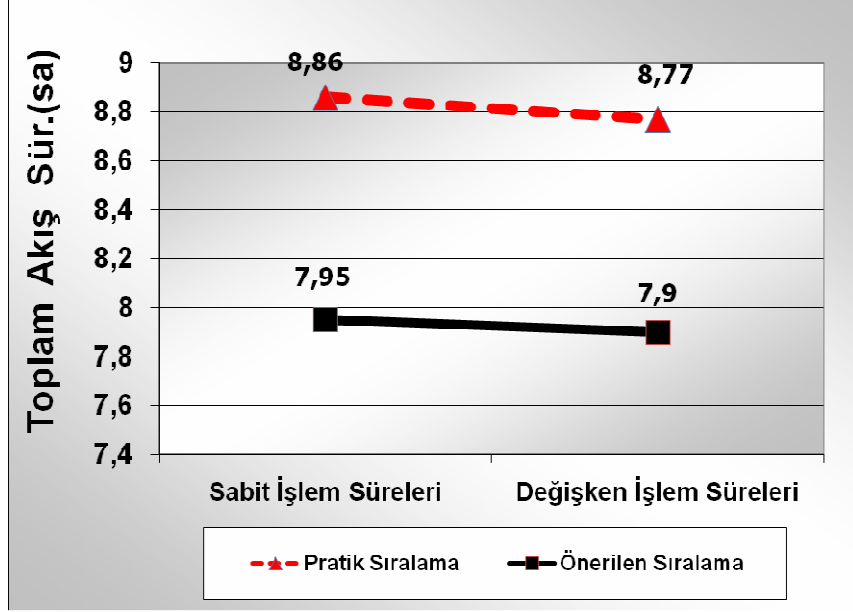
4.4.1.1 İtme Ortamında Karşılaştırma

İtme sistemi ile kastedilen en büyük ve en küçük parti miktarlarının olmaması ve CONWIP kartı bulunmamasıdır. İtme ortamı için yapılan simülasyon çalışmasında görülmüştür ki, etkin bir sıralama üretim sistemini değiştirmeden dahi etkin sonuçlara ulaşabilmektedir. Şöyle ki, toplam akış süresi açısından önerilen sıralama, pratikte uygulanan sıradan yaklaşık olarak 1 saat daha iyi bir sonuç vermektedir (Tablo 4.6 ve Şekil 4.3).

Tablo 4.6 : İtme Ortamı İçin Pratik Sıra ve Optimize Edilmiş Sıra (S.1)

No	Pratik Sıra		Model Sırası	
	Ürün Adı	Parti Miktarı	Ürün Adı	Parti Miktarı
1	serena	60	omega	5
2	serena	60	serena	35
3	galante	10	serena	85
4	power	10	galante	10
5	omega	5	mistral	5
6	mistral	5	power	10
	Topl. Tam. Zam. (sa)	8,86	Topl. Tam. Zam. (sa)	7,95

Aşağıdaki grafik ise, değişken ve sabit işlem süreleri için iki sıralamının da değişimini ortaya koymaktadır. Buradan görüldüğü gibi, iki farklı durum için de model sıralaması pratik sıralamaya göre daha üstündür.



Şekil 4.3 : İtme Ortamı İçin Model Sırasının ve Pratik Sıranın Performansı (S.1)

4.4.1.2 Çekme Ortamında Karşılaştırma

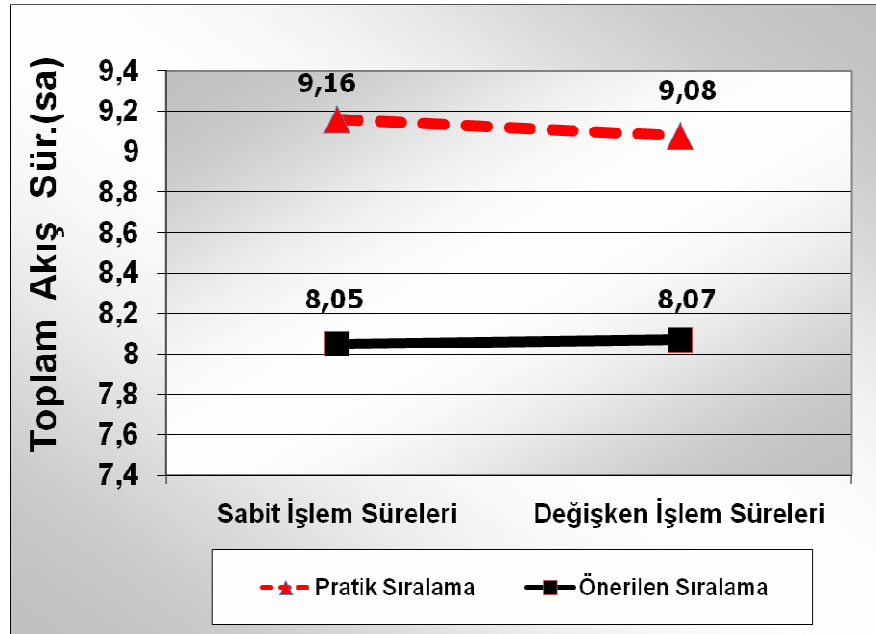
Aşağıdaki sonuçlar, belirtilen CONWIP çekme koşulları için yapılmış simülasyon sonuçlarıdır. Okuyucu dikkat etmelidir ki, çekme için verilen pratik sıralama gerçekte itme sıralamasının aynısı olup sadece aynı sıradaki ürünlerin parti miktarlarının kap kapasitesine göre uyarlanmasıyla bulunan miktarlardır. Bu sonuçlardan görüldüğü üzere, model sıralaması toplam akış süresi açısından pratik sıralamadan 1 saat kadar daha iyi bir sonuç vermektedir (Tablo 4.7 ve Şekil 4.4).

Tablo 4.7 : Çekme Ortamı (Gerçek uygulama) İçin Pratik Sıra ve Optimize Edilmiş Sıra (S.1)

No	Pratik Sıra		Model Sırası	
	Ürün Adı	Parti Miktarı	Ürün Adı	Parti Miktarı
1	serena	10	omega	5
2	serena	10	mistral	5
3	serena	10	serena	10
4	serena	10	serena	10
5	serena	10	serena	10
6	serena	10	serena	10

7	serena	10	serena	10
8	serena	10	serena	10
9	serena	10	serena	10
10	serena	10	serena	10
11	serena	10	power	10
12	serena	10	galante	10
13	galante	10	serena	10
14	power	10	serena	10
15	omega	5	serena	10
16	mistral	5	serena	10
	Topl. Tam. Zam. (sa)	9,16	Topl. Tam. Zam. (sa)	8,05

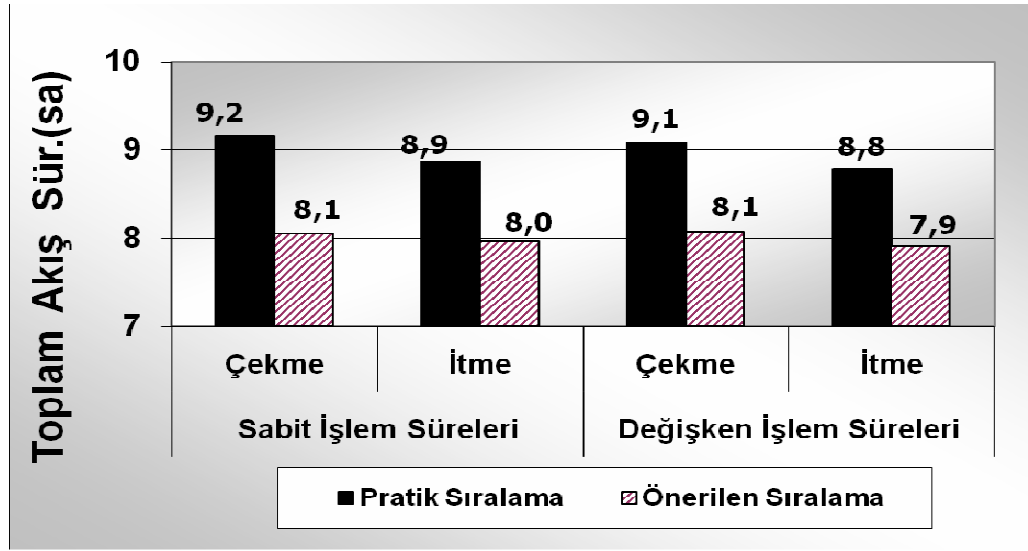
Değişken işlem zamanları da dikkate alındığında önerilen sıralama modelinin daha etkin olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4 : Çekme Ortamı İçin Model Sırasının ve Pratik Sıranın Performansı (S.1)

4.4.1.3 Performans karşılaştırması

Özet olarak, her iki sıralama da hem üretim koşullarına göre (itme ve çekme) hem de işlem sürelerine göre (sabit ve değişken) karşılaştırılmıştır. Görülmüştür ki, önerilen model, her iki koşulda da pratik sıralamadan daha iyi sonuç vermektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Senaryo 1 İçin Model Sıralamasının ve Pratik Sıralamanın Performansı

4.4.2 Senaryo 2

Pratik sıralama ile model sıralamasının karşılaştırıldığı ikinci senaryonun talep karması aşağıda yer alan Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8 : Senaryo 2 İçin Seçilen Gerçek Talep Karması

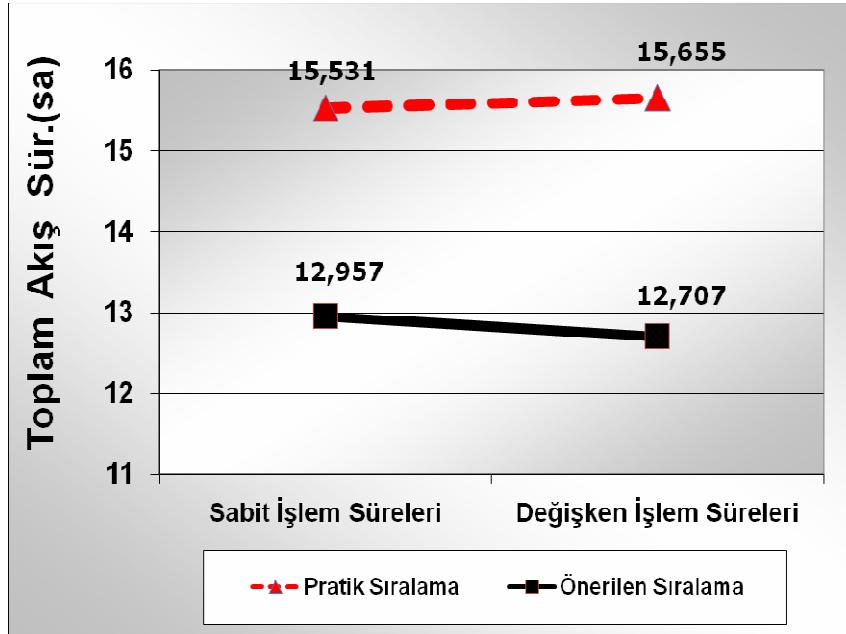
Ürün Adı	Miktar
mistral	46
idea	10
omega	10
power	32
neptune	8
bolero	7
serena	14
galante	17
TOPLAM	144

4.4.2.1 İtme Ortamında Karşılaştırma

Senaryo ilk olarak itme ortamında denenecektir. Daha önce de belirtildiği gibi bu ortamda herhangi bir parti sınırlaması yoktur ve set arabası da kullanılmamaktadır. Bulunan sıra ve sonuçlar aşağıda verilmiştir (Tablo 4.9 ve Şekil 4.6). Buna göre model sadece işlerin yerini değiştirerek yaklaşık 2,5 saatlik bir kazanç sağlamıştır.

Tablo 4.9 : İtme Ortamı İçin Pratik Sıra ve Optimize Edilmiş Sıra (S.2)

No	PRATİK SIRA		MODEL SIRASI	
	Ürün Adı	Parti Miktarı	Ürün Adı	Parti Miktarı
1	mistral	46	neptune	8
2	idea	10	bolero	7
3	omega	10	galante	17
4	power	32	power	32
5	neptune	8	mistral	46
6	bolero	7	idea	10
7	serena	14	omega	10
8	galante	17	serena	14
	Toplam Akış Süresi(sa)	15,531	Toplam Akış Süresi(sa)	12,957



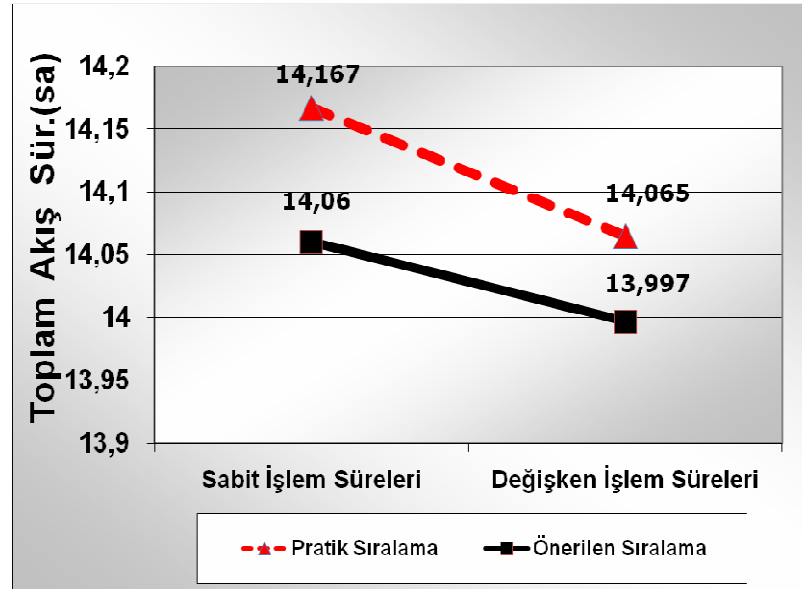
Şekil 4.6 : İtme Ortamı İçin Model Sırasının ve Pratik Sıranın Performansı (S.2)

4.4.2.2 Çekme Ortamında Karşılaştırma

Çekme ortamındaki karşılaştırmada ise parti miktarları ve set arabaları sınırlıdır. Bulunan sonuçlar aşağıdaki Tablo 4.10 ve Şekil 4.7’de verilmiştir. Buna göre, itme senaryosunun aksine, pratik sıra ile model sırası arasında anlamlı bir fark oluşmadığı görülmektedir.

Tablo 4.10 : Çekme Ortamı (Gerçek uygulama) İçin Pratik Sıra ve Optimize Edilmiş Sıra (S.2)

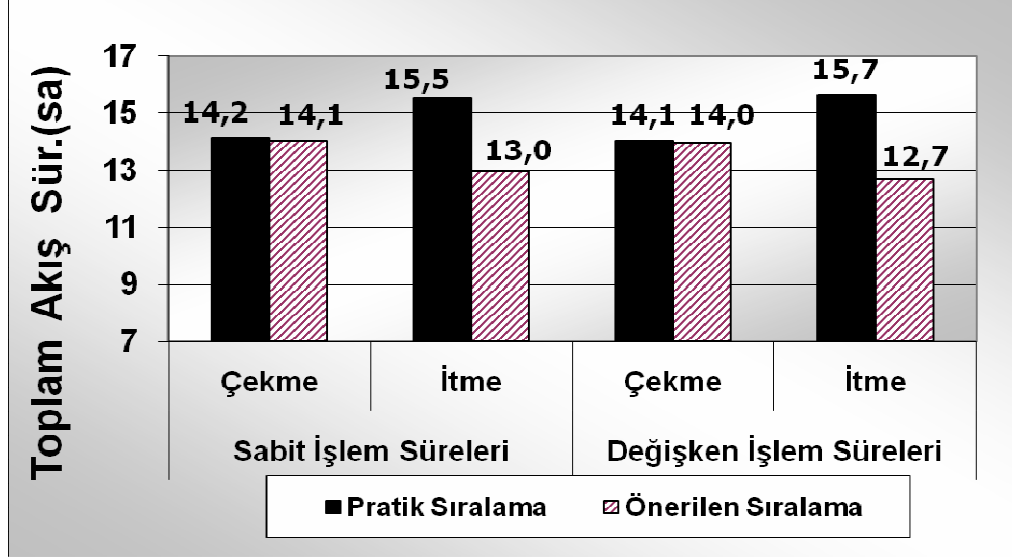
No	PRATİK SIRA		MODEL SIRASI	
	Ürün Adı	Parti Miktarı	Ürün Adı	Parti Miktarı
1	mistral	10	power	5
2	mistral	9	serena	5
3	mistral	9	omega	10
4	mistral	9	mistral	6
5	mistral	9	mistral	10
6	idea	10	mistral	10
7	omega	10	mistral	10
8	power	8	mistral	10
9	power	8	neptune	8
10	power	8	bolero	7
11	power	8	power	10
12	neptune	8	galante	7
13	bolero	7	galante	10
14	serena	7	power	7
15	serena	7	power	10
16	galante	9	idea	10
17	galante	8	serena	9
	Toplam Akış Süresi(sa)	14,167	Toplam Akış Süresi(sa)	14,06



Şekil 4.7 : Çekme Ortamı İçin Model Sırasının ve Pratik Sıranın Performansı (S.2)

4.4.2.3 Performans Karşılaştırması

Sonuçlar tekrar değerlendirildiğinde (Şekil 4.8) görülmektedir ki, model sıralaması pratik sıralamaya üstündür. Bu üstünlük, senaryo 2 açısından, özellikle itme alt senaryosu için daha öne çıkmıştır.



Şekil 4.8 : Senaryo 2 İçin Model Sıralamasının ve Pratik Sıralamanın Performansı

4.4.3 Senaryo 3

Pratik sıra ile model sırasının son karşılaştırılması Senaryo 3'te yapılmıştır. Bu senaryo için rastgele seçilen günlük talep karması aşağıda verilmiştir (Şekil 4.11). Bu talep karması, kapasite açısından nispeten düşük yoğunlukta olup firmanın siparişlerinin az olduğu bir anı temsil etmektedir.

Tablo 4.11 : Senaryo 3 İçin Seçilen Gerçek Talep Karması

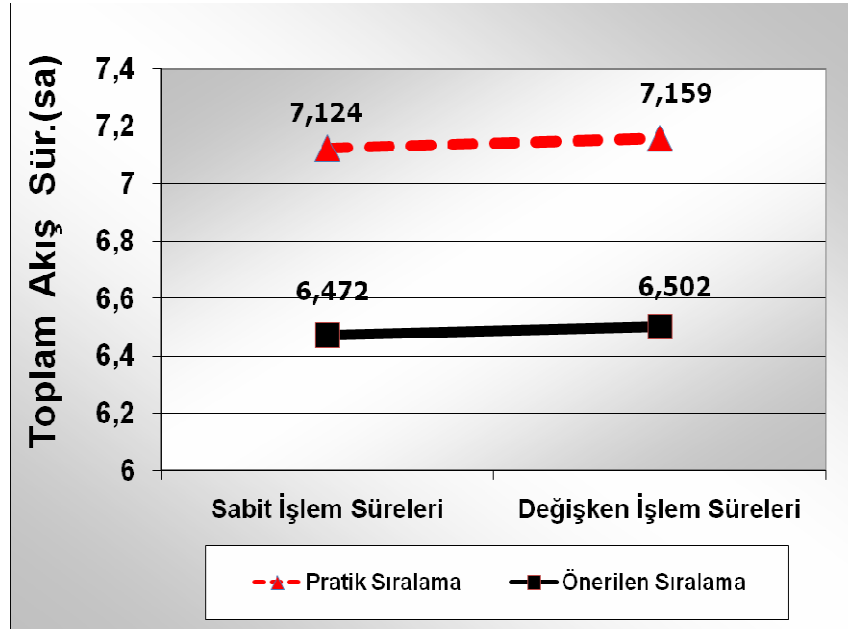
Ürün Adı	Miktar
power	36
serena	35
idea	16
omega	15
TOPLAM	102

4.4.3.1 İtme Ortamında Karşılaştırma

İtme ortamında karşılaştırmaya bakıldığında model sıralamasının pratik sıralamaya üstün olduğu göze çarpmaktadır (Tablo 4.12 ve Şekil 4.9). Model sıralaması toplam akış süresi açısından yaklaşık olarak 0,7 saat daha iyi bir performans vermektedir.

Tablo 4.12 : İtme Ortamı İçin Pratik Sıra ve Optimize Edilmiş Sıra (S.3)

No	PRATİK SIRA		MODEL SIRASI	
	Ürün Adı	Parti Miktarı	Ürün Adı	Parti Miktarı
1	power	36	power	36
2	serena	35	omega	15
3	idea	16	serena	35
4	omega	15	idea	16
	Toplam Akış Süresi (sa)	7,124	Toplam Akış Süresi (sa)	6,472



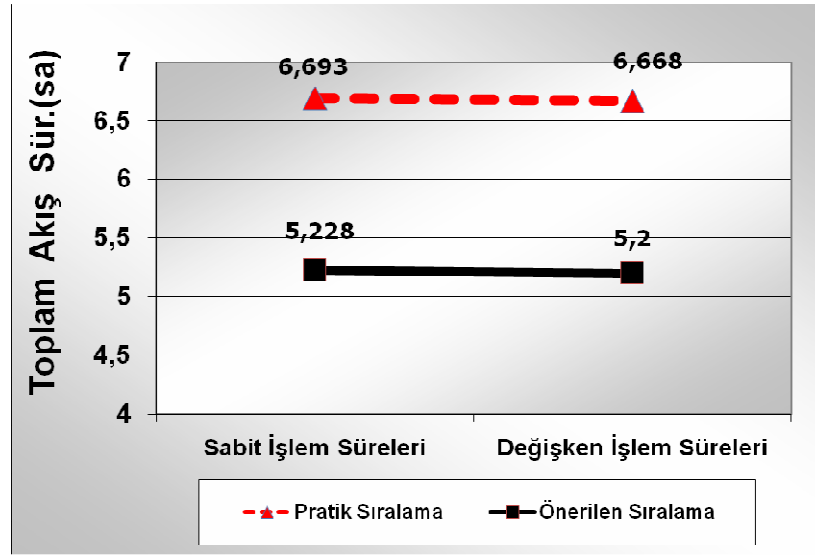
Şekil 4.9 : İtme Ortamı İçin Model Sırasının ve Pratik Sıranın Performansı (S.2)

4.4.3.2 Çekme Ortamında Karşılaştırma

Çekme ortamında yapılan deneyin sonuçları daha çarpıcıdır. Buna göre model sıralaması pratik sıralamadan yaklaşık 1,3 saat daha hızlıdır. Bu sonuç oldukça çarpıcıdır (Tablo 4.13 ve Şekil 4.10).

Tablo 4.13 : Çekme Ortamı (Gerçek uygulama) İçin Pratik Sıra ve Optimize Edilmiş Sıra (S.3)

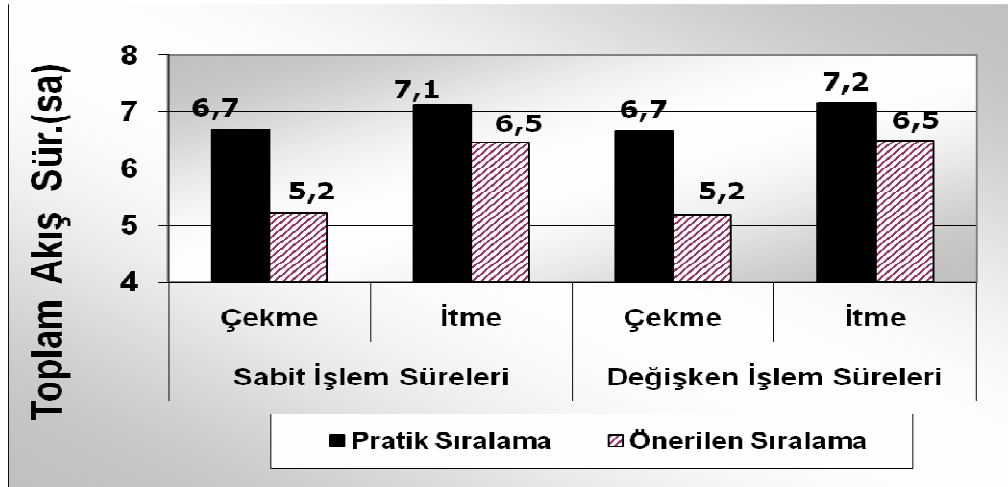
No	PRATİK SIRA		MODEL SIRASI	
	Ürün Adı	Parti Miktarı	Ürün Adı	Parti Miktarı
1	power	9	power	5
2	power	9	omega	5
3	power	9	omega	5
4	power	9	power	10
5	serena	9	omega	5
6	serena	9	serena	10
7	serena	9	serena	10
8	serena	8	serena	10
9	idea	8	power	5
10	idea	8	power	6
11	omega	8	power	10
12	omega	7	serena	5
13			idea	10
14			idea	6
	Toplam Akış Süresi (sa)	6,693	Toplam Akış Süresi (sa)	5,228



Şekil 4.10 : Çekme Ortamı İçin Model Sırasının ve Pratik Sıranın Performansı (S.3)

4.4.3.3 Performans Karşılaştırması

Sonuçlar bir kez daha özetlendiğinde görülmektedir ki, Senaryo 3 için yapılan deneylerde model sıralaması pratik sıralamadan oldukça üstün sonuçlar vermektedir (Şekil 4.11). Bu fark, çekme sistemi incelemesi için toplam akış süresinde 1,5 saatlik kısaltmaya kadar varmaktadır.



Şekil 4.11 : Senaryo 3 İçin Model Sıralamasının ve Pratik Sıralamanın Performansı

Genel olarak özetlenebilir ki, modelin yaptığı sıralama pratik sıralamadan üstündür. Ancak bir diğer önemli nokta, optimizasyon modeli kullanılmadan etkin bir sıralamaya ulaşabilmektir. Bu bağlamda, önerilen sıralama sezgiseli optimizasyon

modeli ile takip eden başlıklarda karşılaştırılacak ve bu konu ayrıntılı olarak incelenecektir.

4.5 İş Yükleme ve Sıralama Modelinin Beraberce Uygulaması

Bu bölümde iş yükleme ve sıralama modeli gerçek örnekler üzerinde uygulanacaktır. Karşılaştırma için 5 farklı gerçek veri senaryosu rastgele seçilmiş ve incelenmiştir.

4.5.1 Senaryo 1

İlk senaryo için rastgele bir gün için talep karması alınmıştır. Diğer senaryolarda da aynı format olmak üzere bu karma önce iş yükleme sezgiseli ile filtrelenmiş. Ardından iş sıralama sezgiseli ile sıralanmıştır. Ardından, grupların ayrı ayrı sıralaması yukarıda ayrıntıları ile anlatılan sıralama modeli ile optimize edilmiştir. Son olarak ise, gruplar beraberce optimize edilmiştir. Nihayetinde, tüm bu alt senaryolar performans kriterleri açısından karşılaştırılmıştır.

4.5.1.1 Sezgisel Yöntem

Firmanın herhangi bir gün içerisindeki talep havuzu aynen alınarak, yükleme modeli ile önce filtrelenmiş, ardından da iş sıralama modeli ile sıralanmıştır. Ele alınan talep havuzu Tablo 4.8'in ilk üç sütunu olan; ürün adı, toplam talep miktarı ve KTS (Kalan teslim süresi) sütunlarında özetlenmiştir.

Tablo 4.14 : KTS=1 Olan İşlerin Grup 1'e Atanması (S.1)

TOPLAM YÜKLEME		129	Kapasiteye oranı		86%								
Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Gereksinimi Grubu	Seçilen talep	HANGİ SİRADA ALINDI	
neptune	8	1	8	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	8	1	
power	10	1	10	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	10	2	
mistral	30	1	30	2	0,07	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	30	3	
patir	46	1	46	5	0,11	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	46	4	
galante	20	1	20	3	0,15	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	20	5	
serena	15	1	15	8	0,53	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	15	6	
omega	42	2	21	0	0,00								
galante	20	2	10	0	0,00								
serena	5	2	3	0	0,00								
idea	46	2	23	2	0,09								
power	40	2	20	10	0,50								
serena	62	3	21	15	0,73								

Bir sonraki “net ihtiyaç/periyot” sütununun özelliği ise farklıdır. Bu sütun, toplam talebi KTS değerine bölmektedir. Öncelikle belirtilmelidir ki, bu tablodaki toplam

talep miktarı ve teslim için kalan gün sayısı haneleri planlama periyodu başında, yani her gün tekrar hesaplanır. Örnek olarak bir Pazartesi günü, mesai başlamadan önce bir ürünün talebi 100 adetse ve Cuma akşamına kadar isteniyorsa bu şekilde tabloya $KTS=5$ olarak işlenir. Ve talep sütununda $100/5=20$ adetlik bir talep görünür. Çünkü bu sütun talebin ne kadar günde karşılanması gerektiğini dikkate alarak talebi günlere paylaştırır. Yani, talebi bir anda karşılamaktansa bunu düzgün olarak günlere dağıtmak daha uygun olacağından üretim düzgünleştirilir. Zira, acil olmayan bir ürünün tamamını o anda üretmek için kapasiteyi doldurmak yerine acil olan diğer işlerin bitirilmesi daha önemlidir. Örnekten devam edersek, eğer Pazartesi günü 20 adetlik bir üretim yapıldıysa, Salı gününün başındaki planlamada “talep” hanesi güncellenir ve $80/4=20$ olarak bulunur. Yani sistemin güncelliği bu şekilde sağlanmış olur.

Mevcut stok sütunu ise son ürün ve ara stok olarak sistemde yer alan ürünleri hesaba katmaktadır. Şöyle ki, eğer bir gün önceden kalan ve üretim hattı içindeki çeşitli noktalarda yer alan ara stok ürünler kaç taneyse onların miktarı buraya o şekilde girilir.

ROT değeri sütunu ise önceki bölümlerde açıklanan formülasyonla, mevcut stokun talebe oranıyla bulunur. ROT’un düşük olması işin aciliyetinin bir göstergesidir. Ancak, aynı ROT değerine sahip işler arasında teslim için kalan günü az olan öne geçer. Buna göre, tablo iki aşamalı olarak sıralanır: önce artan ROT değerine göre, sonra artan teslim için kalan gün sayısına göre. Dikkat edilmelidir ki, $KTS=1$ ve $ROT=0$ en öncelikli işlerdir. Bu nedenle, KTS ve ROT değerleri büyüdükçe ilgili işler için bu hücreler daha açık renge boyanmıştır. Özetle, koyu renk aciliyeti göstermektedir.

İşler sıralandıktan sonra, birinci sıradan başlayarak seçilmeye başlanır. Bu noktada önemli olan şey, $KTS=1$ olan işlerin öncelikle tüketilmesidir. Seçilen işler “Seçildi mi” sütunundan seçildi olarak işaretlenir. İlk olarak, neptune ürününün 8’lik partisi seçilir. Burada belirtilmelidir ki, algoritmada ayrıntılı olarak açıklandığı gibi $KTS=1$ olan işler “grup 1”e atanır. “Hangi grup?” sütunu da bu noktada doldurulur. Ardından, seçilen bu işin hangi paralel hücrede olduğu da “Hangi paralel hücre?” sütununa işlenir. İşgücü gereksinimi ise bir sonraki sütunda belirtilmiştir. Bu gereksinim paralel hücrelerdeki iş gücü gereksinimini yansıtmaktadır, çünkü diğer hücrelerde işgücü miktarı gereksinimi ürünlere bağlı değildir. İşgücü gereksinimine bağlı olarak da işgücü gereksinimi grubu ortaya çıkar. İşgücü ihtiyacı hiyerarşik olarak şu şekilde sınıflandırılır: 3 veya 3’ten küçük olan işler “düşük”, 5 veya 5’ten küçük olanlar “orta” ve son olarak da 8 veya 8’den küçük olan işler “yüksek” olarak

sınıflandırılırlar. Seçilen talep sütunu ise, eğer o iş seçildiyse ne kadarlık miktarının seçildiğini gösterir. Bu sütunun “Net ihtiyaç / Periyot” sütunu ile aynı değere sahip olduğuna dikkat edilmelidir. Burada en son hane olan “Hangi sırada atandı” sütununa değinmekte de fayda vardır. “Hangi sırada atandı” sütunu algoritma adımlarının uygulanması sırasında okuyucuya kolaylık sağlamak üzere eklenmiştir. Bu hanede işlerin hangi sırayla bir gruba atandığı, yani sisteme yüklendiği gösterilmektedir. Algoritma uygulaması bu şekilde daha rahat takip edilebilir.

İlk seçilen ürün olan “neptune”ün ilgili gruba atanmasından sonra KTS=1 olan diğer işlerin seçilmesine devam edilir. Burada 10’luk partiye sahip “power” işi seçilir. İlgili tüm sütunlar doldurulur. KTS=1 olan tüm işler tüketildiğinde toplam yüklemenin %86’ya ulaştığı gözlenir (Tablo 4.14). Hedef yükleme değeri olan %150’ye ulaşamadığından, ROT değeri en küçük olandan başlamak üzere KTS>1 olan işler seçilmeye başlanır. Bu şekilde tüm işler seçildikten sonra %150 yükleme değerine ulaşıldığı noktada durulur. Tüm talep seçilebilmiştir (Tablo 4.15).

Burada önemli bir nokta, grup 2’nin üçüncü satırında bulunan serena siparişi ile ilgilidir. Bu siparişin net ihtiyaç değeri, en düşük parti miktarı değerinden ufaktır. Ancak yine de bu şekilde sisteme alınmıştır. Bunun nedeni ise, yine grup 2’nin son satırında bulunan başka bir serena siparişinin bulunması ve bu sipariş ile önceki siparişin birleştirilmesi ile en düşük parti miktarı kısıtının aşıldığının görülmesidir. Yani pratik bir yaklaşımla, 2 ürün fazla üretmek yerine bu şekilde bir birleştirmeye gidilmiştir.

Tablo 4.15 : Tüm Talebin Gruplara Atanması (S.1)

TOPLAM YÜKLEME		227	Kapasiteye oranı		151%							
Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Gereksinimi Grubu	Seçilen talep	HANGİ SİRADA ALINDI
neptune	8	1	8	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	8	1
power	10	1	10	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	10	2
mistral	30	1	30	2	0,07	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	30	3
patir	46	1	46	5	0,11	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	46	4
galante	20	1	20	3	0,15	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	20	5
serena	15	1	15	8	0,53	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	15	6
omega	42	2	21	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	2	Düşük	21	7
galante	20	2	10	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	10	8
serena	5	2	3	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	5	Orta	3	9
idea	46	2	23	2	0,09	Seçildi	Grup 2	PH 1	8	Yüksek	23	10
power	40	2	20	10	0,50	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	20	11
serena	62	3	21	15	0,73	Seçildi	Grup 2	PH 1	5	Orta	21	12

Aşağıda verilen Tablo 4.16’te işler ve atandıkları gruplar tekrar düzenlenerek özetlenmiştir.

Tablo 4.16 : Sıralanmak Üzere İşlerin Yeniden Düzenlenmesi (S.1)

Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Gereksinimi	Seçilen talep	HANGİ SİRADA
patir	46	1	46	5	0,11	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	46	4
serena	15	1	15	8	0,53	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	15	6
mistral	30	1	30	2	0,07	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	30	3
neptune	8	1	8	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	8	1
power	10	1	10	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	10	2
galante	20	1	20	3	0,15	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	20	5
omega	42	2	21	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	2	Düşük	21	7
serena	5	2	3	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	5	Orta	3	9
serena	62	3	21	15	0,73	Seçildi	Grup 2	PH 1	5	Orta	21	12
idea	46	2	23	2	0,09	Seçildi	Grup 2	PH 1	8	Yüksek	23	10
galante	20	2	10	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	10	8
power	40	2	20	10	0,50	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	20	11

Bu tabloda, işler sırasıyla şu 3 sıralama kriterine göre sıralanmıştır: gruba göre, paralel hücreye göre, işgücü gereksinimine göre. Bunlardan grup 1'e ait olan işlerin belli olması için "hangi grup ?" sütununda grup 1 değerleri koyu renge boyanmıştır. Paralel hücreler arasında da farkın görülebilmesi için, şekilsel olarak hücreler içinde paralel hücreler sağ ve sola ayrı ayrı yaslandırılmıştır. Aynı şekilde işgücü gereksinim gruplarının farklı olduğunun ortaya konabilmesi için işgücü gereksinim grubu hücrelerinde farklı şekilsel gösterimler yapılmıştır.

Bu noktadan sonra işlerin sıralanmasına geçilebilecektir. Şöyle ki siparişler, algoritmanın sıralama kısmında belirtilen kurallara göre sıralanır. Bununla beraber, parti miktarlarını düzgün dağıtacak şekilde partiler bölünür. Örneğin, patir ürünü için üretilmesi gereken parti miktarı 46'dır. Algoritmada belirtildiği şekilde düzgünleştirilerek bu ürün için partiler 10-9-9-9-9 olarak bölünür. Ardından algoritma adımları uygulanarak; herhangi bir paralel hücre için düşük işgören gereksinimi durumunda diğer paralel hücre için yüksek, orta için orta ve yüksek için düşük iş seçilerek, grup 1 ve 2 için ayrı ayrı sıra oluşturulur. Bu yapılırken, sıralı listenin bir satırında, örneğin PH 1'de işlenen bir ürün varsa varsa, takip eden sütununda PH 2 ürünü olmasına dikkat edilir. Her iki grup için de bu sıralama uygulanır. Tablo 4.17 bu sıralamaları göstermektedir.

Tablo 4.17 : Grup 1 ve 2'in Sıralama Sezgiseli ile Sıralanmış Listeleri (S.1)

Grup 1 Sırası	Ürün	Parti Miktarı	Grup 2 Sırası	Ürün	Parti Miktarı
1	patir	10	1	omega	7
2	neptune	8	2	idea	8
3	patir	9	3	omega	7
4	power	10	4	idea	8
5	patir	9	5	omega	7
6	galante	10	6	idea	7
7	patir	9	7	serena	8

8	galante	10	8	galante	10
9	patir	9	9	serena	8
10	mistral	10	10	power	10
11	serena	8	11	serena	8
12	mistral	10	12	power	10
13	serena	7			
14	mistral	10			

Nihai sıralama ise, grup 1 için elde edilen sıralamanın arkasına grup 2 için elde edilen sıranın eklenmesiyle bulunur. Aşağıdaki Tablo 4.18 bu sıralamayı göstermektedir.

Tablo 4.18 : Sıralama Sezgiseli ile Elde Edilen Nihai Sıra (S.1)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	patir	10
2	neptune	8
3	patir	9
4	power	10
5	patir	9
6	galante	10
7	patir	9
8	galante	10
9	patir	9
10	mistral	10
11	serena	8
12	mistral	10
13	serena	7
14	mistral	10
15	omega	7
16	idea	8
17	omega	7
18	idea	8
19	omega	7
20	idea	7
21	serena	8
22	galante	10
23	serena	8
24	power	10
25	serena	8
26	power	10

4.5.1.2 Grupların Ayrı Ayrı Optimizasyonu

Bir önceki alt bölümde Senaryo 1 için önce iş yüklemesi yapılmış ardından da yine sezgisel yaklaşımla gruplar kendi içlerinde sıralanmıştır. Ardından bu iki grubun sıralaması birleştirilerek nihai sıra oluşturulmuştur.

Bu bölümde, iş yükleme ile oluşturulan grup 1 ve 2 sezgisel yerine önerilen iş sıralama modeli ile sıralanacak ve optimize edilecektir (Tablo 4.19). Grup 1 ve 2'nin kendi içinde optimize edilmesinden sonra bu iki sıra sezgisel yöntemde olduğu gibi birleştirilerek nihai sıra elde edilecektir (Tablo 4.20).

Tablo 4.19 : Grup 1 ve 2'nin Optimizasyon Modeli ile Sıralanmış Listeleri (S.1)

Grup 1 Sırası	Ürün	Parti Miktarı	Grup 2 Sırası	Ürün	Parti Miktarı
1	neptune	8	1	serena	5
2	mistral	10	2	omega	6
3	mistral	10	3	omega	5
4	mistral	10	4	omega	10
5	patir	10	5	galante	5
6	serena	5	6	galante	5
7	patir	10	7	power	10
8	patir	10	8	power	10
9	patir	6	9	serena	10
10	galante	10	10	serena	9
11	galante	10	11	idea	5
12	patir	10	12	idea	10
13	power	10	13	idea	8
14	serena	10			

Tablo 4.20 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar ayrı ayrı) (S.1)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	neptune	8
2	mistral	10
3	mistral	10
4	mistral	10
5	patir	10
6	serena	5
7	patir	10
8	patir	10
9	patir	6
10	galante	10
11	galante	10
12	patir	10
13	power	10
14	serena	10
15	serena	5
16	omega	6
17	omega	5
18	omega	10
19	galante	5
20	galante	5
21	power	10
22	power	10
23	serena	10

24	serena	9
25	idea	5
26	idea	10
27	idea	8

4.5.1.3 Grupların Beraberce Optimizasyonu

Grupların ayrı ayrı optimize edilip, daha sonra birleştirilmesi yerine grupların bir araya getirilerek optimize edilmeleri çok daha etkili bir yaklaşım olacaktır. Ancak bu yaklaşımda da çözüm sürelerinin uzunluğu en büyük sorunu çıkarmaktadır. Zira matematiksel modelde, karmaşıklık arttıkça çözüm süreleri de artmaktadır. Bu nedenle grup 1 ve 2'nin sırasının ayrı ayrı optimize edilmesi yerine grup 1 ve 2'nin beraberce modele katılması çözüm süresini pratik olarak uygulanamaz noktalara getirebilir. Ancak burada bu konuyu keserek, ulaşılan sıralamayı vermek daha uygun olacaktır (Tablo 4.21).

Tablo 4.21 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar beraberce)
(S.1)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	neptune	8
2	patir	10
3	patir	10
4	patir	6
5	patir	5
6	power	10
7	power	10
8	power	10
9	galante	10
10	galante	10
11	galante	10
12	idea	6
13	idea	10
14	omega	10
15	omega	5
16	omega	6
17	serena	10
18	patir	5
19	mistral	10
20	mistral	10
21	mistral	10
22	idea	7
23	patir	10
24	serena	10
25	serena	10
26	serena	9

4.5.1.4 Senaryo 1 için Performans Karşılaştırması

Bu bölümde uygulanan üç yöntemin performansı karşılaştırılacaktır:

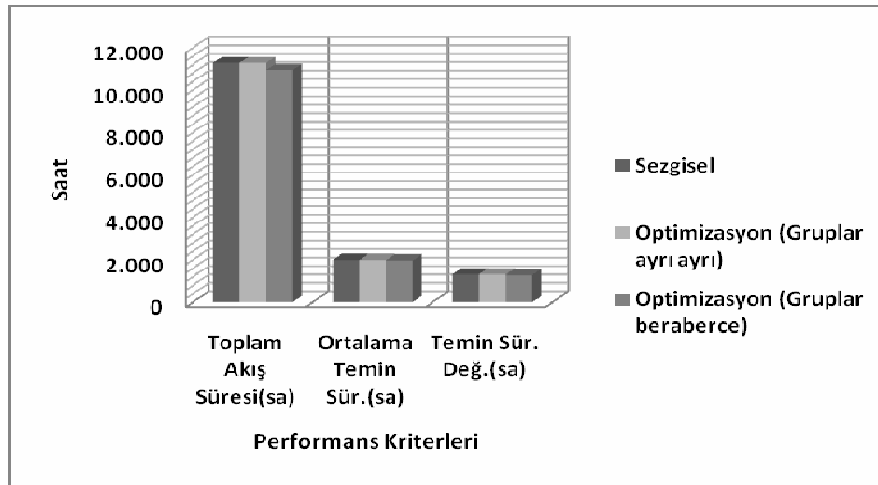
- Sezgisel
- Optimizasyon (gruplar ayrı ayrı)
- Optimizasyon (gruplar beraberce)

Bu yöntemlerle elde edilen sıralama sonuçları simülasyon modelinde deterministik ve değişken işlem süreleri olmak üzere iki alt senaryoda koşturulacaktır. Yöntemlerin performansları; toplam akış süresi, ortalama temin süresi ve temin süresi değişkenliği olmak üzere üç kriter üzerinden değerlendirilecektir.

Sabit işlem sürelerine ait performans değerleri Tablo 4.22 ve Şekil 4.12’de gösterilmektedir. Değişken işlem süreleri ile ilgili performans karşılaştırması ise Tablo 4.23 ve Şekil 4.13’te özetlenmiştir.

Tablo 4.22 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.1)

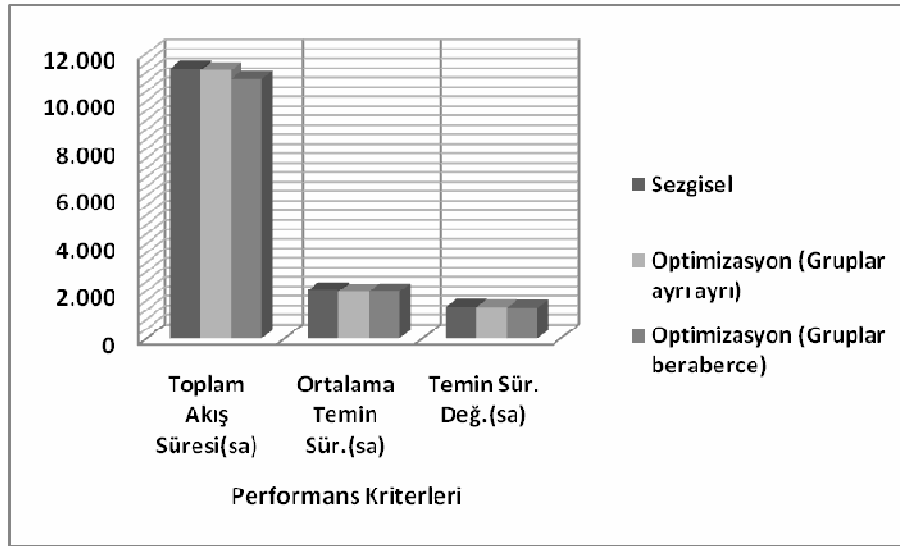
	Toplam Akış Süresi(sa)	Ortalama Temin Sür.(sa)	Temin Sür. Değ.(sa)
Sezgisel	11.274	1.993	1.319
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	11.274	1.993	1.319
Optimizasyon (Gruplar beraberce)	10.949	1.967	1.281



Şekil 4.12 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.1)

Tablo 4.23 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.1)

	Toplam Akış Süresi(sa)	Ortalama Temin Sür.(sa)	Temin Sür. Değ.(sa)
Sezgisel	11.368	2.019	1.335
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	11.291	1.961	1.315
Optimizasyon (Gruplar beraberce)	10.920	1.972	1.293

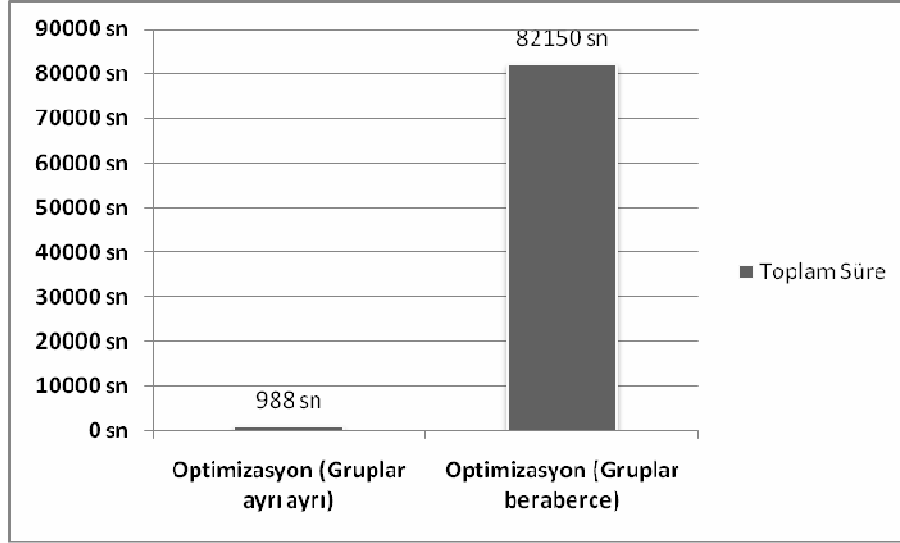
**Şekil 4.13 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.1)**

Sonuç olarak görülmektedir ki, sezgisel yöntem grupların ayrı ayrı optimize edildiği yöntemle yaklaşık olarak aynı sonucu vermektedir. Ancak her ikisi de, grupların beraberce optimize edildiği modele göre daha kötü sonuçlar vermektedir. Yine de, arada bulunan bu fark çok belirleyici değildir.

Grupların beraberce optimizasyonunda modelin karmaşıklığı yaklaşık 2 katına çıktığı halde çözüm süresi 5 katından fazla olmaktadır (Tablo 4.24 ve Şekil 4.14'de). Bu sonuç, daha karmaşık problemler için durumun önemini ortaya koymaktadır.

Tablo 4.24 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.1)

	Grup 1	Grup 2	Grup 1 - 2	TOPLAM
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	107 sn	881 sn		988 sn
Optimizasyon (Gruplar beraberce)			82150 sn	82150 sn



Şekil 4.14 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.1)

4.5.2 Senaryo 2

İkinci senaryo için de benzer şekilde iş yükleme ve sıralama modelinin uygulamak üzere rastgele herhangi bir talep seçilmiştir. Bu veri seti önceki senaryoda incelendiği gibi sezgisel yöntem, optimizasyon (ayrı ayrı) ve optimizasyon (beraberce) alt senaryoları bazında incelenmiştir.

4.5.2.1 Sezgisel Yöntem

Sezgisel yöntemde öncelikle KTS=1 olan işler seçilmiştir (Tablo 4.25). Kapasitenin %100'üne erişildiği görüldüğünden KTS değeri 1'den büyük olan işlerin seçilmesine geçilmelidir.

KTS değeri 1'den büyük olan işler iş yüklemesine katılmış ve %150 kapasite değerine ulaşılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta KTS=2 değerine sahip galante ürünü için ve KTS=3 olan omega ürünü için seçilen talep minimum parti büyüklüğünden küçük olduğundan bu ürünlerin seçilen parti miktarları 5'e yükseltilmiştir. Bu durum Tablo 4.26'da gösterilmiştir (yükseltile seçilmiş talepler koyu renkle gösterilmiştir).

Tablo 4.25 : KTS=1 Olan İşlerin Grup 1'e Atanması (S.2)

TOPLAM YÜKLEME		152	Kapasiteye oranı		101%							
Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Gereksinimi	Seçilen talep	HANGİ SİRADA ALINDI
galante	16	1	16	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	16	1
mistral	10	1	10	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	10	2
power	10	1	10	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	10	3
neptune	13	1	13	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	13	4
bolero	16	1	16	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	2	Düşük	16	5
omega	14	1	14	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	2	Düşük	14	6
idea	15	1	15	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	8	Yüksek	15	7
patir	32	1	32	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	32	8
serena	26	1	26	2	0,08	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	26	9
bolero	12	2	6	0	0,00							
mistral	13	2	7	0	0,00							
galante	6	2	3	0	0,00							
power	10	2	5	0	0,00							
neptune	12	2	6	0	0,00							
patir	46	2	23	0	0,00							
serena	32	2	16	4	0,25							
omega	9	3	3	0	0,00							
idea	14	3	5	0	0,00							

Tablo 4.26 ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da KTS=3 değerine sahip idea ürünün önceden belirlenen kapasite oranına ulaşılması nedeniyle iş yükleme sürecine dahil edilmemesidir.

Tablo 4.26 : Tüm Talebin Gruplara Atanması (S.2)

TOPLAM YÜKLEME		225	Kapasiteye oranı		150%							
Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Gereksinimi	Seçilen talep	HANGİ SİRADA ALINDI
galante	16	1	16	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	16	1
mistral	10	1	10	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	10	2
power	10	1	10	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	10	3
neptune	13	1	13	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	13	4
bolero	16	1	16	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	2	Düşük	16	5
omega	14	1	14	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	2	Düşük	14	6
idea	15	1	15	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	8	Yüksek	15	7
patir	32	1	32	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	32	8
serena	26	1	26	2	0,08	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	26	9
bolero	12	2	6	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	2	Düşük	6	10
mistral	13	2	7	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	3	Düşük	7	11
galante	6	2	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	5	12
power	10	2	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	5	13
neptune	12	2	6	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	6	14
patir	46	2	23	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	5	Orta	23	15
serena	32	2	16	4	0,25	Seçildi	Grup 2	PH 1	5	Orta	16	18
omega	9	3	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	2	Düşük	5	16
idea	14	3	5	0	0,00			PH 1	8	Yüksek		17

İşleri gruplar içinde sıralamak üzere bir önceki tabloyu bir kez daha düzenlemekte fayda vardır. Bu sıralamada dikkate alınan ilk değer gruplardır. İkinci olarak paralel hücrelere göre işler tekrar sıralanmıştır. Ardından işgücü gereksinimine göre işler üzerinde bir sıralama daha yapılmaktadır. Bu işlerin hangi sırada seçildiği ise en son sütunda ayrıca gösterilmiştir. Görsel takibi kolaylaştırmak adına paralel hücreler ve işgücü gereksinimi sütunlarında farklı değerler için farklı hizalama şekilleri tercih edilmesi uygun görülmüştür.

Tablo 4.27 : Sıralanmak Üzere İşlerin Yeniden Düzenlenmesi (S.2)

Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Gereksinimi Grubu	Seçilen talep	HANGİ SİRADA
omega	14	1	14	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	2	Düşük	14	6
patir	32	1	32	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	32	8
serena	26	1	26	2	0,08	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	26	9
idea	15	1	15	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	8	Yüksek	15	7
mistral	10	1	10	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	10	2
bolero	16	1	16	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	2	Düşük	16	5
galante	16	1	16	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	16	1
power	10	1	10	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	10	3
neptune	13	1	13	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	13	4
omega	9	3	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	2	Düşük	5	16
patir	46	2	23	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	5	Orta	23	15
serena	32	2	16	4	0,25	Seçildi	Grup 2	PH 1	5	Orta	16	18
bolero	12	2	6	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	2	Düşük	6	10
mistral	13	2	7	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	3	Düşük	7	11
galante	6	2	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	5	12
power	10	2	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	5	13
neptune	12	2	6	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	6	14

Buna göre Tablo 4.27’de işler gruplara, paralel hücelere ve işgücü gereksinimlerine göre sıralanarak yeniden düzenlenmiştir.

Tablo 4.28’de sıralama sezgiselinin uygulanmasıyla elde edilen Grup 1 ve 2 sıralamaları görülmektedir.

Tablo 4.28 : Grup 1 ve 2’nin Sıralama Sezgiseli ile Sıralanmış Listeleri (S.2)

Grup 1 Sırası	Ürün	Parti Miktarı	Grup 2 Sırası	Ürün	Parti Miktarı
1	omega	7	1	omega	5
2	galante	8	2	galante	5
3	omega	7	3	patir	8
4	galante	8	4	power	5
5	patir	8	5	patir	8
6	power	10	6	neptune	6
7	patir	8	7	patir	7
8	neptune	7	8	bolero	6
9	patir	8	9	serena	8
10	neptune	6	10	mistral	7
11	patir	8	11	serena	8
12	serena	9			
13	mistral	10			
14	serena	9			
15	bolero	8			
16	serena	8			
17	bolero	8			
18	idea	8			
19	idea	7			

Nihai sıralama ise, grup 1 için elde edilen sıralamanın arkasına grup 2 için elde edilen sıranın eklenmesiyle bulunur. Aşağıdaki Tablo 4.29 bu sıralamayı göstermektedir.

Tablo 4.29 : Sıralama Sezgiseli ile Elde Edilen Nihai Sıra (S.2)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	omega	7
2	galante	8
3	omega	7
4	galante	8
5	patir	8
6	power	10
7	patir	8
8	neptune	7
9	patir	8
10	neptune	6
11	patir	8
12	serena	9
13	mistral	10
14	serena	9
15	bolero	8
16	serena	8
17	bolero	8
18	idea	8
19	idea	7
20	omega	5
21	galante	5
22	patir	8
23	power	5
24	patir	8
25	neptune	6
26	patir	7
27	bolero	6
28	serena	8
29	mistral	7
30	serena	8

4.5.2.2 Grupların Ayrı Ayrı Optimizasyonu

Sıralama sezgiseli dışında gruplar optimizasyon yöntemi ile de sıralanmıştır. Tablo 4.30’da bu sıralamalar sunulmaktadır.

Tablo 4.30 : Grup 1 ve 2’nin Optimizasyon Modeli ile Sıralanmış Listeleri (S.2)

Grup 1 Sırası	Ürün	Parti Miktarı	Grup 2 Sırası	Ürün	Parti Miktarı
1	neptune	5	1	neptune	6
2	patir	7	2	patir	5
3	patir	5	3	patir	5
4	patir	5	4	patir	5
5	omega	5	5	serena	5
6	neptune	8	6	galante	5

7	serena	5	7	power	5
8	power	10	8	mistral	7
9	galante	6	9	omega	5
10	galante	10	10	serena	6
11	patir	10	11	serena	5
12	idea	5	12	patir	8
13	idea	5	13	bolero	6
14	idea	5			
15	mistral	10			
16	patir	5			
17	serena	6			
18	omega	9			
19	serena	5			
20	bolero	7			
21	bolero	9			
22	serena	10			

Benzer şekilde, bu iki grup sırasının birbiri ardına eklenmesiyle nihai sıralama bulunmaktadır (Tablo 4.31).

Tablo 4.31 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar ayrı ayrı) (S.2)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	neptune	5
2	patir	7
3	patir	5
4	patir	5
5	omega	5
6	neptune	8
7	serena	5
8	power	10
9	galante	6
10	galante	10
11	patir	10
12	idea	5
13	idea	5
14	idea	5
15	mistral	10
16	patir	5
17	serena	6
18	omega	9
19	serena	5
20	bolero	7
21	bolero	9
22	serena	10
23	neptune	6
24	patir	5
25	patir	5
26	patir	5
27	serena	5

28	galante	5
29	power	5
30	mistral	7
31	omega	5
32	serena	6
33	serena	5
34	patir	8
35	bolero	6

4.5.2.3 Grupların Beraberce Optimizasyonu

Son olarak da grupların beraberce optimizasyonu yapılmaktadır. Bu alt senaryoda tüm siparişler toplanmakta ve ortak şekilde sıralanmaktadır. Elde edilen nihai sıralama 4.32’de sunulmuştur.

Tablo 4.32 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar beraberce)
(S.2)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	neptune	5
2	patir	5
3	patir	10
4	patir	10
5	serena	5
6	power	5
7	power	10
8	galante	5
9	galante	7
10	galante	9
11	neptune	5
12	neptune	9
13	idea	10
14	omega	10
15	omega	9
16	serena	10
17	bolero	7
18	bolero	5
19	bolero	5
20	bolero	5
21	patir	10
22	idea	5
23	serena	7
24	serena	10
25	serena	10
26	mistral	5
27	mistral	5
28	mistral	7
29	patir	10
30	patir	10

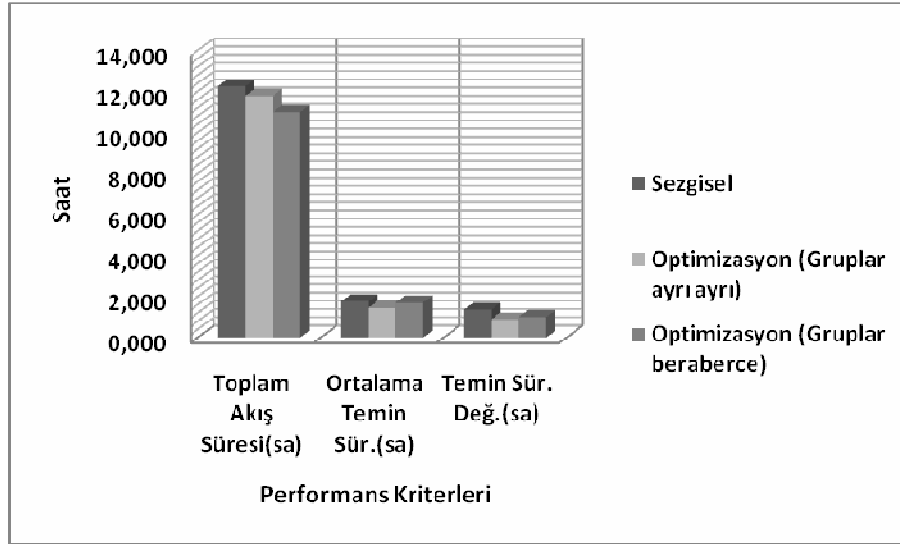
4.5.2.4 Senaryo 2 için Performans Karşılaştırması

Sonuçlara bakıldığında görülmektedir ki, sezgisel yöntem grupların ayrı ayrı optimizasyonundan daha kötü sonuç vermekle birlikte (0,5 saat kadar) her iki sıralama da grupların beraberce optimizasyonundan daha kötü sonuç vermiştir. Ancak sezgisel yöntemin çözüm süresinin kısıtlılığı düşünüldüğünde bu sonuçlar kabul edilir sayılabilir. Son bir nokta da temin süresi değişkenliği ilgilidir.

Optimizasyon sonuçlarından görüleceği gibi sezgiselin ulaştığı temin süresi değişkenliği değeri diğerlerine göre oldukça yüksek sayılabilir (Tablo 4.33 ve Şekil 4.15).

Tablo 4.33 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.2)

	Toplam Akış Süresi(sa)	Ortalama Temin Sür.(sa)	Temin Sür. Değ.(sa)
Sezgisel	12,263	1,769	1,371
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	11,800	1,460	0,896
Optimizasyon (Gruplar beraberce)	11,000	1,709	1,011

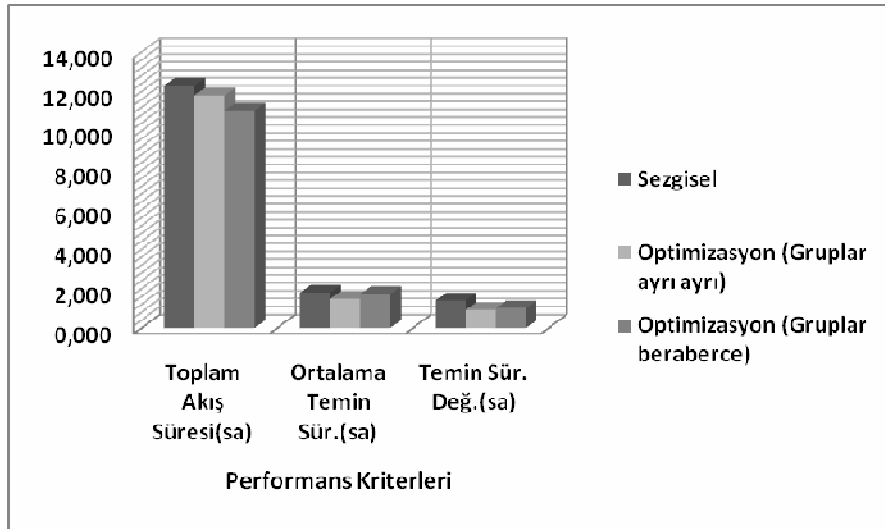


Şekil 4.15 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.2)

Tablo 4.34 ve Şekil 4.16’da değişken sürelerle ilgil sonuçlar verimektedir. Görülmektedir ki, bu sonuçlar sabit işlem süreleriyle elde edilen sonuçlar ile aynı yöndedir.

Tablo 4.34 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.2)

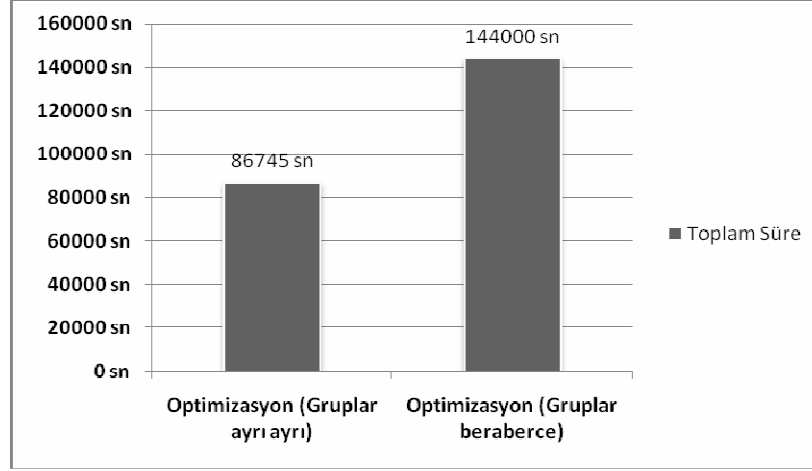
	Toplam Akış Süresi(sa)	Ortalama Temin Sür.(sa)	Temin Sür. Değ.(sa)
Sezgisel	12,294	1,782	1,386
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	11,792	1,461	0,910
Optimizasyon (Gruplar beraberce)	11,025	1,721	1,001

**Şekil 4.16 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.2)**

Çözüm sürelerine bakıldığında ise grupların beraberce optimize edildiği senaryonun oldukça uzun sürede çözüldüğü görülmektedir. Bu bağlamda, sezgiselin kısa sürede çözüme ulaşma yetisinin önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır (Tablo 4.35 ve Şekil 4.17).

Tablo 4.35 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.2)

	Grup 1	Grup 2	Grup 1 - 2	TOPLAM
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	86400 sn	345 sn		86745 sn
Optimizasyon (Gruplar beraberce)			144000 sn	144000 sn



Şekil 4.17 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.2)

4.5.3 Senaryo 3

Yukarıda verilen önceki senaryolar gibi, senaryo 3 de benzer başlıklar altında incelenmiştir.

4.5.3.1 Sezgisel Yöntem

Sezgisel yöntem kullanılarak önce iş yükleme yapılmıştır. grup 1 tipi siparişler kapasitenin %150'sini doldurmadığından (Tablo 4.36) grup 2 işlerine geçilir.

Tablo 4.36 : KTS=1 Olan İşlerin Grup 1'e Atanması (S.3)

TOPLAM YÜKLEME		112	Kapasiteye oranı		75%							
Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Gereksinimi Grubu	Seçilen talep	HANGİ SİRADA ALINDI
power	15	1	15	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	15	1
bolero	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	2	Düşük	5	2
omega	8	1	8	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	2	Düşük	8	3
idea	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	8	Yüksek	5	4
serena	44	1	44	5	0,11	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	44	5
mistral	35	1	35	4	0,11	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	35	6
galante	6	2	3	0	0,00							
mistral	15	2	8	0	0,00							
power	11	2	6	0	0,00							
neptune	17	2	9	0	0,00							
serena	66	2	33	0	0,00							
idea	28	2	14	0	0,00							
mistral	57	3	19	0	0,00							
power	18	3	6	0	0,00							
idea	15	3	5	0	0,00							
galante	6	3	2	0	0,00							
bolero	6	3	2	0	0,00							
serena	7	3	2	0	0,00							

Grup 2 işlerinin de katılmasıyla beraber %150 kapasite değerine ulaşılmıştır (Tablo 4.37).

Tablo 4.37 : Tüm Talebin Gruplara Atanması (S.3)

TOPLAM YÜKLEME		224	Kapasiteye oranı		149%							
Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Gereksinimi Grubu	Seçilen talep	HANGİ SİRADA ALINDI
power	15	1	15	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	15	1
bolero	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	2	Düşük	5	2
omega	8	1	8	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	2	Düşük	8	3
idea	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	8	Yüksek	5	4
serena	44	1	44	5	0,11	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	44	5
mistral	35	1	35	4	0,11	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	35	6
galante	6	2	6	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	6	7 ve 16
mistral	15	2	15	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	3	Düşük	15	8 ve 17
power	11	2	6	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	6	9
neptune	17	2	9	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	9	10
serena	66	2	33	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	5	Orta	33	11
idea	28	2	14	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	8	Yüksek	14	12
mistral	57	3	19	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	3	Düşük	19	13
power	18	3	6	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	6	14
idea	15	3	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	8	Yüksek	5	15
galante	6	3	MİN PARTİ !	YOK	YOK						YOK	
bolero	6	3	MİN PARTİ !	YOK	YOK						YOK	
serena	7	3	MİN PARTİ !	YOK	YOK						YOK	

Burada dikkat edilmesi gereken nokta şudur ki, en son satırdaki 3 işin minimum parti miktarını sağlayamayacak olması (ve KTS değerlerinin yüksekliği) nedeniyle bu işler sisteme yüklenmemiştir. Bunun yerine, %150'yi doldurmak üzere grup 2'nin en yukarisından başlanarak daha önce seçilmiş olan işlerin tamamı iş yüküne dahil edilmişlerdir. Bu siparişler galante ve mistral ürünleridir.Tablo 4.38'da gruplar kendi içlerinde bir kez daha düzenlenmiştir.

Tablo 4.38 : Sıralanmak Üzere İşlerin Yeniden Düzenlenmesi (S.3)

Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Gereksinimi Grubu	Seçilen talep	HANGİ SİRADA ALINDI
omega	8	1	8	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	2	Düşük	8	3
serena	44	1	44	5	0,11	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	44	5
idea	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	8	Yüksek	5	4
bolero	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	2	Düşük	5	2
mistral	35	1	35	4	0,11	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	35	6
power	15	1	15	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	15	1
serena	66	2	33	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	5	Orta	33	11
idea	28	2	14	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	8	Yüksek	14	12
idea	15	3	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	8	Yüksek	5	15
mistral	15	2	15	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	3	Düşük	15	8 ve 17
mistral	57	3	19	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	3	Düşük	19	13
galante	6	2	6	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	6	7 ve 16
power	11	2	6	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	6	9
neptune	17	2	9	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	9	10
power	18	3	6	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	6	14

Tablo 4.39'da grupların kendi içlerinde sıralamaları görülmektedir.Bir sonraki aşamada ise iki grubun birleştirilmesiyle elde edilen nihai sıra .oluşturulacaktır.

Tablo 4.39 : Grup 1 ve 2'nin Sıralama Sezgiseli ile Sıralanmış Listeleri (S.3)

Grup 1 Sırası	Ürün	Parti Miktarı	Grup 2 Sırası	Ürün	Parti Miktarı
1	omega	8	1	serena	9
2	power	8	2	galante	6
3	serena	9	3	serena	8
4	power	7	4	power	6

5	serena	9	5	serena	8
6	bolero	5	6	neptune	9
7	serena	9	7	serena	8
8	mistral	9	8	power	6
9	serena	9	9	idea	7
10	mistral	9	10	mistral	8
11	serena	8	11	idea	7
12	mistral	9	12	mistral	7
13	idea	5	13	idea	5
14	mistral	8	14	mistral	10
			15	mistral	9

Nihai sıralama ise, grup 1 için elde edilen sıralamanın arkasına grup 2 için elde edilen sıranın eklenmesiyle bulunur. Aşağıdaki Tablo 4.40 bu sıralamayı göstermektedir.

Tablo 4.40 : Sıralama Sezgiseli ile Elde Edilen Nihai Sıra (S.3)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	omega	8
2	power	8
3	serena	9
4	power	7
5	serena	9
6	bolero	5
7	serena	9
8	mistral	9
9	serena	9
10	mistral	9
11	serena	8
12	mistral	9
13	idea	5
14	mistral	8
15	serena	9
16	galante	6
17	serena	8
18	power	6
19	serena	8
20	neptune	9
21	serena	8
22	power	6
23	idea	7
24	mistral	8
25	idea	7
26	mistral	7
27	idea	5
28	mistral	10
29	mistral	9

4.5.3.2 Grupların Ayrı Ayrı Optimizasyonu

Bu bölümde ise bir önceki başlıkta ortaya çıkan grupların kendi içlerinde optimizasyon modeli kullanılarak sıralaması açıklanmaktadır. Tablo 4.41 grup 1 ve grup 2'nin sıralamasını gösterirken Tablo 4.42 ise nihai sırayı göstermektedir.

Tablo 4.41 : Grup 1 ve 2'nin Optimizasyon Modeli ile Sıralanmış Listeleri (S.3)

Grup 1 Sırası	Ürün	Parti Miktarı	Grup 2 Sırası	Ürün	Parti Miktarı
1	bolero	5	1	power	5
2	serena	5	2	mistral	5
3	serena	5	3	mistral	5
4	serena	5	4	mistral	5
5	serena	5	5	mistral	9
6	mistral	5	6	mistral	5
7	mistral	10	7	idea	10
8	mistral	10	8	idea	5
9	mistral	10	9	serena	5
10	serena	5	10	serena	5
11	idea	5	11	idea	9
12	omega	8	12	serena	7
13	serena	9	13	power	7
14	power	5	14	galante	6
15	power	10	15	serena	6
16	serena	5	16	neptune	9
17	serena	5	17	serena	10

Tablo 4.42 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar ayrı ayrı) (S.3)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	power	5
2	mistral	5
3	mistral	5
4	mistral	5
5	mistral	9
6	mistral	5
7	idea	10
8	idea	5
9	serena	5
10	serena	5
11	idea	9
12	serena	7
13	power	7
14	galante	6
15	serena	6
16	neptune	9
17	serena	10
18	power	5
19	mistral	5

20	mistral	5
21	mistral	5
22	mistral	9
23	mistral	5
24	idea	10
25	idea	5
26	serena	5
27	serena	5
28	idea	9
29	serena	7
30	power	7
31	galante	6
32	serena	6
33	neptune	9
34	serena	10

4.5.3.3 Grupların Beraberce Optimizasyonu

Bu başlık altında iki gruba ait siparişlerin optimizasyon modeli ile beraberce sıralanması yer almaktadır. Aşağıda yer alan Tablo 4.43 nihai sırayı göstermektedir.

Tablo 4.43 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar beraberce)
(S.3)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	galante	6
2	serena	5
3	serena	5
4	serena	5
5	serena	5
6	power	7
7	power	10
8	power	10
9	idea	5
10	serena	10
11	neptune	9
12	omega	8
13	serena	5
14	idea	9
15	serena	10
16	mistral	10
17	mistral	10
18	mistral	10
19	mistral	10
20	mistral	9
21	mistral	10
22	mistral	10
23	serena	10
24	serena	10
25	serena	5

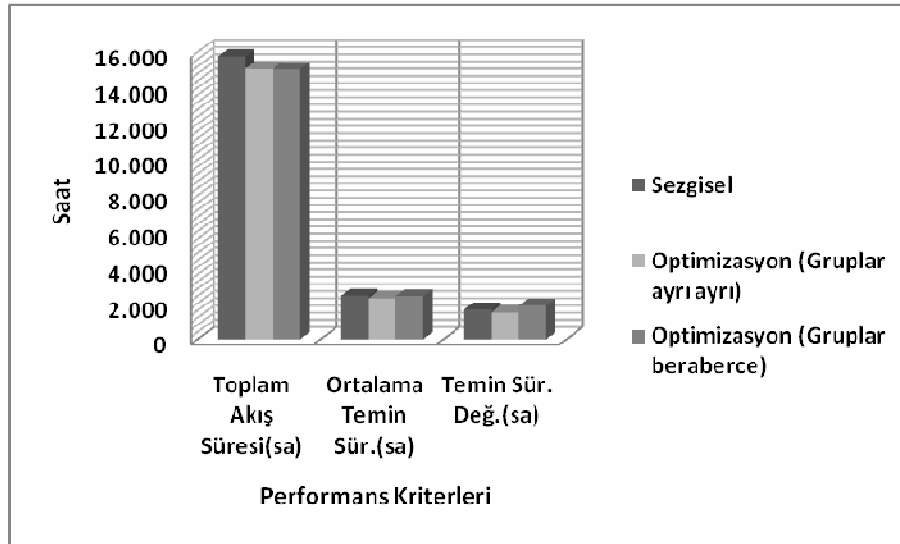
26	serena	7
27	idea	5
28	bolero	5
29	idea	5

4.5.3.4 Senaryo 3 için Performans Karşılaştırması

Yukarıda bahsedilen bu 3 yöntem karşılaştırıldığında, grupların ayrı ayrı optimizasyonunun grupların beraberce optimizasyonu ile çok yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak sezgisel yöntemin optimizasyon yöntemlerinden toplam akış süresi olarak daha kötü bir sonuç verdiği görülmektedir (Tablo 4.44 ve Tablo 4.45 ile Şekil 4.18 ve Şekil 4.19).

Tablo 4.44 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.3)

	Toplam Akış Süresi(sa)	Ortalama Temin Sür.(sa)	Temin Sür. Değ.(sa)
Sezgisel	15.761	2.427	1.669
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	15.081	2.286	1.500
Optimizasyon (Gruplar beraberce)	15.050	2.391	1.871

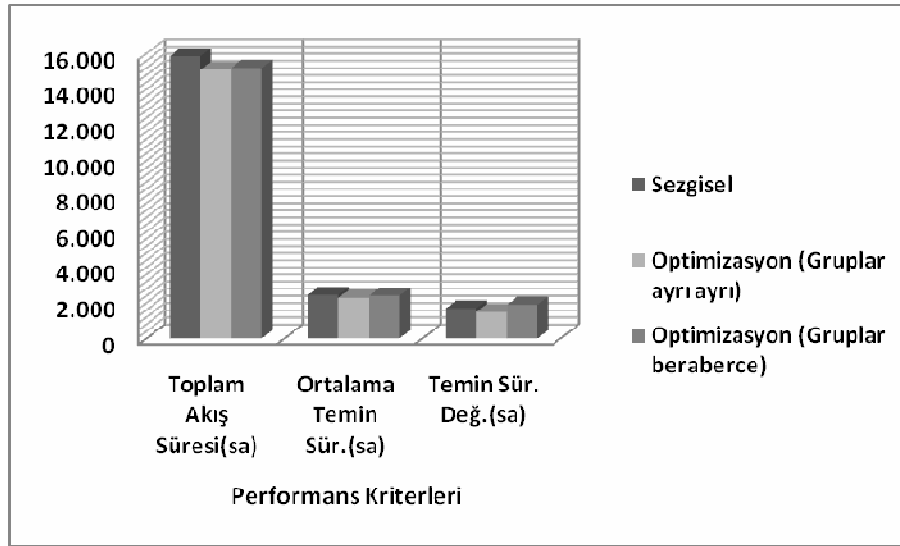


Şekil 4.18 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.3)

Değişken süreler için bulunan değerler de sabit süreler için bulunan değerlere benzerlik göstermektedir.

Tablo 4.45 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.3)

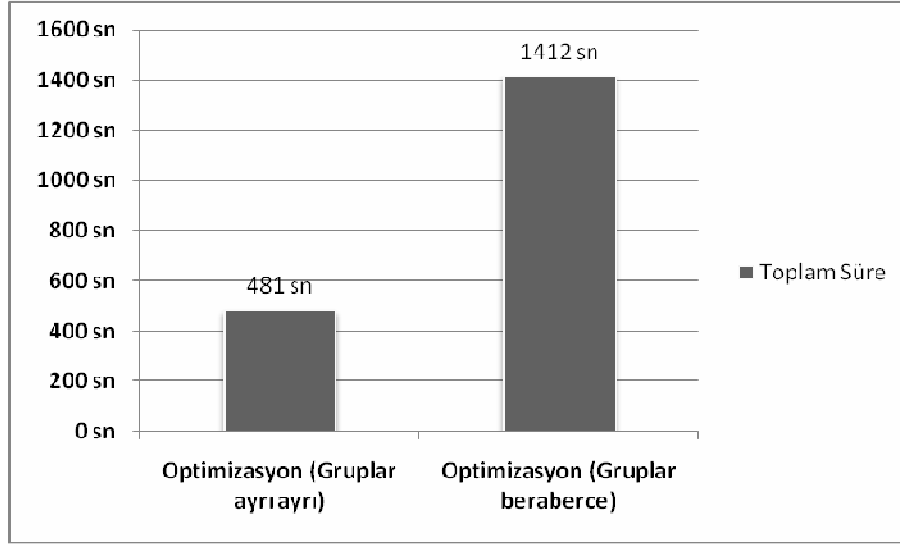
	Toplam Akış Süresi(sa)	Ortalama Temin Sür.(sa)	Temin Sür. Değ.(sa)
Sezgisel	15.832	2.437	1.676
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	15.079	2.269	1.476
Optimizasyon (Gruplar beraberce)	15.191	2.405	1.896

**Şekil 4.19 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.3)**

Çözüm sürelerinin karşılaştırmasına bakıldığında, grupların beraberce optimize edildiği senaryoda çözüm sürelerinin beklendiği gibi uzun olduğu görülmektedir. Ancak aradaki fark, bir önceki senaryoda olduğu gibi (S.2) çok fazla değildir (Tablo 4.46 ve Şekil 4.20).

Tablo 4.46 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.3)

	Grup 1	Grup 2	Grup 1 - 2	TOPLAM
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	69 sn	412 sn		481 sn
Optimizasyon (Gruplar beraberce)			1412 sn	1412 sn



Şekil 4.20 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.3)

4.5.4 Senaryo 4

4.5.4.1 Sezgisel Yöntem

Senaryo 4'ün talep karmasından iş yükünün oluşturulması sürecinde öncelikle KTS=1 olan işler seçilir (Tablo 4.47).

Tablo 4.47 : KTS=1 Olan İşlerin Grup 1'e Atanması (S.4)

TOPLAM YÜKLEME		155	Kapasiteye oranı		103%								
Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Grubu	Seçilen talep	HANGİ SIRADA	HANGİ ALINDI
galante	20	1	20	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	20	1	
power	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	5	2	
omega	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	2	Düşük	5	3	
idea	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	8	Yüksek	5	4	
mistral	47	1	47	4	0,09	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	47	5	
patir	40	1	40	5	0,13	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	40	6	
serena	25	1	25	4	0,16	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	25	7	
neptune	8	1	8	5	0,63	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	8	8	
patir	40	2	20	0	0,00								
galante	8	2	4	0	0,00								
mistral	62	2	31	0	0,00								
power	5	2	3	0	0,00								
neptune	5	2	3	0	0,00								
bolero	6	2	3	0	0,00								
serena	9	2	5	0	0,00								
omega	5	2	3	0	0,00								
idea	17	2	9	0	0,00								

Grup 1 işlerinin %103 seviyesinde olduğu görüldüğünden grup 2 işleri de iş yüküne dahil edilmeye başlanır ve %150 kapasite değerine ulaşıldığında iş yüklemesi durdurulur (Tablo 4.48). Dikkat edilmelidir ki, bu tabloda koyu renkle işaretlenmiş

olan işler en düşük parti miktarı kısıtından dolayı parti miktarı yükseltilmiş olan işlerdir.

Tablo 4.48 : Tüm Talebin Gruplara Atanması (S.4)

TOPLAM YÜKLEME		227	Kapasiteye oranı		151%								
Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Gereksinimi	Seçilen talep	HANGİ SİRADA	HANGİ ALINDI
galante	20	1	20	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	20	1	
power	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	5	2	
omega	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	2	Düşük	5	3	
idea	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	8	Yüksek	5	4	
mistral	47	1	47	4	0,09	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	47	5	
patir	40	1	40	5	0,13	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	40	6	
serena	25	1	25	4	0,16	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	25	7	
neptune	8	1	8	5	0,63	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	8	8	
patir	40	2	20	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	5	Orta	20	9	
galante	8	2	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	5	10	
mistral	62	2	31	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	3	Düşük	31	11	
power	5	2	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	5	12	
neptune	5	2	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	5	13	
bolero	6	2	6	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	2	Düşük	6	14	
serena	9	2	5	0	0,00			PH 1	5	Orta			
omega	5	2	3	0	0,00			PH 1	2	Düşük			
idea	17	2	9	0	0,00			PH 1	8	Yüksek			

Seçilen bu işler sıralama sezgiseli ile sıralanmak üzere Tablo 4.49’da tekrar düzenlenmiştir.

Tablo 4.49 : Sıralanmak Üzere İşlerin Yeniden Düzenlenmesi (S.4)

Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Gereksinimi	Seçilen talep	HANGİ SİRADA	HANGİ ALDIM
omega	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	2	Düşük	5	3	
patir	40	1	40	5	0,13	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	40	6	
serena	25	1	25	4	0,16	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	25	7	
idea	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	8	Yüksek	5	4	
mistral	47	1	47	4	0,09	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	47	5	
galante	20	1	20	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	20	1	
power	5	1	5	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	5	2	
neptune	8	1	8	5	0,63	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	8	8	
patir	40	2	20	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	5	Orta	20	9	
mistral	62	2	31	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	3	Düşük	31	11	
bolero	6	2	6	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	2	Düşük	6	14	
galante	8	2	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	5	10	
power	5	2	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	5	12	
neptune	5	2	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	5	13	

Sıralama sezgiseli ile elde edilen Grup 1 ve 2 sırası aşağıda yer alan Tablo 4.50’de verilmiştir.

Tablo 4.50 : Grup 1 ve 2’nin Sıralama Sezgiseli ile Sıralanmış Listeleri (S.4)

Grup 1 Sırası	Ürün	Parti Miktarı	Grup 2 Sırası	Ürün	Parti Miktarı
1	omega	5	1	patir	10
2	galante	10	2	mistral	8

3	patir	10	3	patir	10
4	galante	10	4	mistral	8
5	patir	10	5	mistral	8
6	power	5	6	mistral	7
7	patir	10	7	bolero	6
8	neptune	8	8	galante	5
9	patir	10	9	power	5
10	mistral	10	10	neptune	5
11	serena	9			
12	mistral	10			
13	serena	8			
14	mistral	9			
15	serena	8			
16	mistral	9			
17	idea	5			
18	mistral	9			

Nihai sıralama ise, grup 1 için elde edilen sıralamanın arkasına grup 2 için elde edilen sıranın eklenmesiyle bulunur (Tablo 4.51).

Tablo 4.51 : Sıralama Sezgiseli ile Elde Edilen Nihai Sıra (S.4)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	omega	5
2	galante	10
3	patir	10
4	galante	10
5	patir	10
6	power	5
7	patir	10
8	neptune	8
9	patir	10
10	mistral	10
11	serena	9
12	mistral	10
13	serena	8
14	mistral	9
15	serena	8
16	mistral	9
17	idea	5
18	mistral	9
19	patir	10
20	mistral	8
21	patir	10
22	mistral	8
23	mistral	8
24	mistral	7
25	bolero	6
26	galante	5
27	power	5
28	neptune	5

4.5.4.2 Grupların Ayrı Ayrı Optimizasyonu

Bir önceki aşamada oluşturulan grupların sıralama sezgiseli yerine optimizasyon modeli ile sıralanmasıyla elde edilen grup sıraları Tablo 4.52’de verilmiştir.

Tablo 4.52 : Grup 1 ve 2’nin Optimizasyon Modeli ile Sıralanmış Listeleri (S.4)

Grup 1 Sırası	Ürün	Parti Miktarı	Grup 2 Sırası	Ürün	Parti Miktarı
1	power	5	1	neptune	5
2	patir	5	2	patir	5
3	patir	5	3	patir	5
4	patir	5	4	patir	5
5	patir	5	5	patir	5
6	patir	5	6	galante	6
7	patir	5	7	power	5
8	omega	5	8	mistral	5
9	patir	5	9	mistral	5
10	mistral	7	10	mistral	5
11	mistral	10	11	mistral	5
12	mistral	10	12	mistral	5
13	mistral	10	13	mistral	5
14	mistral	10	14	bolero	6
15	idea	5			
16	patir	5			
17	serena	5			
18	serena	5			
19	galante	10			
20	galante	10			
21	neptune	8			
22	serena	5			
23	serena	5			
24	serena	5			

Nihai sıralama ise iki grubun sırasının arka arkaya konmasıyla elde edilmekte olup bu sıra Tablo 4.53’te verilmiştir.

Tablo 4.53 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar ayrı ayrı) (S.4)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	power	5
2	patir	5
3	patir	5
4	patir	5
5	patir	5
6	patir	5
7	patir	5
8	omega	5
9	patir	5
10	mistral	7

11	mistral	10
12	mistral	10
13	mistral	10
14	mistral	10
15	idea	5
16	patir	5
17	serena	5
18	serena	5
19	galante	10
20	galante	10
21	neptune	8
22	serena	5
23	serena	5
24	serena	5
25	neptune	5
26	patir	5
27	patir	5
28	patir	5
29	patir	5
30	galante	6
31	power	5
32	mistral	5
33	mistral	5
34	mistral	5
35	mistral	5
36	mistral	5
37	mistral	5
38	bolero	6

4.5.4.3 Grupların Beraberce Optimizasyonu

Grupların beraberce optimizasyonunda ise gruplardaki işler bir arada sıralanır. Elde edilen sıra 4.54’te verilmiştir.

Tablo 4.54 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar beraberce)

(S.4)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	mistral	5
2	patir	5
3	patir	5
4	patir	5
5	patir	5
6	mistral	5
7	mistral	10
8	mistral	8
9	mistral	5
10	mistral	10
11	mistral	10
12	mistral	10

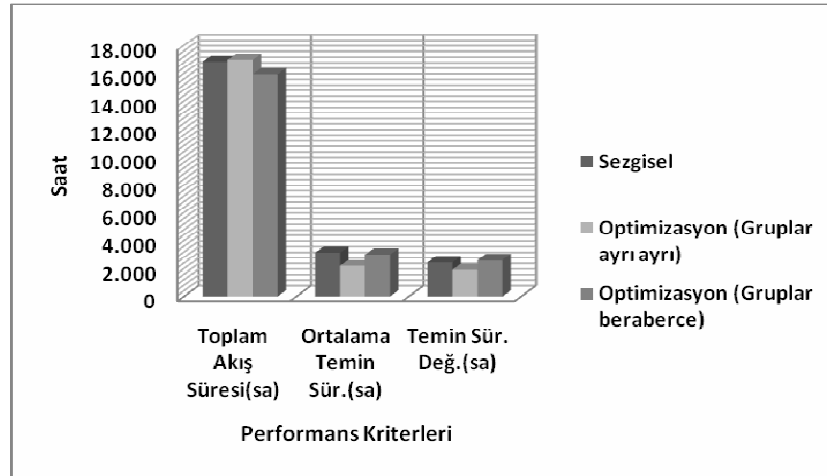
13	mistral	10
14	mistral	5
15	patir	10
16	patir	10
17	serena	5
18	idea	5
19	bolero	6
20	power	10
21	neptune	8
22	galante	5
23	galante	10
24	neptune	5
25	galante	10
26	patir	10
27	patir	10
28	omega	5
29	serena	10
30	serena	10

4.5.4.4 Senaryo 4 için Performans Karşılaştırması

Sonuçlara bakıldığında sezgisel yöntemin deterministik işlem sürelerinde çok az bir farkla da olsa grupların ayrı ayrı optimizasyonuna göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir (Tablo 4.55 ve Şekil 4.21). Ancak temin süresi değişkenliği ve ortalama temin süresi açısından grupların ayrı ayrı optimizasyonu çok daha iyi sonuçlar vermektedir.

Tablo 4.55 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.4)

	Toplam Akış Süresi(sa)	Ortalama Temin Sür.(sa)	Temin Sür. Değ.(sa)
Sezgisel	16.841	3.145	2.453
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	16.974	2.207	1.914
Optimizasyon (Gruplar beraberce)	15.930	3.006	2.610

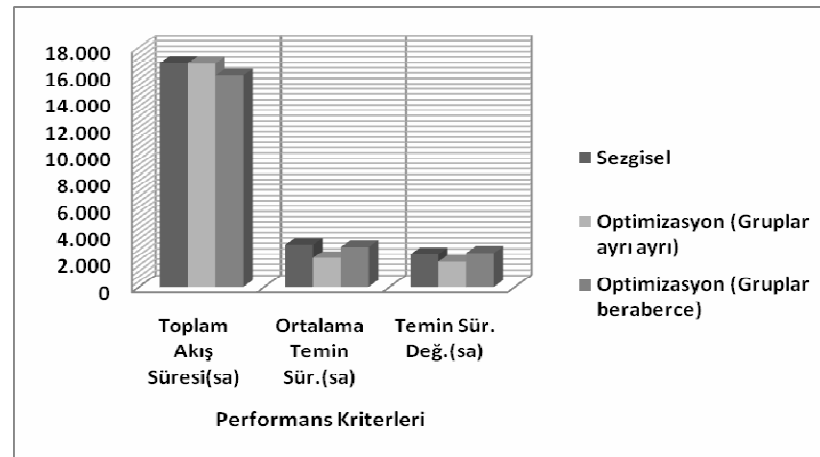


Şekil 4.21 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.4)

Ancak değişken işlem sürelerinde sezgisel ve grupların ayrı ayrı optimizasyonu yaklaşık olarak aynı sonucu vermektedir (Tablo 4.56 ve Şekil 4.22). Bu sonuçlar sabit işlem süreleriyle yapılan deneyin sonuçlarıyla uyushmaktadır.

Tablo 4.56 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.4)

	Toplam Akış Süresi(sa)	Ortalama Temin Sür.(sa)	Temin Sür. Değ.(sa)
Sezgisel	16.823	3.152	2.471
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	16.804	2.190	1.885
Optimizasyon (Gruplar beraberce)	15.891	2.990	2.571

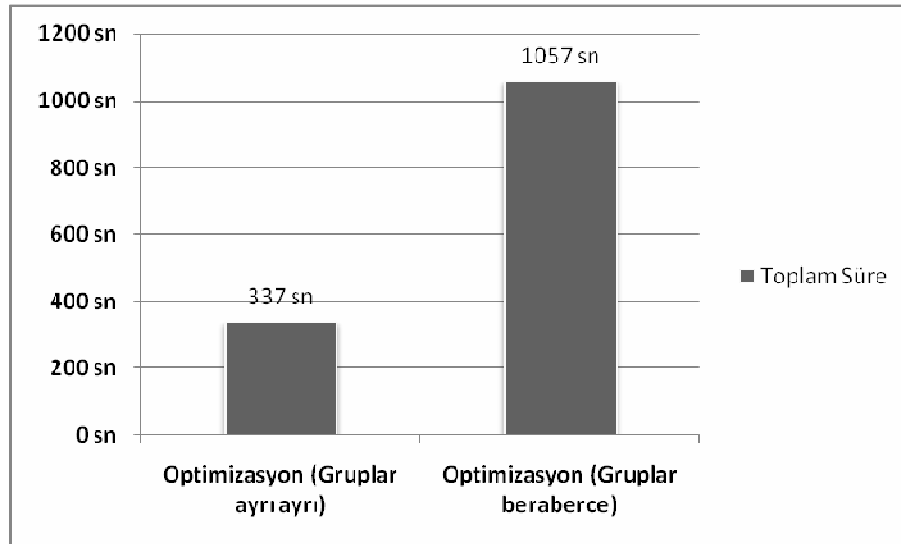


Şekil 4.22 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.4)

Optimizasyon yöntemlerinin çözüm sürelerinin karşılaştırılmasına bakıldığında grupların beraberce optimizasyonunun beklendiği gibi daha uzun çözüm sürelerine sahip olduğu görülmektedir (Tablo 4.57 ve Şekil 4.23). Ancak bu fark sadece 700 saniye kadardır.

Tablo 4.57 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.4)

	Grup 1	Grup 2	Grup 1 - 2	TOPLAM
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	322 sn	15 sn		337 sn
Optimizasyon (Gruplar beraberce)			1057 sn	1057 sn



Şekil 4.23 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.4)

4.5.5 Senaryo 5

Senaryo 5 iş yükleme ve sıralama sezgiseli ile ilgili yapılan son deneydir. Önceki senaryolarda izlenen aynı yöntem burada da kullanılacaktır.

4.5.5.1 Sezgisel Yöntem

Öncelikle KTS=1 olan işler Grup 1'e atanır (Tablo 4.58).

Tablo 4.58 : KTS=1 Olan İşlerin Grup 1'e Atanması (S.5)

TOPLAM YÜKLEME		144	Kapasiteye oranı		96%							
Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Gereksinimi Grubu	Seçilen talep	HANGİ SİRADA ALINDI
omega	10	1	10	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	2	Düşük	10	1
neptune	8	1	8	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	8	2
bolero	7	1	7	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	2	Düşük	7	3
serena	14	1	14	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	14	4
galante	17	1	17	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	17	5
mistral	46	1	46	2	0,04	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	46	6
idea	10	1	10	1	0,10	Seçildi	Grup 1	PH 1	8	Yüksek	10	7
power	32	1	32	4	0,13	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	32	8
galante	23	2	12	0	0,00							
mistral	20	2	10	0	0,00							
galante	12	2	6	0	0,00							
idea	14	2	7	0	0,00							
power	36	3	12	0	0,00							
serena	35	3	12	0	0,00							
idea	16	3	5	0	0,00							
omega	15	3	5	0	0,00							

KTS=1 olan işlerin seçilmesinin ardından kapasite dolmadığından KTS değeri 1'den büyük işler iş yüküne alınır. Koyu renkle gösterilmiş olan galante ürünü kapasite dolmadığından tüm partisi alınarak iş yüküne dahil edilmiştir (Tablo 4.59).

Tablo 4.59 : Tüm Talebin Gruplara Atanması (S.5)

TOPLAM YÜKLEME		224	Kapasiteye oranı		149%							
Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Gereksinimi Grubu	Seçilen talep	HANGİ SİRADA ALINDI
omega	10	1	10	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	2	Düşük	10	1
neptune	8	1	8	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	8	2
bolero	7	1	7	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	2	Düşük	7	3
serena	14	1	14	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	14	4
galante	17	1	17	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	17	5
mistral	46	1	46	2	0,04	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	46	6
idea	10	1	10	1	0,10	Seçildi	Grup 1	PH 1	8	Yüksek	10	7
power	32	1	32	4	0,13	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	32	8
galante	23	2	23	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	23	9 ve 17
mistral	20	2	10	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	3	Düşük	10	10
galante	12	2	6	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	6	11
idea	14	2	7	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	8	Yüksek	7	12
power	36	3	12	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	12	13
serena	35	3	12	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	5	Orta	12	14
idea	16	3	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	8	Yüksek	5	15
omega	15	3	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	2	Düşük	5	16

Seçilen bu işler sıralama sezgiselinde sıralanmak üzere Tablo 4.60'ta yeniden düzenlenmiştir.

Bu tablonun ardından, Grup 1 ve 2'nin sıralama sezgiseli ile oluşturulan grup içi sıralamalar Tablo 4.61'de verilmiştir. Bir sonraki aşamada ise nihai sıra oluşturulacaktır.

Tablo 4.60 : Sıralanmak Üzere İşlerin Yeniden Düzenlenmesi (S.5)

Ürün Adı	Net İhtiyaç	KTS	Net İhtiyaç/ periyot	Mevcut Stok	ROT Değeri	Seçildi mi?	Hangi Grup?	Hangi Paralel Hücre	İşgücü Gereksinimi	İşgücü Gereksinimi talebi	Seçilen	HANGİ SİRADA
omega	10	1	10	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	2	Düşük	10	1
serena	14	1	14	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 1	5	Orta	14	4
idea	10	1	10	1	0,10	Seçildi	Grup 1	PH 1	8	Yüksek	10	7
bolero	7	1	7	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	2	Düşük	7	3
mistral	46	1	46	2	0,04	Seçildi	Grup 1	PH 2	3	Düşük	46	6
neptune	8	1	8	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	8	2
galante	17	1	17	0	0,00	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	17	5
power	32	1	32	4	0,13	Seçildi	Grup 1	PH 2	5	Orta	32	8
omega	15	3	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	2	Düşük	5	16
serena	35	3	12	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	5	Orta	12	14
idea	14	2	7	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	8	Yüksek	7	12
idea	16	3	5	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 1	8	Yüksek	5	15
mistral	20	2	10	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	3	Düşük	10	10
galante	23	2	23	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	23	9 ve 17
galante	12	2	6	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	6	11
power	36	3	12	0	0,00	Seçildi	Grup 2	PH 2	5	Orta	12	13

Tablo 4.61 : Grup 1 ve 2'nin Sıralama Sezgiseli ile Sıralanmış Listeleri (S.5)

Grup 1 Sırası	Ürün	Parti Miktarı	Grup 2 Sırası	Ürün	Parti Miktarı
1	idea	10	1	omega	5
2	bolero	7	2	galante	10
3	serena	7	3	serena	6
4	mistral	10	4	galante	10
5	serena	7	5	serena	6
6	mistral	9	6	galante	9
7	idea	10	7	power	6
8	mistral	9	8	idea	6
9	mistral	9	9	mistral	10
10	mistral	9	10	idea	6
11	neptune	8	11	power	6
12	galante	9			
13	galante	8			
14	power	8			
15	power	8			
16	power	8			
17	power	8			

Nihai sıralama ise, grup 1 için elde edilen sıralamanın arkasına grup 2 için elde edilen sıranın eklenmesiyle bulunur. Tablo 4.62 bu sıralamayı göstermektedir.

Tablo 4.62 : Sıralama Sezgiseli ile Elde Edilen Nihai Sıra (S.5)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	idea	10
2	bolero	7
3	serena	7
4	mistral	10
5	serena	7
6	mistral	9

7	idea	10
8	mistral	9
9	mistral	9
10	mistral	9
11	neptune	8
12	galante	9
13	galante	8
14	power	8
15	power	8
16	power	8
17	power	8
18	omega	5
19	galante	10
20	serena	6
21	galante	10
22	serena	6
23	galante	9
24	power	6
25	idea	6
26	mistral	10
27	idea	6
28	power	6

4.5.5.2 Grupların Ayrı Ayrı Optimizasyonu

Bir önceki başlıkta oluşturulan grupların optimizasyon modeliyle sıralanmasıyla elde edilen grup sıraları Tablo 4.63'te sunulmuştur. Grup sıralarının birleştirilmesi ile nihai sıralama elde edilecektir.

Tablo 4.63 : Grup 1 ve 2'nin Optimizasyon Modeli ile Sıralanmış Listeleri (S.5)

Grup 1 Sırası	Ürün	Parti Miktarı	Grup 2 Sırası	Ürün	Parti Miktarı
1	power	5	1	power	5
2	mistral	10	2	mistral	10
3	mistral	5	3	serena	5
4	mistral	5	4	serena	7
5	mistral	10	5	idea	7
6	mistral	10	6	idea	5
7	mistral	6	7	power	7
8	neptune	8	8	galante	9
9	power	10	9	galante	10
10	power	10	10	galante	10
11	power	7	11	omega	5
12	galante	7			
13	galante	10			
14	omega	5			
15	omega	5			
16	idea	5			
17	serena	9			
18	bolero	7			

19	serena	5
20	idea	5

Nihai sıralama ise Tablo 4.64’te verilmektedir.

Tablo 4.64 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar ayrı ayrı) (S.5)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	power	5
2	mistral	10
3	mistral	5
4	mistral	5
5	mistral	10
6	mistral	10
7	mistral	6
8	neptune	8
9	power	10
10	power	10
11	power	7
12	galante	7
13	galante	10
14	omega	5
15	omega	5
16	idea	5
17	serena	9
18	bolero	7
19	serena	5
20	idea	5
21	power	5
22	mistral	10
23	serena	5
24	serena	7
25	idea	7
26	idea	5
27	power	7
28	galante	9
29	galante	10
30	galante	10
31	omega	5

4.5.5.3 Grupların Beraberce Optimizasyonu

Grupların beraberce optimizasyonu ile oluşan sıra aşağıda verilmiştir (Tablo 4.65).

Tablo 4.65 : Matematiksel Model ile Elde Edilen Nihai Sıra (Gruplar beraberce) (S.5)

Nihai Sıralama	Ürün	Parti Miktarı
1	power	5

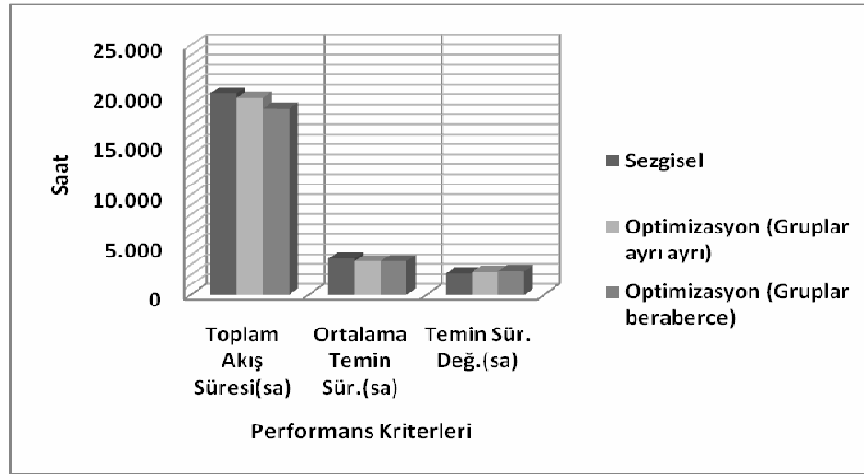
2	serena	5
3	omega	5
4	omega	5
5	omega	5
6	neptune	8
7	serena	5
8	mistral	6
9	mistral	10
10	mistral	10
11	mistral	10
12	mistral	10
13	mistral	10
14	serena	6
15	galante	8
16	galante	10
17	galante	10
18	galante	8
19	galante	10
20	power	9
21	power	10
22	power	10
23	power	10
24	idea	10
25	idea	7
26	idea	5
27	serena	5
28	serena	5
29	bolero	7

4.5.5.4 Senaryo 5 için Performans Karşılaştırması

Performans karşılaştırmasına bakıldığında sezgisel'in grupların ayrı ayrı optimizasyonuna göre toplam akış süresi performans kriteri açısından 0,4 saat kadar daha kötü olduğu görülmektedir. Tahmin edildiği gibi ise grupların beraberce optimizasyonu aynı kriter açısından en iyi sonucu vermektedir (Tablo 4.66 ve Şekil 4.24).

Tablo 4.66 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.5)

	Toplam Akış Süresi(sa)	Ortalama Temin Sür.(sa)	Temin Sür. Değ.(sa)
Sezgisel	20.173	3.648	2.144
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	19.711	3.352	2.284
Optimizasyon (Gruplar beraberce)	18.666	3.358	2.373

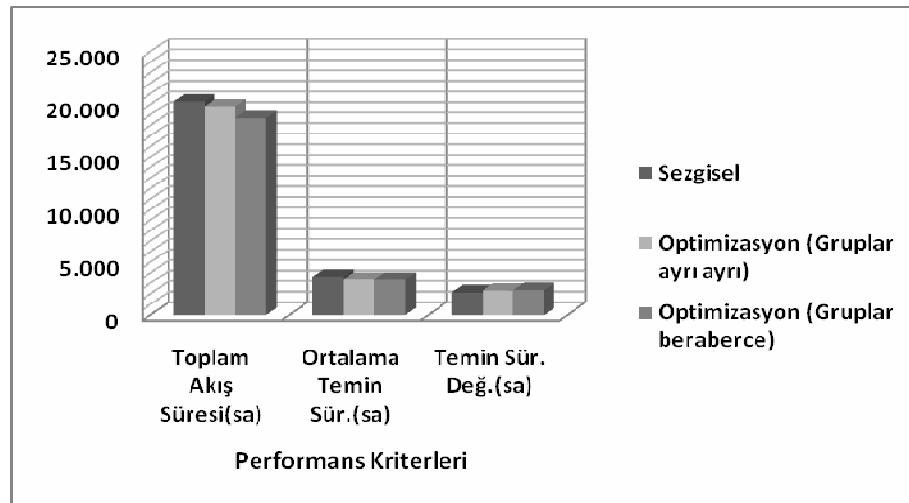


Şekil 4.24 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Sabit süreler) (S.5)

Değişken işlem sürelerine bakıldığında ise durumun benzer olduğu görülmektedir (Tablo 4.67 ve Şekil 4.25).

Tablo 4.67 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.5)

	Toplam Akış Süresi(sa)	Ortalama Temin Sür.(sa)	Temin Sür. Değ.(sa)
Sezgisel	20.263	3.641	2.142
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	19.823	3.365	2.282
Optimizasyon (Gruplar beraberce)	18.689	3.359	2.359

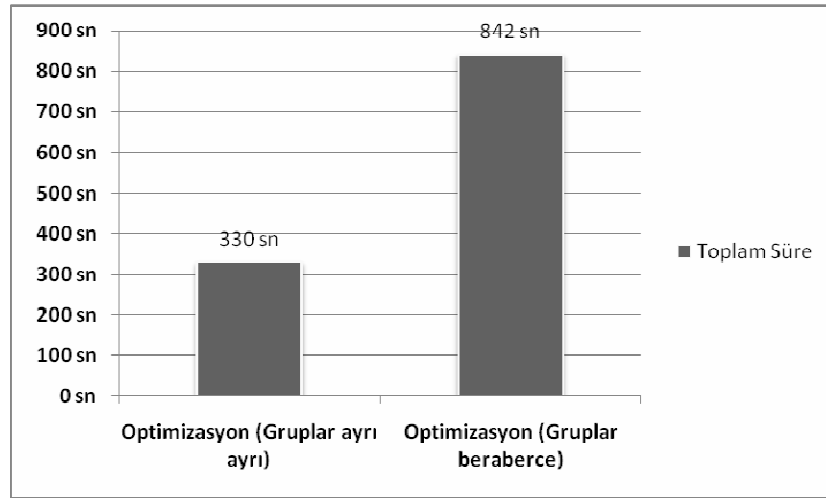


Şekil 4.25 : Yöntemlerin Performans Karşılaştırılması (Değişken süreler) (S.5)

Çözüm süreleri açısından bir karşılaştırma yapıldığında ise grupların beraberce optimizasyonunun, grupların ayrı ayrı optimizasyonunun yaklaşık 2,5 katı daha uzun sürede çözülmesine rağmen aradaki fark yaklaşık 500 sn olup önceki senaryolarda olduğu gibi çok yüksek değildir (Tablo 4.68 ve Şekil 4.26).

Tablo 4.68 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.5)

	Grup 1	Grup 2	Grup 1 - 2	TOPLAM
Optimizasyon (Gruplar ayrı ayrı)	95 sn	235 sn		330 sn
Optimizasyon (Gruplar beraberce)			842 sn	842 sn



Şekil 4.26 : Optimizasyon Yöntemlerinin Çözüm Süreleri Karşılaştırması (S.5)

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada talep değişkenliği yüksek üretim sistemleri için alternatif olabilecek bir karma çekme sistemi modeli ortaya konmuştur. Bu uygun model, ürüne tahsisli olmayan CONWIP sistemidir. İtme sistemlerinin talep değişkenliği yüksek ortamlarda çalışabildiği bilinen bir durumdur. Ancak, itme üretim sisteminin verimsizliğinin yerine ne gibi bir üretim sisteminin geçmesi gerektiği araştırmacılar tarafından süregelen bir inceleme alanı olmuştur. Bu noktada, karmaşık ve düzensiz talep koşullarında çekmeyi sağlamak ayrıca önem taşımaktadır. Çekme sistemi üretim içi stoku azaltırken, itme ile aynı miktarda çıktıyı sağlamaktadır (Hopp ve Spearman, 2001). Buna bağlı olarak da temin sürelerinde düşüş ve müşteriye daha hızlı tepki verme imkanı sağlamaktadır. Bu bağlamda, ürüne tahsisli olmayan CONWIP sistemleri, Kanban üretim kontrol sistemlerinin bir uzantısı olarak Hopp ve Spearman (2001) tarafından ortaya atılmış ve bahsi geçen koşullara haiz üretim ortamları için uygun bir alternatif olarak görülmüştür.

CONWIP üretim sistemlerinin bir firmada kurulabilmesi için bir takım faaliyetlerin uygun bir sıra içerisinde yapılması şarttır. Bir diğer ifadeyle, üretim sisteminin etkin bir tasarımı gereklidir. Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007), çalışmalarında çekme/Kanban üretim kontrol sistemlerini aksiyomlarla tasarım ilkelerini kullanarak tasarlamışlardır. Ancak, önerdikleri yol haritasında karma çekme sistemlerini ve özellikle de bu çalışmanın odak noktasını oluşturan ürüne tahsisli olmayan CONWIP konusunun ayrıntısına girmemişlerdir. Bu çalışmada ürüne tahsisli olmayan CONWIP sistemlerinin tasarımı Kabadurmuş ve Durmuşoğlu (2007) çalışmasının devamı olarak eklenmiştir.

Ürüne tahsisli olmayan CONWIP sistemlerinin tasarımı yanında yönetilmesi de çok önemli bir sorundur. Bu noktada çözülmesi gereken en büyük problem, hangi siparişlerin hangi sırayla hatta girmesi gerektiği sorunudur. Bu çalışmada bu konuda hiyerarşik bir model önerilmiştir. Talep havuzundaki siparişler iş yükleme modeli filtrelenmektedir. Ardından da planlama periyodu için kullanılacak olan sıralama yöntemiyle sıralanmaktadır. Burada önerilen sıralama yöntemi 2 çeşittir: optimizasyon ve sezgisel yöntem.

Hangi işlerin hatta girmesi gerektiğinin belirlenmesinin ardından bu işlerin en kısa zamanda bitmesi için hangi miktarda ve hangi sırada hatta verileceği, bu çalışmada sunulan optimizasyon modeli aracılığıyla bulunmaktadır. Ancak, optimizasyon doğası gereği karmaşık problemlerde uzun çözüm süreleri gerektirmektedir. Hatta bu süreler, ele alınan planlama dönemi için pratik kullanımdan uzak olabilmektedir. Bu eksikliğin giderilmesi de günümüz bilgisayarlarının teknolojik imkanları ile kısıtlı olduğundan daha etkin çözümler gerekmektedir. Bu çalışmada bu amaçla, bir sıralama sezgiseli yaklaşımı önerilmiştir.

Sunulan bu modeller gerçek bir üretim sisteminin verileri kullanılarak uygulanmıştır. Öncelikle, önerilen optimizasyon modeli ve sıralama sezgiseli kendi aralarında sınanmış ve görülmüştür ki, sıralama sezgiseli optimizasyon kadar iyi sonuçlar vermese de çözüm süresinin kısalığı dikkate alındığında kabul edilebilir sonuçlar vermektedir. Bu da modelin karmaşık gerçek hayat uygulamalarında kullanılabilmesi için önemli bir özelliktir. Ayrıca, sıralama optimizasyonu problemi de gerçek sıralamalarla karşılaştırılmış ve pratik uygulamaya göre büyük farklarla daha iyi performans verdiği görülmüştür. Burada da görülen, sadece ürünlerin sisteme giriş sıralarını ve parti miktarlarını değiştirerek üretimdeki kayıpların önemli miktarda önlebileceği gerçeğidir.

Bu çalışmada önerilen yaklaşımın ve modelin özgünlüğü ise, iş yükleme problemiyle iş sıralama problemini birleştirerek ürüne tahsisli olmayan CONWIP hatlarında sıralama problemini literatürde daha önce ele alınmamış bir şekilde ele almasıdır. Ayrıca, paralel hücreleri incelemesi ve bunu bir gerçek hayat probleminin çözümü ile zenginleştirilmesi de çalışmayı diğerlerinden ayırıcı önemli bir farklılıktır. Diğer taraftan sunulan optimizasyon modelinin yanı sıra, bir de sezgisel geliştirilerek optimizasyonla çözülmesi zor olan karmaşık problemlerin çözülmesine imkan sağlanmıştır. Tabii ki, buraya kadar bahsedilen noktalar CONWIP sisteminin yönetimi ile ilgili noktalardır. Ancak bu tezi farklı kılan bir diğer önemli nokta da, çalışmanın ürüne tahsisli olmayan CONWIP sisteminin tasarımını da ele alması ve bunu bu sistemlerin yönetimi konusu ile birleştirmesidir.

Bu çalışmanın devamı olarak yapılması düşünülen çalışmalar da ayrıca planlanmıştır. Öncelikle sezgisel yöntemi daha farklı senaryolarda sınamak ve daha etkin bir sezgisel oluşturmak önemli bir amaç olarak belirlenmiştir. Ayrıca, matematiksel modelin etkinliği de birçok senaryo altında sınanacaktır. Bununla beraber, optimizasyon modelinin geliştirilmesi ile ilgili olarak, temin süresinin standart sapması ve ortalama temin süresinin amaç fonksiyonuna katılarak sonuçlar incelenecektir. Yine modelde bir değişiklik yapmak üzere, gerçek hayatla daha

uyumlu olacak şekilde, işçi sayısına bağlı olarak değişen işleme süreleri modele dahil edilecektir. Paralel hücrelerde işleme kısıtı esnetilerek ürünlerin her hücrede işlenebildiği durum da incelenecektir. Son olarak da modelin ve sezgiselin performans analizlerinde deneysel tasarım ilkelerinin kullanılarak karşılaştırma yapılması düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Bechte, W.**, 1988. Theory and Practice of Load-Oriented Manufacturing Control, *International Journal of Production Research*, **26(3)**, 375– 395.
- Cao, D. ve Chen, M.**, 2005. A Mixed Integer Programming Model for a Two Line CONWIP-Based Production And Assembly System, *International Journal Of Production Economics*, **95**, 317–326.
- Duenyas, I.**, 1994. A Simple Release Policy for Networks of Queues With Controllable Inputs, *Operations Research*, **42(6)**, 1162–1171.
- Durmuşoğlu, M. B.**, 2007. İTÜ Endüstri Mühendisliği Yalın Üretim ve Yönetim Dersi Yayınlanmamış Ders Notları, İstanbul.
- Framinan, J.M., Ruiz-Usana, R. ve Leisten, R.**, 2000. Input Control and Dispatching Rules in a Dynamic Conwip Flow-Shop. *International Journal of Production Research*, **38(18)**, 4589– 4598.
- Framinan, J.M., Ruiz-Usana, R. ve Leisten, R.**, 2001. Sequencing Conwip Flow-Shops: Analysis and Heuristics, *International Journal of Production Research*, **39(12)**, 2735– 2749.
- Golany, B., Dar-El, E.M. ve Zeev, N.**, 1999. Controlling Shop Floor Operations in A Multi-Family, Multi-Cell Manufacturing Environment Through Constant Work-in-Process. *IIE Transactions*, **31**, 771–781.
- Goldratt, M.E. ve Cox, J.**, 1992. The goal : a process of ongoing improvement, North River Press, New York.
- Hendryx, S. A.**, 1990. Manufacturing Execution: Theory and Concepts, *AT&T Technical Journal*, **69(4)**, 33-52.
- Herer, Y.T. ve Masin, M.**, 1997. Mathematical Programming Formulation Of Conwip Based Production Lines and Relationships to MRP, *International Journal Of Production Research*, **35(4)**, 1067–1076.
- Hopp, W. J. ve Spearman, M. L.**, 2001. Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management, Mc-Graw Hill, Chicago.
- Hopp, W.J. ve Roof, M.L.**, 1998. Setting WIP Levels with Statistical Throughput Control (STC) in CONWIP Production Lines, *International Journal of Production Research*, **36(4)**, 867–882.

- Hyer, N. ve Wemmerlöv, U.**, 2002. Reorganizing the Factory: Competing Through Cellular Manufacturing, Productivity Press, Portland.
- Kabadurmuş, Ö.**, 2005. Çekme/Kanban Üretim Kontrol Sistemlerinin Aksiyomlarla Tasarımı, *Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Kabadurmuş, Ö. ve Durmuşoğlu, M.B.**, 2007. Aksiyomlarla Tasarım İlkelerini Kullanarak Çekme/Kanban Üretim Sistemlerinin Tasarımı, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, **2**.
- Leu, B.**, 2000. Generating a Backlog List for a Conwip Production Line: A Simulation Study, *Production Planning & Control*, **11(4)**, 409–418.
- Levén, E. ve Segerstedt, A.**, 2007. A Scheduling Policy for Adjusting Economic Lot Quantities to a Feasible Solution, *European Journal of Operational Research*, **179**, 414–423.
- Lindholm, D., D. Tate ve Harutunian, V.**, 1999. Consequences of Design Decisions in Axiomatic Design, *Society for Design and Process Science*, **3(4)**, 1-12.
- Little, J.**, 1961. A Proof for the Queuing Formula: $L = \lambda W$, *Operations Research*, **9(3)**, 383–387.
- Luh, P.B., Zhou, X. ve Tomastik, R.N.**, 2000. An Effective Method to Reduce Inventory in Job Shops, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, **16(4)**, 420–424.
- Suh, N. P.**, 2001. Axiomatic Design: Advances and Applications, Oxford University Press, New York.
- Suri, R.**, 1998. Quick Response Manufacturing : a Companywide Approach to Reducing Lead Times, Productivity Press, Portland.
- Zhang, W. ve Chen, M.**, 2001. A Mathematical Programming Model for Production Planning Using CONWIP, *International Journal of Production Research*, **39(12)**, 2723–2734.

EK

**Matematiksel Programlama Modeli için GAMS Optimizasyon Programı
Kodları**

sets

i hucreler /Hucre1, Hucre2, Hucre3, Hucre4/
ti(i) hucre alt kumesi /Hucre1, Hucre2, Hucre3/
ti2(i) hucre alt kumesi /Hucre1, Hucre2/
fi(i) hucre alt kumesi /Hucre3, Hucre4/
u urunler /galante, power, serena, patir, idea, bolero, mistral, omega, neptune/
h backlog /1*4/
th(h) backlog alt kumesi /2*4/
th2(h) backlog alt kumesi2 /3*4/
k makine /k1,k2,k3,k4/
o /1*10/ ;

alias(u,tu);

table Z(i,u) urunlerin hucrelerde islenme matrisi

	galante	power	serena	patir	idea	bolero	mistral	omega	neptune
Hucre1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Hucre2	1	1	1	1	1	1	1	1	
Hucre3	0	0	1	1	1	0	0	1	0
Hucre4	1	1	0	0	0	1	1	0	1 ;

table SP(i,u,k) u modelinin i hucresinin k. makinesinde isleme zamanlari tablosu

	k1	k2	k3	k4
Hucre1.galante	99			
Hucre1.power	153			
Hucre1.serena	95			
Hucre1.patir	9			
Hucre1.idea	200			
Hucre1.bolero	128			
Hucre1.mistral	92			
Hucre1.omega	65			
Hucre1.neptune	124			
Hucre2.galante	130			
Hucre2.power	0			
Hucre2.serena	0			
Hucre2.patir	0			
Hucre2.idea	0			
Hucre2.bolero	165			
Hucre2.mistral	131			
Hucre2.omega	0			
Hucre2.neptune	0			
Hucre3.serena	112	196	124	
Hucre3.patir	55	35	30	
Hucre3.idea	209	240		
Hucre3.omega	258			
Hucre4.galante	187	224	196	95

Hucre4.power	314	315	251	341
Hucre4.bolero	461			
Hucre4.mistral	458			
Hucre4.neptune	300			;

parameters talep(u) u. urun ile ilgili toplam musteri talebi

/

omega 16

serena 14

/;

parameters worker(u) u. urunun isgoren gereksinimi

/ galante 5

power 5

serena 5

patir 5

idea 8

bolero 2

mistral 3

omega 2

neptune 5 /;

Parameter kmax(u,i) u. urunun i. hucredeki darbogaz isi

M Yeterince buyuk bir sayi

CAP gunluk normal mesai kapasitesi

HazirlikPar Urun cesidine bagli Hucre Hazirlik Suresi

HazirlikIsci Isgoren sayisina bagli Hucre Hazirlik Suresi;

HazirlikPar=180 ;

HazirlikIsci=720;

M=3000;

CAP=480;

kmax(u,i)=smax(k,SP(i,u,k));

variable makespan hucre ici ve arasi dengeleme degiskeni ;

binary variables y(i,h) backloga h. siradan giren is i. hucrede isleniyorsa

x(u,h) u. modelle ilgili siparis h. siradan backloga girdiyse

xa(u,h)

Isci_farkfark(h,fi)

t(h);

positive Variables Giris(i,h) h. isin i. hucreye giris zamani

Cikis(i,h) h. isin i. hucreden cikis zaman

tamamlanma(h)

ORT_teminVAR ortalama temin suresi varyansi

ORT_temin ortalama temin suresi - positive tanımlamak gerekiyor
varyansini hesaplayabilmek için

UrunHazirlik(h,i)

IsciHazirlik(h,i)

isci(i,h) h. sirada islenen urun kac isciye ihtiyac duyuyor(3. ya da 4.
hucrede)

Isci_fark(h,i,o)

;

Integer variables a(u,h);

EQUATIONS

Klambda1, Klambda2 amac fonksiyonu

KgirisA(ti,h), KgirisB(i,h), KgirisC(i,h) hucrelere giris zamanlarini hesaplatan kisit - tam formulu $giris = oncekinin\ girisi + isleme\ zamani$ (karmasik "sum"larla verilen kisim)

Backlogda_tek_giris2(h) h. backlog girisinde en fazla bir urun olabilir

Ardisiklik(h) eger bir h. sıra bos kalmıssa $h+1$. sıranın da bos kalmasını saglayan kisit (aksi taktirde aralara atama yapıyor)

A_x_baglantisi(u,h) a degiskeni sifirken x degiskenini de sifir olmaya zorluyor

KTalep1(u) Parçalanen partilerin toplamının talebi karşılama kisiti

KTalep2(u) Parçalanen partilerin toplamının talebi karşılama kisiti

Min_Parti_Buyuklugu(u,h) parcalanan parti buyuklugunun 5'ten buyuk olmasını sagliyor

Max_Parti_Buyuklugu(u,h) parcalanan parti buyuklugunun 5'ten buyuk olmasını sagliyor

Ktamamlanma1(h) Isin tamamlanma suresini bulmak icin kullandigim 1. kisit

Ktamamlanma2(h) Isin tamamlanma suresini bulmak icin kullandigim 2. kisit

Xa_BULMA_hucre3_1(u,th)

Xa_BULMA_hucre3_2(u,th)

Xa_BULMA_hucre3_3(u,th)

Xa_BULMA_hucre3_4(u,th)

UrunHazirlik1(u,th,fi)

K_Isci_fark_1_1(fi,th,o)

K_Isci_fark_1_2(fi,th,o)

K_Isci_fark_2_1(fi,th,o)

K_Isci_fark_2_2(fi,th,o)

K_Isci_fark_3_1(fi,th,o)

K_Isci_fark_3_2(fi,th,o)

K_Isci_fark_4_1(fi,th,o)

K_Isci_fark_4_2(fi,th,o)

K_Isci_fark_5_1(fi,th,o)

K_Isci_fark_5_2(fi,th,o)

K_Isci_fark_6_1(fi,th,o)

K_Isci_fark_6_2(fi,th,o)

K_Isci_farkfark(h,fi,o)

K_IsciHazirlik(h,fi) ;

Klambda1(h).. makespan =g=
(giris("hucre3",h)+UrunHazirlik(h,"hucre3")+IsciHazirlik(h,"hucre3")+
(sum(u,(a(u,h))*kmax(u,"hucre3"))+sum(u,(sum(k,((SP("hucre3",u,k)))*x(u,h)))))-
sum(u,x(u,h)*kmax(u,"hucre3")) -M*(sum(u,(z("hucre4",u)*x(u,h))))-M*(1-
sum(u,x(u,h))))/3600;

Klambda2(h).. makespan =g=
(giris("hucre4",h)+UrunHazirlik(h,"hucre4")+IsciHazirlik(h,"hucre4")+
(sum(u,(a(u,h))*kmax(u,"hucre4"))+sum(u,(sum(k,((SP("hucre4",u,k)))*x(u,h)))))-
sum(u,x(u,h)*kmax(u,"hucre4")) -M*(sum(u,(z("hucre3",u)*x(u,h))))-M*(1-
sum(u,x(u,h))))/3600;

KgirisA(ti,h).. giris(ti,h)=g= giris(ti-1,h)+UrunHazirlik(h,ti-1)+IsciHazirlik(h,ti-1)+
(sum(u,(a(u,h))*kmax(u,ti-1))+sum(u,(sum(k,((SP(ti-1,u,k)))*x(u,h)))))-
sum(u,x(u,h)*kmax(u,ti-1));

KgirisB(i,h).. giris(i,h)=g= giris(i,h-1)+ UrunHazirlik(h-1,i)+IsciHazirlik(h-1,i)+
(sum(u,(a(u,h-1))*kmax(u,i))+sum(u,(sum(k,((SP(i,u,k)))*x(u,h-1)))))-sum(u,x(u,h-1)*kmax(u,i)) ;

KgirisC(i,h).. giris("Hucre4",h)=g= giris("hucre2",h)+UrunHazirlik(h,"hucre2")+
IsciHazirlik(h,"hucre2")+
(sum(u,(a(u,h))*kmax(u,"hucre2"))+sum(u,(sum(k,((SP("hucre2",u,k)))*x(u,h)))))-
sum(u,x(u,h)*kmax(u,"hucre2"))-M*(sum(u,(z("hucre3",u)*x(u,h)))) ;

Backlogda_tek_giris2(h).. sum(u,x(u,h)) =l=1 ;

Ardisiklik(h).. sum(u,x(u,h)) =g= sum(u,x(u,h+1));

A_x_baglantisi(u,h).. a(u,h) =l= M*x(u,h);

KTalep1(u).. sum(h,a(u,h))=g=talep(u);

KTalep2(u).. sum(h,a(u,h))=l=talep(u);

Min_Partı_Buyuklugu(u,h).. a(u,h) =g= 5*x(u,h);

Max_Partı_Buyuklugu(u,h).. a(u,h) =l= 10*x(u,h)

Ktamamlanma1(h).. tamamlanma(h) =g=
giris("hucre3",h)+UrunHazirlik(h,"hucre3")+ IsciHazirlik(h,"hucre3")+

$(\text{sum}(u, (a(u, h)) * k_{\max}(u, \text{"hucre3"})) + \text{sum}(u, (\text{sum}(k, ((SP(\text{"hucre3"}, u, k))) * x(u, h)))) - \text{sum}(u, x(u, h) * k_{\max}(u, \text{"hucre3"})) - M * (\text{sum}(u, (z(\text{"hucre4"}, u) * x(u, h)))) - 50 * M * (1 - \text{sum}(u, x(u, h)))));$

$\text{Ktamamlanma2}(h).. \text{tamamlanma}(h) = g = \text{giris}(\text{"hucre4"}, h) + \text{UrunHazirlik}(h, \text{"hucre4"}) + \text{IsciHazirlik}(h, \text{"hucre4"}) + (\text{sum}(u, (a(u, h)) * k_{\max}(u, \text{"hucre4"})) + \text{sum}(u, (\text{sum}(k, ((SP(\text{"hucre4"}, u, k))) * x(u, h)))) - \text{sum}(u, x(u, h) * k_{\max}(u, \text{"hucre4"})) - M * (\text{sum}(u, (z(\text{"hucre3"}, u) * x(u, h)))) - 50 * M * (1 - \text{sum}(u, x(u, h)))));$

$\text{Xa_BULMA_hucre3_1}(u, th).. \text{xa}(u, th) = g = (1 - x(u, th-1));$

$\text{Xa_BULMA_hucre3_2}(u, th).. \text{xa}(u, th) = g = (1 - x(u, th-2) - M * x(u, th-1));$

$\text{Xa_BULMA_hucre3_3}(u, th).. \text{xa}(u, th) = g = (1 - x(u, th-3) - M * x(u, th-2) - M * x(u, th-1));$

$\text{Xa_BULMA_hucre3_4}(u, th).. \text{xa}(u, th) = g = (1 - x(u, th-4) - M * x(u, th-3) - M * x(u, th-2) - M * x(u, th-1));$

$\text{UrunHazirlik1}(u, th, fi).. \text{UrunHazirlik}(th, fi) = g = z(fi, u) * (\text{HazirlikPar} * (\text{xa}(u, th)) - M * (1 - x(u, th)));$

$\text{K_Isci_fark_1_1}(fi, th, o).. \text{Isci_fark}(th, fi, \text{"1"}) = g = \text{sum}(u, x(u, th) * \text{worker}(u)) - (\text{sum}(u, (1 - z(fi, u)) * x(u, \text{"1"}))) * M - (\text{sum}(u, (1 - z(fi, u)) * x(u, th))) * M;$

$\text{K_Isci_fark_1_2}(fi, th, o).. \text{Isci_fark}(th, fi, \text{"1"}) = g = \text{sum}(u, x(u, th-1) * \text{worker}(u)) - (\text{sum}(u, (1 - z(fi, u)) * x(u, \text{"1"}))) * M - (\text{sum}(u, (1 - z(fi, u)) * x(u, th))) * M;$

$\text{K_Isci_fark_2_1}(fi, th, o).. \text{Isci_fark}(th, fi, \text{"2"}) = g = \text{sum}(u, x(u, th) * \text{worker}(u)) - (\text{sum}(u, (1 - z(fi, u)) * x(u, th-2))) * M - (\text{sum}(u, (1 - z(fi, u)) * x(u, th))) * M - (\text{sum}(u, (z(fi, u)) * x(u, th-1))) * M;$

$\text{K_Isci_fark_2_2}(fi, th, o).. \text{Isci_fark}(th, fi, \text{"2"}) = g = \text{sum}(u, x(u, th-2) * \text{worker}(u)) - (\text{sum}(u, (1 - z(fi, u)) * x(u, th-2))) * M - (\text{sum}(u, (1 - z(fi, u)) * x(u, th))) * M - (\text{sum}(u, (z(fi, u)) * x(u, th-1))) * M;$

$\text{K_Isci_fark_3_1}(fi, th, o).. \text{Isci_fark}(th, fi, \text{"3"}) = g = \text{sum}(u, x(u, th) * \text{worker}(u)) - (\text{sum}(u, (1 - z(fi, u)) * x(u, th-3))) * M - (\text{sum}(u, (1 - z(fi, u)) * x(u, th))) * M - (\text{sum}(u, (z(fi, u)) * x(u, th-1))) * M - (\text{sum}(u, (z(fi, u)) * x(u, th-2))) * M;$

$\text{K_Isci_fark_3_2}(fi, th, o).. \text{Isci_fark}(th, fi, \text{"3"}) = g = \text{sum}(u, x(u, th-3) * \text{worker}(u)) - (\text{sum}(u, (1 - z(fi, u)) * x(u, th-3))) * M - (\text{sum}(u, (1 - z(fi, u)) * x(u, th))) * M - (\text{sum}(u, (z(fi, u)) * x(u, th-1))) * M - (\text{sum}(u, (z(fi, u)) * x(u, th-2))) * M;$

$\text{K_Isci_fark_4_1}(fi, th, o).. \text{Isci_fark}(th, fi, \text{"4"}) = g = \text{sum}(u, x(u, th) * \text{worker}(u)) - (\text{sum}(u, (1 - z(fi, u)) * x(u, th-4))) * M - (\text{sum}(u, (1 - z(fi, u)) * x(u, th))) * M - (\text{sum}(u, (z(fi, u)) * x(u, th-1))) * M - (\text{sum}(u, (z(fi, u)) * x(u, th-2))) * M - (\text{sum}(u, (z(fi, u)) * x(u, th-3))) * M;$

K_Isci_fark_4_2(fi,th,o).. Isci_fark(th,fi,"4") =g= sum(u,x(u,th-4)*worker(u)) -
sum(u,x(u,th)*worker(u)) -(sum(u,(1-z(fi,u))*x(u,th-4)))*M- (sum(u,(1-
z(fi,u))*x(u,th)))*M -(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-1)))*M-(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-2)))*M-
(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-3)))*M;

K_Isci_fark_5_1(fi,th,o).. Isci_fark(th,fi,"5") =g= sum(u,x(u,th)*worker(u)) -
sum(u,x(u,th-5)*worker(u)) -(sum(u,(1-z(fi,u))*x(u,th-5)))*M- (sum(u,(1-
z(fi,u))*x(u,th)))*M -(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-1)))*M-(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-2)))*M-
(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-3)))*M-(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-4)))*M;

K_Isci_fark_5_2(fi,th,o).. Isci_fark(th,fi,"5") =g= sum(u,x(u,th-5)*worker(u)) -
sum(u,x(u,th)*worker(u)) -(sum(u,(1-z(fi,u))*x(u,th-5)))*M- (sum(u,(1-
z(fi,u))*x(u,th)))*M -(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-1)))*M-(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-2)))*M-
(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-3)))*M-(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-4)))*M;

K_Isci_fark_6_1(fi,th,o).. Isci_fark(th,fi,"6") =g= sum(u,x(u,th)*worker(u)) -
sum(u,x(u,th-6)*worker(u)) -(sum(u,(1-z(fi,u))*x(u,th-6)))*M- (sum(u,(1-
z(fi,u))*x(u,th)))*M -(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-1)))*M-(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-2)))*M-
(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-3)))*M-(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-4)))*M-
(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-5)))*M;

K_Isci_fark_6_2(fi,th,o).. Isci_fark(th,fi,"6") =g= sum(u,x(u,th-6)*worker(u)) -
sum(u,x(u,th)*worker(u)) -(sum(u,(1-z(fi,u))*x(u,th-6)))*M- (sum(u,(1-
z(fi,u))*x(u,th)))*M -(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-1)))*M-(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-2)))*M-
(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-3)))*M-(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-4)))*M-
(sum(u,(z(fi,u))*x(u,th-5)))*M;

K_Isci_farkfark(h,fi,o).. 15*Isci_farkfark(h,fi)=g= Isci_fark(h,fi,o);

K_IsciHazirlik(h,fi).. IsciHazirlik(h,fi) =g= HazirlikIsci*Isci_farkfark(h,fi);

model siralama2 /all/;

siralama2.domlim=999999999;

siralama2.iterlim=999990000;

siralama2.reslim=900000;

solve siralama2 using miP minimizing makespan;

display makespan.l,a.l, x.l,tamamlanma.l,giris.l,Urunhazirlik.l,xa.l, Isci_fark.l,
Isci_farkfark.l ;

ÖZGEÇMİŞ

Özgür Kabadurmuş, 1983 yılında İstanbul'da doğmuştur. 2000 yılında Ataköy Cumhuriyet Lisesi'ni daha sonra 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında yüksek lisans çalışmalarına başlayan Özgür Kabadurmuş, iş hayatında lojistik sektöründe çeşitli firmalarda çalıştıktan sonra, 2005 yılı Kasım Ayı'ndan itibaren İstanbul Teknik Üniversitesi İşletme Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.