

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PARALEL MAKİNALARDA İŞ YÜKÜNE YÖNELİK ÜRETİM KONTROLÜ
İLKESİ ALTINDA ÜRÜN TASARIMI İLE İŞ ÇİZELGELEMENİN
BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Emre ÇEVİKCAN**

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Endüstri Mühendisliği

OCAK 2010

**PARALEL MAKİNALARDA İŞ YÜKÜNE YÖNELİK ÜRETİM KONTROLÜ
İLKESİ ALTINDA ÜRÜN TASARIMI İLE İŞ ÇİZELGELEMENİN
BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Emre ÇEVİKCAN
(507062104)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Ekim 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 06 Ocak 2010
Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU (İTÜ)
Eş Danışman : Yrd. Doç. Dr. Murat BASKAK (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Murat DİNÇMEN (İTÜ)
Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ (Okan Üniv.)
Prof. Dr. Sıtkı GÖZLÜ (İTÜ)
Prof. Dr. Mesut ÖZGÜRLER (YTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Alp ÜSTÜNDAĞ (İTÜ)

OCAK 2010

ÖNSÖZ

Bir üretim sisteminde temel amaç, müşteri taleplerinin zaman ve kalite boyutunda etkin bir şekilde karşılanmasıdır. Bu amacı gerçekleştirmek için üretimin büyük partiler halinde ve stok tutarak gerçekleştirilmesi daha mantıklı görünür. Ancak bu yaklaşım, üretim sistemindeki problemleri görünmez hale getirmekle beraber, uzun bekleme süreleri içermesi nedeni ile üretim temin süresini, dolayısıyla, katma değerli olmayan faaliyetlerin oranını arttırmaktadır. Bu durum neticesinde, firmaların hızlı yanıt kabiliyeti ve maliyet performansı olumsuz etkilenir.

Gerçekte, hammaddeden son ürüne kadar bir iş parçasının üzerinde kesintisiz biçimde çalışarak, görevleri çok daha doğru ve verimli bir şekilde gerçekleştirebilmek mümkündür. Kısacası, organizasyon ya da ekipman yerine, tasarım, sipariş ve üretim aşamaları için gerekli faaliyetlerin sürekli bir akış içinde gerçekleştirmelerini sağlayacak şekilde, ürün ve ürünün gerektirdiği şeylere odaklanılması daha doğru bir yaklaşım biçimi olacaktır. Buradaki anahtar nokta, bir üründen diğerine geçişteki hazırlık işlemlerini hızlandırarak ve etkin üretim çizelgeleri oluşturarak işlenmekte olan ürünün sürekli bir akış halinde tutulması için mümkün olduğunca küçük partilerle üretim yapmaktır.

Diğer yandan, üretim sistemlerinde her şeyi gerektiği an ve miktarda üretmek, müşteri talebine en yakın zamanda ve talebin belirlediği miktar ve çeşitlilikte üretim yapılmasını sağlamaktadır. Aynı durum, bir fabrikanın kendi iç üretim akışı için de geçerlidir. Amaç, tüm üretim aşamalarının ya da üretim istasyonlarının gereksiz üretim yapmalarını önlemektir. Bu ilke, üretim ortamında israfların önlenmesini sağlayan Yalın Üretim felsefesinde çekme sistemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ürün tasarımı ile iş çizelgelemenin bütünleştirilmesini üretim israfını enazlayacak şekilde sağlamaya yönelik olarak geliştirilen bir metodoloji sunulmuştur. Metodoloji, gerçek üretim ortamından elde edilen veriler üzerinde uygulanmış olup, elde edilen sonuçlar belirtilmiştir.

Bu çalışmanın her aşamasında, konu ile ilgili bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, ilgi ve önerilerini hiç bir zaman esirgemeyen, tez danışmanlığımı ve eş danışmanlığımı özenle yürüten değerli hocalarım Prof. Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU ve Yrd. Doç. Dr. Murat BASKAK'a, tez çalışmalarımın izlenmesinde ve değerlendirilmesinde değerli katkılarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ'a, hazırlık sürelerinin analizi ile ilgili pratik bilgimi arttırmamda yardımcı olan Nursan Elektrik Donanım Sanayi ve Ticaret A.Ş. yöneticilerine ve çalışanlarına, tez çalışması kapsamındaki yazılımın geliştirilmesindeki katkılarından dolayı değerli arkadaşım End. Müh. Dursun KOÇ'a, doktora öğrenimim süresince bana burs imkânı sağlayan TÜBİTAK'a ve manevi destekleri için aileme teşekkür ederim.

Ocak 2010

Emre ÇEVİKCAN
Endüstri Yüksek Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. HAZIRLIK SÜRELERİNİN ANALİZİ VE DÜŞÜRÜLMESİ.....	5
2.1 Hazırlık Kavramı ve İlgili Tanımlar	5
2.2 Hazırlık Süresi ve Üretim Sistemleri	8
2.3 Hazırlık Sürelerinin (Veya Maliyetlerinin) Düşürülmesinde İzlenen Geleneksel Stratejiler	10
2.4 Hazırlık Süresi Düşürmede Yaklaşımlar: SMED, OTED ve NOTED	12
3. İŞ YÜKÜ BAZLI SİPARİŞ YÖNETİMİ	27
3.1 İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi ve Üretim Planlama Kontrol Sistematiği	28
3.2. İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimine Ait Unsurların Değerlendirilmesi	30
3.2.1 İş Serbest Bırakma Sistematiği Açısından	30
3.2.2 Serbest Bırakma Zamanı Açısından.....	32
3.2.3 İş Yükü Ölçümü Açısından.....	32
3.2.4 İş Yükü Odağı Açısından	33
3.2.5 Zaman Bazında İş Merkezlerindeki Yük Miktarının Belirlenmesi Açısından.....	33
3.2.6 İş Yükü Kontrolü Açısından	34
3.3. İş Merkezlerinde Girdi-Çıktı Kontrolüne Ait Temel İlişkiler.....	34
3.4. İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi Yapısı.....	38
3.5. Yüklenecek Siparişlerin Dönüşümü.....	44
3.6. Serbest Bırakma Sürecinin Örneklenmesi	48
4. YAYIN İNCELEMESİ.....	57
4.1 Paralel Makinaların Sıraya Bağımlı Hazırlık Süreleri Dâhilinde Çizelgelenmesini Konu Alan Yayınlar	57
4.2 İş Yükü Bazlı Üretim Kontrolü İle İlgili Yayınlar.....	74
4.3 Sıraya bağımlı Hazırlık Sürelerinin Belirlenmesinde Ürün Tasarım Özelliklerinin Dikkate Alındığı Yayınlar.....	84
5. GELİŞTİRİLEN METODOLOJİ.....	87
5.1 Varsayımlar	87
5.2 Ürün Tasarım Özelliklerinin Belirlenmesi.....	89
5.3 Ürün Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıraya Bağımlı Hazırlık Sürelerini Elde Etmek İçin Bir Matematiksel Model.....	90
5.4 Matematiksel Programlama Modelleri.....	100

5.4.1 Sıraya Bağımlı Hazırlık Süreli İş Parçalarının Paralel Makinaların Bulunduğu Üretim Ortamına Gönderilmesine Ait Matematiksel Programlama Modeli.....	101
5.4.2 Sıraya Bağımlı Hazırlık Süreli İş Parçalarının Çizelgenmesine Ait Matematiksel Programlama Modeli	104
5.5 Sıralama Algoritmaları	114
5.5.1 Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıralama Algoritması	115
5.5.2 “Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi” Sıralama Algoritması	117
5.5.3 “En Ucuz Ekleme” Sıralama Algoritması	118
5.6 Yüke Yönelik İş Gönderme Listesi’nin Oluşturulması	119
6. METODOLOJİNİN GEÇERLİLİĞİNİN İNCELENMESİ	123
6.1 Uygulamanın Yapıldığı Firmanın Tanıtımı	123
6.2 Uygulamanın Yapıldığı Kısım.....	125
6.3 Uygulamanın Aşamaları	132
6.3.1 Hazırlık İşlerinin Analizi ve Tasarım Özelliklerinin Belirlenmesi	133
6.3.2 Kabloların Tasarım Özellikleri Bilgilerinin Yeniden Düzenlenmesi	139
6.3.3 Kabloların Sıraya Bağımlı Hazırlık ve İşlem Sürelerinin Belirlenmesi	140
6.3.4 Kabloların Çizelgenmesi	143
6.3.4.1 Kablo Çizelgeleme Problemi İçin Kullanılan Algoritmalar	144
6.3.4.2 Kablo Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıralama Algoritması	144
6.3.5 Kablo Çizelgeleme Problemi için Geliştirilen Yazılım.....	147
6.3.6 Sıralama Algoritmalarının Karşılaştırılması.....	153
6.3.7 KST Makinaları İçin Yüke Yönelik İş Gönderme Listesi’nin Oluşturulması.....	162
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	175
KAYNAKLAR.....	179
EKLER.....	187
ÖZGEÇMİŞ.....	205

KISALTMALAR

İng	: İngilizce
REL	: Bir çizelgeleme periyodu için serbest bırakılan iş (saat bazında)
LL	: Yük limiti (saat bazında)
OUT	: Planlama döneminde planlanan çıktı (saat bazında)
I_m	: Planlanan ortalama iş yükü (saat)
ILO	: Dönem başı iş yükü (Planlama dönemi başındaki saat bazındaki mevcut iş yükü)
INP	: Planlama dönemi içerisindeki girdi (saat bazında)
TLM	: Planlanan ağırlıklı ortalama temin süresi (iş günü)
P	: Planlama dönemi uzunluğu (iş günü)
LPG	: Yükleme Oranı
P_m	: Paralel makina
sds	: Sıraya bağımlı hazırlık süresi
r_i	: “i” işinin işlem için hazır olma zamanı
C_i	: “i” işinin tamamlanma zamanı
T_i	: “i” işinin gecikme süresi
E_i	: “i” işinin erken bitme süresi
w_i	: “i” işinin ağırlığı
WT	: Gecikme süresi ceza faktörü
WE	: Erken bitme süresi ceza faktörü
GSP	: Gezgin Satıcı Problemi
Prec	: İşler arası öncelik ilişkileri
ETZÖ	: Erken Teslim Zamanlı İş Önce
İGÖ	: İlk Gelen İş Önce
AKİSÖ	: Ağırlıklı İşlem Süresi Kısa Olan İş Önce
C_{enb}	: En büyük tamamlanma (Yayıma) zamanı
L_{enb}	: En büyük gecikme süresi
T_{enb}	: En büyük teslim gecikme süresi
KİSÖ	: Kısa İşlem Süreli İş Önce
İGÖ	: İlk Gelen Önce
EKHSÖ	: En Kısa Hazırlık Süreli İş Önce
İYBÜKS	: İş Yüğü Bazlı Üretim Kontrol Sistemi
KİSÖ	: Kısa İşlem Süreli İş Önce
NED	: Nursan Elektrik Donanım
KST	: Kesme-Sıyırma-Terminalleme
WC_p	: İş merkezi p
Pout	: Çıktı olasılığı
Pinp	: Girdi olasılığı
CF	: Sipariş içeriğini dönüştürme faktörü
YİS	: Yüklenecek işlerin sırası
P	: Yükleme üst sınırı (planlama dönemi cinsinden)
R(I)	: “I” indisli planlama döneminin üretim listesinde bulunan işler kümesi

SR(l)	: “l” indisli planlama döneminin üretim listesinde bulunan işlerin üretim sırası
sn	: Saniye
dk	: Dakika
HSTOGEİ	: “Hazırlık süresi tasarrufu odaklı gelecek en iyi” sıralama algoritması
EUE	: “En ucuz ekleme” sıralama algoritması
KTÖBSA	: Kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması
MD	: Mevcut durum
AL	: Alt limit

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Hazırlık adımları ve faaliyetlerinin listesi.....	6
Çizelge 2.2 : Eksantrik presteki hazırlık işleri ve süreleri.....	7
Çizelge 2.3 : 6 Numaralı hazırlık işinin elemanları.....	7
Çizelge 2.4 : 7 Numaralı hazırlık işinin elemanları.....	8
Çizelge 2.5 : Hazırlık süresi ve parti miktarı arasındaki ilişki - 1.....	11
Çizelge 2.6 : Hazırlık süresi ve parti miktarı arasındaki ilişki - 2.....	11
Çizelge 2.7 : Hazırlık süresi ve parti miktarı arasındaki ilişki - 3.....	11
Çizelge 2.8 : Hazırlık süresi ve parti miktarı arasındaki ilişki - 4.....	11
Çizelge 2.9 : Hazırlık işleri etüt formu.....	16
Çizelge 2.10 : Tek işgörenli yapı.....	19
Çizelge 2.11 : Yardımcı işgörenli yapı.....	20
Çizelge 3.1 : Serbest bırakma öncesi acil siparişler listesi (Periyod 1).....	48
Çizelge 3.2 : Sipariş serbest bırakma öncesi iş merkezleri listesi (Periyod 1).....	49
Çizelge 3.3 : Sipariş serbest bırakma öncesi dönüştürülmüş yükler ile acil sipariş listesi.....	50
Çizelge 3.4 : Sipariş serbest bırakma öncesi, dönüştürülmüş yükler ile acil sipariş listesi.....	52
Çizelge 3.5 : Periyod 1'den sonra reddedilen iş merkezlerine karşılık gelen reddedilen sipariş listesi.....	54
Çizelge 3.6 : Finişör ve Ebişör parçalarına ait işlem bilgileri.....	54
Çizelge 3.7 : Finişör ve Ebişör parçalarına ait sipariş listesi.....	55
Çizelge 3.8 : Siparişlerin tezgahlarda oluşturduğu iş yükleri ve serbest bırakılma durumları.....	56
Çizelge 4.1 : Sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin bulunduğu paralel makina çizelgeleme ile ilgili yayın matrisi.....	73
Çizelge 4.2 : İş Yükü Bazlı Üretim Kontrolü ile ilgili yayın matrisi.....	83
Çizelge 5.1 : İş parçalarının tasarım özellikleri.....	94
Çizelge 5.2 : Hazırlık işleri / Parça tasarım özellikleri matrisi (Q_k).....	95
Çizelge 5.3 : Yapılmayan hazırlık işleri.....	95
Çizelge 5.4 : İş parçaları arasındaki hazırlık süreleri matrisi.....	100
Çizelge 5.5 : İşlem süreleri.....	107
Çizelge 5.6 : Sıraya bağımlı hazırlık süreleri.....	107
Çizelge 5.7 : Üretim ortamına gönderilen iş parçası sayısı ve makinalara ait iş parça sıraları ($\alpha=0,3; 0,25; 0,20; 0,15$).....	111
Çizelge 5.8 : Hazırlık süresi en azlama modelinin çözümü ($\alpha=0,3; 0,25; 0,20; 0,15$).....	112
Çizelge 5.9 : Üretim ortamına gönderilen iş parçası sayısı ve makinalara ait iş parça sırası ($\alpha=0,10$).....	112
Çizelge 5.10 : Üretim ortamına gönderilen iş parçası sayısı ve makinalara ait iş parçası sırası ($\alpha=0,05$).....	113

Çizelge 5.11 : Hazırlık süresi en azlama modelinin çözümü ($\alpha=0,05$).....	114
Çizelge 6.1 : Kablo takımı üretimi mevcut ve gelecek durum karşılaştırması	132
Çizelge 6.2 : KST makinalarındaki hazırlık adım, faaliyet ve nesnelere listesi..	134
Çizelge 6.3 : KST makinalarındaki hazırlık işleri ve süreleri.....	135
Çizelge 6.4 : 31 numaralı “Numune için çekme testi uygulanması” hazırlık işinin bileşenleri	136
Çizelge 6.5 : Hazırlık nesnelere ve etkili ürün özellikleri	138
Çizelge 6.6 : Kablo tasarım özellikleri	139
Çizelge 6.7 : Kablo tasarım özelliği değerlerine göre yapılmayan işler	141
Çizelge 6.8 : KST makinalarındaki hazırlık işleri ile kablo tasarım özellikleri arasındaki etkileşim matrisi.....	142
Çizelge 6.9 : KST makinalarındaki kesim ve terminalleme süreleri	143
Çizelge 6.10 : Sıralamada dikkate alınacak kablo tasarım özellikleri	145
Çizelge 6.11 : Örnek alt limit hesabına ilişkin hazırlık süreleri matrisi	154
Çizelge 6.12 : Kesim adedine bağlı talep dereceleri.....	155
Çizelge 6.13 : Performans karşılaştırma tablosu.....	157
Çizelge 6.14 : En iyi çözüme ulaşılan gün sayısı.....	158
Çizelge 6.15 : Sıralama algoritmalarına ait çözüm süreleri	159
Çizelge 6.16 : Varyansların eşitliği testi	160
Çizelge 6.17 : Bağımsız değişkenlerin etkisi	160
Çizelge 6.18 : Talep düzeyleri arasındaki fark	161
Çizelge 6.19 : Sıralama yöntemleri arasındaki fark.....	161
Çizelge 6.20 : Yüke yönelik iş gönderme listesine bir örnek	163
Çizelge 6.21 : Gecikmenin meydana geldiği bir iş gönderme listesi.....	164
Çizelge 6.22 : Düşük talep düzeyi ve 0 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.....	166
Çizelge 6.23 : Düşük talep düzeyi ve 1 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.....	166
Çizelge 6.24 : Düşük talep düzeyi ve 2 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.....	167
Çizelge 6.25 : Orta talep düzeyi ve 0 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.....	168
Çizelge 6.26 : Orta talep düzeyi ve 1 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.....	168
Çizelge 6.27 : Orta talep düzeyi ve 2 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.....	169
Çizelge 6.28 : Yüksek talep düzeyi ve 0 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.....	169
Çizelge 6.29 : Yüksek talep düzeyi ve 1 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.....	170
Çizelge 6.30 : Yüksek talep düzeyi ve 2 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.....	171
Çizelge 6.31 : Gecikme miktarları (adet).....	173
Çizelge C.1 : 1 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	195
Çizelge C.2 : 2 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	195
Çizelge C.3 : 3 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	196
Çizelge C.4 : 4 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	196
Çizelge C.5 : 5 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	197
Çizelge C.6 : 6 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	197
Çizelge C.7 : 7 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	197

Çizelge C.8 : 8 veya 11 numaralı hazırlık işlerinin bileşenleri	198
Çizelge C.9 : 9 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	198
Çizelge C.10 : 10 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	198
Çizelge C.11 : 12 veya 14 numaralı hazırlık işlerinin bileşenleri	198
Çizelge C.12 : 13 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	199
Çizelge C.13 : 15 veya 16 numaralı hazırlık işlerinin bileşenleri	199
Çizelge C.14 : 17 veya 20 numaralı hazırlık işlerinin bileşenleri	200
Çizelge C.15 : 18 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	200
Çizelge C.16 : 19 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	200
Çizelge C.17 : 21 veya 23 numaralı hazırlık işlerinin bileşenleri	200
Çizelge C.18 : 22 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	201
Çizelge C.19 : 24 veya 26 numaralı hazırlık işlerinin bileşenleri	201
Çizelge C.20 : 25 veya 27 numaralı hazırlık işlerinin bileşenleri	201
Çizelge C.21 : 28 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	201
Çizelge C.22 : 29 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	202
Çizelge C.23 : 30 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	203
Çizelge C.24 : 31 numaralı hazırlık işinin bileşenleri	204

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Daha kısa hazırlık sürelerinin üretim hedeflerini birbirine yakınlaştırması.	9
Şekil 2.2 : Büyük parti (a) ve Küçük parti (b) üretimi esnasında oluşan bir ürüne ait temin süreleri	9
Şekil 2.3 : SMED adımları	13
Şekil 2.4 : Hazırlık işleri belirleme ve analiz süreci.....	13
Şekil 2.5 : Bir CNC torna tezgâhında hazırlık işlerinin belirlenmesi.....	15
Şekil 2.6 : Hazırlık işleri çubuk ve dağılım diyagramı.....	15
Şekil 2.7 : İçsel hazırlıktan dışsal hazırlığa dönüştürülmüş taşıma faaliyetleri.	17
Şekil 2.8 : Tek işgörenli akış	19
Şekil 2.9 : Yardımcı işgörenli akış.	19
Şekil 2.10 : Makinaya tahsisli takımlar.	20
Şekil 2.11 : Etkin takım/tertibat depolama örnekleri.....	21
Şekil 2.12 : Rulmanlı taşıyıcı ve kayar yüzeyli kalıp masası	22
Şekil 2.13 : Kalıp standardizasyonu	23
Şekil 2.14 : Etkin bağlama tertibatları	24
Şekil 2.15 : Ayar işlerini ortadan kaldıran tertibatlar	25
Şekil 3.1 : Serbest bırakılan siparişlerin tezgahlarda oluşturduğu iş yükü.....	27
Şekil 3.2 : Üretim kontrolünde hata çemberi.....	28
Şekil 3.3: İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi'nin çizelgeleme ve kontrol sistemindeki yeri	29
Şekil 3.4 : İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi dâhilindeki planlama ve kontrol sistemi akış diyagramı.....	31
Şekil 3.5 : Üretimde stok, performans ve temin süresi arasındaki ilişkiler.....	35
Şekil 3.6 : Üretim ortamında girdi çıktı kontrolü ile değişen üretim temin süresi	35
Şekil 3.7 : Üretimde stokun fonksiyonu olarak temin süresi ve performans.....	36
Şekil 3.8 : Bir iş merkezi için yük bazlı sipariş yönetimi grafiğı	39
Şekil 3.9 : Planlanmış ağırlıklı ortalama temin süresinin bir fonksiyonu olarak yükleme yüzdesi ve P çizelge periyodu	41
Şekil 3.10 : İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi'nin adımları.....	42
Şekil 3.11 : Bir iş merkezindeki bir sipariş için çıktı olasılığı.	45
Şekil 3.12 : Bir iş merkezindeki bir sipariş için girdi olasılığı ve dönüştürme faktörü.	45
Şekil 3.13 : Yük bazlı sipariş serbest bırakma esnasında operasyonların yük içeriğinin dönüştürülmesi.....	47
Şekil 3.14 : Dönüştürülmüş siparişlerin yüklenmesi sonrası Periyot 1'de serbest bırakma öncesi yükleme hesapları dengesi.....	51
Şekil 3.15: Dönüştürülmüş siparişlerin yüklenmesi sonrası Periyot 2'de serbest bırakma öncesi yükleme hesapları dengesi.....	53
Şekil 5.1 : Yol haritası.	88

Şekil 5.2 : Ürün tasarım özelliklerinin belirlenmesi için geliştirilen algoritma.....	89
Şekil 5.3 : Matematiksel programlama modellerinin çözüm sistematığı	106
Şekil 5.4 : Xpress-MP arayüzü	108
Şekil 5.5 : Modele ait veri dosyası.....	109
Şekil 5.6 : Xpress-MP çözüm ara yüzü.....	110
Şekil 5.7 : İş parçası sıralamada odaklanılacak tasarım özelliklerinin belirlenmesi için geliştirilen algoritma.....	115
Şekil 5.8 : Tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması	116
Şekil 5.9 : “Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi” sıralama algoritması	118
Şekil 5.10 : “En Ucuz Ekleme” sıralama algoritması	119
Şekil 5.11 : İş gönderme sistematığı algoritması	121
Şekil 6.1 : Kablo takımları	123
Şekil 6.2 : Çekilmiş kablolar.....	124
Şekil 6.3 : Kablo Montajı.....	124
Şekil 6.4 : KST makinasında kesilmiş,uçları sıyrılmış ve tek uç terminalenmiş kablo	125
Şekil 6.5 : Eksantrik preste yapılan terminalleme işlemi.....	126
Şekil 6.6 : KST bölümü yerleşim planı.....	127
Şekil 6.7 : Hyundai ailesi kablo takımlarına yönelik mevcut durum değer akışı haritası.....	129
Şekil 6.8 : Hyundai ailesi kablo takımlarına yönelik gelecek durum değer akışı haritası	131
Şekil 6.9 : Uygulamanın aşamaları	133
Şekil 6.10 : Hazırlık faaliyetlerinin toplam sürelerinin dağılımı	136
Şekil 6.11 : Hazırlık nesnelерinin toplam sürelerinin dağılımı	137
Şekil 6.12 : Kablo çizelgeleme yazılımı iş akışı şeması	148
Şekil 6.13 : Girdi verileri arayüzü.....	149
Şekil 6.14 : Sıraya bağımlı hazırlık süreleri raporu	151
Şekil 6.15 : Sıralama arayüzü	151
Şekil 6.16 : Sıralama yöntemine göre ek dosya istemi	152
Şekil 6.17 : Sıralama ve yükleme raporu	153
Şekil 6.18 : Değişen talep düzeylerine göre ortalama hazırlık süreleri	157
Şekil 6.19 : 45 günlük toplam hazırlık süreleri.....	159
Şekil 6.20 : İşgören transferine uygun süreler	171
Şekil 6.21 : Fazla üretim miktarları	172

PARALEL MAKİNALARDA İŞ YÜKÜNE YÖNELİK ÜRETİM KONTROLÜ İLKESİ ALTINDA ÜRÜN TASARIMI İLE İŞ ÇİZELGELEMENİN BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Müşterinin gerçekten istediği ürünleri, tam da istediği anda tasarlayabilme, çizelgeleme ve imal edebilme becerisini kazanmak, ürünün istenmeden itilmesi yerine, müşteri istediğinde ürünün üreticiden çekilmesi ile hızlanır. Bu şekilde bir anlayış, müşteri odaklılığın üretime yansımasıdır. Çekme sistemleri, küçük partili üretimine imkan veren düşük hazırlık süreleri ortamında uygulandığında üretim temin süresinde önemli kazançlar sağlayacaktır.

İlgili yayınlar incelendiğinde, ürün tasarımı ile iş çizelgelemede ürün tasarım özelliklerini dikkate alan ve fazla üretim israfını önlemeye yönelik bilimsel temellere dayalı bir çalışma bulunmamaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında paralel makinalarda iş çizelgelemesinde ürün tasarımından faydalanan ve Yüke Yönelik İş Gönderme prensibini taşıyan bütünsel bir yöntem geliştirilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen metodolojinin geçerliliğinin sınanması açısından kablo takımı üreten bir firmada uygulamaya yer verilmiştir. Söz konusu metodoloji, uygulandığı kablo takımı üretim sisteminde hazırlık sürelerinin düşürülmesi ve iş serbest bırakma yönünden önemli kolaylıklar ve faydalar sağlamıştır.

Tez çalışmasının uygulama kısmı dâhilinde belirtilen iyileştirme görüş ve faaliyetlerinin topluca uygulanması halinde, yerli kablolar için montaj için temin süresini %29 oranında azaltacağı öngörülmektedir. 45 günlük gerçek üretim verileri dikkate alındığında, geliştirilen Kablo Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıralama Algoritması (KTÖBSA), mevcut duruma göre %7 civarında hazırlık süresi tasarrufu sağlamıştır.

Yapılan tez çalışmasının bölümlerine ait içerik bilgileri aşağıda özetlenmiştir:

Tezin birinci bölümünde, üretim temin süresinin, hazırlık süreleri ve İş Yüğü Bazlı Üretim Kontrolü ile olan etkileşimi açıklanmış olup, çizelgeleme problemleri sınıflandırılmıştır. Buna ek olarak, çalışmanın amacı belirtilmiştir.

İkinci bölümde, hazırlık süreleri ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Çalışma dahilinde hazırlık süreleri ile ilgili tanımlar, hazırlık sürelerinin üretim sistemleri üzerindeki etkileri ve hazırlık sürelerinin düşürülmesine yönelik yaklaşımlar üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde, sistemi çekme sistemine yaklaştıran Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi ayrıntılı bir şekilde anlatılmış olup, Yüğü Yönelik İş Gönderme prensibi ile ilgili sayısal örnekler verilmiştir.

Dördüncü bölüm, paralel makinaların sıraya bağımlı hazırlık süreleri dâhilinde çizelgelenmesi ve İş Yüğü Bazlı Üretim Kontrolü konularını içeren yayın taramasına ayrılmıştır. Ek olarak, sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin belirlenmesinde ürün tasarım özelliklerinin dikkate alındığı yayınlar incelenmiş olup, tezin özgün yanı vurgulanmıştır.

Beşinci bölümde, geliştirilen metodoloji ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Öncelikle, metodolojinin yol haritası gösterilip, daha sonra her bir adıma ait matematiksel programlama modeli ve/veya algoritmalar anlatılmıştır.

Altıncı bölümde, geliştirilmiş olan yöntemin, otomotiv sektörüne yönelik kablo takımları üretimi yapan bir firmada uygulanması ile ilgili çalışmalar mevcuttur.

Son bölümde, tüm tez çalışmasında elde edilen sonuçlar verilmiş ve bunların değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca gelecekte konu ile ilgili yapılabilecek çalışmalara değinilmiştir.

INTEGRATING PRODUCT DESIGN AND JOB SCHEDULING ON PARALLEL MACHINES UNDER THE PRINCIPLE OF LOAD ORIENTED MANUFACTURING CONTROL

SUMMARY

To gain the ability of designing, scheduling, and manufacturing the products, which customers exactly demand, in time provides competitive advantage to companies. The above mentioned ability is provided by implementing pull system between the costumer and supplier as well as manufacturing processes instead of push system. Such an approach is the reflection of being costumer oriented in production. In addition, setup time constitutes an important part of production lead time. Pull systems lead to significant achievement in terms of lead time when applied in the environment of short setup times which allows production in small batches.

When the relevant literature is reviewed, it is seen that there is not any scientific guiding work which not only considers product design in job scheduling, but also aims to prevent overproduction waste. In this thesis, an integrated methodology that uses product design specifications for job scheduling under the principle of Load Oriented Order Management is developed.

An application of the proposed methodology to a real life wire harness production system has been included to this thesis study in order to test the validity of the methodology. The methodology has provided important achievements and easiness in terms of setup times and job release.

On the condition that the overall suggestions and activities which are stated in the section of application, it is expected that the proposed methodology decreases the assembly lead time of the local cables by 29%. The developed cable design characteristics oriented sequencing algorithm decreased total setup time by approximately %7 when compared to the current situation with respect to the production data for 45 days.

Information about the content for each section of this thesis study is summarized below:

In the first part of the thesis, the effection of production lead time among setup time and Load Oriented Manufacturing Control is discussed. In addition, the aim of the study is given.

In the second section, the information about setup time is included. The definitions about setup times, the effects of setup times on production systems as well as the strategies of decreasing setup times is presented in the section.

In the third section, Load Oriented Order Management is explained in detail. Moreover, numerical examples about the principle of Load Oriented Order Release are provided.

The fourth section is kept for the review of studies about job scheduling on parallel machines with sequence dependent setup times and Load Oriented Manufacturing Control. Furthermore, the review of papers that consider product design specifications when determining sequence dependent setup times is also included. Finally, the contribution of the paper to the relevant literature is emphasized.

In the fifth section, the developed methodology is explained in detail. First, the roadmap of the methodology is presented. Then, the mathematical programming model or/and algorithms for each step of the methodology are proposed.

In the sixth section, the application of the proposed methodology for a company that produces wire harness for automotive industry is provided.

At the last section, the results of the thesis study have been evaluated. Furthermore, relevant work to be pursued in future is mentioned.

1. GİRİŞ

Firmaların rekabet gücü sağlamak için müşterilerine, öncelikle iyi yapılandırılmış bir üretim sistemi yapısı ile *kısa teslim sürelerinde* hem fiyat hem de kalite yönünden etkin bir şekilde hizmet sunabilmeleri gerekmektedir. Teslim süreleri ya ürünleri stokta tutarak ya da üretimdeki temin sürelerini düşürerek kısa tutulabilir. Artan ürün çeşitliliği, talepteki belirsizlik ve firmalarda maliyet bilincinin oluşması ile elde stok tutarak teslimin hızlandırılması zorlaşmaktadır.

Müşteri açısından, üreticilerin varoluş nedeni kendilerine sağlayacakları katma değerdir. Ancak bir dizi neden, üreticilerin değeri doğru tanımlamalarını engellemektedir. Genellikle işletmelerde, stratejik planlamaya, organizasyon yapısına, yüksek teknoloji kullanımına ve ürün maliyetlerinin aşağıya çekilmesine özen gösterilirken, sipariştan sevkiyata bir ürüne hangi aşamalarda gerçekten değer katıldığı ya da değer müşteri açısından tanımlanması ve yaratılması gibi kavramlar ikinci plana atılmaktadır. “*Muda*”, Japonca’da israf demektir, özellikle hiç bir değer yaratmadan kaynakları tüketen faaliyetleri gösterir.

Yalın Üretim (İng: Lean Production) kavramı israfların ortadan kaldırılmasında en etkili yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Yalın Üretim, değer tanımlanması, değer yaratan adımların en iyi ve doğru biçimde sıralanması, bu adımların gerektiği anda aksamaya uğramadan atılması ve giderek daha yüksek etkinlikle gerçekleştirilmesinin yollarını gösterir. Kısacası Yalın Üretim, giderek daha az emek, ekipman, zaman ve alan harcayarak daha fazla üretebilmeyi ve müşterilerin asıl beklentilerine daha çok yaklaşmayı sağladığı için yalındır. Yalın Üretim, israfi değere dönüştürmeye yönelik çabalara anında geri bildirim sağlayarak, daha tatmin edici iş çıkarılmasının yolunu da gösterir. Bu yüzden, Yalın Üretim düşüncesi ile üretim ortamındaki stokları israf olarak görüp, etkin teslim zamanlamasını gerçekleştirebilmek için *üretim temin sürelerini kısaltmak* gerekir.

Üretim temin süreleri, üretim sistemlerinin maliyet ve teslimat performansını çarpıcı bir biçimde etkilemektedir. Temin sürelerini kısaltmak için sistemi çekme yapısına yaklaştıran Yüke Yönelik İş Gönderme ilkesi oldukça etkili olmaktadır. Yüke

Yönelik İş Gönderme ilkesini benimseyen *İş Yükü Bazlı Üretim Kontrolü* (İng: Load-Oriented Manufacturing Control) bir üretim sisteminde işlerin gerçek girdisini planlanan çıktıya göre dengeleyerek akış sürelerini kontrol eden bir yöntemdir. Bu sistemde siparişi üretim ortamına göndermeden önce üretim ortamındaki iş yükü kontrol edilerek üretim temin süreleri kısaltılmaktadır.

Üretim temin sürelerini kısaltmak için bir diğer yol, küçük partili üretim yapmaktır. Küçük partili üretim ise, süreç içindeki çevrim stoklarını düşürür ve ürünlerin üretim temin sürelerini kısaltır. Küçük boyutlu partili üretim ise ancak hazırlık sürelerinin düşürülmesi ile mümkün olur. Çünkü, küçük boyutlu partili üretim esnasında yapılacak hazırlık sayısı artacaktır.

Hazırlık sürelerinin işlem sürelerine dâhil edilmeyip, diğer sürelerden ayrı olarak incelendiği yaklaşımlarda, hazırlık süreleri sıraya bağımlı veya sıraya bağımsız olarak nitelendirilir. Sıraya bağımsız hazırlık süresi sadece işlem göreceğe işe dayalı iken, sıraya bağımlı hazırlık süresi, hem işlem göreceğe işe hem de bu işten hemen önce işlem gören işe dayanır. Bu bağlamda, hazırlık sürelerinin düşürülmesi için *sıraya bağımlı hazırlık süreleri*, odaklanılması önem taşıyan unsurlar arasındadır.

Üretim sisteminin çoğunlukla dinamik bir yapıya sahip olması nedeniyle üretim sahası bazındaki problemler genellikle çok karmaşıktır. Ayrıca, bu problemlere ait kararlar, maliyet, zaman ve kapasite kısıtı altında ele alınacağından hızlı bir çözüm de gerektirmektedir. Üretim çizelgeleme problemleri bunların bir örneğidir.

Üretim çizelgeleme, bir ürünü oluşturan iş parçalarının eldeki tek veya çok sayıda makinada hangi sırada ve ne zaman işleneceğinin belirlenmesidir. Maliyet açısından etkinlik sağlayan bir çizelgeleme yaklaşımının benimsenmesi, üretim sistemlerinde oldukça önem taşıyan hazırlık maliyetlerini de içeren toplam operasyonel maliyetin azaltılmasını sağlayacaktır.

Üretim çizelgeleme problemleri, üretim tipine göre çok farklı biçimlerde olabilir. Çizelgeleme problemlerini işlem karmaşıklığı açısından ele alacak olursak, göz önünde bulundurulması gereken kademe sayısına göre dört farklı başlıkta incelenebilir:

- *Tek kademe, tek makina problemi*, en basit problem biçimidir. Burada bütün işler, tek makinada işlenmek üzere tek bir işlem kademesini gerektirmektedir.

- *Tek kademe, paralel makina probleminde*, her bir iş paralel makinaların birisinde işlenmek üzere yine tek bir işlem kademesini gerektirmektedir. Ancak bu problemde aynı işi yapan birden fazla makina mevcuttur. Bu problemleri parçaların makinalarda işlenme süreleri açısından üç gruba ayırmak mümkündür (Pinedo, 1997):
 - Bir parça tüm makinalarda aynı sürede üretilebiliyorsa, özdeş (İng: Identical),
 - Tüm makinalarda aynı sürede üretilmiyor; ancak süre farklılıkları parametrik bir ilişki ile açıklanabiliyorsa düzgün (İng: Uniform),
 - Üretim süreleri düzensiz bir şekilde farklılık gösteriyorsa, bir diğer deyişle parametrik bir ilişki içinde değil ise ilişkisizdir (İng: Unrelated).
- *Çok kademe problemleri*, her bir işin işlem sırasında çok kesin bir öncelik ilişkisinin bulunduğu durumlardır. Her bir iş, makinalar grubunda öncelik ilişkisine göre işlenmeyi gerektirir. Çok kademeli problemler, akış tipi ve atölye tipi olmak üzere iki şekilde incelenebilir. Akış tipi problemde, bütün işler aynı işlem sırasıyla aynı makina grubunda işlenir. Diğer bir deyişle, işlerin makinalardaki işlem sırası (teknolojik kısıt) ve öncelik ilişkisi aynıdır.
- *Atölye tipi problem* ise, sınıflandırmadaki en genel ve en karmaşık olanıdır. Belli bir işe ait işlem kademeleri sayısı üzerine hiç bir kısıt yoktur. Başka bir deyişle, atölye tipi problemde her bir iş, farklı makinalarda işlenmek üzere kendine özgü bir işlem sırasına sahiptir (Saraç ve Sipahioğlu, 2008).

Aynı işi yapabilen birden fazla paralel makinaların çizelgelenmesi, tek makina çizelgelenmesine göre daha karmaşık bir problemdir. Paralel makina çizelgeleme problemi, gerçek hayatta çok sık varolması ve çok aşamalı daha karmaşık problemlerin de alt problemi olması sebebiyle oldukça önemlidir.

Diğer yandan, parametrik üretim verilerinin güncel ve güvenilir olması gerekmektedir. Çünkü, güncel ve doğru olmayan parametrik veriler, üretimin planlanması ve çizelgelenmesinde yanıltıcı sonuçlara neden olmaktadır. Ancak, işleme ve sıraya bağımlı hazırlık sürelerine ait verileri *güncel ve güvenilir* tutmak genellikle zordur (yanlış ölçüm, tempo takdiri vb. nedenlerle). Bu sürelerle ait *zaman*

ölçümü zaman alıcı ve maliyetli olmakla beraber, model sayısı arttıkça, ölçülecek sıraya bağımlı *hazırlık süreleri sayısı* çarpıcı bir şekilde artar.

Bu bağlamda, yapılan tez çalışmasının amacı,

- Paralel makinalarda yüke yönelik iş gönderme ilkesi ile üretim temin sürelerini kısaltan, başka bir deyişle; müşteri sürecin tedarikini fazla üretim israfına yol açmayacak şekilde sağlayan,
- Ürünler arası sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin, ürün tasarım özelliklerinden faydalanarak, bire-bir ölçüme gerek kalmadan belirlendiği,
- Sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin azaltılmasını sağlayan

bir çizelgeleme sistemi kurmaktır.

Tez çalışması kapsamında geniş çapta yapılan yayın incelemesi sonucu, yukarıda bahsedilen bütün özellikleri dikkate alan bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

2. HAZIRLIK SÜRELERİNİN ANALİZİ VE DÜŞÜRÜLMESİ

2.1 Hazırlık Kavramı ve İlgili Tanımlar

Hazırlık süreleri, iş hazırlama süreleri ile makina hazırlık süreleri olarak iki grupta toplanabilir. Makina hazırlık süresi, önceki hazırlıkta üretilmiş olan en son iyi iş parçasından, yeni hazırlıktaki ilk kabul edilebilir iş parçasının elde edilmesine kadar geçen süredir. Makinalarda hazırlık süreci aşağıdaki faaliyetleri kapsar:

- Hazırlık kontrolleri, takım ve teçhizat temizliği
- Sökme ve Yerleştirme
- Ölçüm, Ayar ve Kalibrasyonlar
- Çalıştırma / Deneme

Tez çalışması kapsamında hazırlık süreci ile ilgili kullanılan kavramların tanımlarının yapılması uygun olacaktır.

Hazırlık adımları: Makinanın hazırlık ile ilgili boş kalma süresini oluşturan aşamalar

Hazırlık nesnesi: Bir hazırlıkta kullanılan nesne (takım, aparat, ürün, kalıp, ekipman, belge vb.)

Hazırlık faaliyeti: Bir hazırlık adımında, bir hazırlık nesnesinin kullanılması ile gerçekleştirilen hazırlık fonksiyonu

Hazırlık bileşeni: Herhangi bir hazırlık nesnesinin kullanıldığı bölünemez hazırlık süreci

Hazırlık işi: Bir dizi hazırlık bileşeni

Ürün tasarım özelliği: İş parçaları arasındaki hazırlık faaliyetlerinin azaltılmasını sağlayan benzerlik özellikleri

Tanımlı yapılan bu kavramların anlaşılabilirliklerine katkıda bulunmak amacı ile bu kavramları düşünsel bir örnek üzerinde irdeleyelim:

Bir eksantrik preste yapılan hazırlık adımları, bu adımlarda bulunan hazırlık faaliyetleri ve bütün hazırlık sürecinde kullanılan hazırlık nesnelere Çizelge 2.1’deki gibidir.

Çizelge 2.1 : Hazırlık adımları ve faaliyetlerinin listesi.

Hazırlık Adımı		Hazırlık Faaliyeti		Hazırlık Nesnelere
Kodu	Adı	Kodu	Adı	Kodu-Adı
1	Boşaltma	1	Sökme	A-Kalıp B-Bağlama Elemanı C-Sac Malzeme D-Üretim Emri E-İş Parçası F-Mikrometre G-Proses Kontrol Kartı
2	Ön Hazırlık	1	Makinadan götürme	
		2	Arama	
		3	Okuma	
		4	Makinaya getirme	
3	Yükleme	1	Konumlandırma	
		2	Bağlama	
4	Ayarlama	1	Ayar yapma	
		2	Numune alma	
		3	Muayene etme	
		4	Kaydetme	

Her bir hazırlık faaliyetinin bir kodu mevcuttur. Örneğin “23” kodu “Ön Hazırlık” adımıyla yapılan “Okuma” faaliyetini belirtmektedir. Örnekteki, her bir hazırlık elemanı ve kullanılan hazırlık nesnesi, Çizelge 2.1 kapsamındadır.

Çizelge 2.2’de belirtilen her hazırlık işi, sıralanmış bir grup hazırlık bileşeninden oluşmaktadır. Örneğin, 6 numaralı “Yeni kalıbı takma” hazırlık işini oluşturan hazırlık bileşenleri Çizelge 2.3’te belirtilmiştir.

Çizelge 2.2 : Eksantrik presteki hazırlık işleri ve süreleri.

Hazırlık İş No	Hazırlık İşi	Süre (dakika)
1	Kullanılmış kalıbı sökme	4
2	Kullanılmış kalıbın yerine götürülmesi	2
3	Kullanılacak kalıbın ve malzemenin okunması	1
4	Kullanılacak kalıbın getirilmesi	2
5	Kullanılacak malzemenin getirilmesi	3
6	Yeni kalıbı takma	5
7	Numune alma ve gerekli ayarların yapılması	12

Çizelge 2.3 : 6 Numaralı hazırlık işinin elemanları.

Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Süre (dakika)
1	A-31	Kalıp alt bloğunun konumlandırılması	1,2
2	B-31	Bağlama elemanının yerinin belirlenmesi	1,4
3	B-32	Bağlama elemanının sıkılması	1
4	A-31	Kalıp üst bloğunun konumlandırılması	0,9
5	A-32	Kalıp üst bloğunun, presin hareketli kısmına takılması	0,5
Toplam			5

Çizelge 2.3'ün ikinci sütunundaki kodlardaki birinci hane, hazırlık bileşenin kullandığı hazırlık nesnesini, ikinci ve üçüncü haneler ise ilgili hazırlık faaliyetini belirtmektedir. Aynı çizelgenin, 7 numaralı "Numune alma ve gerekli ayarların yapılması" hazırlık işini oluşturan hazırlık bileşenleri Çizelge 2.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 : 7 Numaralı hazırlık işinin elemanları.

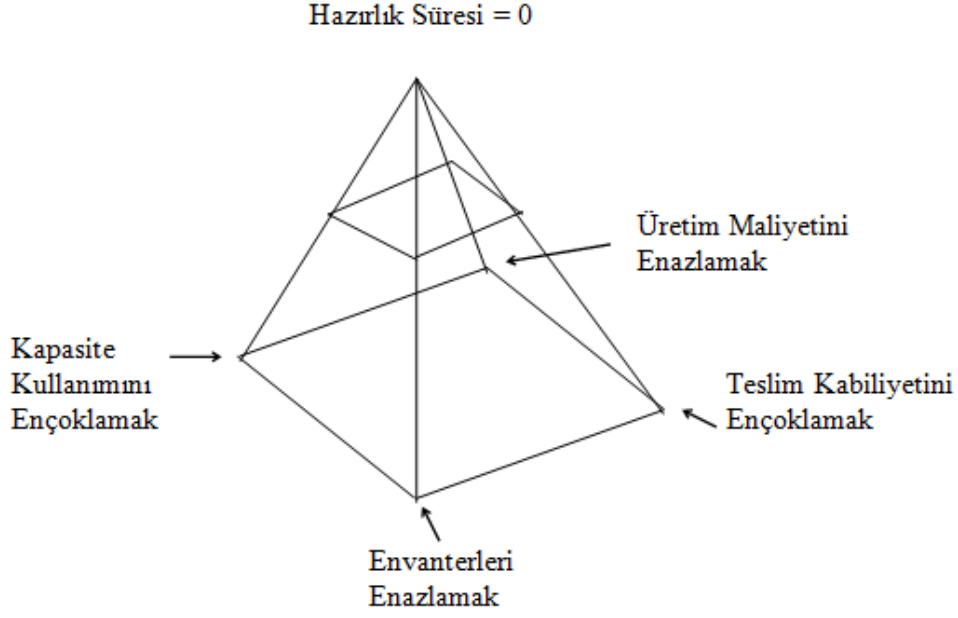
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Süre (dakika)
1	A-41	Kalıbın hiza ayarının yapılması	2
2	E-42	İlk numunenin alınması	0,2
3	E-43	Numunenin görsel kontrolünün yapılması	0,1
4	A-41	Kalıbın strok ayarının yapılması	4
5	E-42	Yeniden bir numune alınması	0,2
6	F-43	Mikrometrenin kontrol edilmesi	0,2
7	E-43	Numunenin muayene edilmesi	0,8
8	A-41	Eğer uygun değilse, tekrar ayar yapılması	3
9	E-42	Numune uygunsa, iki tane numune daha alınması	0,4
10	E-43	Yeniden iki adet numunenin ölçülmesi	0,6
11	G-44	Üç numune değerinin proses kontrol kartına kaydedilmesi	0,5
Toplam			12

2.2 Hazırlık Süresi ve Üretim Sistemleri

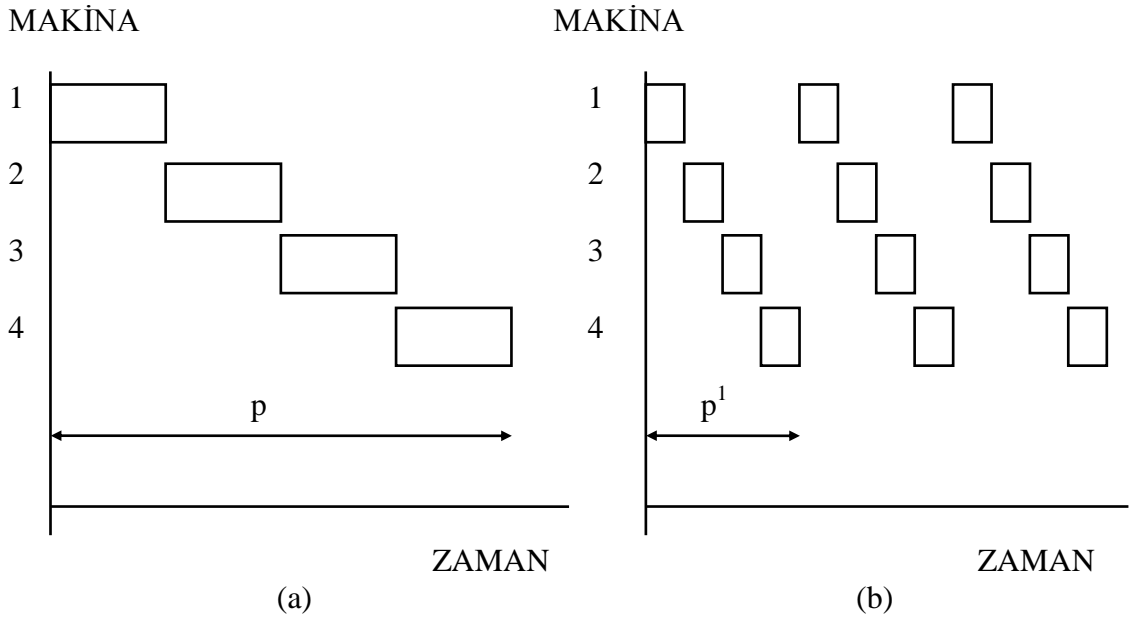
Üretim sistemlerinde temin sürelerini düşürmek için hazırlık sürelerini düşürmek büyük önem arz etmektedir (Durmuşoğlu, 2005). Şekil 2.1’de üretimin hedefleri görülmektedir. Piramidin temelinde, kapasite kullanımı, envanter miktarı, üretim maliyeti ve teslim kabiliyetine ait hedefler bulunmaktadır. Burada teslim kabiliyeti, temin süresi, üretim hacmi ve kaliteyi içerir. Temin süresinin azalması, üretim hacmi ve kalitenin artışıyla kabiliyet artar. Piramidin temelinde bulunan bu sözkonusu hedefler, birbirleri ile çelişmektedir. Örneğin kapasite kullanımını yüksek tutmak amacıyla yapılan fazla üretim sonucu, proses içinde daha fazla stok oluşur. Bu stokların artması üretim maliyetlerini artırır. Hazırlık sürelerini düşürme ile piramidin tepesine kayma başlar. Böylece dört hedefi birbirine yakın bir şekilde karşılamak kolaylaşır.

O halde önemli olan hazırlık sürelerinin düşürülmesidir. Düşük hazırlık süreleri, küçük parti üretimini mümkün kılar. Küçük parti üretimi ise, proses içindeki çevrim stoklarını düşürür ve Şekil 2.2’de gösterildiği gibi ürünlerin üretim temin sürelerini kısaltır.

Küçük parti üretiminin diğer bir avantajı da birden fazla çeşitte ürünün aynı periyotta üretilmelerini sağlamasıdır. Böylece birçok ürünün aynı zamanlarda bir makina önüne gelme olasılığı artmaktadır. Bu durumda ürünlerin çizelgenmesindeki ana amaç, toplam hazırlık sürelerinin düşürülmesi olmalıdır. Böylece hazırlık süresi düşürmenin faydaları yakalanmış olur.



Şekil 2.1 : Daha kısa hazırlık sürelerinin üretim hedeflerini birbirine yakınlaştırması (Durmuşoğlu, 2003a).



Şekil 2.2 : Büyük parti (a) ve Küçük parti (b) üretimi esnasında oluşan bir ürüne ait temin süreleri (Durmuşoğlu, 2003a).

Hazırlık sürelerinin düşürülmesinin üretim ortamındaki doğrudan etkileri topluca aşağıya çıkarılmıştır:

- Parti miktarlarının düşürülmesi (hazırlık sayısı artabilir).
- Proses içi stokların düşürülmesi.
- Üretim temin sürelerinin kısalması.
- Mamul envanterinin düşürülmesi.
- Üretim için gerekli olan fiziksel alanın azalması.
- Üretim sisteminin etkinliğinin ve esnekliğinin artırılması (imalatın gerçek talep kadar yapılabilmesi.)
- İsrafın azaltılması.
- Üretim maliyetlerinin düşürülmesi.
- Kalitenin artırılması.
- İşgören üretkenliğinin artırılması (üretken olmayan işlerin azaltılması veya yok edilmesi).
- Donanım sahipliğine karşı duyarlılığın artması (işgörenler sadece üretimden değil, aynı zamanda hazırlıklardan sorumludur).

2.3 Hazırlık Sürelerinin (veya Maliyetlerinin) Düşürülmesinde İzlenen Geleneksel Stratejiler

Hazırlık süresi üretken olmayan bir zaman dilimidir. Uzun hazırlık sürelerinin, makina kullanımı üzerindeki kötü etkisini azaltmak için çeşitli stratejiler izlenmektedir. Bunlardan en popüler olanları şunlardır:

- İşgörenlerin ve hazırlıkçıların, yetenek ve bilgilerinin artırılması amacıyla eğitilmeleri
- Hazırlık işlerinde uzman insanların çalıştırılması
- Büyük partilerle imalat yapılması (Çizelge 2.5 ve 2.6)
- Ekonomik parti miktarı vasıtasıyla hazırlık maliyetleri ile envanter maliyetlerinin dengelenmesi
- Birbirine benzer hazırlık işlerine sahip olan partilerin arka arkaya getirilmesi. (Sıraya bağımlı hazırlık işleri)

Ancak tüm bu stratejiler hazırlık işlerinin basitleştirilemeyeceği varsayımı üzerine kurulmuştur. Ayrıca stratejiler, üretken olmayan sürelerin ortadan kaldırılması yerine

onları optimize etmeyi amaçlamaktadır. Çizelge 2.5, 2.6, 2.7 ve 2.8, değişik hazırlık süreleri ve imalat parti miktarları için, birim işlem süresindeki değişimleri göstermektedir. Çizelge 2.5, 2.6 ve 2.8’de görülen Oran 1 ve Oran 2’deki değerler, birim işlem sürelerinin sırası ile birinci ve ikinci satırdaki birim işlem süresine bölünerek belirlenmiştir.

Çizelge 2.5 : Hazırlık süresi ve parti miktarı arasındaki ilişki – 1
(Durmuşoğlu, 2003a).

Hazırlık Süresi	Parti Miktarı	Her Birimin İşleme Süresi	Birim İşlem Süresi	Oran 1 (%)	Oran 2 (%)
4 saat	100	1 dak.	1 dak. + (4x60/100) =3,4 dak.	100	
4 saat	1000	1 dak.	1 dak. + (4x60/1000) = 1,24 dak.	36	100
4 saat	10000	1 dak.	1 dak. + (4x60/10000) =1,024 dak.	30	83

Çizelge 2.6 : Hazırlık süresi ve parti miktarı arasındaki ilişki – 2
(Durmuşoğlu, 2003a).

Hazırlık Süresi	Parti Miktarı	Her Birimin İşleme Süresi	Birim İşlem Süresi	Oran 1 (%)	Oran 2 (%)
8 saat	100	1 dak.	1 dak. + (8x60/100) =5,8 dak.	100	
8 saat	1000	1 dak.	1 dak. + (8x60/1000) =1,48 dak.	26	100
8 saat	10000	1 dak.	1 dak. + (8x60/10000) =1,048 dak.	18	71

Çizelge 2.7 : Hazırlık süresi ve parti miktarı arasındaki ilişki – 3
(Durmuşoğlu, 2003a).

Hazırlık Süresi	Tasarruf Edilen Hazırlık Süresi	Günde Çalışma Saati	Kazanılan Gün
4 saat	4 x 9 = 36 saat	8 saat	4.5
8 saat	8 x 9 = 72 saat	8 saat	9

Çizelge 2.8 : Hazırlık süresi ve parti miktarı arasındaki ilişki – 4
(Durmuşoğlu, 2003a).

Hazırlık Süresi	Parti Miktarı	Her Birimin İşleme Süresi	Birim İşlem Süresi	Oran 1 (%)
3 dak.	100	1 dak.	1 dak. + (3/100) = 1,03 dak.	100
3 dak.	1000	1 dak.	1 dak. + (3/1000) = 1,003 dak.	97

Çizelge 2.5'te görüldüğü gibi, parti miktarının 100' den 1000' e çıkarılması birim işlem süresinde %64 lük (%100-%36) bir kısalmaya neden olmaktadır. Parti miktarı 1.000' den 10000' e çıkarıldığında ise işlem süresinden kazanç %17 (%100-%83) olmaktadır. Diğer bir deyişle küçük partileri büyütmek, büyük olanlara nazaran daha iyi sonuçlar vermektedir. Hazırlık sürelerinin daha uzun olduğu durumlarda ise kazanç daha da yüksek olmaktadır (Çizelge 2.6).

Çizelge 2.7'de ise, parti miktarını 10 misli arttırma sonucu, 9 kez az hazırlık yapılacağından, tasarruf edilen süreler görülmektedir. Bu süreler 8 saatlik hazırlık süresinde 72 saate ulaşmaktadır. Ancak büyük partilerle üretim stratejisi, hazırlık sürelerinde köklü kısaltmaların mümkün olmayacağı varsayımı üzerine kurulmuştur. Kısa hazırlık sürelerinde stratejinin sağladığı fayda Çizelge 2.8'de gösterilmektedir. Eğer hazırlık süreleri 3 dakikaya indirilebilirse stratejinin getirdiği fayda, başka bir deyişle parti miktarlarının 10 misli arttırılması sonucu elde edilen kazanç, %3 olmaktadır. 10 misli büyük parti miktarı ile 9 kez az hazırlık yapıldığına göre, 3 dakikalık hazırlık süreleri ile ancak toplam 27 dakika tasarruf edilmiş olur.

2.4 Hazırlık Süresi Düşürmede Yaklaşımlar: SMED, OTED ve NOTED

SMED (İng: Single-Minute Exchange of Die), hazırlık süresinin dakika cinsinden tek haneli sayı (9 dakika ve 59 saniye içinde) olması anlamındadır. Bu kavram Shingo (1985) tarafından geliştirilmiştir. Eğer hazırlık süresi bir dakikadan daha az bir süreye düşürülürse, OTED (İng: One-Touch Exchange of Die) yöntemi adını alır. NOTED (İng: Nontouch Exchange of Dies) fikrinde ise, takım-tertibat ve kalıpların değişimi, otomatik takım ve palet değiştiricili bir işleme merkezinde olduğu gibi otomatiktir.

Hazırlık sürelerinin düşürülmesi, üretken olmayan işlerin ortadan kaldırılması veya dışsal olarak yapılması ile gerçekleşebilir. Burada içsel hazırlık ve dışsal hazırlık olmak üzere iki yeni kavram ortaya çıkmaktadır.

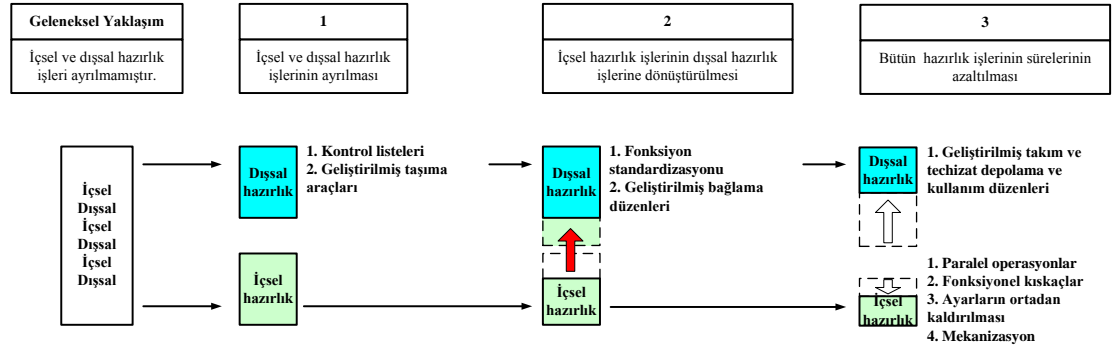
İçsel Hazırlık: Yapılabilmesi için makinanın durmasını (üretim yapılmayan duruşlar) gerektiren hazırlık işleridir (Torna ayaklarının tornalanması, eksen ayarları, CNC programının yüklenmesi vb.).

Dışsal Hazırlık: Makina çalışıyor iken (üretim yapılıyor iken) bir sonraki partinin hazırlığı için yapılabilecek işler (Torna bağlama ayaklarının aranması, işlenecek partinin tezgahın yanına taşınması, CNC programın yazılması vb.).

SMED kapsamında hazırlık sürelerinin düşürülmesi için izlenecek aşamalar şunlardır:

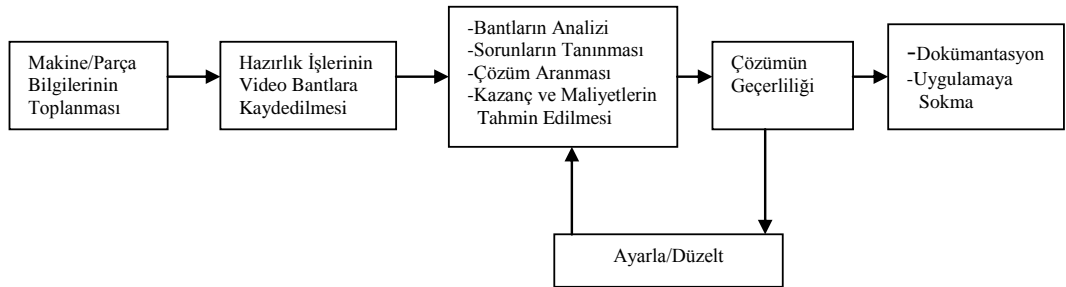
- İçsel ve dışsal hazırlık işlerinin ayrılması
- İçsel hazırlık işlerinin dışsala dönüştürülmesi
- Hazırlık işlerinin ortadan kaldırılması (Shingo, 1985).

Birinci adımın gerçekleştirilmesi ile bir sonra işlenecek partinin dışsal işleri, mevcut parti işlem görürken yapılabilecektir. SMED tekniğinde, dışsal'a dönüştürme (ikinci adım) ve ortadan kaldırma (üçüncü adım) aşamaları arasında belirgin bir çizgi yoktur. Bir hazırlık işi, örneğin, makine durdurulduktan sonra yapılan takımın takımhaneden alınması işi önce dışsal'a dönüştürülebilir, daha sonra her hücreye bir takım grubu tahsis edilerek bu arama ve taşıma işi ortadan kaldırılabilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : SMED adımları (Shingo, 1996).

Adım 1-İçsel ve Dışsal Hazırlık İşlerinin Belirlenmesi: İçsel ve dışsal hazırlık işlerinin belirlenmesi için öncelikle makina hazırlık sürecinin detaylı analizi yapılmalıdır. Analizin kademeleri Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4 : Hazırlık işleri belirleme ve analiz süreci (Durmuşoğlu, 2005).

Makina/Parça bilgilerinin toplanmasının amacı; parçalara, bağlama aparatlarına ve makinalara ait bilgilerin toplanmasıdır. Bunlar, video bant kayıtları boyunca gerekli olmayacak ancak analiz safhasında bu bilgilere ihtiyaç duyulacaktır. Video çekimleri başlamadan önce işgörene ve/veya ayarcılara amaçlar anlatılmalı ve çekimin onların performanslarını gözlemeye yönelik olmadığı belirtilmelidir. Video bant analizinde şu aşamalar izlenmektedir:

- Hazırlık adımları, faaliyetleri ve nesnelere listesinin oluşturulması
- Sıra ile her bir hazırlık bileşeninin hangi hazırlık faaliyetine (sökme, bağlama, arama, ayar, ölçme, muayene) dâhil olduğunun belirlenerek tanımlanması ve süresi ile kullanılan hazırlık nesnesinin belirlenmesi
- Hazırlık bileşenlerini gruplandırarak hazırlık işlerinin oluşturulması
- Hazırlıktaki her işin süresinin (veya başlangıç-bitiş zamanlarının) belirlenmesi

Bu aşamalardan sonra sorunlar belirlenip, çözüm arama çalışmaları başlatılır. Birçok hazırlık işi makina çalışırken yapılabilecek iken genelde yaygın olan uygulama şekli, bu hazırlıkların (yani yeni partinin alınması, takımların hazırlanması, bağlama aparatlarının hazırlanması vs.) makina duruyorken yapılmasıdır.

Bir hazırlık işinin dışsal olarak yapılıp yapılamayacağına karar verebilmek için öncelikle o işin aşağıdaki sınıflardan hangisine dâhil olduğuna karar verilmelidir:

- **Dışsal hazırlık işleri:** Şu anda içsel olarak yapılan ancak dışsal olarak yapılması mümkün olan işlerdir.
- **Potansiyel dışsal hazırlık işleri:** Dışsal olarak yapılabilmesi için bazı küçük değişiklikler gerektiren işlerdir.
- **İçsel hazırlık işleri:** Hazırlık teknolojisindeki değişikliklere rağmen dışsal olarak yapılması teknik olarak mümkün olmayan işlerdir.

Şekil 2.5 örnek bir hazırlığın elemanlarına ayrılmasını, Şekil 2.6 hazırlık işlerinin çubuk diyagramını ve işlerin dâhil olduğu faaliyetlerin zaman yönünden yüzde dağılımını, Çizelge 2.9 ise aynı hazırlıktaki her iş için bulunan süreleri göstermektedir.

Tezgah Adı : MAZAK CNC TORNA
 Numarası : 105
 Özel Notlar :

HAZIRLIK İŞLERİ

1. İmalat Resminin Okunması

2. Yeni Torna Ayaklarının Aranması

(Sadece parça tipi değiştirme değil, bazen, aynı parçanın farklı bir yüzü için de bu ayar gerekebilme). Parçaya uygun ayak seçiliyor. Seçim yapılırken ayaklar birbirine değmeyecek şekilde uygun olanlar seçiliyor

3. Ayakların Değiştirilmesi:

Çıkarılacak ayak uygun pozisyona getirilerek ve her bir ayak için 2 civata sökülerek çıkarılıyor (toplam 3 ayak). Yeni ayaklar tornaya takılıyor.

4. Ayakların Ayarı

Ayakların salgı kontrolü yapılıyor (delik kalemi ile). Salgıyı sıfırlamak için ayakların iç yüzeyi tormalanıyor. Tormalama yapılırken ayakların arasına bir bilezik konularak birbirlerine değmeleri engelleniyor.

5. Yeni Takımların Aranması

6. Takımların Magazine Yüklenmesi

7. Ayar Parçasının Bağlanması

8. Yeni CNC Programın Yüklenmesi

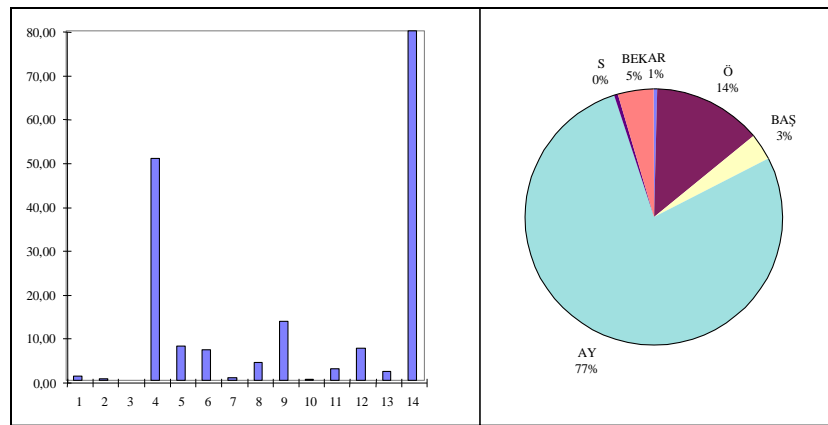
Program, NC sistem kısmında hazırlanıyor. Tezgâha yüklendikten sonra da tezgâhta bazı kısımları düzeltiliyor. Nadiren programın tümü tezgâhta yazılıyor.

9. Parça İşleme Simülasyonunun Yapılması

10. Ayar Parçasının İşlenmesi

İşleme süresince CNC program ve tezgâh üzerinde gerekli ayarlar yapılıyor.

Şekil 2.5 : Bir CNC torna tezgâhında hazırlık işlerinin belirlenmesi (Durmuşoğlu, 2003a).

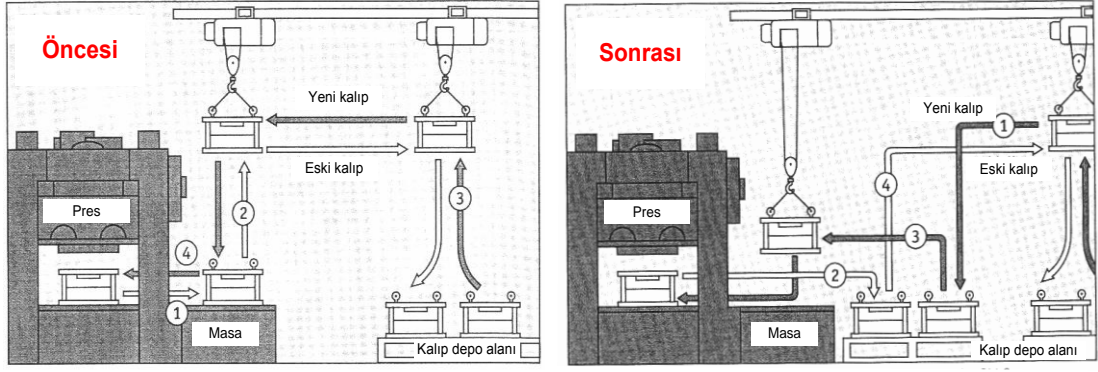


Şekil 2.6 : Hazırlık işleri çubuk ve dağılım diyagramı (Durmuşoğlu, 2003a).

Çizelge 2.9 : Hazırlık işleri etüt formu (Durmuşoğlu, 2003a).

Hazırlık İşleri Etüt Formu										
Tezgah Adı : Mazak			Tarih :/...../.....							
Tezgah No : 105			Hazırlık İşini Yapan :							
Yapılan İş : 720 cc. Kavanoz Ebişörü			Etüde Başlama Zamanı : 11.20.00							
Önceki İş : 1000 cc. Kavanoz Ebişörü			Toplam Hazırlık Süresi :							
NOT : Süreler Dakika (dk) olarak verilmiştir.										
Sıra No.	Hazırlık İş No.	Açıklama	Kümülatif Süre İlgören		Haz.Elemanının Sür. İlgören		Performans İlgören		Hazırlık Süresi İlgören	
			1	2	1	2	1	2	1	2
1	3	1. İlgören	21,25		1,25		1,00		1,25	
2	3		22,00		0,75		1,00		0,75	
3	-	2. İlgörenin çalışmaya başlaması		31,00			1,00			
4	9	2. İlgörenin çalışmayı bitirmesi		82,00		51,00	1,00	1,00		51,00
5	-		30,15		8,15		1,00		8,15	
6	3-4		37,40		7,25		1,00		7,25	
7	4		38,40		1,00		1,00		1,00	
8	4		42,85		4,45		1,00		4,45	
9	4		56,65		13,80		1,00		13,80	
10	7		57,15		0,50		1,00		0,50	
11	9		60,05		2,90		1,00		2,90	
12	9		67,65		7,60		1,00		7,60	
13	9		70,00		2,35		1,00		2,35	
14	9		150,00		80,00		1,00		80,00	
NOT : Kesici kalemler değişmedi										

Adım 2-İçsel Hazırlık İşlerinin Dışsal Hazırlık İşlerine Dönüştürülmesi: Hazırlık işleri bu şekilde sınıflandırıldıktan sonra amaç, dışsal olarak yapılabilecek hazırlık işi sayısının mümkün olduğunca artırılması olacaktır. Rahatlıkla ve önemli bir değişikliğe gidilmeden makina çalışırken de yapılabilir olmalarına karşın, hâlihazırda makina durduğu zaman yapılan hazırlık işleri varsa, bu büyük bir zaman kaybıdır. Bu tür hazırlık işleri mutlaka makina çalışırken yapılmalıdır. Bu duruma bir örnek Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7 : İçsel hazırlıktan dışsal hazırlığa dönüştürülmüş taşıma faaliyetleri (Shingo, 1996).

Şekil 2.7’de görüleceği üzere, önceki durumda işlem bittikten sonra pres durdurulmakta ve mevcut kalıp presten sökülerek, depo alanındaki yerine yerleştirilmektedir. Daha sonra bir sonraki partinin işlem göreceği kalıp depo alanından alınıp prese yüklenmektedir. İyileştirilmiş hazırlık sürecinde ise, mevcut kalıpta işlem yapılırken bir sonraki parti için gerekli kalıp depo alanından getirilerek presin yanına konulmaktadır. Mevcut parti bitirildikten hemen sonra mevcut kalıp sökülmekte ve hemen yeni kalıp prese yerleştirilmektedir. Eski kalıbın depo alanına götürülmesi de yeni kalıp ile işleme başlanmasından sonra gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde gelecek parti için gerekli kalıbın ve sökülen eski kalıbın transferini içeren hazırlık işleri içsel hazırlık işinden dışsal hazırlık işine dönüştürülmüştür.

Ayrıca, takım-tertibat ayarlarında, mümkün ise ayarların dışsal sürede yapılması uygun olacaktır. Açıkça, sadece makina tablasını kullanmak için, makina durdurulmamalıdır.

İlk yapılan bu derece basit değişikliklerle de yetinmemek gerekir. Israrla daha çok işlemin makina çalışırken yapılabilmesi sağlanmalıdır. Bunun için kalıplar ve kullanılan takımlar dâhil donanımda ne gibi modifikasyonların yapılabilir olduğu araştırılmalı ve çözümler geliştirilerek uygulamaya geçirilmelidir. Örneğin, operatörün mevcut işinden hemen sonra yapacağı işte kullanacağı kalıp veya malzemeyi koyabileceği ceplerin yapılması, “getirme-götürme” işlerini içsel hazırlıktan dışsal hazırlık işlerine dönüştürmektedir.

Adım 3-İçsel ve Dışsal Hazırlık İşlerinin Sürelerinin Azaltılması: Hazırlık işleri kendi aralarında değişse de sorunların çoğu birbirine benzerdir, dolayısıyla bir hazırlık işi için uygulanan teknik diğerlerine de başarıyla uygulanabilir. Hazırlık

işlerinin sürelerinin azaltılması için izlenecek stratejiler aşağıda belirtilmiştir (Shingo, 1996):

a) Hazırlıkların çizelgelenmesi ve planlanması: Hazırlık işlerinin organizasyonunda ilk adım, makinaların ne zaman hazırlığa gireceğinin çizelgelenmesi ve hazırlık boyunca hangi işlerin yapılacağını planlanmasıdır. Genelde hazırlıkların çizelgelenmesine karşın, hazırlık işlerinin planlanması yapılmamakta, bu da bir zaman israfı ile sonuçlanmaktadır. Planlama olmadığı için, ek işgörenler, paralel yapılacak işler için serbest olamamakta, özel takımlar hazır tutulmamakta veya malzeme taşıma araçları istenildiği anda bulunamayabilmektedir. Bu sebeple hazırlıklar sadece çizelgelenmemeli, aynı zamanda hazırlık işleri planlanmalıdır. Böylece işsel bir hazırlık boyunca ortaya çıkan beklemler yok edilebilir. Ayrıca üretim sistemi birbirinden bağımsız hücreler halinde organize edilirse hazırlığın çizelgelenmesi ve planlanması daha kolay bir hal alacaktır.

b) Kontrol listelerinin hazırlanması: Bir hazırlık işi boyunca kullanılan tüm takımlar, bağlama elemanları, aparatlar, ölçme ve muayene cihazları için kontrol listeleri hazırlanmalıdır. Böylece gerekli yardımcı donanımların hazırlık sırasında varolup olmadığı, bu listeler vasıtasıyla takip edilebilecektir.

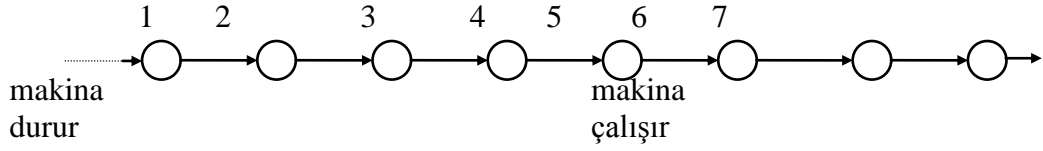
c) Takım-tertibat setlerinin kullanılması: Bir hazırlık boyunca kullanılacak tüm araç-gereçler birlikte muhafaza edilebilirler. Böylece işgörenin, ihtiyacı olan tüm yardımcı donanımları tek bir yerde araması mümkün olacaktır.

d) Takım-tertibatın bilenmesi/onarımı ve fonksiyon kontrollerinin gerçekleştirilmesi: Her işlemten sonra takım ve tertibatın bir sonraki işlem için, depolanan yere gitmeden önce kullanılabilir olup olmadığı dışsal sürelerde izlenmeli, gerekirse bileme/onarım yapılmalıdır. Amaç, işsel hazırlığa başlandığında takım-tertibatın, bileme ve/veya onarım gerektirmeyecek durumda olmasıdır.

e) Hazırlık işlerinin paralel yapılması: Bazı durumlarda hazırlık işinin yapılması için iki veya daha fazla sayıda işgören çalışabilir. Böylece hazırlık işleri paralel gerçekleştirilir. Ayrıca tek bir işgörenin yapacağı yürüme, taşıma, yer değiştirme gibi israflar ortadan kaldırılabilir. Yardımcı işgören kullanılarak hazırlık sürelerinin düşürülmesine bir örnek verelim:

Prete hazırlık işlerinin analizi yapılacaktır. İşgören presin yanından ayrılmamaktadır. Bu nedenle içsel hazırlık işlerini dışsal hale getirebilmek için, yardımcı işgören kullanılmaktadır.

Önceki durumda toplam içsel hazırlık süresi 57 dakika olup, buna ilişkin bilgiler Şekil 2.8’de ve Çizelge 2.10’da görülmektedir.

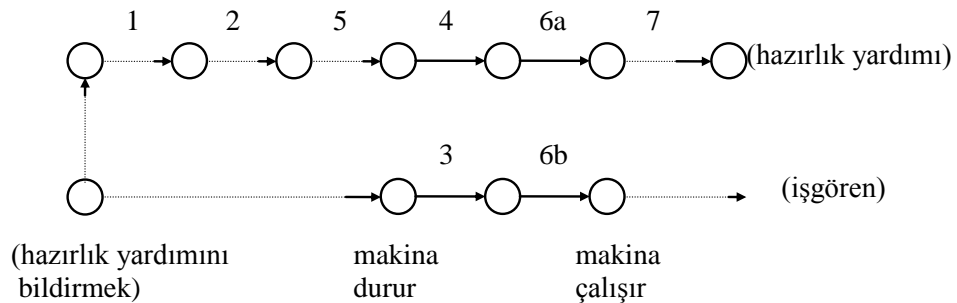


Şekil 2.8 : Tek işgörenli akış (Durmuşoğlu, 2003b).

Çizelge 2.10 : Tek işgörenli yapı (Durmuşoğlu, 2003b).

Adım No	Hazırlık İşi	İçsel/Dışsal	Gerekli Süre (dak.)	Hazırlık Yapan
1	Yeni kalıbı arama	İçsel	3	İşgören
2	Yeni kalıbın transferi	İçsel	10	İşgören
3	Kullanılmış kalıbı sökme	İçsel	2	İşgören
4	Yeni kalıbı takma	İçsel	2	İşgören
5	Yeni malzemenin transferi	İçsel	10	İşgören
6	Ayar	İçsel	20	İşgören
7	Kullanılmış kalıbın transferi	İçsel	10	İşgören

Sonraki (düzeltilmiş) durumda kalıp ve malzeme transferi makine durmadan ve yardımcı tarafından yapılmaktadır. Ayrıca sökme-takma ve ayar işleri ise paralel olarak gerçekleştirilmekle beraber, ayar süresi 20 dakikadan 15 dakikaya düşürülmüştür. Böylece toplam içsel hazırlık süresi 10 dakika’ya düşmektedir. Buna ilişkin bilgiler ise Şekil 2.9’da ve Çizelge 2.11’de görülmektedir.



Şekil 2.9 : Yardımcı işgörenli akış (Durmuşoğlu, 2003b).

Çizelge 2.11 : Yardımcı işgörenli yapı (Durmuşoğlu, 2003b).

Adım No	Hazırlık İşii	İçsel/Dışsal	Gerekli Süre (dak.)	Hazırlık Yapan
1	Yeni kalıbı arama	Dışsal	3	Yardımcı
2	Yeni kalıbın transferi	Dışsal	10	Yardımcı
5	Yeni malzemenin transferi	Dışsal	10	Yardımcı
4	Yeni kalıbı takma*	İçsel	2	Yardımcı
6a	Ayar**	İçsel	7	Yardımcı
3	Kullanılmış kalıbı sökme*	İçsel	2	İşgören
6b	Ayar**	İçsel	8	İşgören
7	Kullanılmış kalıbın transferi	Dışsal	10	Yardımcı

* ve ** : işgörenlerin aynı zamanda yaptığı işler

f) İşlem sıralarının gözden geçirilmesi: İşlem sıraları geliştirilebilir ve tekrarlı işlerin ortadan kaldırılması ile daha etkin olur. Örneğin, hücrelerde toplanan parçalar için aynı takımın gerekmesi durumunda, takımın aranıp bulunması ile geçecek zaman ortadan kaldırılabilir.

g) Takımların makinalara tahsis edilmesi: Takımların belirli makinalarda kullanılması ile takım arama ve getirme için harcanan süreler ortadan kaldırılmaktadır. Bunun için ek takımlar alınması (veya imal edilmesi) ve makinalara yakın bir yerde tutulması gerekmektedir (Şekil 2.10).

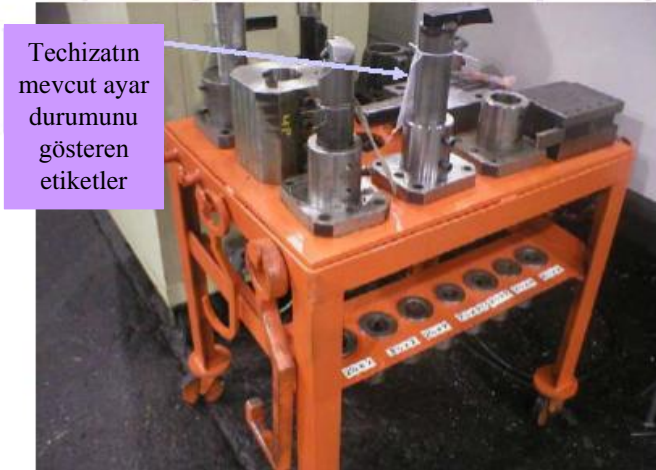


Şekil 2.10 : Makinalara tahsisli takımlar.

h) Tertibatın iş istasyonlarına tahsis edilmesi: Tertibatlar, iş istasyonlarına tahsis edilmelidir. Bir iş istasyonu birkaç makinadan oluşabilir veya bir hücre olabilir.

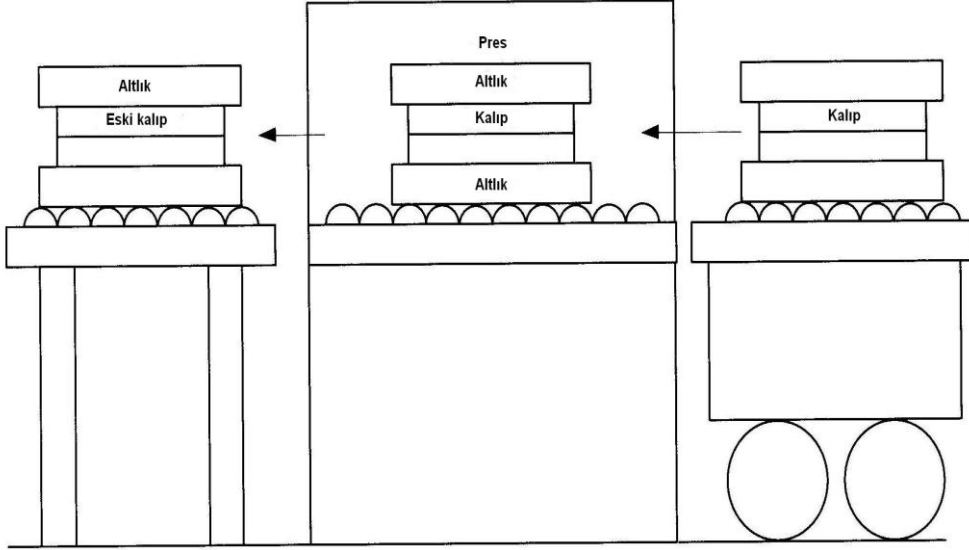
Takımlar yerine göre sadece bir makinarya atanırken, tertibatların birbirine yakın bir grup makinarya atanması yeterlidir. Nadiren, örneğin iki ayda bir kullanılacak tertibatlar merkezi depolanırlar.

i) Tertibat ve takım depolama alanlarının organizasyonu: Kalıpları, makinalardan uzak depolarda saklamak, taşıma ile vakit kaybedilmesine yol açar. Özellikle ortak kullanılan takım ve tertibatlar, en kolay erişilebilir yerde olmalıdır ve bunların takibi sıkı bir şekilde yapılmalıdır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : Etkin takım/tertibat depolama örnekleri (Url-1).

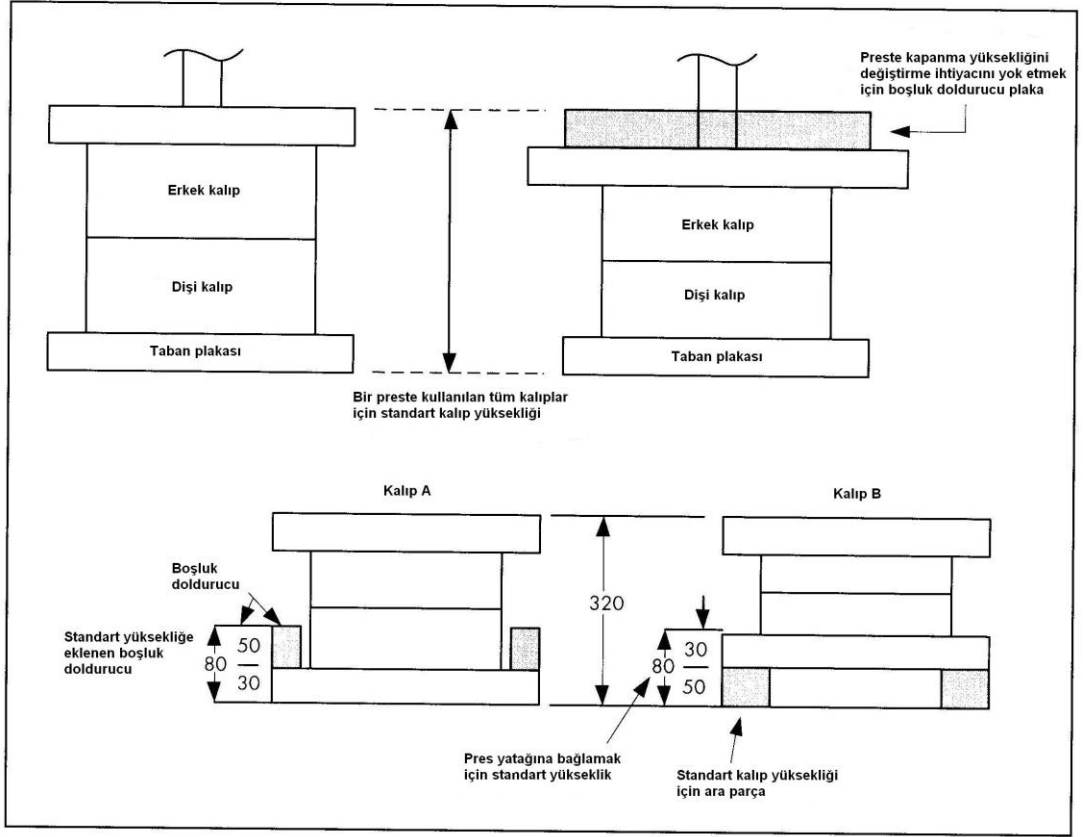
j) Kalıp değiştirmede rulmanlı arabalar ve masalar: Kalıp değiştirmede hem bir önceki kalıbın çıkarıldıktan sonra üzerine hemen yerleşeceği, hem de aynı anda bir sonraki kalıbı taşıyan ve yerine takılmasını kolaylaştıran rulmanlı sistemler ya da taşıyıcılar (arabalar) kullanılmalıdır. Bu tür “mekanizasyon” bir kalıptan ötekine geçiş süresini kısaltacaktır (şekil 2.12).



şekil 2.12 : Rulmanlı taşıyıcı ve kayar yüzeyli kalıp masası (Durmuşoğlu, 2005).

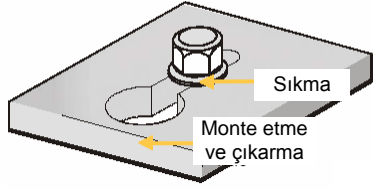
k) Kalıp/Makina standardizasyonu: Kalıp bağlama sırasında makinaları ayarlama (İng: Adjustment) gereğini önlemek de zaman tasarrufu sağlayacaktır. Bunun için bağlama sürecinde kullanılan kalıp ve makina bölümlerinde standartlaşmaya gitmek

önemlidir. Örneğin, kalıpların yüksekliklerinin standardizasyonu strok ayarlarını, kalıp tabanı standardizasyonu ise farklı cıvata ihtiyacını ortadan kaldırır.

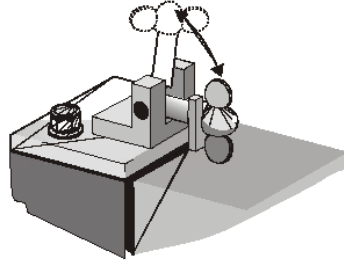


Şekil 2.13 : Kalıp standardizasyonu (Shingo, 1996).

1) Sıkma işlemini azaltan bağlantı tertibatları: Mengene ve bağlayıcıları vida ve cıvata gerektirmeyecek şekilde tasarlamak da zaman tasarrufu sağlar. Böylece işçiler çok daha kısa sürede sıkıştırma ve gevşetme işlemlerini yapabileceklerdir. Örneğin, bağlamada vida yerine “armut” şeklindeki deliklere oturma yöntemini tercih etmek daha doğrudur.



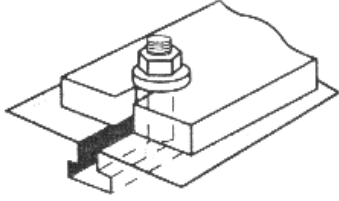
Armut şekilli boşluk yöntemi



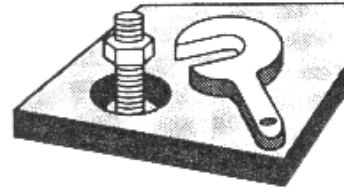
Klips yöntemi



Kıskaç yöntemi



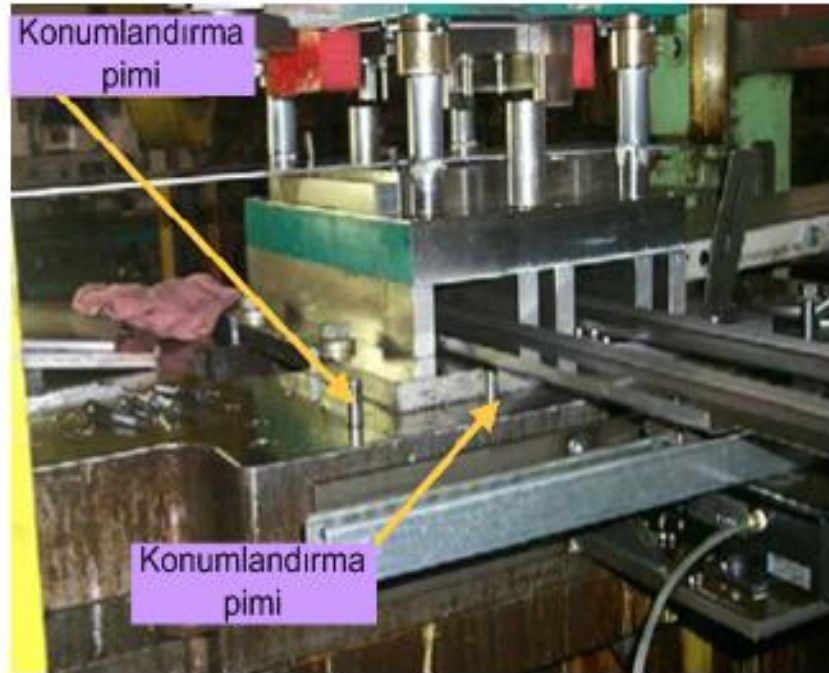
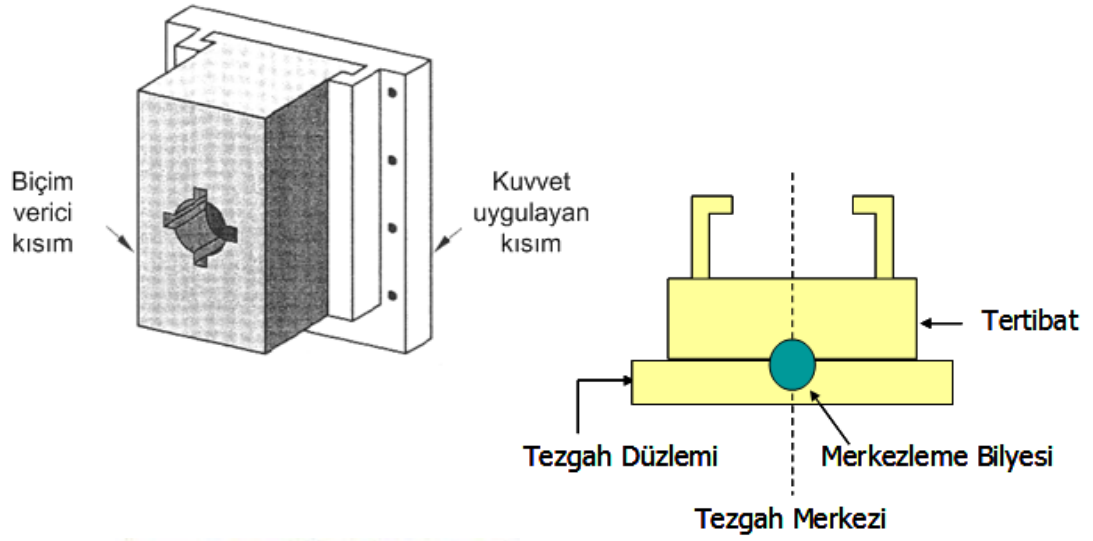
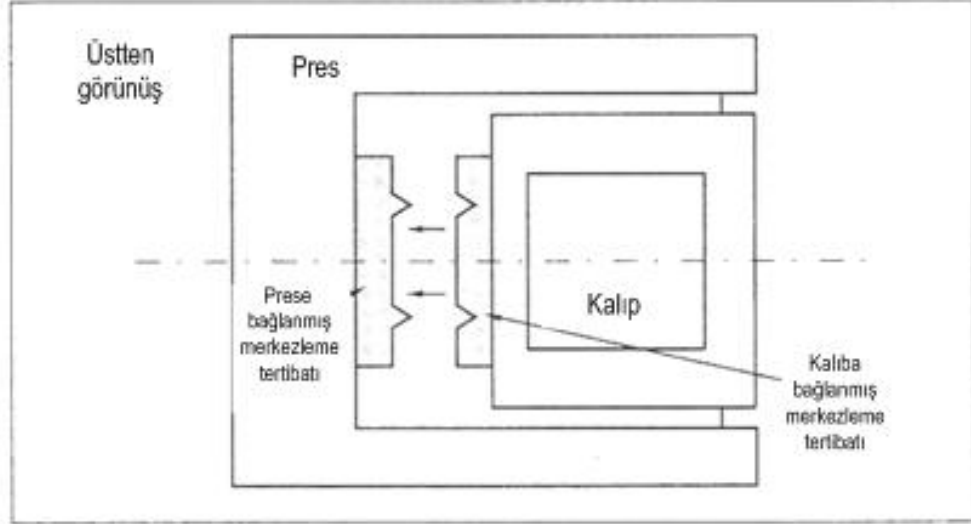
U-kanalı yöntemi



C ağızlı anahtar yöntemi

Şekil 2.14 : Etkin bağlama tertibatları (Shingo, 1996).

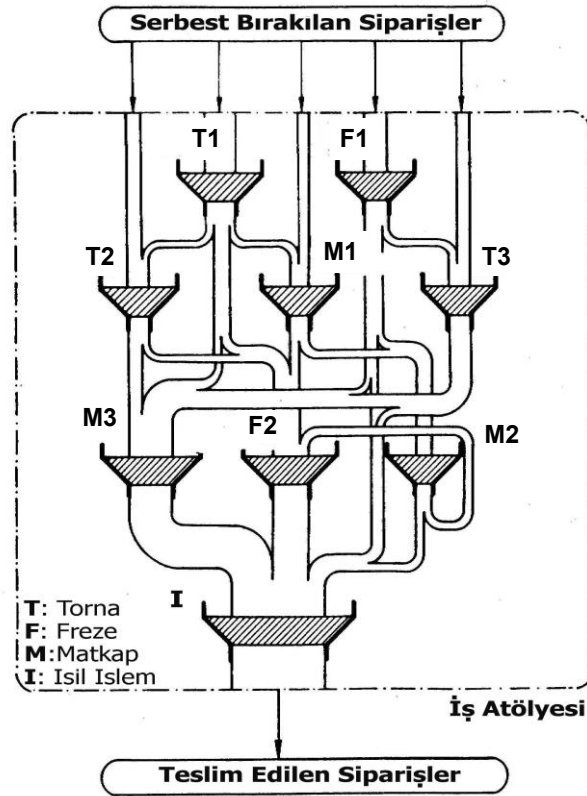
m) Ayarların ortadan kaldırılması: Kalıp değiştirme süresinin %50 kadarı, bir kalıp takıldıktan sonra yapılan ayarlama ve deneme çalışmalarıyla harcanır. Oysa bu zaman kaybı, kalıbın ilk anda tam gerektiği şekilde yerine oturması sağlanırsa, kendiliğinden önlenmiş olacaktır. Burada kullanılabilir yöntemler arasında kalıbın bir dokunuşta (İng: One-touch setup) yerine oturabileceği “kaset” sistemleri, ya da makinaya eklenecek limit anahtarları sayılabilir. Böylece kalıp takıldıktan sonraki ayarlama işlemine gerek kalmaz (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 : Ayar işlerini ortadan kaldıran tertibatlar (Shingo, 1996).

3. İŞ YÜKÜ BAZLI SİPARİŞ YÖNETİMİ

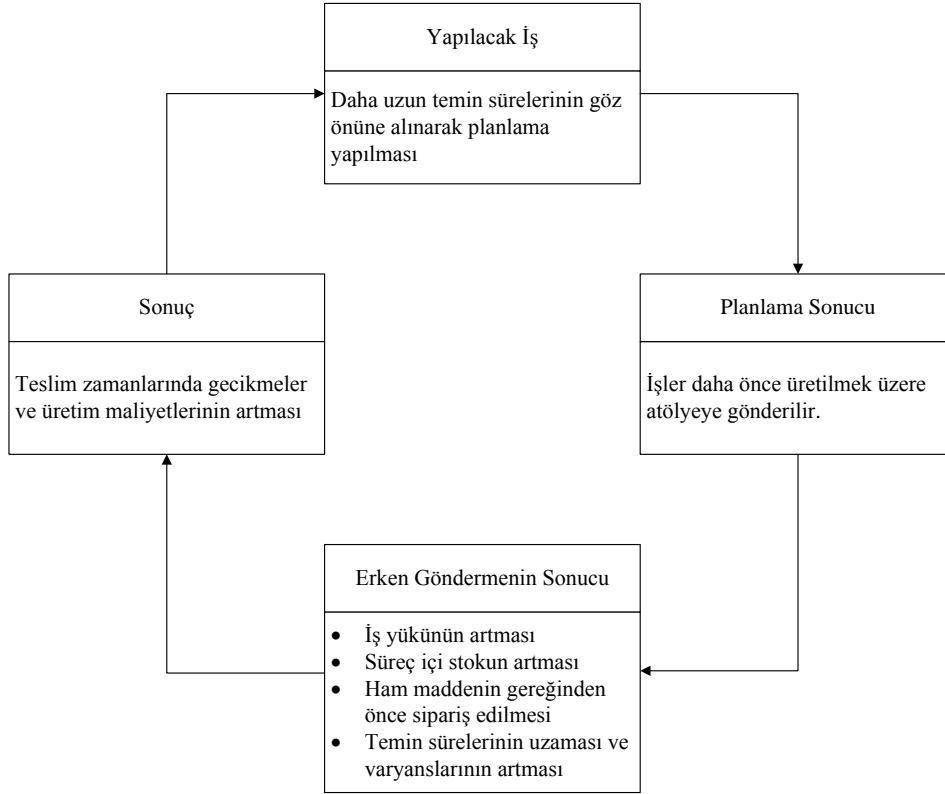
İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi (İng: Load-Oriented Order Release) bir iş atölyesinde işlerin gerçek girdisini planlanan çıktıya göre dengeleyerek akış zamanlarını kontrol eden bir yöntemdir. Problem sadece ilk iş istasyonunun değil, akış boyunca yer alan tüm iş istasyonlarının bir matematiksel yaklaşım kullanarak yönetilmesidir. Şekil 3.1’de her bir iş merkezi bir huni ile temsil edilmektedir. Huninin çıkış kısımları iş merkezinin kapasitesini göstermektedir. Amaç, kapasiteyi aşmadan istenilen çıktı miktarını sağlayacak iş miktarının üretim ortamına gönderimini sağlamaktır.



Şekil 3.1 : Serbest bırakılan siparişlerin tezgahlarda oluşturduğu iş yükü (Bechte, 1988).

Şekil 3.2, iş yükü ve iş serbest bırakma ile ilgili çıkmazı göstermektedir. Teslim gecikmeleri neticesinde işlerin erken serbest bırakılır. Erken iş serbest bırakılması neticesinde üretim ortamında bulunan iş hacmi artar. Bekleme ve temin süreleri uzar. Bunun üzerine uzun temin süreleri dikkate alınarak yapılan planlama yapılır ve

teslim gecikmeleri yaşanır. Bu hata çemberi ise işlerin doğru zamanlarda serbest bırakılması ile önlenir.



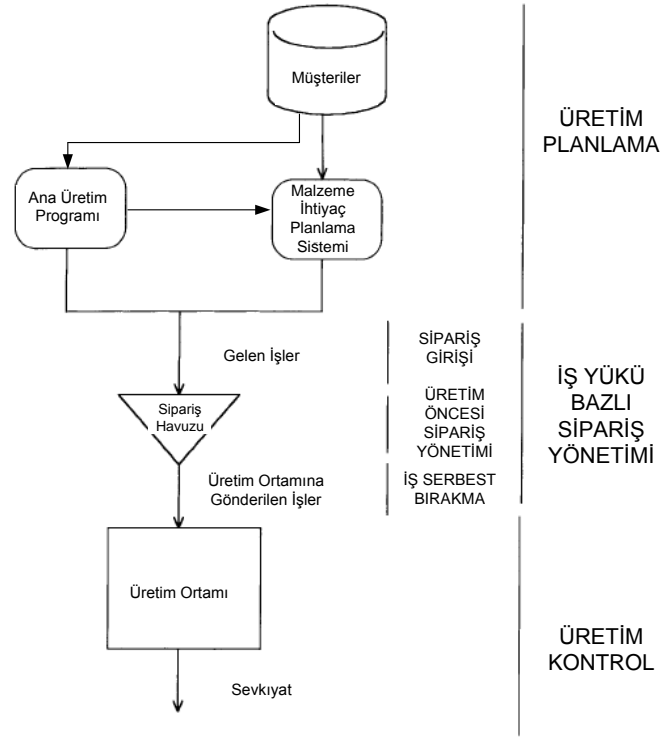
Şekil 3.2 : Üretim kontrolünde hata çemberi (Durmuşoğlu, 2005).

3.1 İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi ve Üretim Planlama Kontrol Sistematiği

İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi, siparişlerin planlama sisteminden üretim ortamına geçişini yönetir. İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi'nin üretim sistemi kontrol ve çizelgeleme yapısındaki yeri Şekil 3.3'te görülmektedir. Müşterilerden gelen ve Malzeme İhtiyaç Planlaması (İng: Materials Requirement Planning) yapılan siparişler, İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi kapsamında oluşturulan sipariş havuzundan üretim ortamına gönderilir. Bu bağlamda, İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi, hem üretim planlama ile üretim kontrol arasında hem de üretim stratejisi ile operasyonel yönetim arasında bağlantı oluşturur.

Sipariş havuzundaki işlerden bazıları, iş serbest bırakma sistematiği vasıtası ile üretim ortamına gönderilir. Bu durumda, iş serbest bırakma sistematiği, sipariş havuzundaki bütün siparişleri kontrol ederek, serbest bırakılma şartlarını sağlayan siparişlerin üretim ortamına gönderilmesini sağlar. Bu sayede süreç içi stok miktarı kontrol altında tutulurken, hem iş merkezleri arası hem de her iş merkezi için zaman

bazında iş yükü dengelenir. Bu kazanımlar ise kısalan üretim temin süreleri ve gelişen teslim performansı ile sonuçlanır.



Şekil 3.3: İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi'nin çizelgeleme ve kontrol sistemindeki yeri (Bergamaschi ve diğerleri, 1997).

“**Sipariş girişi**”, İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi'nin üretim planlama ve müşteriler ile ilişkili kısmıdır. Bu kısım, müşteri ile teslim zamanı ve fiyat konusunda uzlaşma sürecini de kapsayarak, sipariş havuzuna girdi sağlar. Ayrıca;

- İş rotaları ele alınır ve gerekirse tanımlanır. Gerekli donanım ile bilgisayar destekli tezgâhlara yüklenen yazılımlar kontrol edilir.
- Kullanılacak malzemelerin listesi ve kullanılabilirliği değerlendirilir.
- Üretim planlama ve kontrol sistemi tarafından, siparişlerin teslim zamanı belirlenir.

Kullanacağı tüm üretim kaynaklarının durumu kontrol edilen siparişler, üretim ortamına gönderilmeden önce, bekletileceği sipariş havuzuna geçirilirler.

“**Sipariş havuzu**” siparişlerle ilgili malzemelerden oluşabileceği gibi ilgili belgelerden de oluşabilir. Sipariş girişinden ayrılan siparişler sipariş havuzunda beklerken belirli bir kuyruk disiplini tutulurlar. Sipariş havuzunda, “Erken Teslim

Zamanlı Önce” ve “Erken Serbest Bırakılma Zamanlı Önce” öncelik kuralları yaygın olarak kullanılırlar.

“**İş serbest bırakma**” kısmında sipariş havuzundaki işlerin ne zaman ve hangi şartlarda üretim ortamına gönderileceği belirlenir. İş yükü bazlı serbest bırakmanın sonucunda, acil olmayan, acil olan, uygun olmayan ve serbest bırakılan sipariş listeleri üretilir (Şekil 3.10). Bazı durumlarda metot, başlamak üzere serbest bırakılmamış siparişlere ek koşullar dikkate alınarak izin verir. Örneğin, darboğaz noktalarda ekstra kapasite için özel düzenlemeler yapılabilmektedir. Şekil 3.4, herhangi bir sipariş için İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi’ne ait süreçlerin akışını göstermektedir. Şekil 3.4’te belirtilen iş serbest bırakma şartları kapasite ve/veya serbest bırakılma zamanı ile ilgilidir.

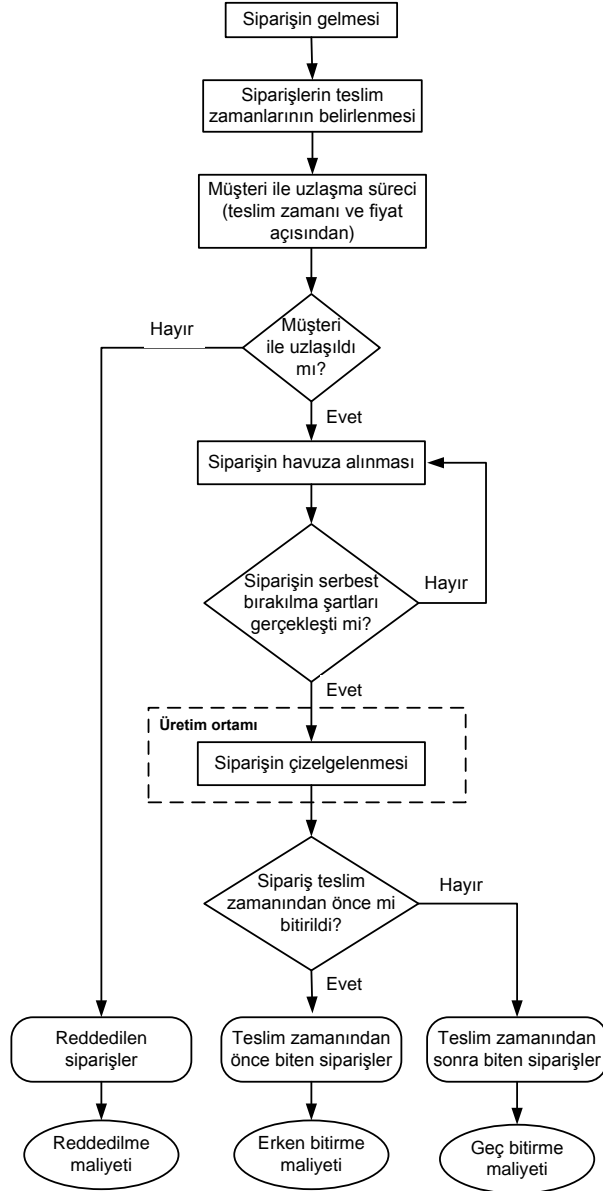
3.2. İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimine Ait Unsurların Değerlendirilmesi

İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi’nin özelliklerini irdeleyebilmek amacı ile sözkonusu sınıflandırmayı değişik boyutlarda yapmak uygun olacaktır.

3.2.1 İş Serbest Bırakma Sistematiği Açısından

Sipariş havuzundaki işler üretim ortamına gönderilirken, sıklıkla işlerin **yük miktarları** dikkate alınır. Bunun sebebi, makina yük limitleri ve dolayısı ile süreç içi stok miktarının etkin kontrolünün, işlerin yük miktarlarını dikkate alan serbest bırakma sistematiği ile daha iyi sağlanmasıdır.

İşlerin serbest bırakılma zamanlarını (İng: Release Date) dikkate almak bir diğer alternatiftir. Bu seçeneğin avantajı teslim performansında kendisini göstermektedir (Bergamaschi ve diğerleri, 1997). Bunun için her işe yönelik serbest bırakılma zamanı hesaplanır.



Şekil 3.4 : İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi dâhilindeki planlama ve kontrol sistemi akış diyagramı (Moreira ve Alves, 2008).

Serbest bırakılma zamanı, ilgili işin teslim zamanından başlamak sureti ile geri çizelgeleme yöntemi ile belirlenir. Bölünemez bir işin teslim zamanı ise aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$DD_i = ED_i + CCT_i + DLT_i \quad (3.1)$$

$$DLT_i = MatLT_i + PD + TWC_i + \sum_{w:w \in RO_i} QT_w \quad (3.2)$$

$$TWC_i = \sum_{w:w \in RO_i} [(Q_i * PT_{iw}) + ST_{iw}] \quad (3.3)$$

DD_i : i işinin teslim zamanı

ED_i : i işinin geliş zamanı

CCT_i : i işi için müşteriden onay alma süresi

DLT_i : i işi için temin süresi

$MatLT_i$: i işi için ortalama malzeme tedarik süresi

PD : Sipariş havuzunda ortalama bekleme süresi

TWC_i : i işinin toplam yükü

QT_w : w iş merkezi için ortalama kuyrukta bekleme süresi

Q_i : i işinin miktarı (adet)

PT_{iw} : i işinin w iş merkezinde işlem süresi

ST_{iw} : i işinin w iş merkezinde hazırlık süresi

RO_i : i işinin rotasında bulunan iş merkezleri kümesi

3.2.2 Serbest Bırakma Zamanı Açısından

Bu boyut, serbest bırakma sürecinin gerçekleşebileceği zamanları ifade eder. Bu boyutta **sürekli serbest bırakma** ve **periyodik serbest bırakma** olmak üzere iki seçenek vardır. Sürekli serbest bırakmada işler kapasite kısıtlarını sağladıkları anda serbest bırakılabilirler. Periyodik serbest bırakmada ise işler kapasite kısıtlarını sağlasalar da ancak belirli periyotlarda serbest bırakılabilirler.

3.2.3 İş Yükü Ölçümü Açısından

İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi'nin üretim ortamındaki etkisini değerlendirebilmek için iş yükünün doğru ölçülmesi gerekir. Bu bağlamda, iş yükü, **toplam iş sayısı**, **süre veya kapasiteye oran bazında belirtilen iş miktarı** olarak ölçülür. Örneğin, kuyruğundaki işlerin süreleri toplamı 900 dakika olan bir iş iş merkezinin, planlama dönemindeki net çalışma süresi 3000 dakika ise bu iş merkezinin iş yükü, kapasiteye oran bazında belirtilen iş miktarı esasına göre ($900/3000=$) 0,3 olacaktır. Ancak, ürün çeşitliliği ile işlem sürelerindeki değişkenliğin arttığı durumlarda ve küçük parti miktarları sözkonusu olduğunda iş yükünün toplam iş sayısı cinsinden ölçülmesi, uygulamada yanıltıcı sonuçlar doğurabilmektedir.

3.2.4 İş Yüğü Odağı Açısından

İşlerin yük miktarlarının dikkate alındığı serbest bırakma yaklaşımlarında;

- üretim ortamının toplam iş yükü miktarı,
- darboğaz niteliğindeki iş merkezlerinin iş yükü miktarı,
- sözkonusu işin rotası üzerindeki iş merkezlerinin iş yükü miktarı,

seçeneklerinden birisi göz önünde bulundurularak iş serbest bırakma süreci yürütülür. Bu seçeneklerden üretim ortamının kontrolünü en etkin şekilde sağlayan, her bir iş merkezindeki yük miktarını dikkate alan serbest bırakma sistematığıdır.

3.2.5 Zaman Bazında İş Merkezlerindeki Yük Miktarının Belirlenmesi Açısından

Üretim ortamının toplam iş yükü miktarının dikkate alındığı durumlarda, üretim ortamının belirli bir yük miktarından ne kadar ve ne zaman etkileneceğini kestirmek zor değildir. Ancak, her bir iş merkezinin yük durumlarının incelendiği durumlarda zaman bazında yük miktarlarının belirlenmesi büyük önem arz eder. Bir iş merkezi ile ilgili herhangi bir zaman periyodunda iki çeşit iş yükü mevcuttur:

- Kuyrukta bekleyen işler (doğrudan yük)
- Rotasında sözkonusu iş merkezi bulunan ve henüz bu iş merkezine ulaşmamış işler (transit yük)

Transit yük miktarını değişik şekilde değerlendirerek zaman bazında iş merkezlerindeki yük miktarının belirlenmesini sağlayan üç çeşit yaklaşım mevcuttur.

Birinci yaklaşımda doğrudan yük ve transit yük ayrımı yapılmaksızın, her bir iş merkezi için rotasında sözkonusu iş merkezini bulunduran işlerin, bu iş merkezindeki toplam işlem ve hazırlık süreleri toplanarak, iş merkezinin toplam iş yükü bulunur.

İkinci yaklaşım ön çizelgeleme gerektirir. Bu şekilde, her bir iş merkezi için transit yük konumunda olan işlerin ne zaman doğrudan yük haline geleceğini belirleyerek, rotaları dâhilinde iş merkezine sonradan gelecek işleri içeren transit yükleri, çizelgelendiği zaman periyodunda doğrudan yük olarak ele alır.

Üçüncü yaklaşımda, bir sonraki periyotta siparişin belirli bir iş merkezine ulaşması olasılığı belirlenir. İşlem süreleri, belirlenen olasılık faktörleri ile çarpılarak bir

sonraki çizelge periyodundaki yük hesabına yüklenebilir. Bu yaklaşım ile ilgili geniş bilgi, Bölüm 3.5'te mevcuttur. Bu yaklaşım işlem ve hazırlık sürelerindeki değişkenliğe, makina bozulmalarına, tedarik sistemindeki aksamalara karşı daha sağlam (İng: Roboust) bir yapıya sahiptir (Bergamaschi ve diğerleri, 1997).

3.2.6 İş Yükü Kontrolü Açısından

İş yükünün kontrolü çoğunlukla iş yüküne bir üst limit getirilmesi ile sağlanır. Bu durumda işlerin serbest bırakılmasına, bu limit aşılmadığı sürece izin verilir. Bazen iş yüküne alt limit de getirilerek, iş merkezi yüklerinin belirli sınırlar dâhilinde kalması sağlanır. Alt limitin kullanılması sadece sistemde darboğaz makinaların boş kalmasını önlemek amacı ile tercih edilmektedir.

3.3. İş Merkezlerinde Girdi-Çıktı Kontrolüne Ait Temel İlişkiler

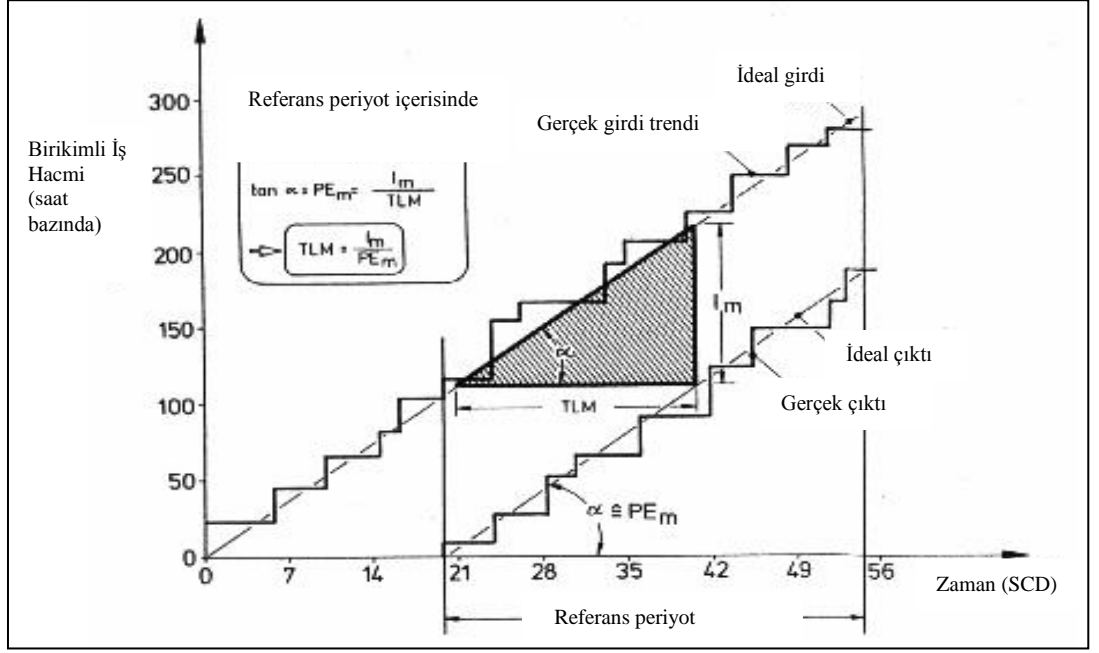
Bir iş merkezinin ağırlıklı ortalama temin süresi, o iş istasyonundaki ortalama stokun ortalama performansla bölünmesiyle bulunur. Şekil 3.5, ideal girdi ve çıktı seviyeleri ile örtülen akış diyagramını göstermektedir. İdeal girdi ve çıktı seviyelerinin sabit (ideal girdi ve çıktı doğrularınının paralel) olduğunu farzederek bir üçgen çizilebilir ve aşağıdaki geometrik eşitlikler yazılabilir;

$$\tan \alpha = I_m / TL_m \quad TL_m = \text{ağırlıklı ortalama temin süresi} \quad (3.4)$$

$$\tan \alpha = PE_m \quad I_m = \text{ortalama iş yükü} \quad (3.5)$$

$$TL_m = I_m / PE_m \quad PE_m = \text{ortalama performans} \quad (3.6)$$

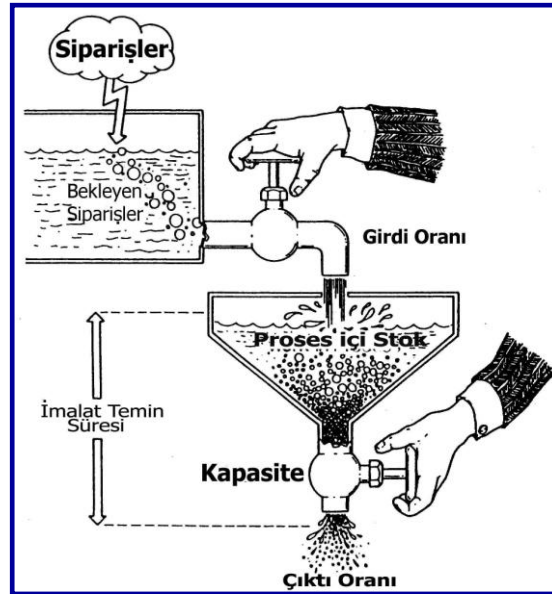
Burada temin süresi, hem gerçek temin süresi (akış süresi) hem de planlanan temin süresi olarak geniş kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Performans, akış hızı olarak da ifade edilmekle birlikte, belirli bir zaman periyodunda ölçülen çıktı oranı olarak tanımlanmaktadır. Huni eşitliği (İng: Funnel formula) olarak tanımlanan bu eşitlik, sadece analitik amaçlar için değil, aynı zamanda kontrol amaçlı olarak da kullanılmaktadır.



Şekil 3.5 : Üretimde stok, performans ve teslim süresi arasındaki ilişkiler (Bechte, 1988).

SCD: Atölye Takvim Günü, PE_m: Ortalama Performans, TLM: Ağırlıklı Ortalama Teslim Süresi

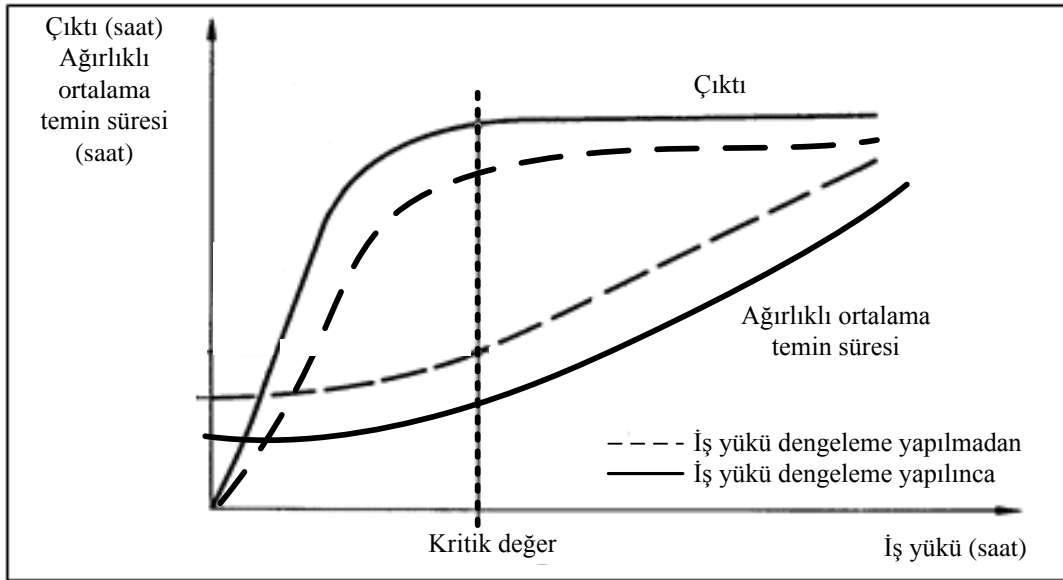
Eğer bir karar verici bir iş merkezine özel bir akış süresi sağlamak isterse, aynı karar verici sabit bir ortalama iş yükü seviyesini de sağlamak zorundadır. Bu ise, belirli bir zaman döneminde giren iş miktarının çıkan iş miktarına eşit olmasıyla sağlanabilir. Ortalama akış süresindeki değişim, ya girdideki (iş yükü) bir değişim ya da çıktıdaki (performans) bir değişim ile elde edilebilir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 : Üretim ortamında girdi çıktı kontrolü ile değişen üretim teslim süresi (Nomak, 2002).

Performans ana üretim çizelgesi tarafından belirlenir ve genellikle uzun bir zaman periyodu (örneğin; birkaç hafta) için sabitlenir. Bu, ortalama stoğun, ortalama akış süresi için temel bir kontrol değişkeni olduğu anlamına gelmektedir.

Eğer bir iş merkezindeki stok, yani girdi ve çıktı eğrilerindeki boyuna uzaklık geniş bir aralıkta seyrediyorsa, bu, ortalama akış süresi değerinde de bir değişkenliğe karşılık gelecektir. Buradan karakteristik üretim eğrileri elde edilebilir. Şekil 3.7, bu tip eğrilerin genel şeklini göstermektedir. Buradan açıkça anlaşılmaktadır ki, ortalama performans ve ortalama ağırlıklı temin süresindeki değişim ortalama iş yükünün bir fonksiyonudur. Kritik değer üzerindeki bir stok değeri için performans da artık artmayacaktır, çünkü makineleri çalıştıracak yeterince iş yeterince mevcuttur. Bu değer altında ise, artan sıklıkla boş zamanlar oluşacaktır.



Şekil 3.7 : Üretimde stokun fonksiyonu olarak temin süresi ve performans (Shimayashiro ve diğerleri, 1984).

İş yükü kritik değerini ötesinde arttırıldığında, temin süresi de iş yüküyle doğru orantılı olarak artacak ve bu sebepten performans sabit kalacak; iş merkezi huni eşitliğine uyacaktır. Bu iş yükü değerinin altındaki bir stok değeri için temin süresi, ağırlıklı ortalama operasyon süresi ve ortalama taşıma süresi toplamına kadar, iş yüküyle birlikte azalacaktır. Ayrıca, üretim ortamında benzer işleri yapan tezgâhlar arasındaki iş yükünün dengelenmesi, çıktı miktarını arttırmakla beraber, temin süresini de kısaltmaktadır.

Bu bizim için basit bir çıkarımı ortaya koymaktadır; her bir iş merkezindeki iş yükü, bu şekilde kontrol edilmelidir. Boş zamanlardan kaçınılmalıdır fakat diğer taraftan

kısa temin sürelerinin ortaya çıkması sağlanmalıdır. Uygulama gerçekleşebilecek minimum temin süresi, operasyon zamanlarının ortalama değerine ve değişkenlik aralığına bağlıdır.

Bu prensibi pratikte uygulamaya kalktığımızda bir dizi kısıtı gözönünde bulundurmak gerekmektedir. İlk kısıt, bir atölyede girdi ve çıktı eğrilerinin odaklanması gereken tek parametre olmadığıdır. Gerçek üretim akışının etkisi, kendini üç faktörde belli eder (Bechte, 1988):

- Genellikle, atölyeye verilen işlerden gelen girdi ve çıktı miktarları her zaman birbirine eşit değildir, bundan dolayı her bir atölye kontrol sistemi, girdi-çıkıtı dengesini kurmak için bir teknik aramak zorundadır. Bu kontrol döngüsünün kurulması içindir.
- Bir periyottaki iş merkezlerinin girdi ve çıktı eğrileri kesin sabit bir çizgi izlemez, bu yüzden farklı stok seviyeleri ortaya çıkarır. Bu durum, atölyeye iş serbest bırakma aşamasında kontrol edilmelidir.
- Ayrıca gelen siparişlerin iş yükü de farklı parti büyüklüklerinden dolayı oldukça büyük değişkenlik göstermektedir. Bu etki, atölye kontrol sistemi tarafından ele alınamayacaktır, fakat malzeme yönetim sistemini ilgilendirmektedir.

İkinci önemli kısıt, bir atölyedeki iş merkezlerinin esnekliği ile ilgilidir, yani işlenen siparişlerin operasyon rotaları sık sık değişebilmektedir. Bu, bir partinin bir iş merkezinde girdi ve çıktı tarihlerini önceden belirlemeyi zorlaştırmaktadır. Çünkü iş partisi çok sayıda iş merkezinden geçmektedir.

Üçüncü kısıt bir örnekle açıklayalım. Bazı siparişler, örneğin bir dişli kutusunun üst ve alt parçaları, bir iş merkezinde aynı zamanda işlenmek ve bitirilmek zorundadırlar. Ancak bunlar bu iş merkezinin öncesinde ve sonrasında farklı rotalara sahip olabilirler.

Bu kısıtlar içerisinde en önemlisi, ikinci kısıt olan, iş merkezlerindeki esnek bağlantılardır. Bu, atölyenin tüm iş merkezlerinde iş yükleri ve akış zamanlarını kontrol etmek için bir kontrol metodu geliştirilmesi demektir ve her bir sipariş için çizelgede öngörülen tahsisler gerçekleştirilmelidir. Bunun için, sipariş akışında karar faktörü, siparişlerin hangi tarihte üretim için serbest bırakılacağıdır. Bu bilgi ışığında “İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi” prensibi geliştirilmiştir (Bechte, 1988).

3.4. İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi Yapısı

İlk olarak, yeniden tek bir iş merkezi üzerinde düşünelim. Şekil 3.8, bir çizelgeleme periyodu sonundaki durumu göstermektedir. Şeklin sol tarafında, geçmiş yakın zamana ait girdi ve çıktı eğrileri ile bir sonraki periyoda ait gelecek ideal akış diyagramını görmekteyiz. Bunun yanında, bir orta-dönem çizelgelenmiş performans (PE_m) olduğu farz edildiğinde, buna karşılık gelen çıktı görülmektedir. Son olarak, kabul edilen çizelgelenmiş ortalama temin süresine erişilmelidir. İdeal akış diyagramında, girdi ve çıktı eğrileri paralel olduğundan, çizelgelenmiş ortalama iş yükü (I_m) tüm çizelgeleme periyodu (P) için sabittir.

Planlanan ortalama stok tarafından saptırılan, mevcut iş yükü (İng: Leftover inventory, ILO) olarak adlandırılan gerçek başlangıç stoğu daha büyüktür. Bu sebepten dolayı, serbest bırakılacak iş miktarı, planlanan girdi (INP) değil, iş yükü limiti (İng: Load Limit, LL) ile artık stoğun farkıdır.

Planlanan ortalama stok ve planlanan çıktı toplamı, iş yükü limiti (LL) olarak adlandırılır. İş yükü limiti ile artık stok arasındaki fark, serbest bırakılan miktardır (İng: Release, REL). Buradan geliştirilen metot, iş yükü bazlı sipariş yönetimidir.

Geleneksel kapasite çizelgeleme metotlarının aksine yöntem, çizelgelenen çıktı eğrisi boyunca saat ya da gün bazında tek siparişleri çizelgelemeye çalışmaz, ancak beklenen girdi ve çıktı seviyelerine dayanarak zaman bazlı bir denge kurar.

Bu yöntem, ticari hesaplamalarda bilinmektedir ve muhasebecilikte uygulanmaktadır. Şeklin sağ tarafı da, sembolik olarak, içinde bulunduğumuz zamanda iş merkezinin yük hesabını göstermektedir. Taralı alan mevcut iş yükünü temsil etmektedir ve boş alan serbest bırakmaya karşılık gelmektedir. Sonraki periyot için planlanan girdiler iş yükü limitine erişinceye kadar ayrılır (serbest bırakılır). Çizelgeleme periyodu boyunca, periyodun sonunda yeni bir artık stok dengesi elde edilinceye kadar, siparişler sisteme girer ve çıkar. Metodun önemli bir karakteristiği; bir iş merkezi için sadece bir hesap tutulmasıdır ve her periyotta bu hesap güncellenir. Bu sebeple, gelecek birkaç gelecek periyot için farklı hesaplar tutan geleneksel metoda ihtiyaç yoktur. Hesap tam olarak huniye karşılık gelmektedir, bunun yanısıra bu hesaptaki süreçlerin gözlenmesi, bize bu iş merkezi için kesin bir çıktı diyagramı çizmemize yardımcı olacaktır.

Bir iş merkezi için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir (Şekil 3.7);

$$REL + ILO = OUT + I_m \quad (3.7)$$

$$LL = OUT + I_m \quad (3.8)$$

$$REL = LL - ILO \quad (3.9)$$

REL: Bir çizelgeleme periyodu için serbest bırakılan iş (saat bazında)

LL: Yük limiti (saat bazında)

OUT: Planlama döneminde planlanan çıktı (saat bazında)

I_m: Planlanan ortalama iş yükü (saat)

ILO: Mevcut iş yükü (saat bazında)

INP: Planlama dönemi içerisindeki girdi (saat bazında)

Programlanan performanstaki her bir değişim için, yük limitini yeniden belirlemekten kaçınmak amacıyla, serbest bırakılacak miktar planlanan çıktı ile ilişkilendirilmelidir. Bu yönde hesaplanan değer, yükleme oranı (İng: Loading percentage, *LPG*) olarak adlandırılmaktadır ve

$$LPG = (LL / OUT) * 100\% = (I_m + OUT) / OUT * 100\% \quad (3.10)$$

$$LPG = (1 + I_m / OUT) * \%100 \quad (3.11)$$

şeklinde ifade edilir.

Bu değer sadece stok değeri *OUT* ve *I_m* ile ilişkili değil, Şekil 3.8'de görüleceği gibi aynı zamanda zaman değerleri olan *TLM* ve *P* ile ilişkilidir.

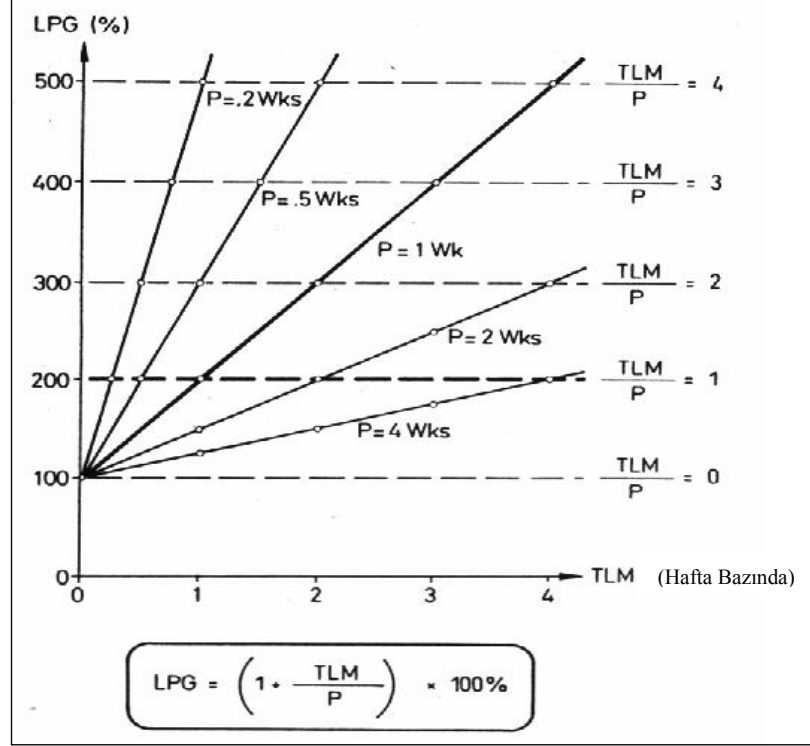
$$(I_m / TLM) = (OUT / P) \quad (3.12)$$

$$(I_m / OUT) = (TLM / P) \text{ ve } LPG = (1 + TLM / P) * \%100 \quad (3.13)$$

TLM : Planlanan ağırlıklı ortalama temin süresi (iş günü)

P : Planlama dönemi uzunluğu (iş günü)

Bu ilişki, Şekil 3.9'deki gibi gösterilebilir. *TLM* ve *P*'nin rastsal değerlerinden sonuçlanan eğrileri görebiliriz ve *TLM* 'nin *P* 'ye bölümünden üretilen eğriler birer bağımsız değişkendir. Diyagram zaman boyutundan bağımsızdır (buradaki değerler haftalık olarak verilmiştir), ancak boyut *TLM* ve *P* için aynı olmalıdır.



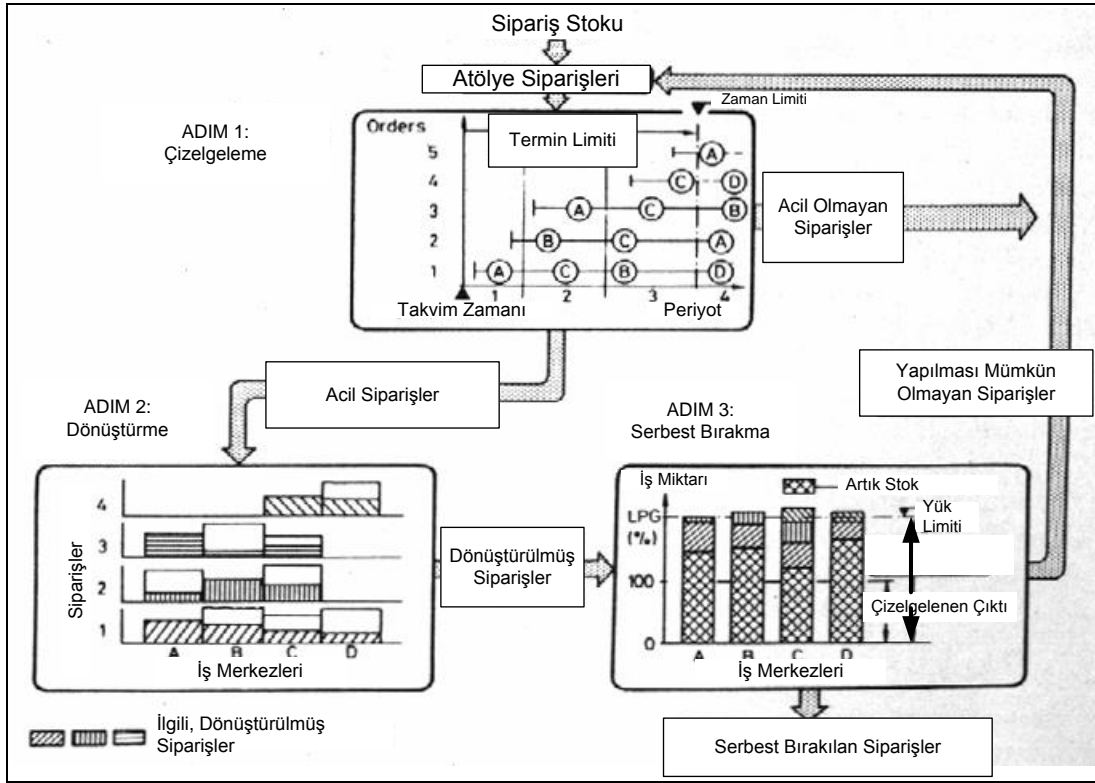
Şekil 3.9 : Planlanmış ağırlıklı ortalama temin süresinin bir fonksiyonu olarak yükleme yüzdesi ve P çizelge periyodu (Bechte, 1988).

Makina mühendisliği atölyelerinde, bir planlama döneminin uzunluğu bir haftadır, bu sebeple, operasyon başına genel ortalama 1-2 hafta temin süreleri ile yükleme oranları 200-300 olarak ortaya çıkmaktadır. Diğer durumlarda gözle görülür bir şekilde az olabilir. 10 günlük planlama dönemi ve 4 günlük temin süresi için LPG değeri 140 olacaktır.

Şekil 3.7 sabit bir temin süresi ile siparişlerin nasıl çizelgeleneceği sorusunu akla getirmektedir. Bu siparişler için mevcut kapasiteyi nasıl sağlayabiliriz?

Bu soruya cevap vermek için, siparişlerin temin zamanı çizelgelenmesi ve gelecek periyodlar için yükün yeniden hesabı dikkate alınmalıdır. Atılması gereken adımlar, Şekil 3.10'da ifade edilmiştir.

Serbest bırakma için başlama noktası; sipariş planlama esnasında atölye siparişlerinin teslim tarihleri ve miktarlarının belirlenmesi ile başlar. Bunun yanısıra, rotalar, operasyon sırası, iş merkezi numarası, hazırlık zamanı, sipariş miktarı ve bir ürün başına gerekli süre bilinmelidir. Serbest bırakma süreci için ilk adım, henüz serbest bırakılmamış tüm atölye siparişlerinin geriye doğru çizelgelenmesidir.



Şekil 3.10 : İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi'nin adımları (Bechte, 1988).

Temin süresi değeri; her bir iş merkezi için önceden belirlenen ortalama ağırlıklı temin süresi olarak kabul edilmektedir. Bu değerler temel olarak birtakım prensiplere göre belirlenmektedir. Programlanabilir hesaplama metodu için bir öneri, İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi'nin bir parçası olarak ilerleyen bölümlerde açıklanacaktır.

Geriye doğru çizelgeleme, serbest bırakma öncesi çizelgelenen başlangıç tarihlerinin sıralandığı bir sipariş listesi ile sonuçlanır. İlk siparişlerin başlangıç tarihleri geçmişte bile kalabilir. Listede, bir zaman limitinin altında kalan bu siparişler, acil siparişler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu zaman limiti ile, planlamanın yapıldığı zaman arasında geçen süre "termin limiti" (İng: Anticipation Horizon) olarak adlandırılmaktadır.

Zaman limiti belirlendiğinde, şu yargılar geçerlidir. Prensipte, sadece başlangıç tarihleri, bir sonraki çizelge periyodunun altında kalan siparişler için uygundur. Bu mümkün olmadığından ve bu siparişler iş merkezlerinin yük limiti hesabını dolduracağından, sonraki çizelge periyotlarında siparişlerin tahminine izin verilir. Sonraki adımda sonlu yükleme, yük limitinin altında kalan kapasiteden fazlasını kullanmayan, sadece mevcut çizelgeleme periyodunun ötesindeki siparişlerin serbest bırakılmasını sağlayacaktır. Gerçek üretim ortamlarında termin limiti olarak iki ila üç çizelge periyodu tercih edilmektedir, ancak bu duru matematiksel olarak

kanıtlanmamıştır. Ancak genel olarak termin limiti, mevcut sipariş stoğunun kapasite gereksiniminden süre olarak daha büyük olmalıdır.

İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi'nde ilk adımda acil olmayan siparişler listesi üretilir. Bu siparişler ertelenmiş siparişlerdir ve bir sonraki çizelgeleme periyodunda yeni gelen işlerle birlikte ele alınacaklardır. İkinci olarak, acil sipariş listesi; planlanan başlama tarihleri, iş merkezleri ve standart zamanlarla operasyon sıralarının planlanan başlangıç tarihlerine göre kararlaştırıldığı planlanan çıkış tarihleri ile birlikte üretilir. Birçok geleneksel planlama yönteminin aksine, liste, hiç bir diğer öncelik verisini içermemektedir. Öncelik için tek ölçüt, planlanan başlangıç tarihidir. Bu tarih geçmişte bile kalmış olabilir.

İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi'nde ikinci adım, sipariş rotalarına göre iş merkezi yük hesaplarının yapılmasıdır. Bunun için ileride irdelenecek olan Örnek 3.1'deki acil listesindeki 3001 no.'lu siparişin birinci operasyonu, karşı gelen iş merkezi olan A'nın yük hesabına standart zamanı (*TO*) ile yüklenmiştir. Genel olarak, bu yük hesabında yük limitine erişmek için dengeye neden olmayacaktır, öyle ki 3001 no.'lu siparişin ikinci operasyonu bu kez iş merkezi C hesabına yüklenebilsin.

Örnek 3.1'de, 3001 no.'lu siparişin ikinci operasyonu, muhtemelen iş merkezi C 'ye ikinci çizelge periyodundan önce giremeyecektir. Yük hesabı ancak bir sonraki çizelge periyodu için tutulacaktır. Diğer taraftan, ilk periyotta operasyonun iş merkezi C 'ye ulaşması olasılığı sınırlanamaz. Böyle bir olasılığı hesaplamak için, bu durumun hangi ihtimalle gerçekleşeceğinin bilinmesi gerekmektedir. Eğer bu olasılık bilinirse, ikinci operasyonun yük değeri bu olasılık faktörü ile çarpılabilir ve sonuç yük değeri, bir sonraki çizelge periyodundaki yük hesabına yüklenebilir. Bu hesaplama "sipariş zamanlarının dönüşümü" olarak adlandırılır. Eğer bu dönüşüm tüm operasyonlar için yapılırsa, yük hesabının ortalama olarak doğru yüklenmesi sağlanır. Gelecekteki siparişlerin operasyon zamanları dönüşümü, bir sonraki çizelgeleme periyodunda olasılık değerini elde etmek için ikinci adımdır ve Şekil 3.10'da "dönüşüm" olarak gösterilmiştir. Bu belki de tüm iş yükü bazlı sipariş yönetimi kavramının arkasındaki en önemli düşüncedir.

İkinci operasyondan sonra, üçüncü operasyon dönüştürülmüş sipariş zamanı ile iş merkezi B'nin yük hesabına yazılır. Aynı süreç dördüncü ve son operasyonlar için de gerçekleştirilir.

İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi'nde son adım, acil siparişlerin serbest bırakılmalarından sonra kişisel iş merkezlerinde planlanan iş yükü koşullarını tam olarak karşılayıp karşılamadıklarını değerlendirmektir. Bu herhangi bir iş merkezi yük limitinin, serbest bırakılan siparişler tarafından aşılp aşılmadığını tespit etmek için bir kontrol yapılması anlamına gelmektedir. Şekil 3.10'da, bu üçüncü adımdır ve "serbest bırakma" olarak gösterilmiştir.

Eğer 3001 no.'lu sipariş için ilgili rotadaki iş merkezlerinde yük limiti aşılmaz ise, sipariş serbest bırakılır. Diğer bir deyişle, serbest bırakılmış siparişler listesine dâhil edilir ve dört iş merkezi A, B, C ve D 'nin yük hesapları karşı gelen operasyonların dönüştürülmüş sipariş zamanları ile yüklenirler.

Şimdi aynı mantık ile 3002 no.'lu sipariş için test işlemi yapılır ve sırasıyla diğer siparişler aynı süreçte test edilirler. İlk sefer için bir hesabın yük limiti aşılp aşılmaz hesap bloke edilir. Bloke hesaba ulaşan sonraki operasyon aynı siparişin diğer tüm operasyonları ile birlikte reddedilir ve tüm sipariş uygun olmayan siparişler listesine (İng: Non-Feasible Orders List) dahil edilir. Acil olmayan siparişler ile birlikte yeniden çizelgelenen siparişler temin zamanı çizelgelemesine alınırlar ve muhtemelen serbest bırakılırlar.

3.5. Yüklenecek Siparişlerin Dönüşümü

Dönüştürmenin amacı, eğer bir siparişin ilk olarak diğer iş merkezlerine geçmesi gerekiyorsa, "Bir sonraki periyotta siparişin belirli bir iş merkezine ulaşması olasılığı nedir?" sorusuna cevap vermektir (Nomak, 2002).

Bunun için ilk olarak Şekil 3.11'deki tek bir WC_P iş merkezine bakalım. P periyodunda mevcut iş yükünde yer alan siparişler veya daha önceden serbest bırakılmış işler üretim için hazırdır. Buna karşın, siparişler ancak aynı zaman periyodunda, toplam sipariş zamanı çıktıya eşitleninceye kadar işlenebilirler.

Bundan sonra, $ILO+REL$ 'den her bir sipariş için bir sonraki periyotta P_{out_p} olasılığı;

OUT : bir periyottaki çıktı,

ILO : periyot başındaki mevcut iş yükü,

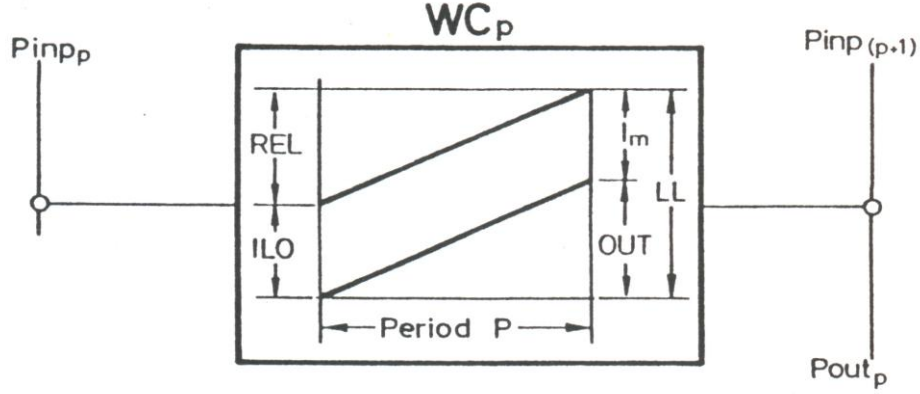
REL : serbest bırakılan işler

olmak üzere,

$$P_{out_p} = OUT / (ILO+REL) \quad (3.14)$$

Ancak,

$$ILO + REL = I_m + OUT \text{ ve } LPG = (I_m + OUT) / OUT * 100 \quad (3.15)$$



Şekil 3.11 : Bir iş merkezindeki bir sipariş için çıktı olasılığı (Bechte, 1988).

İş merkezi WC_p 'de çıktı olasılığı:

$$Pout_p = Pinp_p * OUT / (REL + ILO) \quad (3.16)$$

$$Pout_p = Pinp_p * OUT / LL \quad (3.17)$$

$$Pinp_{(p+1)} = Pout_p = Pinp_p * \frac{100}{LPG} \quad (3.18)$$

WC_p : İş merkezi p

REL : Serbest bırakınla işler

$Pinp$: Girdi olasılığı

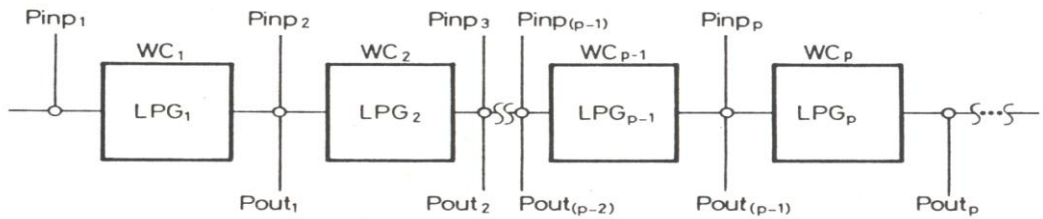
ILO : Mevcut iş yükü

$Pout$: Çıktı olasılığı

I_m : Ortalama iş yükü

OUT : Bir periyotta planlanan çıktı

LL : Yük limiti



Şekil 3.12 : Bir iş merkezindeki bir sipariş için girdi olasılığı ve dönüştürme faktörü (Bechte, 1988).

$$CF_p = Pout_1 * Pout_2 * \dots * Pout_{p-1} = \frac{100}{LPG_1} * \frac{100}{LPG_2} * \dots * \frac{100}{LPG_{p-1}} \quad (3.19)$$

$$LPG_1 \quad LPG_2 \quad LPG_{(p-1)}$$

I_m = Planlanan ortalama iş yükü

LPG_p = iş merkezi p 'nin yükleme yüzdesi

LPG : Yükleme yüzdesi

P_{out} : Çıktı olasılığı

P_{inp} : Girdi olasılığı

CF_p : Sipariş içeriğini dönüştürme faktörü

p iş merkezine zaten ulaşmış olan bir siparişin çıktı olasılığını hesaplamak için aşağıdaki formül geçerlidir.

$$P_{out_p} = 100 / LPG_p \quad (3.20)$$

Şimdi WC_1 'den WC_p 'ye kadar olan iş merkezi serisini inceleyelim. WC_1 iş merkezi önünde bekleyen bir siparişin, WC_p iş merkezine ulaşması olasılığı nedir ? (Şekil 3.12) WC_p iş merkezine ulaşmak için bu sipariş öncelikle WC_1 'den WC_{p-1} 'e kadar olan iş merkezlerini geçmelidir. Bunun olasılığı;

$P_{inp_p} = P_{out_1} * P_{out_2} * \dots * P_{out_{(p-1)}}$ şeklinde hesaplanır.

CF_p dönüşüm faktörü olmak üzere;

$$CF_p = \frac{100}{LPG_1} * \frac{100}{LPG_2} * \dots * \frac{100}{LPG_{(p-1)}} \quad (3.21)$$

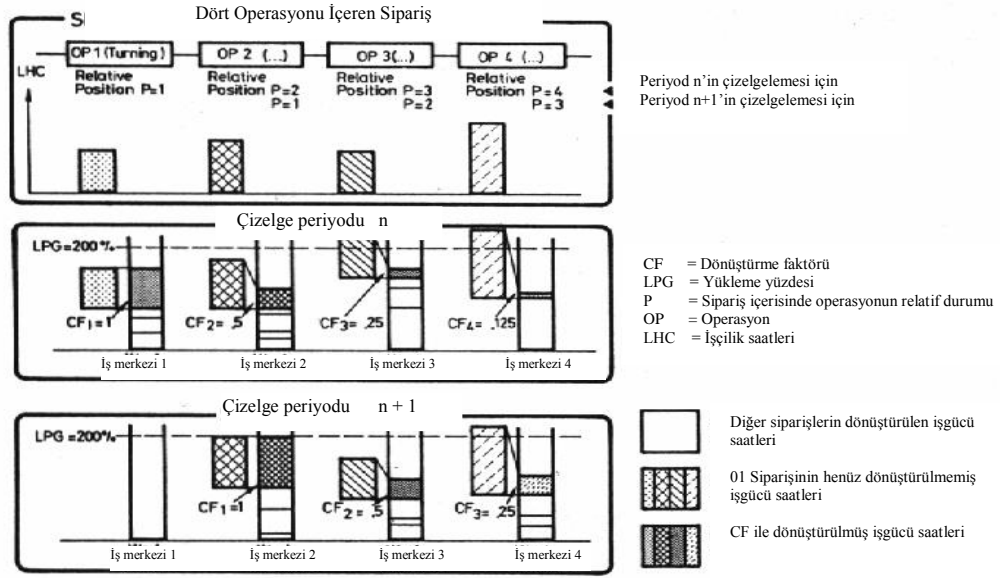
Eğer tüm iş merkezleri aynı yük yüzdesine sahip olurlarsa, eşitlik (3.22)'deki gibi basit bir hale gelecektir:

$$CF_p = \left(\frac{100}{LPG} \right)^{p-1} \quad (3.22)$$

Eğer karşı gelen operasyonun sipariş içeriği (TO) bu dönüştürme faktörüyle çarpılırsa, sonuç dönüştürülmüş sipariş içeriği, bu siparişin WC_p iş merkezi için olası yükü (L_p) için bir ölçüt olacaktır.

$$L_p = CF_p * TO \quad (3.23)$$

Şimdi O1 siparişini kullanarak dönüşümün nasıl işlediğini inceleyelim. (Şekil 3.13)



Şekil 3.13 : Yük bazlı sipariş serbest bırakma esnasında operasyonların yük içeriğinin dönüştürülmesi (Bechte, 1988).

Sipariş dört iş merkezini de geçmek zorundadır. OP1'den OP4'e kadar operasyonlara sahip O1 siparişinin, n çizelge periyodunda İş Merkezi 1 önünde beklediğini varsayalım. Şu anda tüm iş merkezleri için dönüştürme faktörü değerini belirlemek istiyoruz.

Hesaplamaları basitleştirmek için tüm iş merkezlerinin yük yüzdelerini 200 olarak alalım. Dönüştürme faktörü CF_1 daima 1'e eşit olacaktır çünkü sipariş %100 olasılıkla mevcut durumda olduğundan iş herhangi bir zamanda başlayabilir. Ancak Operasyon 2, Operasyon 1 tamamlandıktan sonraki periyottan önce başlayamayacaktır. LPG 200 olduğundan bunun olasılığı sadece 0.5 olacaktır, zira iş merkezi mevcut işin sadece yarısını tamamlayabilir. Bu sebepten dolayı dönüşüm faktörü $100/200 = 0,5$ olarak hesaplanır. Üçüncü iş merkezinde, Operasyon 3 bir sonraki periyotta (n) başlamadan önce 1 ve 2 no'lu operasyonlar tamamlanmalıdır. Bu sebepten, $CF_3 = 0,5 * 0,5 = 0,25$ olacaktır. Yine aynı şekilde, $CF_4 = 0,5 * 0,5 * 0,5 = 0,125$ olarak hesaplanır.

Şimdi $n+1$ periyoduna göz atalım. Operasyon 1'in tamamlandığını ve iş merkezi 2 önünde beklediğini farz edelim. Bu kez Operasyon 2'nin dönüşüm faktörü 1'dir ve CF_1 olarak isimlendirilir. Yine sırasıyla $CF_2 = 0,5$; CF_3 ise 0,25 değerlerini alacaktır.

3.6. Serbest Bırakma Sürecinin Örneklenmesi

Bu bölümde verilen birinci örnek, Bölüm 2.2’de zaman bazında iş merkezlerindeki yük miktarının belirlenmesi açısından yapılan sınıflandırmada üçüncü yaklaşımı, ikinci örnek ise birinci yaklaşımı kullanmaktadır.

Örnek 3.1

Çizelge 3.1’de verilen örnek, serbest bırakma sürecini daha iyi açıklamak için yararlı olacaktır. Ele alınan örnek 12 siparişi kapsamaktadır ve tüm siparişlerin başlama zamanları zaman limitinin altında yer almaktadır, diğer bir deyişle tüm bu siparişler acil siparişlerdir. İlk kez kapasite aşımına yol açan durumlar, işin serbest bırakılmasına engel teşkil etmemektedir.

Çizelge 3.1 : Serbest bırakma öncesi acil siparişler listesi (Periyod 1) (Bechte, 1988).

Sipariş Numarası (-)	Planlanan Başlangıç Zamanı (SCD)	Op No 10		Op No 20		Op No 30		Op No 40		Op No 50		Yükleme Sırası
		TO	WC	TO	WC	TO	WC	TO	WC	TO	WC	
		(HRS) (-)		(HRS) (-)		(HRS) (-)		(HRS) (-)		(HRS) (-)		
3001	501	10	B	15	A	20	E	80	D	80	C	1
3002	510	20	D	30	C	30	A	40	E			8
3003	505	20	B	10	C	40	D	20	E			5
3004	520	40	A	40	D	60	C	40	E			12
3005	503	20	A	30	B	60	C	80	D	40	E	3
3006	504	10	C	10	D	30	A	80	B	80	E	4
3007	502	5	D	10	C	40	B	40	A			2
3008	515	40	E	60	D	40	C	60	A	80	B	10
3009	507	15	B	20	C							7
3010	513	5	A	20	D	30	E					9
3011	506	20	A	20	B	20	C	80	D			6
3012	519	20	B	40	C	40	A	40	E	40	D	11

Op No = Operasyon numarası

TO = Standard saatlerdeki işlem süresi

WC = İş merkezi kodu

Çizelge 3.1’de sipariş numaraları, planlanan başlangıç süreleri (atölye takvim günü olarak-SCD) ve siparişlerin sıra ile her bir operasyonunun hangi iş merkezlerinde ve ne kadar süre ile (TO) işleneceği bilgisi yer almaktadır.

Çizelge 3.2 : Sipariş serbest bırakma öncesi iş merkezleri listesi (Periyod 1)

(Bechte, 1988).

İş Merkezi Numarası	A	B	C	D	E
Periyot 1'den önceki artık stok (saat)	30	40	35	25	30
Periyot 1 için haftalık kapasite (saat)	40	50	40	30	20
Periyot 2 için haftalık kapasite (saat)	40	40	45	50	30
Periyot 1'deki yükleme limiti (LPG = 200%)	80	100	80	60	40
Periyot 2'deki yükleme limiti (LPG = 200%)	80	80	90	100	60

Çizelge 3.2, izleyen iki periyot (1 ve 2) için iş merkezlerinin kapasitelerini ve Periyot 1'e sarkan iş yüklerini (Periyot 1'den önceki mevcut iş yükü, dönem başı yük) göstermektedir.

Bu aşamada, izleyen iki periyot için acil siparişleri mümkün olduğunca çabuk yüklemeliyiz ve üretime alınmak üzere serbest bırakılan ve ertelenen siparişleri tespit etmeliyiz. Örneği basitleştirmek için, yükleme yüzdelerini 200 olarak kabul edeceğiz, sıralama kuralı FIFO olarak alınacak ve kullanım % 100 olarak işleme konulacaktır. Bir başka deyişle, makina arızaları vb. duruşların olmadığı varsayılacaktır. Bunun yanında, mevcut iş yükünü temsil eden siparişler, tamamlanmalarından sonra diğer iş merkezlerinde işlenmeyeceklerdir.

İlk adımda, siparişler, planlanan başlangıç tarihlerine göre (öncelik listesi) sıralanarak listeleneceklerdir. Çizelge 3.1 'de yer alan son kolondaki yükleme sırası bu şekilde oluşturulmuştur.

Bir sonraki adım, kişisel operasyonların sipariş zamanlarının dönüştürülmesidir (Çizelge 3.3). İlk operasyonlar mevcut olduklarından dönüştürülmeyeceklerdir. Tüm siparişlerin ikinci operasyonları ($100/LPG=$) 0,5 ile çarpılacaktır, üçüncü operasyonlar ($0,5 \times 0,5=$) 0,25 ile, dördüncü operasyonlar ($0,5 \times 0,5 \times 0,5=$) 0,125 ile ve son olarak da beşinci operasyonlar ise ($0,5 \times 0,5 \times 0,5 \times 0,5=$) 0,0625 ile çarpılarak dönüştürme sağlanacaktır.

Çizelge 3.3 : Sipariş serbest bırakma öncesi dönüştürülmüş yükler ile acil sipariş listesi (Bechte, 1988).

Sıra Numarası (-)	Sipariş Numarası (-)	Op No 10 TO WC (HRS) (-)	Op No 20 TO WC (HRS) (-)	Op No 30 TO WC (HRS) (-)	Op No 40 TO WC (HRS) (-)	Op No 50 TO WC (HRS) (-)	Serbest Bırakma Kodu R: Serbest Bırak X: Geciktir
1	3001	10 B	7,5 A	5 E	10 D	5 C	R
2	3007	5 D	5 C	10 B	5 A		R
3	3005	20 A	15 B	15 C	10 D	2,5 E	R
4	3006	10 C	5 D	7,5 A	10 B	5 E	R
5	3003	20 B	5 C	10 D	2,5 E		X
6	3011	20 A	10 B	5 C	10 D		R
7	3009	15 B	10 C				R
8	3002	20 D	15 C	7,5 A	5 E		X
9	3010	5 A	10 D	7,5 E			X
10	3008	40 E	30 D	10 C	7,5 A	5 B	X
11	3012	20 B	20 C	10 A	5 E	2,5 D	X
12	3004	40 A	20 D	15 C	5 E		X

Op No = Operasyon sayı numarası

TO = Standard saatlerdeki sipariş zamanı

WC = İş merkezi numarası

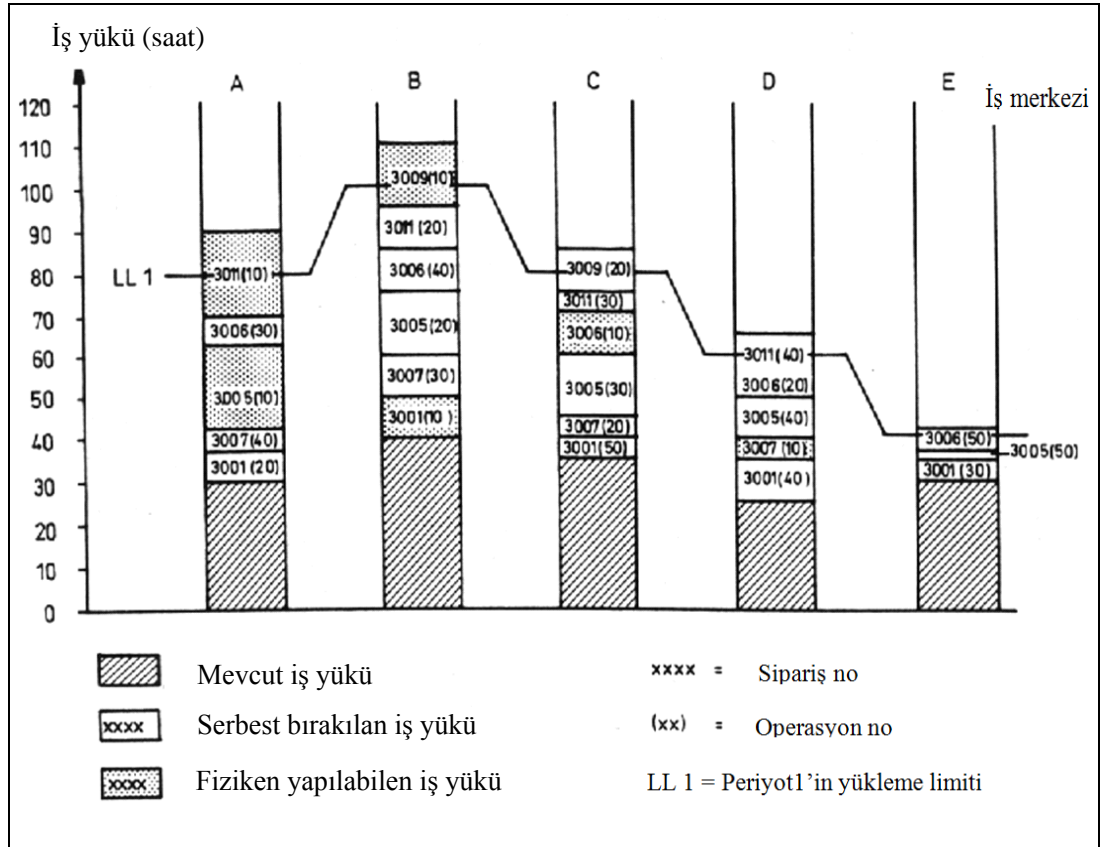
Şekil 3.14, iş merkezlerinin yük hesaplarını, dönem başı yük miktarlarını da içerecek şekilde göstermektedir. Örneğin, sipariş 3001'in ilk operasyonu B iş merkezi hesabına 10 saat yükler. Bu fiziksel olarak iş istasyonuna yüklenen ilk operasyondur. A iş merkezi ise, ikinci operasyonun karşı gelen dönüştürülmüş yük zamanı (7.5 saat) ile yüklenmektedir. E iş merkezi üçüncü operasyon 5 saat ile yüklenirken, dördüncü operasyon 10 saat ile D iş merkezine atanacaktır ve son olarak da iş merkezi C 'ye beşinci operasyonun 5 saati karşılık gelmektedir. Sipariş 3001 'in hiç bir operasyonu iş merkezlerinin yük limitini aşmadığından Çizelge 3.3 'de "R" (İng: Release) kodunu almaktadır.

İkinci operasyondan itibaren, siparişe ait tüm operasyon zamanları dönüştürülmektedir. Böylece şimdiye kadar olan siparişler iş merkezlerinde fiziksel olarak yer almayacaklardır. Şekil 3.13'te gösterilen ayrı ayrı yük elemanları noktalı olarak taranmıştır.

Acil listesindeki diğer siparişler şimdi yüklenmektedir. 3007 ve 3005 no'lu siparişler de serbest bırakılabilir. 3006 no'lu siparişin de serbest bırakılmasıyla ilk kez iş merkezi E'nin yük limiti aşılabacaktır, sipariş serbest bırakılmış durumdadır ancak yük

hesabı şimdiden sonrası için bloke edilecektir. Bir sonraki sipariş olan 3003 no'lu siparişin dördüncü operasyonu E iş istasyonuna geldiğinde bloke yük hesabı ile karşılaşacak ve dört operasyonun üçü işlenmiş olmasına rağmen siparişin tümü reddedilecektir. Bu durumda sipariş ertelenir ve çizelgede "X" kodunu alır. 3011 ve 3009 no'lu siparişler hala bazı açık yük hesaplarıyla karşılaşacaklardır ancak 3002 no'lu sipariş, tüm iş istasyonları tarafından reddedilecektir. Bu serbest bırakma döngüsünde, 12 siparişin altısı serbest bırakılacak, kalan altı sipariş ise ertelenecektir.

Bu aşamada atölye işe FIFO sıralama kuralı ile başlayacaktır. Her iş merkezi, Periyot 1 için Çizelge 3.2'de verilen kapasite saatleri ile çalışacaktır. Bu yüzden iş merkezi A'da mevcut artık yükün yanısıra, 3001 ve 3007 no'lu siparişler daha yüksek çizelge önceliğine sahip olmalarına rağmen, fiziksel olarak mevcut olduğu için 3005 no'lu siparişin yarısı işlenecektir. İş merkezi B 'de ise mevcut artık yük yanısıra 3001 no'lu siparişin tamamı işlenebilecektir. İş merkezi C'de 3006 no'lu siparişin bir kısmını ve iş merkezi D'de 3007 no'lu siparişin tamamı üretilebilecektir. İş merkezi E mevcut iş yükünün tamamını işleyemeyecek ve kalan iş bir sonraki periyoda aktarılacaktır.



Şekil 3.14 : Dönüştürülmüş siparişlerin yüklenmesi sonrası Periyot 1'de serbest bırakma öncesi yükleme hesapları dengesi (Bechte, 1988).

Serbest bırakma planlamasında bir önemli nokta, planlama gerçekleştirilmeden önce siparişlerin tamamlanmasının raporlanabilmesidir. Daha büyük siparişlerle, siparişe ait parçaların raporlanması önerilmektedir, diğer bir deyişle saatler iş merkezini bloke etmemek için çizelge sonuna kadar işlenebilecektir.

Bu bir sonraki periyodun başındaki serbest bırakma planlamamızın durumudur. Yeni bir serbest bırakma döngüsü başlatılabilir. İlk olarak, acil sipariş listesi güncellenir (Çizelge 3.4). Bu aşamada 3001 no'lu siparişin ilk operasyonu da işlenebilirdi. Ancak bağlı pozisyonlar değiştiğinden bu, kalan operasyonların yük değerini arttırmaktadır. Önceki periyotla karşılaştırıldığında, % 200 yük limitinden dolayı Çizelge 3.3'teki değerler ikiyle çarpılmıştır. Sipariş 3007'nin ilk operasyonu da iş merkezi D 'de yapılmış ve diğer operasyonların yük değerleri de 2 ile çarpılmıştır. Diğer operasyonlar ise tamamlanamadığından, bir önceki periyotla karşılaştırıldığında diğer siparişlerin yük değerleri değişmemiştir.

Çizelge 3.4 : Sipariş serbest bırakma öncesi, dönüştürülmüş yükler ile acil sipariş listesi (Bechte, 1988).

Sıra Numarası (-)	Sipariş Numarası (-)	Op No 10 TO WC (HRS) (-)	Op No 20 TO WC (HRS) (-)	Op No 30 TO WC (HRS) (-)	Op No 40 TO WC (HRS) (-)	Op No 50 TO WC (HRS) (-)	Serbest bırakma kodu O: açık R: Serbest Bırak X: Geciktir
1	3001	* B	15 A	10 E	20 D	10 C	O
2	3007	* D	10 C	20 B	10 A		O
3	3005	20 A	15 B	15 C	10 D	2.5 E	O
4	3006	10 C	5 D	7.5 A	10 B	5 E	O
5	3003	20 B	5 C	10 D	2.5 E		R
6	3011	20 A	10 B	5 C	10 D		O
7	3009	15 B	10 C				O
8	3002	20 D	15 C	7.5 A	5 E		R
9	3010	5 A	10 D	7.5 E			R
10	3008	40 E	30 D	10 C	7.5 A	5 B	X
11	3012	20 B	20 C	10 A	5 E	2.5 D	X
12	3004	40 A	20 D	15 C	5 E		R

Op No = Operasyon sıra numarası

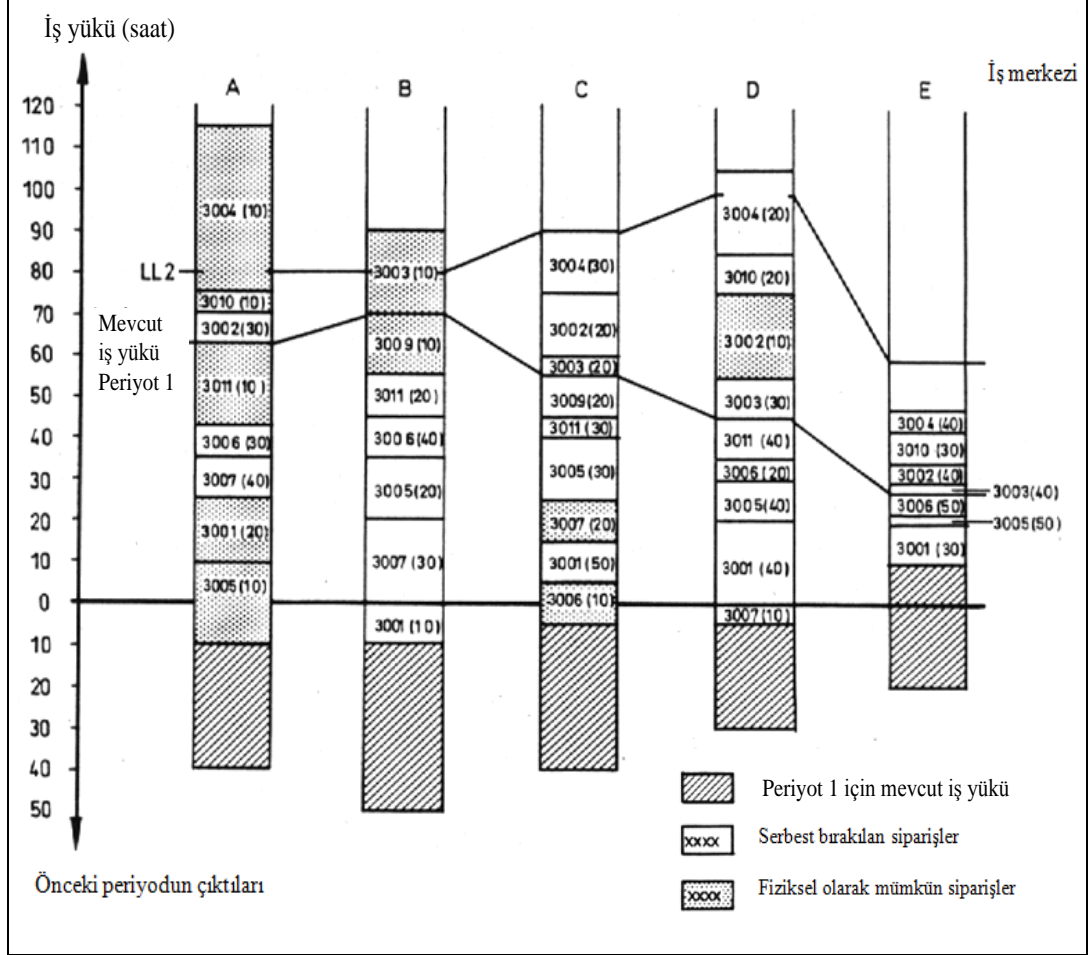
OT = Standard saatlerdeki sipariş zamanı

WC = İş merkezi numarası

* = Tamamlanmış operasyon

Sonraki adım yükleme sürecidir. Yeni sipariş girişi olmadığını varsayalım. Ancak Çizelge 3.2'deki kapasite değerleri değişmiştir. Eğer yükleme yüzdesi aynı kalırsa,

bu yeni yük limitlerinin izleyen periyod için olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 3.15'te bu yeni yük limitleri "LL2" olarak gösterilmiştir. Şimdi acil siparişler yük hesapları bloke edilinceye kadar artık stokların üzerine yüklenecektir. Hesaplamalar Çizelge 3.4'ten izlenebilir. İki sipariş bloke edilirken, dört sipariş daha serbest bırakılabilir.



Şekil 3.15: Dönüştürülmüş siparişlerin yüklenmesi sonrası Periyot 2'de serbest bırakma öncesi yükleme hesapları dengesi (Bechte, 1988).

Serbest bırakma sürecinin bir diğer önemli sonucu, serbest bırakılacak sipariş listesini vermesinin yanı sıra, uygun olmayan (İng: non-feasible) sipariş listesinin de bloke edilmesidir. Aynı zamanda hangi iş merkezlerinin, serbest bırakmayı bloke ettiği görülebilmektedir. Ele alınan örnekte, Çizelge 3.5, ilk serbest bırakma döngüsünden sonra listeyi göstermektedir. Sipariş numarasına karşılık başarısız serbest bırakma denemesi sayısı ve iş merkezlerinde reddedilen siparişlerin numaraları da çizelgeden izlenebilir.

Çizelge 3.5 : Periyot 1'den sonra reddedilen iş merkezlerine karşılık gelen reddedilen sipariş listesi (Bechte, 1988).

Sipariş numarası	Serbest bırakma denemesi	İş merkezinde reddedilme				
		A	B	C	D	E
3003	1					1
3002	1	3		2	1	4
3010	1	1			2	3
3008	1	4	5	3	2	1
3012	1	3	1	2	5	4
3004	1	1		3	2	4

Örnek 3.2

Cam kalıp parçalarından en stratejik ve önemli olanları, Ebişör ve Finişör parçalarıdır. Ebişör ve Finişör kalıp parçalarının üretimi bu parçalara tahsis edilen bir hücrede gerçekleştirilmektedir. Bu parçalar için gerekli işlemlere ait bilgiler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.6 : Finişör ve Ebişör parçalarına ait işlem bilgileri (Nomak, 2002).

İşlem Sıra No	Tezgâh Adı	İşlem Süresi (dk/adet)		Hazırlık Süresi (dk)
		Ebişör	Finişör	
1	Ramboudi CNC Freze Tezgâhı	46	40	60
2	Manuel Kaynak	40	35	60
3	MAS Freze Tezgâhı	35	38	60
4	Leadwell Torna CNC1	28	25	60
5	Universal Freze Tezgâhı	30	32	30
6	Leadwell Torna CNC2	22	25	60
7	Leadwell Torna CNC3	40	34	60
8	MAHO Tezgâhı	40	42	30
9	Derin Delik Tezgâhı	70	65	60
10	CNC Leadwell Freze Tezgâhı	45	41	90
11	Tesviye	40	40	3
12	Honlama Tezgâhı	45	43	3
13	Silme	40	40	1
14	Pantograf	22	28	5

Planlama dönemi iki hafta olup, haftada 6 gün, günde 15 saat üretim yapılmaktadır. Yük limiti ise % 150'dir. Dolayısıyla tezgâhlar için zaman birimi bazında yük limiti (2 hafta * 6 gün/hafta * 15 saat/gün * 60 dakika/saat * %150=) 16200 dakikadır. Ebişör ve Finişör parçalarına yönelik sipariş listesi aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 3.7 : Finişör ve Ebişör parçalarına ait sipariş listesi (Nomak, 2002).

Sipariş No	Parça Adı	Teslim Zamanı	Adet
1001	Ebişör	10/10/2009	45
1002	Finişör	11/10/2009	25
1003	Ebişör	15/10/2009	40
1004	Ebişör	17/10/2009	25
1005	Finişör	20/10/2009	15
1006	Finişör	22/10/2009	30
1007	Ebişör	24/10/2009	15
1008	Ebişör	25/10/2009	50
1009	Finişör	26/10/2009	10
1010	Finişör	29/10/2009	30
1011	Ebişör	01/11/2009	20
1012	Ebişör	03/11/2009	10
1013	Ebişör	07/11/2009	35

Siparişler serbest bırakılma sürecinde Erken Teslim Zamanlı Sipariş Önce (ETZÖ) kuralına göre sıralanırlar. Bir başka deyişle, teslim zamanı erken olan işlerin serbest bırakılmaları için yapılan kontrol sırasında daha yüksek önceliklidir. Örnekteki sipariş havuzunda ilk olarak, en erken teslim zamanına sahip 1001 no'lu siparişin serbest bırakılma kontrolü yapılacaktır. Çizelge 2.8, siparişlerin serbest bırakılma durumları ile ilgili iş yükü hesaplarını içermektedir. İlgili siparişlerdeki toplam iş yükü, sözkonusu siparişin serbest bırakılması durumunda, tezgâhlarda Ebişör ve Finişör parçalarına yönelik oluşan birikimli iş yüklerine, hazırlık süresi ve bir önceki planlama döneminden kalan başlangıç stoğu eklenerek bulunmaktadır. Her bir sipariş için her tezgâhta oluşan toplam iş yükü, tezgâh yük limitleri ile karşılaştırılmakta, tezgâhların herhangi birinde yük limitinin aşılmasına neden olan siparişler serbest bırakılmamaktadır. Hazırlık süresi ise her bir tezgâhta farklı ürünlere geçişte oluşmaktadır. Örneğin, 1005 no'lu siparişin serbest bırakılmasının kontrolü için yapılan hesapta, ilk sipariş için hazırlık yapılması varsayımı ve bu siparişin de üretime alınması durumunda üç kez ürün değişikliği yapılacağı için Ramboudi CNC freze tezgâhında toplam (60*4=) 240 dakika birikimli hazırlık süresi oluşacaktır. Çizelgeye göre, 1008, 1010 ve 1012, Derin Delik tezgâhında yük limitinin aşılmasına sebep olacaklarından serbest bırakılmamışlardır.

Çizelge 3.8 : Siparişlerin tezgahlarda oluşturduğu iş yükleri ve serbest bırakılma durumları.

		Ramboudi CNC Freze Tezgâhı	Manuel Kaynak	MAS Freze Tezgâhı	Leadwell Torna CNC1	Üniversal Freze Tezgâhı	Leadwell Torna CNC2	Leadwell Torna CNC3	MAHO Tezgâhı	Derin Delik Tezgâhı	CNC Leadwell Freze Tezgâhı	Tesviye	Honlama Tezgâhı	Silme	Pantograf	Serbest Bırakma Kodu R: Serbest Brak X: Geciktir
	Yük Limiti (dk.)	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	
	Başlangıç Stoku (dk.)	500	250	360	420	380	200	310	190	480	290	450	340	430	320	
Sipariş No: 1001	Ebişör Yüğü (dk.)	2070	1800	1575	1260	1350	990	1800	1800	3150	2025	1800	2025	1800	990	R
	Finişör Yüğü (dk.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Hazırlık Süresi (dk.)	60	60	60	60	30	60	30	60	60	90	3	3	1	5	
	Toplam Yüğü (dk.)	2630	2110	1995	1740	1760	1250	2170	2020	3690	2405	2253	2368	2231	1315	
	Toplam Yüğü (dk.)	2070	1800	1575	1260	1350	990	1800	1800	3150	2025	1800	2025	1800	990	
Sipariş No: 1002	Ebişör Yüğü (dk.)	1000	875	950	625	800	625	850	1050	1625	1025	1000	1075	1000	700	R
	Finişör Yüğü (dk.)	120	120	120	120	60	120	120	60	120	180	6	6	2	10	
	Hazırlık Süresi (dk.)	120	120	120	120	60	120	120	60	120	180	6	6	2	10	
	Toplam Yüğü (dk.)	3690	3045	3005	2425	2590	1935	3080	3100	5375	3520	3256	3446	3232	2020	
	Toplam Yüğü (dk.)	3910	3400	2975	2380	2550	1870	3400	3400	5950	3825	3400	3825	3400	1870	
Sipariş No: 1003	Ebişör Yüğü (dk.)	1000	875	950	625	800	625	850	1050	1625	1025	1000	1075	1000	700	R
	Finişör Yüğü (dk.)	180	180	180	180	90	180	180	90	180	270	9	9	3	15	
	Hazırlık Süresi (dk.)	180	180	180	180	90	180	180	90	180	270	9	9	3	15	
	Toplam Yüğü (dk.)	5590	4705	4465	3605	3820	2875	4740	4730	8235	5410	4859	5249	4833	2905	
	Toplam Yüğü (dk.)	5060	4400	3850	3080	3300	2420	4400	4400	7700	4950	4400	4950	4400	2420	
Sipariş No: 1004	Ebişör Yüğü (dk.)	1000	875	950	625	800	625	850	1050	1625	1025	1000	1075	1000	700	R
	Finişör Yüğü (dk.)	180	180	180	180	90	180	180	90	180	270	9	9	3	15	
	Hazırlık Süresi (dk.)	180	180	180	180	90	180	180	90	180	270	9	9	3	15	
	Toplam Yüğü (dk.)	6740	5705	5340	4305	4570	3425	5740	5730	9985	6535	5859	6374	5833	3455	
	Toplam Yüğü (dk.)	5060	4400	3850	3080	3300	2420	4400	4400	7700	4950	4400	4950	4400	2420	
Sipariş No: 1005	Ebişör Yüğü (dk.)	1600	1400	1520	1000	1280	1000	1360	1680	2600	1640	1600	1720	1600	1120	R
	Finişör Yüğü (dk.)	240	240	240	240	120	240	240	120	240	360	12	12	4	20	
	Hazırlık Süresi (dk.)	240	240	240	240	120	240	240	120	240	360	12	12	4	20	
	Toplam Yüğü (dk.)	7400	6290	5970	4740	5080	3860	6310	6390	11020	7240	6462	7022	6434	3880	
	Toplam Yüğü (dk.)	5060	4400	3850	3080	3300	2420	4400	4400	7700	4950	4400	4950	4400	2420	
Sipariş No: 1006	Ebişör Yüğü (dk.)	2800	2450	2660	1750	2240	1750	2380	2940	4550	2870	2800	3010	2800	1960	R
	Finişör Yüğü (dk.)	240	240	240	240	120	240	240	120	240	360	12	12	4	20	
	Hazırlık Süresi (dk.)	240	240	240	240	120	240	240	120	240	360	12	12	4	20	
	Toplam Yüğü (dk.)	8600	7340	7110	5490	6040	4610	7330	7650	12970	8470	7662	8312	7634	4720	
	Toplam Yüğü (dk.)	5750	5000	4375	3500	3750	2750	5000	5000	8750	5625	5000	5625	5000	2750	
Sipariş No: 1007	Ebişör Yüğü (dk.)	2800	2450	2660	1750	2240	1750	2380	2940	4550	2870	2800	3010	2800	1960	R
	Finişör Yüğü (dk.)	300	300	300	300	150	300	300	150	300	450	15	15	5	25	
	Hazırlık Süresi (dk.)	300	300	300	300	150	300	300	150	300	450	15	15	5	25	
	Toplam Yüğü (dk.)	9350	8000	7695	5970	6520	5000	7990	8280	14080	9235	8265	8990	8235	5055	
	Toplam Yüğü (dk.)	8050	7000	6125	4900	5250	3850	7000	7000	12250	7875	7000	7875	7000	3850	
Sipariş No: 1008	Ebişör Yüğü (dk.)	2800	2450	2660	1750	2240	1750	2380	2940	4550	2870	2800	3010	2800	1960	X
	Finişör Yüğü (dk.)	300	300	300	300	150	300	300	150	300	450	15	15	5	25	
	Hazırlık Süresi (dk.)	300	300	300	300	150	300	300	150	300	450	15	15	5	25	
	Toplam Yüğü (dk.)	11650	10000	9445	7370	8020	6100	9990	10280	17580	11485	10265	11240	10235	6155	
	Toplam Yüğü (dk.)	5750	5000	4375	3500	3750	2750	5000	5000	8750	5625	5000	5625	5000	2750	
Sipariş No: 1009	Ebişör Yüğü (dk.)	3200	2800	3040	2000	2560	2000	2720	3360	5200	3280	3200	3440	3200	2240	R
	Finişör Yüğü (dk.)	360	360	360	360	180	360	360	180	360	540	18	18	6	30	
	Hazırlık Süresi (dk.)	360	360	360	360	180	360	360	180	360	540	18	18	6	30	
	Toplam Yüğü (dk.)	9810	8410	8135	6280	6870	5310	8390	8730	14790	9735	8668	9423	8636	5340	
	Toplam Yüğü (dk.)	5750	5000	4375	3500	3750	2750	5000	5000	8750	5625	5000	5625	5000	2750	
Sipariş No: 1010	Ebişör Yüğü (dk.)	4400	3850	4180	2750	3520	2750	3740	4620	7150	4510	4400	4730	4400	3080	X
	Finişör Yüğü (dk.)	360	360	360	360	180	360	360	180	360	540	18	18	6	30	
	Hazırlık Süresi (dk.)	360	360	360	360	180	360	360	180	360	540	18	18	6	30	
	Toplam Yüğü (dk.)	11010	9460	9275	7030	7830	6060	9410	9990	16740	10965	9868	10713	9836	6180	
	Toplam Yüğü (dk.)	6670	5800	5075	4060	4350	3190	5800	5800	10150	6525	5800	6525	5800	3190	
Sipariş No: 1011	Ebişör Yüğü (dk.)	3200	2800	3040	2000	2560	2000	2720	3360	5200	3280	3200	3440	3200	2240	X
	Finişör Yüğü (dk.)	420	420	420	420	210	420	420	210	420	630	21	21	7	35	
	Hazırlık Süresi (dk.)	420	420	420	420	210	420	420	210	420	630	21	21	7	35	
	Toplam Yüğü (dk.)	10790	9270	8895	6900	7500	5810	9250	9560	16250	10725	9471	10326	9437	5785	
	Toplam Yüğü (dk.)	6210	5400	4725	3780	4050	2970	5400	5400	9450	6075	5400	6075	5400	2970	
Sipariş No: 1012	Ebişör Yüğü (dk.)	3200	2800	3040	2000	2560	2000	2720	3360	5200	3280	3200	3440	3200	2240	R
	Finişör Yüğü (dk.)	420	420	420	420	210	420	420	210	420	630	21	21	7	35	
	Hazırlık Süresi (dk.)	420	420	420	420	210	420	420	210	420	630	21	21	7	35	
	Toplam Yüğü (dk.)	10330	8870	8545	6620	7200	5590	8850	9160	15550	10275	9071	9876	9037	5565	
	Toplam Yüğü (dk.)	6210	5400	4725	3780	4050	2970	5400	5400	9450	6075	5400	6075	5400	2970	

4. YAYIN İNCELEMESİ

Tez çalışması kapsamında yapılacak yayın incelenmesi, aşağıda belirtilen üç başlık altında gerçekleştirilecektir:

- Paralel makinaların sıraya bağımlı hazırlık süreleri dâhilinde çizelgelenmesini konu alan yayınlar
- İş yükü bazlı üretim kontrolü ile ilgili yayınlar
- Sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin belirlenmesinde ürün tasarım özelliklerinin dikkate alındığı yayınlar

4.1 Paralel Makinaların Sıraya Bağımlı Hazırlık Süreleri Dâhilinde Çizelgelenmesini Konu Alan Yayınlar

Paralel makinalarda çizelgeleme problemi, hem gerçek üretim ortamlarındaki çizelgeleme uygulamalarına hem de teorik çalışmalara sıklıkla konu olmuştur. Paralel makina çizelgeleme problemi, yayılma süresi (Gupta ve Ho, 2001), geciken iş sayısı (Ho ve Chang, 1995), en yüksek gecikme süresi (Schutten ve Leussink, 1996), toplam gecikme süresi (Koulamas, 1994) ve ortalama gecikme süresi (Armentano ve Yamashita, 2000) gibi unsurların enküçüklenmesi gibi değişik amaçlara odaklanılarak çözülmeye çalışılmıştır. Paralel makinalarda çizelgeleme konusunda yapılan çalışmalardan bazıları sıraya bağımsız (Xing ve Zhang, 2000; Wang ve Cheng, 2001; Abdekhodae ve diğerleri, 2004) ve sıraya bağımlı hazırlık sürelerini (Park ve diğerleri, 2000; Kurz ve Aksin, 2001; Lopes ve Carvalho, 2007) de dikkate almıştır. Bu doktora tezi çalışmasında hazırlık süreleri sıraya bağımlı olarak ele alındığından, bu bölümde paralel makinaların sıraya bağımlı hazırlık süreleri ortamında çizelgelenmesini konu alan çalışmalar irdelenmiştir. Bu bölümde incelenen yayınların bazılarının karakteristikleri “**a/b,c,d/e**” şeklinde ifade edilmiştir. Burada;

a: Makine sayısı ve tipi

b: İşler arası öncelik varsa “prec”

c: Hazırlık süreleri sıraya bağımlı ise “sds”

d: İşlerin serbest bırakma zamanları mevcut ise “ r_i ”

e: Amaç

şeklinde ifade edilmiştir.

Lee ve Pinedo (1997), $Pm/sds/\sum w_i T_i$ problemini ele alan üç adımlı bir sezgisel geliştirmiştir. İlgili çizelgeleme probleminin yapısında, teslim zamanlarının alabileceği değerler, teslim süresi değerlerinin dağıldığı aralık, ortalama hazırlık süresinin ortalama işlem süresine oranı ve iş sayısının makina sayısına oranı ile ifade edilen dört adet faktörün etkili olduğu belirtilmiştir. Sezgisel yöntemin ilk adımında bu faktör değerleri belirlenmekte ve yayılma süresi tahmini yapılmaktadır. İkinci adımda, ATCS kuralı uygulanarak bir ürün sırası elde edilmektedir. Bu kurala göre, her iş için bir ATCS değeri belirlenmektedir. ATCS değerinin artışı, işin çizelgedeki önceliğini belirtmekte olup ağırlıklı işlem süresi, gevşeklik ve hazırlık süresi ile ilgili üç adet bileşene sahiptir. Gevşeklik ve hazırlık süresine ilişkin bileşenlerin katsayıları bulunmakta olup, ATCS değerinin hesaplanmasında bu katsayılar çözüm kalitesi üzerinde önemli etkiye sahiptir. ATCS değerinin belirlenebilmesi için gerekli olan bu bileşen katsayıları, ikinci adımda problem faktörlerinin birer fonksiyonu şeklinde ifade edilmişlerdir. Üçüncü adımda, ikinci adımdaki ürün sırasını başlangıç çözümü olarak alan tavlama benzetimi algoritması ile çözüm kalitesinde iyileşme yapılmaktadır. Tavlama benzetimindeki mevcut nokta civarında bulunan alternatif çözümlerin üretilmesi aşamasında, yeri değiştirilecek iş, rastsal olarak değil en yüksek hazırlık süresine sahip iş olarak belirlenmektedir. Yapılan incelemelerde, ATCS kuralının; teslim süresi ile ilgili faktörlerin yüksek, hazırlık süresi faktörünün düşük değerlerinde iyi çözümler verdiği ortaya çıkmıştır. Tavlama benzetimi adımı, özellikle büyük boyutlu problemlerde çözüm kalitesi açısından yüksek oranda iyileşmeye (%15 civarında) yol açarken, alternatif çözüm üretimindeki iş seçimi yaklaşımı, çözüm süresi yönünden yöntemin performansını ortalamanın yaklaşık 6 katı arttırmıştır.

Tucci ve Rinaldi (1999), birbirinden farklı paralel dokuma tezgâhlarının hazırlık ve gecikme maliyetlerinin azaltılması amacı ile çizelgelenmesi için, tabu arama metodunu kullanmışlardır. Mevcut sistemde iplik, dizgi değişimi ile ilgili hazırlık süreleri ardışık ürünlerin birbirine benzerlik durumuna göre değiştiğinden sıraya

bağımlı yapıdadır. Tabu arama metodunda başlangıç çözümü ETZÖ kuralı ile elde edilmekte olup üretim ortamından alınan verilerle yapılan uygulamalarda, tabu arama yöntemi, ETZÖ kuralı ile elde edilen başlangıç çözümlerini %30-%75 oranları arasında iyileştirmiştir.

Sivrikaya-Şerifoğlu ve Ulusoy (1999), $Pm/sds, r_i/W_T \sum T_i + W_E \sum E_i$ problemine yönelik bir genetik algoritma oluşturmuşlardır. Genetik algoritmada MCUOX isimli yeni bir çaprazlama (İng: Crossover) yöntemi geliştirilmiştir. Çalışmada ele alınan paralel makinalar iki gruptan oluşmakta olup, birinci gruptaki makinalar birbirinin aynısı iken, ikinci gruptaki makinalar ise işlem hızı açısından birbirlerinden farklılık göstermektedir. MCUOX çaprazlama yöntemi, mevcut çizelgeleme probleminde üç bileşenli genler için uygulanmıştır. Genin birinci bileşeni çizelgelenecek işi, ikinci bileşeni işin çizelgeleneceği makineyi, üçüncü bileşeni ise çizelgelemenin ileriye veya geriye doğru yapılmasını belirtmektedir. Yazarlar, geliştirdikleri genetik algoritmayı, çaprazlama safhası olmayan genetik algoritma ile kıyaslamışlar ve problem boyutu büyüdükçe MCUOX çaprazlama safhası olan genetik algoritmanın çözüm kalitesi yönünden tercih edilirliliğinin arttığını belirtmişlerdir.

Balakrishnan ve diğerleri (1999), birbirinden farklı hızlara sahip paralel makinaların hazırlık maliyetlerinin enazlanması amacı ile çizelgelenmesine yönelik bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Problemdeki işler makinalara göre değişen işlem sürelerine, sıraya bağımlı hazırlık sürelerine ve farklı hazır olma sürelerine sahiptir. Sözkonusu model, etkin değişken tanımları ve “*i*” işinin tamamlanma zamanı değişkeninin (C_i) çıkarılması ile literatürdeki benzer modellere göre daha az sayıda değişkenle çözüme ulaşmıştır. Ancak, işin hazır olma süresinden önce hazırlığına başlanabilmesi varsayımı, bazı işlerin hazır olur olmaz bitirilmesi gibi gerçek üretim ortamlarında pek mümkün olmayan bir duruma yol açabilmektedir. Çalışmada performans analizi amacı ile 6*2 ve 10*4 boyutları arasında 135 adet problem üretilmiş olup, model bu problemlerin hepsinde en iyi çözüme dört dakikadan az sürelerde ulaşmıştır. Ayrıca, aynı iş sayısında makina sayısı arttıkça, artan esneklikten dolayı çözüm süresi kısalmaktadır. İş sayısı açısından ise tersi bir durum sözkonusu olmuştur.

Radhakrishnan ve Ventura (2000) $Pm/sds/\sum E_i + T_i$ problemine yönelik olarak doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Ancak modelin sadece küçük

boyuttaki problemler için uygun olmasından dolayı, çalışmaya tavlama benzetimi yöntemini dâhil etmişlerdir. Performans değerlendirmesi aşamasında küçük boyuttaki on adet problemin sekizinde tavlama benzetimi yöntemi en iyi (İng: Optimal) sonuca ulaşmıştır. Ayrıca, tavlama benzetimi, başlangıç çözümüne göre küçük boyuttaki problemlerde %17, orta boyuttaki problemlerde (50 iş-10 makina) %42, büyük boyuttaki problemlerde (80 iş-15 makina) ise %33 iyileştirme sağlamıştır. Tavlama benzetiminin uzun çözüm süresine sahip olmasına rağmen çözüm kalitesi ve uygulama kolaylığı açısından tercih edilebilirliği vurgulanmıştır. Ayrıca büyük orandaki iyileştirmelerin genellikle başlangıç adımlarında meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Gravel ve diğerleri (2000), alüminyum dökümhanesinde paralel fırınların çizelgelenmesi problemini genetik algoritma ile çözmüşlerdir. Belirtilen üretim ortamında gecikme ve sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin azaltılması amaçlarının yanında ürün akışı kısıtı da gözönünde bulundurulmuştur. Geliştirilen genetik algoritma, içsel ve dışsal olmak üzere çift döngülü olarak tasarlanmıştır. Dışsal döngüde, siparişlerin fırınlara tahsisi, bazı siparişlerin belirli fırınlarda üretilmesi gerektiğinden çeşitli atama kısıtları gözetilerek yapılmakta iken, içsel döngüde ise her bir fırına atanan siparişlerin sıralanması gerçekleştirilmektedir. Çalışmada, onsekiz siparişin üç fırında çizelgelendiği bir uygulama yapılmış ve geliştirilen genetik algoritma ile Gantt diyagramına dayanan eski çizelgeleme sistemine göre çok daha hızlı, doğru çizelgeler üretildiği belirtilmiştir.

Chien ve Chen (2000), sıraya bağımlı hazırlık süreleri, dinamik iş gelişi, öncelik ve kaynak kısıtlarının sözkonusu olduğu yarı iletken üretiminde paralel makina çizelgelemeye yönelik OptSG adında bir sistem geliştirmişlerdir. Sistem, iş ve makina seçimi ile ilgili kuralsal stratejileri genetik algoritma ile belirlemektedir. Genetik algoritmanın kromozom değerlendirme adımında ise simülasyon kullanılmaktadır. Sistemin çözüm kalitesi açısından değerlendirilmesi amacıyla bir de karma tamsayılı doğrusal programlama modeli sunulmuştur. Kromozomlar $\sum C_i$ ölçütüne göre değerlendirilmekte olup, performans analizinde C_{enb} ve T_{enb} ölçütlerine de yer verilmiştir. Küçük boyuttaki veri setinde 30 örnekten, 25'inde OptSG en iyi (İng: Optimal) çözüme ulaşmıştır. Karma tamsayılı doğrusal modelin uygun sürede çözüme ulaşmasının mümkün olmadığı büyük veri setinde OptSG, iş ve makina

seçim kuralları ile karşılaştırılmış ve çözüm kalitesi açısından OptSG'nin üstünlüğü belirtilmiştir.

Clark ve Clark (2000), paralel makinalarda sıraya bağımlı hazırlık süreleri varlığında parti büyüklüğünü belirleme problemine yönelik doğrusal bir tamsayılı programlama modeli kurmuşlardır. Elde bulundurma ve karşılanamayan talep maliyetlerinin toplamını enküçüklemeyi amaçlayan modelde, bir dönemde birden fazla hazırlık yapılabilmesi varsayımı mevcuttur. Geliştirilen model boyutunun artan dönem sayılarında uygun sürelerde çözüme ulaşmasının imkânsızlığı, talep tahminlerinin güncellenmesi gereği ve karşılanamayan talep maliyetinin belirsizliği nedeni ile model dönem bazlı (İng: Rolling Horizon) çözümlere ulaşmak amacı ile kullanılmıştır. Ayrıca, çözüm süresini kısaltmak amacı ile değişik formüllerle işlem süreleri esnetilmiş ve modeldeki 0-1 değişkenlerin bir kısmı, 0 ve 1 arasında değerler alabilen sürekli değişkenlere çevrilmiştir. Bunun sonucunda çözüm süresi %90 oranında kısaltılmış olup, en iyi sonuçlar, bir dönem boyunca [(Ürün sayısı/Makina Sayısı)+1] hazırlığa izin verildiğinde bulunmuştur.

Park ve diğerleri (2000), $Pm/sds/\sum w_i T_i$ problemini, ATCS kuralında değişiklikler yaparak çözmeye çalışmışlardır. Park ve diğerleri (2000), yukarıda sözedilen dört faktöre hazırlık sürelerinin dağıldığı aralık ile ilgili bir adet faktör daha eklemiştir. Ayrıca uygun bileşen katsayılarına problem faktör değerlerinden ulaşılabilmesi amacı ile Yapay Sinir Ağı tekniği kullanılmıştır. Yapılan analizlerde, Yapay Sinir Ağı uygulamasının teslim süresi ile ilgili faktörlerin orta dereceli, hazırlık süresi ve iş-makina sayısı ile ilgili faktörlerin yüksek değerlerinde etkili olduğu vurgulanmıştır. Çözüm kalitesi açısından, bileşen katsayısı tahmininde Yapay Sinir Ağı uygulamasının ortalama %4, yeni faktör eklenmesinin ise ortalama %2 iyileşme sağladığı belirtilmiştir.

Weng ve diğerleri (2001) $Pm/sds/\sum_{j=1}^n \frac{1}{n} w_j C_j$ problemi için yedi adet sezgisel geliştirmiştir. Sezgisellerden ilk üçü AKİSÖ kuralı odaklı olup, ortalama işlem süresini kullanmaktadırlar. Dört, beş ve altıncı sezgiseller de AKİSÖ kuralını uygulamakla beraber en küçük işlem süresini kullanmaktadırlar. Yedinci sezgiselde ise çizelgelenecek iş hazırlık ve işlem sürelerinin toplamının, işin önem derecesine oranına göre belirlenmektedir. Söz konusu oranı en düşük çıkan iş birinci önceliğe

sahip olmaktadır. Yapılan karşılaştırmalar neticesinde yedinci sezgisel yöntem diğer sezgisel yöntemlere üstünlük sağlamış olup, sezgisel yöntemler arasındaki performans farkı, işlem ve hazırlık sürelerinin değişkenliği ile doğru orantılıdır. Yedi sezgisel yöntem de 120 iş-12 makina problemine bir saniyeden az çözüm sürelerinde ulaşmıştır.

Hurink ve Knust (2001), $P_m/prec,sds/C_{enb}$ problemine yönelik çözüm yöntemlerinin, problemi bölümlendirmek ve işleri sıralamak sureti ile iki adımlı olarak geliştirildiğini ve bu durumun da baskın (İng: Dominant) çözümler elde edilmesini engellediğini belirtmişlerdir. Yazarlara göre, bu problemde baskın çözümler elde edebilmek için yukarıda bahsedilen iki adımın eşzamanlı yürütülmesi gerekmektedir.

Dhaenens-Flipo (2001)'in, bir alüminyum konserve kutusu üretim tesisine yönelik olarak geliştirmiş olduğu yöntemde paralel makineler, yayılma süresi gözetilmek üzere, üretim, taşıma ve hazırlık maliyetlerinin toplamını azaltmak amacı ile çözümlenmektedir. Yöntemde değerlendirme, maliyet ve yayılma süresinin doğrusal kombinasyonu olarak ifade edilmiştir. Fonksiyondaki bileşen ağırlıkları, her adımda, gelişme sağlanamayan ölçüde daha çok önem verecek şekilde değişmektedir. Yöntemde alternatif çözümler oluşturmak için iki sezgisel kullanılmaktadır. Bunlardan biri maliyete odaklanırken, diğeri ise zamana odaklanmaktadır. İkinci adımda ise bu sezgisellerden elde edilen çözümler, iş veya iş dizisi değişimleri ile iyileştirilmektedir. Yöntemden elde edilen sonuçlara göre, yayılma zamanı termin limitinin üzerine çıktığında değerlendirme fonksiyonundaki değeri artmakta, böylelikle toplam maliyet yükselmektedir. Ayrıca, genel olarak sonuçların tatminkâr olmasının nedeni, çözümler alternatifleri sayısının yüksek olmasına bağlanmıştır.

Kurz ve Askin (2001), $P_m/sds,r_i/C_{enb}$ problemi için Gezgini Satıcı Problemini (GSP) esas alan iki sezgisel ile MULTI-FIT (Coffman ve diğerleri, 1978) yöntemine sıraya bağımlı hazırlık sürelerini dahil eden bir sezgisel olmak üzere üç adet sezgisel yöntem geliştirmişler ve problemi ayrıca genetik algoritma kullanarak çözmüşlerdir. GSP bazlı sezgisel yöntemlerin ilki SL olup, problemi öncelikle tek makina problemi haline indirgeyip GSP gibi çözmektedir. Daha sonra bulunan sıraya göre işleri belirli bir limit değerine gelinceye kadar birinci makina yüklemektedir. Daha sonra sırayla diğer makineler yüklenmektedir. Limit değeri, mevcut makina sayısı ile ihtiyaç duyulan makina sayısı karşılaştırılarak değiştirilebilmektedir. MI yönteminde ise GSP problemi için geliştirilmiş En Ucuz Ekleme Sezgiseli (İng: Cheapest

Insertion Heuristic) yayılma zamanı dikkate alınarak uygulanmaktadır. Performans karşılaştırmasında öncelikle işlerin hazır olma zamanları ihmal edilmiştir. Bu durumda, MI yöntemi diğer yöntemlere 446 kez üstünlük sağlamıştır. MI yöntemini 207 kez ile genetik algoritma izlemektedir. Optimal çözüme ulaşma oranı açısından genetik algoritma en iyi performansı sergilemiştir. Daha sonra işlerin hazır olma zamanları dahil edilmiş olup, MI yöntemi 610 kez, genetik algoritma 30 kez, diğer yöntemlere üstünlük sağlamıştır. İşlerin serbest kalma zamanları dâhil edilince en iyi çözüme ulaşma oranı açısından MI yöntemi genetik algoritmaya üstünlük sağlamıştır. Bunun yanında, MI yönteminin diğer üç yönteme göre daha kısa sürelerde çözüme ulaştığı belirlenmiştir. Buna ek olarak, çalışmada, genetik algoritma uygulamalarında uygun parametre seçiminin önemi vurgulanmıştır.

Mendes ve diğerleri (2002), Pm/sds/ C_{enb} probleminin çözümüne yönelik olarak tabu arama ve melez genetik algoritma yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmada ele alınan hazırlık süreleri matrisi asimetrik yapıdadır. Melez genetik algoritmanın yapısında her kromozom dahilinde yerel arama (İng: Local Search) algoritması çalıştırılmaktadır. Geliştirilen yöntemler değişen hazırlık süresi/işlem süresi oranlarına sahip problemlerde (20*2 ve 80*8 arası) uygulanmıştır. Düşük hazırlık süresi/işlem süresi oranlarında melez genetik algoritma ile daha iyi yayılma süresi çözümleri elde edilirken, makina sayısı ve hazırlık süresi/işlem süresi oranının yüksek olduğu problemlerde tabu arama yöntemi etkin çözümler sunmuştur. Ayrıca yazarlar, meta sezgisel yöntemlerin uygulanmasında uygun parametre seçiminin önemini vurgulamışlardır.

Kim ve diğerleri (2002), Pm/sds/ $\sum_{i=1}^n T_i$ problemini tavlama benzetimi (İng: Simulated Annealing) tekniği ile çözmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada her iş N parçadan oluşan bölünebilir bir parti olarak ele alınmıştır. Tavlama benzetimindeki mevcut nokta civarında bulunan alternatif çözümlerin üretilmesi aşamasında iki makina arası parti değişimi, parti bölme, parti transferi, parça değişimi ve parça transferi gibi hem parça hem de parti bazlı yöntemler kullanılmış olup, her bir alternatif çözüm adımı için bu yöntemler çalıştırılıp en alternatif çözüm seçilmektedir. Geliştirilen yöntem, alternatif çözüm üretiminde sadece parça değişimi ve parça transferini ele alan klasik tavlama benzetimi algoritması ve iniş tekniği (İng: Descent Technique) ile yarı iletken üretimi yapan bir

firmaya ait verilere uygulanarak karşılaştırılmıştır. Sonuçta geliştirilen yöntem diğer yöntemlere göre 81 durumun hepsinde üstünlük sağlamıştır. Klasik tavlama benzetimi algoritması ise iniş tekniğine göre 37 kez daha iyi çözüm vermiştir. Küçük boyutlu problemlerde, iniş tekniği ile en kısa çözüm sürelerine ulaşılmış olup, problem boyutu büyüdükçe çözüm süresi açısından da en uygun sonuçlar, hem parti hem de parçaya yönelik alternatif çözüm tekniklerini kullanan tavlama benzetimi algoritması ile elde edilmiştir.

Meyr (2002)'nin, paralel hatlarda parti miktarını belirleme ve çizelgelemeye yönelik metotta problem iki safhada çözülmektedir. Öncelikle hazırlık işlemleri tavlama benzetimi (İng: Simulated Annealing) veya eşik değeri kabulü (İng: Threshold Accepting) yöntemlerinden biri ile çizelgelenmekte olup hazırlık maliyeti belirlenmekte, daha sonra parti miktarları geliştirilen ağ modeli vasıtasıyla belirlenerek elde bulundurma ve üretim maliyetleri hesaplanmaktadır. Yukarıda bahsi geçen maliyetlerin toplamını enazlamaya yönelik olarak geliştirilen metot, gerçek bir tüketim malları üretim ortamında uygulanmıştır. Hazırlık işlemlerinin çizelgelenmesinde, tavlama benzetimi, eşik değeri kabulü yöntemine göre çözüm kalitesini %1,5 arttırmıştır. Geliştirilen metot genel olarak çözüme uzun sürelerde ulaşmakla birlikte, hazırlık işlemlerinin eşik değeri kabulü yöntemi ile çizelgelenmesinin çözüm süresini kısalttığı belirtilmiştir.

Yalaoui ve Chu (2003), paralel makinalardaki sıraya bağımlı hazırlık sürelerine sahip bölünebilir işlerin, yayılma süresini enküçüklemek amacı ile çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Çalışmada, öncelikle problem için alt sınır değerine ait formül elde edilmiş, daha sonra çözüm amaçlı bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem, öncelikle paralel makina problemini tek makina problemine indirgeyip Gezgin Satıcı Problemi (İng: Traveling Salesman Problem) şeklinde çözmektedir. Daha sonra, bulunan süre makinalara eşit şekilde paylaştırılmakta olup, her makina için uygun sıra, gezgin satıcı problemi için ilk adımda kullanılan yöntemle tekrar bulunmaktadır. Problemin çözümüne ise, en yüksek iş yüküne sahip makinadan daha düşük iş yüküne sahip makinalara iş transferi ile ulaşılmaktadır. Sezgisel yöntemin performans testi için rastsal çizelgeleme problemleri üretilmiş ve sezgisel yöntem sonuçları, alt sınır değerlerinden ortalama %4,88 sapma göstermiştir.

Bilge ve diğeri (2004), $Pm/sds,r_i/\sum_{i=1}^n T_i$ problemini tabu arama yöntemi ile çözmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Yöntemde, gecikme payı en çok olan makinadan diğeri makinalara iş transferi ile komşu çözüm üretimi sonucunda yüksek çözüm kalitesine ulaşılmıştır. Ayrıca, geliştirilen tabu arama algoritması çözümünü yerel optimumdan uzaklaştırmaya yönelik, çözüm uzayında tekrarlı armaları önlemeye yönelik çeşitlendirme (İng: Diversification) ve geçmiş adımlarda çözümde iyileştirmeye yol açan iş transferlerini kullanan yoğunlaştırma (İng: Intensification) adımları da bulunmakta olup, yoğunlaştırma adımları, çeşitlendirme adımlarına göre daha etkili olmuştur.

Ellis ve diğeri (2004), yarı iletken üretimi test süreçlerinin çizelgelenmesini $Pm/Prec/s_{ij}/C_{enb}$ problemi olarak ele almışlardır. Problem yapısının gösterilmesi açısından öncelikle bir matematiksel programlama modeli sunulmuş, daha sonra LB ve PB olmak üzere iki adet sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Sezgisel yöntemler, çizelgelenen işler kümesini belirlerken hazırlık süresi açısından belirli bir düzeyi dikkate almaktadır. LB yönteminde işler, partiye veya kalan işlem süresine göre verilen öncelik değerine göre çizelgelenirken, PB sezgiselinde aynı hazırlık sürecine ait işler arka arkaya çizelgelenmektedir. Çalışmada, bu iki sezgisel yöntem donanım kısıtı da eklenmiş olup LBC ve PBC olmak üzere iki sezgisel yöntem daha türetilmiştir. Performans analizi için dört sezgisel, değişik talep yapılarında ve miktarlarındaki problemlerde denenmiştir. Düşük talep düzeyinde iki sezgisel de yayılma süresi açısından yakın değerlere ulaşırken, orta ve yüksek talep değerlerinde PB, LB sezgiseline üstünlük sağlamıştır. PB sezgiseli, LB sezgiseline göre daha yüksek ortalama süreç içi stok değerleri sonucunu vermiştir. Donanım kısıtı, her iki sezgiselde de yayılma süresini uzatmıştır. Ayrıca sezgiseller, iki ayrı endüstriyel ortamda uygulanmıştır. Donanım kısıtı altında birinci uygulamada LBC, ikinci uygulamada PBC sezgiseli üstünlük sağlamıştır. Donanım kısıtı olmaksızın LB ve PB sezgiselleri birbirine yakın yayılma sürelerine ulaşmıştır. Dört sezgisel de uygulandığı zaman, mevcut duruma göre yayılma süresinde %23-45 arasında iyileşme sağlamaktadır.

Anglani ve diğeri (2005), paralel makinalarda sıraya bağımlı hazırlık maliyetlerinin enazlanması problemini karma tamsayılı programlama modeli ile çözmeye çalışmışlardır. Çalışmada, işlem süreleri bulanık (İng: Fuzzy) sayılarla ifade

edilmiştir. Çözüm süresini kısaltmak ve modeli doğrusal hale getirmek için, modeldeki doğrusal olmayan fonksiyonları, doğrusal parçalı fonksiyonlara indirgeyen bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, bir çorap fabrikasındaki dokuma atölyesine ait verilere uygulanmış ve yirmi dakikadan kısa çözüm sürelerinde en iyiden (İng: Optimum) ortalama %1,5 yüksek hazırlık maliyeti değerlerine ulaşmıştır.

Dastidar ve Nagi (2005), enjeksiyon kalıbı içeren paralel iş istasyonlarında donanım kısıtı ve sıraya bağımlı hazırlık süreleri altında ürün çizelgelenmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada öncelikle hazırlık, elde bulundurma ve karşılanamayan sipariş maliyetleri toplamını enazlamaya yönelik bir karma tamsayılı programlama modeli sunulmuştur. Daha sonra bu modeldeki hazırlık süreçleri ile ilgili 0-1 tamsayılı değişken gevşetilerek modelin karmaşıklığı azaltılmıştır. Ancak model bu hali ile de büyük boyuttaki endüstriyel problemleri çözmeye müsait olmadığından, mevcut problemi iş istasyonları bazında parçalara ayırarak çözen bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda iş istasyonları gruplandırılmakta ve bir istasyon grubuna ait alt problemin sonucu, bir sonraki gruba ait alt problemin girdisi olmaktadır. Geliştirilen bu iki yöntem, sağlık sektörüne yönelik ürünler üreten bir firmada uygulanmıştır. Gevşetilmiş karma tamsayılı programlama modeli, büyük boyuttaki problemlerin bazılarında iki saatten fazla sürede çözüme ulaşırken, diğer büyük boyuttaki problemlerde ise çözüme ulaşamamıştır. Bölümlendirmeye dayalı ikinci yöntemde ise büyük boyuttaki problemlerde bile en uzun çözüm süresi 21 dakika olurken, çözüm kalitesinde ise %2'den düşük bir azalma olmuştur.

Beraldi ve diğerleri (2006), paralel makinalarda sıraya bağımlı hazırlık süreleri ve kesin olmayan işlem sürelerine sahip parti boyutu belirleme ve çizelgeleme probleminde senaryo ağacını kullanmışlardır. Ayrıca yöntemde ana problemden ayrıştırılan alt problemler çok aşamalı stokastik karma tamsayılı programlama modeli ile çözülmüştür. Çalışmada, alt problemlere ayırma sürecini zaman bazlı gerçekleştiren değişik periyotlara sahip üç, en olası senaryo seçimine dayanan bir adet sezgisel geliştirilmiştir. Teslim zamanlarının eşit olduğu durumlarda olası senaryo seçimine dayanan sezgisel, eşit olmayan teslim zamanlarını içeren problemlerde ise zaman bazlı sezgiseller, çözüm kalitesi açısından en uygun sonuçları vermiş olup, en iyi sezgisel çözümlerinin dal sınır algoritması

çözümlerimden sapma oranı %3'ü geçmemiştir. Ayrıca, sezgiseller büyük boyuttaki problemleri uygun sürelerde çözüm yeteneğine sahiptir.

Omar ve Teo (2006), $Pm/sds/W_T \sum T_i + W_E \sum E_i$ probleminin çözümüne yönelik olarak doğrusal karma tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada, işler (partiler), ailelere ayrılmıştır. Hazırlık süreleri ise ardışık işler farklı ailelere mensup olduğunda meydana gelmektedir. Yapılan denemelerde en büyük problem boyutu, dört aileye ayrılmış 18 iş-4 makina olarak belirlenmiş olup, geliştirilen model, bütün problemlerde çözüme ulaşmıştır (En yüksek çözüm süresi: 4485 saniye).

Tahar ve diğerleri (2006), paralel makinalardaki sıraya bağımlı hazırlık sürelerine sahip bölünebilir işlerin yayılma süresini enküçüklemek amacı ile çizelgelenmesine yönelik olarak lineer programlama adımına sahip bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntemin ilk üç adımı, Yalaoui ve Chu (2003)'nun geliştirmiş olduğu sezgisel ile aynıdır. Dördüncü adımda makinalara atanan işlerin ve atandıkları makinalardaki işlem sürelerinin en uygun yayılma süresini vermesi için lineer programlama modeli geliştirilmiştir. Beşinci adımda, üçüncü adımda “m” makinasında çizelgelenen ancak lineer programlama modelinde “m” makinasında çizelgelenen işler kümesinden çıkartılmış işlerin olması durumunda “m” makinası için sözkonusu gezgin satıcı problemi yönteminin uygulanmasını içermektedir. Çalışmada, beşinci adımın uygulandığı ve uygulanmadığı durum, literatürdeki mevcut alt sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Beşinci adımın uygulanmasının çözüm kalitesini arttırmakta olduğu belirlenmiş ve beş adımlı metodun alt sınır değerlerinden ortalama %4,74 sapma gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, yöntemin benzer çalışmalara göre oldukça kısa çözüm sürelerine ulaşması, gerçek ortamlardaki uygulanabilirlik özelliğini ortaya koymaktadır.

Anghinolfi ve Paolucci (2007), $Pm/sds,r_i/\sum T_i$ problemi için melez yapıda bir meta sezgisel yöntem ortaya koymuşlardır. Bu yöntem, tavlama benzetimindeki probabilistik çözüm kabul sistematığı, tabu arama yöntemindeki tabu listesi unsuru ile çeşitlendirme stratejisi ve değişken komşuluk arama (İng: Variable Neighbourhood Search) metodundaki dinamik arama uzayı değişimi gibi özellikleri taşımaktadır. Melez meta sezgisel yöntem, Bilge ve diğerleri (2004)'nin geliştirmiş olduğu tabu

arama yöntemi ile karşılaştırılmış ve başlangıç çözümü için ATCS kuralının kullanıldığı 5 örnek dışında tabu arama tekniğinden daha uygun sonuçlar vermiştir. Ayrıca denemelerde ATCS'nin daha iyi başlangıç çözümü vermesine rağmen, başlangıç çözüm kuralı olarak ETZÖ'nün uygulandığı durumlarda daha iyi çözümler elde edilmiştir. Buradan da yöntemin, başlangıç çözüm yönteminden bağımsız olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Armantano ve Filho (2007), $P_m/sds,r_i/\sum T_i$ problemine yönelik olarak yerel arama yöntemlerinden biri olan GRASP tekniğini kullanmışlardır. Geliştirilen yöntem, Bilge ve diğerleri (2004)'nin de kullandığı çeşitlendirme ve yoğunlaştırma unsurları dahil edilmiştir. Performans değerlendirilmesinde geliştirilen yöntem Bilge ve diğerleri (2004)'nin geliştirmiş olduğu tabu arama yöntemi ile karşılaştırılmış ve ortalama değerlere göre 40 örnek problemde 35'inde GRASP tekniği tabu arama tekniği ile aynı veya daha uygun sonuçlar vermiştir. Ayrıca yöntem, çözüm süresi açısından Sivrikaya-Şerifoğlu ve Ulusoy (1999)'un deneme problemleri ile sınanmış olup uygun sonuçlara ulaşmıştır (60 iş-2 makina problemi için çözüm süresi: 94,74 saniye).

Lopes ve Carvalho (2007), $P_m/sds,r_i/\sum w_i T_i$ problemini dal sınır algoritması ile çözmüşlerdir. Metotta başlangıç çözümü, ETZÖ kuralı ile elde edilmektedir. Algoritmada dallanılacak değişkenin seçiminde ondalık kısım ve akış değerini esas alan bir değerlendirme yapılmaktadır. Ayrıca, alt çözüm adımlarında çözüm için yapılan değişken türetme sürecinde ek kısıtlar konularak arama uzayını sınırlayan bir yaklaşım getirilmiştir. Yapılan denemelerde geliştirilen dal sınır algoritması 150*50 (150 iş-50 makina) gibi büyük boyuttaki problemlerde en iyi (İng: Optimal) çözümlere uygun sürelerde (<2800 saniye) ulaşabilmiştir.

Logendran ve diğerleri (2007), $P_m/sds,r_i/\sum w_i T_i$ problemini çözmek için tabu araması algoritmasını kullanmışlardır. Öncelikle, başlangıç çözümü elde etmek için, teslim zamanı, iş ağırlığı, hazırlık süresi, hazır olma zamanı gibi parametreleri kullanan ve sıralama kurallarına dayanan dört alternatif yöntem sunmuşlardır. Daha sonra, sabit ve değişken tabu listesi boyutu ve uzun dönemli hafızaya dayanan

çeşitlendirme veya yoğunlaştırma uygulamasına göre altı çeşit tabu arama algoritması geliştirilerek değişik boyuttaki problemlerde performans değerlendirmesine tabi tutulmuşlardır. Yapılan analizlere göre, farklı başlangıç çözümü elde etme yöntemlerinin kullanılması ile elde edilen sonuçlar arasında belirgin bir fark ortaya çıkmamıştır. Küçük boyuttaki problemler için, sabit boyuttaki tabu listesi, orta boyuttaki problemler için sabit boyuttaki tabu listesi ve çeşitlendirme uygulaması, büyük boyuttaki problemlerde ise değişken boyuttaki tabu listesi ve yoğunlaştırma uygulaması içeren tabu arama algoritmaları, ağırlıklı gecikme süreleri toplamı açısından üstünlük sağlamışlardır.

Nessah ve diğerleri (2007), $P_m/sds, r_1 / \sum C_i$ probleminin çözümünde alt kümelerin birbirine baskınlığının belirlenmesinde yerel optimumluk şartının sınanması için bir fonksiyon geliştirilmiştir. Yerel optimumluk şartını sağlayan alt kümelerden ürün çizelgesi türetmek amacı ile de sezgisel yöntemler türetilmiştir. Mevcut problemin alt sınırının bulunmasında “Kısa Kalan İşlem Süreli Önce” (KKİSÖ) kuralı esas alınmıştır. Problemin çözümü, alt sınır, baskınlık kuralı ve sezgisel yöntemlerin birleştirildiği dal-sınır algoritması ile sağlanmıştır. Rastsal olarak üretilen problem kümeleri, Dal-sınır algoritması ile çözülmüş ve sonuçlar alt sınır ve “Kısa Kalan Toplam Hazırlık Süreli Önce” prensibine dayanan sezgisel yöntem sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Dal-sınır algoritmasının ise 40*2 boyutundaki problemlere kadar çözüm sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca, işlerin serbest bırakılma zaman aralığındaki artışın çözüm zorluğuna etki ettiği sonucuna varılmıştır.

Beraldi ve diğerleri (2008), paralel makinalarda sıraya bağımlı hazırlık süreleri varlığında parti büyüklüğünü belirleme ve çizelgeleme problemi için RH ve FR isimli iki sezgisel yöntem geliştirmiştir. Sezgisel yöntemlerin tekstil ve fiberglas endüstrilerindeki büyük boyutlu çizelgeleme problemlerine çözüm sağlayacak kapasitede olması amaçlanmıştır. Sezgisel yöntemlerde, ana problem parçalara ayrıldıktan sonra, her bir alt problem, hazırlık maliyeti enazlama amaçlı doğrusal programlama modeli ile çözülmektedir. RH sezgiseli, talep miktarının kesinliği durumunda uygunluk taşımaktadır. FR sezgiselinde ise alt problemlere ayırma işlemi makina ve (veya) zaman bazında yapılmaktadır. Geliştirilen sezgisel yöntemler, 100 makina/12-24 ürün/ 30/60 zaman birimi problemlerinde dal sınır algoritmasından elde edilen alt-sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. RH sezgiseli en iyiden (İng:

Optimal) en yüksek %282,27 sapma gösterirken, FR sezgiselinde bu oran %5,88'de kalmıştır. Bu farkın nedenleri olarak ise FR sezgiselinin her teslim zamanı için mümkün olduğunca çok zaman dilimine az makina atması ve RH sezgiselinin talep karşılama unsurunu ertelemesinin maliyeti artışına neden olması gösterilmiştir.

Pfund ve diğerleri (2008), $Pm/sds,r_i/\sum w_i T_i$ probleminin çözümüne yönelik olarak

Lee ve Pinedo (1997)'nin ATCS kuralına hazır olma zamanı ile ilgili bir bileşen daha ekleyerek, ATCSR isimli bir sıralama kuralı geliştirmişlerdir. Gevşeklik, hazırlık süresi ve hazır olma zamanlarına ilişkin bileşenlerin katsayıları bulunmakta olup bu katsayıların çözüm kalitesi açısından en iyi kombinasyonun belirlenmesi için "Izgara Yaklaşımı" (İng: Grid Approach) uygulanmıştır. İşlemci süresinde iyileşme sağlamak amacı ile problem parametreleri bağımsız değişken kabul edilerek regresyon analizi ile önem katsayıları belirlenmiştir. Böylelikle her bir problem için uygun bileşen katsayılarına ulaşılmış olmaktadır. 800 adet örnek problemle yapılan incelemede "Izgara Yaklaşımı"nın kullanılması, çözüm kalitesinde %9'luk iyileşmeye yol açmıştır. Ayrıca, ATCSR kuralı, ATCS, BATCS, X-RM kuralları ile karşılaştırılmış olup, bu kural, diğer sıralama kurallarına göre ağırlıklı gecikme süresi toplamı açısından daha uzun çözüm sürelerinde daha kaliteli çözümler (ATCS'den %29, BATCS'den %20, X-RM'den %15) sunmuştur. Çözüm kalitesindeki iyileşmenin düşük hazırlık süreleri ve yakın zamanda hazır olacak yüksek öncelikli işlerin gözönünde bulundurulması ile sağlandığı belirtilmiştir.

Rocha ve diğerleri (2008), $Pm/sds,r_i/\sum w_i T_i + C_{enb}$ probleminin çözümüne yönelik

iki adet karma tamsayılı programlama modeli ve dal sınır algoritması geliştirmiştir. Karma tamsayılı programlama modellerinden biri diğerine göre daha fazla kısıta ve daha küçük alt sınırlara sahiptir. Dal sınır algoritması ise iki aşamalı olup, birinci aşamada işler makinalara atanmakta, ikinci aşamada ise her bir makinada iş sıralaması yapılmaktadır. Ayrıca dal sınır algoritmasının başlangıç çözümü GRASP metasezgiseli ile elde edilmiştir. Performans değerlendirmesi için üretilen problemlerin boyutu en fazla 25 işte sınırlı tutulmuştur. Dal sınır algoritması uygun sürelerde (örneğin, 12 iş- 6 makina problemi için 0,04 sn) yüksek kalitede çözüme ulaşmıştır. Ayrıca, Dal sınır algoritmasında üretilen düğüm sayısının, hazırlık

sürelerindeki değişkenliğin artması ile arttığı, teslim zamanı ve işlem sürelerindeki artış ile azaldığı belirtilmiştir.

Saraç ve Sipahioğlu (2008), klasik paralel makina probleminden farklı olarak işlerin makinalara atanabilmesi için ilgili kalıbın da aynı makinaya atanması gerektiği, işlerin ortak kalıp kullandıkları ve kalıp sayısının sınırlı olduğu durumların gözönünde bulundurulduğu enjeksiyon makinalarının çizelgelenmesi problemi için ek kısıtları olan bir karesel çoklu sırt çantası modeli önerilmişlerdir. Önerilen modelin kullanması gereken parametrelerin değerlerinin belirlenmesine yönelik olarak da bir yaklaşım geliştirilmiştir. Önerilen modelin kullanılabilirliği, yedi boyutlu küçük bir test problemi üzerinde gösterilmiştir. Gerçek hayat problemlerinin özelliklerine sahip 100 boyutlu bir örnek problem için, GAMS/DICOPT ile 13.000 sn. içinde uygun bir çözüm elde edilmiştir.

Tavakkoli-Moghaddam ve diğerleri (2009)'un ele almış oldukları problemde işlerin serbest bırakılma zamanları mevcut olup, işler arasında öncelik ilişkisi sözkonusudur. Çalışmanın amacı geç kalan iş sayısı ve işlerin tamamlanma süreleri toplamını enazlamaktır. Karma tamsayılı programlama çözümünün birinci safhasında geciken iş sayısı enazlanmaktadır. İkinci safhada elde edilen geciken iş sayısı ikinci modele parametre olarak girilmekte ve işlerin toplam tamamlanma süreleri enazlanmaktadır. Ayrıca, çalışmada problemin çözümüne yönelik olarak genetik algoritma kullanılmıştır. Genetik algoritma çözümleri en iyi (İng: Optimal) sonuçlardan geciken iş sayısı açısından %12, işleri toplam tamamlanma süreleri açısından %8 sapma göstermiştir.

Behnamian ve diğerleri (2009), $Pm/sds,ri/C_{enb}$ probleminin çözümüne yönelik tavlama benzetimi, karınca kolonisi optimizasyonu yöntemlerini kullanmışlardır. Bu yöntemlerin her birini yerel arama yöntemi ile bütünleştirip melez yapıda iki ayrı algoritma geliştirmişlerdir. Ayrıca, çalışmada üç yöntemin bütünleştirildiği bir algoritma daha mevcuttur. Bu algoritma %5 anlamlılık düzeyinde diğer algoritmalara yayılma süresi açısından istatistiksel olarak anlamlı bir üstünlük sağlamıştır.

Gharehgozli ve diğerleri (2009), toplam ağırlıklı akış süresi ve toplam ağırlıklı teslim gecikmesini enazlamak amacı ile karma tamsayılı hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada işlem süreleri bulanık sayı olarak ifade edilmiştir. Geliştirilen model ile 7 iş 3 makina problemini çözmek yaklaşık bir saat sürmüştür.

Ying ve Cheng (2010), $P_m/sds,ri/L_{enb}$ problemine yönelik olarak yerel arama tabanlı bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Yöntem ETZÖ kuralı ile ilk sıra oluşturma, alt sıra elde etme ve local arama esaslı iyileştirme adımlarından oluşmaktadır. Yöntem tavlama benzetimi algoritmasına göre üstünlük en büyük gecikme süresi açısından üstünlük sağlamıştır.

Farklı yöntem, teknik ya da yaklaşımlar kullanan tüm bu yayınlar gözönünde bulundurularak, Çizelge 4.1’de görülen sınıflandırma gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1 : Sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin bulunduğu paralel makina çizelgeleme ile ilgili yayın matrisi.

PARALEL MAKİNA ÇİZELGELEME & SIRA BAĞIMLI HAZIRLIK SÜRELERİ	AMAC							BÖLÜNEBİLİR İŞLER/PARTİLER		ÖNCELİK KISIDI		KULLANILAN YÖNTEM			n		d _i		w _i		GERÇEK ÜRETİM ORTAMINDAN UYGULAMA				TSBSBHS		YÜKE YÖNELİK İŞ GÖNDERME		İŞLEM VE HAZIRLIK SÜRELERİ			PARALEL MAKİNALAR ARASI HIZ FARKI		ÇALIŞMA SÜRESİ KISITI		
	C _{emb}	∑w _i T _i	∑T _i	MEI	W ₁ ∑T ₁ +W ₂ ∑E _i	D	V	Y	V	Y	S	Eİ	MS	V	Y	V	Y	V	Y	V	Y	V	Y	V	Y	DET	STO	BUL	V	Y	V	Y				
Lee ve Pinedo (1997)		X					X	X	X	X		X ^(c)		X	X	X				X		X		X		X		X		X		X				
Balakrishnan ve diğerleri (1999)					X		X	X			X ⁽¹⁾		X		X	X				X		X		X		X		X		X		X				
Şerifoglu ve Ulusoy (1999)					X		X	X				X ^(a)	X	X	X				X		X		X		X		X		X		X		X			
Tucci ve Rinaldi (1999)				X			X	X				X ^(c)		X	X				X	X		X		X		X		X		X		X		X		
Chien ve Chen (2000)	X					X ^{(b),(d)}	X	X				X ⁽¹⁾	X ^(a)	X	X				X		X		X		X		X		X		X		X			
Clark ve Clark (2000)				X			X					X ⁽¹⁾		X	X				X		X		X		X		X		X		X		X			
Gravel ve diğerleri (2000)			X			X ^{(b),(d)}	X	X					X ^(a)		X	X				X	X		X		X		X		X		X		X			
Park ve diğerleri (2000)		X					X	X	X				X ^(b)	X	X				X		X		X		X		X		X		X		X			
Radhakrishnan ve Ventura (2000)						X ^(b)	X	X					X ^(c)	X	X				X		X		X		X		X		X		X		X			
Dhaenens-Filpo (2001)	X			X			X	X	X					X	X				X		X		X		X		X		X		X		X			
Kuruz ve Askin (2001)	X						X	X	X	X	X ⁽¹⁾			X					X		X		X		X		X		X		X		X			
Weng ve diğerleri (2001)						X ^(c)	X	X	X					X	X	X				X		X		X		X		X		X		X		X		
Mendes ve diğerleri (2002)	X						X	X					X ^{(e),(f)}	X	X				X		X		X		X		X		X		X		X			
Meyr (2002)				X			X					X ⁽¹⁾	X ^{(c),(d)}	X	X				X	X		X		X		X		X		X		X		X		
Yaloussi ve Chu (2003)	X						X			X	X			X	X				X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Bilge ve diğerleri (2004)			X				X	X					X ^(c)	X	X				X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Ellis ve diğerleri (2004)	X						X	X		X				X	X				X	X		X		X		X		X		X		X		X		
Anglani ve diğerleri (2005)				X			X	X	X			X ⁽¹⁾		X	X				X	X		X		X		X		X		X		X		X		
Dasidar ve Nagi (2005)				X			X	X	X			X ⁽¹⁾		X	X				X	X		X		X		X		X		X		X		X		
Beraldi ve diğerleri (2006)				X			X	X	X					X	X				X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Omar ve Teo (2006)					X		X	X				X ⁽¹⁾		X	X				X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Tahar ve diğerleri (2006)	X						X	X	X	X	X ⁽¹⁾			X	X				X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Anghianoffi ve Paolucci (2007)			X				X	X					X ^(f)	X	X				X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Armantano ve Filho (2007)			X				X	X					X ^(f)	X	X				X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Logendran ve diğerleri (2007)		X					X	X					X ^(c)	X	X	X				X		X		X		X		X		X		X		X		
Lopes ve Carvalho (2007)		X					X	X				X ⁽²⁾		X	X	X				X		X		X		X		X		X		X		X		
Nessah ve diğerleri (2007)						X ^(f)	X	X				X ⁽²⁾		X		X				X		X		X		X		X		X		X		X		X
Beraldi ve diğerleri (2008)				X			X	X	X					X	X					X		X		X		X		X		X		X		X		X
Pflund ve diğerleri (2008)		X					X	X	X					X	X	X				X		X		X		X		X		X		X		X		X
Rocha ve diğerleri (2008)	X	X					X	X				X ^{(1),(2)}		X	X	X				X		X		X		X		X		X		X		X		X
Saraç ve Sipahioğlu (2008)			X				X	X				X ⁽¹⁾		X	X					X		X		X		X		X		X		X		X		X
Tavakoli-Moghaddam (2009)						X ^{(b),(v)}	X	X				X ⁽¹⁾	X ^(c)	X	X					X		X		X		X		X		X		X		X		X
Behnamian ve diğerleri (2009)	X						X	X					X ^{(c),(f),(g)}	X	X					X		X		X		X		X		X		X		X		X
Gharehgozli ve diğerleri (2009)		X					X ^(b)	X	X			X ⁽³⁾		X	X	X				X		X		X		X		X		X		X		X		X
Yang ve Cheng (2010)						X ^(vii)	X	X	X					X	X					X		X		X		X		X		X		X		X		X
Toplam: 35	9	7	5	8	3	9	6	29	3	32	14	15	15	14	21	21	14	10	25	6	29	0	35	0	35	7	26	2	19	16	3	32				

Kısaltmalar

C_{emb}: Yayılma süresi n_i: "T" işinin işlem için hazır olma zamanı d_i: "T" işinin teslim zamanı C_i: "T" işinin tamamlanma zamanı T_i: "T" işinin teslim gecikme süresi E_i: "T" işinin erken bitme süresi WT: Gecikme süresi ceza faktörü WE: Erken bitme süresi ceza faktörü w_i: "T" işinin ağırlığı MEI: Maliyet eniyileme D: Diğer (i) ∑ C_i
(ii) T_{max} (iii) Çıktı miktarı en büyükleme (iv) Hazırlık Süreleri Toplamı (v) Ağırlıklı Ortalama Tamamlanma Zamanı (vi) ∑ T_i+E_i (vii) Geciken iş sayısını enazlama (viii) L_{tab} (ix) Ağırlıklı Toplam akış süresi S: Sezgisel Eİ: En iyileme (1) Karma Tamsayılı Programlama (2) Dal Sınır Algoritması (3) Hedef programlama
MS: Metasezgisel (a) Genetik Algoritma (b) Yapay Sinir Ağ (c) Tavlamalı Benzetimi (d) Eşik Değeri kabulü (e) Tabu arama (f) Melez Metasezgisel (g) Karınca Kolonisi Optimizasyonu **TSBSBHS**: Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıraya Bağlı Hazırlık Süreleri **DET**: Deterministik **STO**: Stokastik **BUL**: Bulunuk **V**: Var **Y**: Yok

4.2 İş Yüğü Bazlı Üretim Kontrolü İle İlgili Yayınlar

Hızla değişen müşteri ihtiyaç ve beklentilerine dinamik bir şekilde cevap verme esnekliği günümüz rekabet koşullarında işletmeler için kaçınılmaz bir unsurdur. Bu doğrultuda, etkin bir üretim kontrol sistemi kullanımına ait önemin etkisiyle, akademisyenlerin ve üretim yöneticilerinin İş Yüğü Bazlı Üretim Kontrolü (İng: Load Oriented Manufacturing Control) konusuna ilgisi giderek artmakta olup, literatürde bu konuyu uygulama bazında veya teorik bazda irdeleyen çalışmalar mevcuttur (Fredendall ve diğerleri, 2010). Bu bölümde, “İş Yüğü Bazlı Üretim Kontrolü” ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

Bechte (1988), iş merkezlerinin yönetilmesinde yeni bir çözüm olarak tanımladığı İş Yüğü Bazlı Üretim Kontrolü 'ne yönelik prensipleri ortaya koymuştur. Yüğü bazlı üretim kontrolünün amacı, siparişlerin hızlı ve zamanında akışını sağlayacak ve iş merkezlerinin kullanım oranlarını da yüksek tutacak şekilde, proses içi stoğu mümkün olduğunca sınırlamak ve dengelemektir. Ayrıca sistem, temin sürelerini planlanan seviyede tutmaya çalışırken, tam anlamıyla bir termin bazlı çizelgeleme yaklaşımı sunar. Aynı zamanda, sistemdeki darboğaz noktalar ortaya çıkarılırken, etkin bir kısa ve orta vadeli kapasite planlama yapılmış olmaktadır. Çalışmada, İş Yüğü Bazlı Üretim Kontrol Sistemi (İYBÜKS), plastik endüstrisinde faaliyet gösteren bir firmada uygulanmıştır. Uygulama neticesinde, bitmiş ürün stok miktarında (-%35), süreç içi stok miktarında (-%28), sipariş temin süresinde (-%43), üretim temin süresinde (%36), teslim gecikmelerinde -%81) köklü değişimler gözlemlenmiştir.

Ashby ve Uzsoy (1995)'un, otomotiv sektörüne yönelik silindir üretimi yapan bir firmanın üretim hücrelerine gönderilecek işlerin serbest bırakılması sistematiğini kurmaya yönelik geliştirmiş oldukları metodoloji üç adımlıdır. Birinci adımda serbest bırakılacak işler hazırlık süreleri de dikkate alınarak belirlenmekte, ikinci adımda aynı çapa sahip ürünlerin oluşturdukları grupların sıralaması yapılmakta, üçüncü ve son adımda ise her bir ürün grubu içerisinde ürün sırası elde edilmektedir. Çalışmada birinci ve ikinci adımlar için sezgisel yöntemler geliştirilmiş, üçüncü adımda ise sıralama kuralları kullanılmıştır. Uygulama neticesinde, sıraya bağımlı hazırlık sürelerinden sağlanan tasarrufun üretim etkinliğini arttırması nedeni ile üretim sisteminin teslim performansının arttığı belirtilmiştir. Geliştirilen grup

sıralama sezgiselleri arasında belirgin bir performans farkı gözlemlenmemiştir. Ayrıca, üçüncü adımda, EKHSÖ kuralı, ETZÖ kuralına göre daha iyi teslim performansı sağlamış olup, seçilecek olan sıralama kuralının grup sıralama sezgisellerinin çözüm kalitesine önemli ölçüde etkisi olduğu saptanmıştır.

Missbauer (1997), üretim sistemlerinde düşük süreç içi stok ve kısa temin sürelerinin elde edilebilmesi için daha fazla hazırlık faaliyeti yapılmasının gerekli olduğunu belirtmiştir. Bu durumda düşük hazırlık sürelerini sağlayacak ürün sıraları önem kazanmaktadır. Çalışmada süreç içi stok miktarı ile hazırlık süreleri arasındaki ilişki matematiksel olarak ifade edilmiştir. Çalışmada, ele alınan makina önündeki iş yükünü süre ve adet olarak ele alan iki adet iş serbest bırakma sistemiği ele alınmıştır. İş sıralama kuralı olarak ise İGÖ (İlk Gelen Önce) ve EKHSÖ (En Kısa Hazırlık Süreli Önce) sınanmıştır. Benzetim sonuçlarına göre belirli bir süreç içi stok miktarında sıraya bağımlı hazırlık sürelerini dikkate alan EKHSÖ kuralı, İGÖ kuralına göre daha yüksek çıktı miktarı sağlamıştır.

Hendry ve diğerleri (1998), “Siparişe Göre Üret” (İng: Make to Order) tarzı üretim yapan bir sistemde İYBÜKS uygulamasının etkilerini incelemek amacı ile sipariş kabul ve serbest bırakma adımlarını içeren bir benzetim çalışması yapmışlardır. Üretim temin süresinin hesaplanmasına yönelik geliştirilen formülde karar verici, işlerin bekleme süresi kısmına, işin aciliyet derecesine göre farklı değerler verebilmektedir. Simülasyon sonuçlarına göre karar vericilerin iş aciliyetine yönelik yapacakları subjektif değerlendirmeler arasındaki farkın temin süresi performansı üzerinde bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Çalışma neticesinde, İYBÜKS’in üretim temin süresinde kısalma sağladığı belirtilmiş olup, İYBÜKS etkinliğini arttırmak amacı ile üretim temin süresi ve kabul edilen iş oranı ölçütlerini dengede tutacak doğru parametre (termin limiti ve izin verilen en yüksek temin süresi) değerlerinin belirlenmesinin önemi vurgulanmıştır.

Cigolini ve diğerleri (1998), dinamik ve belirsiz atölye tipi üretim sisteminde iş serbest bırakma yöntemlerine yönelik bir karşılaştırma çalışması yapmışlardır. Borowski (1989), Bechte (1988) ile Deane ve Modie (1972) tarafından geliştirilen üç adet iş serbest bırakma yöntemi ele alınmıştır. İş yükü, makinaların çalışma oranı, işlem sürelerindeki değişkenlik ve iş karmasındaki denge, etki faktörleri olarak ele alınmıştır. Yöntemlerin etki faktörlerine gösterdiği hassaslık, benzetim tekniği ile temin süresi ve teslim performansı gözetilerek incelenmiştir. Borowski (1989)’nin

geliştirdiği yöntemin durağan atölye koşullarına, Bechte (1988)'nin iş serbest bırakma yönteminin ise değişken atölye koşullarına uygunluğu belirlenmiştir.

Perona ve Portioli (1998), planlama dönemi ve iki ardışık serbest bırakma arasındaki süre olan serbest bırakma kontrol periyodunun İYBÜKS performansına etkisini incelemişlerdir. Ortalama akış süresi ve teslim performansı ile ilgili ölçütler dikkate alınarak benzetim tekniği kullanılmıştır. Sonuçlara göre, kısa kontrol periyodu hızlı geri besleme sağlamakla beraber, işlerin serbest bırakılma öncesi sistemde kaldığı süreyi kısaltması nedeni ile geç kalan iş sayısını azaltmaktadır. Ancak, kontrol periyodu kısaldıkça, bu süre zarfında az kapasite boşa çıkmıştır. Bu durumda, uzun işlem süreli işler için yeterli kapasiteye ulaşma süresi uzadığından, serbest bırakılmaları gecikmiştir. Çalışmada planlama döneminin ortalama işlem süresi ile doğru orantılı olması gerektiği önerilmiştir. Planlama dönemi uzunluğu arttıkça ortalama akış süresi ve geciken iş sayısında artış meydana gelmiştir. Planlama dönemi için değerlendirme aralığının orta kısımlarında bulunan değerler daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca İYBÜKS'nin olumlu etkilerinin uygun planlama ve kontrol periyodu parametrelerinde belirginleştiği belirtilmiştir.

İş yükünün belirlenmesinde sadece iş istasyonunun önündeki kuyruğa odaklanan doğrudan iş yükü (İng: Direct Workload) veya iş istasyonuna rota dahilinde daha sonra gelecek işleri de hesaba katan toplam iş yükü (İng: Aggregate Workload) dikkate alınmaktadır. İşlerin serbest bırakılmasında ise makinaların yük limitlerine bakılmaktadır. Land ve Gaalman (1998) yapmış oldukları çalışmada bu tip sistemlerin, yük limitlerinin altındaki makinaların aylak kalma süresini arttırıp, üretim sisteminin teslimat performansını düşürdüğünü belirlemişlerdir. Bu problemin çözümüne yönelik olarak ise her bir operasyona gevşek süre verip, iş serbest bırakma aşamasında yük limitleri yerine, kuyruk ve işlerin aciliyetini dikkate alan “slar” isimli bir sistematik geliştirmişlerdir. Yapılan benzetim sonucunda “slar” sisteminin, klasik serbest bırakma sistematığına göre üretim sisteminin teslimat performansında daha iyi sonuç verdiği ortaya çıkmıştır.

Gerçek üretim ortamlarında performans değerlendirmesi bireysel ölçütlere dayandığından işgörenler, kendilerine verilen iş listesinde uymaları gereken sıra yerine daha kısa işlem süreli işleri öne alabilmektedir. Philipoom ve Fry (1999), İYBÜKS'nin, işgörenlerin inisiyatif kullanmaları durumundaki etkisini araştırmak amacı ile bir çalışma yapmıştır. İYBÜKS, teslim zamanı belirleme, serbest bırakma

ve sıralama adımlarından oluşmaktadır. İşgörenlerin iş tercihi durumunu belirginleştirmek için planlanan işlem süreleri ve rastsal olarak üretilen gerçekleşen işlem süresi arasındaki sapma hesaplanmıştır. Demiryolu ekipmanları üreten bir sistemin verilerinin kullanıldığı çalışmanın sıralama adımı ETZÖ kuralı (üretim planlama bölümünden gelen iş sırası) ile birlikte düşük sapmalı işe öncelik veren bir sıralama kuralı (işgörenlerin tercih edeceği sıra) karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, işgörenlerin tercih şekli KİSÖ kuralına benzediğinden temin süresi ve süreç içi stok miktarını azaltmasına rağmen teslim performansını düşürmektedir. Mevcut sisteme İYBÜKS uygulandığında ise teslim performansı artmıştır. Ancak, İYBÜKS serbest bırakma öncesindeki süreci uzun tuttuğundan geç kalan iş oranında artış gözlenmiştir.

Sabuncuoğlu ve Karapınar (1999), iş serbest bırakma yöntemlerine yönelik bir sınıflandırma yapmıştır. Yazarlar, iş serbest bırakma yöntemlerini iş ve iş yeri durumunu gözönünde bulundurmayan yöntemler, iş yükünü dikkate alan yöntemler, serbest bırakma zamanı belirleyen yöntemler ve iş yükü ile teslim zamanlarını dikkate alan yöntemler olarak dört sınıfta incelemiştir. Ayrıca, çalışmada sürekli ve periyodik iş serbest bırakma yöntemleri, akış süresi ve teslim gecikmesi teslim zamanından sapma performans ölçütleri dikkate alınarak, SIMAN paket programı ile benzetim tekniği kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, serbest bırakma yöntemlerinin gecikme ile ilgili performans ölçütleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Serbest bırakma yöntemleri arasındaki performans farkları, yüksek makina kullanım oranları ve dar teslim zamanı aralıklarında belirgin hale gelmiştir. Akış süresi ve teslim gecikmesi ölçütlerinde sürekli yöntemler, teslim zamanından sapma ölçütünde ise periyodik yöntemler daha iyi sonuç vermiştir.

Oosterman ve diğerleri (2000), iş yükünün hesaplanma yönteminin belirlenmesinde rota değişkenliği, işlerdeki operasyon sayısı değişkenliği ve rota yönü gibi özelliklerin etkisini araştırmışlardır. Benzetim tekniğinin kullanıldığı çalışmada, toplam iş yükünün belirlenmesinde işlerdeki operasyon sayısı ve rota uzunluğunu dikkate alan iki adet alternatif yöntem geliştirilmiş olup, bu yöntemlerin atölye ortamında üretim temin süresi açısından etkin sonuç verdiği belirtilmiştir. Ayrıca, ürün rotalarının tek yönlü olmadığı durumlarda doğrudan iş yükünü baz alan İYBÜKS daha kısa üretim temin sürelerine ulaşmıştır.

Kinsman (2000)'nin sipariş bazlı üretim yapan sistemleri için geliştirmiş olduğu İYBÜKS'de, girdi ve çıktı kontrolü sözkonusudur. Girdi kontrolü için bir sınır değeri belirlenmekte, işler bu sınır değerinin altındaysa serbest bırakılmaktadır. Çıktı kontrolü ise tüm girdiler için istenilen temin süresine ulaşmak amacı ile kapasite arttırımı sürecidir. Kapasite arttırımı da bir sınır dâhilinde yapılabilmektedir. Çalışmada, fiyat teklifi sonrası müşteriden onay bekleme süresi ve malzeme tedarik süresi de dikkate alınmıştır. Dönem bazında dinamik kapasite planlama ve üretim miktarlarının belirlenmesi için doğrusal karma tamsayılı programlama modeli kullanılmıştır. Çalışmanın uygulama kısmında WORKCON isimli bir uzman sistem geliştirilmiştir.

Bertrand and Wakker (2002), montaj odaklı atölye tipi üretimde temin süresi belirleme ve iş serbest bırakma problemi üzerinde durmuşlardır. Sistemde son montaj işlemine girecek parçaların üretiminde sabit serbest bırakma ve ileriye doğru programlama, sabit teslim zamanı ve geriye doğru programlama stratejileri uygulanmıştır. Sistemde temin süreleri, en uzun işlem süresi toplamı ve ortalama bekleme süresi dikkate alınarak belirlenmektedir. Benzetim sonuçlarına göre belirli bir siparişe ait işlerin eşzamanlı olarak serbest bırakılmasının, gecikme performansını önemli ölçüde geliştirdiği gösterilmiştir. Ayrıca ortalama temin süresi belirlenirken her sipariş için ortalama bekleme süresi yerine tüm siparişler için ortak bekleme süresinin kullanılması önerilmiştir.

Van Ooijen ve Bertrand (2003), iş yükü kontrolünü, işlere ait girişler arası süreyi değişken hale getirerek sağlamıştır. İş sayısı için belirli bir limit belirlenmiş olup iş sayısının bu limitin üzerinde olduğu durumlarda gelişler arası süre arttırılmakta, limitin altındaki iş sayısı durumunda ise azaltılmaktadır. Ayrıca, Markov Zinciri ile kuyruk modellemesinin yapıldığı çalışmadaki işlem süreleri, sistemdeki iş sayısına göre sistem yoğunlaştıkça işgören temposu artacak şekilde değişken yapıdadır. Benzetim sonucunda geliştirilen yöntemde, gelişler arası süre değişkenliği arttıkça, süreç içi stoğun azalmakta olup, çıktı miktarının arttığı gözlenmiştir.

Henrich ve diğerleri (2004), İYBÜKS unsurları ile üretim sistemi özellikleri arasındaki ilişkiler üzerine odaklanmıştır. Çalışmada, iş serbest bırakma süreci ile ürün rotaları ve hazırlık süresi oranı arasındaki etkileşim belirtilmiştir. Kuyruk kapasiteleri, ürünlerin teslim süresi, rota ve işlem süresindeki değişkenlik gözönünde bulundurularak belirlenmelidir. Serbest bırakma öncesi ürün havuzunun durumu ise

gelişler arası süre, ürün rotası, işlem süresi ve teslim tarihi değişkenliğinden etkilenmektedir.

Haskose ve diğerleri (2004), modelleme tekniğini kullanarak kuyruk teorisi ve üretim kontrol sistemini bütünleştirmiştir. Serbest bırakma sistematığı, üretim sistemi karmaşıklığı, kuyruk kapasitesi ve işlere farklı öncelik değerleri atanmasının etkileri benzetim tekniği ile, atölye tipi ve akış tipi iki ayrı sistemde incelenmiştir. Üretim kontrol sisteminin uygulanması her iki tip üretim sisteminde de ara stok miktarı ve temin süresini düşürmüş ve atölye kullanım oranında azalmaya yol açmış olup, atölye tipi üretimde daha büyük etki sağlamıştır. Üretim sisteminin karmaşıklaşması ile artan bekleme süreleri, temin sürelerinde belirgin bir şekilde artışa neden olmuştur. Temin süreleri, süreç içi stok miktarı, akış tipi hatlarda ilk istasyonların, atölye tipi üretimde ise son süreçlere ait makinaların kuyruk boyutlarına daha duyarlıdır. İşlere farklı öncelik verilmesinin etkisi ise, üretim sistemi karmaşıklaştıkça özellikle temin süresi açısından artmaktadır.

Henrich ve diğerleri (2006), üretim kontrol sistemlerinde makinaların gruplandırılması ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Makinaların gruplandırılması durumunda esneklik artmakla birlikte, hangi işin grup içinde hangi makinada işlem göreceği ile ilgili rotalama problemi önem kazanmaktadır. Benzetim tekniğinin kullanıldığı çalışma neticesinde makina gruplandırma performansına rotalama zamanı, makina gruplarının iş yükü limitleri arasındaki oran, makina seçim kuralları, İYBÜKS türü gibi değişkenlerin etki ettiği belirlenmiştir.

Bonfatti ve diğerleri (2006)'nın geliştirdiği İYBÜKS'de makinaların yük limitinin belirlenmesi için gerekli bir parametre olan çıktı miktarının öngörülmesi amacı ile bulanık karar tabanlı sistem (İng: Fuzzy Rule Based System) kullanılmıştır. Bu sistem, işgören tempo ve tecrübesi, iş tamamlanma oranı ve çalışma gününü girdi olarak kullanıp, ilgili makinanın çıktı miktarını öngörmektedir. Geliştiren mevcut yapı, tamamen üretim planlama uzmanının tecrübe görüşlerine dayanan eski sisteme göre teslim gecikmesinde %27, ortalama bekleme süresinde %19 gelişme sağlarken erken bitirme ölçütünde %1,5 artışa neden olmuştur. Bulanık karar tabanlı sistem ise, 102 durumun 93'ünde üretim planlama uzmanından daha isabetli çıktı miktarı tahmininde bulunmuştur.

Stevenson (2006), siparişe göre üretim yapan bir firmada iş yükü bazlı üretim kontrolü sağlamak amacı ile bir karar destek sistemi kurmuştur. Karar destek sisteminin sipariş kabul, teslim zamanı belirleme, serbest bırakma ve sıralama adımlarına ek olarak, geri besleme ve kapasite planlama bölümleri mevcuttur. Sistem, parametre tahmininin önemini azaltmak amacı ile geriye doğru çizelgeleme yolu ile serbest bırakma zamanlarına ulaşmaktadır. Uygulama aşamasında ise makinalar fonksiyonel olarak gruplanmış ve bir operatörün birden fazla makinaya bakması sağlanmıştır.

Hoeck (2007)'nin esnek üretim hücrelerine yönelik oluşturduğu İş Yükü Bazlı Üretim Kontrol Sistemi üç safhadır. Birinci safhada, acil işler belirlenmekte ve serbest bırakılmaktadır. İkinci adımda, işlem süresi belirli bir sınırı geçen işler partilere ayrılmaktadır. Üçüncü safhada, tavlama benzetimi tekniği ile partiler çizelgelenmektedir. Yöntem bir makina üretim tesisinde uygulanmıştır. Uygulamada, öncelikle benzetim yardımı ile çalışma süresinin yüzdesi olarak en uygun işlem süresi sınırı belirlenmiş ve daha sonra performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Uygulanan üretim kontrol sistemi, esnek üretim hücreesindeki ortalama akış süresini %50 kısaltmıştır.

Subramaniam ve diğerleri (2007), yüksek hizmet düzeylerinde daha düşük seviyedeki süreç içi stoklar ile üretim yapabilmek amacı ile DYNWIP isimli bir süreç içi stok kontrol sistemi geliştirmişlerdir. DYNWIP, malzeme yönetim modellerinden esinlenilmiş bir sistem olup, her makinayı bir depo gibi farketmektedir. Bir depodaki malzemeye ait sipariş, malzeme yönetimi anlayışında sözkonusu malzeme belirli bir düzeyin altına inince gerçekleşmektedir. Benzer bir şekilde, DYNWIP sisteminde her bir makinanın üretimi, kendisinden sonraki süreçlerdeki ara stok miktarları toplamı belli bir miktarın altına düşünce tetiklenmektedir. Çalışmada DYNWIP sistemi, kanban ve CONWIP sistemleri ile karşılaştırılmış ve daha yüksek hizmet düzeylerinde daha düşük süreç içi stok değerlerine ulaşmıştır. Ayrıca, DYNWIP sisteminin süreç içi stok miktarının düşük, servis düzeyinin yüksek tutulmasının gerektiği değerli ürünlerin üretimine uygunluğu vurgulanmıştır.

Hendry ve diğerleri (2008), iki ayrı firmada İYBÜKS uygulamışlardır. Yapılan çalışmada İYBÜKS uygulamasındaki kritik başarı faktörleri; müşteri, üretim süreci,

İYBÜKS gereksinimleri, bilgi akışı ve organizasyonla ilgili olmak üzere beş sınıfta toplanmıştır.

Stevenson ve Silva (2008), üretim sistemi özelliklerinin İYBÜKS performansına etkisini incelemek üzere Lancaster Üniversitesi tarafından geliştirilen LUMS üretim kontrol sistemini İngiltere ve Portekiz’de bulunan iki ayrı firmada uygulamıştır. Yapılan karşılaştırma neticesinde, kapasite esnekliği, siparişe dönüşen teklif oranı, üretimin karmaşıklığı, makinaların fonksiyonelliği, hazırlık ve işlem sürelerinin uzunluğu ve değişkenliği ve çalışanların kültürel yapısı gibi üretim sistemi özelliklerinin İYBÜKS performansında etkili olduğu belirlenmiştir.

Weng ve diğerleri (2008) “Siparişe Göre Üret” (İng: Make to Order) tarzı üretim yapan ve ürün rotalarının esnek olduğu atölye tipi üretim ortamlarına yönelik olarak uzman İYBÜKS geliştirmişlerdir. Geliştirilen uzman sistem, sipariş kabul, serbest bırakma, çizelgeleme adımlarına sahiptir. Bunlara ek olarak uzman sisteme bir de geri besleme bölümü eklenmiştir. Bu bölüm, sipariş kabul safhasında yapılan teslim zamanı belirleme sürecine güncel gecikme bilgisi sağlamaktadır. İkinci bölüm, iş serbest bırakma işlemini, sistemin toplam iş yükü belirli bir eşik değerinin altına düştüğünde ve eşik değerine ulaşacak kadar gerçekleştirmektedir. Çalışmanın birincil amacı, ağırlıklı geç kalma/erken bitirme süreleri ortalamasını enazlamak olup, benzetim çalışmasında temin süresi, üretim akış süresi ve en yüksek süreç içi stok miktarı gibi ölçütler de dikkate alınmıştır. Çalışma neticesinde, geri besleme modülünden gelen güncel gecikme bilgilerinin, teslim süresi belirleme sürecine çözüm kalitesi açısından yaptığı olumlu etkisi belirgin bir şekilde ortaya koyulmuştur. Ayrıca, mevcut sistem işlerin serbest bırakılmayı bekledikleri süreyi dikkate aldığından, bu sürenin tahminine gerek kalmamaktadır.

Ebadian ve diğerleri (2008) de “Siparişe Göre Üret” (İng: Make to Order) tarzı üretim sistemleri için hiyerarşik bir üretim planlama ve çizelgeleme sistemi kurmuştur. Geliştirilen sistem üç safhalıdır. Birinci safhada sipariş kabul süreci mevcuttur. Bu adımda siparişlerin (işlerin) aciliyet derecelerinin belirlenmesinin yanında, sırasıyla fiyatlandırma-termin tarihi belirleme ve tedarikçi-fason üretici seçimi için iki adet karma tamsayılı programlama modeli kurulmuştur. İkinci safha, iş serbest bırakma adımdır. Bu adımda, işlerin aciliyet dereceleri ve makina iş yüklerine dayalı bir yöntem geliştirilmiştir. Son adım olan iş sıralama adımında ise kuyruk disiplini, planlanan tamamlanma zamanı erken olan işe öncelik verecek

şekilde tanımlanmıştır. Geliştirilen sistem, benzetim tekniği ile temin süresi, termin zamanı ve iş yükü ile ilgili ölçütler dâhilinde değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler neticesinde, geliştirilen sistem üç ölçüt grubunda da yüksek kalitede çözümler vermekle beraber, makinaların iş yüklerinin düzgünleştirilmesini sağlamıştır.

Moreira ve Alves (2008), İş Yükü Bazlı Üretim Kontrol Sistemi'nin sipariş kabulü, siparişlerin teslim zamanını belirleme, serbest bırakma ve iş sıralama stratejilerinin eş zamanlı olarak belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Sipariş kabulü için üç, serbest bırakma süreci için dört, sipariş teslim zamanlarının belirlenmesi için bir ve iş sıralama için ise iki çeşit yonteme, eşzamanlı olarak EmPlant yazılımı vasıtasıyla benzetim uygulanmıştır. Analiz aşamasında, temin süresi, makina kullanımı, gecikme ile ilgili dokuz adet performans ölçütü kullanılmıştır. Çalışma neticesinde, temin süresi ve gecikme ile ilgili ölçütler dâhilinde ETZÖ kuralı İGÖ kuralına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca, sipariş kabul sürecinde siparişlerin teslim sürelerindeki değişkenliğin etkisi belirlenmiştir.

Bahaji ve Kuhl (2008)'un yaptıkları çalışmada yarı iletken levha üretimi yapan, ürün çeşitliğinin yüksek ve düşük olduğu iki tesiste, iş serbest bırakma ve iş sıralama safhaları ele alınmıştır. İş serbest bırakma adımında itme sistemi ve bir çekme sistemi olan CONWIP olmak üzere iki seçenek mevcuttur. İş sıralama safhasında on adedi literatürde mevcut, dört adedi yeni önerilmek üzere ondört adet iş sıralama kuralı sunulmuştur. Önerilen iş oranları, işlem süresini bir sonraki süreç kuyruğundaki iş miktarına ekleyip çalışma süresine oranlayarak bir sıralama indisi oluşturmaya dayalıdır. Geliştirilen iş sıralama kurallarından bazılarına ağırlık veya önceden belirlenen birikimli akış süresini tamamlanan işlem süreleri toplamına oranlayan bir çarpan katılmıştır. AutoSched AP 6.25 yazılımı ile benzetim modeli kurulmuştur. Performans ölçütleri olarak ise ortalama süreç içi stok, ortalama akış süresi, geç kalan iş oranı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, geliştirilen sıralama kurallarından ağırlık ve çarpan içeren iş sıralama kuralı, diğer kurallara göre bütün performans ölçütlerinde belirgin bir üstünlük sağlamıştır. Ayrıca, ürün çeşitliliğinin yüksek olduğu sistemde itme sistemi CONWIP sistemine üstünlük sağlarken, ürün çeşitliliğinin düşük olduğu tesiste itme ve CONWIP sistemleri birbirine yakın akış süreleri sunmuştur. Çalışmada, iş sıralama kurallarının CONWIP performansına etkisi belirgin bir şekilde ifade edilmemiştir. İş Yükü Bazlı Üretim Kontrolü ile ilgili yayınların özelliklerini ifade eden sınıflandırma çizelgesi, Çizelge 4.2'de mevcuttur.

Çizelge 4.2 : İş Yükü Bazlı Üretim Kontrolü ile ilgili yayın matrisi.

YAPILAN ÇALIŞMA	ÜRETİM SİSTEMİ TÜRÜ			ÜRETİM KONTROL SİSTEMİNİN ADIMLARI					KULLANILAN TEKNİK						SIRAYA BAĞIMLI HAZIRLIK SÜRELERİ		GERÇEK UYGULAMA		KULLANILAN PERFORMANS ÖLÇÜTÜ																		
	Atölye Tipi	Akış Tipi	Hücresele	Sipariş Kabul	Teslim Zamanı Belirleme	Serbest Bırakma	Parti Boyutu Belirleme	Sıralama	US	KM	Eİ	S	BKTS	MS	B	V	Y	V	Y	TS	SM	TZEÖ	BS	RSO	MKO	ÇM	FMS	D									
Bechte (1988)	X			X	X	X		X	X							X	X			X ^{(1),(3)}	X ^{(2),(8)}	X ⁽¹⁾															
Ashby ve Uzsoy (1995)			X			X		X				X		X	X		X					X ^{(2),(7),(8)}				X											
Cigolini ve diğerleri (1998)	X					X								X		X		X		X ^{(1),(4)}		X ^{(2),(3)}			X												
Land ve Gaalman (1998)	X					X						X				X		X		X ^{(1),(4)}		X ^{(2),(8)}															
Hendry ve diğerleri (1998)	X			X	X	X								X		X	X			X ⁽¹⁾	X ^(a)		X ⁽¹²⁾		X		X										
Sabuncuoğlu ve Karapınar (1999)	X					X		X						X		X		X		X ^{(1),(4)}		X ^{(1),(2),(6)}															
Philphoom ve Fry (1999)	X				X	X		X						X		X	X			X ^{(1),(4)}		X ^{(2),(7),(5),(8)}															
Oosterman ve diğerleri (2000)	X	X				X						X		X		X		X		X ^{(1),(4)}																	
Bertrand and Wan De Wakker (2002)	X				X	X								X		X		X		X ⁽¹⁾		X ^{(1),(2)}															
van Ooijen ve Bertrand (2003)	X					X					X					X	X				X ^(a)						X										
Haskose (2004)	X	X				X		X						X		X	X			X ⁽¹⁾	X ^(a)			X	X												
Bonfatti ve diğerleri (2006)	X			X	X	X		X	X				X		X		X					X ^{(1),(9)}	X ⁽¹⁰⁾														
Subramaniam ve diğerleri (2007)		X				X								X		X		X			X ^(a)														X ⁽¹⁵⁾		
Hoeck (2007)			X			X	X	X					X ⁽¹⁰⁾			X	X			X ⁽¹⁾															X ⁽¹³⁾		
Moreira ve Alves (2008)	X			X	X	X		X						X		X		X		X ⁽¹⁾	X ^(b)	X ^{(1),(8)}	X ^{(11),(12)}	X	X												
Bahaji ve Kuhl (2008)	X	X				X		X						X		X	X			X ⁽¹⁾	X ^(a)	X ⁽⁸⁾															
Ebadian ve diğerleri (2008)	X			X	X	X		X	X		X			X		X		X		X ⁽¹⁾		X ^{(5),(8)}														X ^{(16),(17)}	
Weng ve diğerleri (2008)	X			X	X	X		X	X					X		X		X		X ^{(1),(4)}	X ^(a)	X ⁽⁴⁾															
Toplam: 18	15	4	2	6	8	18	1	11	4	2	1	3	1	1	13	2	16	9	9	14	8	13	3	2	4	2	1	3									

Kısaltmalar
US: Uzman Sistem KM: Kuyruk Modeli S: Sezgisel MS: Meta Sezgisel (0) Tavlama Benzetimi EI: En İyileme BKTS: Bulanık Karar Tabanlı Sistem B: Benzetim V: Var Y: Yok TS: Temin Süresi (i) Üretim Temin Süresi (ii) Sipariş Temin Süresi SM: Stok miktarı (a) Süreç İçi Stok Miktarı (b) Bitmiş Ürün Stok Miktarı TZEÖ: Teslim Zamanı Esaslı Ölçütler (1) Teslim Gecikmesi (2) Gecikme (3) Koşullu Gecikme (4) Ağırlıklı Erken/Geç Bitirme Ortalaması (5) Gecikme Standart Sapması (6) Teslim tarihinden Mutlak Sapma (7) En Büyük Gecikme Süresi (8) Geciken İş Oranı (9) Erken Bitirme BS: Bekleme Süresi (10) Ortalama Bekleme Süresi (11) Ortalama Üretim Öncesi Bekleme Süresi (12) Ortalama Kuyrukta Bekleme Süresi RSO: Reddedilen Sipariş (İş) Oranı MKO: Makina Kullanım Oranı ÇM: Çıktı Miktarı FMS: Fazla Mesai Süresi D: Diğer (13) Yayılma Süresi (14) İlgören Transferi (15) Müşteri Hizmet Düzeyi (16) Toplam İş Yükü (17) İş Yükünün Standart Sapması

4.3 Sıraya bağımlı Hazırlık Sürelerinin Belirlenmesinde Ürün Tasarım Özelliklerinin Dikkate Alındığı Yayınlar

Ürün çeşitliliğinin yüksek olduğu üretimlerde sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin ölçümü, yüksek miktarda zaman ve maliyet gerektirdiğinden, bu zamanların belirlenmesi için ürün tasarım özellikleri dikkate alınarak değişik formülasyonlar geliştirilmiştir. Bu bölümde sıraya bağımlı hazırlık süreleri ve ürün özellikleri arasındaki ilişkiyi sayısal olarak ifade eden çalışmalar incelenmiştir.

Charles-Owaba ve Lambert (1988) makina hazırlık süresi ve iş parçası benzerlikleri arasındaki ilişkiye dayanan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Model, bütün hazırlık işleri yerine sadece iş parçası sırasına bağımlı hazırlık işlerini dikkate almakta ve bu işlerle ilgili süreleri hesaplamaktadır. Geliştirilen model, universal torna tezgâhında uygulanmıştır. Çalışmada iş parçası tasarım özellikleri olarak şekil, ölçü, işlenecek kısmın ölçüsü, yüzey hassasiyeti ve toleransı ve malzeme cinsi dikkate alınmıştır. Modelden elde edilen sıraya bağımlı hazırlık süreleri kullanılarak gezgin satıcı probleminden uyarlanan sezgisel yöntemlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Durmuşoğlu (1990), Charles-Owaba ve Lambert (1988)'in modelini, kopya torna tezgâhında üretilecek ürünlere uygulamıştır. Çalışmada ayrıca, üretilecek iş parçaları hazırlık işi benzerliklerine göre gruplanmış ve iş yüklemesinde belirlenen parça gruplarının dikkate alınması önerilmiştir.

Ashby ve Uzsoy (1995)'un İYBÜKS ile ilgili yapılan yayın taramasında değinilen ve hücreyel üretim ortamında iş serbest bırakma sistematığının geliştirilmesi ile ilgili olan çalışmada işler arasındaki sıraya bağımlı hazırlık süreleri, iş parçası çapı (işleme merkezlerindeki aynaların parça tutturma çeneleri değişimi için), program girme ve takım değişimi gibi unsurlar gözönünde bulundurularak belirlenmiştir.

Tang ve diğerleri (2000), çelik üretimi yapan bir sistemin haddehanesindeki ürün sıralama problemini çoklu gezgin satıcı problemi olarak modelledikten sonra çözüm yöntemi olarak genetik algoritma kullanmışlardır. Çalışmada sıraya bağımlı hazırlık süreleri yerine ardışık haddelenen çelik levhaların kalınlık, genişlik ve malzeme sertlikleri arasındaki farklara göre atanan ceza maliyetlerinin azaltılması

amaçlanmıştır. Geliştirilen yöntem bir yıllık dönemde hazırlık süreleri açısından % 20 iyileşme sağlamıştır.

Andres ve diğerleri (2005) melez akış tipi üretime sahip bir seramik fabrikasında sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin azaltılması amacı ile ürün ailelerinin oluşturulmasına yönelik olarak bir sistematik sunmuşlardır. Çalışmada sıraya bağımlı hazırlık sürelerine, ürünlerin şekil ve ölçüleri gözönünde bulundurularak makina ve ekipman yerleşim değişimi ve ayar süreleri dahil edilmektedir. İki ürün arasındaki sıraya bağımlı hazırlık süresi, ilgili hazırlık faaliyetleri belirlendikten sonra işgören kısıtı altında çizelgeleme yöntemi ile bulunmaktadır. Daha sonra bulunan hazırlık sürelerinden iki ürün arasındaki yakınlık katsayısına ulaşıp, bu katsayılara göre sezgisel bir yöntem ile ürün aileleri oluşturulmaktadır. Uygulama neticesinde, üretim sisteminde %10 kapasite artışı ve parti boyutunda %7 azalma sağlanmış olup, planlama faaliyetlerinde etkinlik artmıştır.

Yapılan yayın incelemesi neticesinde,

- Sıraya Bağımlı Hazırlık Sürelerinin belirlenmesinde ve iş çizelgelemesinde ürün tasarım özelliklerini dikkate alan oldukça az sayıda yayın olduğu
- Paralel makinalar ve sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin bulunduğu üretim ortamında İş yükü Bazlı İmalat Kontrolünü kullanan yayın olmadığı,
- Uygulama içeren çok az sayıda yayın olduğu

ifade edilebilir.

Bu bağlamda yapılan tez çalışmasının,

- Sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin bulunduğu paralel makina çizelgeleme problemi,
- İş Yükü Bazlı Üretim Kontrolü ve
- Ürünler arası sıraya bağımlı hazırlık süreleri ile ürün tasarım özellikleri arasındaki ilişkiyi

bütünleştirerek, literatüre zenginlik katacağı ve gerçek uygulama içereceğinden sanayiye de katma değer sağlayacağı düşünülmüştür.

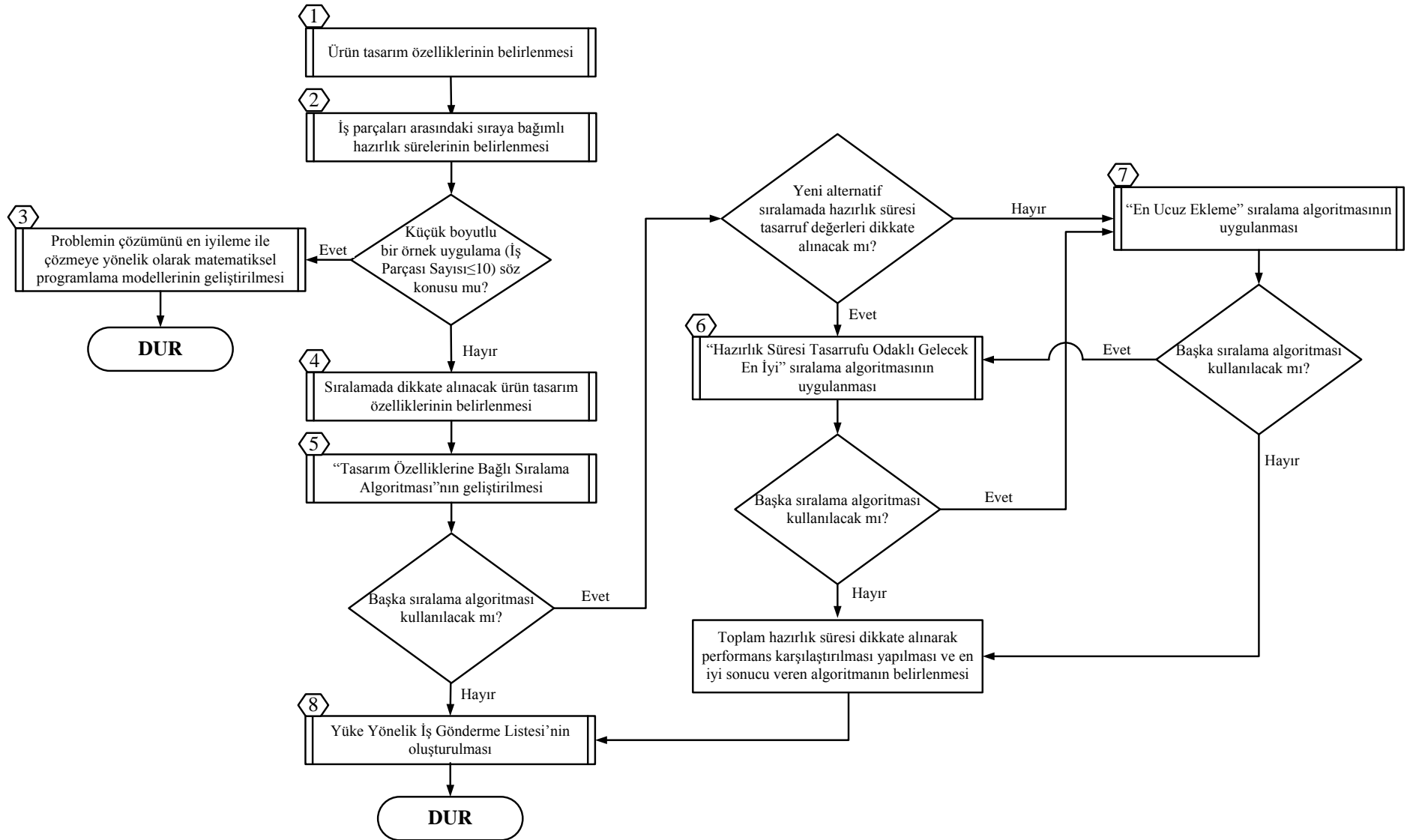
5. GELİŞTİRİLEN METODOLOJİ

Metodoloji dâhilinde izlenecek yol haritası Şekil 5.1’de verilmiştir. Yol haritasında belirtilen ana aşamaların üzerinde altıgen içerisinde kodları mevcuttur. Yol haritasına göre, önce ürün tasarım özellikleri, sonra iş parçaları arasındaki sıraya bağımlı hazırlık süreleri belirlenmektedir. İş parçası sıralama problemine ise, problem boyutuna göre eniyileme veya değişik karakteristiklerdeki sezgisel yöntemler ile çözüm getirilmektedir. Yol haritası kapsamında sezgisel yöntemler ile çözüm sırasında “Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıralama Algoritması” geliştirilip uygulanacaktır. Buna ek olarak, “Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi” ve (veya) “En Ucuz Ekleme” sezgisel yöntemlerinin uygulanması isteğe bağlıdır. Böyle bir yönlendirmenin amacı doktora tezinin farklılık içeren unsurlarından biri olan “Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıralama Algoritması”nın etkinliğinin sınanmasıdır. Birden fazla sıralama algoritması kullanıldığında performans karşılaştırması yapılarak toplam hazırlık süresi ölçütünde en iyi sonucu veren yöntem belirlenir. Son adımda, Yüke Yönelik İş Gönderme Sistematiği ile üretim ortamına gönderilecek iş listesi, fazla üretim israfına yol açmayacak şekilde oluşturulmaktadır.

5.1 Varsayımlar

Yol haritası Şekil 5.1’de belirtilen metodoloji kapsamında aşağıdaki varsayımlar geçerlidir:

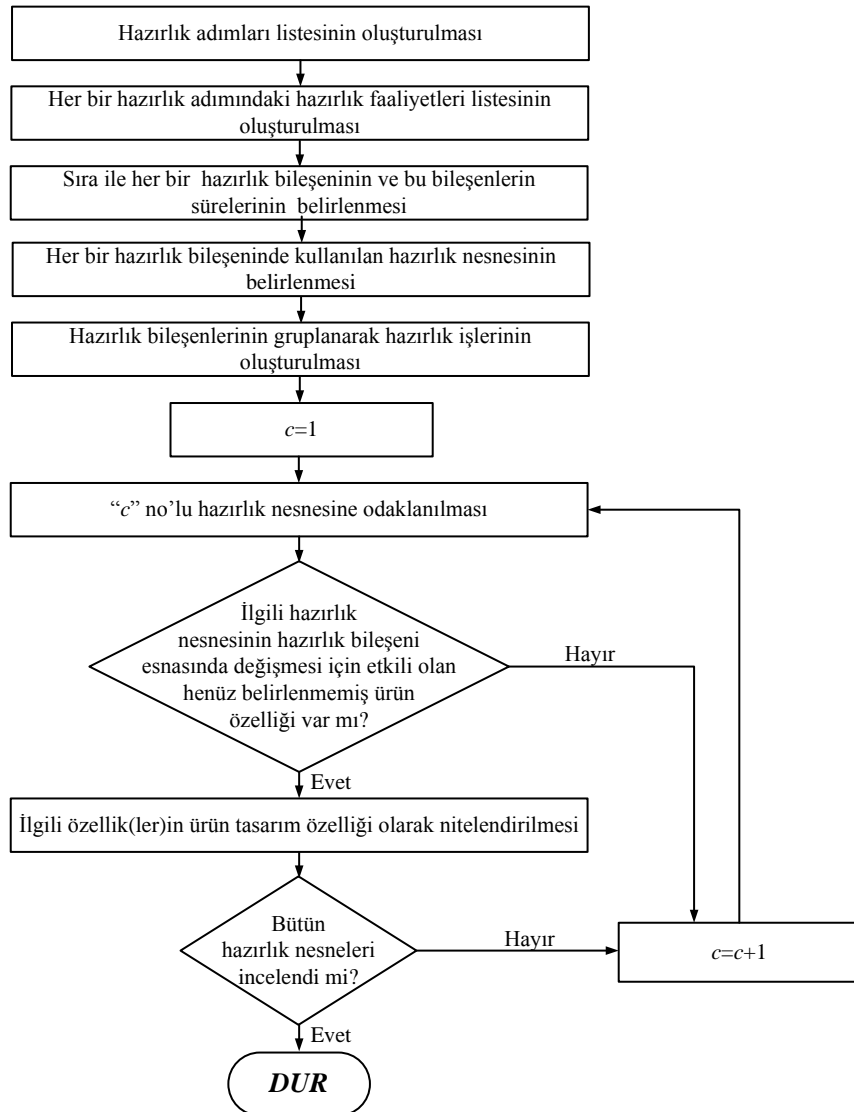
1. Hazırlık süreleri sıraya bağımlıdır.
2. Hazırlık işleri sayısı ve süreleri belirlidir.
3. Hazırlık işlemlerinde önceden hazırlanmış yordam takip edilmektedir.
4. Makinalar, başlangıç durumunda boştur.
5. İş parçası tasarım özellikleri ve hazırlık işleri arasında etkileşim mevcuttur.
6. İşlem süreleri belirlidir.
7. Herhangi bir iş parçasının tekrarlı işlem görmesi sözkonusu değildir.
8. Makinalar arasında işlem hızı açısından fark yoktur.
9. Hazırlık nesnelere ihtiyaç duyulduğu anda mevcuttur



Şekil 5.1 : Yol haritası.


5.2 Ürün Tasarım Özelliklerinin Belirlenmesi

Ürün tasarım özellikleri belirlenirken (Şekil 5.1- ①), hazırlık süreci bölünemez en küçük parçalarına (hazırlık bileşenleri) kadar ayrılıp, daha sonra uygulamada kolaylık sağlanması açısından bu bileşenler hazırlık işlerini oluşturacak şekilde gruplanmaktadır. Bir sonraki aşamada, hazırlık nesnelere odaklanılarak, hazırlık nesnelindeki değişimler ve ürün yapısı dikkate alınıp tasarım özellikleri belirlenmektedir. Şekil 5.2’de ürün tasarım özelliklerinin belirlenmesinde izlenecek adımlar mevcuttur.



Şekil 5.2 : Ürün tasarım özelliklerinin belirlenmesi için geliştirilen algoritma (Şekil 5.1- ①).

5.3 Ürün Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıraya Bağımlı Hazırlık Sürelerini Elde Etmek İçin Bir Matematiksel Model

İş parçaları arasındaki sıraya bağlı hazırlık sürelerinin elde edilmesi safhasında (Şekil 5.1-) , aşağıda ifade edilen matematiksel model kullanılmıştır.

İndisler

k : makina indisi

x : hazırlık işi indisi

y : parça tasarım özelliği indisi

i, j : sırada işlem görecekt iş parçaları indisleri

Makina k 'ya gelen i iş parçasının işlem görmesinden hemen sonra j iş parçasının aynı makinadaki hazırlık süresi S_{kij} ile ifade edilsin. Bir makina için S_{kij} değerleri, makina hazırlık süresi matrisini oluşturmaktadır.

İş Parçası Tasarım Özellikleri

Öncelikle makinaya gelen iş parçalarının tasarım özellikleri belirlenmelidir. Parça tasarım özelliklerinin seçilmesinde dikkat edilecek nokta, iş parçaları arasındaki bazı ortak özelliklerin, hazırlık işlerini azaltmasıdır. Tasarım özellikleri, bu noktada matematiksel modelin parça benzerlikleri boyutuna temel oluşturmaktadır.

Makina Hazırlık İşleri

Makinaya gelen iş parçalarının, işlem görmeye başlamasına kadar yapılacak işler bir liste halinde hazırlanmalıdır.

Makina Hazırlık İşleri / İş Parçası Tasarım Özellikleri Matrisinin Hazırlanması

Makina k 'daki x hazırlık işi, y parça tasarım özelliğindeki benzerlik nedeni ile ortadan kaldırılabilirse q_{kxy} olarak simgelenen değişken 1 değerini, aksi takdirde 0 değerini almaktadır. q_{kxy} değerlerini içeren matris Q_k , makina hazırlık işleri / iş parçası tasarım özellikleri matrisi olarak isimlendirilmektedir. Toplam iş parçası sayısı IS , toplam hazırlık işi sayısı N , toplam tasarım özelliği sayısı M olduğunda Q_k , $N \times M$ boyutunda bir matristir.

Süre Vektörü

Makina k 'daki x hazırlık işini gerçekleştirmek için gerekli standart süre t_{kx} ile gösterilsin. t_{kx} elemanlarından ibaret vektör de T_k ile simgelenin N adet hazırlık işi bulunuyorsa;

$$T_k = (t_{k1}, t_{k2}, \dots, t_{kN}) \quad (5.1)$$

şeklinde gösterilir.

Yapılmayan Hazırlık İşleri

Her iş parçası için, yapılmayan hazırlık işleri (iş parçası sırasına bağımlı) ayrı ayrı belirlenmelidir.

Benzerlik Durum Vektörü

İş parçası i ile j arasında bir tasarım özelliği benzerliği varsa, bu iş parçaları arasında bir veya birkaç hazırlık işi yapılmayabilir. Bu benzerlik durumu, D_{ij} ile gösterilir. D_{ij} , M elemanlı bir benzerlik durum vektörüdür. Benzerlik durum vektörünün her bir elemanı d_{ijy} şeklinde gösterilir. d_{ijy} , eğer parça i , parça j 'ye, y tasarım özelliği yönünden benzer değilse 1, benzerse 0 değerini alır. Benzerlik durum vektörü aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$D_{ij} = \begin{pmatrix} d_{ij1} \\ d_{ij2} \\ \cdot \\ \cdot \\ d_{ijM} \end{pmatrix} \quad i = 0, \dots, IS \quad j = 1, \dots, IS \quad \wedge \quad i \neq j \quad (5.2)$$

$$D_{0j} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad j = 1, \dots, M \quad (5.3)$$

$$D_{ij} = D_{ji} \quad \forall i, j \quad (5.4)$$

D_{0j} 'de 0 (sıfır), makinanın başlangıç konumunu göstermektedir. Makina başlangıç konumunda boş bulunduğundan, D_{0j} vektörünün bütün değerleri 1 olur. Bu aşamada, iş parçası sayısının bir fazlasının (makina başlangıç durumu) ikili kombinasyonları kadar benzerlik durum vektörü bulunmaktadır.

Her İş Parçası İçin, Hazırlık İşleri İle Parça Tasarım Özellikleri Arasındaki Etkileşim Matrisi

Q_{kj} , j parçasının k makinasında işlem göreceği durumda, hazırlık işleri ile parça tasarım özellikleri arasındaki etkileşim matrisidir.

Her j için Q_{kj} etkileşim matrisleri, q_{kxy} elemanlarından oluşan Q_k matrisinden türetilmektedir. Dolayısı ile Q_k matrisinden iş parçası çeşidi sayısı kadar Q_{kj} matrisi türetilir.

Her j için Q_{kj} , Q_k 'dan şu şekilde elde edilir:

Her iş parçası j için Q_{kj} matrisinde, yapılmayan hazırlık işlerine ait satırın tüm elemanları sıfırlanır. Başka bir ifade ile eğer x her j için yapılmayan ve sonuçta s_{kij} 'nin hesaplanmasında gözönüne alınması gerekmeyen bir hazırlık işi ise, o zaman;

$$q_{kxy} \in Q_{ky} = 0 \quad \forall y \quad (5.5)$$

olmaktadır.

Hazırlık İş Durum Vektörünün Elde Edilmesi

i iş parçası işlem gördükten sonra, j iş parçası için yapılan makina hazırlıklarında x hazırlık işinin durumu, e_{ijx} ile gösterilir; eğer x işi, parça i 'den parça j 'ye değiştirme sırasında gerçekleştiriliyorsa 1 değerini alır. Ancak x işi, j parçası için yapılmıyorsa veya i ile j 'nin benzerliği ($d_{ijx} = 0$) nedeniyle devre dışı kalıyorsa, 0 değerini alır.

E_{ijx} 'lerin kümesi ise, E_{ij} ile gösterilen hazırlık işi durum vektörünü oluşturur. Bu vektör, daha önce nasıl elde edildiği anlatılan Q_{kj} ile D_{ij} 'nin Boole çarpımı sonucu elde edilir.

$$E_{ij} = Q_{kj} \text{ 'x' } D_{ij} \quad (5.6)$$

'x' Boole çarpımını simgelemektedir.

Not: $[a_{ij}]_{m \times n}$ ve $[b_{jk}]_{n \times p}$ matrislerinin Boole çarpımı olan $[c_{ik}]_{m \times p}$ aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$[c_{ik}] = [a_{ij}] \text{ 'x' } [b_{jk}] = \text{enb} (a_{i1} * b_{1k}, a_{i2} * b_{2k}, \dots, a_{in} * b_{nk})$$

$$i=1, \dots, m \quad k=1, \dots, p \quad (5.7)$$

E_{ij} vektörel olarak da şu şekilde gösterilir:

$$E_{ij} = \begin{pmatrix} e_{ij1} \\ e_{ij2} \\ \cdot \\ \cdot \\ e_{ijx} \\ \cdot \\ e_{ijn} \end{pmatrix} \quad (5.8)$$

E_{ij} 'nin bulunmasından sonra, makina hazırlık süresi matrisi olan S_{kij} 'nin bulunması için aşağıdaki matris çarpımının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.









$$s_{kij} = T_k E_{ij} \quad (5.9)$$

Örnek 5.1

Bir universal torna tezgâhında (k tezgâhı) işlenecek 8 adet parçaya ait sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin hesaplanmasında aşağıdaki tasarım özellikleri (Çizelge 5.1) dikkate alınacaktır:

1. İş parçası şekli
2. İş parçası boyutu (Uzunluk/Çap oranı)
3. İşlem türü
4. İşlenecek kısmın boyutu
5. Yüzey hassasiyeti
6. Tolerans
7. İş parçasının malzemesi

Çizelge 5.1 : İş parçalarının tasarım özellikleri.

Parça No	Teknik Resim	Parçanın Tasarım Özellikleri						
		1	2	3	4	5	6	7
1		Dönel	0,7	Delik İşleme	3'' İç Çap	70 μ inç	± 0,008 ''	Çelik
2		Dönel	0,7	Düz Dış Yüzey Tornalama	4'' Dış Çap	20 μ inç	± 0,008 ''	Alüminyum
3		Dönel	0,7	Kademeli Delik İşleme	3'' İç Çap	70 μ inç	± 0,008 ''	Çelik
4		Dönel	10	Konik Dış Yüzey Tornalama	En Yüksek Dış Çap: 3,75'' En Düşük Dış Çap: 2,75''	70 μ inç	± 0,008 ''	Çelik
5		Dönel	0,75	Tek Taraflı Delik İşleme	3'' İç Çap	20 μ inç	± 0,008 ''	Çelik
6		Dönel	0,8	Delik İşleme	3'' İç Çap	70 μ inç	± 0,008 ''	Çelik
7		Dönel	0,8	Tırtıl Açma	3'' Dış Çap	-	± 0,008 ''	Paslanmaz Çelik
8		Dönel	10	Kademeli Dış Yüzey Tornalama	3,5'' Dış Çap & 2,5'' Dış Çap	40 μ inç	± 0,008 ''	Çelik

Üniversal torna tezgâhına gelen iş parçaları için yapılması gereken 13 adet hazırlık işi aşağıda belirtilmiştir:

1. Aynanın takılması
2. Aynanın sökülmesi
3. Puntanın takılması
4. Puntanın sökülmesi
5. Kesici takımın takım dolabından getirilmesi
6. Kesici takımın takım dolabına götürülmesi
7. Kesici takımın katere bağlanması
8. Kesici takımın katerden sökülmesi
9. Konik işleme tertibatının takılması
10. Konik işleme tertibatının sökülmesi
11. Kesme hızının ayarı

12. İlerleme hızının ayarı

13. Kesme derinliğinin ayarı

Yukarıda belirtilen hazırlık işlerine ait süre vektörü (T_k) dakika cinsinden şöyledir:

$$T_k = (8, 4, 5, 3, 2, 1, 4, 4, 7, 6, 1, 3, 2)$$

Uygulama dâhilinde hazırlanan hazırlık işleri / parça tasarım özellikleri matrisi (Q_k) Çizelge 5.2'deki gibidir. Örneğin dördüncü satır ikinci sütundaki "1" değeri, dört no'lu "puntanın sökülmesi" hazırlık işinin iki no'lu tasarım özelliği olan "iş parçası boyutu"ndan etkilendiğini belirtmektedir

Çizelge 5.2 : Hazırlık işleri / Parça tasarım özellikleri matrisi (Q_k).

İş No	Parçanın Tasarım Özellikleri						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	1	1	1	0	1
6	0	0	1	1	1	0	1
7	0	0	1	1	1	0	1
8	0	0	1	1	1	0	1
9	0	0	1	1	0	0	0
10	0	0	1	1	0	0	0
11	0	0	0	0	1	1	1
12	0	0	0	0	1	1	1
13	0	0	0	0	1	1	1

Ele alınan örnekteki 8 adet iş parçası için yapılmayan hazırlık işleri aşağıda görülmektedir.

Çizelge 5.3 : Yapılmayan hazırlık işleri.

Parça No	Yapılmayan Hazırlık İşleri (Numara ile gösterilmiştir)
1	3, 4, 7, 8, 9, 10
2	3, 4, 7, 8, 9, 10
3	3, 4, 7, 8, 9, 10
4	7, 8
5	3, 4, 5, 6, 9, 10
6	3, 4, 7, 8, 9, 10
7	3, 4, 7, 8, 9, 10
8	7, 8, 9, 10

s_{k0l} 'in hesaplanabilmesi için Q_{kl} matrisinin elde edilmesi gerekir. Bu matris, Q_k matrisinde 1 no'lu iş parçası için yapılmayan işler olan 3, 4, 7, 8, 9, 10 no'lu hazırlık işleri ile ilgili olan satırlardaki bütün elemanların sıfırlanması ile elde edilir.

$$Q_{kl} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$D_{0l} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$E_{0l} = Q_{kl} \text{ 'x' } D_{0l} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \text{ 'x' } \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

şekilde alınmakla birlikte, 2 no'lu tasarım özelliği açısından da bir benzerlik olmadığı söylenebilir.

$$D_{25} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$E_{25} = Q_{k5} \text{ 'x' } D_{25} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \text{ 'x' } \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

E_{25} matrisine göre 2 no'lu iş parçası işlendikten sonra 5 no'lu iş parçasına geçilirken 7, 8, 11, 12, 13 no'lu hazırlık işleri yapılacaktır. Bu durumda;

$$s_{k25} = T_k E_{25} = (8, 4, 5, 3, 2, 1, 4, 4, 7, 6, 1, 3, 2) \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \end{array} = 14 \text{ dakika olarak bulunur.}$$

8 adet iş parçası için oluşturulan benzerlik durum vektörleri ise aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$D_{12} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 1 \end{array}, D_{13} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \end{array}, D_{14} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \end{array}, D_{15} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \end{array}, D_{16} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \end{array}, D_{17} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \end{array}, D_{18} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \end{array}, D_{23} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 1 \end{array}$$

$$D_{24} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 1 \end{array}, D_{25} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 1 \end{array}, D_{26} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 1 \end{array}, D_{27} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 1 \end{array}, D_{28} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 1 \end{array}, D_{34} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \end{array}, D_{35} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 1 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \end{array}, D_{36} = \begin{array}{c} | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \\ | \\ 0 \end{array}$$

$$D_{37} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, D_{38} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, D_{45} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, D_{46} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, D_{47} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, D_{48} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, D_{56} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, D_{57} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$


$$D_{58} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, D_{67} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, D_{68} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, D_{78} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, D_{0j} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \forall j; \quad D_{ij} = D_{ji}$$

Yukarıdaki benzerlik durum vektörleri ile aynı şekilde gerekli hesaplamalar yapılarak iş parçaları arasındaki sıraya bağımlı hazırlık süreleri elde edilir Çizelge (5.4).

Çizelge 5.4 : İş parçaları arasındaki hazırlık süreleri matrisi.

<i>i</i>	<i>j</i>							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	21	21	21	42	26	21	21	29
1	-	9	0	24	14	0	9	17
2	9	-	9	30	14	9	9	17
3	0	9	-	24	14	0	9	17
4	3	9	3	-	14	3	9	9
5	9	9	9	30	-	9	9	17
6	0	9	0	24	14	-	9	17
7	9	9	9	30	14	9	-	17
8	9	9	9	22	14	9	9	-

5.4 Matematiksel Programlama Modelleri

Metodoloji kapsamında, küçük bir örnek uygulama sözkonusu olduğunda (Şekil 5.1-
) , çözümün eniyilenmesine yönelik iki matematiksel programlama modeli geliştirilmiştir. Birinci model, makina sayısı ve vardiya süresi kısıtları altında üretim ortamına gönderilecek iş parçalarını belirlerken, ikinci model ise üretim ortamına

gönderilen iş parçaları arasındaki sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin enazlanması amacını taşımaktadır.

5.4.1 Sıraya Bağımlı Hazırlık Süreli İş Parçalarının Paralel Makinaların Bulunduğu Üretim Ortamına Gönderilmesine Ait Matematiksel Programlama Modeli

İndisler

i: İş parçası indisi

j: İş parçası indisi

k: Makina indisi

0: Başlangıç durumu

Parametreler

IS: İş parçası sayısı

IK = {1, ..., *IS*} → Tüm iş parçaları kümesi

IP_c = “*c*” planlama dönemi taleplerini oluşturan iş parçaları kümesi

T = *IK* ∪ {0}

MS: Makina sayısı

V: Vardiya süresi

α: Vardiya süresi aşım oranı $0 \leq \alpha \leq 0,5$

s_{ij}: “*i*” iş parçasından “*j*” iş parçasına geçilirken harcanan hazırlık süresi

$i \in T, j \in IK, i \neq j$

t_i: “*i*” parçasının işlem süresi

Değişkenler

x_{ijk} = 1, eğer “*k*” makinasında “*i*” iş parçası “*j*” iş parçasından hemen önce işlem görüyorsa; yoksa 0 $i \in T, j \in IK, i \neq j \quad k=1, \dots, MS$

z_i = 1, eğer “*i*” iş parçası serbest bırakılıyorsa; yoksa 0 $i \in IK$

q_{ik} = “*k*” makinasında, “*i*” iş parçasına kadar (“*i*” iş parçası dâhil) birikimli hazırlık ve işlem süreleri $i \in IK \quad k=1, \dots, MS$

Paralel makina grubundaki makina 1’de iş parçası sırası, [0 (başlangıç durumu)-2-5-8] olduğunda 2, 5 ve 8 numaralı iş parçalarının “ q_{ik} ” değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$q_{21} = s_{02} + t_2$$

$$q_{51} = s_{02} + t_2 + s_{25} + t_5$$

$$q_{81} = s_{02} + t_2 + s_{25} + t_5 + s_{58} + t_8$$

Amaç fonksiyonu

$$\text{Max} \sum_{i=1}^{IS} z_i \quad (5.10)$$

Amaç fonksiyonu (5.10), üretim ortamına gönderilen iş parçası sayısının mümkün olduğunca yüksek tutulmasına yöneliktir.

Kısıtlar

$$\sum_{i \in T, i \neq j} \sum_{k=1}^{MS} x_{ijk} = z_j \quad \forall j \in IK \quad (5.11)$$

$$\sum_{j \in T, i \neq j} \sum_{k=1}^{MS} x_{ijk} = z_i \quad \forall i \in IK \quad (5.12)$$

$$\sum_{j \in T, i \neq j} \sum_{k=1}^{MS} k * x_{ijk} - \sum_{j \in T, i \neq j} \sum_{k=1}^{MS} k * x_{jik} = 0 \quad \forall i \in IK \quad (5.13)$$

$$z_i = 0.5 * \left(\sum_{j \in T, i \neq j} \sum_{k=1}^{MS} x_{ijk} + \sum_{p \in T, i \neq p} \sum_{k=1}^{MS} x_{pik} \right) \quad \forall i \in IK \quad (5.14)$$

$$\sum_{i \in IK} x_{0ik} \leq 1 \quad k=1, \dots, MS \quad (5.15)$$

$$q_{ik} \leq [V * (1 + \alpha)] * \sum_{j \in T, i \neq j} x_{ijk} \quad \forall i \in IK \quad k=1, \dots, MS \quad (5.16)$$

$$q_{ik} \leq [V * (1 + \alpha)] + (s_{0i} + t_i - [V * (1 + \alpha)]) * x_{0ik} \quad \forall i \in IK \quad k=1, \dots, MS \quad (5.17a)$$

$$q_{ik} \geq (s_{0i} + t_i) * \sum_{j \in T, i \neq j} x_{ijk} \quad \forall i \in IK \quad k=1, \dots, MS \quad (5.17b)$$

$$q_{jk} \geq q_{ik} + s_{ij} + t_j - [V^*(1+\alpha)] + [V^*(1+\alpha)]^* x_{ijk} + ([V^*(1+\alpha)] - s_{ij} - t_j - s_{ji} - t_i)^* x_{jik}$$

$$\forall (i, j) : i \in IK, j \in IK \wedge i \neq j \quad k=1, \dots, MS \quad (5.18)$$

$$z_i - z_j \geq 0 \quad \forall i, j : i \in IP_c, j \in IP_d \wedge c < d \quad (5.19)$$

$$x_{ijk} \in [0,1] \text{ ve tamsayı} \quad i \in T, j \in T, i \neq j \quad k=1, \dots, MS \quad (5.20a)$$

$$z_i \in [0,1] \text{ ve tamsayı} \quad \forall i \in IK \quad (5.20b)$$

$$q_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in IK \quad k=1, \dots, MS \quad (5.20c)$$

Kısıt (5.11) ve (5.12) üretim ortamına gönderilen bir iş parçasının sadece bir kez işlem görmesini sağlamaktadır. Kısıt (5.13), işlem görecektir (gönderilen) iş parçalarının başlanmış olduğu makinada bitirilmelerine yöneliktir. Kısıt (5.14) x_{ijk} ve z_i değişkenleri arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Kısıt (5.15), iş parçalarının mevcut makina sayısını aşmayacak şekilde sıralanmasını sağlamaktadır. Bu modelde vardiya süresi aşım oranının (α) dahil edilmesi, ilk aşamada daha fazla iş parçası gönderilmesinin sağlanıp, daha sonra uygulanacak modelde bu aşım sürelerinin, hazırlık sürelerinin azaltılması ile yok edilebileceği düşüncesine dayanmaktadır. Kısıt (5.16), her bir iş parçası için sözkonusu birikimli hazırlık ve işlem süresinin vardiya süresi ve aşım oranı dikkate alınarak sınırlanmasını sağlar. Kısıt (5.17a) ve (5.17b), “i” iş parçasının herhangi bir makinada işlem görecektir ilk iş parçası olması durumunda birikimli işlem ve hazırlık süresini, başlangıç durumundan “i” iş parçasına başlanılabilmesi için gerekli hazırlık süresi ve “i” iş parçasının işlem süresi toplamına eşitler. Kısıt (5.18), “j” iş parçasının “i” iş parçasından hemen sonra işlem görmesi durumunda, birikimli işlem süresinin, “i” iş parçasından “j” iş parçasına geçilebilmesi için gerekli sıraya bağımlı hazırlık süresi ve “j” iş parçasının işlem süresi toplamı kadar artırılmasını sağlar. Bu kısıt aynı zamanda makinalarda başlangıç durumundan başlamayan iş parçası sıralarının oluşturulmasını önlemektedir. Örneğin paralel makina grubundaki herhangi bir makina için, [0 (başlangıç durumu)-2-5-8] olurlu (İng: Feasible) bir iş parçası sırası iken; [2-5-8] başlangıç durumunu gözönünde bulundurmaması nedeni ile olurlu bir iş parçası sırası değildir. Kısıt (5.19), önceki planlama dönem taleplerini oluşturan iş parçalarının daha önce serbest bırakılmasını sağlar. (5.20a, b, c), kısıtları, modeldeki değişkenlerin alabileceği değerleri göstermektedir.

5.4.2 Sıraya Bağımlı Hazırlık Süreli İş Parçalarının Çizelgelenmesine Ait Matematiksel Programlama Modeli

İndisler

i: İş parçası indisi

j: İş parçası indisi

0: Başlangıç durumu

Parametreler

GIS: Üretim ortamına gönderilen iş parçası sayısı

GIK = {1, ..., IS} → Üretim ortamına gönderilen iş parçaları kümesi

GT = *GIK* U {0}

s_{ij}: “*i*” iş parçasından “*j*” iş parçasına geçilirken harcanan hazırlık süresi

$i \in GT, j \in GIK, i \neq j$

Değişkenler

y_{ij} = “*i*” iş parçası “*j*” iş parçasından hemen önce işlem görüyorsa 1; yoksa 0

$i \in GT, j \in GT, i \neq j$

u_j = Alt tur oluşumunu önlemeye yönelik değişken $j \in GT$

Amaç fonksiyonu

$$\text{Min} \sum_{i \in GT} \sum_{j \in GIK, i \neq j} s_{ij} * y_{ij} \quad (5.21)$$

Amaç fonksiyonu (5.21), sıraya bağımlı hazırlık süreleri toplamını enküçüklemetedir.

Kısıtlar

$$\sum_{i \in GT, i \neq j} y_{ij} = 1 \quad \forall j \in GT \quad (5.22)$$

$$\sum_{j \in GT, i \neq j} y_{ij} = 1 \quad \forall j \in GT \quad (5.23)$$

$$u_j \geq u_i + 1 - GIS^*(1 - y_{ij}) \quad \forall (i, j) : i \in GT, j \in GIK \wedge i \neq j \quad (5.24)$$

$$y_{ij} \in [0,1] \text{ ve tamsayı} \quad i \in GT, j \in GT, i \neq j \quad (5.25a)$$

$$u_j \geq 0 \quad \forall j \in GT \quad (5.25b)$$

Kısıt (5.22) ve (5.23) her iş parçasının sadece bir kez işlem görmesini sağlamaktadır. Kısıt (5.24), başlangıç durumundan başlamayan alt iş parçası sıralarının oluşturulmasını önlemektedir. Örneğin; (4-5-4) şeklinde başlangıç durumunu içermeyen bir alt sıra olsun. Kısıt (5.24)'e göre aşağıdaki eşitsizlikler sağlanmalıdır:

$$u_5 \geq u_4 + 1$$

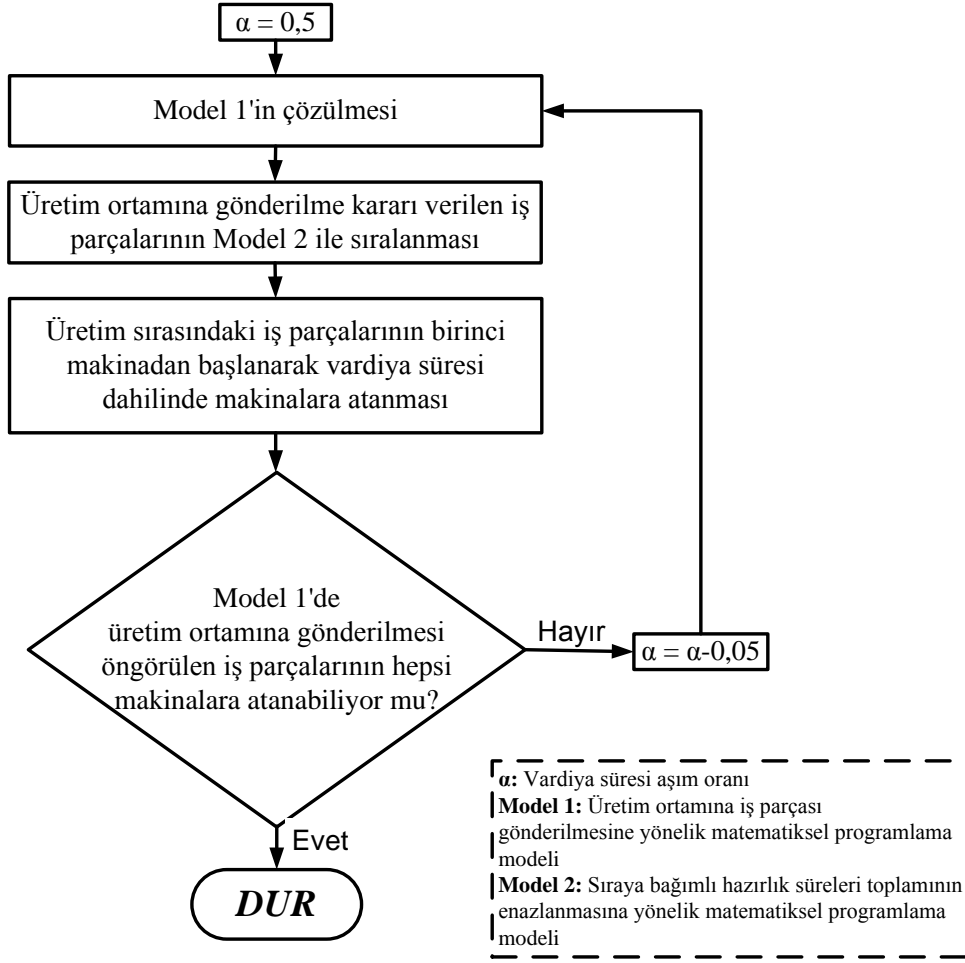
$$u_4 \geq u_5 + 1$$

Eşitsizlikler birleştirildiğinde;

$u_4 - 1 \geq u_5 \geq u_4 + 1$ veya $-1 \geq 1$ gibi bir çelişki ortaya çıkmaktadır. Böylelikle (4-5-4) alt turunun oluşumu önlenmiş olur.

(5.25a) ve (5.25b) kısıtları ise modeldeki değişkenlerin alabileceği değerleri göstermektedir.

Matematiksel programlama modellerinin çözülmesinde izlenecek sistematik Şekil 5.3'te belirtilmiştir.



Şekil 5.3 : Matematiksel programlama modellerinin çözüm sistematığı.

Şekil 5.3'teki sistematığe göre, vardiya süresi aşım oranına 0,5 değeri verilerek (Bechte, 1988) iş parçası gönderme modeli çözülmektedir. Üretim ortamına gönderilmesi öngörülen iş parçaları, hazırlık süresi toplamının enazlanmasına yönelik model ile sıralanmaktadır. Bu iş parçaları sıra ile vardiya süresi aşılanaya kadar birinci makinaya yüklenmektedir. Daha sonra ikinci ve daha sonraki makinalara vardiya süresini aşmayacak şekilde iş parçası yüklenmesi sıra dâhilinde gerçekleştirilir. Bu yükleme anlayışı ile her bir makinada boş kapasite kalması yerine, son makinada kapasite boşluğu kalması tercih edilmiştir. Bunun nedeni ise bu şekildeki bir yüklemenin işgören transferine daha uygun olmasıdır. Mevcut makina sayısı, vardiya süresi ve vardiya süresi aşım oranı değerleri ile makinalara atanamayan iş parçaları varsa, vardiya süresi aşım oranı kademeli olarak düşürülerek, birinci modelde gönderilmesi öngörülen iş parçalarının hepsinin ikinci modeldeki sıra ile makinalara yüklenmesi sağlanır.

Örnek 5.2

İşlem süreleri Çizelge 5.5'te verilen 10 adet iş parçası, 2 adet paralel makinanın bulunduğu bir üretim ortamında işlem görecektir.

Çizelge 5.5 : İşlem süreleri.

İş Parçası No	İşlem Süresi (dakika)
1	61
2	97
3	77
4	117
5	45
6	85
7	125
8	79
9	53
10	90

Vardiya süresi 480 dakika olup, planlama dönemi gün cinsindedir. 1, 2, 3, 4, 5 no'lu iş parçaları ikinci, 6, 7, 8, 9, 10 no'lu iş parçaları ise birinci günün talebini oluşturmaktadır. İş parçaları arasındaki sıraya bağımlı hazırlık süreleri Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 : Sıraya bağımlı hazırlık süreleri.

İş No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	37	49	53	39	26	50	45	55	31	38
1	0	13	29	23	16	17	17	17	13	13
2	13	0	34	34	19	32	35	29	13	31
3	15	20	0	29	20	29	17	37	19	31
4	22	24	37	0	13	39	35	30	15	30
5	17	17	11	18	0	13	9	21	15	12
6	23	19	37	37	21	0	23	35	11	24
7	15	37	25	24	18	39	0	22	11	27
8	18	39	31	23	11	33	26	0	11	16
9	21	21	20	18	21	15	12	15	0	17
10	29	35	26	27	21	37	25	23	23	0

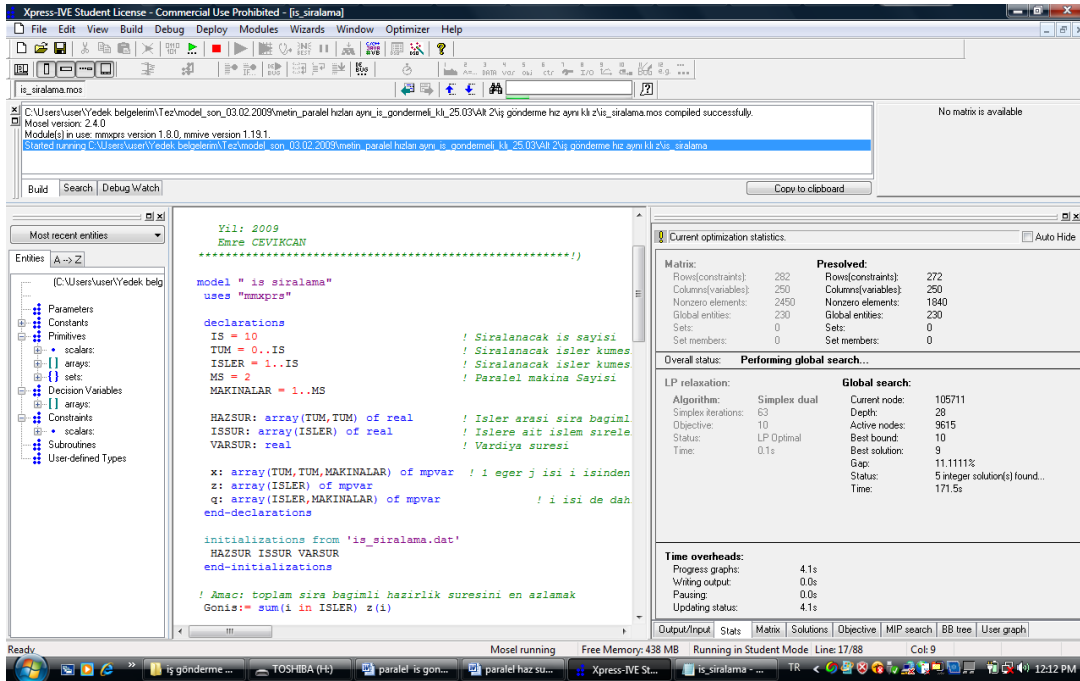
İşlem ve hazırlık sürelerinin elde edilmesinde Tahar ve diğerleri (2006)'da belirtilen yöntem uygulanmıştır. İşlem süreleri, (40,135) parametre değerli düzgün dağılıma

sahiptir. Sıraya bağımlı hazırlık süreleri ise “a” [0.2, 0.5] aralığındaki bir rastsal sayı olmak üzere aşağıdaki formül ile belirlenmiştir.

$$s_{ij} = a * \min(t_i, t_j) \quad i \in IK, j \in IK, i \neq j \quad (5.26)$$

$$s_{0j} = (1+a) * \max_i(s_{ij}) \quad \forall j \in IK \quad (5.27)$$

Sözkonusu matematiksel programlama modelleri “Dash Optimization” programının Xpress-MP versiyonunda kodlanmış ve 1,86 Ghz Intel(R) Core(TM) Duo işlemci ve 1024 MB belleğe sahip bir bilgisayarda çözülmüştür (Şekil 5.4). Modellere ait program kodları **EK A** ve **EK B**'de mevcuttur. Örnek 5.2’de verilen problemin matematiksel programlama modelleri ile çözümü 4 saat 35 dakika sürmüştür.



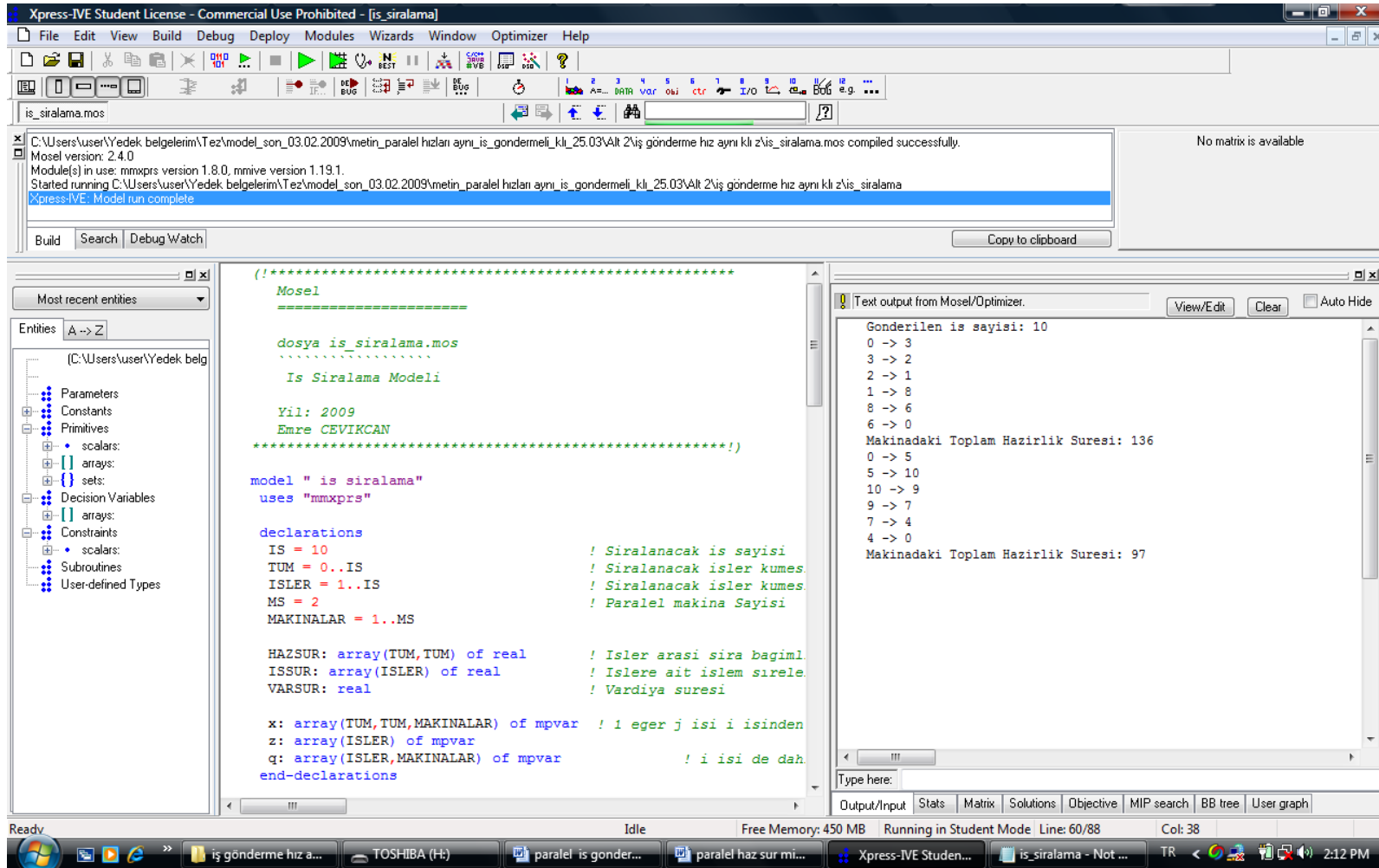
Şekil 5.4 : Xpress-MP arayüzü

İş gönderme matematiksel programlama modelinde parametrelerin girildiği veri dosyası Şekil 5.5’te gösterilmiştir. Modelde 94 parametre, 210 değişken mevcuttur.

```
is_siralama - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
! Data File For 'is_siralama.mos'
HAZSUR: [0 37 49 53 39 26 50 45 55 31 38
0 0 13 29 23 16 17 17 17 13 13
0 13 0 34 34 19 32 35 29 13 31
0 15 20 0 29 20 29 17 37 19 31
0 22 24 37 0 13 39 35 30 15 30
0 17 17 11 18 0 13 9 21 15 12
0 23 19 37 37 21 0 23 35 11 24
0 15 37 25 24 18 39 0 22 11 27
0 18 39 31 23 11 33 26 0 11 16
0 21 21 20 18 21 15 12 15 0 17
0 29 35 26 27 21 37 25 23 23 0]
ISSUR: [61 97 77 117 45 85 125 79 53 90]
VARSUR: 700
```

Şekil 5.5 : Modele ait veri dosyası.

Model çözüldükten sonra programın çıktısı Şekil 5.6'daki gibidir.



Şekil 5.6 : Xpress-MP çözüm ara yüzü.

α değerlerine sırası ile 0,3; 0,25; 0,20; 0,15 değerleri verildiğinde iş parçası gönderme matematiksel programlama modelinin çözümüne göre üretim ortamına gönderilen iş parçaları ve her bir makinaya ait iş parçası sırası ise Çizelge 5.7'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.7 : Üretim ortamına gönderilen iş parçası sayısı ve makinalara ait iş parçası sıraları ($\alpha=0,3; 0,25; 0,20; 0,15$).

Gönderilen İş Parçası Sayısı = 10				
Gönderilen İş Parçaları: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10				
	İş No	Hazırlık Süresi (dakika)	İşlem Süresi (dakika)	Birikimli Süre (dakika)
Makina 1	3	53 (Baş. Dur.-3)	77	130
	2	20 (3-2)	97	247
	1	13 (2-1)	61	321
	8	17 (1-8)	79	417
	6	33(8-6)	85	535
Makina 2	5	26 (Baş. Dur.-5)	45	71
	10	12 (5-10)	90	173
	9	23 (10-9)	53	249
	7	12 (9-7)	125	386
	4	24 (7-4)	117	527
Toplam Hazırlık Süresi: 233 dakika				

Üretim ortamına gönderilecek iş parçaları belirlendikten sonra, sözkonusu iş parçaları için hazırlık sürelerinin enazlanmasını sağlayan matematiksel programlama modeli çözülmüştür. Modelin çözümünden elde edilen her bir makinaya ait iş parçası sırası ise Çizelge 5.8'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 : Hazırlık süresi enazlama modelinin çözümü ($\alpha=0,3; 0,25; 0,20; 0,15$).

	İş Parçası No	Hazırlık Süresi (dakika)	İşlem Süresi (dakika)	Birikimli Süre (dakika)
Makina 1	4	39 (Baş. Dur.-4)	117	156
	5	13 (4-5)	45	214
	3	11 (5-3)	77	302
	7	17 (3-7)	125	444
Makina 2	9	31 (Baş. Dur.-9)	53	84
	6	15 (9-6)	85	184
	2	19 (6-2)	97	300
	1	13 (2-1)	61	374
	8	17 (1-8)	79	470
Atanamayan İş Parça(ları): 10				
Toplam Hazırlık Süresi: 175 dakika				

Çizelge 5.8'e göre 10 iş parçası makinalara atanmadığı için α değeri 0,05 azaltılarak 0,1 değeri ile iş parça gönderme matematiksel programlama modeli çözülmüş ve üretim ortamına gönderilen iş parçaları Çizelge 5.9'da belirtilmiştir.

Çizelge 5.9 : Üretim ortamına gönderilen iş parçası sayısı ve makinalara ait iş parça sırası ($\alpha=0,10$).

Gönderilen İş Parçası Sayısı = 10				
Gönderilen Parçaları: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10				
	İş Parçası No	Hazırlık Süresi (dakika)	İşlem Süresi (dakika)	Birikimli Süre (dakika)
Makina 1	4	39 (Baş. Dur.-4)	117	156
	5	13 (4-5)	45	214
	3	11 (5-3)	77	302
	7	17 (3-7)	125	444
	9	11(7-9)	53	508
Makina 2	6	50 (Baş. Dur.-6)	85	135
	2	19 (6-2)	97	251
	1	13 (2-1)	61	325
	8	17 (1-8)	79	421
	10	24 (8-10)	90	527
Toplam Hazırlık Süresi: 214 dakika				

Çizelge 5.9'da belirtilen gönderilmesi öngörülen iş parçaları kümesinin, Çizelge 5.7'deki halinden (ikisinde de küme elemanı sayısı 10) bir farkı olmadığı için

hazırlık sürelerine yönelik modelin çözümünden elde edilen her bir makinaya ait iş parça sırası ise Çizelge 5.8'deki gibidir.

Yine 10 iş parçası makinalara atanmadığı için α değeri 0,05 azaltılarak 0,05 değeri ile iş parça gönderme matematiksel programlama modeli çözülmüş ve üretim ortamına gönderilen iş parçaları Çizelge 5.10'da belirtilmiştir.

Çizelge 5.10 : Üretim ortamına gönderilen iş parçası sayısı ve makinalara ait iş parçası sırası ($\alpha=0,05$).

Gönderilen İş Parçası Sayısı = 9				
Gönderilen İş Parçaları: 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10				
	İş Parçası No	Hazırlık Süresi (dakika)	İşlem Süresi (dakika)	Birikimli Süre (dakika)
Makina 1	5	26 (Baş. Dur.-5)	45	71
	3	11 (5-3)	77	159
	7	17 (3-7)	125	301
	9	11(7-9)	53	365
	8	15(9-8)	79	459
Makina 2	10	38 (Baş. Dur.-10)	90	128
	1	29 (10-1)	61	218
	6	17 (1-6)	85	320
	2	19 (6-2)	97	436
Toplam Hazırlık Süresi: 183 dakika				

Üretim ortamına gönderilecek iş parçaları belirlendikten sonra, sözkonusu iş parçaları için hazırlık sürelerinin enazlanması sağlayan matematiksel programlama modeli çözülmüştür. Modelin çözümünden elde edilen her bir makinaya ait iş parça sırası ise Çizelge 5.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11 : Hazırlık süresi enazlama modelinin çözümü ($\alpha=0,05$).

	İş Parçası No	Hazırlık Süresi (dakika)	İşlem Süresi (dakika)	Birikimli Süre (dakika)
Makina 1	5	26 (Baş. Dur.-5)	45	71
	3	11 (5-3)	77	159
	7	17 (3-7)	125	301
	9	11(7-9)	53	365
	6	15 (9-6)	85	465
Makina 2	2	49 (Baş. Dur.-2)	97	146
	1	13 (2-1)	61	220
	8	17 (1-8)	79	316
	10	16 (8-10)	90	422
Atanamayan İş Parça(ları): Yok				
Toplam Hazırlık Süresi: 175 dakika				

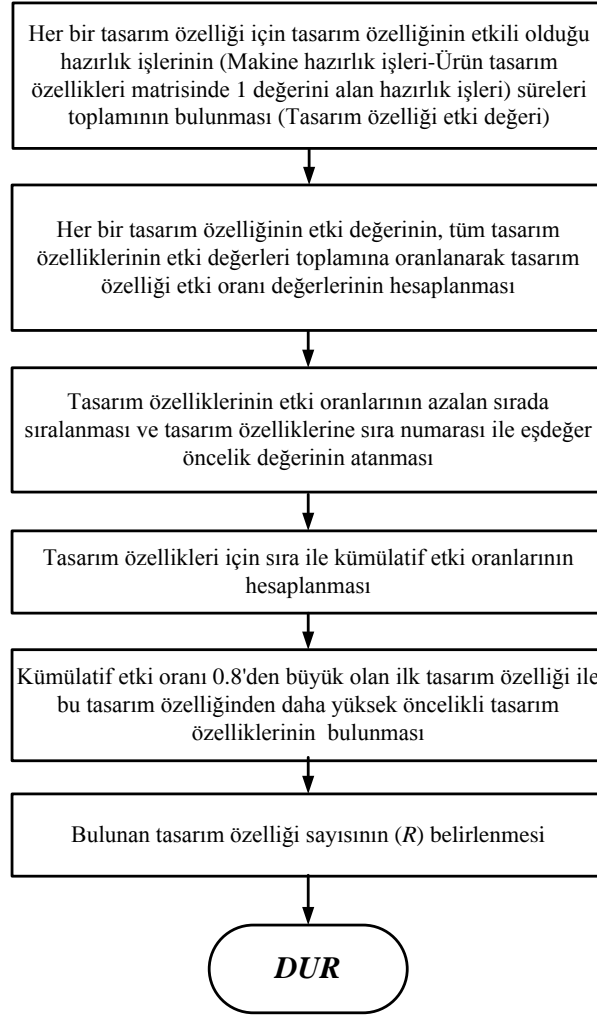
Böylece birinci modelde gönderilmesi öngörülen iş parçalarının hepsinin ikinci modeldeki sıra ile makinalara yüklenmesi sağlanmıştır. Ayrıca üretim ortamına gönderilen iş parçalarının belirlendiği ilk modelden, Çizelge 5.5'te belirtilen iş parçalarının hepsinin üretim ortamına gönderilebileceği sonucu çıkmaktadır. $\alpha=0,05$ iken ilk modelde belirtilen taslak sırada toplam hazırlık süresi **183** dakika iken, gönderilen iş parçaları arasındaki sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin enazlanmasına odaklanan ikinci model neticesinde, bulunan iş parçası sırasında toplam hazırlık süresi **175** dakikaya düşürülmüştür.

5.5 Sıralama Algoritmaları

Ancak iş sayılarının fazla olduğu durumlarda hesaplama süresi uzunluğunun hızlıca artacağı düşünülerek en iyiye yakın sonuçlar veren sezgisel yöntemler tercih edilmelidir. Bu aşamada ele alınan üretim sisteminde sözkonusu planlama dönemine ait işler, sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin toplamının azaltılması amacı ile sezgisel yöntemler kullanılarak sıralanır. Çalışma kapsamına alınan sıralama algoritmaları bu kısımda açıklanacaktır.

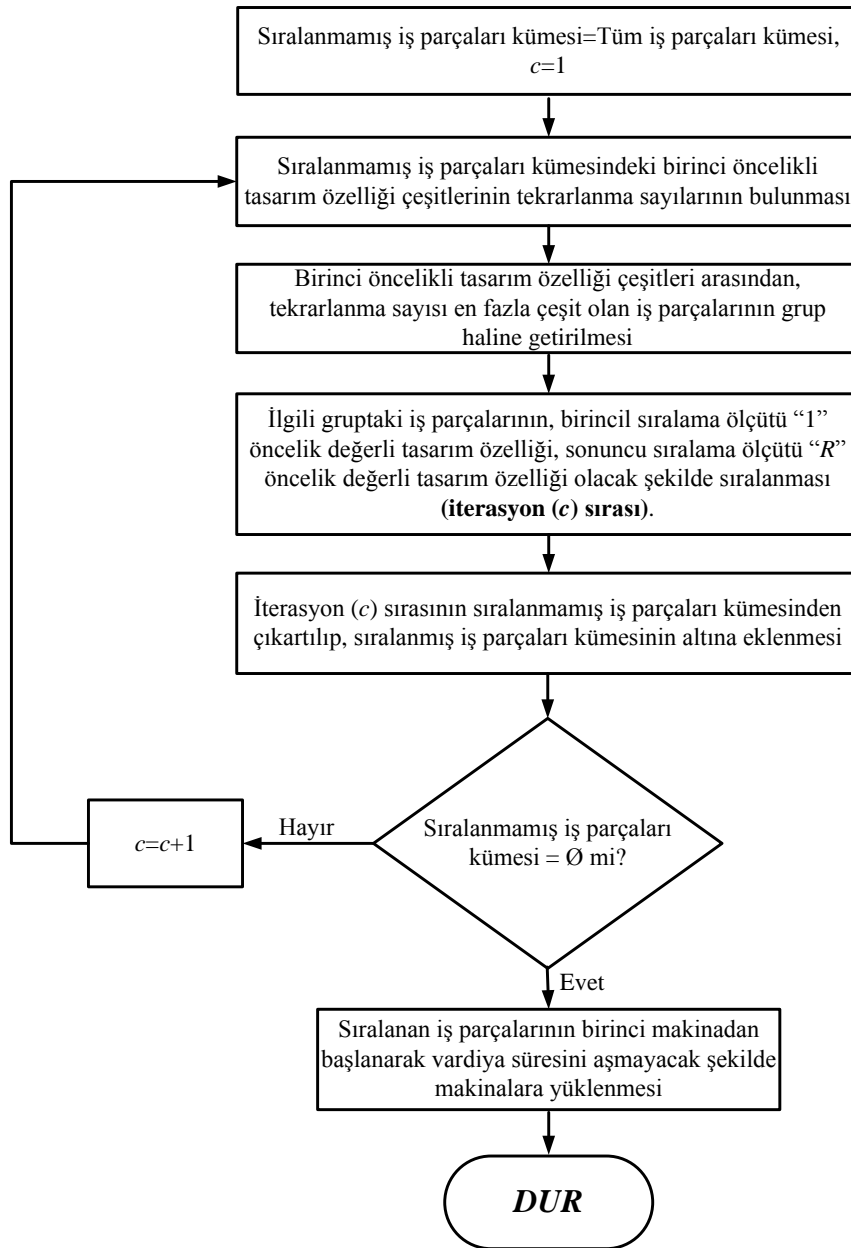
5.5.1 Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıralama Algoritması

Sıralama adımında, ürün tasarım özelliklerinin dikkate alınması durumunda öncelikle iş parçalarının sıralanması esnasında odaklanılacak tasarım özellikleri belirlenmelidir (Şekil 5.1-⁴). Bunun için, bütün ürün tasarım özellikleri ile hazırlık işleri arasındaki etkileşim incelenir. Geliştirilen sistematiğe her bir tasarım özelliği, üzerine etkili olduğu hazırlık işlerinin sürelerinin toplamdaki payı oranında öneme sahiptir. Daha sonra tasarım özellikleri ve etki oranları incelenerek “Pareto Analizi” yaklaşımı ile iş parçası sıralama safhasında dikkate alınacak tasarım özellikleri ortaya çıkmaktadır. Geliştirilen algoritma Şekil 5.7’de sunulmuştur.



Şekil 5.7 : İş parçası sıralamada odaklanılacak tasarım özelliklerinin belirlenmesi için geliştirilen algoritma (Şekil 5.1-⁴).

Tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritmasında (Şekil 5.1-⁵), bir önceki safhada tüm tasarım özellikleri arasından belirlenen tasarım özelliklerine göre sıralama işlemi uygulanır (Şekil 5.8). Sıralama esnasında, hazırlık faaliyetlerinin süreleri toplamının azaltılmasına en yüksek etkiyi sağlayan tasarım özelliğinin en yüksek miktardaki çeşidini sağlayan iş parçaları gruplandıktan sonra, bu iş parçası grubu, dikkate alınan ve öncelikleri belirlenmiş diğer tasarım özelliklerindeki benzerliklerine göre sıralanmaktadır. Bu sistematik, bütün iş parçalarının sıralanmasına kadar devam eder.




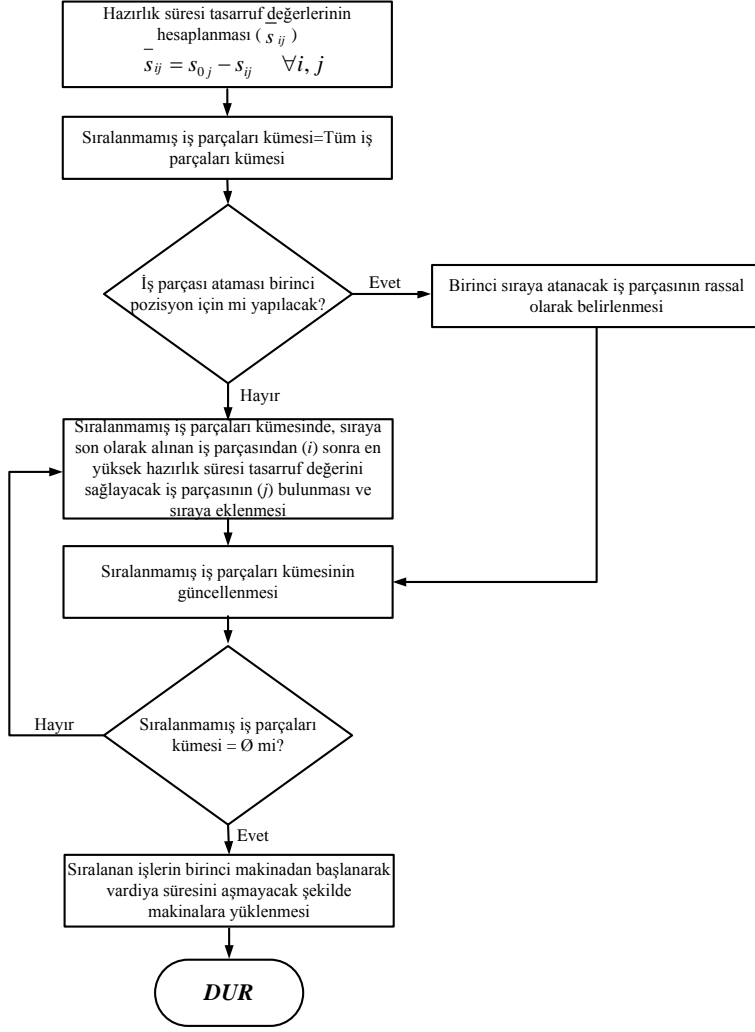
Şekil 5.8 : Tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması (Şekil 5.1-⁵).

5.5.2 “Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi” Sıralama Algoritması

Hazırlık süreleri arasındaki farklılığın düşük olması, sıralama probleminin çözümünde sezgisel yöntemlerin etkinliğini arttırmaktadır. Buna ek olarak hazırlık tasarruf değerleri arasındaki farklılıklar da sıraya bağımlı hazırlık süreleri ile karşılaştırıldığında azdır (Durmuşoğlu, 1990). Ayrıca, tez çalışmasındaki sıraya bağımlı hazırlık sürelerine sahip işlerin sıralanmasının esas amacı, daha önce de belirtildiği gibi, toplam hazırlık sürelerini enazlamaktır. Bu tip ürün sıralama sorunu, gerçekte yöneylem araştırması biliminde “gezgin satıcı” sorunu olarak bilinmektedir. Bu sorun şöyle ifade edilmektedir:

“Bir satıcının bulunduğu şehirden başlayarak ve yine bu şehre dönecek şekilde, n farklı şehrin her birini, sadece ve sadece bir kez ziyaret etmesi durumunda, toplam maliyeti veya satıcı tarafından ziyaret edilen mesafeyi minimize eden en kısa rotanın veya turun bulunması”.

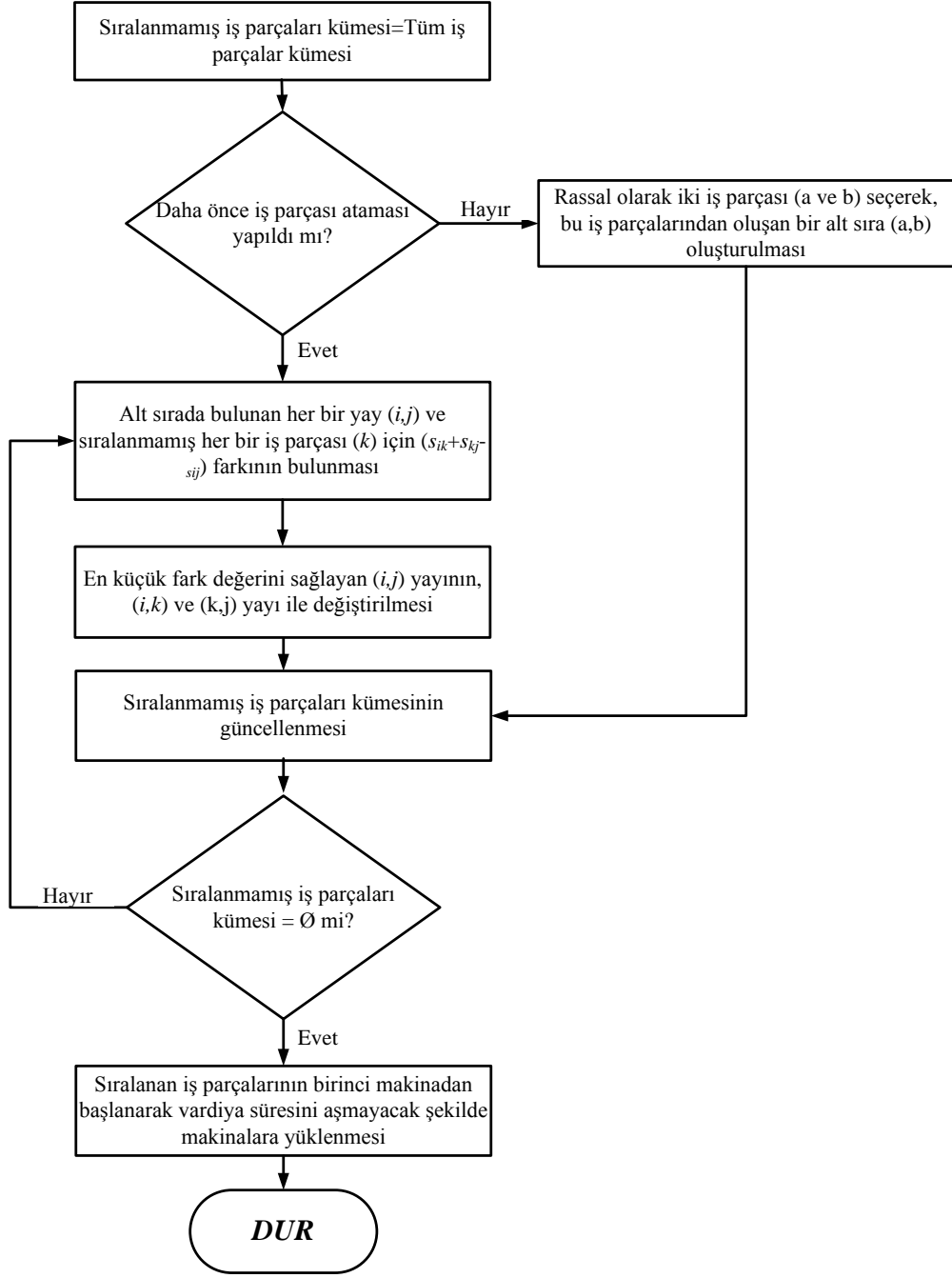
Gezgin satıcı sorunundaki şehirler, çizelgeleme sorununda, makina önündeki işlere, şehirler arasındaki mesafeler ise, işlerin makina önündeki hazırlık sürelerine karşılık gelmektedir. Bu bağlamda, tez çalışması kapsamında, sıraya bağımlı hazırlık süreli işlerin sıralama problemi ile yapısal benzerlik gösteren Gezgin Satıcı Problemi’nde (İng: Traveling Salesman Problem) kullanılan en yaygın algoritmalarından biri olan “En Yakın Komşu” algoritmasına (İng: Nearest Neighbour Algorithm) hazırlık tasarruf değerleri dahil edilerek “Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi” sıralama algoritmasının uygulanması uygun görülmüştür (Şekil 5.1-). Bu sıralama algoritmasında, öncelikle her bir (i,j) iş parçası çifti için hazırlık süresi tasarruf değeri hesaplanır. Hazırlık süresi tasarruf değeri, i ve j iş parçalarının ardışık olarak sıralanması durumunda bu iş parçalarının benzerlikleri dolayısı ile hazırlık sürelerinden sağlanacak kazancın süre cinsinden eşdeğeridir. İşler arası hazırlık tasarruf değerleri hesaplandıktan sonra, her bir adımda, bir pozisyona iş parçası getirilerek iş sırası elde edilir. Herhangi bir pozisyona getirilecek iş parçası belirlenirken, bir önceki pozisyondaki işten sonra en yüksek tasarrufu sağlayacak iş parçası bulunur ve sıraya eklenir. Aşağıdaki şekilde “Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi” sıralama algoritmasının adımları belirtilmiştir.



Şekil 5.9 : “Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi” sıralama algoritması (Şekil 5.1- 6).

5.5.3 “En Ucuz Ekleme” Sıralama Algoritması


Tez çalışması kapsamındaki sıralama yöntemi alternatiflerinden (Şekil 5.1- 7) biri de Gezgın Satıcı Problemi’nde etkin sonuç veren “En Ucuz Ekleme” algoritmasıdır (İng: Cheapest Insertion Algorithm) (Hassin and Keinan, 2007). Bu algoritmada, hazırlık tasarrufuna dayanan sıralama algoritmasında olduğu gibi her bir adımda bir pozisyona bir iş parçası atanır. Ancak, bu algoritmada, iş parçası sıralama, pozisyon açısından ardışık olarak ilerlemez. Herhangi bir adımda, bir önceki adımda elde edilen alt sıradaki her bir ardışık iş çifti arasında henüz sıralanmamış işler teker teker getirilerek toplam hazırlık süresindeki artış hesaplanır. Daha sonra, en düşük hazırlık süresi artışının sağlandığı ekleme faaliyeti gerçekleştirilir. Sıralama süreci, tüm iş parçaları sıralanıncaya kadar devam eder.

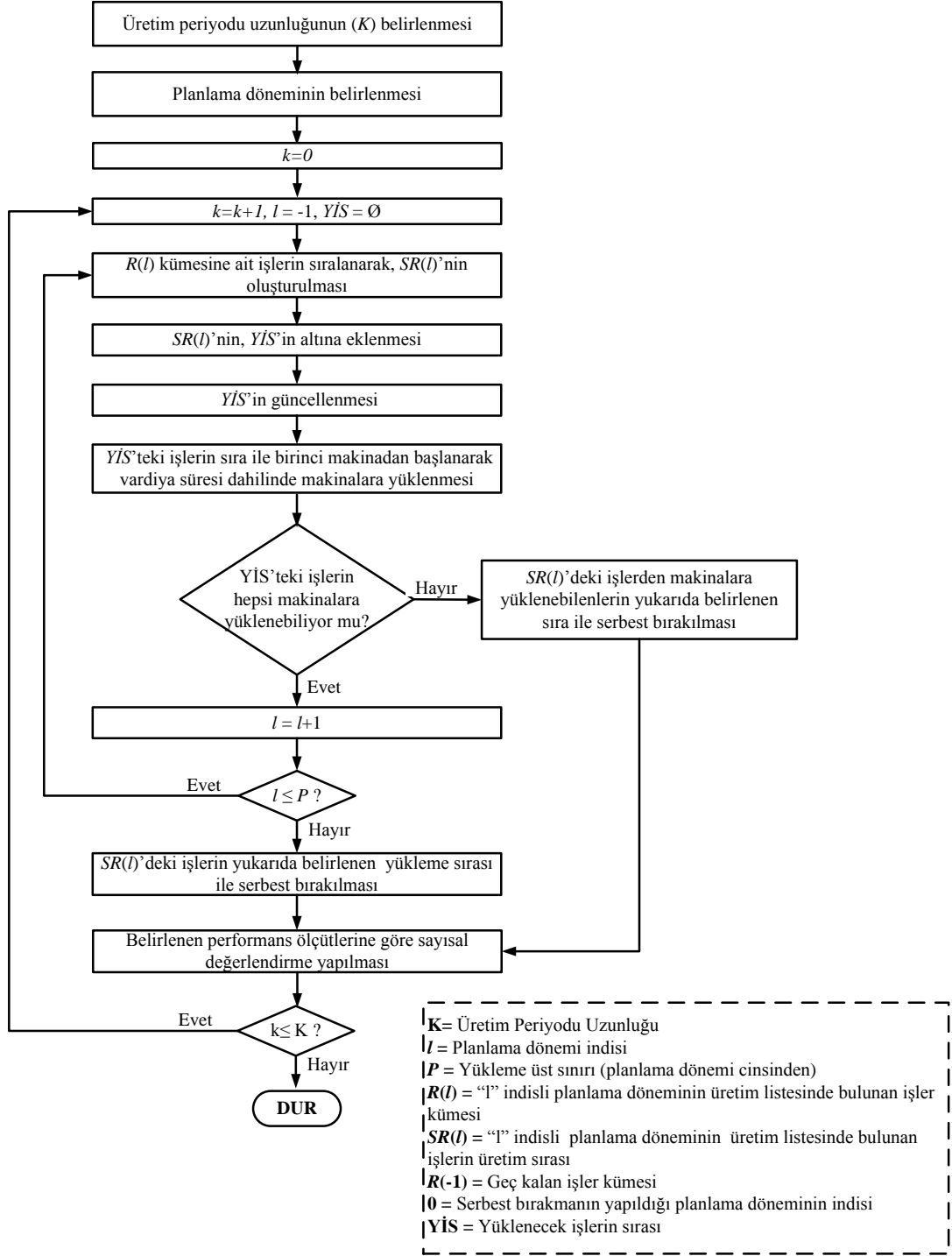


Şekil 5.10 : “En Ucuz Ekleme” sıralama algoritması (Şekil 5.1-7).

5.6 Yüke Yönelik İş Gönderme Listesi'nin Oluşturulması

Yüke Yönelik İş Gönderme Listesi'nin oluşturulması sürecinde planlama dönemlerine ait işlerin sıra ile çizelgelenmesi ve mevcut makina sayısı ve çalışma süresini dikkate alarak üretim ortamına gönderilmesi gerçekleştirilir. Bu çalışmada, iş göndermenin iş sıralamadan sonra gerçekleştirilmesinin nedeni, hazırlık sürelerinin sıraya bağımlı yapıda olması, dolayısıyla kapasite içerisinde hazırlık süreleri

toplamının değişkenlik göstermesidir. Bu durumda, iş göndermede dikkate alınan kapasitenin etkin kullanımı ancak etkin bir iş sırası ile mümkün olmaktadır. Yüke Yönelik İş Gönderme Listesi'nin oluşturulması süreci (Şekil 5.1- ) , üretim sürecine uygun bir planlama döneminin seçilmesi ile başlamaktadır. Planlama döneminin gerektiğinden uzun olması teslim gecikmelerini ve süreç içi stokları arttırırken, gerektiğinden kısa planlama dönemi tercih edildiğinde bir sonraki döneme aktarılacak iş sayısı ve miktarında artış sözkonusu olur. Planlama dönemi belirlendikten sonra, öncelikle geç kalmış işler sıralanır ve mevcut makinalarda bir kapasite aşımı oluşturup oluşturmadıklarına bakılır. Kapasite aşımı sözkonusu değil ise mevcut planlama döneminin işleri sıralanır ve geç kalmış işler sırasının altına yerleştirilir. Bu iki dönemin birleşik iş sırasında (yüklenecek işlerin sırası) bulunan işler, sıra ile birinci makinadan başlanarak vardiya süresini aşmayacak şekilde yüklenir. Kapasite aşımı sözkonusu ise, yüklenemeyen işler bir sonraki serbest bırakma sürecinde öncelikli olacak şekilde bekletilir. Kapasite aşımı sözkonusu değil ise, bir sonraki planlama döneminin işleri sıralanır ve birleşik iş sırasının altına eklenir. Bu birleşik sırada yükleme gerçekleştirilerek, geç kalan, mevcut ve bir sonraki planlama dönemine ait işlerin hepsinin veya bu mümkün değilse geç kalan ve mevcut planlama dönemine ait işlerin hepsinin ve bir sonraki planlama dönemindeki işlerden kapasite dâhilinde yüklenebilenlerin üretim ortamına gönderilmesi sağlanır. İş gönderme sistematığı kapasite aşımı oluşuncaya kadar, her adımda bir sonraki planlama dönemine ait işlerin sıralanması ve birleşik iş sırasına alttan eklenmesi şeklinde devam eder. Ayrıca, fazla üretim israfına yol açmamak amacı ile iş göndermenin yapıldığı planlama döneminden sonra kapasite aşımı oluşturmasa bile belirli bir sınırdan (yükleme üst sınırı) sonraki planlama dönemine ait işlerin gönderilmesine izin verilmez. Bu durumda iş serbest bırakma süreci, yükleme üst sınırı içerisinde kapasite aşımı oluştuğunda veya yükleme üst sınırı aşıldığında durur. Geliştirilen iş gönderme sistematığı, Şekil 5.11'de sunulmuştur.



Şekil 5.11 : İş gönderme sistematığı algoritması (Şekil 5.1- 8).

6. METODOLOJİNİN GEÇERLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen metodolojinin geçerliliğinin sınanması açısından gerçek bir üretim ortamında uygulamaya yer verilmiştir. Bu bağlamda, uygulama kısmı Nursan Elektrik Donanım Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de yapılmıştır.

6.1 Uygulamanın Yapıldığı Firmanın Tanıtımı

1976 yılında kurulan Nursan Elektrik Donanım (NED) Sanayi ve Ticaret A.Ş. otomotiv sektörüne yönelik düşük voltajlı kablo takımları (Şekil 6.1) üretimine yönelik olarak faaliyet göstermektedir.



Şekil 6.1 : Kablo takımları.

650 çalışanı ile NED, yurt içi (Hyundai Assan, Ford Otosan, Oyak Renault) ve yurt dışındaki (Valeo (İtalya-Fransa) ve Fercon (Mısır)) müşterilerinin ihtiyaçlarına zaman ve kalite bazında sürekli gelişim anlayışı ile cevap vermeyi amaçlamaktadır. NED, Gürpınar, Çorlu ve Bulgaristan'da olmak üzere üç adet üretim tesisinde yapılanmıştır. Firma; ISO 9001, ISO/TS 16949 ve ISO 14001 kalite belgelerine sahiptir. Üretim süreçlerine bağlı olarak oluşan NED'i oluşturan üretim alt sistemleri aşağıda belirtilmiştir.

Kablo Çekme Bölümü: Bu bölümde, kablo takımları için gerekli toplam kablo ihtiyacının %88'i üretilmektedir. Üç adet makinaya sahip olan Kablo Çekme Bölümü'nde 0,50-10 mm² arasındaki kesitlere sahip kablolar çekilebilmektedir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 : Çekilmiş kablolar.

Kesme-Sıyırma-Terminalleme (KST) Bölümü: Bu üretim alt sistemi ile ilgili bilgi Bölüm 6.2’de verilecektir.

Kablo Montaj Bölümü: Bu bölümde, KST Bölümünden çıkan bileşenlerin montajı yapılarak kablo takımları oluşturulmaktadır (Şekil 6.3). Montajı yapılan kablo takımı çeşitleri aşağıda belirtilmiştir.

- Gösterge paneli içindeki ana takım,
- Beyin soketi ve enjektörlerdeki kontrol takımı
- Sigorta kutusu ve motorlara giden motor takımı
- Arka lambalara kadar giden zemin takımı
- Kapı takımı
- Tavan takımı
- Hava yastığı takımı
- Akü takımı

NED’in Kablo Montaj Bölümleri Çorlu ve Bulgaristan’da bulunmaktadır.



Şekil 6.3 : Kablo Montajı.

6.2 Uygulamanın Yapıldığı Kısım

Beşinci bölümde anlatılan metodoloji, Nursan Elektrik Donanım Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin Kesme-Sıyırma-Terminalleme (KST) Bölümü'nde uygulanacaktır. Bu bölümde rulo halindeki kabloyu uygun boyda kesme, kesilen parçanın uçlarındaki PVC'yi sıyırma ve uç(lar)ına terminal takma (Şekil 6.4) işlerini otomatik olarak yapan KST makinaları ile KST makinalarından çıkan bazı kablolar için gerekli olan ek işlemlerin yapıldığı eksantrik presler ve çalışma masaları bulunmaktadır. Ek işleme dâhil olan üretim süreçleri aşağıdaki gibidir:

- Blendajlı kabloların uç sıyırma işlemleri
- 6 mm'den kalın çaptaki kablolarla terminal vurulması (Şekil 6.5)
- Birer ucuna KST makinalarında terminal vurulmuş iki kablonun ortak açık uçlarına terminal vurularak birleştirilmesi
- Kabloları sudan koruyan bir aksesuar olan makaron takılması



Şekil 6.4 : KST makinasında kesilmiş, uçları sıyırılmış ve tek ucu terminalenmiş kablo.

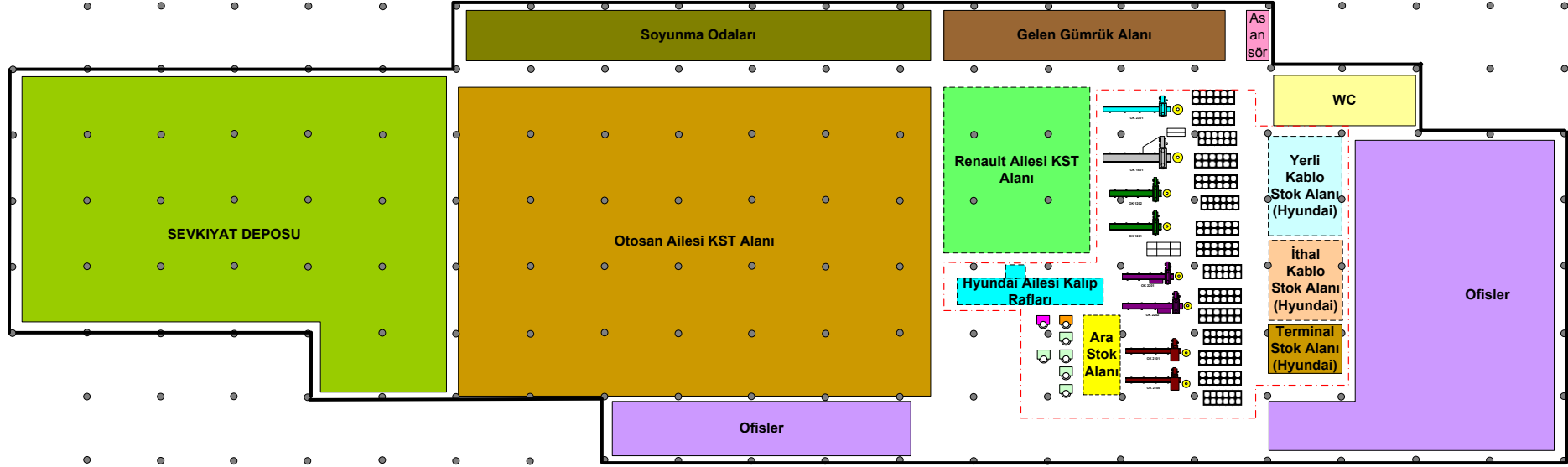
KST Bölümü, müşteri ailesi bazında aşağıdaki üç kısma ayrılmıştır:

- **Hyundai ailesi KST alanı:** 8 KST makinası ile toplam talebin %50'sine karşılık gelen kapasite kullanılmaktadır.
- **Otosan ailesi KST alanı:** 7 KST makinası ile toplam talebin %30'una karşılık gelen kapasite kullanılmaktadır.
- **Renault ailesi KST alanı:** 5 KST makinası ile toplam talebin %20'sine karşılık gelen kapasite kullanılmaktadır.



Şekil 6.5 : Eksantrik preste yapılan terminalleme işlemi.

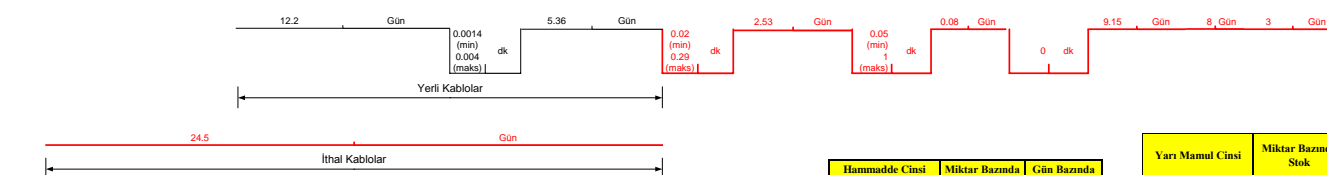
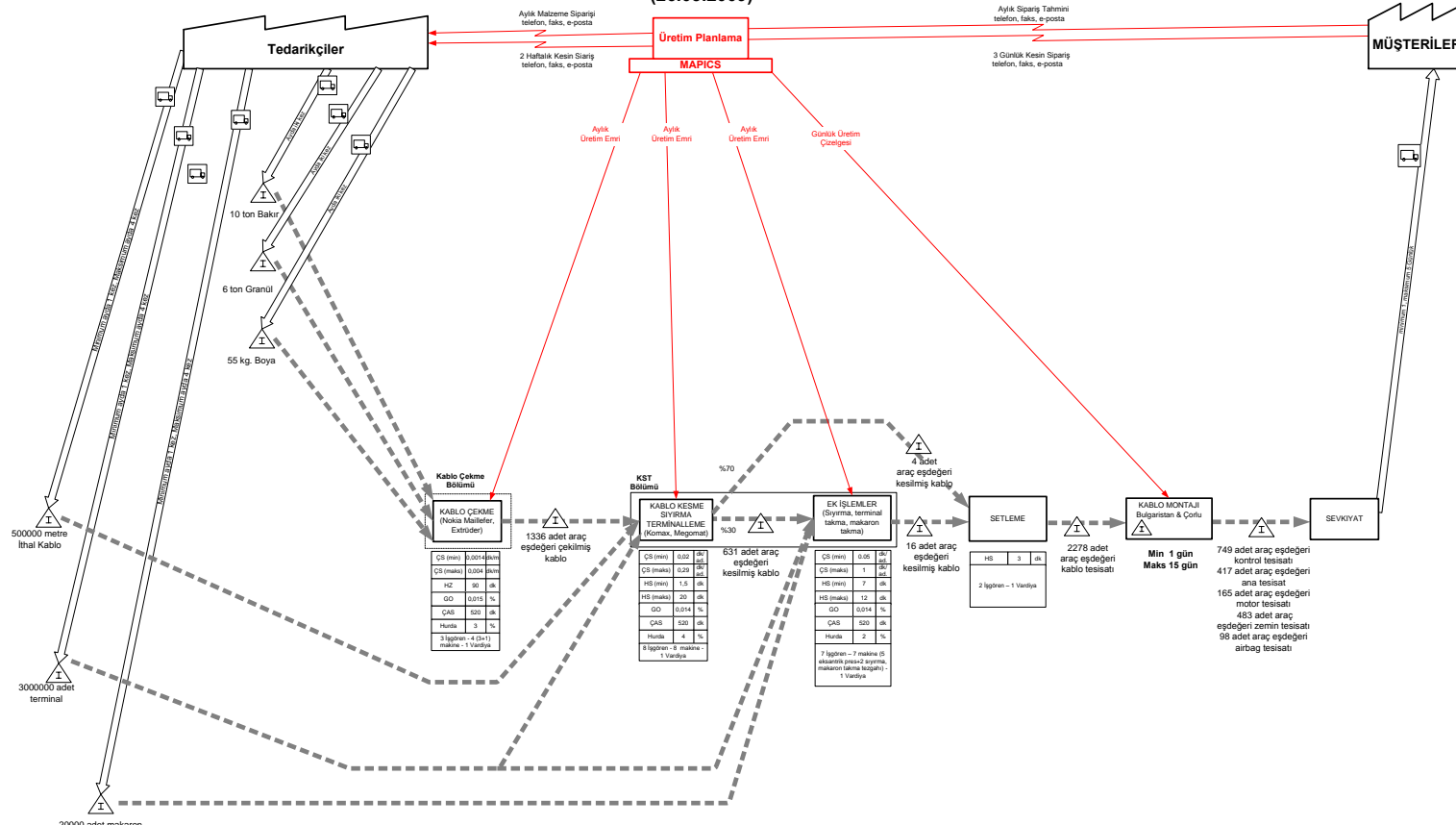
Yapılan bu tez çalışmasında önerilen metodolojinin uygulanmasında sahip olduğu yüksek talep karşılama oranı nedeni ile Hyundai ailesi KST alanına odaklanılacaktır. Şekil 6.6'da NED KST Bölümü'nün yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 6.6 : KST bölümü yerleşim planı.

Uygulama çalışması kapsamında Hyundai ailesine ait kablo takımlarına yönelik değer akışı haritası hazırlanmış ve Şekil 6.7’de sunulmuştur. Hyundai ailesi değer akış haritasına göre kablo takımına **21,55 saatlik katma değer** eklemek için, kablo takımının sistemde **47,26 gün** (8 saatlik çalışma süresi dikkate alındığında %5,70’lik katma değerli süre) kaldığı belirlenmiştir.

Hyundai Kablo Ailesi
Mevcut Durum Değer Akış Haritası
(26.03.2009)



Kablo Takımı Temin Süresi (İthal Yolla): 47,26 gün
Kablo Takımı Temin Süresi (Yerli Kablo): 40,32 gün
Montaj Temin Süresi (İthal Kablo): 36,26 gün
Montaj Temin Süresi (Yerli Kablo): 29,32 gün
Katma Değerli Süre: 1293 dk = 21,55 saat

1 araçta ortalama:
532 adet kesilmiş kablo
599 metre Yerli Kablo (6.469 kg. bakır, 1.9767 kg. granül, 0.0256 kg boya)
82 metre İthal Kablo
940 adet Terminal
33 adet Makaron
1125 dakikalık kablo montaj işlemi bulunmaktadır.

Hammaddede Cinsi (Kablo Çekimi için)	Miktar Bazında Stok	Gün Bazında Stok
Bakır	10 ton	6.2
Granül	6 ton	12.2
Boya	55 kg	8.6

Yarı Mamul Cinsi	Miktar Bazında Stok	Gün Bazında Stok
Yerli Kablo (Çekilmiş)	800000 metre	5.364
İthal Kablo	500000 metre	24.5
Terminal	3000000 adet	12.8
Makaron	20000 adet	2.4

Ürün Ailesi İsmi	Hyundai
Değerlendirme Aralığı	ay 1
Aylık Talep	adet araç 4980
Ortalama Günlük Talep	adet araç 249
Ortalama Aylık Çalışma Süresi	gün 20
Günlük Çalışma Süresi	dakika 520
Takt Süresi	dakika/adet 2.1

Şekil 6.7 : Hyundai ailesi kablo takımlarına yönelik mevcut durum değer akışı haritası.

Makaron ve bakır hammadde stoğunu düşürmek amacı ile gelecek durum haritasında tedarikçi kanbanı uygulanmasının uygun olacağı öngörülmüştür (Şekil 6.8).

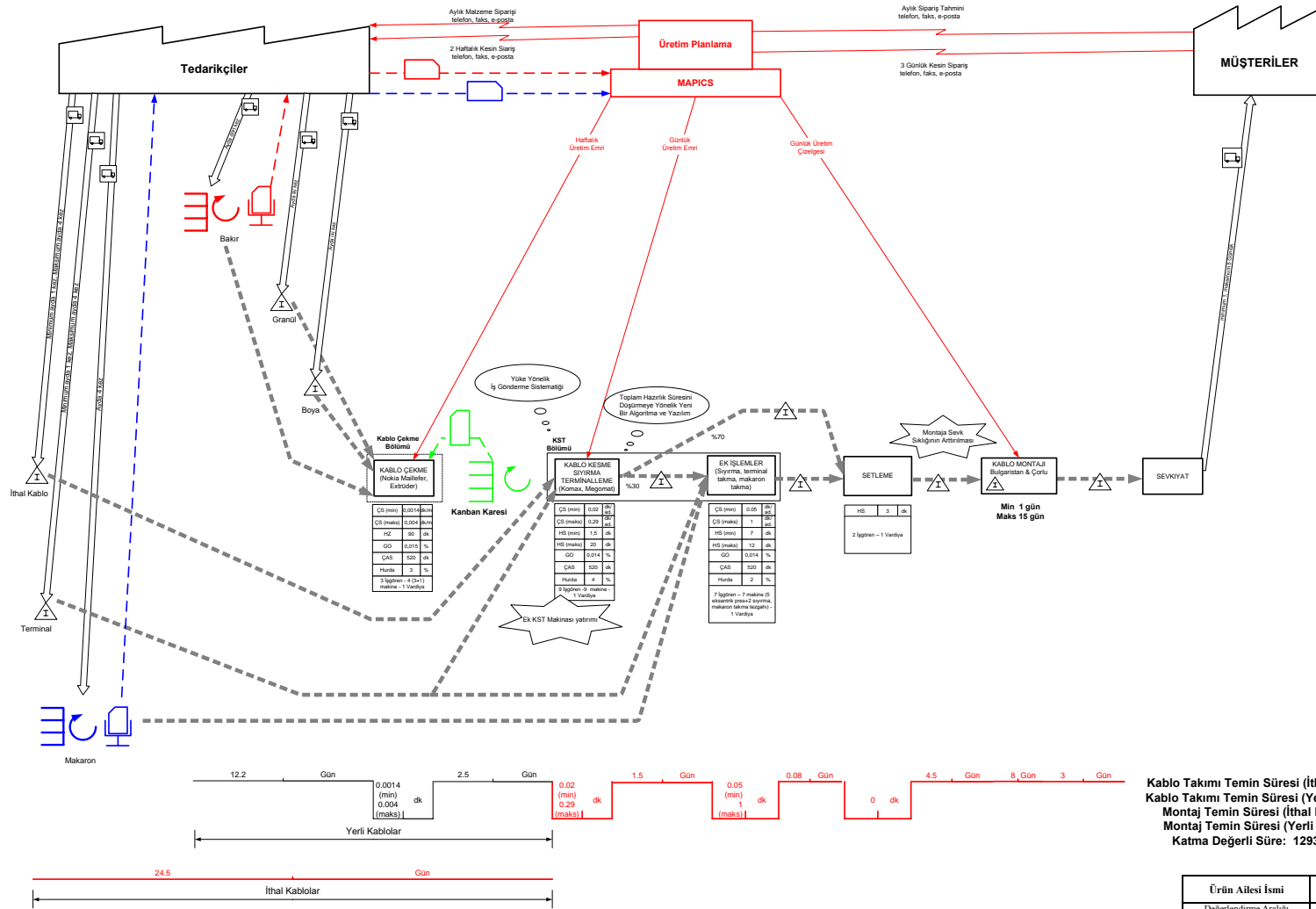
Hyundai ailesi kablo takımları üretiminde kablo çekme ve KST arasındaki stoğun (5,36 gün) azaltılması ve mevcut KST kapasitesini arttırmak için toplam hazırlık süresinin kısaltılması düşünülmüştür. Bir diğer yol olan, ek KST makinası satın alımı ise bu tez çalışması kapsamı dışındadır.

KST sonrası stoğun ($2,53+0,08+9,15=11,76$ gün) azaltılabilmesi için çekme sisteminin uygulanması ve montaj fabrikalarına yapılan sevkiyat sıklığının artırılması (haftada bir yerine iki sevkiyat yapmak gibi) gereklidir. Daha da çarpıcı bir gelişim için, kablo montajını KST Bölümü'nün yanında yapmak gerekir. Yukarıda bahsedilen son iki faaliyetin stratejik kararlar olmasına ek olarak, montaj fabrikalarına yapılan sevkiyat sıklığı ile ilgili analiz, tez kapsamı dışındadır. Tamamen çekme sisteminin uygulanması ise ele alınan üretim sistemindeki ürün çeşitliliği, talep değişkenliği ve ürün yapısındaki karmaşıklık nedeni ile olurlu gözükmemektedir. Bu nedenle, çekme sisteminin alternatifi olan İş Yüküne Yönelik İş Gönderme Sistematiği tercih edilmiştir.

Yukarıda bahsedilen iyileştirme faaliyetlerini kapsayan gelecek durum değer akışı haritası Şekil 6.8'deki gibidir. Gelecek durum değer akışı haritasındaki zaman ekseninde öngörülen süreler, iyileştirme görüş ve faaliyetlerinin birleşik etkisini yansıtmaktadır.

Mevcut durum ve gelecek durum değer akışı haritalarına göre ara stok miktarları ve temin sürelerine ait karşılaştırma Çizelge 6.1'de mevcuttur. Mevcut durum ve gelecek durum arasında yapılan karşılaştırmada, toplam kablo ihtiyacının %88'ini oluşturması nedeni ile, yerli kabloların montaj için temin süresinin dikkate alınması uygun görülmüştür. Gelecek durumdaki yerli kablo hammadde stoğunun (12,2 günlük) mevcut durum ile aynı olmasının nedeni, yerli kablo üretimindeki kritik hammaddelerden biri olan granülün yurtdışından tedarik edilmesi nedeni ile bu süreçte tedarik kanbanı uygulanmasının olurlu gözükmeşiştir.

Hyundai Kablo Ailesi Gelecek Durum Değer Akış Haritası



Kablo Takımı Temin Süresi (İthal Yolla): 41,59 gün
Kablo Takımı Temin Süresi (Yerli Kablo): 31,79 gün
Montaj Temin Süresi (İthal Kablo): 30,58 gün
Montaj Temin Süresi (Yerli Kablo): 20,78 gün
Katma Değerli Süre: 1293 dk = 21,55 saat

1 araçta ortalama;
 532 adet kesilmiş kablo
 599 metre Yerli Kablo (6.469 kg. bakır, 1.9767 kg. granül, 0.0256 kg boya)
 82 metre İthal Kablo
 940 adet Terminal
 33 adet Makaron
 1125 dakikalık kablo montaj işlemi bulunmaktadır.

Ürün Ailesi İsmi	Hyundai	
Değerlendirme Aralığı	ay	1
Aylık Talep	adet araç	4980
Ortalama Günlük Talep	adet araç	249
Ortalama Aylık Çalışma Süresi	gün	20
Günlük Çalışma Süresi	dakika	520
Takt Süresi	dakika/adet	2.1

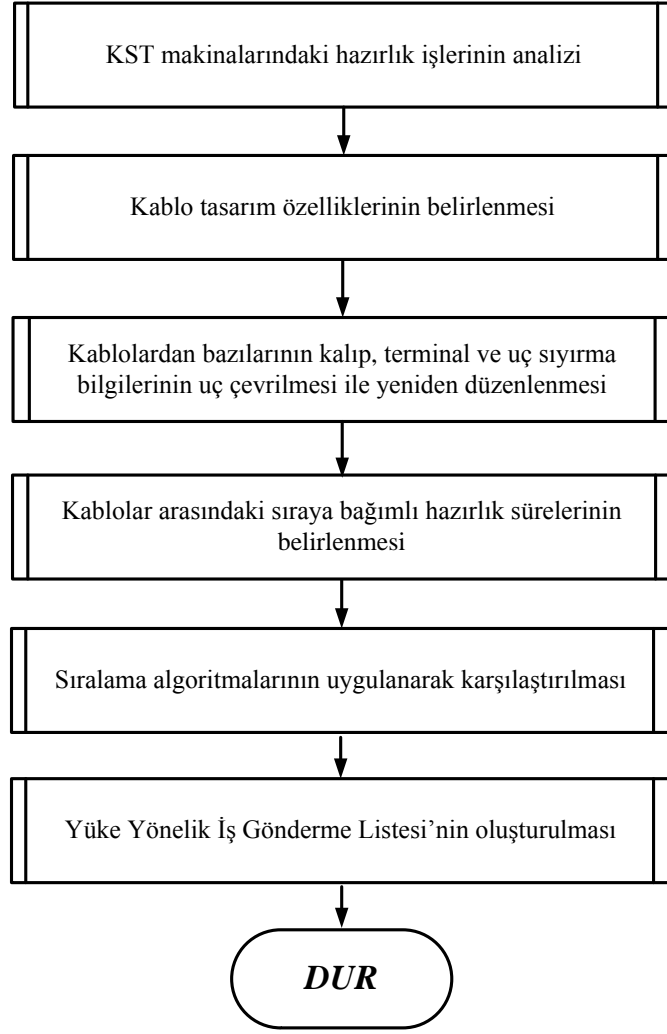
Şekil 6.8 : Hyundai ailesi kablo takımlarına yönelik gelecek durum değer akışı haritası.

Çizelge 6.1 : Kablo takımı üretimi mevcut ve gelecek durum karşılaştırması.

	Yerli Kablo Hammadde Stoğu (günlük)	Çekilmiş Kablolar (günlük)	KST Makinaları/Ek İşlemler Yarı Mamul (günlük)	KST Bölümü Sonrası Yarı Mamul (günlük)	Yerli Kablo Montaj Temin Süresi (gün)
Mevcut Durum	12,2	5,36	2,53	9,23	29,32
Gelecek Durum	12,2	2,5	1,5	4,58	20,78

6.3 Uygulamanın Aşamaları

Uygulama esnasında öncelikle hazırlık işleri analiz edilmekle beraber kablo tasarım özellikleri belirlenmektedir. Daha sonra, kablolardan bazılarının kalıp, terminal ve uç sıyırma bilgileri, toplam hazırlık süresini düşürme amaçlı olarak uç çevrilmesi ile yeniden düzenlenir. Dördüncü aşama, kablodan kabloya hazırlık sürelerinin Bölüm 5.3'te anlatıldığı gibi elde edilmesidir. Bir sonraki aşamada, kablo sıralama problemine uygun olan algoritmalar uygulanarak karşılaştırılır. Son adımda ise, performansı en iyi olan sıralama algoritması esas alınarak Yüke Yönelik İş Gönderme Listesi oluşturulur (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 : Uygulamanın aşamaları.

6.3.1 Hazırlık İşlerinin Analizi ve Tasarım Özelliklerinin Belirlenmesi

KST makinalarındaki hazırlık işlerinin analizine, Bölüm 2.1’de aktarılan sistematik kullanılarak, hazırlık işlerinin yapısının oluşturulması ile başlanacaktır. KST üretim sürecindeki hazırlık adımları, bu adımlarda bulunan hazırlık faaliyetleri ve bütün hazırlık sürecinde kullanılan hazırlık nesnelere Çizelge 6.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 6.2 : KST makinalarındaki hazırlık adım, faaliyet ve nesnelere ilişkin listesi.

Hazırlık Adımı		Hazırlık Faaliyeti		Hazırlık Nesnelere
Kodu	Adı	Kodu	Adı	Kodu-Adı
1	Boşaltma	1	Sökme	A-Kalıp B-Bıçak Bloğu C-Kablo D-Terminal E-Terminalli Kablo F-Kablo Sepeti L-Program M-Bilgi Formu N-Otomasyon O-Proses Kontrol Kartı P-Yiv R-Kablo Giriş Mekanizması S-Röper Kızağı U-Röper Ekipmanı
2	Ön Hazırlık	1	Makinadan götürme	
		2	Arama	
		3	Ayarlama	
		4	Makinaya getirme	
		5	Okuma	
3	Yükleme	1	Bağlama	
4	Ayarlama	1	Ayarlama	
		2	Numune alma	
		3	Muayene etme	
		4	Kaydetme	

Çizelge 6.2'deki yapıya göre her bir hazırlık işini oluşturan hazırlık bileşenleri belirlenmiş olup, hazırlık nesnelere ve süreleri ile birlikte **EK C**'de mevcuttur. Çizelge 6.3'te hazırlık işleri ve süreleri belirtilmiştir.

Çizelge 6.3 : KST makinelerindeki hazırlık işleri ve süreleri.

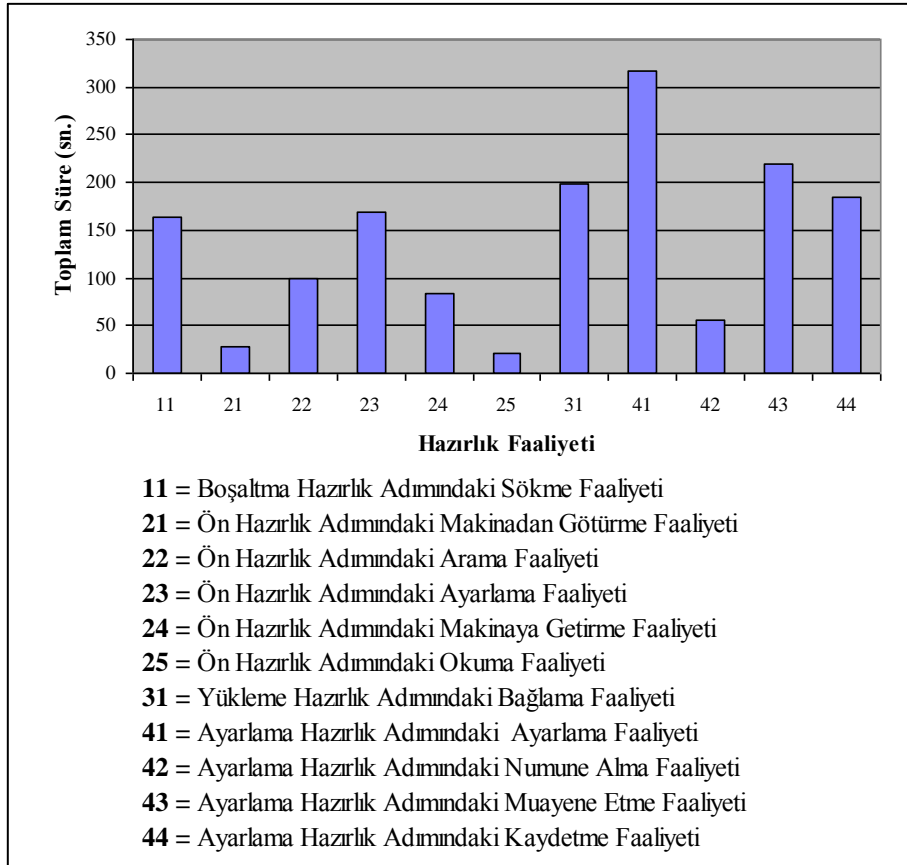
Hazırlık İş No	Hazırlık İşİ	Toplam Süre	
		Saniye	Dakika
1	Program Girme	14,55	0,243
2	Bıçak Bloğunun Çıkarılması	37,18	0,620
3	Bıçak Bloğunun Hazırlanması	93,68	1,561
4	Bıçak Bloğunun Takılması	44,65	0,744
5	Kablonun Makinadan Çıkarılması	38,99	0,650
6	Kablonun Makinaya Takılması	100,22	1,670
7	Parti Sonunda Numune Alma	87,02	1,450
8	1. Ucu Terminalinin Çıkarılması	13,18	0,220
9	Terminal(ler)in Raftaki Yerine Götürülmesi	14,59	0,243
10	Terminal(ler)in Okunması	19,45	0,324
11	2. Ucu Terminalinin Çıkarılması	13,18	0,220
12	1. Ucu Terminalinin Raftan Bulunması	18,57	0,310
13	Terminal(ler)in Makinaya Getirilmesi	14,59	0,243
14	2. Ucu Terminalinin Raftan Bulunması	18,57	0,310
15	1. Ucu Terminalinin Kalıba Takılması	114,72	1,912
16	2. Ucu Terminalinin Kalıba Takılması	114,72	1,912
17	1. Ucu Kalıbının Çıkarılması	26,14	0,436
18	Kalıp(lar)ın Raftaki Yerine Götürülmesi	12,52	0,209
19	Kalıp(lar)ın Okunması	15,85	0,264
20	2. Ucu Kalıbının Çıkarılması	26,14	0,436
21	1. Ucu Kalıbının Bulunması	14,05	0,234
22	Kalıp(lar)ın Makinaya Getirilmesi	12,52	0,209
23	2. Ucu Kalıbının Bulunması	14,05	0,234
24	1. Ucu Kalıbının Hazırlanması	51,74	0,862
25	1. Ucu Kalıbının Montajı	10,68	0,178
26	2. Ucu Kalıbının Hazırlanması	51,74	0,862
27	2. Ucu Kalıbının Montajı	10,68	0,178
28	Kablonun Röperden Çıkartılması	5,88	0,098
29	Kablonun Röper Takılması	171,94	2,866
30	Numune Alma ve Kalıp-Terminal Ayarı	219,24	3,654
31	Numune İçin Çekme Testi Uygulanması	135,43	2,257

Örneğin, 31 numaralı “Numune için çekme testi uygulanması” işini oluşturan hazırlık bileşenleri Çizelge 6.4’te belirtilmiştir.

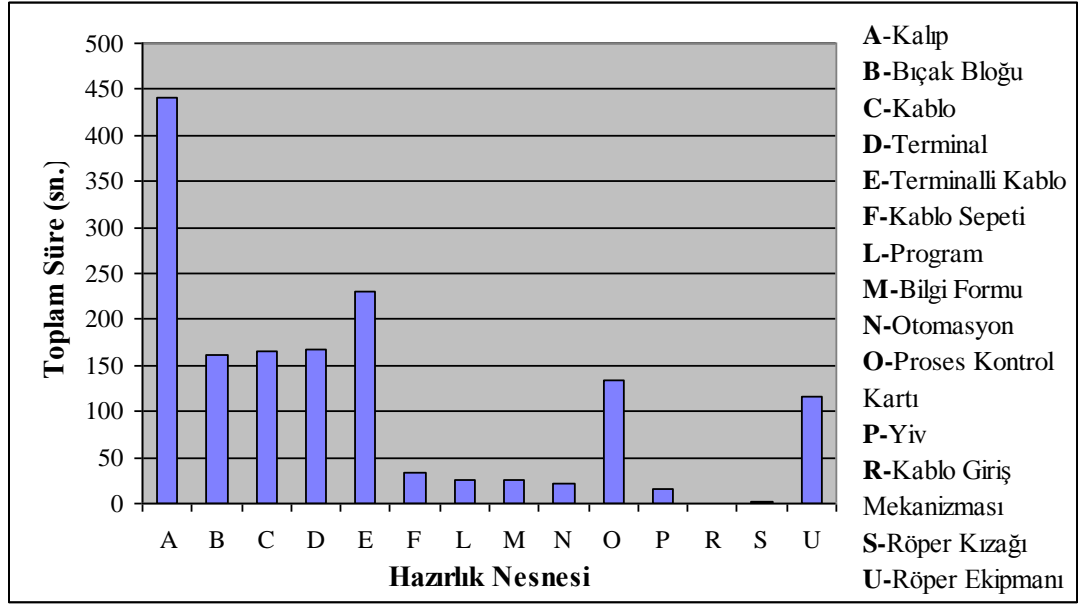
Çizelge 6.4 : 31 numaralı “Numune için çekme testi uygulanması” hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		Numune İçin Çekme Testi Uygulanması	
Hazırlık İşinin Numarası:		31	
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	E-43	Yüksekliği Ölçülmüş Numuneler Alınır Çekme Cihazının Bulunduğu Yere Gidilmesi	16,08
2	E-43	Birinci Numunenin Cihaza Takılması	12,81
3	E-43	Numunenin Çekilmesi	6,11
4	O-44	Çıkan Sonucun Proses Kontrol Kartına Kaydedilmesi	32,67
5	E-43	İkinci Numunenin Cihaza Takılması	12,39
6	E-43	Numunenin Çekilmesi	6,13
7	O-44	Çıkan Sonucun Proses Kontrol Kartına Kaydedilmesi	32,75
8	E-43	Çalışma Bölgesine Geri Dönülmesi	16,49
TOPLAM			135,43

Ayrıca, hazırlık faaliyetleri ve her bir hazırlık nesnesi ile ilgili hazırlık bileşenlerinin toplam süreleri saptanmış olup sırası ile Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de gösterilmiştir.



Şekil 6.10 : Hazırlık faaliyetlerinin toplam sürelerinin dağılımı.



Şekil 6.11 : Hazırlık nesnelerinin toplam sürelerinin dağılımı.

Şekil 6.10 ve 6.11’den anlaşılacağı gibi, KST makinalarındaki hazırlık işlerinde;

- hazırlık faaliyeti açısından sırası ile ayarlama adımıdaki ayar (41) ve muayene etme (43), yükleme adımıdaki bağlama (31) faaliyetleri,
- hazırlık nesnelere açısından ise sırası ile kalıp (A), terminallenmiş kablo (E), terminal (D) nesnelere,

önemli yer tutmaktadır.

KST makinalarındaki işlemlerin çıktısı olan kablonun tasarım özelliklerinin belirlenmesi için hazırlık nesnelere ile ürün özellikleri arasındaki etkileşimler dikkate alınmalıdır (Şekil 5.2). Bu bağlamda, hazırlık nesnelerinin hazırlık bileşeni esnasında kendisinin veya konumunun değişmesi için etkili olan ürün özellikleri Çizelge 6.5’te listelenmiştir.

Çizelge 6.5 : Hazırlık nesneleri ve etkili ürün özellikleri.

Kod	Hazırlık Nesnesi	Etkili Olan Ürün (Kablo) Özelliği
A	Kalıp	Birinci ucun kalıbı-İkinci ucun kalıbı
B	Bıçak Bloğu	Birinci ucun açma boyu-İkinci ucun açma boyu
C	Kablo	Kablonun kesiti-Kablonun tipi- Kablonun-ana rengi-Kablonun ikincil rengi
D	Terminal	Birinci ucun terminali-İkinci ucun terminali
E	Terminalli Kablo	-
F	Kablo Sepeti	Kablonun kesiti-Kablonun tipi- Kablonun-ana rengi-Kablonun ikincil rengi
L	Program	Kablonun boyu-Kablo kesimi parti miktarı
M	Bilgi Formu	-
N	Otomasyon	-
O	Proses Kontrol Kartı	-
P	Yiv	Birinci ucun kalıbı-İkinci ucun kalıbı-Birinci ucun terminali-İkinci ucun terminali
R	Kablo Giriş Mekanizması	Kablonun kesiti
S	Röper Kızağı	Kablonun ikincil rengi
U	Röper Ekipmanı	Kablonun ikincil rengi

Yukarıdaki çizelgeye göre, KST makinalarında işlenen kablo tasarım özellikleri Çizelge 6.6'daki gibidir.

Çizelge 6.6 : Kablo tasarım özellikleri.

Özellik No	Kablo Tasarım Özelliği
1	Birinci ucun terminali
2	İkinci ucun terminali
3	Kablonun kesiti
4	Kablonun ana rengi
5	Kablonun ikincil rengi
6	Birinci ucun açma boyu-
7	İkinci ucun açma boyu
8	Kablonun tipi
9	Birinci ucun kalıbı
10	İkinci ucun kalıbı
11	Kablonun boyu
12	Kablo kesimi parti miktarı

6.3.2 Kabloların Tasarım Özellikleri Bilgilerinin Yeniden Düzenlenmesi

Sıralanacak tüm kablolardan bazılarının tasarım özellikleri, toplam hazırlık sürelerini düşürme amaçlı olarak uç çevrilmesi ile yeniden düzenlenmektedir. Kabloların simetrik bir ürün olmasından yararlanılarak gerçekleştirilen bu aşamada, kabloların bazılarının terminal, kalıp ve uç açma boyları ters çevrilir. Böylece, en fazla süreyi alan kalıp ve terminal ile ilgili hazırlık süreleri, her bir uçta bulunabilecek en yüksek sayıda aynı tipteki terminal düzenlemesi ile azaltılmış olmaktadır. Kabloların ters çevrilme süreci aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilir:

1. Kalan kablolar kümesi=Sıralanacak kablolar
2. Kalan kablolar kümesindeki birinci ve ikinci uç terminalinin tekrarlanma sayılarını bul.
3. En büyük tekrarlanma sayısı eğer birinci uçta ise, adım 4'e, aksi takdirde adım 6'ya git.
4. Birinci uç terminali, tekrarlanma sayısı en fazla terminal tipi olan kabloları grupta ve kalan kablolar kümesinden çıkart.

5. İkinci uç terminali, tekrarlanma sayısı en fazla terminal tipi ile aynı olan kablolarla, birinci uca, diğer uçtaki aynı terminalleri ve bununla birlikte kalıp ve uç açma boyunu taşı. İkinci uçtakileri de birinci uca yerleştir ve kalan kablolar kümesinden çıkart ve adım 8'e git.
6. İkinci uç terminali, tekrarlanma sayısı en fazla terminal tipi olan kabloları grupta ve kalan kablolar kümesinden çıkart.
7. Birinci uç terminali, tekrarlanma sayısı en fazla terminal tipi ile aynı olan kablolarla, ikinci uca, diğer uçtaki aynı terminalleri ve bununla birlikte kalıp ve uç açma boyunu taşı. Birinci uçtakileri de ikinci uca yerleştir ve kalan kablolar kümesinden çıkart ve adım 8'e git.
8. Kalan kablolar kümesi = \emptyset ise adım 11'e git, aksi takdirde adım 9'a git.
9. Kalan kabloların tamamının iki ucu da boş ise adım 10'a git, aksi takdirde, adım 2'ye git.
10. İki ucu da boş olan kabloları kalan kablo kümesinden çıkart ve adım 11'e git.
11. DUR

6.3.3 Kabloların Sıraya Bağımlı Hazırlık ve İşlem Sürelerinin Belirlenmesi

KST makinalarında işlem gören kabloların sıraya bağımlı hazırlık süreleri Bölüm 5.3'te anlatılan matematiksel model ile belirlenmektedir. Sözü geçen matematiksel model, daha önce üniversal kopya tezgâhında (Charles-Owaba ve Lambert, 1988) ve kopya torna tezgâhında (Durmuşoğlu, 1990) uygulanmış olup, kablo KST sürecinde ilk defa uygulanacaktır. Matematiksel modeldeki süre vektörü (T_k), Çizelge 6.2'deki hazırlık işleri sürelerinden oluşmaktadır. Her ürün için belirlenmesi gereken yapılmayan hazırlık işleri, ürün çeşitliliği çok yüksek olmasından dolayı ürün tasarım özelliklerinin aldığı değer ile aşağıdaki çizelge hazırlanarak ilişkilendirilmiştir.

Çizelge 6.7 : Kablo tasarım özelliği değerlerine göre yapılmayan işler.

Özellik No	Kablo Tasarım Özelliği	Tasarım Özelliği Değeri	Yapılmayan İşler	Ve/veya
1	Birinci ucun terminali	-	8,12,15,17,21,24,25	
2	İkinci ucun terminali	-	11,14,16,20,23,26,27	
1-2	Birinci ucun terminali- İkinci ucun terminali	-/-	9,13,18,22	ve
5	Kablonun ikincil rengi	-	29	

Örneğin gelecek kablonun birinci ucun terminali ve ikinci ucun terminali boş olduğunda 9,13,18,22 numaralı hazırlık işleri yapılmayacaktır.

KST makinalarındaki hazırlık işleri ile kablo tasarım özellikleri arasındaki etkileşim matrisi (Q_{kj}), Çizelge 6.8'deki gibidir.

Çizelge 6.8 : KST makinalarındaki hazırlık işleri ile kablo tasarım özellikleri arasındaki etkileşim matrisi.

İş No	Kablo Tasarım Özellikleri											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
5	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
7	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
8	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
16	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
28	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
30	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0
31	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0

KST makinalarındaki herhangi bir kablonun birim işlem süresi, kesit ve uzunluğuna göre değişen kesim süresi ile terminallenme süresinin toplamı şeklinde belirlenmektedir. KST makinalarında terminalleme işlemi iki uç için paralel olarak yapıldığından, bir veya iki ucu terminalli kabloların terminallenme süresi,

makinadaki kalıpların bir vuruşu için geçen süredir. KST makinalarının uzunluk ve kesite bağlı kesim süreleri ve terminalleme süresi Çizelge 6.9’da belirtilmiştir.

Çizelge 6.9 : KST makinalarındaki kesim ve terminalleme süreleri.

Kablo Uzunluğu (mm.)	Kablo kesiti (mm ²)		
	0,2-1,5	2-4,5	5-
0-500	0,02 dak,	0,025	0,03
501-1000	0,025	0,03	0,035
1000-2000	0,03	0,04	0,046
2001-3000	0,04	0,05	0,066
3001-4000	0,05	0,06	0,12
4001-5000	0,075	0,085	0,2
5001-	0,1	0,12	0,24
Terminalleme süresi= 0,00457 dak./uç			

Örneğin uzunluğu 1600 mm., kesiti 4 mm² ve iki ucu terminalli bir kablonun birim işlem süresi (0,04 + 0,00457 =) 0,04457 dakika olmaktadır. Kablo partilerinin işlem süreleri ise, bulunan birim işlem süresi ile parti miktarı çarpılarak elde edilmektedir.

Uygulamada KST makinalarının, her planlama dönemine çıplak konumdan başladığı varsayımı mevcuttur. Örneğin ilk kablo 1 no’lu kablo ise, buradaki hazırlık süresi, 1. kablonun uğrayabileceği tüm hazırlık işlerinin aldığı kötümser (maksimum) sürelerin toplamı olmaktadır. Bunun 100-300 gibi çok kablo kesiminde, herhangi bir olumsuz etkisi kalmamaktadır. Bu nedenle, gerçek hayatta sürekli kesilen en son kabloyu kayıt altına almaya gerek yoktur.

6.3.4 Kabloların Çizelgelenmesi

KST makinalarındaki parti miktarı ortalama 150 adet civarında olup bu miktar kablo kesimi için çok küçüktür. Bu nedenle KST makinalarında hazırlık faaliyet ve süreleri oldukça fazladır. Ayrıca hazırlık sürelerinin sıraya bağımlı yapıda olması nedeni ile etkin kablo sıralarının elde edilmesi kapasite kullanımı açısından yüksek öneme sahiptir. Bu bağlamda, KST makinaları önünde kabloların çizelgelenmesindeki (sıralanmasındaki) esas amaç, kablodan kabloya geçişte yapılan hazırlık süreleri toplamını enazlamaktır.

6.3.4.1 Kablo Çizelgeleme Problemi İçin Kullanılan Algoritmalar

Sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin elde edilmesinden sonra, küçük boyutlu örnek uygulamalar için en iyi (İng: Optimum) kablo kesim sırası, Bölüm 5.4'te aktarılan matematiksel programlama modelleri ile elde edilebilir. Ancak kablo tipi sayılarının fazla olduğu (genellikle 300'ün üzerinde) Nursan'daki uygulamada eniyileme modelleri, hesaplama süresi uzunluğunu olurlu olmayan biçimde arttıracığı için en iyiye yakın sonuçlar veren sezgisel yöntemler tercih edilmiştir. Uygulama esnasında üç adet sezgisel yöntem kullanılarak kablo sıraları elde edilmiştir. Kullanılan sezgisel yöntemler aşağıda belirtilmiştir:

- “Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi” sıralama algoritması
- “En Ucuz Ekleme” sıralama algoritması
- Kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması

“Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi” ve “En Ucuz Ekleme” sıralama algoritması ile ilgili bilgi Bölüm 5.5.2 ve 5.5.3'te mevcuttur. Kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması ise Bölüm 6.3.4.2'de anlatılacaktır.

6.3.4.2 Kablo Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıralama Algoritması

Kablo tasarım özelliklerini dikkate alan sıralama algoritmasının uygulanması için ilk adım kabloların sıralanması esnasında odaklanılacak tasarım özelliklerinin belirlenmesidir (Şekil 5.7). Bunun için her bir kablo tasarım özelliği için etki değeri ve etki oranı hesaplanmıştır. Tasarım özellikleri etki oranlarına göre azalan sırada sıralanıp birikimli (kümülatif) etki oranları belirlenmiştir. Çizelge 6.9 incelendiğinde “Pareto Analizi” yaklaşımı ile kümülatif birikimli süresi 0,8'den büyük olan kablo tipi ve bu tasarım özelliğinden daha yüksek öncelikli birinci ucun kalıbı, ikinci ucun kalıbı, birinci ucun terminali, ikinci ucun terminali ve kablonun kesiti tasarım özellikleri belirtilen öncelik değerleri ile, kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritmasında dikkate alınacaktır.

Çizelge 6.10 : Sıralamada dikkate alınacak kablo tasarım özellikleri.

Öncelik Değeri	Özellik No	Tasarım Özelliği	Etki Değeri	Etki Oranı	Birikimli Etki Oranı
1	9	Birinci Ucun Kalıbı	713,09	0,155	0,155
2	10	İkinci Ucun Kalıbı	713,09	0,155	0,310
3	1	Birinci Ucun Terminali	636,79	0,139	0,449
4	2	İkinci Ucun Terminali	636,79	0,139	0,587
5	3	Kablonun Kesiti	580,9	0,126	0,714
6	8	Kablo Tipi	493,88	0,107	0,821
7	5	Kablonun İkincil Rengi	317,03	0,069	0,890
8	6	Kablonun Birinci Uç Açma Boyu	175,51	0,038	0,928
9	7	Kablonun İkinci Uç Açma Boyu	175,51	0,038	0,967
10	4	Kablonun Ana Rengi	139,21	0,030	0,994
11	11	Kablonun Boyu	14,55	0,003	0,997
12	12	Kablo Kesimi Parti Miktarı	14,55	0,003	1,000
Toplam			4.610,90	1,000	-

Örneğin 1 no'lu "Birinci ucun terminali" kablo tasarım özelliğinin etki değeri (713,09), Çizelge 6.8'de belirtilen KST makinalarındaki hazırlık işleri ile kablo tasarım özellikleri arasındaki etkileşim matrisinde 1 no'lu "Birinci ucun terminali" kablo tasarım özelliğinin sütununda "1" değeri alan, bir diğer ifade ile bu kablo tasarım özelliğinden etkilenen 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 30, 31 no'lu hazırlık işlerinin sürelerinin toplamıdır. Aynı tasarım özelliğinin etki oranı (0,139) ise bu özelliğin etki değerinin (713,09) toplam etki değerleri toplamına (4.610,90) bölünmesi ile bulunmuştur.

Sıralama esnasında dikkate alınacak olan kablo tasarım özellikleri belirlendikten sonra, Şekil 5.8'de belirtilen algoritma çerçevesinde bir sıralama yöntemi geliştirilmiştir. Sözkonusu yöntem, diğer iki sezgiselin aksine, matematiksel model ile bulunan hazırlık sürelerini esas almamakla birlikte, kalıp, terminal, kablo kesiti ve tipini esas alan bir sezgisel olmaktadır. Ancak yöntem sonucu elde edilen sıradaki her bir kablo için gösterilen hazırlık süreleri, matematiksel model sonucu elde edilmiş olan hazırlık sürelerini kullanmaktadır. Kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması adımları aşağıda belirtilmiştir:

1. Kalan kablolar kümesi=Sıralanacak kablolar, $c=1$
2. Kalan kablolar kümesindeki birinci ve ikinci uç kalıplarının tekrarlanma sayılarını bul.

3. En büyük tekrarlanma sayısı eğer birinci uça ise, adım 4'e, aksi takdirde adım 9'a git.
4. Birinci uç kalıbının çeşidi, tekrarlanma sayısı en fazla olan kalıp çeşidi ile aynı olan kabloları grupta.
5. İlgili gruptaki kabloları, sıra ile birinci ucun kalıbı, ikinci ucun kalıbı, birinci ucun terminali, ikinci ucun terminali, kablonun kesiti ve kablonun tipi tasarım özellikleri öncelikleri ile sırala (**iterasyon (c) sırası**).
6. Kalan kablolar kümesinde bulunup, iterasyon (c) sırasında yer almayan kablolarla birinci ucu boş kablo varsa adım 7'ye, aksi takdirde, adım 14'e git.
7. Kalan kablolar kümesinde bulunup, iterasyon (c) sırasında yer almayan birinci ucu boş olan kabloların hepsi ele alındıysa adım 14'e, aksi takdirde adım 8'e git.
8. Kalan kablolar kümesinde bulunup, iterasyon (c) sırasında yer almayan birinci ucu boş olan kablolarla birini ele al. Ele alınan birinci ucu boş kablo ile ikinci uç kalıbı, ikinci uç terminali, kablo kesiti, kablo tipi aynı olan kablo(lar) var ise ele alınan birinci ucu boş kabloyu, bulunan kablo(lar)ın altına yerleştir, böyle kablo(lar) bulunamaz ise ikinci uç kalıbı, ikinci uç terminali, kablo kesiti aynı kablo(lar)ın altına, yine bulunamazsa ikinci uç kalıbı, ikinci uç terminali aynı kablo(lar)ın altına, yine bulunamazsa ikinci uç kalıbı aynı kablo(lar)ın altına yerleştir, iterasyon sırasını güncelle ve adım 9'a git.
9. İkinci uç kalıbının çeşidi, tekrarlanma sayısı en fazla olan kalıp çeşidi ile aynı olan kabloları grupta.
10. İlgili gruptaki kabloları, sıra ile ikinci ucun kalıbı, birinci ucun kalıbı, ikinci ucun terminali, birinci ucun terminali, kablonun kesiti ve kablonun tipi tasarım özellikleri öncelikleri ile sırala (**iterasyon (c) sırası**).
11. Kalan kablolar kümesinde bulunup, iterasyon (c) sırasında yer almayan kablolarla ikinci ucu boş kablo varsa adım 12'ye, aksi takdirde, adım 14'e git. .
12. Kalan kablolar kümesinde bulunup, iterasyon (c) sırasında yer almayan ikinci ucu boş olan kabloların hepsi ele alındıysa adım 14'e, aksi takdirde adım 13'e git.
13. Kalan kablolar kümesinde bulunup, iterasyon (c) sırasında yer almayan ikinci ucu boş olan kablolarla birini ele al. Ele alınan ikinci ucu boş kablo ile birinci uç kalıbı, birinci uç terminali, kablo kesiti, kablo tipi aynı olan kablo(lar) var ise ele alınan

ikinci ucu boş kabloyu bulunan kablo(lar)ın altına yerleştir, böyle kablo(lar) bulunamaz ise birinci uç kalıbı, birinci uç terminali, kablo kesiti aynı kablo(lar)ın altına, yine bulunamazsa birinci uç kalıbı, birinci uç terminali aynı kablo(lar)ın altına, yine bulunamazsa birinci uç kalıbı aynı kablo(lar)ın altına yerleştir, iterasyon sırasını güncelle, aksi takdirde, adım 16'ya git.

14. İterasyon sırasını, kalan kablolar kümesinden çıkart ve bir önceki iterasyon sırasının altına ekle.

15. Kalan kablolar kümesi = \emptyset ise adım 18'e git, aksi takdirde adım 16'ya git.

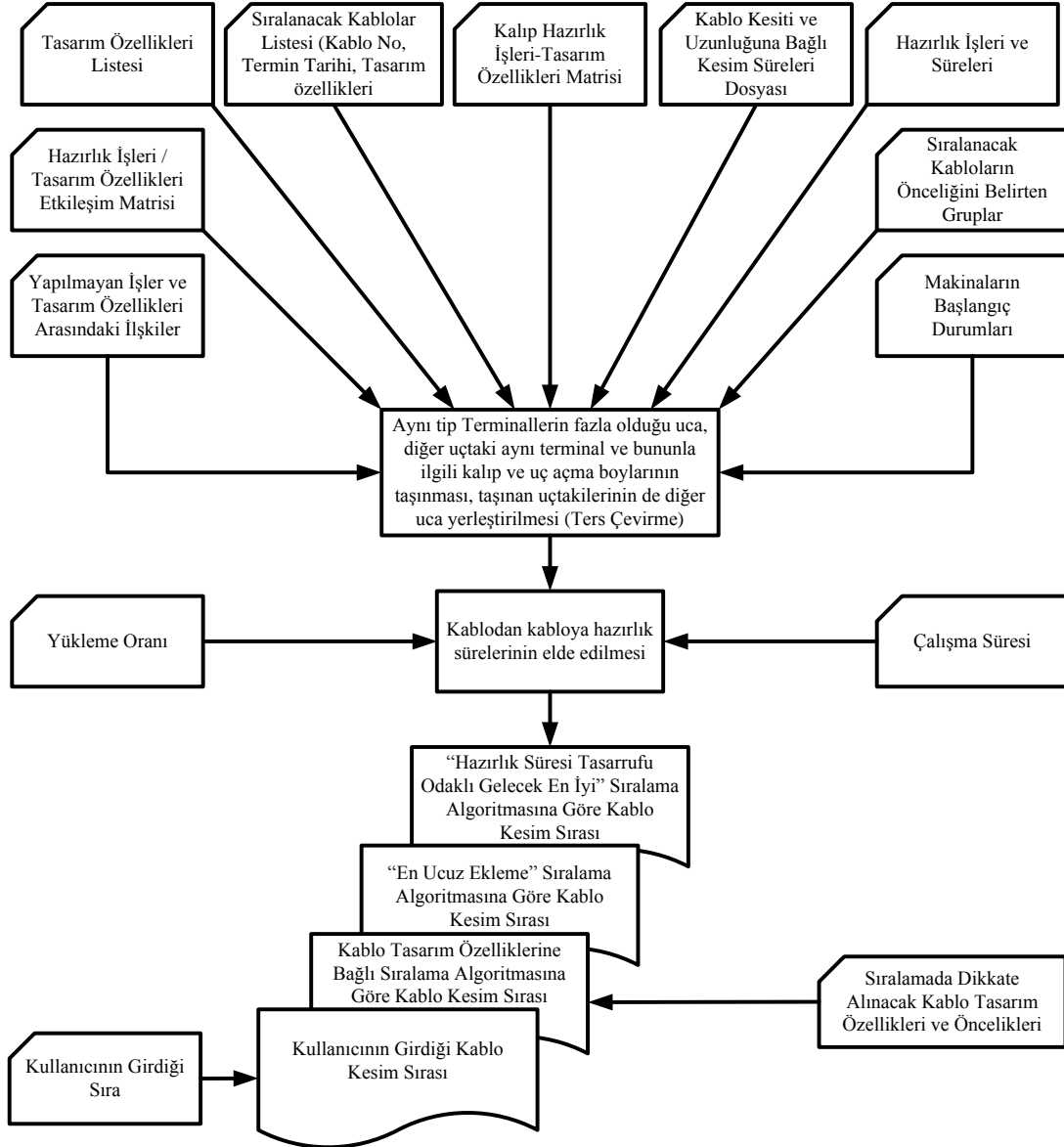
16. Kalan kabloların tamamının iki ucu da boş ise adım 17'ye git, aksi takdirde, c 'yi bir arttır ve adım 2'ye git.

17. İki ucu da boş olan kabloların her birini, kablo kesiti ve kablo tipi aynı olan kabloların altına yerleştir. Böyle bir kablo yok ise, sadece kablo kesiti aynı olan kabloların altına, yine bulunamazsa en alta yerleştir ve adım 18'e git.

18. DUR

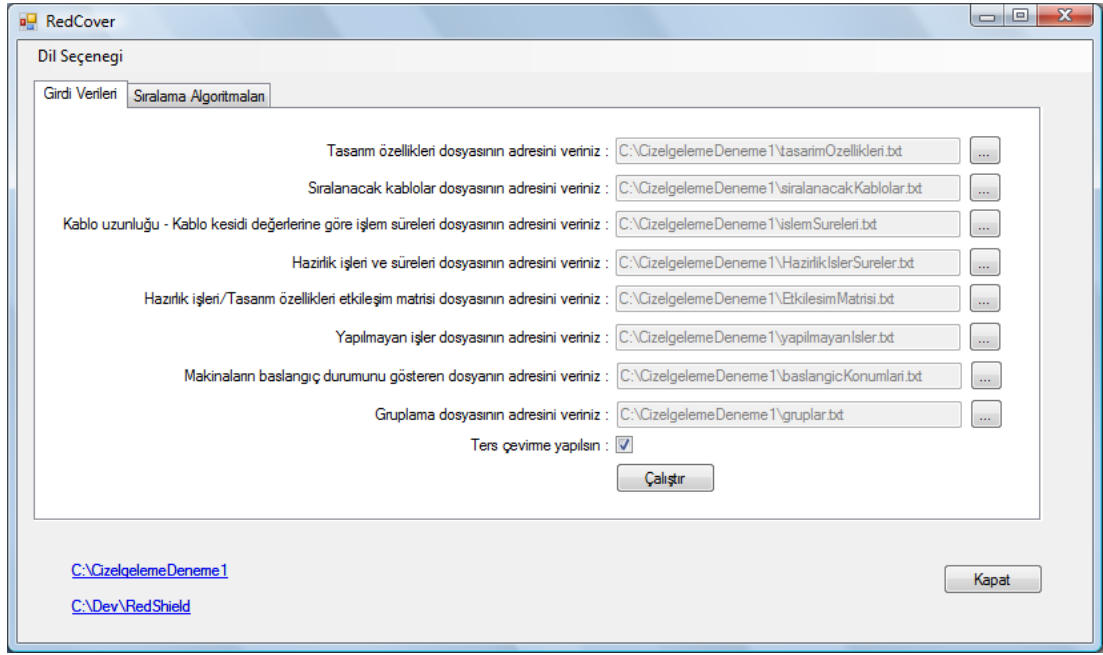
6.3.5 Kablo Çizelgeleme Problemi için Geliştirilen Yazılım

Önceki bölümlerde anlatılan metodoloji adımlarının kablo çizelgeleme probleminde uygulanmasına yönelik olarak bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılımın arayüzü, Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition, arka yüzü ise Java JDK 1.6 programlama dillerinde hazırlanmıştır. Yazılımın İş Akışı Şeması Şekil 6.12'de mevcuttur.



Şekil 6.12 : Kablo çizelgeleme yazılımı iş akışı şeması.

Yazılım 9 farklı metin dosyasından bilgi almaktadır (Şekil 6.12). Sözkonusu dosyalardaki bilgiler büyük bir duyarlılıkla sağlıklı bir şekilde toplanarak derlenmiş veya temin edilmiştir. Yazılım çalıştırıldığında ilk olarak girdi verilerinin girileceği aşağıdaki arayüz ekrana gelmektedir.



Şekil 6.13 : Girdi verileri arayüzü.

Kullanılan dosyalar ve içerikleri aşağıdaki gibidir:

Tasarım özellikleri dosyası: Kablo Tasarım özellikleri ve numaralarının belirtildiği dosyadır.

Sıralanacak kablolar dosyası: Sıralanacak kabloların numaraları, montaja gönderilecekleri termin tarihleri ve tasarım özellikleri değerlerini içeren dosyadır. Ayrıca bu dosyanın üst kısmında ters çevrilme sürecinden etkilenen tasarım özellikleri ve hangi tasarım özellikleri değerlerinin ters çevrilme sırasında birbirleri ile değişeceği belirtilmektedir.

Kablo uzunluğu ve kesitine göre işlem süreleri dosyası: Daha önce de belirtildiği gibi KST makinalarındaki kablo birim kesim süreleri, kesilecek kablonun uzunluk ve kesitine göre değişkenlik göstermektedir. Bu dosyada yukarıda bahsedilen iki özelliğe göre belirlenmiş kablo kesim süresi matrisi mevcuttur. Ayrıca bu dosyanın başına, kablo kesiti, uzunluğu ve kablo partisinin işlem süresinin belirlenebilmesini sağlayan parti miktarının “Sıralanacak Kablolar” dosyasında kaçınıcı sütunlarda yer aldığı ile terminalleme süresi yazılır. “Sıralanacak kablolar” dosyasındaki sütunların sıra numaraları sıfır ile başlamaktadır. Örneğin bu dosyanın başındaki “12-4-13-0,00457” ifadesi aşağıdaki anlamı taşır:

“Sıralanacak Kablolar” dosyasında kablo uzunluğu 12, kablo kesiti 4, parti miktarı 13. sütunda yer almaktadır. Terminalleme süresi ise 0,00457 dakikadır.

Hazırlık işleri ve süreleri dosyası: Bu dosyada her bir hazırlık işinin adı ve süresi mevcuttur.

Hazırlık işleri / Tasarım özellikleri etkileşim matrisi: Kablolar arası sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin elde edilmesi için gerekli etkileşim matrisini (Çizelge 6.8) içeren dosyadır.

Yapılmayan işler dosyası: Hangi tasarım özelliği boş olduğunda hangi hazırlık işlerinin yapılmayacağını listesi içeren dosyadır. “ve”, “veya” gibi mantıksal işlemler kullanabilme izni verir. Örneğin dosyadaki “2ve3;9,13,18,22” ifadesi;

2 ve 3 numaralı tasarım özellikleri (-) değerini aldığında 9, 13, 18 ve 22 numaralı hazırlık işlerinin yapılmayacağı anlamını taşır.

Makinaların başlangıç durumu dosyası: Her bir makine için o günün başlangıcında üzerinde bulunan kablonun tasarım özelliği değerlerini belirten dosyadır.

Gruplama dosyası: ”Sıralanacak Kablolar” dosyasında belirtilen kabloların kendi aralarında değişen öncelikleri var ise en yüksek önceliğe sahip kabloların numaraları birinci, en düşük önceliğe sahip kabloların numaraları sonuncu sütunda yer alacak şekilde gruplama yapılarak bu dosyada saklanır.

Bu dosyaların adresi belirtilip “Ters Çevirme” sürecinin yapılması için ilgili boşluk doldurulduktan sonra “Çalıştır” düğmesine basılır ve sıralanacak kablolar arasındaki sıraya bağımlı hazırlık süreleri hesaplanır. Buna ek olarak, makina başlangıç konumlarından sıralanacak kablolar arasındaki sıraya bağımlı hazırlık süreleri de hesaplanır. Bu süreler yazılım arayüzünün sol alt köşesinde bulunan iki adresten üsttekine bir MS Excel dosyasında raporlanır (Şekil 6.14). Dosyanın en altında ise makina boş iken sıralanacak kabloların kesimine başlanabilmesi için gerekli sıraya bağımlı hazırlık süreleri mevcuttur.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1		3477	3478	3479	3480	3481	3482	3483	3484	3485	3486	3487	3488	3489	3490	3491	3492	3493	3494
2	B1	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	25.609	25.609	21.457	18.591	18.591	18.591	22.743	22.743	25.609
3	B2	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	25.609	25.609	21.457	18.591	18.591	18.591	22.743	22.743	25.609
4	B3	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	25.609	25.609	21.457	18.591	18.591	18.591	22.743	22.743	25.609
5	B4	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	25.609	25.609	21.457	18.591	18.591	18.591	22.743	22.743	25.609
6	B5	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	25.609	25.609	21.457	18.591	18.591	18.591	22.743	22.743	25.609
7	B6	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	25.609	25.609	21.457	18.591	18.591	18.591	22.743	22.743	25.609
8	B7	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	25.609	25.609	21.457	18.591	18.591	18.591	22.743	22.743	25.609
9	B8	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	25.609	25.609	21.457	18.591	18.591	18.591	22.743	22.743	25.609
10	3477	0	9.924	9.924	18.493	22.645	22.645	25.609	25.609	21.457	18.493	18.493	18.493	18.493	18.493	16.173	18.493	21.457	18.493
11	3478	9.924	0	0.243	2.563	18.493	22.645	22.645	22.645	25.609	25.609	21.457	18.493	18.493	18.493	18.493	18.493	18.493	21.457
12	3479	9.924	0.243	0	2.563	18.493	22.645	22.645	22.645	25.609	25.609	21.457	18.493	18.493	18.493	18.493	18.493	18.493	21.457
13	3480	9.924	2.563	2.563	0	18.493	22.645	22.645	22.645	25.609	25.609	21.457	18.493	18.493	18.493	18.493	18.493	18.493	21.457
14	3481	18.493	18.493	18.493	18.493	0	17.4	20.325	22.645	25.609	25.609	21.457	18.493	18.493	18.493	22.645	22.645	22.645	25.609
15	3482	22.645	22.645	22.645	22.645	17.4	0	20.325	22.645	25.609	25.609	21.457	18.493	18.493	18.493	22.645	22.645	22.645	25.609
16	3483	22.645	22.645	22.645	22.645	20.325	20.325	0	22.645	25.609	25.609	21.457	18.493	18.493	18.493	22.645	22.645	22.645	25.609
17	3484	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	0	5.284	5.284	21.457	18.493	18.493	18.493	22.645	22.645	22.645	25.609
18	3485	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	2.418	0	5.284	21.457	18.591	18.591	18.591	22.743	22.743	22.743	25.609
19	3486	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	2.418	5.284	0	21.457	18.591	18.591	18.591	22.743	22.743	22.743	25.609
20	3487	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	22.743	25.609	25.609	0	15.666	15.666	15.666	22.743	22.743	22.743	25.609
21	3488	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	25.609	25.609	18.532	0	0.243	0.243	22.645	22.645	22.645	25.609
22	3489	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	25.609	25.609	18.532	0.243	0	0.243	22.645	22.645	22.645	25.609
23	3490	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	22.645	25.609	25.609	18.532	0.243	0.243	0	22.645	22.645	22.645	25.609
24	3491	18.493	18.493	18.493	18.493	22.645	22.645	22.645	22.645	25.609	25.609	21.457	18.493	18.493	18.493	0	9.924	18.493	21.457
25	3492	16.173	18.493	18.493	18.493	22.645	22.645	22.645	22.645	25.609	25.609	21.457	18.493	18.493	18.493	9.924	0	18.493	21.457
26	3493	18.493	18.493	18.493	18.493	22.645	22.645	22.645	22.645	25.609	25.609	21.457	18.493	18.493	18.493	18.493	18.493	0	12.888
27	3494	18.591	18.591	18.591	18.591	22.743	22.743	22.743	22.743	25.609	25.609	21.457	18.591	18.591	18.591	18.591	18.591	10.022	0

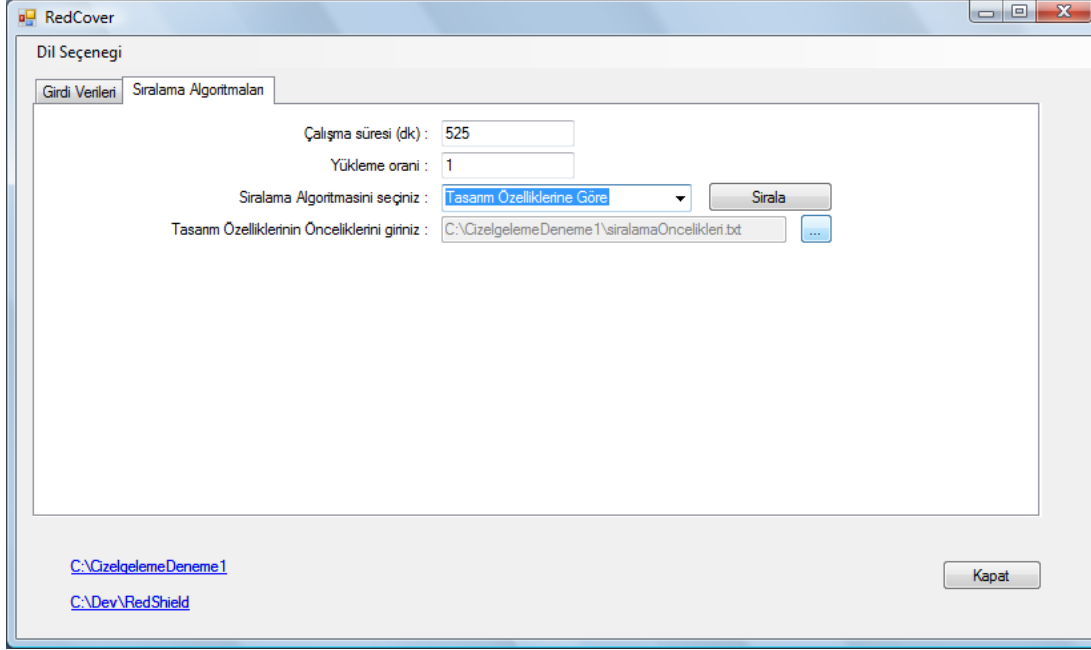
Şekil 6.14 : Sıraya bağımlı hazırlık süreleri raporu.

Daha sonra sıralama işleminin gerçekleştirilmesi için Şekil 6.15'teki arayüz kullanılır.

Şekil 6.15 : Sıralama arayüzü.

“Çalışma Süresi” ve “Yükleme Oranı” değerleri girildikten sonra yazılım Bölüm 6.3.4.1’de belirtilen üç adet sıralama algoritması seçeneği yanında kullanıcının kendi belirlediği kablo sırasını girme imkânını da sunmaktadır.

“Kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması” seçildiğinde, sıralamada dikkate alınacak kablo tasarım özelliklerinin önem derecesine göre girildiği ek bir dosyanın adresinin verilmesi gerekmektedir. Aynı şekilde kullanıcı kendi belirlediği kablo sırasının performansını görmek isterse belirlemiş olduğu kablo sırasını, kablo numaralarına göre tek bir sütunda belirten dosyanın adresini belirtmek durumundadır.



Şekil 6.16 : Sıralama yöntemine göre ek dosya istemi.

“Sırala” düğmesine basıldıktan sonra,

- elde edilen kablo sırası
- toplam hazırlık ve işlem süreleri
- kablo sırasının elde edilmesi için geçen süre
- her bir kablonun ters çevrilip çevrilmediği
- çalışma süresi ve yükleme oranı dahilinde kablo sırasının makinalara yüklenmesi

ile ilgili bilgiler, yazılım arayüzünün sol alt köşesinde bulunan iki adresten üsttekinine bir MS Excel dosyasında raporlanır (Şekil 6.17).

Şekil 6.17 : Sıralama ve yükleme raporu.

6.3.6 Sıralama Algoritmalarının Karşılaştırılması

Yukarıda belirtilen algoritmalar, Bölüm 6.3.5'te anlatılan yazılım ve değişen talep miktarlarına sahip gerçek üretim verileri kullanılarak karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırmaya Nursan'da uygulanmış üretim sıraları da dâhil edilmiştir. Performans değerlendirmesi için ise paralel makinalarda sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin enazlanması problemi için Yalaoui ve Chu (2003) tarafından ortaya konulan alt limit değerleri kullanılacaktır. Alt limitin hesaplanması, aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmektedir:

N : İş sayısı

M : Makina sayısı

s_{ij} : “ i ” işinden “ j ” işine geçilirken harcanan hazırlık süresi

AL : Alt limit

(h_1, h_2, \dots, h_N) , $s_{0h_1} \leq s_{0h_2} \leq \dots \leq s_{0h_N}$ olacak şekilde $(1, 2, \dots, N)$ 'in bir permütasyonu olmak üzere ve

$$S_{*j} = \min_{1 \leq i \leq N, i \neq j} (s_{ij}) \quad j=1, \dots, N \quad (6.1)$$

eşitliğinde,

(j_1, j_2, \dots, j_N) , $S_{*j_1} \leq S_{*j_2} \leq \dots \leq S_{*j_N}$ olacak şekilde $(1, 2, \dots, N)$ 'in bir permütasyonu olmak üzere

$$AL = \sum_{i=1}^M S_{oh_i} + \sum_{k=1}^{N-M} S_{*j_k} \quad (6.2)$$

Örneğin, sıraya bağımlı hazırlık süreleri Çizelge 6.11'de dakika cinsinden belirtilen 5 işin 2 makinada çizelgelenmesi durumunda, hazırlık süreleri toplamına ilişkin alt limit aşağıdaki şekilde hesaplanır:

Çizelge 6.11 : Örnek alt limit hesabına ilişkin hazırlık süreleri matrisi.

<i>i</i>	<i>j</i>				
	1	2	3	4	5
0	21	20	27	38	26
1	-	15	22	24	14
2	12	-	15	30	17
3	19	26	-	28	25
4	11	16	12	-	14
5	17	19	30	27	-

$$N = 5$$

$$M = 2$$

$20 \leq 21 \leq 26 \leq 27 \leq 38$ olduğundan $(h_1, h_2, \dots, h_5) = (2, 1, 5, 3, 4)$

$$S_{*1} = \min(12, 19, 11, 17) = 11$$

$$S_{*2} = \min(15, 26, 16, 19) = 15$$

$$S_{*3} = \min(22, 15, 12, 30) = 12$$

$$S_{*4} = \min(24, 30, 28, 27) = 24$$

$$S_{*5} = \min(14, 17, 25, 14) = 14$$

$11 \leq 12 \leq 14 \leq 15 \leq 24$ olduğundan $(j_1, j_2, \dots, j_5) = (1, 3, 5, 2, 4)$

$$AL = \sum_{i=1}^2 S_{oh_i} + \sum_{k=1}^{5-2} S_{*j_k} = (20 + 21) + (11 + 12 + 14) = 78 \text{ dakika}$$

olarak elde edilmiştir.

Sözkonusu karşılaştırma, 1,86 Ghz Intel(R) Core(TM) Duo işlemci, ve 1024 MB belleğe sahip bir bilgisayarda yapılmıştır. Çalışma süresi, $(600-45-15-15=)$ 525

dakika olarak belirlenmiştir. Karşılaştırma dâhilinde kesim adedi bazında günlük talep, Çizelge 6.12’de belirtilen derecelendirme ile değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.12 : Kesim adedine bağlı talep dereceleri.

Talep Derecesi	Kesim Adedi
Düşük	0-40000
Orta	40001-70000
Yüksek	70001 ve üzeri

45 günlük üretim verilerinin dikkate alındığı performans karşılaştırmasına,

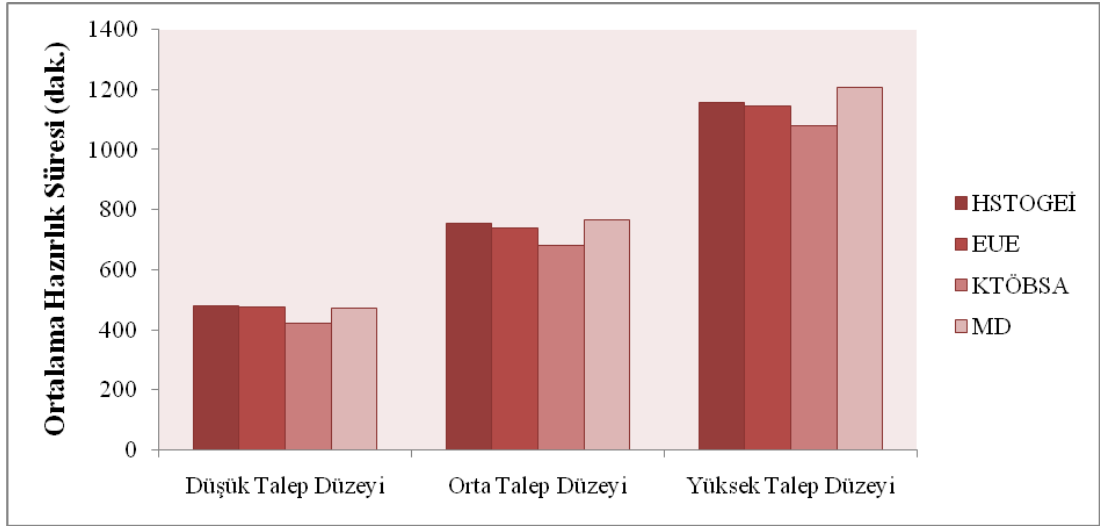
- “Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi” sıralama algoritması (HSTOGEİ)
- “En Ucuz Ekleme” sıralama algoritması (EUE)
- Kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması (KTÖBSA)
- KST Bölümü mevcut durumu (MD)

dâhil edilmiştir.

Ayrıca, yapılan ön değerlendirmede kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritmasında dikkate alınacak tasarım özelliklerinin belirlemesini sağlayan birikimli etki oranı için eşik değeri olan 0,80’in uygunluğu sınanmıştır. 0,80’in üzerindeki eşik değerleri için algoritma duyarlılık göstermemektedir. Bu durum birikimli etki oranı için eşik değerinin ve dikkate alınan kablo tasarım özelliklerinin doğru tespit edildiğini göstermektedir. İlgili performans karşılaştırma tablosu Çizelge 6.13’teki gibidir.

Çizelge 6.13 : Performans karşılaştırma tablosu.

Tarih	Talep Düzeyi	Kesim Adedi	Toplam Hazırlık Süresi				Çözüm Süresi (sn.)				Alt Sınırdan Sapma (%)				En İyi Sezgisel Çözümünden Sapma (%)			
			HSTOGEİ	EUE	KTÖBSA	MD	HSTOGEİ	EUE	KTÖBSA	MD	HSTOGEİ	EUE	KTÖBSA	MD	HSTOGEİ	EUE	KTÖBSA	MD
01/12/2009	Düşük	33750	532,12	518,78	497,35	555,72	0,61	1,00	0,51	0,52	76,20	71,78	64,69	84,02	6,99	4,31	0,00	11,74
13/1/2009	Düşük	13554	602,51	593,20	578,24	607,46	0,39	0,51	0,31	0,30	15,53	13,74	10,87	16,48	4,20	2,59	0,00	5,05
14/1/2009	Düşük	26566	396,29	421,86	360,61	381,83	0,31	0,36	0,25	0,27	65,33	76,00	50,45	59,30	9,89	16,98	0,00	5,88
15/1/2009	Düşük	29276	276,77	268,20	246,97	258,99	0,28	0,28	0,23	0,23	42,15	37,75	26,85	33,02	12,06	8,59	0,00	4,87
16/1/2009	Düşük	31500	442,91	452,48	418,13	456,56	0,41	0,52	0,33	0,31	58,84	62,28	49,96	63,74	5,93	8,22	0,00	9,19
26/1/2009	Düşük	37672	292,32	292,16	254,59	276,99	0,41	0,53	0,34	0,33	73,01	72,92	50,68	63,94	14,82	14,76	0,00	8,80
27/1/2009	Düşük	33234	578,90	548,24	530,36	539,23	0,50	0,81	0,42	0,39	50,10	42,15	37,51	39,81	9,15	3,37	0,00	1,67
02/02/2009	Düşük	35540	580,91	580,14	553,11	527,50	0,45	0,41	0,33	0,30	13,08	12,93	7,67	2,68	10,13	9,98	4,85	0,00
03/02/2009	Düşük	34764	400,02	421,70	418,79	450,59	0,47	0,66	0,64	0,36	16,80	21,61	22,28	31,57	0,00	5,42	4,69	12,64
04/02/2009	Düşük	31706	601,18	605,64	539,82	577,95	0,39	0,50	0,33	0,33	33,33	34,32	19,72	28,18	11,37	12,19	0,00	7,06
05/02/2009	Düşük	29519	740,49	734,64	693,16	679,49	0,53	0,90	0,45	0,45	29,99	28,96	21,68	19,28	8,98	8,12	2,01	0,00
06/02/2009	Düşük	22002	359,34	354,63	334,33	310,48	0,27	0,28	0,22	0,22	21,19	19,60	12,75	4,71	15,74	14,22	7,68	0,00
16/2/2009	Düşük	15698	286,39	271,20	247,99	310,90	0,34	0,31	0,23	0,28	73,30	64,11	50,06	88,13	15,49	9,36	0,00	25,37
17/2/2009	Düşük	23147	326,89	321,04	275,67	425,70	0,23	0,25	0,22	0,20	27,67	25,39	7,66	66,26	18,58	16,46	0,00	54,43
18/2/2009	Düşük	31940	757,56	766,30	721,41	725,24	0,50	0,76	0,42	0,42	25,92	27,38	19,91	20,55	5,01	6,22	0,00	0,53
25/2/2009	Orta	55970	583,68	574,56	566,91	625,33	0,50	0,76	0,53	0,39	55,14	52,72	50,69	66,22	2,96	1,35	0,00	10,31
26/2/2009	Orta	51135	398,23	383,84	360,99	350,53	0,50	0,64	0,41	0,81	95,85	88,78	77,54	72,39	13,61	9,50	2,98	0,00
09/03/2009	Orta	66110	522,39	503,98	567,14	603,32	0,84	1,98	0,94	0,73	50,84	45,52	63,76	74,20	3,65	0,00	12,53	19,71
10/03/2009	Orta	61616	840,99	820,56	772,98	901,60	1,05	3,12	0,84	0,84	80,43	76,05	65,84	93,43	8,80	6,16	0,00	16,64
11/03/2009	Orta	56160	731,14	680,34	660,58	754,73	0,58	0,95	0,50	0,47	55,81	44,99	40,78	60,84	10,68	2,99	0,00	14,25
12/03/2009	Orta	63892	779,71	780,10	722,49	765,48	0,64	1,26	0,55	0,53	52,81	52,89	41,60	50,02	7,92	7,97	0,00	5,95
13/3/2009	Orta	49642	1326,55	1343,40	1297,41	1326,63	0,95	2,42	0,89	0,80	19,06	20,57	16,44	19,06	2,25	3,55	0,00	2,25
13/4/2009	Yüksek	72431	1019,37	1042,78	998,62	1118,42	1,15	3,62	0,91	0,91	38,37	41,55	35,55	51,81	2,08	4,42	0,00	12,00
14/4/2009	Yüksek	89476	1101,69	1082,46	1041,55	1085,75	1,47	4,56	1,12	1,16	44,30	41,78	36,42	42,21	5,77	3,93	0,00	4,24
15/4/2009	Yüksek	72057	920,60	951,05	858,57	1013,75	0,73	1,36	0,59	0,59	47,19	52,06	38,31	62,09	7,23	10,77	0,00	18,08
16/4/2009	Yüksek	85177	685,08	671,91	655,69	692,09	0,86	2,09	0,69	0,70	62,08	58,97	55,13	63,74	4,48	2,47	0,00	5,55
17/4/2009	Yüksek	88453	2207,95	2172,77	2123,85	2265,54	4,49	28,24	3,45	3,40	56,43	53,94	50,47	60,51	3,96	2,30	0,00	6,67
25/5/2009	Yüksek	93944	1311,22	1303,28	1287,60	1282,50	1,81	6,57	1,45	1,42	62,04	61,06	59,13	58,50	2,24	1,62	0,40	0,00
26/5/2009	Yüksek	83239	2097,85	2055,44	2047,66	2383,89	2,95	15,29	2,28	2,26	19,36	16,94	16,50	35,63	2,45	0,38	0,00	16,42
27/5/2009	Yüksek	88169	642,14	607,60	624,87	701,19	0,58	1,00	0,47	0,45	54,93	46,60	50,77	69,18	5,68	0,00	2,84	15,40
28/5/2009	Yüksek	96682	1091,35	1077,86	1055,35	1093,22	1,25	3,96	0,97	0,95	24,18	22,65	20,09	24,40	3,41	2,13	0,00	3,59
29/5/2009	Yüksek	84688	1198,84	1183,86	1184,70	1183,19	1,19	3,04	0,97	0,94	29,94	28,32	28,41	28,24	1,32	0,06	0,13	0,00
15/6/2009	Yüksek	79353	730,15	730,26	690,01	801,03	0,86	2,25	0,72	0,70	76,14	76,16	66,45	93,24	5,82	5,83	0,00	16,09
16/6/2009	Yüksek	84863	713,01	709,33	694,24	709,85	0,72	1,59	0,59	0,61	64,20	63,35	59,88	63,47	2,70	2,17	0,00	2,25
17/6/2009	Yüksek	85389	1139,84	1140,18	1163,73	1335,93	1,69	6,72	1,31	1,31	60,59	60,64	63,95	88,21	0,00	0,03	2,10	17,20
18/6/2009	Yüksek	86425	1616,66	1610,88	1559,51	1634,93	1,92	6,57	1,53	1,39	36,16	35,67	31,35	37,70	3,66	3,29	0,00	4,84
19/6/2009	Yüksek	82562	849,83	841,94	796,97	818,46	0,81	1,64	0,76	0,70	23,09	21,95	15,44	18,55	6,63	5,64	0,00	2,70
13/7/2009	Orta	54912	701,81	747,22	689,61	748,70	0,53	0,78	0,44	0,42	34,73	43,45	32,39	43,73	1,77	8,35	0,00	8,57
14/7/2009	Orta	45606	964,66	979,99	921,08	1004,01	0,62	1,17	0,52	0,52	17,73	19,60	12,41	22,54	4,73	6,39	0,00	9,00
15/7/2009	Orta	51242	749,06	720,82	687,76	804,41	0,66	1,19	0,55	0,53	55,03	49,18	42,34	66,48	8,91	4,81	0,00	16,96
16/7/2009	Orta	40550	354,41	344,70	312,72	332,62	0,36	0,42	0,22	0,30	67,65	63,06	47,93	57,34	13,33	10,23	0,00	6,36
17/7/2009	Orta	47181	409,37	418,76	415,99	402,40	0,58	1,11	0,48	0,47	55,37	58,93	57,88	52,72	1,73	4,07	3,38	0,00
20/7/2009	Orta	64455	831,28	805,31	819,63	893,22	0,69	1,53	0,56	0,56	72,80	67,40	70,38	85,68	3,22	0,00	1,78	10,92
21/7/2009	Orta	63164	903,22	843,49	855,38	833,51	0,56	1,47	0,61	0,59	35,70	26,72	28,51	25,22	8,36	1,20	2,62	0,00
22/7/2009	Orta	56683	1192,51	1160,36	1110,51	1163,05	0,84	1,76	0,70	0,69	21,51	18,23	13,15	18,51	7,38	4,49	0,00	4,73
Ortalama			795,31	787,54	760,32	815,86	0,85	2,60	0,71	0,69	46,49	44,90	38,72	49,50	6,78	5,71	1,07	8,84



Şekil 6.18 : Değişen talep düzeylerine göre ortalama hazırlık süreleri.

Şekil 6.18'e bakıldığında, kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması (KTÖBSA) her bir talep düzeyinde en düşük hazırlık süresi ortalamasına ulaşmıştır. Üç adet sezgisel yöntem ile mevcut durum arasındaki fark, talep düzeyi ile doğru orantılı bir eğilim göstermiştir. “Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi” sıralama algoritması (HSTOGEİ) ile “En Ucuz Ekleme” sıralama algoritması (EUE) arasında düşük talep değerlerinde çok belirgin bir fark görülmez iken, artan talep ile biraz fark görülür hale gelmiştir.

Çizelge 6.14'e göre 45 gün içerisinde, 36 gün ile en çok kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması (KTÖBSA) en iyi sezgisel çözüme ulaşmıştır. “En Uzuz Ekleme” sezgiselinin en iyi sezgisel çözüme ulaştığı beş gün, orta ve yüksek talep derecelerine sahiptir. “Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi” sıralama algoritması iki günde en iyi sezgisel çözüme ulaşmıştır. Benzer şekilde KST Bölümü'ndeki mevcut sıra düşük talepli iki günde en düşük toplam hazırlık süresine sahip olmuştur.

Çizelge 6.14 : En iyi çözüme ulaşılan gün sayısı.

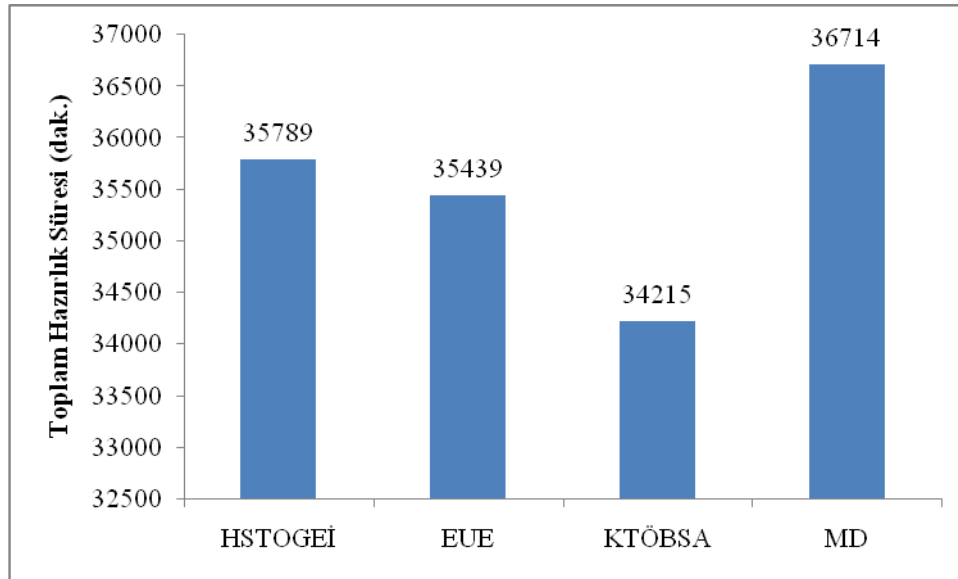
		En İyi Sezgisel Çözüme Ulaşılan Gün Sayısı	Toplam
HSTOGEİ	Düşük Talep Düzeyi	1	2
	Orta Talep Düzeyi	1	
	Yüksek Talep Düzeyi	0	
EUE	Düşük Talep Düzeyi	0	5
	Orta Talep Düzeyi	3	
	Yüksek Talep Düzeyi	2	
KTÖBSA	Düşük Talep Düzeyi	12	36
	Orta Talep Düzeyi	11	
	Yüksek Talep Düzeyi	13	
MD	Düşük Talep Düzeyi	2	2
	Orta Talep Düzeyi	0	
	Yüksek Talep Düzeyi	0	

Genel olarak bakıldığında, çalışma kapsamına alınan sıralama algoritmaları, gerçek üretim verilerine uygulandığında makul sürelerde çözüme ulaşmışlardır. Sıralama algoritmalarının çözüm sürelerini içeren Çizelge 6.15 incelendiğinde, “En Ucuz Ekleme” sıralama algoritmasının diğer yöntemlerden daha uzun çözüm süresine ihtiyaç duyduğu anlaşılmaktadır. Performans karşılaştırması süresince karşılaşılan en uzun çözüm süresi 28,236 saniye ile bu yönteme aittir. Bunun nedeni ise algoritma yapısındaki deneme adımlarının fazla olmasıdır. Ayrıca, artan talep düzeylerinde iş sayısındaki artış nedeni ile çözüm sürelerinde de artış gözlemlenmiştir. Kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması (KTÖBSA) ve “Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi” sıralama algoritması ise yukarıdaki çizelgeden anlaşılacağı gibi çözüm süresi açısından oldukça iyi sonuç vermişlerdir.

Çizelge 6.15 : Sıralama algoritmalarına ait çözüm süreleri.

		Çözüm Süresi (saniye)	Ortalama Çözüm Süresi (saniye)
HSTOGEİ	Düşük Talep Düzeyi	0,406	0,854
	Orta Talep Düzeyi	0,659	
	Yüksek Talep Düzeyi	1,498	
EUE	Düşük Talep Düzeyi	0,539	2,603
	Orta Talep Düzeyi	1,371	
	Yüksek Talep Düzeyi	5,899	
KTÖBSA	Düşük Talep Düzeyi	0,349	0,706
	Orta Talep Düzeyi	0,581	
	Yüksek Talep Düzeyi	1,187	
MD	Düşük Talep Düzeyi	0,326	0,689
	Orta Talep Düzeyi	0,576	
	Yüksek Talep Düzeyi	1,166	

45 günlük toplam hazırlık süreleri dikkate alındığında en iyi sonucu kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması (KTÖBSA) vermiştir. Bu süre zarfında, toplam hazırlık süresindeki mevcut duruma göre kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması %6,81, “Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi” sıralama algoritması %2,52, “En Ucuz Ekleme” sıralama algoritması %3,47 azalma sağlamıştır (Şekil 6.19).



Şekil 6.19 : 45 günlük toplam hazırlık süreleri.

Talep ve sıralama yöntemi bağımsız değişkenlerinin, hazırlık süresi bağımlı değişkeni üzerindeki etkisini irdelemek amacı ile SPSS 13.0 ile çift yönlü ANOVA testi yapılmıştır. İstatistiksel analizde anlamlılık düzeyi 0,05'tir. Öncelikle varyansların eşitliği varsayımı test edilmiştir (Çizelge 6.16).

Çizelge 6.16 : Varyansların eşitliği testi.

Levene's Test of Equality of Error Variances
Dependent Variable: Toplam Hazirlik Suresi

F	df1	df2	Sig.
.942	11	168	.094

Çizelge 6.16'da p değeri (Sig.) değeri 0,05'ten büyük olduğu için varyansların eşitliği varsayımının doğruluğu sonucuna varılır. Bu bağlamda, sonuçların analizinde Tukey HSD testi dikkate alınacaktır.

Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenlerin üzerindeki etkisinin anlamlılığını incelemek amacı ile Çizelge 6.17 incelendiğinde, talep düzeyi ve sıralama yönteminin p değeri (Sig.) değeri (0,000) 0,05'ten küçük olduğu için hazırlık süresi üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Aynı durum talep düzeyi-sıralama yöntemi etkileşimi ($p=0,013$) için de geçerlidir.

Çizelge 6.17 : Bağımsız değişkenlerin etkisi.

Test of Between-Subjects Effects
Dependent Variable: Toplam Hazirlik Suresi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	15705327.8 ^a	11	1427757.073	12.573	.000	.452
Intercept	147346372.7	1	147346372.7	1297.508	.000	.885
Talep	14419406.24	2	7209703.118	63.487	.000	.430
Yontem	1263145.524	3	421048.508	3.708	.013	.062
Talep * Yontem	22776.046	6	3796.008	0.033	1.000	.001
Error	19078252.89	168	113561.029			
Total	182129953.3	180				
Corrected Total	34783580.69	179				

a. R Squared = .452 (Adjusted R Squared = .416)

Çizelge 6.18'de belirtilen talep düzeyleri arasındaki farklar incelendiğinde bütün gruplar arasında anlamlı bir fark olduğu ($p=0,000<0,05$) görülmektedir.

Çizelge 6.18 : Talep düzeyleri arasındaki fark.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Toplam Hazirlik Suresi

	(I) Talep Duzeyi	(J) Talep Duzeyi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	Dusuk Talep Duzeyi	Orta Talep Duzeyi	-276.4530*	61.5253	.000	-421.9403	-130.9658
		Yuksekk Talep Duzeyi	-688.8311*	61.5253	.000	-834.3184	-543.3439
		Orta Talep Duzeyi	276.4530*	61.5253	.000	130.9658	421.9403
	Yuksekk Talep Duzeyi	Dusuk Talep Duzeyi	-412.3781*	61.5253	.000	-567.8654	-266.8909
		Orta Talep Duzeyi	688.8311*	61.5253	.000	543.3439	834.3184
		Yuksekk Talep Duzeyi	412.3781*	61.5253	.000	266.8909	557.8654
Tamhane	Dusuk Talep Duzeyi	Orta Talep Duzeyi	-276.4530*	40.1228	.000	-374.0041	-178.9019
		Yuksekk Talep Duzeyi	-688.8311*	64.7906	.000	-847.2670	-530.3953
		Orta Talep Duzeyi	276.4530*	40.1228	.000	178.9019	374.0041
	Yuksekk Talep Duzeyi	Dusuk Talep Duzeyi	-412.3781*	70.8812	.000	-584.7170	-240.0392
		Orta Talep Duzeyi	688.8311*	64.7906	.000	530.3953	847.2670
		Yuksekk Talep Duzeyi	412.3781*	70.8812	.000	240.0392	584.7170

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Çizelge 6.19 ile sıralama yöntemleri arasındaki farkın incelenmesi mümkün olmaktadır. Kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması (KTÖBSA) ile diğer yöntemler ve mevcut durum arasında hazırlık süresi yönünden anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Ancak, diğer sıralama yöntemlerinin kendi aralarında ve mevcut durumla hazırlık süresi bağımsız değişkeni açısından 0,05 güven düzeyinde önemli bir fark bulunmamaktadır ($p > 0,05$).

Çizelge 6.19 : Sıralama yöntemleri arasındaki fark.


Multiple Comparisons

Dependent Variable: Toplam Hazirlik Suresi

	(I) Sıralama Yontemi	(J) Sıralama Yontemi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	HSTOGEI	EUE	7.7769	71.0433	1.000	-176.5756	192.1295
		KTOBSA	34.9902*	71.0433	.049	-149.3623	219.3428
		MD	-20.5490	71.0433	.492	-204.9015	163.8036
	EUE	HSTOGEI	-7.7769	71.0433	1.000	-192.1295	176.5756
		KTOBSA	27.2133*	71.0433	.045	-157.1393	211.5658
		MD	-28.3259	71.0433	.394	-212.6785	156.0266
	KTOBSA	HSTOGEI	-34.9902*	71.0433	.049	-219.3428	149.3623
		EUE	27.2133*	71.0433	.045	-211.5658	157.1393
		MD	-55.5392*	71.0433	.022	-239.8918	128.8134
	MD	HSTOGEI	20.5490	71.0433	.492	-163.8036	204.9015
		EUE	28.3259	71.0433	.394	-156.0266	212.6785
		KTOBSA	55.5392*	71.0433	.022	-128.8134	239.8918
Tamhane	HSTOGEI	EUE	7.7769	90.4989	1.000	-235.8039	251.3578
		KTOBSA	34.9902	90.2282	.233	-207.8631	277.8435
		MD	-20.5490	94.2511	.798	-274.2546	233.1566
	EUE	HSTOGEI	-7.7769	90.4989	1.000	-251.3578	235.8039
		KTOBSA	27.2133	89.7009	.216	-214.2191	268.6456
		MD	-28.3259	93.7464	.675	-280.6827	224.0308
	KTOBSA	HSTOGEI	-34.9902	90.2282	.233	-277.8435	207.8631
		EUE	-27.2133	89.7009	.216	-268.6456	214.2191
		MD	-55.5392	93.4851	.798	-307.1983	196.1199
	MD	HSTOGEI	20.5490	94.2511	.798	-233.1566	274.2546
		EUE	28.3259	93.7464	.675	-224.0308	280.6827
		KTOBSA	55.5392	93.4851	.170	-196.1199	307.1983

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Yukarıdaki analizden de anlaşılacağı gibi, Yüke Yönelik İş Gönderme Listesi'nin oluşturulması sürecinde (Şekil 5.1- ) , diğer sıralama yöntemlerine üstünlük

sağlayan kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritmasının (KTÖBSA) kullanılması uygun olacaktır.

6.3.7 KST Makinaları İçin Yüke Yönelik İş Gönderme Listesi'nin Oluşturulması

Tez çalışmasında geliştirilen metodoloji kapsamında uygun sıralama yöntemi seçildikten sonra Yüke Yönelik İş Gönderme Listesi oluşturulmaktadır (Şekil 5.1-8). Bölüm 5.6'da belirtildiği gibi bu süreç uygun bir planlama dönemi seçilmesi ile başlamaktadır. KST Bölümü'nde uygun planlama dönemi bir gün olarak belirlenmiştir. Yüke Yönelik İş Gönderme Listesi algoritmasının uygulanacağı Hyundai ailesi KST alanında 8 adet KST makinası bulunmakta olup, günlük net çalışma süresi 525 dakikadır. KST makinalarındaki Yüke Yönelik İş Gönderme Listeleri, aşağıda açıklanan üç performans ölçütüne göre değerlendirilecektir:

- **İşgören Transferine Uygun Süre:** KST Bölümü'nde boşta bulunan işgörenin bir başka ürün ailesine ait hücreye geçici transferi mümkün olduğundan bu süre dikkate alınacaktır.
- **Fazla Üretim Miktarı:** Yalın Üretim'e göre ihtiyaç fazlası yapılan üretim israf niteliğinde olup katma değerli olmayan süreyi arttırmaktadır. Yüke Yönelik İş Gönderme Listesi'nde ihtiyaç duyulan günden önce yapılan üretim miktarı bu niteliktedir. Yapılan çalışmada, bu miktar (üretim miktarı*erken bitirme gün sayısı) olarak hesaplanmaktadır.
- **Gecikme Miktarı:** İhtiyaç duyulan zamanda bitirilemeyen ürünler teslim performansını düşürdüğünden, değerlendirme kapsamında gecikmiş miktarlar da hesaplanacaktır.

Çalışma kapsamında, Yüke Yönelik İş Gönderme Listeleri Çizelge 6.11'de belirtilen düşük, orta ve yüksek talep düzeylerinde ve 0, 1 ve 2 günlük yükleme üst sınırı değerlerine göre oluşturulmuş olup, yukarıda bahsedilen performans ölçüt değerleri saptanmıştır.

Günlere ait talep değerleri aşağıdaki formül ile belirlenmiştir:

$$\text{Talep} = \text{Kesim sayısı} * \text{Rastsal değer} \quad (6.3)$$

Rastsal değer: $\pm\%20$ sınırları dâhilindeki rastsal sayı

Her bir gün için serbest bırakılan miktar, kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritmasına göre yükleme üst sınırı dâhilinde 525'er dakika net çalışma süresine sahip 8 adet KST makinasında kesilebilecek şekilde çizelgelenen kablo sayısıdır.

İşgören transferine uygun süre, çizelgelenen işlerin yapılması için gerekli hazırlık ve işlem süresinden kalan süre cinsinden kapasite miktarıdır.

Çizelge 6.20 : Yüke yönelik iş gönderme listesine bir örnek.

Kablo Numarası	Tarih	Birinci Ücun Terminali	İkinci Ücun Terminali	Kablonun Kesidi	Kablonun Ana Rengi	Kablonun İkincil Rengi	Birinci Ücun Açma Boyu	İkinci Ücun Açma Boyu	Kablonun Tipi	Birinci Ücun Kablı	İkinci Ücun Kablı	Kablonun Boyu	Parti Miktarı	Birim İşlem Süresi	Hazırık Süresi	Toplam İşlem Süresi	Toplam Süre	Birikimli Süre	Atanan Makina Numarası
354	17.04.2009	3FT-14474-RA	3FT-14474-RA	0,5	YS	TR	4,5	3,5	HYUNDAI	1062 A 2164	1062 A 2164	196	1180	0,02457	25,609	28,9926	54,6016	54,6016	1
355	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	SR	TR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	548	228	0,02957	18,493	6,74196	25,23466	79,83656	1
356	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	SR	TR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	631	140	0,02957	0,243	4,1398	4,3828	84,21936	1
357	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	SR	TR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	673	36	0,02957	0,243	1,06452	1,30752	85,52688	1
358	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	SR	TR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	675	252	0,02957	0,243	7,45164	7,69464	93,21252	1
359	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	SR	TR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	755	60	0,02957	0,243	1,7742	2,0172	95,23872	1
360	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	SR	MV	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	549	228	0,02957	5,527	6,04196	12,28896	107,30788	1
361	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	SR	MV	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	622	140	0,02957	0,243	4,1398	4,3828	111,99088	1
362	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	SR	MV	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	677	36	0,02957	0,243	1,06452	1,30752	113,196	1
363	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	SR	MV	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	679	252	0,02957	0,243	7,45164	7,69464	120,89264	1
364	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	SR	MV	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	755	60	0,02957	0,243	1,7742	2,0172	122,90984	1
365	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	YS	MR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	548	228	0,02957	5,527	6,74196	12,28896	135,1788	1
366	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	YS	MR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	631	140	0,02957	0,243	4,1398	4,3828	139,5616	1
367	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	YS	MR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	675	252	0,02957	0,243	7,45164	7,69464	147,25624	1
368	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	YS	MR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	753	60	0,02957	0,243	1,7742	2,0172	149,27344	1
374	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	MR	SY	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	548	228	0,02957	5,527	6,74196	12,28896	161,5424	1
375	17.04.2009	97BG-14421-AAB	3FT-14474-RA	0,5	MR	SY	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	631	140	0,02957	0,243	4,1398	4,3828	165,9252	1
376	17.04.2009	97BG-14421-AAB	TKT12-04322	0,5	MR	SY	5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 37	1062 A 2164	135	140	0,02457	13,781	3,498	17,2208	183,146	1
369	17.04.2009	-	3FT-14474-RA	0,5	BY	BY	6	4,5	HYUNDAI	-	1062 A 2164	48	1180	0,02457	19,477	28,9926	48,7396	231,8856	1
370	17.04.2009	-	3FT-14474-RA	0,5	BY	MV	6	4,5	HYUNDAI	-	1062 A 2164	248	1180	0,02457	5,527	28,9926	34,5196	266,4052	1
371	17.04.2009	-	3FT-14474-RA	0,5	BY	-	6	4,5	HYUNDAI	-	1062 A 2164	248	1180	0,02457	2,418	38,9926	31,4106	297,8158	1
372	17.04.2009	-	-	1	SY	MR	6	6	HYUNDAI	-	-	55	1180	0,02	16,401	23,6	40,001	337,8168	1
373	17.04.2009	-	-	1	SY	GR	6	6	HYUNDAI	-	-	122	1180	0,02	5,527	23,6	29,127	366,9438	1
324	17.04.2009	3MST-14474-HCA	ESEB-14461-AA	2,5	MR	TR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 00 08 17	57	1180	0,02957	25,609	34,8926	60,5016	427,4454	1
325	17.04.2009	3MST-14474-HCA	94BG-14474-ZEA	2,5	KR	-	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 02 09 20	743	60	0,03457	15,666	2,0742	17,7402	445,1856	1
326	17.04.2009	3MST-14474-HCA	94BG-14474-ZEA	2,5	KR	-	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 02 09 20	665	252	0,03457	0,243	8,71164	8,95464	454,14024	1
327	17.04.2009	3MST-14474-HCA	94BG-14474-ZEA	2,5	KR	-	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 02 09 20	621	140	0,03457	0,243	4,8398	5,0828	459,22304	1
328	17.04.2009	3MST-14474-HCA	94BG-14474-ZEA	2,5	KR	-	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 02 09 20	538	228	0,03457	0,243	7,88196	8,12496	467,348	1
329	17.04.2009	3MST-14474-HCA	94BG-14474-ZEA	2,5	GR	KR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 02 09 20	110	1180	0,02957	5,527	34,8926	40,4196	507,7676	1
330	17.04.2009	3MST-14474-HCA	94BG-14474-ZEA	2,5	BY	KR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 02 09 20	169	1330	0,02957	25,609	39,3281	64,9371	64,9371	2
314	17.04.2009	3MST-14474-HCA	97BG-14421-BCA	1,5	SR	MR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 07 03 71	512	278	0,02957	18,572	8,22046	26,79246	91,88956	2
315	17.04.2009	3MST-14474-HCA	97BG-14421-BCA	1,5	SR	MR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 07 03 71	591	48	0,02957	0,243	1,41936	1,66236	95,53192	2
316	17.04.2009	3MST-14474-HCA	97BG-14421-BCA	1,5	MV	GR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 07 03 71	473	108	0,02457	5,527	6,04196	101,5248	2	
317	17.04.2009	3MST-14474-HCA	97BG-14421-BCA	1,5	MV	GR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 07 03 71	190	224	0,02457	0,243	5,8026	5,74668	107,2716	2
318	17.04.2009	3MST-14474-HCA	97BG-14421-BCA	1,5	MV	GR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 07 03 71	512	278	0,02957	0,243	8,22046	8,46346	115,74262	2
319	17.04.2009	3MST-14474-HCA	97BG-14421-BCA	1,5	MV	GR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 07 03 71	591	48	0,02957	0,243	1,41936	1,66236	117,40498	2
320	17.04.2009	3MST-14474-HCA	97BG-14421-BCA	2,5	YS	TR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 07 03 71	190	224	0,02957	12,888	6,62368	19,51168	136,91666	2
321	17.04.2009	3MST-14474-HCA	97BG-14421-BCA	2,5	YS	TR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 07 03 71	473	108	0,02957	0,243	32,08845	32,32645	169,24311	2
322	17.04.2009	3MST-14474-HCA	97BG-14421-BCA	2,5	YS	TR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 07 03 71	512	278	0,03457	0,243	9,61046	9,85346	179,96572	2
323	17.04.2009	3MST-14474-HCA	97BG-14421-BCA	2,5	YS	TR	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 08 04	951 07 03 71	591	48	0,03457	0,243	1,65936	1,90236	180,99893	2
338	17.04.2009	TKT34-09322	TJZ23-11052	0,85	SR	-	3,5	4,5	AVSS	2235	971434	23	500	0,02457	19,818	12,285	32,103	213,1019	2
339	17.04.2009	TKT34-09322	TJZ23-11052	0,85	TR	-	3,5	4,5	AVSS	2235	971434	23	500	0,02457	2,32	12,285	14,605	227,70693	2
340	17.04.2009	TKT34-09322	TJZ23-11052	0,85	SY	-	3,5	4,5	AVSS	2235	971434	23	500	0,02457	2,32	12,285	14,605	242,31193	2
341	17.04.2009	TKT34-09322	TJZ23-11052	0,85	BY	-	3,5	4,5	AVSS	2235	971434	23	500	0,02457	2,32	12,285	14,605	256,91693	2
342	17.04.2009	TKT34-09322	TJZ23-11052	0,85	KH	-	3,5	4,5	AVSS	2235	971434	23	500	0,02457	2,32	12,285	14,605	271,52193	2
343	17.04.2009	TKT34-09322	TJZ23-11052	0,85	MV	-	3,5	4,5	AVSS	2235	971434	23	500	0,02457	2,32	12,285	14,605	286,12693	2
344	17.04.2009	TKT34-09322	TJZ23-11052	0,85	YS	-	3,5	4,5	AVSS	2235	971434	23	100	0,02457	2,563	4,457	1,02	291,14693	2
345	17.04.2009	TKT34-09322	TJZ23-11052	0,85	KR	-	3,5	4,5	AVSS	2235	971434	23	100	0,02457	2,32	2,457	4,777	295,9239	2
309	17.04.2009	7703497725	7703497725	1	KY	-	3,5	4,5	KURŞUNSUZ T2	911 99 10 10	911 99 05 29	190	1710	0,02457	19,722	42,0147	61,7347	357,65863	2
313	17.04.2009	7703497711	7703497725	1,4	YS	-	3,5	4,5	KURŞUNSUZ T2	911 99 10 10	911 99 05 29	190	1710	0,02457	9,681	42,0147	51,6957	409,35433	2
310	17.04.2009	7703497711	-	1	SY	-	3,5	4,5	KURŞUNSUZ T2	911 99 10 10	-	171	1710	0,02457	14,341	42,0147	56,		

yukarıdaki İş Gönderme Listesi'nde işgören transferine uygun toplam süre (158+(5*525) =) 2783 dakikadır.

Bazı durumlarda ise mevcut işler kapasite dâhilinde çizelgenemediği için gecikme meydana gelmektedir. Gecikmenin meydana geldiği örnek bir İş Gönderme Listesi Çizelge 6.21'de mevcuttur.

Çizelge 6.21 : Gecikmenin meydana geldiği bir iş gönderme listesi.

Kablo Numarası	Tarih	Birinci Ucu Terminali	İkinci Ucu Terminali	Kablonun Kesiti	Kablonun Ana Rengi	Kablonun İkincil Rengi	Birinci Ucu Açma Boyu	İkinci Ucu Açma Boyu	Kablonun Tipi	Birinci Ucu Kabu	İkinci Ucu Kabu	Kablonun Boyu	Parti Miktarı	Birim İşlem Süresi	Hazırlık Süresi	Toplam İşlem Süresi	Toplam Süre	Birikimli Süre	Atanan Makina Numarası
2390	05.12.2009	TK13-09022	TAK23-0422	3	SY	KR	4,5	4	AVSS	20108	2160	171	126	0,02957	25,609	3,726	29,335	29,335	1
2392	05.12.2009	7703497802	7703497802	0,55	YS	-	3,5	4,5	KURŞUNSUZ T2	LS-23431	911 99 04 38	217	91	0,02457	22,745	2,336	24,979	54,314	1
2538	05.12.2009	KCTF-14421-DBA	KCTF-14421-DBA	0,5	YS	BY	3,5	4,5	HYUNDAI	951 00 09 17	951 00 09 17	20	576	0,02457	22,684	14,152	36,836	91,150	1
2532	05.12.2009	110201	110201	0,5	BY	-	3,5	4	KURŞUNSUZ T2	951 98 08 38	403	245	0,02457	18,591	52,948	71,539	162,880	1	
2581	05.12.2009	TK12-54022	TK12-09212	0,5	YS	TR	5,5	4,5	AVSS	5 8760984	LS-23873	24	57	0,02457	25,609	1,400	27,009	189,699	1
2420	05.12.2009	TK12-18762	TK12-10222	0,5	YS	SV	3	4,5	AVSS	LCCAS1	951 02 09 12	237	97	0,02457	25,609	1,400	27,009	216,708	1
2511	05.12.2009	9959	-	3	SY	-	3,5	6	KURŞUNSUZ T2	2096	-	95	1666	0,02957	18,591	49,264	67,855	284,563	1
2542	05.12.2009	-	7703497699	1	KV	-	6	4,5	KURŞUNSUZ T3	-	911 99 05 31	28	102	0,02457	18,493	2,506	20,999	305,562	1
2440	05.12.2009	-	TK13-19022	0,85	SY	-	6	4	AVSS	-	LS-23865	210	126	0,02457	18,493	3,096	21,589	327,151	1
2427	05.12.2009	-	YF03-14474-CBA	1,5	SY	SR	6	4,5	HYUNDAI	-	951 00 08 33	27	1151	0,02457	21,457	28,280	49,737	376,888	1
2718	13.05.2009	TAJ22-47122	TAJ22-06222	3	SY	PB	3,5	4,5	AVSS	11-05-004	11-05-009	217	76	0,02957	25,609	2,247	27,856	404,744	1
2717	13.05.2009	TAJ22-47122	TAJ22-06226	3	SY	PB	3,5	4,5	AVSS	11-05-004	11-05-009	137	695	0,02957	10,856	20,551	31,407	436,151	1
2728	13.05.2009	TAJ22-47122	TAK23-04223	3	SY	PB	3,5	3,5	AVSS	951 00 08 42	119	218	0,02957	16,172	6,446	22,619	458,771	1	
2729	13.05.2009	TAJ22-47122	TAK24-04233	3	SY	PB	3,5	3,5	AVSS	951 00 08 42	121	218	0,02957	0,243	6,446	6,689	465,460	1	
2618	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	TR	-	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	70	218	0,02457	18,591	5,356	23,947	489,407	1
2619	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	KH	-	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	70	218	0,02457	2,320	5,356	7,676	497,084	1
2620	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	YS	SV	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	70	218	0,02457	5,284	5,356	10,640	507,724	1
2621	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	PB	SV	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	72	218	0,02457	2,563	5,356	7,919	515,643	1
2622	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	SY	TR	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	73	218	0,02457	25,609	5,356	30,965	30,965	2
2623	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	MV	-	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	73	218	0,02457	2,418	5,356	7,774	38,740	2
2624	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	MV	-	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	70	218	0,02457	0,243	5,356	5,599	44,339	2
2625	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	YS	-	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	73	218	0,02457	2,563	5,356	7,919	52,238	2
2626	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	MV	TR	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	73	218	0,02457	5,284	5,356	10,640	62,898	2
2627	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	KH	-	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	73	109	0,02457	2,661	27,248	29,909	92,807	2
2628	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	KH	-	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	72	218	0,02457	0,243	5,356	5,599	98,407	2
2629	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	MV	KR	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	70	218	0,02457	5,527	5,356	10,883	109,290	2
2630	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	KH	SV	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	70	218	0,02457	5,284	5,356	10,640	119,930	2
2631	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	GR	SV	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	70	218	0,02457	2,320	5,356	7,676	127,606	2
2632	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	GR	-	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	70	218	0,02457	2,418	5,356	7,774	135,381	2
2633	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	MV	TR	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	70	218	0,02457	5,284	5,356	10,640	146,021	2
2634	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	MV	SV	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	70	218	0,02457	5,284	5,356	10,640	156,661	2
2635	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	MV	SV	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	73	109	0,02457	0,243	27,248	27,491	184,152	2
2636	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	MV	KR	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	73	109	0,02457	5,284	27,248	32,532	216,685	2
2637	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	GR	SV	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	73	109	0,02457	5,284	27,248	32,532	249,217	2
2638	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	KH	SV	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	73	109	0,02457	2,320	27,248	29,568	278,785	2
2639	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	TR	-	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	73	109	0,02457	2,418	27,248	29,666	308,451	2
2640	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	MV	TR	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	72	109	0,02457	5,527	27,248	32,775	341,226	2
2641	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	YS	SV	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	73	109	0,02457	5,527	27,248	32,775	374,001	2
2642	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	PB	SV	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	73	109	0,02457	2,320	27,248	29,568	403,569	2
2643	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	GR	-	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	73	174	0,02457	2,661	4,227	6,894	418,460	2
2644	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	MV	-	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	68	695	0,02457	2,563	17,076	19,639	430,145	2
2645	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	MV	-	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	69	695	0,02457	0,243	17,076	17,319	447,464	2
2646	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	SV	-	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	69	695	0,02457	2,320	17,076	19,396	466,860	2
2647	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	MV	-	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	71	695	0,02457	2,563	17,076	19,639	486,499	2
2648	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-11182	0,5	YS	SV	3,5	4	AVSS	11-05-004	951 02 09 16	68	695	0,02457	5,527	17,076	22,603	509,102	2
2726	13.05.2009	TAJ22-47122	TK33-73422	3	SY	PB	3,5	3,5	AVSS	11-05-004	951 05 10 62	250	76	0,02957	25,609	2,247	27,856	27,856	3
2727	13.05.2009	TAJ22-47122	TK33-73422	3	SY	PB	3,5	3,5	AVSS	11-05-004	951 05 10 62	119	230	0,02957	0,243	6,801	7,044	34,900	3
2728	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-20662	3	SY	PB	3,5	5	AVSS	11-05-004	971-019	210	76	0,02957	16,172	2,247	18,420	53,321	3
2729	13.05.2009	TAJ22-47122	TK12-09222	3	SY	KR	3,5	4,8	AVSS	11-05-004	LS-23442	224	76	0,02957	21,457	2,247	23,704	77,025	3
2727	13.05.2009	TAJ22-47122	TK12-09222	3	SY	KR	3,5	4,8	AVSS	11-05-004	LS-23442	228	76	0,02957	0,243	2,247	2,490	79,515	3
2728	13.05.2009	TAJ22-47122	TK12-09222	3	SY	KR	3,5	4,8	AVSS	11-05-004	LS-23442	176	76	0,02957	0,243	2,247	2,490	82,006	3
2729	13.05.2009	TAJ22-47122	TK12-09222	3	SY	KR	3,5	4,8	AVSS	11-05-004	LS-23442	225	76	0,02957	0,243	2,247	2,490	84,496	3
2730	13.05.2009	TAJ22-47122	TK13-10626	3	SY	PB	3,5	3,5	AVSS	11-05-004	LS-23892	113	347	0,02957	21,457	10,261	31,718	116,214	3
2731	13.05.2009	TAJ22-47122	-	3	SY	PB	3,5	6	AVSS	11-05-004	-	45	218	0,02957	12,021	6,446	18,467	134,681	3
2734	13.05.2009	TAJ22-47122	-	3	SY	PB	3,5	6	AVSS	11-05-004	-	50	218	0,02957	0,243	6,446	6,689	141,370	3
2649	13.05.2009	TK135-09222	TK136-20812	2	SY	-	4,5	5	AVSS	951 02 09 09	11-05-026	97	342	0,02957	22,745	10,113	32,858	174,225	3
2673	13.05.2009	TK135-09212	TK135-09222	2	SR	-	5	4,5	AVSS	951 02 09 09	951 02 09 09	126	323	0,02957	20,058	9,551	30,608	204,712	3
2674	13.05.2009	TK135-09212	TK135-09222	2	SR	-	5	4,5	AVSS	951 02 09 09	951 02 09 09	125	323	0,02957	0,243	9,551	9,794	214,506	3
2675	13.05.2009	TK135-09212	TK135-09222	2	SR	-	5	4,5	AVSS	951 02 09 09	951 02 09 09	85	243	0,02957	0,243	7,186	7		

Çizelge 6.21 : (devam) Gecikmenin meydana geldiği bir iş gönderme listesi.

Kablo Numarası	Tarih	Birinci Ucu Terminali	İkinci Ucu Terminali	Kablolu Kesidi	Kablolu Ana Rengi	Kablolu İkinci Rengi	Birinci Ucu Açma Boyu	İkinci Ucu Açma Boyu	Kablolu Tipi	Birinci Ucu Kabbi	İkinci Ucu Kabbi	Kablolu Boyu	Parti Miktarı	Birim İşlem Süresi	Hazırlık Süresi	Toplam İşlem Süresi	Toplam Süre	Birikimli Süre	Atanan Makina Numarası
2710	13/05/2009	TKU12-00622	TKU12-00622	0,5	PB	SY	4	4	AVSS	1072A364	1072A364	162	265	0,02457	25,609	6,462	32,071	32,071	4
2711	13/05/2009	TKU12-00622	TKU12-00622	0,5	MV	SY	4	4	AVSS	1072A364	1072A364	162	297	0,02457	2,661	7,297	9,958	9,958	4
2699	13/05/2009	TKT12-09222	TKU12-00622	0,3	SR	SY	4,8	4	AVSS	LS-23442	1072A364	87	3641	0,02457	18,893	89,459	107,352	149,882	4
2900	13/05/2009	TKT12-09222	TKU12-00622	0,3	SY	TR	4,8	4	AVSS	LS-23442	1072A364	87	3641	0,02457	5,284	89,459	94,743	244,725	4
2693	13/05/2009	TKT12-09222	TKU12-00622	0,3	MV	TR	4,8	4	AVSS	LS-23442	1072A364	111	39	0,02457	2,563	9,958	3,321	248,246	4
2704	13/05/2009	TKT12-09222	TKU12-00622	0,3	YS	SY	4,8	4	AVSS	LS-23442	1072A364	47	297	0,02457	5,527	7,297	12,824	261,070	4
2705	13/05/2009	TKT12-09222	TKU12-00622	0,3	SY	TR	4,8	4	AVSS	LS-23442	1072A364	102	35	0,02457	5,527	0,860	6,387	267,457	4
2706	13/05/2009	TKT12-09222	TKU12-00622	0,3	BY	TR	4,8	4	AVSS	LS-23442	1072A364	199	297	0,02457	2,661	7,297	9,958	274,416	4
2694	13/05/2009	TKT12-09222	TKU12-00622	0,5	KH	TR	4,8	4	AVSS	LS-23442	1072A364	165	70	0,02457	12,888	1,720	14,608	292,024	4
2695	13/05/2009	TKT12-09222	TKU12-00622	0,5	MV	SY	4,8	4	AVSS	LS-23442	1072A364	136	297	0,02457	5,527	7,297	12,824	304,848	4
2697	13/05/2009	TKT12-09222	TKU12-00622	0,5	YS	TR	4,8	4	AVSS	LS-23442	1072A364	147	243	0,02457	2,563	5,971	8,534	323,340	4
2698	13/05/2009	TKT12-09222	TKU12-00622	0,5	SR	SY	4,8	4	AVSS	LS-23442	1072A364	165	70	0,02457	5,527	1,720	7,247	330,847	4
2699	13/05/2009	TKT12-09222	TKU12-00622	0,5	SR	SY	4,8	4	AVSS	LS-23442	1072A364	165	70	0,02457	2,418	1,720	4,138	334,724	4
2700	13/05/2009	TKT12-09222	TKU12-00622	0,5	KR	SY	4,8	4	AVSS	LS-23442	1072A364	165	70	0,02457	5,284	1,720	7,004	341,728	4
2701	13/05/2009	TKT12-09222	TKU12-00622	0,5	PB	SY	4,8	4	AVSS	LS-23442	1072A364	165	770	0,02457	2,320	1,720	4,040	384,768	4
2702	13/05/2009	TKT12-09222	TKU12-00622	0,5	GR	TR	4,8	4	AVSS	LS-23442	1072A364	165	70	0,02457	5,284	1,720	7,004	392,772	4
2614	13/05/2009	TAJ12-04322	TAJ12-04322	0,3	KH	TR	4	3,5	AVSS	LS-23438	951 00 09 55	77	3641	0,02457	22,743	89,459	112,202	506,975	4
2615	13/05/2009	TAJ12-09222	TAJ12-04322	0,3	SR	TR	4	3,5	AVSS	LS-23438	951 00 09 55	78	3298	0,02457	23,743	130,098	152,841	12,241	5
2616	13/05/2009	TAJ12-09222	TAJ12-04322	0,3	SR	SY	4	3,5	AVSS	LS-23438	951 00 09 55	78	3641	0,02457	5,527	89,459	94,986	247,828	5
2617	13/05/2009	TAJ12-09222	TAJ12-04322	0,3	GR	SY	4	3,5	AVSS	LS-23438	951 00 09 55	76	3641	0,02457	2,563	89,459	92,027	338,850	5
2715	13/05/2009	TAJ12-09212	TAJ12-09222	0,3	MV	TR	4	4	AVSS	LS-23438	LS-23438	145	3758	0,02457	21,033	93,956	124,989	464,839	5
2716	13/05/2009	TAJ12-09212	TAJ12-09222	0,3	KR	TR	4	4	AVSS	LS-23438	LS-23438	145	2196	0,02457	2,320	93,956	96,276	521,114	5
2714	13/05/2009	TAJ12-09212	TAJ12-09222	0,5	PB	SY	4	4	AVSS	LS-23438	LS-23438	142	2803	0,02457	5,527	68,878	74,397	145,051	6
2712	13/05/2009	TAJ12-09222	TAJ12-09222	0,5	KR	TR	4	4	AVSS	LS-23438	LS-23438	55	2270	0,02457	13,274	58,774	69,048	214,099	6
2610	13/05/2009	TAJ12-09222	TKT12-18762	0,5	BY	TR	4	5	AVSS	LS-23438	LUCAS1	146	80	0,02457	18,893	1,966	20,459	224,558	6
2747	13/05/2009	TAJ12-27146	TF12-03006	0,5	SY	TR	4	4,5	AVSS	LS-23887	1146-0118	132	2783	0,02457	22,645	68,378	91,023	335,841	6
2748	13/05/2009	TAJ12-27146	TF12-03006	0,5	TR	TR	4	4,5	AVSS	LS-23887	1146-0118	146	4969	0,02457	2,563	68,378	110,941	436,222	6
2749	13/05/2009	TAJ12-27146	TF12-03006	0,5	MV	TR	4	4,5	AVSS	LS-23887	1146-0118	146	2783	0,02457	2,320	68,378	70,698	907,221	6
2752	13/05/2009	TAJ12-27146	TAJ24-07226	0,5	TR	SY	4	4	AVSS	LS-23887	1146-0219	179	2783	0,02457	25,609	68,378	92,987	93,987	7
2753	13/05/2009	TAJ12-27146	TAJ24-07226	0,5	BY	TR	4	4	AVSS	LS-23887	1146-0219	179	2783	0,02457	2,418	68,378	70,796	164,744	7
2754	13/05/2009	TAJ12-27146	TAJ24-07226	0,5	BY	TR	4	4	AVSS	LS-23887	1146-0219	183	2783	0,02457	0,243	68,378	68,621	233,405	7
2755	13/05/2009	TAJ12-27146	TAJ24-07226	0,5	GR	SY	4	4	AVSS	LS-23887	1146-0219	179	2783	0,02457	5,527	68,378	73,905	307,310	7
2756	13/05/2009	TAJ12-27146	TAJ24-07226	0,5	PB	TR	4	4	AVSS	LS-23887	1146-0219	179	2783	0,02457	2,418	68,378	70,796	378,107	7
2751	13/05/2009	TAJ12-27146	10315754	0,5	BY	SY	4	4,5	AVSS	LS-23887	LS-14319	307	146	0,02457	21,457	3,587	25,044	403,351	7
2750	13/05/2009	TAJ12-27146	0,5	SY	TR	TR	4	6	AVSS	LS-23887	LS-23887	72	146	0,02457	14,539	3,587	18,026	421,177	7
2650	13/05/2009	TKT35-18762	TKT35-25082	2	KH	TR	3,5	5	AVSS	576047.6	1146-0219	19	415	0,02957	22,645	12,272	34,917	456,904	7
2651	13/05/2009	TKT35-18762	TKT35-25082	2	KH	TR	3,5	5	AVSS	576047.6	1146-0219	29	342	0,02957	0,243	10,113	10,356	466,449	7
2652	13/05/2009	TKT35-18762	TKT35-25082	2	YS	TR	3,5	5	AVSS	576047.6	1146-0219	29	342	0,02957	2,563	12,272	14,835	481,284	7
2669	13/05/2009	TKT35-18762	TKT35-25082	2	KH	TR	3,5	6	AVSS	576047.6	5365	18	415	0,02957	18,893	12,272	30,765	512,049	7
2670	13/05/2009	TKT35-18762	TKT35-25082	2	KH	TR	3,5	6	AVSS	576047.6	5365	25	342	0,02957	0,243	10,113	10,356	522,405	7
2667	13/05/2009	TKT35-18762	TKT35-18762	2	YS	TR	3,5	4,5	AVSS	576047.6	576047.6	30	415	0,02957	22,743	12,272	35,015	35,015	8
2668	13/05/2009	TKT35-18762	TKT35-18762	2	KH	TR	3,5	4,5	AVSS	576047.6	576047.6	21	415	0,02957	2,563	12,272	14,835	89,849	8
2659	13/05/2009	TKU36-07411	TKU36-07411	3	YS	TR	3,5	4,5	AVS	1-576047.2B	1-576047.2B	308	243	0,02957	19,720	7,186	26,906	76,755	8
2655	13/05/2009	TKU36-07411	TKU36-07411	3	BY	TR	5,5	4,5	AVS	971561	1-576047.2B	181	75	0,02957	18,893	2,218	20,711	97,465	8
2656	13/05/2009	TKU36-07411	TKU36-07411	3	BY	TR	5,5	4,5	AVS	971561	1-576047.2B	181	342	0,02957	0,243	10,113	10,356	107,823	8
2657	13/05/2009	TKU36-07411	TKU36-07411	3	YS	TR	5,5	4,5	AVS	971561	1-576047.2B	181	75	0,02957	2,563	2,218	4,781	112,603	8
2658	13/05/2009	TKU36-07411	TKU36-07411	3	YS	TR	5,5	4,5	AVS	971561	1-576047.2B	181	342	0,02957	0,243	10,113	10,356	122,958	8
2653	13/05/2009	TKU36-07411	TKU36-07411	3	KR	TR	6	4,5	AVS	1-576047.2B	1-576047.2B	178	75	0,02957	14,341	2,218	16,559	139,517	8
2742	13/05/2009	TAJ24-04423	1-23085-90	3	KR	TR	6	4,5	AVS	1-576047.2B	1-576047.2B	180	342	0,02957	0,243	10,113	10,356	149,873	8
2722	13/05/2009	TAJ24-04423	1-23085-90	3	SY	KR	6	6	AVSS	1-576047.2B	1-576047.2B	94	139	0,025	16,401	3,475	19,876	169,349	8
2723	13/05/2009	TAJ24-04423	1-23085-90	3	SY	KR	6	6	AVSS	1-576047.2B	1-576047.2B	92	70	0,025	0,243	1,750	1,993	171,742	8
2724	13/05/2009	TAJ24-04423	1-23085-90	3	SY	KR	6	6	AVSS	1-576047.2B	1-576047.2B	18	70	0,025	0,243	1,750	1,993	173,735	8
2725	13/05/2009	TAJ24-04423	1-23085-90	3	SY	KR	6	6	AVSS	1-576047.2B	1-576047.2B	22	139	0,025	0,243	3,475	3,718	177,453	8
2745	13/05/2009	TKT12-09282	TKT12-04722	3	SY	PB	3,5	4,8	AVSS	1146-0311	LS-23442	112	218	0,02957	25,609	6,446	32,055	209,528	8
2726	13/05/2009	TKT12-09282	TKT12-04722	3	SY	KR	3,5	6	AVSS	1146-0311	LS-23442	230	70	0,02957	17,288	2,070	19,378	228,883	8
2731	13/05/2009	TKT12-09282	TKT12-04722	3	SY	PB	3,5	6	AVSS	1146-0311	LS-23442	101	218	0,02957	5,527	6,446	11,973	240,856	8
2746	13/05/2009	TKT12-09282	TKT12-04722	3	SY	PB	3,5	6	AVSS	1146-0311	LS-23442	113	218	0,02957	0,243	6,446	6,889	247,545	8
2742	13/05/2009	TAJ24-04423	1-23085-90	3	SY	KR	3,5	4,5	AVSS	951 00 08 43	911 98 08 24	254	70	0,02957	25,609	2,070	27,679	275,224	8
2743	13/05/2009	TAJ24-04423	1-23085-90	3	SY	KR	3,5	4,5	AVSS	951 00 08 43	911 98 08 24	252	70	0,02957	0,243	2,070	2,313	277,317	8
2744	13/05/2009	TAJ24-04423	1-23085-90	3	SY	KR	3,5	4,5											

Düşük talep düzeyine sahip 15 gün için farklı yükleme üst sınırlarına göre oluşturulmuş Yüke Yönelik İş Gönderme Listeleri'nin üretim ve performans değerleri Çizelge 6.22, 6.23 ve 6.24'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.22 : Düşük talep düzeyi ve 0 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.

Gün	Talep (adet/gün)	Serbest Bırakılan Miktar (adet/gün)	Talep Günü	İşgören Transferine Uygun Süre (dak.)	Fazla Üretim Miktarı (adet*gün)	Gecikme Miktarı (adet)	Talep Günü
1	33890	33890	1	2783	-	-	-
2	13247	13247	2	3250	-	-	-
3	30816	30816	3	2955	-	-	-
4	24007	24007	4	3354	-	-	-
5	27920	27920	5	3098	-	-	-
6	39555	39555	6	2943	-	-	-
7	29277	29277	7	2813	-	-	-
8	39465	39465	8	2363	-	-	-
9	35318	35318	9	2749	-	-	-
10	37116	37116	10	2522	-	-	-
11	27748	27748	11	2827	-	-	-
12	19142	19142	12	3391	-	-	-
13	15120	15120	13	3578	-	-	-
14	21990	21990	14	3332	-	-	-
15	27788	27788	15	3218	-	-	-
Toplam				45176	0	0	-

Çizelge 6.23 : Düşük talep düzeyi ve 1 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.

Gün	Talep (adet/gün)	Serbest Bırakılan Miktar (adet/gün)	Talep Günü	İşgören Transferine Uygun Süre (dak.)	Fazla Üretim Miktarı (adet*gün)	Gecikme Miktarı (adet)	Talep Günü
1	33890	33890	1	1797	13247	-	-
		13247	2				
2	13247	30816	3	2955	30816	-	-
3	30816	24007	4	3354	24007	-	-
4	24007	27920	5	3098	27920	-	-
5	27920	39555	6	2943	39555	-	-
6	39555	29277	7	2813	29277	-	-
7	29277	39465	8	2363	39465	-	-
8	39465	35318	9	2749	35318	-	-
9	35318	37116	10	2522	37116	-	-
10	37116	27748	11	2827	27748	-	-
11	27748	19142	12	3391	19142	-	-
12	19142	15120	13	3578	15120	-	-
13	15120	21990	14	3332	21990	-	-
14	21990	27788	15	3218	27788	-	-
15	27788	-	-	4200	-	-	-
Toplam				45140	388509	0	-

Çizelge 6.24 : Düşük talep düzeyi ve 2 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.

Gün	Talep (adet/gün)	Serbest Bırakılan Miktar (adet/gün)	Talep Günü	İşgören Transferine Uygun Süre (dak.)	Fazla Üretim Miktarı (adet*gün)	Gecikme Miktarı (adet)	Talep Günü
1	33890	33890	1	548	74879	-	-
		13247	2				
		30816	3				
2	13247	24007	4	3354	48014	-	-
3	30816	27920	5	3098	55840	-	-
4	24007	39555	6	2943	79110	-	-
5	27920	29277	7	2813	58554	-	-
6	39555	39465	8	2363	78930	-	-
7	29277	35318	9	2749	70636	-	-
8	39465	37116	10	2522	74232	-	-
9	35318	27748	11	2827	55496	-	-
10	37116	19142	12	3391	38284	-	-
11	27748	15120	13	3578	30240	-	-
12	19142	21990	14	3332	43980	-	-
13	15120	27788	15	3218	55576	-	-
14	21990	-	-	4200	-	-	-
15	27788	-	-	4200	-	-	-
Toplam				45136	763771	0	-

Çizelge 6.23'te birinci gün, fazla üretim durumu sözkonusu olmuştur. Herhangi bir gündeki fazla üretim miktarı, o günde, farklı günler için yapılan her bir üretim miktarının, (üretimin talep günü - mevcut gün) farkları ile çarpılıp, bu çarpımların toplanması ile hesaplanmaktadır. Örneğin, Çizelge 6.23'teki birinci günün fazla üretim miktarı olan $[(33890*(1-1))+(13247*(2-1)) =]$ 13247 hesabı ile belirlenmiştir.

Orta talep düzeylerine sahip 15 gün için 0, 1, 2 günlük yükleme üst sınırlarına göre oluşturulmuş Yüke Yönelik İş Gönderme Listeleri'nin üretim ve performans değerleri Çizelge 6.25, 6.26 ve 6.27'deki gibidir.

Çizelge 6.25 : Orta talep düzeyi ve 0 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.

Gün	Talep (adet/gün)	Serbest Bırakılan Miktar (adet/gün)	Talep Günü	İşgören Transferine Uygun Süre (dak.)	Fazla Üretim Miktarı (adet*gün)	Gecikme Miktarı (adet)	Talep Günü
16	55410	55410	1	2132	-	-	-
17	55248	55248	2	2414	-	-	-
18	62144	62144	3	2075	-	-	-
19	66585	66585	4	1641	-	-	-
20	65732	65732	5	1778	-	-	-
21	56891	56891	6	1932	-	-	-
22	47160	47160	7	1521	-	-	-
23	58225	58225	8	1736	-	-	-
24	48359	48359	9	1964	-	-	-
25	42556	42556	10	2423	-	-	-
26	45438	45438	11	2625	-	-	-
27	50515	50515	12	2441	-	-	-
28	64455	64455	13	1575	-	-	-
29	65573	65573	14	1503	-	-	-
30	45374	45374	15	1760	-	-	-
Toplam				29520	0	0	-

Çizelge 6.26 : Orta talep düzeyi ve 1 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.

Gün	Talep (adet/gün)	Serbest Bırakılan Miktar (adet/gün)	Talep Günü	İşgören Transferine Uygun Süre (dak.)	Fazla Üretim Miktarı (adet*gün)	Gecikme Miktarı (adet)	Talep Günü
16	55410	55410	16	315	55248	-	-
		55248	17				
17	55248	62144	18	2075	62144	-	-
18	62144	66585	19	1641	66585	-	-
19	66585	65732	20	1778	65732	-	-
20	65732	56891	21	1932	56891	-	-
21	56891	47160	22	1521	47160	-	-
22	47160	58225	23	1736	58225	-	-
23	58225	48359	24	1964	48359	-	-
24	48359	42556	25	2423	42556	-	-
25	42556	45438	26	2625	45438	-	-
26	45438	50515	27	2441	50515	-	-
27	50515	64455	28	1575	64455	-	-
28	64455	65573	29	1503	65573	-	-
29	65573	45374	30	1760	45374	-	-
30	45374	-	-	4200	-	-	-
Toplam				29489	774255	0	-

Çizelge 6.27 : Orta talep düzeyi ve 2 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.

Gün	Talep (adet/gün)	Serbest Bırakılan Miktar (adet/gün)	Talep Günü	İşgören Transferine Uygun Süre (dak.)	Fazla Üretim Miktarı (adet*gün)	Gecikme Miktarı (adet)	Talep Günü
16	55410	55410	16	0	76052	-	-
		55248	17				
		10402	18				
17	55248	51742	18	0	178784	-	-
		63521	19				
18	62144	3064	19	1540	134528	-	-
		65732	20				
19	66585	56891	21	1932	113782	-	-
20	65732	47160	22	1521	94320	-	-
21	56891	58225	23	1736	116450	-	-
22	47160	48359	24	1964	96718	-	-
23	58225	42556	25	2423	85112	-	-
24	48359	45438	26	2625	90876	-	-
25	42556	50515	27	2441	101030	-	-
26	45438	64455	28	1575	128910	-	-
27	50515	65573	29	1503	131146	-	-
28	64455	45374	30	1760	90748	-	-
29	65573	-	-	4200	-	-	-
30	45374	-	-	4200	-	-	-
Toplam				29420	1438456	0	-

Yüksek talep değerlerine ait günler için belirlenmiş Yüke Yönelik İş Gönderme Listeleri, değişen yükleme üst sınırlarına göre Çizelge 6.28, 6.29 ve 6.30'da belirtilmiştir.

Çizelge 6.28 : Yüksek talep düzeyi ve 0 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.

Gün	Talep (adet/gün)	Serbest Bırakılan Miktar (adet/gün)	Talep Günü	İşgören Transferine Uygun Süre (dak.)	Fazla Üretim Miktarı (adet*gün)	Gecikme Miktarı (adet)	Talep Günü
31	74657	74657	31	1176	-	-	-
32	80564	80564	32	737	-	-	-
33	84341	84341	33	966	-	-	-
34	97144	97144	34	905	-	-	-
35	82262	76155	35	0	-	-	-
36	108090	6107	35	0	-	6107	35
		100473	36				
37	92396	7617	36	0	-	7617	36
		72267	37				
38	84665	20129	37	354	-	20129	37
		84665	38				
39	110280	110280	39	74	-	-	-
40	84688	84688	40	814	-	-	-
41	87320	87320	41	1149	-	-	-
42	100171	100171	42	762	-	-	-
43	81180	81180	43	949	-	-	-
44	94970	93999	44	0	-	-	-
45	92516	971	44	829	-	971	44
		92516	45				
Toplam				8715	0	34824	-

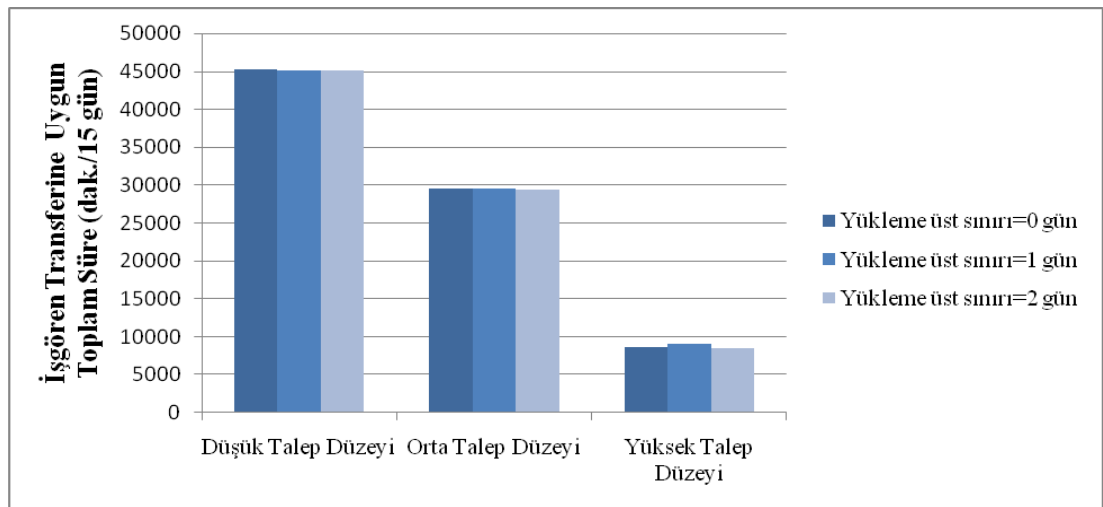
Çizelge 6.29: Yüksek talep düzeyi ve 1 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.

Gün	Talep (adet/gün)	Serbest Bırakılan Miktar (adet/gün)	Talep Günü	İşgören Transferine Uygun Süre (dak.)	Fazla Üretim Miktarı (adet*gün)	Gecikme Miktarı (adet)	Talep Günü
31	74657	74657	31	0	43443	-	-
		37121	32				
32	80564	43443	32	0	53815	-	-
		53815	33				
33	84341	30526	33	0	91578	-	-
		91758	34				
34	97144	5386	34	0	71497	-	-
		71497	35				
35	82262	10765	35	0	94582	-	-
		94582	36				
36	108090	13508	36	0	71639	-	-
		71639	37				
37	92396	20757	37	280	84665	-	-
		84665	38				
38	84665	110280	39	74	110280	-	-
39	110280	84688	40	814	84688	-	-
40	84688	87320	41	1149	87320	-	-
41	87320	100171	42	762	100171	-	-
42	100171	81180	43	949	81180	-	-
43	81180	93999	44	0	93999	-	-
44	94970	971	44	829	92516	-	-
		92516	45				
45	92516	-	-	4200	-	-	-
Toplam				9057	1161373	0	-

Çizelge 6.30 : Yüksek talep düzeyi ve 2 günlük yükleme üst sınırı değerine göre İş Gönderme Listeleri.

Gün	Talep (adet/gün)	Serbest Bırakılan Miktar (adet/gün)	Talep Günü	İşgören Transferine Uygun Süre (dak.)	Fazla Üretim Miktarı (adet*gün)	Gecikme Miktarı (adet)	Talep Günü
31	74657	74657	31	0	43443	-	-
		37121	32				
32	80564	43443	32	0	53815	-	-
		53815	33				
33	84341	30526	33	0	91578	-	-
		91758	34				
34	97144	5386	34	0	71497	-	-
		71497	35				
35	82262	10765	35	0	94582	-	-
		94582	36				
36	108090	13508	36	0	71639	-	-
		71639	37				
37	92396	20757	37	0	96345	-	-
		84665	38				
		5840	39				
38	84665	104440	39	0	127516	-	-
		11538	40				
39	110280	73150	40	0	143310	-	-
		35080	41				
40	84688	52240	41	0	188482	-	-
		68121	42				
41	87320	32050	42	0	184772	-	-
		76361	43				
42	100171	4819	43	0	182415	-	-
		88798	44				
43	81180	6172	44	85	191204	-	-
		92516	45				
44	94970	-	-	4200	-	-	-
45	92516	-	-	4200	-	-	-
Toplam				8485	1540598	0	-

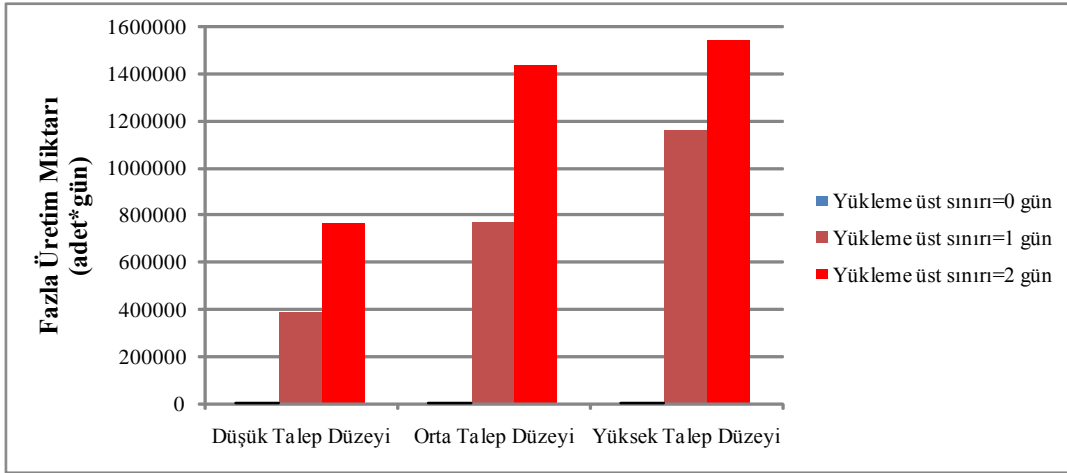
Yukarıda belirtilen İş Gönderme Listeleri, işgören transferine uygun süre bazında Şekil 6.20’de özetlenmiştir.



Şekil 6.20 : İşgören transferine uygun süreler.

Şekil 6.20'ye göre, işgören transferine uygun süre, talep düzeyi ile ters orantılıdır. Bir başka deyişle, artan talep düzeyi, üretim ortamında yoğunluğa neden olduğundan, işgörenin bir diğer KST hücresine geçme imkânını azaltmaktadır. İşgören transferine uygun süre toplamı, aynı talep düzeyinde farklı yükleme üst sınırı değerlerinde belirgin bir değişim göstermemiştir. 0 günlük yükleme üst sınırı değeri, gün bazında işgören transferine uygun süreyi düzgün bir eğilimde tutmaktadır. Yükleme üst sınırının artması, başlangıçta düşük olan işgören transferine uygun süreyi ilerleyen günlerde arttırmaktadır. Bir başka deyişle, fazla üretim yapmak, günler arası işgören transferine uygun süredeki değişimi arttırmaktadır. Bu durum ise, işgücü çizelgeleme açısından zorluğa neden olacaktır.

Şekil 6. 21'e göre, ihtiyaç anında üretim mantığı taşıyan 0 günlük yükleme üst sınırı değeri tercih edildiğinde, her bir talep düzeyinde fazla üretim yapılmamıştır. Çünkü bu durum, ihtiyaç anında üretim yapma düşüncesini taşımaktadır. Ayrıca, fazla üretim miktarı hem artan talep düzeyi, hem de yükleme üst sınırı değerleri ile doğru orantılı olarak artmıştır.



Şekil 6.21 : Fazla üretim miktarları.

Yüksek yükleme üst sınır değerleri tercih edildiğinde, gelecek planlama dönemlerine ait talepler üretilebildiğinden gecikme olayları önlenmektedir (Çizelge 6.31). Hyundai ailesinin KST makinalarına ait uygulamada, yalnızca yüksek talep düzeyi ve 0 yükleme üst sınırı değerinde talep gün içerisinde karşılanamamış ve gecikme meydana gelmiştir. Bu nedenle, yüksek talep düzeyi şartlarında 1 günlük fazla üretim gecikmeyi önlemektedir. Söz konusu şartlar altında 2 günlük fazla üretime gerek olmadığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 6.31 : Gecikme miktarları (adet).

		Talep Düzeyi		
		Düşük	Orta	Yüksek
Yükleme Üst Sınırı Değeri	0 gün	0	0	34824
	1 gün	0	0	0
	2 gün	0	0	0

Bu sistematikte sırası ile işgören transferine uygun süre, fazla üretim miktarı ve gecikme miktarı artan önem düzeyine sahiptir. Gecikme miktarını yok edecek en az fazla üretim miktarı aranır. İşgören transferine uygun süre, işletme politikasına bağlı olarak değerlendirilir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bir üretim sisteminin müşteri isteklerine hızlı yanıt özelliğini taşıyabilmesi için ürün ve sistem tasarımı ile birlikte üretim planlama ve kontrol süreçlerinin etkin olması kritik başarı faktörüdür. Etkin tasarımlara sahip üretim sistemlerinde bile, planlama ve kontrol süreçlerinde oluşacak problemler, maliyet ve teslim performansı açısından firmaların rekabet düzeyini düşürmektedir.

Üretim sistemlerinde çizelgeleme problemi ile ilgili olarak teorik ve uygulamalı çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Çoğu çalışmada, hazırlık süreleri ihmal edilmekte veya işlem sürelerine dâhil edilmektedir. Ancak hazırlık süreleri, zaman ve maliyet yönünden kapasitenin önemli bir kısmına sahiptir. Özellikle hazırlık süreleri sıraya bağımlı yapıda ise, iş çizelgelemenin, üretim sistemi kapasitesinde hazırlık faaliyetlerine ayrılan payı üzerindeki etkisi artmaktadır. Ayrıca, hazırlık sürelerinin düşürülmesi, giderek artan müşterinin daha düşük partilerle üretim isteğinin karşılanmasındaki en önemli etmendir.

Hazırlık süreleri dâhil edilerek yapılan çizelgeleme çalışmalarına başlanmadan önce çizelgeleme probleminde parametre olarak yer alacak olan temel hazırlık faaliyetlerine ait sürelerin analiz edilerek, farklı bir yöntem geliştirilmesi sonucunda düşürülmesi, hattâ yok edilmesi gerekmektedir. Başka bir deyişle, sıraya bağımlı hazırlık sürelerine ait işlerin çizelgelenmesinden önce temel hazırlık faaliyetlerinin iyileştirilmesine odaklanılması gerekir. Bu şekilde, hazırlık süreçlerinin iyileştirme faaliyetlerinin etkisi, çizelgeleme performansı ile birleştirilmiş olur. Ayrıca, ilgili analiz esnasında hazırlık faaliyetlerinin çoğunun ardışık ürünler arasında oluşan tasarım özellikleri farklılıklarından kaynaklandığı görülür. Yukarıda açıklanan bakış açısı ile gerçekleştirilen çalışmada, ürün tasarımı ile süreç yönetimi arasındaki ilişkinin önemi ortaya koyulmuştur.

Diğer yandan, üretim birimlerinin ancak kendisinden bir sonraki birimin talep ettiği anda ve ihtiyacı kadar parçayı üretmesi ile fazla üretim israfının önüne geçilmektedir. Bu mantığa dayanan çekme sistemlerinin uygulanması ile hem stok maliyetleri azalmakta hem de üretim sistemindeki problemlerin farkına varma imkânı

yakalanarak sürekli gelişim ortamına zemin hazırlanmaktadır. Talep değişkenliği, ürün yapısı ve çeşitliliği çekme sistemlerinin uygulanabilirliğini derinden etkilemektedir. Düzensiz talep, karmaşık ürün yapısı ve yüksek ürün çeşitliliği ortamı, tam bir çekme sistemini olurlu kılmamaktadır. Bu ortamlarda, sistemi çekme yapısına yaklaştıran İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi, hem üretim planlama ile üretim kontrol arasında, hem de üretim stratejisi ile operasyonel yönetim arasında bağlantı oluşturur.

İş gönderme ve iş çizelgeleme sorununun çözümü için, çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Ancak tüm bu sorunları kapsayan ve kısmi gelişmeleri bütünsel gelişme haline dönüştüren sistematik bir metodoloji bulunmamaktadır. Yapılan çalışmada, iş gönderme ile tek aşamalı özdeş paralel makinalarda iş çizelgelemesinin bütünleştirildiği bir sistematik sunulmuştur. Sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin bire bir ölçüme gerek kalmadan elde edilmesi ve geliştirilen bir sıralama algoritmasının, iş çizelgelemesinde ürün tasarım özelliklerini kullanması, çalışmanın farklılık barındıran unsurlarıdır.

Endüstriyel boyuttaki sorunların çözümü açısından matematiksel programlama modelleri, makul sürelerde çözüme ulaşamadığından, tez çalışması dahilinde problem boyutuna göre farklı yöntemlerle (matematiksel programlama modeli veya sezgisel) çözüm üreten bir metodoloji geliştirilmiştir. Ayrıca, metodoloji kablo takımı üreten bir firmada uygulanarak test edilmiştir. Söz konusu metodoloji, uygulandığı kablo takımı üretim sisteminde hazırlık sürelerinin düşürülmesi ve iş serbest bırakma yönünden önemli kolaylıklar ve faydalar sağlamıştır.

Daha önce üniversal kopya tezgâhı ve kopya torna tezgâhında uygulanmış olan matematiksel modelin kablo KST sürecinde ilk defa uygulanması ile hazırlık sürelerinin elde edilmesindeki ölçüm faaliyetleri azaltılmıştır. Tez çalışmasının uygulama kısmı dâhilinde belirtilen iyileştirme görüş ve faaliyetlerinin topluca uygulanması halinde, yerli kablolar için montaj için temin süresini %29 oranında azaltacağı öngörülmektedir. Ayrıca, üretim sistemi içerisindeki sürenin kısalması ile hammadde ve mamul stoklarının da azalması beklenir.

Çalışma kapsamındaki uygulama neticesinde bu fayda, özellikle diğer sıralama yöntemlerine üstünlük sağlayan Kablo Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıralama Algoritması'nda (KTÖBSA) kendisini göstermiştir. 45 günlük gerçek üretim verileri

dikkate alındığında, KTÖBSA, mevcut duruma göre %7 civarında hazırlık süresi tasarrufu sağlamıştır.

Uygulanan İş Gönderme Sistematiği kullanılarak gerçek ortamda gelecek talep projeksiyonu dâhilinde, izlenecek strateji belirlenebilir. Bu strateji özellikle fazla üretim ve bunun gün karşılığı olarak belirlemektedir. Ayrıca, işgören transferine uygun sürenin diğer bölümler tarafından alınabilir olması, kapasite planlama açısından önem taşımaktadır.

Bir diğer yandan, geliştirilen metodolojinin hazırlık sürelerinin yüksek ve sıraya bağımlı olduğu ortamlarda sağlayacağı tasarruf daha yüksek olacaktır. Ayrıca, metodoloji, hazırlık sürecinin detaylı analizini gerektirmektedir. Ürün tasarım özellikleri ve hazırlık işlerinin etkileşiminin yanlış belirlenmesi, iş parçaları arasındaki hazırlık sürelerinin doğru bir şekilde hesaplanamamasına yol açacaktır. Uygulama esnasında bu hususa dikkat edilmelidir.

Bu tez çalışmasına ek olarak konu ile ilgili gelecekte yapılması düşünülen veya yapılabilecek çalışmalar aşağıda belirtilmiştir:

- Mevcut metodoloji, akış tipi ve hücreli yapılar için geliştirilebilir.
- Uygulama, kablo takımı üretimi yapılan sektörler dışındaki sektörlerde de yapılabilir.
- Ürün tasarım özelliklerini içine alan tüm çizelgeleme yaklaşımları için bir yol haritası geliştirilebilir. Bunun için Aksiyomlarla Tasarım yönteminin kullanılması önerilir.
- Bu çalışmada izlenen yol olan ürün tasarımı ve üretim süreçleri yönetimi arasındaki bütünleşmeden yola çıkılarak, bütünleşik ürün ve süreç tasarımı ile ilgili çalışmalar başlatılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdekhodae, A. H., Wirth, A. and Gan, H.S.**, 2004: Equal processing and equal setup time cases of scheduling parallel machines with a single server, *Computers and Operations Research*, **31**, 1867-1889.
- Andres, C., Albarracin, J. M., Tormo, G., Vicens, E. and Garcia-Sabater, J. P.**, 2005: Group technology in a hybrid flowshop environment: A case study, *European Journal of Operational Research*, **167**, 272-281.
- Anghinolfi, D. and Paolucci, M.**, 2007: Parallel machine total tardiness scheduling with a new hybrid metaheuristic approach, *Computers & Operations Research*, **34**, 3471-3490.
- Anglani, A., Grieco, A., Guerriero, E. and Musmanno, R.**, 2005: Roboust scheduling of parallel machines with sequence-dependent set-up costs, *European Journal of Operational Research*, **161**, 704-720.
- Armantano, V. A. A. and Filho, M. F. F.**, 2007: Minimizing total tardiness in parallel machine scheduling with setup times: An adaptive memory-based GRASP approach, *European Journal of Operational Research*, **183**, 100-114.
- Armentano, V. A. and Yamashita, D. S.**, 2000: Tabu search for scheduling on identical parallel machines to minimize mean tardiness, *Journal of Intelligent Manufacturing*, **11**, 453-460.
- Ashby, J. R. and Uzsoy, R.**, 1995: Scheduling and order release in a single-stage production system, *Journal of Manufacturing Systems*, **14** (4), 290-306.
- Bahaji, M. and Kuhl, M. E.**, 2008: A simulation study of new multi-objective composite dispatching rules, CONWIP, and push lot release in semiconductor fabrication, *International Journal of Production Research*, **46** (14), 3801-3824.
- Balakrishnan, N., Kanet, J. J. and Sridharan, S. V.**, 1999: Early/tardy scheduling with sequence dependent setups on uniform parallel machines, *Computers & Operations Research*, **26**, 127-141.
- Bechte, W.**, 1988: Theory and practice of load-oriented manufacturing control, *International Journal of Production Research*, **26** (3), 375-395.
- Behnamian, J., Zandieh, M., Fatemi Ghomi, S. M. T.**, 2009: Parallel-machine scheduling problems with sequence-dependent setup times using an ACO, SA and VNS hybrid algorithm, *Expert Systems with Applications*, **36**, 9637-9644.
- Beraldi, P., Ghiani, G., Guerriero, E. and Grieco, A.**, 2006: Scenario-based planning for lot-sizing and scheduling with uncertain processing times, *International Journal of Production Economics*, **101**, 140-149.

- Beraldi, P., Ghiani, G., Grieco, A. and Guerriero, E.,** 2008: Rolling-horizon and fix-and-relax heuristics for the parallel machine lot-sizing and scheduling problem with sequence-dependent set-up costs, *Computers & Operations Research*, **35**, 3644-3656.
- Bergamaschi, D., Cigolini, R., Perona, M. and Portioli, A.,** 1997: Order review and release strategies in a job shop environment: a review and a classification, *International Journal of Production Research.*, **35** (2), 399-420.
- Bertrand J. W. M. and Van De Wakker, A. M.,** 2002: An investigation of order release and flow time allowance policies for assembly job shops, *Production Planning & Control*, **13** (7), 639-648.
- Bilge, Ü., Kırac, F., Kurtulan, M. and Pekgün, P.,** 2004: A tabu search algorithm for parallel machine total tardiness problem, *Computers & Operations Research*, **31**, 397-414.
- Bobrowski, P. M.,** 1989: Implementing a loading heuristic in a discrete release job shop, *International Journal of Production Research*, **27**, 1935- 1948.
- Bonfatti, M., Caridi, M. and Schiavina, L.,** 2006: A fuzzy model for load-oriented manufacturing control, *International Journal of Production Economics*, **104**, 502-513
- Charles-Owaba, O. E. and Lambert, B. K.,** 1988: Sequence dependent set-up times and similarity of parts: A Mathematical Model, *IIE Transactions*, **20** (1), 12-21.
- Chien, C.-F. and Chen, C.-H.,** 2000: Using genetic algorithm (GA) and a coloured timed Petri net (CTPN) for modeling the optimization-based schedule generator of a generic production scheduling system, *International Journal of Production Research*, **45** (8), 1763-1789.
- Cigolini, R., Perona, M. and Portioli, A.,** 1998: Comparison of Order Review and Release techniques in a dynamic and uncertain job shop environment, *International Journal of Production Research*, **36** (11), 2931-2951.
- Clark, A. R. and Clark S. J.,** 2000: Rolling-horizon lot-sizing when set-up times are sequence dependent, *International Journal of Production Research*, **38** (10), 2287-2307.
- Coffman, J. R., E. G., Garey, M. R. and Johnson, D. S.,** 1978: An application of bin-packing to multiprocessor scheduling, *SIAM Journal on Computing*, **7**, 1-17.
- Dastidar, S. G. and Nagi, R.,** 2005: Scheduling injection molding operations with multiple resource constraints and sequence dependent setup times and costs, *Computers & Operations Research*, **32**, 2987–3005.
- Deane, R. H. and Moodie, C. L.,** 1972: A dispatching methodology for balancing workload assignments in a job shop production facility, *A.I.I.E. Transactions*, **4**, 277-283.
- Dhaenens-Flipo, C.,** 2001: A bicriterion approach to deal with a constrained single-objective problem, *International Journal of Production Economics*, **74**, 93-101.

- Durmuşoğlu, M. B.**, 1990: Toplam hazırlık sürelerini düşürme and yükleme sorununun çözümüne yönelik bir yaklaşım, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, **9**, 4-17.
- Durmuşoğlu, M. B.**, 2003(a): Hazırlık Sürelerinin Analizi and Düşürülmesi, Bölüm I, *MakinaTek Aylık İmalat and Teknoloji Kültürü Dergisi*, **70**, 20-25.
- Durmuşoğlu, M. B.**, 2003(b): Hazırlık Sürelerinin Analizi and Düşürülmesi, Bölüm II, *MakinaTek Aylık İmalat and Teknoloji Kültürü Dergisi*, **71**, 56-59.
- Durmuşoğlu, M. B.**, 2005: Yalın Üretim Ders Notları, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Ebadian, M., Rabbani, M., Torabi, S.A. and Jolai, F.**, 2008: Hierarchical production planning and scheduling in make-to-order environments: reaching short and reliable delivery dates, *International Journal of Production Research*, **58**, 1-29.
- Ellis, K. P., Lu, Y. and Bish, E. K.**, 2004: Scheduling of Wafer Test Processes in Semiconductor Manufacturing, *International Journal of Production Research*, **42** (2), 215-242.
- Fredendall, L. D., Ojha, D. and Patterson, J. W.**, 2010: Concerning the theory of workload control, *European Journal of Operational Research*, **201**, 99-111.
- Gharehgozli, A. H., Tavakkoli-Moghaddam, R. and Zaerpour, N.**, 2009: A fuzzy-mixed-integer goal programming model for a parallel-machine scheduling problem with sequence-dependent setup times and release dates, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, **25**, 853-859.
- Gravel, M., Price, W. L. and Gagne, C.**, 2000: Scheduling jobs in an Alcan aluminium foundry using a genetic algorithm, *International Journal of Production Research*, **38** (13), 3031-3041.
- Gupta, J. N. D. and Johnny C. H.**, 2001: Minimizing makespan subject to minimum flowtime on two identical parallel machines, *Computers & Operations Research*, **28**, 705-717.
- Haskose, A., Kingsman, B. G. and Worthington, D.**, 2004: Performance analysis of make-to-order manufacturing systems under different workload control regimes, *International Journal of Production Economics*, **90**, 169-186.
- Hassin, R., Keinan, A.**, 2007), Greedy heuristics with regret, with application to the cheapest insertion algorithm for the TSP, *Operations Research Letters*, **36** (2) ,243-246.
- Hendry, L., Land, M., Stevenson, M. and Gaalman, G.**, 2008: Investigating implementation issues for workload control (WLC): A comparative case study analysis, *International Journal of Production Economics*, **112**, 452-469.
- Hendry, L.C., Kingsman, B.G. and Cheung P.**, 1998: The effect of workload control (WLC) on performance in make-to-order companies, *Journal of Operations Management*, **16**, 63-75.

- Henrich, P., Land, M. and Gaalman, G.,** 2004: Exploring applicability of the workload control concept, *International Journal of Production Economics*, **90**, 187-198.
- Henrich, P., Land, M. and Gaalman, G.,** 2006: Grouping machines for effective workload control, *International Journal of Production Economics*, **104**, 125-142.
- Ho, J. C. and Chang Y. L.,** 1995: Minimizing the number of tardy jobs for m-parallel machines. *European Journal of Operational Research*, **84**, 343-55.
- Hoeck, M.,** 2007: A workload control procedure for an FMC integrated in a job shop, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **12**, 1-10.
- Hurink, J. and Knust, S.,** 2001: List scheduling in a parallel machine environment with precedence constraints and setup times, *Operations Research Letters*, **29**, 231-239.
- Kim, D. W., Kim, K. H., Jang, W. and Chen, F. F.,** 2002: Unrelated parallel machine scheduling with setup times using simulated annealing, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, **18**, 223-231.
- Kingsman, B. G.,** 2000: Modelling input-output workload control for dynamic capacity planning in production planning systems, *International Journal of Production Economics*, **68**, 73-93.
- Koulamas, C.,** 1994: The total tardiness problem: review and extensions. *Operations Research*, **42** (6), 1025-41.
- Kurz, M. E. and Askin, R. G.,** 2001: Heuristic Scheduling of parallel machines with sequence-dependent set-up times, *International Journal of Production Research*, **39** (16), 3747-3769.
- Land, M. J. and Gaalman G. J.C.,** 1998: The performance of workload control concepts in job shops: Improving the release method, *International Journal of Production Economics*, **56**, 347-364.
- Lee, Y. H. and Pinedo, M.,** 1997: Scheduling jobs on parallel machines with sequence-dependent setup times, *European Journal of Operational Research*, **100**, 464-474.
- Logendran, R., McDonell, B. and Smucker, B.,** 2007: Scheduling unrelated machines with sequence dependent setups, *Computers & Operations Research*, **34**, 3420-3438.
- Lopes, M. J. P. and Carvalho, J. M. V.,** 2007: A branch-and-price algorithm for scheduling parallel machines with sequence dependent setup times, *European Journal of Operational Research*, **176**, 1508-1527.
- Mendes, A. S., Müller, S. M., França P. M. and Moscato, P.,** 2002: Comparing meta-heuristic approaches for parallel machine scheduling problems, *Production Planning & Control*, **13** (2), 143-154.
- Meyr, H.,** 2002: Simultaneous lotsizing and scheduling on parallel machines, *European Journal of Operational Research*, **139**, 277-292.

- Missbauer, H.**, 1997: Order release and sequence-dependent setup times, *International Journal of Production Economics*, **49**, 131-143.
- Moreira, M.R.A. and Alves, R.A.F.S.**, 2008: A methodology for planning and controlling workload in a job-shop: a four-way decision-making problem, *International Journal of Production Research*, **1**, 1-17.
- Nessah, R., Chu, C. and Yalaoui, F.**, 2007: An exact method for $Pm/sds,r_i / \sum_{i=1}^n C_i$ problem, *Computers & Operations Research*, **34**, 2840-2848.
- Nomak, A.**, 2002: Bir hücreli üretim ortamında, benzetim yardımıyla üretim planlama and kontrol sistemlerinin analizi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, İstanbul.
- Omar, M. K., Teo, S. C.**, 2006: Minimizing the sum of earliness/tardiness in identical parallel machines schedule with incompatible job families: An improved MIP approach, *Applied Mathematics and Computation*, **181**, 1008-1017.
- Oosterman, B., Land, M. and Gaalman, G.**, 2000: The influence of shop characteristics on workload control, *International Journal of Production Economics*, **68**, 107-119.
- Park, Y., Kim, S. and Lee, Y. H.**, 2000: Scheduling jobs on parallel machines applying neural network and heuristic rules, *Computers & Industrial Engineering*, **38**, 189-202.
- Perona, M. and Portioli, A.**, 1998: The impact of parameters setting in load oriented manufacturing control, *International Journal of Production Economics*, **55**, 133-142.
- Pfund, M., Fowler, J. W., Gadkari, A. and Chen, Y.**, 2008: Scheduling jobs on parallel machines with setup times and ready times, *Computers & Industrial Engineering*, **54**, 764-782.
- Philipoom, P. R. and Fry, T. D.**, 1999: Order review release in the absence of adherence to formal scheduling policies, *Journal of Operations Management*, **17**, 327-342
- Radhakrishnan, S. and Ventura, A.**, 2000: Simulated annealing for parallel machine scheduling with earliness-tardiness penalties and sequence-dependent set-up times, *International Journal of Production Research*, **38** (10), 2233-2252.
- Rocha, P. L., Ravetti, M. G., Mateus, G. R. and Pardalos P. M.**, 2008: Exact algorithms for a scheduling problem with unrelated parallel machines and sequence and machine-dependent setup times, *Computers & Operations Research*, **35**, 1250-1264.
- Sabuncuoglu, I. and Karapınar, H. Y.**, 1999: Analysis of order review/release problems in production systems, *International Journal of Production Economics*, **62**, 259-279
- Saraç, T. ve Sipahioğlu, A.**, 2008: Plastik enjeksiyon makinalarının çizelgelenmesi problemi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, **20** (2), 2-14.

- Schutten, J. M. J. and Leussink R. A. M.**, 1996: Parallel machine scheduling with release dates, due dates, and family setup times. *International Journal of Production Economics*, **46**, 119-25.
- Shimayashiro, S., Isoda, K. and Awane, H.**, 1984: Input scheduling and load balance control for a job shop, *International Journal of Production Research*, **22** (4), 596-605.
- Shingo, S.**, 1985: A Revolution in Manufacturing: The SMED System, Çeviren: A.P. Dillon, *Productivity Press*, Oregon.
- Shingo, S.**, 1996: Quick Operators for operators: The SMED System, *Productivity Press*, Oregon.
- Sivrikaya-Şerifoğlu, F. and Ulusoy, G.**, 1999: Parallel machine scheduling with earliness and tardiness penalties, *Computers & Operations Research*, **26**, 773-787.
- Stevenson, M. and Silva, C.**, 2008: Theoretical development of a workload control methodology: evidence from two case studies, *International Journal of Production Research*, **46** (11), 3107-3131.
- Stevenson, M.**, 2006: Refining a Workload Control (WLC) concept: a case study, *International Journal of Production Research*, **44** (4), 767-790.
- Subramaniam, V., Rongling, Y., Ruifeng, C. and Singh, S. P.**, 2007: A WIP control policy for tandem lines, *International Journal of Production Research*, **1**,1-22.
- Tahar, D. N., Yalaoui, F., Chu, C. and Amodeo, A.**, 2006: A linear programming approach for identical parallel machine scheduling with job splitting and sequence dependent setup times, *International Journal of Production Economics*, **99**, 63-73.
- Tang, L., Liu, J., Rong, A. and Yang, Z.**, 2000: A multiple traveling salesman problem model for hot rolling scheduling in Shanghai Baoshan Iron & Steel Complex, *European Journal of Operational Research*, **124**, 267-282.
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Taheri, F., Bazzazi, M., Izadi, M., Sassani, F.**, 2009: Design of a genetic algorithm for bi-objective unrelated parallel machines scheduling with sequence-dependent setup times and precedence constraints, *Computers & Operations Research*, **26**, 3224-3230.
- Tucci, M. and Rinaldi, R.**, 1999: From theory to application: tabu search in textile production scheduling, *Production Planning & Control*, **10** (4), 365-374.
- Url-1** <<http://www.osun.org/%22fmea+4%22-ppt.html>>, alındığı tarih 15.07.2009.
- Van Ooijen, H. P. G. and Bertrand J. W. M.**, 2003: The effects of a simple arrival rate control policy on throughput and work-in-process in production systems with workload dependent processing rates, *International Journal of Production Economics*, **85**, 61-68.

- Wang, G. and Cheng, T. C. E.**, 2001: An approximation algorithm for parallel machine scheduling with a common server, *Journal of the Operational Research Society*, **52**, 234-237.
- Weng, M. X., Lu, J. and Ren, H.**, 2001: Unrelated parallel machine scheduling with setup consideration and a total weighted completion time objective, *International Journal of Production Economics*, **70**, 215-226.
- Weng, M. X., Wu, Z., Qi, G. and Zheng, L.**, 2008: Multi-agent-based workload control for make-to-order manufacturing, *International Journal of Production Research*, **8** (15), 2197-2213.
- Xing, W. and Zhang, J.**, 2000: Parallel machine scheduling with splitting jobs, *Discrete Applied Mathematics*, **103**, 259-269.
- Yalaoui, F. and Chu, C.**, 2003: An efficient heuristic approach for parallel machine scheduling with job splitting and sequence dependent set-up times, *IEE Transactions*, **35**, 183-190.
- Ying, K. C. and Cheng, H. M.**, 2010: Dynamic parallel machine scheduling with sequence-dependent setup times using an iterated greedy heuristic, *Expert Systems with Applications*, **37**, 2848-2852.

EKLER

EK A : Paralel Makinalarda İş Parçalarının Üretim Ortamına Gönderilmesi İle İlgili Matematiksel Programlama Modeline Ait Dash Optimization Xpress MP Kodu

EK B : Sıraya Bağımlı Hazırlık Süreli İş Parçalarının Çizelgelenmesine İle İlgili Matematiksel Programlama Modeline Ait Dash Optimization Xpress MP Kodu

EK C : KST Sürecindeki Hazırlık İşleri ve Bileşenleri

EK A : Paralel Makinalarda İş Parçalarının Üretim Ortamına Gönderilmesi İle İlgili Matematiksel Programlama Modeline Ait Dash Optimization Xpress MP Kodu

```
model " is_gonderme"
```

```
uses "mmxprs"
```

```
declarations
```

```
IS = 10
```

```
TUM = 0..IS
```

```
ISLER = 1..IS
```

```
BIR = 6..10
```

```
IKI = 1..5
```

```
MS = 2
```

```
MAKINALAR = 1..MS
```

```
HAZSUR: array(TUM,TUM) of real
```

```
ISSUR: array(ISLER) of real
```

```
VARSUR: real
```

```
x: array(TUM,TUM,MAKINALAR) of mpvar
```

```
z: array(ISLER) of mpvar
```

```
q: array(ISLER,MAKINALAR) of
```

```
end-declarations
```

```
initializations from 'is_siralama.dat'
```

```
HAZSUR ISSUR VARSUR
```

```
end-initializations
```

```
Gonis:= sum(i in ISLER) z(i)
```

```
forall(j in ISLER) sum(i in TUM| i<>j, k in MAKINALAR) x(i,j,k) = z(j)
```

```
forall(i in ISLER) sum(j in TUM| i<>j, k in MAKINALAR) x(i,j,k) = z(i)
```

```
forall(i in ISLER) sum(j in TUM| i<>j, k in MAKINALAR) k*x(i,j,k)-sum(j in
TUM| i<>j, k in MAKINALAR) k*x(j,i,k) = 0
```

```
forall(i in ISLER) z(i) = (sum(j in TUM| i<>j, k in MAKINALAR) x(i,j,k) + sum(p
in TUM| i<>p, k in MAKINALAR) x(p,i,k))/2
```

```
forall(i in ISLER, k in MAKINALAR) q(i,k) <= VARSUR*sum(j in TUM| i<>j)
x(i,j,k)
```

```
forall(k in MAKINALAR) sum(i in ISLER) x(0,i,k) <= 1
```

```
forall(i in ISLER, k in MAKINALAR) q(i,k) <= VARSUR +
(HAZSUR(0,i)+ISSUR(i)-VARSUR)*x(0,i,k)
```

```
forall(i,j in ISLER| i<>j, k in MAKINALAR) q(j,k) >= q(i,k) +
HAZSUR(i,j)+ISSUR(j) - VARSUR +VARSUR*x(i,j,k) + (VARSUR-
HAZSUR(i,j)-ISSUR(j)-HAZSUR(j,i)-ISSUR(i))*x(j,i,k)
```

```
forall(i in ISLER, k in MAKINALAR) do
```

```
q(i,k) >= (HAZSUR(0,i)+ISSUR(i))*sum(j in TUM| i<>j) x(i,j,k)
```

```
end-do
```

```
forall(i in BIR, j in IKI) z(i) - z(j) >= 0
```

```
forall(i,j in TUM | i<>j, k in MAKINALAR) x(i,j,k) is_binary
```

```
forall(i in ISLER) z(i) is_binary
```

```
maximize(Gonis)
```

```
writeln("Gonderilen is sayisi: ", getobjval)
```

```
forall(i in ISLER)
```

```
if(getsol(sum(k in MAKINALAR) x(0,i,k))>0) then
```

```
ct:=HAZSUR(0,i)
```

```
writeln(0, " -> ", i)
```

```
p:=i
```

```
while(p<>0) do
```

```
n:= integer(round(sum(j in TUM, k in MAKINALAR) j*getsol(x(p,j,k))))
```

```
writeln(p, " -> ", n)
```

```
ct+=HAZSUR(p,n)
```

```
p:=n  
end-do  
writeln("Makinadaki Toplam Hazirlik Suresi: ", ct)  
end-if  
  
end-model
```


EK B : Sıraya Bağımlı Hazırlık Süreli İş Parçalarının Çizelgelenmesine İle İlgili Matematiksel Programlama Modeline Ait Dash Optimization Xpress MP Kodu

```
model "is_siralama"  
uses "mmpxprs"  
  
declarations  
IS = 9  
ISLER=0..IS  
  
HAZSUR: array(ISLER,ISLER) of real  
  
x: array(ISLER,ISLER) of mpvar  
y: array(ISLER) of mpvar  
end-declarations  
  
initializations from 'is_siralama.dat'  
HAZSUR  
end-initializations  
  
Tophazsur:= sum(i,j in ISLER | i<>j) (HAZSUR(i,j))*x(i,j)  
  
forall(i in ISLER) sum(j in ISLER | i<>j) x(i,j) = 1  
forall(j in ISLER) sum(i in ISLER | i<>j) x(i,j) = 1  
  
forall(i in ISLER, j in 1..IS | i<>j) y(j) >= y(i) + 1 - IS * (1 - x(i,j))  
  
forall(i,j in ISLER | i<>j) x(i,j) is_binary  
  
minimize(Tophazsur)  
  
writeln("Toplam Hazirlik Suresi: ", getobjval)  
writeln("Is sırası:\nIs Hazirlik Suresi")
```

```
first:=0
repeat
  second:= integer(sum(j in ISLER | first<>j) j*getsol(x(first,j)) )
  writeln(" ", first, strfmt(HAZSUR(first,second),9))
  first:=second
until (second=0)

end-model
```

EK C : KST Sürecindeki Hazırlık İşleri ve Bileşenleri

Çizelge C.1 : 1 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		Program Girme		
Hazırlık İşinin Numarası:		1		
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)	
1	L-44	ESC Tuşuna Basılması	0,92	
2	L-44	B Tuşuna Basılması	0,92	
3	L-44	A Tuşuna Basılması ve Kesilecek Miktarın Yazılması	2,18	
4	L-44	"Enter" Tuşuna Basılması	0,92	
5	L-44	Bağ Sayısının Yazılması ve "Enter"e Basılması	3,31	
6	L-44	Kablo Boyunun "mm" olarak Girilmesi	2,43	
7	L-44	D Tuşuna Basılması ve Pres Seçeneklerine Girilmesi	1,11	
8	L-44	ESC Tuşuna Basılması	0,92	
9	L-44	C Tuşuna Basılması	0,92	
10	L-44	A veya B 'nin Seçilmesi	0,92	
TOPLAM			14,55	

Çizelge C.2 : 2 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		Bıçak Bloğunun Çıkarılması		
Hazırlık İşinin Numarası:		2		
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)	
1	N-25	Otomasyondan Gerekli Olan Uç Soyma Boyunun Okunması	4,89	
2	B-11	Koruma Kapağının Kaldırılması	2,28	
3	B-11	Üçlük Allen Anahtarın Alınması	2,59	
4	B-11	İki Adet Sıkma Vidasının Alınması	13,71	
5	B-11	Üst ve Alt Bıçak Bloğunun Alınması	4,49	
6	B-11	Blok Hazırlayıcısına Gidilmesi	9,22	
TOPLAM			37,18	

Çizelge C.3 : 3 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		Bıçak Bloğunun Hazırlanması		
Hazırlık İşinin Numarası:		3		
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)	
1	B-23	Dörtlük Allen Anahtarın Alınması	2,26	
2	B-23	Blok Mili Civatasının Açılması	6,36	
3	B-23	Milin Çıkarılması	9,82	
4	B-23	Kesilecek Kablonun Kesidine ve Uç Soyma Boyuna Göre Ara Parça, "Guide" ile Soyma Bıçağı Çizelgesine Bakılması	4,65	
5	B-23	Uygun Ara Parçanın Seçilmesi ve Alınması	11,42	
6	B-23	Ara Parça Montajının Yapılması	16,51	
7	B-23	"Guide" ve Soyma Bıçaklarının Kabloğunun Kesidine Göre Alınması ve Ara Parçaların Arasına Yerleştirilmesi	16,94	
8	B-23	Kesme Bıçaklarının Yerleştirilmesi	8,37	
9	B-23	Dörtlük Allen Anahtarın Alınması ve Blok Mili Civataları ile Bloğa Sabitlenmesi	9,17	
10	B-23	Soyma Bıçaklarının ve "Guide"ların Altında Boşluk Olup Olmadığının Kontrolü	8,18	
TOPLAM			93,68	

Çizelge C.4 : 4 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		Bıçak Bloğunun Takılması		
Hazırlık İşinin Numarası:		4		
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)	
1	B-31	Çalışma Bölgesine Gelinmesi	11,01	
2	B-31	Üst Bloğun Yuvasına Takılması	4,93	
3	B-31	Alt Bloğun Yuvasına Takılması	3,7	
4	B-31	Üçlük Allen Anahtarın Alınması	1,83	
5	B-31	İki Adet Sıkma Vidasının Sıkılması	11,4	
6	B-31	Koruma Kapağının Kapatılması	2,06	
7	C-42	Kablonun Soyulması ve Tel Kesigi Olup Olmadığının Kontrolü	9,72	
TOPLAM			44,65	

Çizelge C.5 : 5 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		Kablonun Makinadan Çıkarılması		
Hazırlık İşinin Numarası:		5		
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)	
1	C-11	Program Tamamlandıktan Sonra, Klavye Yardımıyla "0" Tuşuna Basılması	3,04	
2	C-11	Sürtünme Tambur Mandalının Yukarıya Kaldırılması ve Pedala Basılarak Kablonun Geri Çekilmesi	3,72	
3	C-11	Sepetin yada Makaranın Toplanması	21,74	
4	C-11	Mevcut Kablo Sepetinin yada Makaranın Uygun Yere Konması	10,49	
			TOPLAM	38,99

Çizelge C.6 : 6 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		Kablonun Makinaya Takılması		
Hazırlık İşinin Numarası:		6		
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)	
1	N-25	Otomasyondan Gerekli Olan Kablonun Okunması	5,12	
2	F-22	Gerekli Kablo Sepetinin (makaranın) Bulunması ve Sepetin Uygun Bir Yere Getirilmesi	33,33	
3	P-11	Kablo Merkezleyici Borusunun Çapının Kontrolü ve Uygun Değilse Değiştirilmesi	3,99	
4	C-31	Kablonun Alınması ve Sepet Şapkasından Geçirilmesi	10,56	
5	R-23	Kablo Ön Yolluğunun Uygun Çapa Getirilmesi	0,73	
6	C-31	Kablonun Yolluktan Geçirilmesi ve Sürtünme Tamburu Mandalının Kaldırılması	3,77	
7	C-31	Kablonun Birinci ve İkinci Makara Grubundan Geçirilmesi	17,8	
8	C-31	Kablo Ucunun Sürme Mekanizmasına Verilmesi	9,37	
9	C-31	Enkoder Düğmesine Basılarak Kablonun Sürülmesi	12,03	
10	C-31	Kablo Ucunun Traşlanması (Soyulması)	3,52	
			TOPLAM	100,22

Çizelge C.7 : 7 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		Parti Sonunda Numune Alma		
Hazırlık İşinin Numarası:		7		
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)	
1	E-42	Üç Tane Numune Alınması	10,82	
2	E-43	Ölçme ve Görsel Kontrolün Yapılması	40,85	
3	O-44	Numune Kontrolü Sonuçlarının Proses Kontrolü Kartına Kaydedilmesi	32,08	
4	D-11	Pres Bölgesine Gidilmesi.	3,27	
			TOPLAM	87,02

Çizelge C.8 : 8 veya 11 numaralı hazırlık işlerinin bileşenleri.

Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	D-11	Terminal Kilitleme Diline Basılması	1,95
2	D-11	Terminalin Geri Çekilmesi	2,01
3	D-11	Terminal Rulosu Sabitleyicisinin Çıkartılarak Terminal Rulosunun Alınması	5,66
4	D-11	Terminale Lastik Takılması	3,56
TOPLAM			13,18

Çizelge C.9 : 9 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	D-21	Terminal(ler)in Raftaki Yerine Götürülmesi	14,59
TOPLAM			14,59

Çizelge C.10 : 10 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	N-25	Otomasyondan Terminal(ler)in Okunması	5,83
2	D-24	Terminal Bölgesine Gelinmesi	13,62
TOPLAM			19,45

Çizelge C.11 : 12 veya 14 numaralı hazırlık işlerinin bileşenleri.

Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	D-22	Terminalin Bulunması ve Raftan Alınması	18,57
TOPLAM			18,57

Çizelge C.12 : 13 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		Terminal(ler)in Makinaya Getirilmesi	Ort. Süre
Hazırlık İşinin Numarası:		13	(Saniye)
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	
1	D-24	Terminal(ler)in Makinanın Yanına Getirilmesi	14,59
TOPLAM			14,59

Çizelge C.13 : 15 veya 16 numaralı hazırlık işlerinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		1. Ucun Terminalinin Kalıba Takılması - 2. Ucun Terminalinin Kalıba Takılması	Ort. Süre
Hazırlık İşinin Numarası:		15-16	(Saniye)
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	
1	D-31	Terminal Rulosu Milinin Bağlama Aparatı Alınarak Terminal Rulosunun Takılması ve Sabitlemesi.	19,37
3	D-31	Terminal Uçunun Alınması	6,95
4	A-31	Kalıp Basıcısının Yukarı Doğru Kaldırılması	4,13
5	D-31	Terminalin Yolluk Boyunca İtilmesi	2,6
6	A-41	Kalıbın Ayar Kademesinin Kontrol Edilmesi	7,62
7	A-41	Kalıbın Kilogram Ayar Değeri Farklıya İstenen Değere Getirilmesi	9,39
8	A-41	İzole Ayarının Yapılması	5,61
9	A-41	Presi Elle Çevirmeye Uygun Anahtarın Alınması	4,91
10	A-41	Prese El İle Bir Tur Attırılarak 1. Terminalin Görsel Kontrol İçin Basılması	11,2
11	A-41	Görsel Olarak Pah, Çapak ve Adım Kontrolünün Yapılması	11,43
12	A-41	Adım Uygun Değilse, Kalıp İticiyi Yukarı Doğru Kaldırılarak Terminalin İleriye İtilmesi	
13	A-41	Pah yada Çapak Ayarı Uygun Değilse, Ayar Vidasından Ayar Yapılması	16,23
14	A-41	Tekrar Elle Çevrilerek Bir Adet Numune Alınması	5,2
15	A-41	Numune Uygun Değilse, Kalıpcı ve Kaliteci ile İrtibat Kurulması	1,4
16	A-41	Kalıpcı Tarafından Ayar Edilerek Numune Kontrolü Yapılması	8,68
17	A-41	Eğer Uygun Değilse, Kalıp Çıkartılarak İşlem Yapılması	
30	A-41	Kalıbın Takılarak Numune Alınması	
31	A-42	Çalışma Bölgesine Gelinmesi	
TOPLAM			114,72

Çizelge C.14 : 17 veya 20 numaralı hazırlık işlerinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		1. Ucun Kalıbının Çıkarılması - 2. Ucun Kalıbının Çıkarılması	
Hazırlık İşinin Numarası:		17-20	
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	A-11	Pres Tablasındaki Sabitleme Cıvatasının Gevşetilmesi ve Kalıbın Alınması	7,93
2	A-11	Çalışma Bölgesine Gelinmesi ve Kalıp ile Evrakların Çantaya Konulması	18,21
TOPLAM			26,14

Çizelge C.15 : 18 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		Kalıp(lar)ın Raftaki Yerine Götürülmesi	
Hazırlık İşinin Numarası:		18	
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	A-21	Kalıp(lar)ın Raftaki Yerine Götürülmesi	12,52
TOPLAM			12,52

Çizelge C.16 : 19 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		Kalıp(lar)ın Okunması	
Hazırlık İşinin Numarası:		19	
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	N-25	Otomasyondan Gerekli Olan Kalıp(lar)ın Okunması	5,43
2	A-24	Kalıp Bölgesine Gelinmesi	10,42
TOPLAM			15,85

Çizelge C.17 : 21 veya 23 numaralı hazırlık işlerinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		1. Ucun Kalıbının Bulunması - 2. Ucun Kalıbının Bulunması	
Hazırlık İşinin Numarası:		21-23	
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	A-22	Kalıp Çantasının Bulunması ve Raftan Alınması	14,05
TOPLAM			14,05

Çizelge C.18 : 22 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:	Kalıp(lar)ın Makinaya Getirilmesi		
Hazırlık İşinin Numarası:	22		
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	A-24	Kalıp(lar)ın Makinanın Yanına Getirilmesi	12,52
TOPLAM			12,52

Çizelge C.19 : 24 veya 26 numaralı hazırlık işlerinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:	1. Uçun Kalıbının Hazırlanması - 2. Uçun Kalıbının Hazırlanması		
Hazırlık İşinin Numarası:	24-26		
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	A-23	Kalıp Çantasının Bakım Masası Üstünde Açılması	4,33
2	A-23	Kalıbın Basıcı Grubunun Çıkartılması	3,66
3	A-23	Kalıbın Kamasının Makine İçin Uygunluğunun Kontrolü	3,2
4	A-23	Kamanın Uygun Değilse Değiştirilmesi	17,33
5	A-23	Kalıbın Kalıp Kutusu İçine Konması	6,98
6	A-24	Kalıp Çantası Yerine Konarak Kalıbın Çantadan Çıkartılması	16,24
TOPLAM			51,74

Çizelge C.20 : 25 veya 27 numaralı hazırlık işlerinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:	1. Uçun Kalıbının Montajı - 2. Uçun Kalıbının Montajı		
Hazırlık İşinin Numarası:	25-27		
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	A-31	Kalıbın Prese Montajı	10,68
TOPLAM			10,68

Çizelge C.21 : 28 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:	Kablonun Röperden Çıkartılması		
Hazırlık İşinin Numarası:	28		
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	U-11	Röper Mandalının Yukarı Kaldırılması	2,62
2	C-11	Kablonun Geri Çekilmesi	3,26
TOPLAM			5,88

Çizelge C.22 : 29 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	S-23	Röper Bilgisinin Okunması ve Kablo Çapına Göre Kızağın Değiştirilmesi	2,91
2	C-31	Kablonun Ön Yolluktan Geçirilmesi	2,98
3	C-31	Doğrultucu Makaraları Önyolluğundan ve Birinci ve İkinci Makara Gruplarından Geçirilmesi	8,2
4	C-31	Kablonun Röper Yoluğundan Geçirilmesi, Röper Mandalının Yukarı Kaldırılması ve Kablonun Geçirilmesi	5,46
5	C-31	Kablonun Röper Çıkış Yoluğundan Geçirilmesi	2,46
6	U-41	Röper Numara (Çizgi) Ayarının Yapılması	11,31
7	U-41	Röper Ayar Tablosundan Röper Mesafesinin Okunması, Ölçünün Kontrolü ve Gerekli Ölçüye Alınması	34,99
8	U-41	Eğer Röper Bandının Değişmesi Gerekliyse, Bant Mandallarının Elle Açılması	1,41
9	U-41	Muhafaza ve Mandalın Alınması	4,08
10	U-41	Eski Bandın Alınarak Yeni Bandın Takılması	5,78
11	U-41	Muhafaza ve Mandalın Sabitlemesi	3,4
12	U-41	Birinci Bandın Ucunun Alınması ve Üç Adet Makaradan Geçirilerek Sarma Tamburuna Sabitlemesi	7,42
13	U-41	İkinci Bandın Ucunun Alınması ve Üç Adet Makaradan Geçirilerek Sarma Tamburuna Sabitlemesi	8,07
14	C-42	Kablodan Röperin Kontrolü için Numune Alınması	13,7
15	C-43	Numunenin Kontrol Edilmesi	13,95
16	U-41	Numune Uygun Değilse, Röper Mesafesinin Tekrar Kontrolü ve Düzeltilmesi	36,65
17	C-43	Numune Alınması ve Kontrol Edilmesi	9,17
TOPLAM			171,94

Çizelge C.23 : 30 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		Numune Alma ve Kalıp-Terminal Ayarı	
Hazırlık İşinin Numarası:		30	
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	E-42	Programdan "e" Tuşu ile Numune Alınması	10,94
2	E-43	Numunenin Görsel Kontrolünün Yapılması	5,3
3	A-41	İzole Sıklık Ayarı Uygun Değilse, 2.5 Allen Anahtarla İzole Kademesi Ayarının Yapılması	13,64
4	E-43	Numuneden Sonra Tekrar Kontrol Edilmesi	6,66
5	A-41	Eğer Uygun Değilse, Tekrar Ayar Yapılması	14,63
6	E-43	Numune Alınp Kontrol Edilmesi	5,67
7	P-41	İzole Ayarı Uygun Değilse, Ayar Kolunu Çevirmeye Uygun Anahtar Alınarak Ayar Yapılması	11,42
8	E-43	İzolesi Uygun Numunenin Mikrometre ile Çap Kontrolünün Yapılması.	18,27
9	J-43	Ölçüsel Değer Uygun Değilse, Mikrometrenin Kontrol Edilmesi	
10	A-41	Eğer Mikrometre Uygun ise, Kalıpcı ve Kaliteci ile İrtibat Kurulması.	
11	A-41	Kalıba Yeni Ölçü Verilmesi veya Tanburundan Ayar Edilmesi	
12	A-41	Diğer Bir Durumda Kalıbın Çıkartılması, Kontrol Edilerek Yerine Konması	
13	E-42	Numune Uygunsa, İki Tane Numune Daha Alınması	7,83
14	E-43	Son İki Numunenin Mikrometre ile Çapının, Ayrıca Göz ile Görsel Kontrolünün Yapılması	40,85
15	O-44	Üç Numune Değerinin Proses Kontrol Kartına Kayıt Edilmesi	35,87
16	L-44	Programın Girilmesi	10,67
17	E-42	Bir Tane Üretilecek Boyda Numune Alınması	3,49
18	E-43	Numunenin Boy Kontrolünün Yapılması	8,83
19	M-44	Programın Bilgi Formuna Kaydedilmesi	25,17
TOPLAM			219,24

Çizelge C.24 : 31 numaralı hazırlık işinin bileşenleri.

Hazırlık İşinin Adı:		Numune İçin Çekme Testi Uygulanması	
Hazırlık İşinin Numarası:		31	
Sıra No	Kodu	Hazırlık Bileşeni	Ort. Süre (Saniye)
1	E-43	Yüksekliği Ölçülmüş Numuneler Alınır Çekme Cihazının Bulunduğu Yere Gidilmesi	16,08
2	E-43	Birinci Numunenin Cihaza Takılması	12,81
3	E-43	Numunenin Çekilmesi	6,11
4	O-44	Çıkan Sonucun Proses Kontrol Kartına Kaydedilmesi	32,67
5	E-43	İkinci Numunenin Cihaza Takılması	12,39
6	E-43	Numunenin Çekilmesi	6,13
7	O-44	Çıkan Sonucun Proses Kontrol Kartına Kaydedilmesi	32,75
8	E-43	Çalışma Bölgesine Geri Dönülmesi	16,49
TOPLAM			135,43

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Emre ÇEVİKCAN

Doğum Yeri ve Tarihi: 09/06/1981 - İstanbul

Lisans Üniversitesi: Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği

Yüksek Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği

Yayın Listesi:

- **Cevikcan, E.**, Durmusoğlu, M. B., Unal, M. E., 2009. A Team-Oriented Design Methodology for Mixed Model Assembly Systems, *Computers and Industrial Engineering*, 56, 576-599.
- **Cevikcan, E.**, Cebi, S., Kaya, I., 2009. Fuzzy VIKOR and Fuzzy Axiomatic Design Versus to Fuzzy Topsis: An Application of Candidate Assessment, *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, 15, 181-208.
- Ustundag, A., **Cevikcan, E.**, 2008. Vehicle Route Optimization for RFID Integrated Waste Collection System, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 7(4), 611-625.
- Ustundag, A., **Cevikcan, E.**, Kilinc, M. S., 2009. Fuzzy Rule Based Risk Evaluation Model for Real Estate Investments, *Proceedings of the 2nd International Conference on Risk Analysis and Crisis Response*, October 19-21, Beijing, China, 130-135.
- Ustundag, A., Kilinc, M. S., **Cevikcan, E.**, 2008. Fuzzy Rule Based System For the Economic Analysis of RFID Investments, *Proceedings of the 8th International FLINS Conference on Applied Artificial Intelligence*, Madrid, Spain, 21- 24 September, 1051-1056.
- **Cevikcan, E.**, Durmusoğlu, M. B., 2007. Simulation Based Worker Transfer System for Mixed Model Team Oriented Assembly Lines, *Proceedings of the 37th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, Alexandria, Egypt, 1557-1564.
- **Cevikcan, E.**, Cebi, S., Kaya, I., 2007. The Assesment of Candidate for Nurse Position via Fuzzy Topsis, *Proceedings of 10th Joint Conference on Information Sciences*, July 18-24, Marriott Salt Lake City Center, Salt Lake City, Utah, U.S.A, 1120-1124.
- Ustundag, A., **Cevikcan, E.**, Cebi, S., 2007. Evaluating AUTO-ID Systems

Using Fuzzy Analytic Hierarchical Process, *Proceedings of 10th Joint Conference on Information Sciences*, July 18-24, Marriott Salt Lake City Center, Salt Lake City, Utah, U.S.A, 1023-1028.

- **Cevikcan, E.**, Kabadurmus, O., Orcun, O., 2007. An Integrated Optimization-AHP Approach to Design Logistics Network, *Proceedings of the 11th IFAC Symposium on Computational Economics & Industrial Systems*, October 9-11, Dogus University, Istanbul, Turkey, 151-156.
- Ince, O., Behret, H., **Cevikcan, E.**, Yenisey, M. M., 2007. TSP Based Flowshop Scheduling via Nearest Neighbour Algorithm, *Proceedings of the 11th IFAC Symposium on Computational Economics & Industrial Systems*, October 9-11, Dogus University, Istanbul, Turkey, 387-390.
- Ustundag, A., Baysan, S., **Cevikcan, E.**, 2007. A Conceptual Framework for Economic Analysis of RFID Reverse Logistics via Simulation, *Proceedings of the 1st RFID Eurasia Conference*, September 5-6, Istanbul, Turkey, 313-317.
- Ustundag, A., **Cevikcan, E.**, 2007. Return on Investment Analysis for the Evaluation of RFID Implementation on Cargo Operations, *Proceedings of the 1st RFID Eurasia Conference*, September 5-6, Istanbul, Turkey, 318-322.
- Ustundag, A., **Cevikcan, E.**, 2007. Vehicle Route Optimization for RFID Integrated Waste Collection System, *Proceedings of the 1st International Conference on Risk Analysis and Crisis Response*, September 25-26, Shanghai, China, 155-160.
- **Cevikcan, E.**, Durmusoğlu, M. B., Unal, M. E., 2006. A Team-Oriented Design Methodology for Mixed Model Assembly Systems, *Proceedings of the 36th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, Taipei, Taiwan, 1869-1881.
- Kaya, İ., Kılınç, M. S., **Çevikcan, E.**, 2008. Makine-Techizat Seçim Probleminde Bulanık Karar Verme Süreci, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 576, 8-14.
- **Çevikcan, E.**, Durmuşoğlu, M. B., 2006. Montaj Hatlarında Model Sıralarının Benzetim Yardımıyla Karşılaştırılması, *VI. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 22-23 Eylül, İstanbul Kültür Üniversitesi, 13-27.