

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MELEZ ÜRETİM SİSTEMİNDE CONWIP KONTROLÜ VE PARTİ
BÖLMESİNİN BİRLİKTE MODELLENMESİ**

Doktora TEZİ

Canan AĞLAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Anabilim Dalı : Herhangi Mühendislik, Bilim

Programı : Herhangi Program

KASIM 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MELEZ ÜRETİM SİSTEMİNDE CONWIP KONTROLÜ VE PARTİ
BÖLMESİNİN BİRLİKTE MODELLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Canan AĞLAN
(507092108)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU
Anabilim Dalı : Herhangi Mühendislik, Bilim
Programı : Herhangi Program**

KASIM 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507092108 numaralı Doktora Öğrencisi **Canan AĞLAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MELEZ ÜRETİM SİSTEMİNDE CONWIP KONTROLÜ VE PARTİ BÖLMESİNİN BİRLİKTE MODELLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Semih ÖNÜT**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Şule İtir SATOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Emre Çevikcan
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. H. Selçuk Kılıç
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : 27 Ekim 2014
Savunma Tarihi : 28 Kasım 2014

Aileme,

ÖNSÖZ

Günümüz koşullarında üretim sistemlerinin amacı, standart ürünlerin hızlı bir şekilde üretilmesinin yanı sıra, müşteriye özel ürünlerin hızlı ve kaliteli bir şekilde üretilmesi olmuştur. Geleneksel üretim kontrol yöntemleri bu amaca ulaşmada yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, modern üretim kontrol yöntemlerinin uygulamaya geçirilmesi rekabette güç kaybetmemek açısından büyük önem taşımaktadır. Modern üretim kontrol yöntemleri, müşteri isteklerine hızlı yanıt verebilen, kalitenin üst düzeyde tutulduğu yöntemlerdir.

Tez çalışmasında, melez bir üretim sisteminde kullanılabilecek CONWIP üretim kontrolünü ve parti bölmesini içeren matematiksel modeller önerilmiştir. Çalışmada amaç literatürdeki boşluğun kapatılmasının yanı sıra, pratik hayat problemlerinde karşılaşılabilecek olası durumların çözümüne yol göstermektir.

Tez çalışması boyunca bana en büyük yol gösterici olan, engin tecrübelerini, ilgisini, sözlerle ifade edemeyeceğim kadar fazla desteğini esirgemeyen en değerli hocam Prof. Dr. M. Bülent Durmuşoğlu'na en içten şükranlarımı sunarım. Doktora eğitimim boyunca en şanslı olduğum nokta Prof. Dr. M. Bülent Durmuşoğlu ile tez çalışmak olduğuna inanıyorum. Kendisinin azimli, kararlı, sevecen, yol gösterici karakteri sayesinde uzun ve zorlu bir yolculuğu tamamlayabildim.

Tez çalışması boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme çok teşekkür ederim. Üzerinde çalıştığım matematiksel modeller konusunda benden yardımlarını esirgemeyen çok sevgili çalışma arkadaşım Ar. Gör. M. Umut İzer'e teşekkürlerimi sunarım.

Doktora öğrenimim boyunca bursiyeri olduğum, maddi açıdan bana destek olan TÜBİTAK'a çok teşekkür ederim.

Geliştirdiğim modelin uygulama aşamasında bana yardımcı olan ROYAL Conta Üretim müdürü Sayın Ali Rıza Karaören'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ekim 2014

Canan Ağlan
(Endüstri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Üretim Sistemi Çeşitleri	4
1.1.1 Akış tipi üretim sistemi (ing. flow shop)	4
1.1.2 Atölye tipi üretim sistemi (ing. job shop)	5
1.1.3 Hücreli üretim sistemi.....	6
1.1.4 Melez üretim sistemi	7
1.2 Parti Bölmesi	9
1.3 Parti Bölmesi Terminolojisi	11
1.3.1 Tutarlı, değişken ve eşit alt partiler.....	11
1.3.2 Partiye bağlı olan ve partiye bağlı olmayan hazırlık.....	12
1.3.3 Kesintisiz parti işleme	12
1.3.4 Kesintili parti işleme	12
1.3.5 Başlama ve bitme arası boş kalma süreleri (ing. Run-in Run-out times) .	12
1.3.6 Başlama ve bitiş gecikmesi	13
1.3.7 Transfer gecikmesi	13
1.3.8 Boş kalmama.....	13
1.3.9 Aralıklı boş kalma	14
1.3.10 Beklemesiz akış.....	14
1.4 Melez Üretim Kontrol Sistemleri	14
1.4.1 CONWIP (Constant Work in Process).....	14
1.4.1.1 CONWIP montaj hatları için WIP belirlenmesi.....	16
1.4.2 Ürün aileleri için CONWIP sayısı hesaplanması	16
1.4.3 İş yüküne dayalı kontrol (ing. Work load control).....	17
1.4.4 Periyodik parti kontrolü (ing. Periodic batch control)	18
2. YAYIN TARAMASI.....	21
3. CONWIP ÜRETİM KONTROLÜ VE PARTİ BÖLMESİ İÇİN	
ÖNERİLEN MATEMATİKSEL MODELLERİN ANALİZİ	33
3.1 CONWIP Üretim Kontrolü İçin Geliştirilen Matematiksel Modeller.....	33
3.2 Akış Tipi Atölyede Parti Bölmesi Matematiksel Modelleri.....	39
3.2.1 Model 1 için önerilen matematiksel model	40
3.2.2 Model 2 için önerilen matematiksel model	43
3.2.3 Model 3 için önerilen matematiksel model	44
3.2.4 Model 4 için önerilen matematiksel model	45

4. MELEZ ÜRETİM SİSTEMİ İÇİN PARTİ BÖLMELİ CONWIP ÜRETİM KONTROLÜNE YÖNELİK GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELLER.....	47
4.1 Matematiksel Modeller.....	47
4.1.1 CON_LSPT modeli.....	49
4.1.2 CON_LOT modeli	52
4.1.3 PUSH_LSPT modeli.....	55
4.1.4 PUSH_LOT modeli	58
4.2 Önerilen Modellerin Hipotetik Örnek Üzerinde Uygulanması	60
4.3 Hipotetik Örnek Gelecek Durum Haritası	63
4.4 Önerilen Matematiksel Modellerin Örnek Üzerinde Uygulanması.....	65
4.4.1 Değişkenlik katsayısı değerlerinin ortalama temin süresi üzerindeki etkisi	69
4.4.2 Hazırlık süresi azaltma oranının ortalama temin süresi üzerindeki etkisi.....	73
4.4.3 Talep büyüklüğünün ortalama temin süresi üzerindeki etkisi.....	74
5. CONWIP ÜRETİM KONTROLÜ İÇİN PARTİ BÖLMELİ BİR SİRALAMA SEZGİSELİ	75
5.1 Tek Bloke Mekanizmalı Sezgisel İçin Elde Edilen Başlangıç Çözümü.....	78
5.2 Alt Parti Büyüklüklerinin Bulunması	79
5.3 Tek Bloke Mekanizmalı Sıralama Sezgiseli.....	82
5.4 CON_LSPT Modelinin Literatürden İki Farklı Sezgisel Yöntem ile Karşılaştırılması.....	91
5.4.1 FTMIH sezgiseli.....	92
5.4.2 Kalir ve Sarin (2003) sezgiseli	93
5.4.3 FTMIH, Kalir ve Sarin (2003), tek bloke mekanizmalı sıralama sezgiseli ve matematiksel modelden elde edilen sonuçların karşılaştırılması	94
6. PARTİ BÖLMELİ CONWIP ÜRETİM KONTROLÜ İÇİN GERÇEK BİR UYGULAMA	97
6.1 Royal Conta’da Yalın Uygulamalar ve Değer Akış Yönetimi	98
6.2 Matematiksel Modellerin İncelenen Sistem Üzerinde Uygulanması	104
6.3 Tek Bloke Mekanizmalı Sezgiselin Gerçek Modele Uygulanması.....	106
6.3.1 Tek bloke mekanizmalı sezgiselin 7 parça tipine uygulanması	106
6.3.2 Tek bloke mekanizmalı sezgiselin 15 ürün tipi için uygulanması	111
7. SONUÇLAR	115
KAYNAKLAR.....	117
ÖZGEÇMİŞ.....	125

KISALTMALAR

CONWIP	: Constant Work In Process
CT	: Cycle Time (Çevrim süresi)
CV	: Coefficient of Variation
DAH	: Değer Akış Haritalandırma
DHS	: Düşük Hazırlık Süresi
DK	: Değişkenlik Katsayısı
FIFO	: First In First Out
FTMIH	: Flow Time Multiple Insertion Heuristic
JIT	: Just In Time
MGP	: Malzeme Gereksinim Planlaması
MTO	: Make To Order (Sipariş Göre Üretim)
OTED	: One Touch Exchange of Dies (Hazırlık süresi düşürme tekniği)
NOTED	: None Touch Exchange of Dies (Hazırlık süresi düşürme tekniği)
POLCA	: Paired cell Overlapping Loops of Cards with Authorization
SMED	: Single Minute Exchange of Dies (Hazırlık süresi düşürme tekniği)
TH	: Through Put (Birim Zamandaki Çıktı Miktarı)
YHS	: Yüksek Hazırlık Süresi
WIP	: Work In Process (Yarı Mamul)
ZB	: Zaman Birimi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Literatürün amaç, ortam ve uygulama açısından değerlendirilmesi.....	26
Çizelge 2.2: Literatürün kontrol yapısı ve sistem parametresi açısından incelenmesi.	27
Çizelge 2.3 : Parti bölmesi çalışmalarının kriterlere göre değerlendirilmesi.	31
Çizelge 3.1 : CONWIP çalışmalarının değerlendirilmesi.....	37
Çizelge 3.2 : CONWIP çalışmalarında incelenmeyen durumlar.	38
Çizelge 3.3 : Parti bölmesi modellerinin özellikleri.	39
Çizelge 4.1 : Parça makina matrisi.	65
Çizelge 4.2 : Değişkenlik katsayısı değerleri.	66
Çizelge 4.3 : Düşük değişkenlik altında işlem süreleri.....	67
Çizelge 4.4 : Yüksek değişkenlik altında işlem süreleri.....	67
Çizelge 4.5 : Hücreler için sıraya bağımlı hücre hazırlık süresi değerleri.....	68
Çizelge 4.6 : Fonksiyonel bölüm için sıraya bağımlı hazırlık süresi değerleri.	68
Çizelge 4.7 : Tüm senaryolarda elde edilen ortalama temin süresi değerleri.....	69
Çizelge 4.8 : Tüm senaryolardan elde edilen sıralamalar ve kart sayıları.	70
Çizelge 4.9 : Yüksek talep koşullarında alt parti büyüklükleri.	71
Çizelge 4.10 : Düşük talep koşullarında alt parti büyüklükleri.	71
Çizelge 4.11 : CON_LSPT senaryosunun uygulanması ile ortalama temin süresindeki düşüş yüzdeleri.	72
Çizelge 4.12 : PUSH_LSPT modelinin uygulanması ile ortalama temin süresindeki düşüş yüzdeleri.	72
Çizelge 4.13 : CON_LOT senaryosunun uygulanması ile ortalama temin süresindeki düşüş yüzdeleri.	72
Çizelge 5.1 : <i>Skij</i> değerleri.....	78
Çizelge 5.2 : <i>Skij</i> değerleri.....	79
Çizelge 5.3 : Maksimum <i>Skij</i> kuralı ile elde edilen sıralamalar.	79
Çizelge 5.4 : <i>Adım 1</i> a) ve b) uygulanması ile elde edilen alt parti büyüklükleri.....	81
Çizelge 5.5 : <i>Adım 2</i> ’nin uygulanması ile elde edilen alt parti büyüklükleri.	81
Çizelge 5.6 : <i>Adım 2</i> ’nin uygulanması ile elde edilen nihai alt parti büyüklükleri...82	
Çizelge 5.7 : 2. ve 3. ürünler için sıralama değerleri.....	89
Çizelge 5.8 : 2., 3. ve 4. ürünler için sıralama değerleri.	90
Çizelge 5.9 : 1., 2., 3. ve 4. ürünler için sıralama değerleri.....	90
Çizelge 5.10 : 1.,2., 3.,4. ve 6. ürünler için sıralama değerleri.....	90
Çizelge 5.11 : 1.,2.,3.,4.,5. ve 6. ürünler için sıralama değerleri.	90
Çizelge 5.12 : 1.,2., 3.,4.,5.,6. ve 7. ürünler için sıralama değerleri.	91
Çizelge 5.13 : 1.,2.,3.,4.,5.,6.,7. ve 8. sıradaki ürünler için sıralama değerleri.	91
Çizelge 5.14 : Matematiksel model ile sezgisellerin karşılaştırılması.....	96

Çizelge 6.1 : Hücre öncesi,sonrası ve parti bölmeli CONWIP üretim kontrolü sonrası elde edilen iyileşmeler.	103
Çizelge 6.2 : 1 no’lu ürün için MLS alt-üst hücresinde çevrim süresi hesaplaması.	104
Çizelge 6.3 : 1 no’lu ürüne ait çevrim süresi değerleri.	104
Çizelge 6.4 : Matematiksel modelden elde edilen ortalama temin süresi, sıralama, CPU zamanları.	105
Çizelge 6.5 : DHS kurgusunda ortalama temin süresi,sıralama,CPU zamanları.....	106
Çizelge 6.6 : 7 Parça tipi için işlem süreleri ve talep değerleri.	107
Çizelge 6.7 : Alt parti bulma sezgiseli ilk aşama.	108
Çizelge 6.8 : Alt parti bulma sezgiseli ikinci aşama.	108
Çizelge 6.9 : Alt parti bulma sezgiseli ikinci aşama tekrar.	108
Çizelge 6.10 : Nihai alt parti büyüklükleri.	108
Çizelge 6.11 : Tek blokeli sezgiselin 7 ürün tipine uygulanması sonucu elde edilen nihai sıralamalar.	109
Çizelge 6.12 : 15 ürün tipi için işlem süreleri ve talep değerleri.	110
Çizelge 6.13 : Alt parti bulma sezgiseli ilk aşama.	110
Çizelge 6.14 : Alt parti bulma sezgiseli ikinci aşama.	112
Çizelge 6.15 : Alt parti bulma sezgiseli ikinci aşama tekrar.	112
Çizelge 6.16 : Nihai alt parti büyüklükleri.	112
Çizelge 6.17 : Tek blokeli sezgiselin 15 ürün tipine uygulanması sonucu elde edilen nihai sıralamalar.	113

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Akış tipi üretim sistemi.	5
Şekil 1.2 : Fonksiyonel yerleşime sahip üretim sistemi.	6
Şekil 1.3 : Hücresel üretim sistemi.	7
Şekil 1.4 : Melez üretim sistemi.	8
Şekil 1.5 : Parti üretimi, parti bölmesi, tek parça akışı.	9
Şekil 1.6 : Parti bölmesiz tamamlanma zamanı, parti bölmeli tamamlanma zamanı.	10
Şekil 1.7 : Tutarlı, değişken alt partiler.	11
Şekil 1.8 : Eşit alt partiler.	11
Şekil 1.9 : Partiye bağlı olan, partiye bağlı olmayan hazırlık.	12
Şekil 1.10 : Başlama ve bitiş boş kalması.	13
Şekil 1.11 : CONWIP üretim kontrol sistemi.	15
Şekil 1.12 : CONWIP montaj hattı.	16
Şekil 4.1 : YDK, YHS durumda üretim ortamı mevcut durum değer akış haritası..	62
Şekil 4.2 : Hücre ve fonksiyonel bölümde üretilen ürünler için dolaşım şeması.	63
Şekil 4.3 : Hipotetik örnek gelecek durum değer akış haritası.	64
Şekil 4.4 : YHS ve DHS kurgularında ortalama temin süreleri.	73
Şekil 5.1 : Tek bloke mekanizmalı sezgisel yöntem akışı.	77
Şekil 5.2 : Tek bloke mekanizmalı sezgisel hesaplama adımları.	84
Şekil 6.1 : Çok katlı çelik conta ve contanın motor üzerindeki yeri.	98
Şekil 6.2 : Mevcut durum değer akış haritası.	100
Şekil 6.3 : Gelecek durum değer akış haritası.	102
Şekil 6.4 : MLS alt-üst hücresi.	103

MELEZ ÜRETİM SİSTEMİNDE CONWIP KONTROLÜ VE PARTİ BÖLMESİNİN BİRLİKTE MODELLENMESİ

ÖZET

Akış tipi yerleşime sahip üretim hücrelerinin ve fonksiyonel yerleşime sahip üretim birimlerinin bir arada bulunduğu, melez üretim sistemlerinde, yalnızca çekme üretim kontrolüne dayalı kanban kontrolünün uygulanması mümkün değildir. Fonksiyonel birimlerde uygulanacak olan kanban kontrolü, ürünlerin izledikleri rota karmaşıklığından, talebin değişkenliğinin fazla olmasından ötürü mümkün olmamaktadır. Böyle durumlarda uygulanması önerilen CONWIP (ing. Constant Work in Process) kontrolü ile birlikte, sipariş listesi oluşturulmakta ve süreç içi stokun sabit kalması sağlanmaktadır.

Çekme kontrolünün uygulandığı üretim hücrelerinde, ürünlerin akışı karmaşık olmadığı için, tek parça akışının uygulanması mümkün olmaktadır. Ancak melez üretim ortamlarında ürünler, hücrelerin yanı sıra fonksiyonel alanlarda da işlem gördüğü için, tek parça akışının uygulanması gereksiz malzeme taşımaya sebep olacağından, tek parça akışı yerine parti bölmesi önerilmektedir.

Tez çalışmasında, melez üretim sistemi için önerilen CONWIP üretim kontrolü ve parti bölmesi matematiksel modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller GAMS optimizasyon yazılımı kullanılarak, çözülmüştür. Modellerin çıktısı, optimal alt parti büyüklükleri, ürün sıralaması ve sistemdeki yarı mamul sayısıdır.

Geliştirilen matematiksel modeller, işlem süresi değişkenliği (DK), talep büyüklüğü ve hazırlık süresi azaltma oranının (DHS, YHS) farklı seviyelerinde incelenerek, CONWIP üretim kontrolünün ve parti bölmesinin ayrı ayrı ve birlikte ortalama temin süresi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Geliştirilen matematiksel modeller NP-zor sınıfı modeller olduğu için, problem boyutunun büyümesi durumunda yararlanılabilecek, ortalama temin süresini minimize eden tek bloke mekanizmalı sezgisel bir yöntem önerilmiştir.

Matematiksel modeller ve tek bloke mekanizmalı sezgisel yöntem, hipotetik ve gerçek örnekler üzerinde uygulanmıştır. Hipotetik örnekten elde edilen sonuçlara göre parti bölmesinin ve CONWIP üretim kontrolünün bir arada bulunduğu durumlar, tüm senaryolarda ortalama temin süresi açısından, diğer durumlara göre üstünlük sağlamıştır. Matematiksel modellerin farklı durumlarda incelenmesi ile birlikte işlem süresi değişkenliğinin etkisi, incelenen diğer parametrelere göre ortalama temin süresi üzerindeki etkisinin fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Önerilen tek bloke mekanizmalı sezgisel yöntem ile matematiksel modeller karşılaştırılmış, sonuç olarak önerilen sezgisel yöntem ile matematiksel model arasındaki farkın kabul edilebilir olduğu görülmüştür.

MODELLING OF HYBRID MANUFACTURING SYSTEM WITH LOT SPLITTING UNDER CONWIP PRODUCTION CONTROL

SUMMARY

Customer demand for ‘high-volume and low-variety’ products is shifting to customised products, and competition is getting more intense. As the number of product types increases, meeting demand promptly requires more flexibility. Thus, standardisation of operations is an important point to respond quickly to changes.

The standardisation of operations requires dedicating different machines to similar product types. That is what cellular manufacturing means. In cellular manufacturing, the equipment required for all products are known in advance. However, for customised products, the design, volume and routes of products are highly variable. Thus, in addition to cellular layouts, the functional layouts in which all the equipment that functions similarly are close to each other also takes place in real manufacturing environment.

In hybrid manufacturing environments where flow shop production units and functional departments exist together, a production control mechanism which relies purely on pull principles is not possible. The kanban production control on functional departments would cause lead time increases because of route complexity and demand variability. CONWIP (CONstant Work In Process) production control need to be applied in hybrid environments. By applying CONWIP production control, the production sequence would be found and the WIP (work In Process) would be controlled.

One-piece flow helps to eliminate work-in-process (WIP) inventory in the system and reveals manufacturing-related problems and provides opportunities for kaizen (continuous improvement) activities. Pull principles and one piece flow can be applied in production cells since there is no route complexity. However in hybrid production systems, products have processes in both production cells and functional departments, applying on piece flow in these environments would cause unnecessary handling of materials. In hybrid environments, lot splitting can be applied instead of one piece flow.

Applying one-piece flow in cellular layouts is possible due to the proximity of equipment, low set-up and low operation cycle time variation.

Both CONWIP production control and lot splitting support the JIT philosophy. The underlying idea in both approaches is to eliminate the non-value-added activities in the value stream through less WIP and finally reduce the lead times via small lot production. Both approaches support each other in terms of small lot production. However, there is a research gap in the literature where these approaches are investigated together. The combination of these approaches is feasible to implement in real manufacturing environments. The basic motivation behind this study is to investigate the combined effect of both CONWIP production control and lot splitting. We investigate the CONWIP production control, lot splitting and both approaches together to understand their stand-alone and combined effects. A mathematical programming approach is utilised under CONWIP production control

and lot splitting. Sequence-dependent set-up times and time length of set-up times are also investigated.

Developed mathematical models are solved for different levels of processing time variability, demand and set up time percent reduction. The stand alone and combined effects of CONWIP production control and lot splitting on average lead time are investigated.

Sequencing models are NP-hard class problems. For larger size problem settings the solution time would increase exponentially and finding the optimal values gets harder. To cope with this disadvantage of the mathematical model, single blocking mechanism heuristic is also proposed in the study. The heuristic method is based on system blocking because of number of WIP travelling in the system as in CONWIP production control. The developed heuristic method also considers lot splitting.

The mathematical models and single blocking mechanism heuristic are applied on hypothetic and real cases. The hypothetic case, there are 3 parallel cells and a functional department. 8 types of products are produced. 4 products follow cell 1 and the functional department. One product follows cell 2 and functional department and last three products follow cell 3 and the functional department. All products have uni-directional flow.

In real case study, an engine seal company is investigated. The models and the heuristic methods are applied to the Multi Layer System product families. For mathematical models 7 product types are considered and 15 product types are considered for heuristic method.

Results show that in both cases, when CV value gets larger average flow time increases. In LCV and low demand, applying lot splitting in a pull-controlled environment provides less improvement than a system that does not limit the amount of WIP as the proposed mathematical model proves. However, in case of HCV and high demand, lot splitting provides a remarkable improvement in CONWIP control in terms of average flow time.

In all demand settings, if set-up times are reduced, average flow time tends to be lower in LCV settings than HCV settings in each of the production control scenarios. When CONWIP control is applied to push production control and lot splitting scenario in HCV and low demand settings, the improvement effect becomes larger than LCV settings.

In lot-splitting scenarios, the most significant improvement is observed on LCV settings. The results indicate that both CONWIP control and lot splitting improve average flow time when the CV is low and demand is high. Although variability decreases system performance, applying CONWIP control and lot splitting in a highly variable environment decreases this negative effect on system performance.

Results show that lot splitting under CONWIP production control provides better performance in terms of average flow time in a pure push production control environment. CV has a prominent effect on the average flow time performance of the production system. In LCV setting, applying CONWIP control decreases the average flow time apparently. The optimal subplot sizes show that in low set-up times setting, lot splitting is applied more in SUR settings. Thus, the importance of set-up times studies become apparent.

To understand the value of the mathematical model proposed in this study, the optimum solution derived from the mathematical models is compared with two different heuristics in the related literature. The first heuristic is called flow time multiple insertion heuristic (FTMIH) that considers sequence-dependent set-up times in a flexible flow shop where at least one job does not need to be processed on any

machine in the system. Kurz and Askin (2004) developed an integer programming model and proposed four different heuristics to solve the problem. FTMIH is a multiple insertion heuristic that aims to minimise the sum of flow times at every stage of the production. It is a multiple machine-multiple stage adaptation of the insertion heuristic for the Travelling Sales Person (TSP). FTMIH considers the modified processing times for each stage and after assigning parts to machines, the true processing times and sequence-dependent set-up times are considered. The FTMIH is adapted in the case considered in this study. One-piece flow structure is kept in GT cells and lot manufacturing is kept in functional department.

For lot-splitting case, the heuristic developed by Kalir and Sarin (2003) that considers lot splitting in a flow shop environment is utilised. The aim of the heuristic is to find the subplot sizes and the corresponding sequence. Kalir and Sarin (2003) consider equal subplot size concept for a two-machine flow shop environment and the optimum solutions in case of a single lot and machines case, is found. Kalir and Sarin (2003) also proposed a solution procedure for when there are m machines.

Developed single blocking mechanism heuristic method and the heuristics from the literature are compared with the results of the mathematical models and the difference between these methods, is considered as reasonable.

Unidirectional flow system configuration can be extended to backward movement cases and also pure functional layout and/or pure GT cell layout can be evaluated by modifying the model developed. In addition, stochastic nature of the problem considered can be investigated via simulation which fits real-life settings better. The impact of concepts such as set-up times, control mechanisms and lot-splitting concepts can also be investigated.

1. GİRİŞ

Günümüzün rekabetçi koşullarında üretim, standart ürünlerden müşteriye özel ürünlere doğru kaymaktadır. Bu şekilde değişen talep yapısı, üretim çeşitliliğini arttırırken üretim hacimlerini düşürmektedir. Bu rekabetçi ortama ayak uydurabilmek için, müşteriye sunulan ürünlerin tam zamanında sıfır hata ile ve istenilen şekilde üretilmesi önem taşımaktadır. Büyük şirketlerin yanı sıra, küçük çaptaki üretim atölyeleri de bu koşullara ayak uydurmak için üretim sistemlerinde daha iyi çözümler aramaktadır. Günümüzde şirketlerin çoğunluğu, üretim sisteminin etkinliğinin arttırılması probleminin çözümünü, yalın üretimde bulmuştur.

Yalın üretim bir üretim sistemindeki katma değeri olmayan faaliyetleri sistematik bir şekilde ortadan kaldırarak sistemdeki israfların azaltılmasına odaklanmaktadır. Üretimde katma değeri olmayan her türlü faaliyet israf olarak adlandırılır.

Yalın üretim sisteminde tanımlanan israfları 7 ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar; fazla üretim, fazla stok, gereksiz taşıma, hatalı üretim, fazla işleme, beklemler, gereksiz operatör hareketi (Monden, 1993).

Bir üretim sisteminde ürün çeşitliliği arttıkça, sistemin artan çeşitliliğe etkin bir şekilde yanıt vermesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu etkin yanıt verme sistemi de ancak üretim alanının etkin bir şekilde düzenlenmesi ve üretim kontrol aktivitelerinin doğru bir şekilde planlanması ile mümkün olmaktadır.

Bu tez çalışmasında odaklanılan ana amaç, üretim temin sürelerinin yalın üretim kontrol tekniklerinden yararlanılarak düşürülmesidir.

Temin süresinin düşürülmesinde planlama ve kontrol faaliyetleri önem taşımaktadır. Üretim kontrol tekniklerini iki ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar itme ve çekme tipi üretim kontrol teknikleridir. İtme tipi kontrol tekniklerinde üretim, sistem durumu göz önüne alınmadan önceden yapılmış bir plan dâhilinde gerçekleştirilmektedir. Çekme tipi sistemlerde ise üretim, müşteri talebi gerçekleştikçe ve sistem durumu göz önüne alınarak yapılmaktadır. Çekme tipi kontrol sistemi, üretim alanındaki fazla üretim ve envanter israfını ortadan

kaldırmaya odaklanmaktadır. Çekme tipi kontrol sisteminin, talep değişkenliğinin olmadığı standart ürünlerin üretildiği sistemlerde iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Krajewski ve diğ., 1987). Bunun yanı sıra itme tipi sistemlerde, tahmin teknikleri kullanılarak belirlenen miktarlarda üretim gerçekleştirilmektedir. Talep tahminini içeren itme tipi sistemler, değişkenliğin çok olduğu üretim ortamlarında önerilmektedir. İtme ve çekme kontrol sistemlerinin, kendi içinde bir takım avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Her iki sistem de belirli durumlarda diğerine üstünlük sağlamaktadır (Benton ve Shin, 1998).

İtme ya da çekme tipi üretim kontrolünün uygulanması üretim alanı yerleşimine de bağlıdır. Üretim sisteminin ürün gruplarına göre düzenlendiği, hücrel yerleşim olarak adlandırılan yapılarda çekme tipi kontrol tercih edilirken, benzer işlevdeki ekipmanların bir birine yakın olarak bulunduğu, atölye tipi yerleşim olarak adlandırılan yapılarda itme esaslarına dayalı bir kontrol yapısı önerilmektedir (Monden, 1993).

Gerçek uygulamalarda ise her iki tip yerleşime rastlamak daha olasıdır. Gerçek üretim sistemlerinde, talep yapısı durağan olan ürün gruplarının yanı sıra, müşteri isteklerine özel olarak üretilen ve talebin dalgalanma gösterdiği ürün grupları bulunmaktadır. Bu da melez üretim sistemi kavramını ortaya çıkarmaktadır. Melez üretim sistemlerinde, tamamen itme ya da tamamen çekme esaslarına dayalı kontrol uygulamak ana amaç olan temin süresi düşürülmesine katkı sağlamaktan uzak kalmaktadır. Bu nedenle her iki kontrol esaslarını bir arada bulunduran bir kontrol yöntemi nihai amaca ulaşılmasında yardımcı olacaktır (Framinan ve diğ., 2003; Slomp ve diğ., 2009).

Üretim temin sürelerinin düşürülmesinde önemli bir unsur olan tek parça akışı, yalın kontrol tekniklerinin uygulanması ile mümkün olmaktadır (Kher ve diğ., 2000). İtme ve Çekme kontrollerinin birlikte kullanıldığı sistemlerde ise tek parça akışı, itme sistemindeki parti üretiminden ve atölye tipi yerleşim ile hücrel yerleşim arasındaki transferlerden dolayı mümkün olmamaktadır. Bu noktada tek parça akışına yaklaşmak amacıyla, parti bölmesi olarak adlandırılan, bir partinin boyut olarak daha küçük alt partilere ayrılarak üretilmesi uygulamasından yararlanabilir (Sarin ve Jaiprakash, 2007).

Gerçek hayat problemlerinde sadece fonksiyonel ya da birbirinden tam bağımsız hücreler bulunmamaktadır. Çoğu üretim sisteminde fonksiyonel ve hücresel yapılar bir arada bulunmaktadır. Böyle yapılarda etkin bir planlama ve kontrol yapısının bulunması önemli bir gerekliliktir. Gerçek hayatta sonlu kapasite planlama ile ilgili paket programlar vardır. Ancak bu programlar üretim sistemleri pek çok açıdan farklılık gösterdiği için tüm ihtiyaçlarına cevap vermekte yetersiz kalmaktadır.

Bu tez çalışmasında gerçek hayatta yaygın olarak bulunan melez üretim sistemlerinde üretim kontrol problemlerine yol göstermek amaçlanmıştır.

Hücresel ve fonksiyonel alan arasında etkin bir kontrol yapısı önerilmeye çalışılmaktadır. Bu kontrol yapısı önerilirken üretim sistemi değer akışlar şeklinde ele alınmış ve mevcut durum ortaya konularak gelecek durum için uygun bir kontrol yapısı önerilmiştir.

Bu çalışmada öncelik, sadece literatürdeki açığı kapatmaya yönelik olmayıp sorun çözmeye odaklanmak olmuştur. Tez çalışmasının özgünlüğü, gerçek uygulamalarda karşılaşılma olasılığı fazla olan melez üretim sistemlerinde üretim kontrol yapısı üzerinde durulmasıdır. Melez üretim ortamları için uygun olan parti bölmesi kavramının ve CONWIP üretim kontrolünün birlikte uygulanmasıdır.

Çalışmada CONWIP üretim kontrolü ve parti bölmesini içeren karışık tam sayılı programlama modeli önerilmiştir. Önerilen model, değişkenlik katsayısı (DK), hazırlık süresi düşürme oranı ve talep büyüklüğü parametrelerinin çeşitli seviyeleri altında incelenerek, belirli kurgularda ortalama temin süresinin nasıl etkilendiği incelenmiştir.

Önerilen model CONWIP üretim kontrolünün olduğu/olmadığı ve parti bölmesinin olduğu/olmadığı durumlar ile karşılaştırılarak, CONWIP üretim kontrolünün, parti bölmesinin faydaları anlaşılmasına çalışılmıştır.

Sıralama problemleri NP-zor problemler olduğu için, önerilen modelin çözümü için tek bloke mekanizmalı sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir.

1.1 Üretim Sistemi Çeşitleri

Bu bölümde yukarıda bahsedilen üretim sistemleri çeşitlerinden bahsedilmektedir. Literatürde pek çok yerleşim çeşidi bulunmakla beraber tez çalışmasında incelenen yerleşim tiplerine odaklanılmıştır.

1.1.1 Akış tipi üretim sistemi (ing. flow shop)

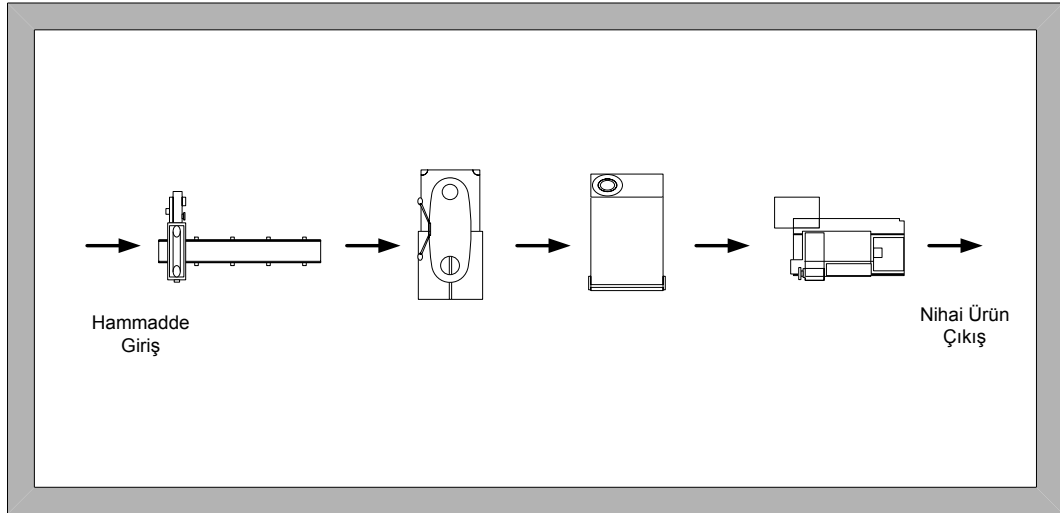
Üretim hacimlerinin büyük olduğu ve ürün çeşitliliğinin az olduğu sistemlerde uygulanan bir üretim sistemi şeklidir.

Bu yerleşimde üretim ekipmanları, üretilecek nihai ürünün üretim aşamalarına uygun bir şekilde tek hat boyunca dizilmiştir. Bu sistemlerin başarılı olabilmesi için ürün talep yapısının değişkenliğinin az olması ve ürünün yaşam döngüsünde gelişme veya olgunluk evresinde olması gerekmektedir (Miltenburg, 2001).

Bu üretim sisteminde istasyonlar arası mesafe göz ardı edilebilecek kadar azdır. Bu sistemlerde taşımalar ya otomatik bir taşıyıcı sistemi ile ya da hareketli konveyörlerle yapılmaktadır. İstasyonlar arası mesafe azlığı ise üretim parti büyüklüklerini azaltarak sistemdeki yarı mamul stokunu azaltmakta buna bağlı olarak da üretim temin süreleri kısalmaktadır.

Yerleşim, ürüne göre yapıldığı için iş akışı karmaşık değildir bu da üretim kontrol faaliyetlerinin kolay bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Bu üretim sisteminde yalın kontrol tekniklerinin uygulanması daha kolaydır.

Bu tip sistemlerin çıktısı sistemdeki darboğaza bağlıdır. Yani sistemde işlem süresi en yüksek olan istasyonun birim zamandaki çıktı miktarı sistemin birim zamandaki çıktı miktarıdır. Şekil 1.1’de akış tipi üretim sistemi görülmektedir.



Şekil 1.1 : Akış tipi üretim sistemi.

1.1.2 Atölye tipi üretim sistemi (ing. job shop)

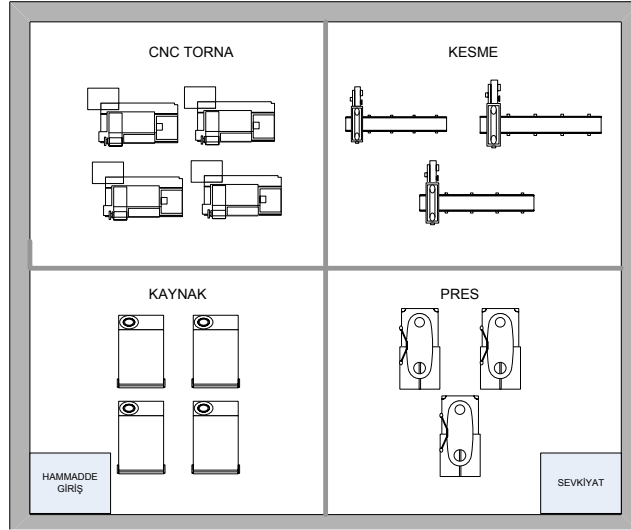
Atölye tipi üretim sistemi aynı zamanda fonksiyonel yerleşim olarak da anılmaktadır. Tez çalışmasının bundan sonraki bölümlerinde atölye tipi üretim sistemi yerine fonksiyonel bölüm kullanılmıştır.

Bir üretim sisteminde birden fazla fonksiyona sahip bir fonksiyonel alan var ise bu alana fonksiyonel bölüm denilmektedir (Santos ve diğ., 2006).

Bu sistemde benzer işleve sahip ekipmanlar aynı bölümlerde bulunmaktadır. Bu yerleşim ile genellikle müşteri talebine göre üretilen, sipariş tipi ürünlerin bulunduğu sistemlerde karşılaşılmaktadır.

Akış tipi üretim sisteminden farklı olarak, üretim hacimleri, düşük ürün çeşitliliği fazladır. Buna bağlı olarak ise talep değişkenliği fazla sistemlerde karşılaşılmaktadır.

Fonksiyonel yerleşimde ürünler istasyonlar arasında partiler halinde dolaşmaktadır. Ürünlerin üretim rotaları birbirinden farklı olduğu için üretim alanında karmaşık bir akış vardır. Üretim istasyonları arasındaki mesafe göz ardı edilemez. Bu nedenle, taşımalar üretim temin sürelerini arttırmaktadır. Ürünlerin üretim aşamalarını takip etmek güçtür. Bunun yanı sıra atölye tipi üretim sisteminde esneklik bulunmaktadır. Örneğin yeni üretilecek bir ürün için üretim alanının yeniden düzenlenmesine gerek duyulmaz. Bu üretim sisteminden, genellikle ürün yaşam döngüsünün başlangıç aşamasında olan ya da gerileme aşamasında olan ürünlerin üretiminde yararlanılmaktadır. Şekil 1.2’de fonksiyonel yerleşime sahip bir üretim sistemi görülmektedir.



Şekil 1.2 : Fonksiyonel yerleşime sahip üretim sistemi.

1.1.3 Hücresel üretim sistemi

Ürünlerin üretim süreçleri benzerliklerinden yola çıkılarak oluşturulan, ürün ailelerinin, bir arada birbirine yakın şekilde konumlandırılmış genellikle akış tipi şeklinde düzenlenmiş birimlerde üretildiği küçük üretim sistemleridir. Hücresel üretim sistemleri aynı zamanda grup teknolojisi olarak da bilinmektedir.

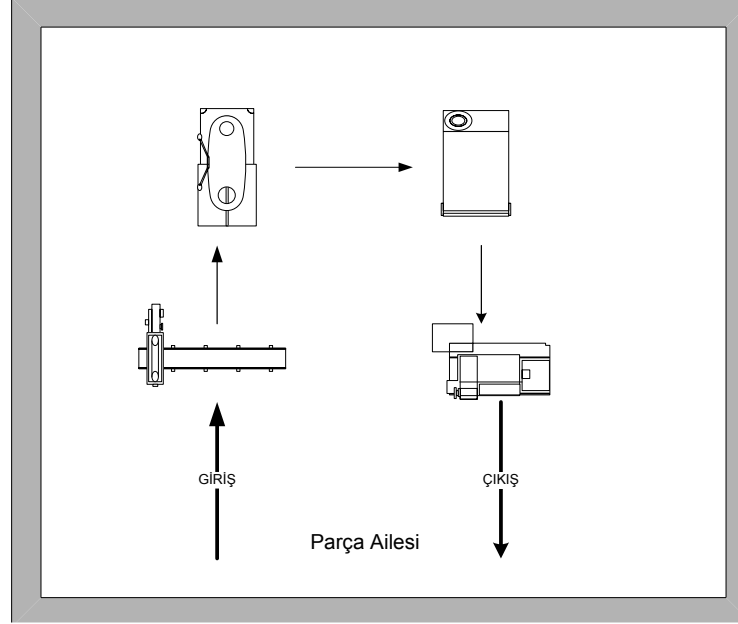
Hücresel üretim sisteminde, ilgili hücrede üretilen ürün aileleri, hammaddeden nihai ürüne kadar aynı üretim biriminin içinde üretilmektedir. Hücresel üretim sisteminde, büyük bir üretim sisteminin gruplara ayrılarak kontrol edilmesi ve planlanması daha kolay alt sistemlere bölünmesi fikri hâkimdir.

Hücresel üretim sistemlerinde, benzer ürünler üretildiği için fonksiyonel sistemlere göre ekipmanların hazırlık süreleri daha düşüktür ve temin süreleri rota benzerliğinden ve taşımalarındaki tasarruftan dolayı daha düşüktür. Rotalarda fonksiyonel sistemdeki gibi bir karmaşıklık bulunmamaktadır. Genellikle ileriye doğru bir akış vardır. Yerleşim düzenleri genellikle U şeklindedir. Bunun yanı sıra L, T ve I tipi yerleşimler bulunmaktadır.

Hücresel sistemlerde hücrelerin dengelenmesi ve akış tipi yerleşimde olduğu gibi işlem sürelerinin birbirine yaklaştırılması durumu söz konusudur. Dengelenmiş bir hücresel üretim sisteminde yalın üretim amaçlarından olan tek parça akışına ulaşılmaktadır.

Hücresel üretim sisteminde akış tipi yerleşimde olduğu gibi yeni bir ürün grubunun sisteme dahil edilmesinde esneklik, fonksiyonel yerleşime göre zayıf

kalabilmektedir. Ya da siparişe göre üretilen ürünlerde standart bir rota olmaması sebebiyle tek taraflı akışın getirdiği temin süresi tasarrufundan yararlanılamayabilir (Ioannou, 2006). Şekil 1.3'te Hücresel bir imalat sistemi görülmektedir.



Şekil 1.3 : Hücresel üretim sistemi.

Bir üretim alanında tek bir fonksiyon var ise ilgili alan da yine hücre olarak adlandırılabilir. Ancak bu alana fonksiyonel hücre denilmektedir (Santos ve diğ., 2006).

Gerçek uygulamalarda birbirinden keskin çizgilerle ayrılmış hücrelerin bulunması her durumda mümkün olmamaktadır. Bazı hücrelerde ekipmanların, maliyet ve/veya kullanım oranından dolayı tek bir hücreye tahsis edilememesi durumu olabilmektedir. Bu durum istisnai operasyon olarak anılmaktadır. İstisnai operasyonların olduğu durumlarda ise hücreler arası hareketler bulunmaktadır. İstisnai operasyonların olması durumuna melez üretim sisteminde daha ayrıntılı yer verilmiştir.

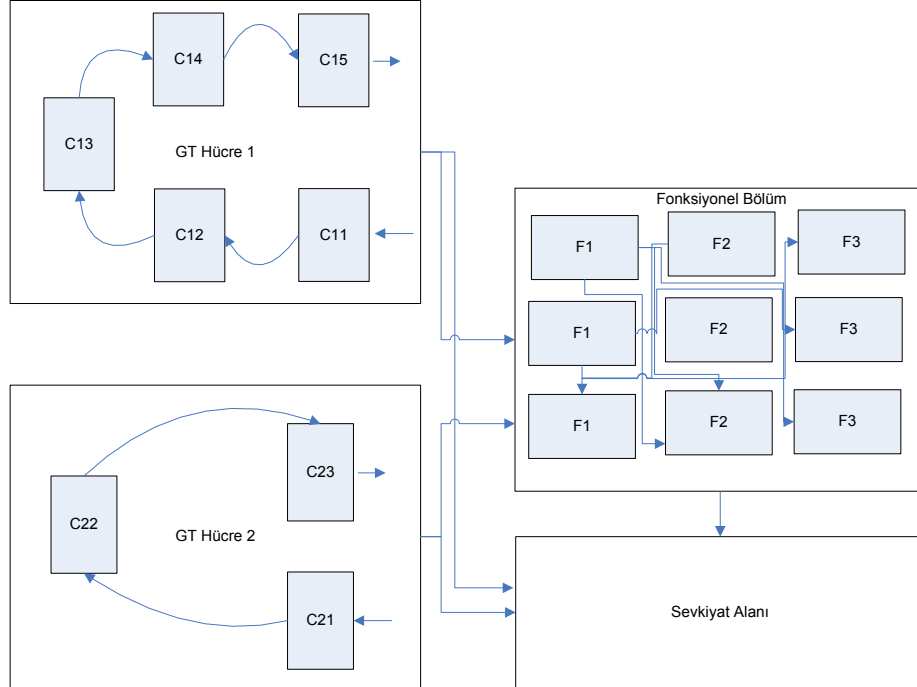
1.1.4 Melez üretim sistemi

Melez üretim sistemi farklı tipteki yerleşimlerin bir arada olduğu yerleşim çeşididir (Satoğlu ve diğ., 2010). Miltenburg (2001) çalışmasında ürün yaşam eğrisi ile üretim alanı yerleşimi arasındaki ilişkiyi incelemiş ve hangi evredeki ürünün hangi yerleşimde üretilmesi gerektiği ile ilgili bilgi vermiştir. Ürün yaşam eğrisinin ilk aşaması olan giriş evresinde bulunan ürün grupları için, talep az ve talep değişkenliği

fazla olduğu için fonksiyonel yerleşim tercih edilmektedir. Ürün yaşam eğrisinin büyüme ve olgunluk evresinde olan ürün gruplarının talepleri daha düzenli ve üretim hacimleri daha büyük olduğu için akış tipi ya da hücresel yerleşime sahip sistemler tercih edilmektedir (Miltenburg, 2001). Gerçek uygulamalarda ise; bir firmanın ürettiği tek tip ürün olmadığı için ve ürün çeşitleri yaşam eğrilerinde birbirinden farklı aşamalarında olduğu için melez üretim sistemi ile daha fazla karşılaşmaktadır.

Yine hücresel yerleşim anlatılırken birbirinden tam bağımsız hücrelerin olması ekipman maliyetlerinden ve kullanım oranından dolayı mümkün olmayabilir. Bu durum, tüm hücreler tarafından kullanılan ekipmanların ayrı bir alana alınmasını ve hücreler arası hareket durumunu ortaya çıkarmaktadır, bu da melez üretim sistemini beraberinde getirmektedir (Durmuşoğlu ve Satoğlu, 2010).

Literatürde melez üretim sisteminin fonksiyonel yerleşimden hücresel yerleşime geçiş aşaması olarak tavsiye edilmektedir (Shafer ve Bradford, 1995; Venkataramanaiah ve Krishnaiah, 2002). Şekil 1.4 'te melez üretim sistemine sahip bir üretim sistemi görülmektedir.



Şekil 1.4 : Melez üretim sistemi.

Tez çalışması boyunca gerçek uygulamalarda daha çok rastlanan melez üretim sistemi incelenecektir. Melez üretim sisteminde hücreler akış hattı şeklinde düzenlenmiştir. Fonksiyonel bölüm ise temsili olması açısından farklı tipte

makinalardan birer tane bulunmaktadır. Farklı hücrelerden gelen ürünler, bu alanda bulunan bir ya da birkaç makinaya uğrayarak hücrelere geri dönmeden işlemlerini tamamlamaktadır.

Melez üretim sisteminde tüm işlemlerini hücrelerde tamamlayan, hücrelerden fonksiyonel alana uğrayan ve tüm üretimi fonksiyonel alanda olan 3 adet ürün grubu bulunmaktadır. Bu ürün gruplarından hücreye ve fonksiyonel alana uğrayan ürün gruplarına odaklanılmıştır.

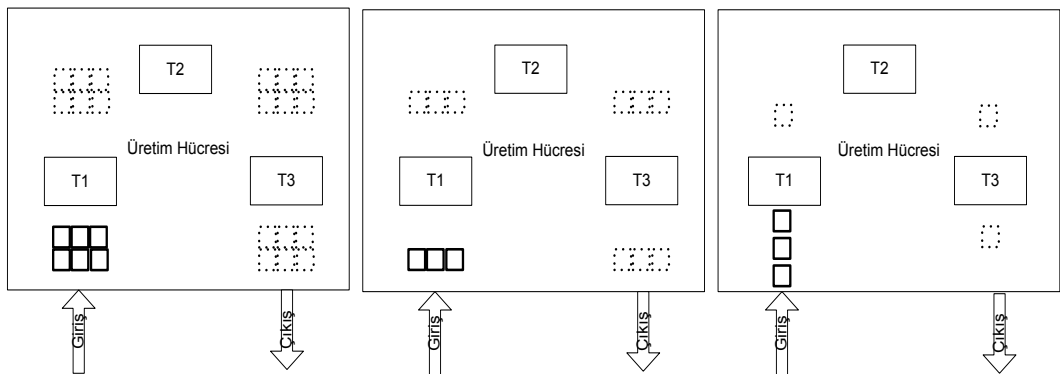
Tez çalışması Durmuşoğlu ve Satoğlu (2010) düzensiz talep koşullarında melez üretim sistemlerinin aksiyomlarla tasarımı çalışmasının bir devamı niteliğinde olup melez üretim sistemi için bir üretim planlama ve kontrol yapısı önerilmiştir.

Akış hattı şeklinde düzenlenmiş hücrelerde tek parça akışı mevcut olup, fonksiyonel bölümde ise parti üretimi bulunmaktadır. Parti üretiminin temin süresini arttırmaya neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında fonksiyonel bölüm için parti bölmesi durumu önerilmektedir. Sonraki bölümde parti bölmesi ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmektedir.

1.2 Parti Bölmesi

Bu bölümde bir makina da bir ürüne ait partinin tüm elemanlarının üretimden sonra diğer makina ya transferi yerine, partinin alt partilere bölünerek daha küçük miktarlarda diğer makina ya aktarımı konusu üzerinde durulacaktır.

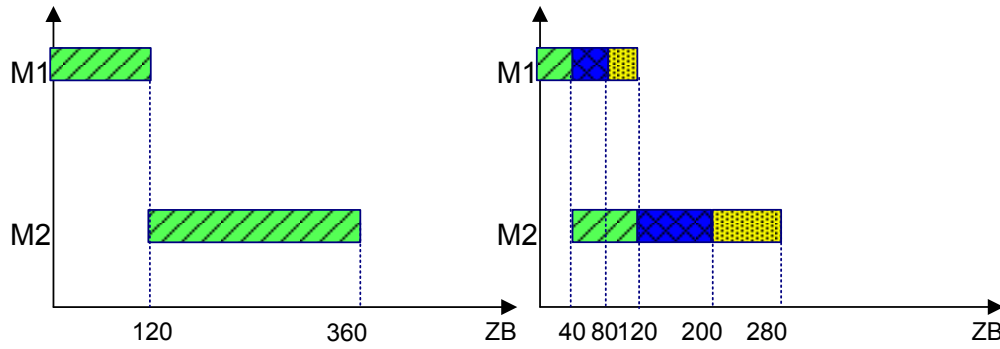
Parti bölmesi; bir partinin alt partilere bölünerek her bir alt partinin teknolojik kısıtlar gözetilerek paralel bir şekilde farklı makinalarda üretilmesidir (Sarin ve Jaiprakash, 2007).



Şekil 1.5 : Parti üretimi, parti bölmesi, tek parça akışı.

Şekil 1.5’te parti üretiminden tek parça akışına doğru bir geçiş görülmektedir. Şekile dayanarak parti bölmesi tek parça akış yolundaki geçiş aşaması olarak düşünülebilir. Ayrıca parti bölmesi, tek parça akışına imkân olmayan, üretim ekipmanlarının arasında mesafelerin olduğu durumlarda büyük partilerle üretim yerine daha küçük alt partilerle üretim yapılmasını sağlar.

Şekil 1.6’da 120 birimlik bir partinin iki makinada işlendiği, ilk makinanın 1 ZB, ikinci makinanın 2 ZB işleme süresine sahip olduğu durumda parti bölmesinin olmadığı durum ile parti bölmesinin olduğu durumdaki tamamlanma zamanları görülmektedir.



Şekil 1.6 : Parti bölmesiz tamamlanma zamanı, parti bölmeli tamamlanma zamanı.

Şekil 1.6’ da görüldüğü gibi parti bölmesinin olmadığı durumda yayılma süresi 360 ZB iken parti bölmesinin olduğu parçaların eş zamanlı olarak işlendiği durumda 280 ZB’dir.

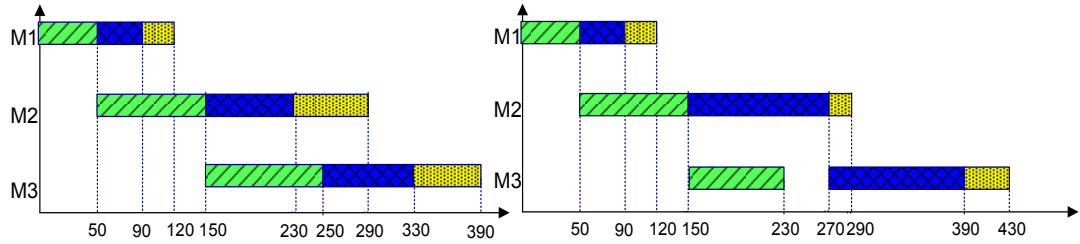
Parti bölmesinin en büyük avantajı yayılma süresindeki azalıştır. Ancak bu azalış hazırlık/transfer zamanlarından dolayı her zaman çok açık bir şekilde olmayabilir. Yayılma süresindeki azalış makine hazırlığının alt partinin transfer edildiği zamanda ya da alt partinin transfer edilmeden önce yapılmasına bağlı olarak değişebileceği gibi, farklı çeşitteki alt partilerin karışık şekilde üretilme durumlarına göre de değişebilir. Tüm bu durumların yanı sıra yayılma süresini etkileyen en önemli durumlardan bir tanesi de alt partilerin büyüklüklerinin belirlenmesi ve sıralanması problemidir. Tez çalışmasında alt parti büyüklüklerinin belirlenmesi ve sıralanması problemi üzerinde de durulmaktadır.

Bir sonraki alt bölümde parti bölmesi problemi ile ilgili terminoloji ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır.

1.3 Parti Bölmesi Terminolojisi

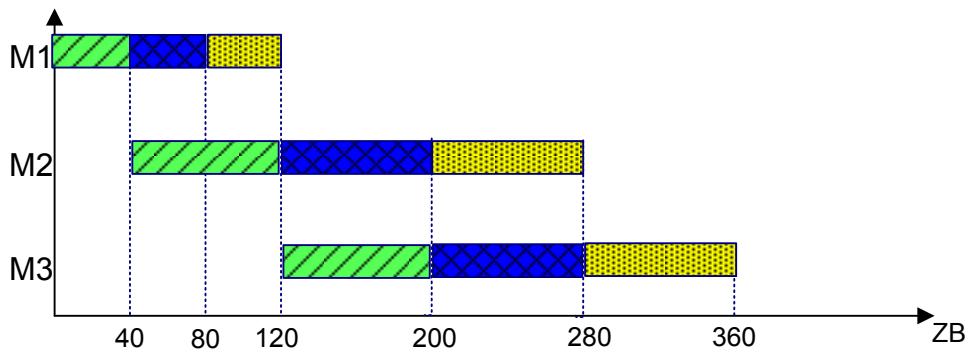
1.3.1 Tutarlı, değişken ve eşit alt partiler

Alt partilerin ardışık makinalara transferinde alt parti büyüklükleri aynı ise bu alt partilere tutarlı alt partiler (ing. Consistent Sublots) denilir. Eğer transfer miktarları makinadan makinaya değişiklik gösteriyorsa buna da değişken alt partiler (ing. Variable sublots) denilmektedir. Bu durum Şekil 1.7’de görülmektedir.



Şekil 1.7’de işlem süreleri sırasıyla 1, 2 ve 2 ZB olan üç makinalı akış tipi bir atölyede tutarlı ve değişken parti bölünmeleri görülmektedir. Şekil 1.7’de ilk durumunda, 50, 40 ve 30 olan alt partiler üç makinada aynı miktarlarda işlenmektedir. İkinci durumda ise, birinci makinada 50, 40 ve 30 olan alt parti büyüklükleri, ikinci makinada 50, 60 ve 10 olup, üçüncü makinada ise 40, 60 ve 20’dir.

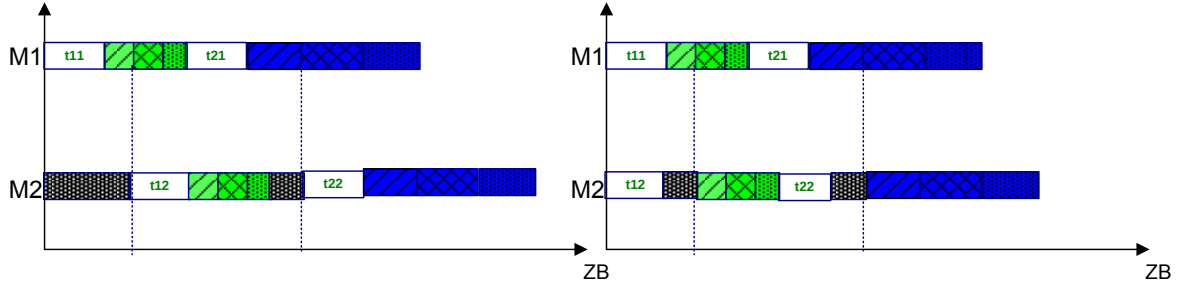
Son olarak eşit parti büyüklükleri kavramı; bir partinin tüm alt partileri ve makinalarda işlenen miktarlarının eşit olması durumunu anlatmaktadır. Bu durum Şekil 1.8’de görülmektedir.



Şekil 1.8 : Eşit alt partiler.

1.3.2 Partiye bağı olan ve partiye bağı olmayan hazırlık

Bir partinin bir makinada işlenmesi için yapılması gereken hazırlık işlemleri parti, ilgili makinarya gelince yapılıyorsa hazırlık partiye bağıdır. İlgili partinin hazırlığı önceden yapılabiliyorsa hazırlık partiye bağı değildir. Partiye bağı olan ve olmayan hazırlıklar (ing. Attached and Detached Set up) Şekil 1.9'da gösterilmektedir.



Şekil 1.9 : Partiye bağı olan, partiye bağı olmayan hazırlık.

1.3.3 Kesintisiz parti işleme

Bir partinin bir makinada alt partilerinin işleme zamanları arasında boşluk olmaması durumunu anlatmaktadır. Bir partinin tüm alt partileri ardışık ve aralarda boşluk olmayacak şekilde işleniyorsa durum kesintisiz parti işleme olarak adlandırılmaktadır.

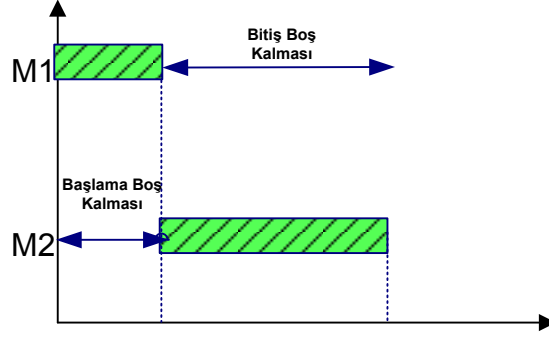
1.3.4 Kesintili parti işleme

Bir partinin bir makinada işlenecek alt partileri arasında başka partinin alt partileri işlenebiliyorsa bu duruma kesintili parti işleme denilmektedir.

1.3.5 Başlama ve bitme arası boş kalma süreleri (ing. Run-in Run-out times)

Başlama ve Bitme arası boş kalma süreleri kavramı genellikle iki makinanın olduğu problemlerde tanımlanmıştır. Bir j partisinin başlama arası boş kalma süresi bir makinada başlama zamanı ile sonraki makinadaki başlama zamanı arasındaki boş süredir.

Bitme arası boş kalma süresi ise, bir j partisinin bir makinadaki bitme zamanı ile sonraki makinadaki bitme zamanı arasındaki boş süredir. Şekil 1.10'da bu durum gösterilmiştir.



Şekil 1.10 : Başlama ve bitiş boş kalması.

Bir parti birkaç parçadan oluştuğundan parti bölmesinde yayılma süresini minimize etmek için, bu parçaların ilk makinada mümkün olduğunca hızlı ve aralıksız bir şekilde işlem görmesi gerekmektedir. Ancak bu parçaların makinalardaki işlem sürelerine bağlı olarak, parçaların ikinci makinada işlenmeye başlama sürelerini yayılma süresini arttırmayacak şekilde ötelemek mümkündür. Bu öteleme yapıldığında partinin başlama arası geçiş süresi, ikinci makinada işlenmeye başlama süresi olarak bulunur.

1.3.6 Başlama ve bitiş gecikmesi

Başlama gecikmesi bir partinin ardışık iki makinada başlama zamanları arasındaki minimum zaman aralığıdır. Benzer bir şekilde bitiş gecikmesi, bir partinin ardışık iki makinada bitiş zamanları arasındaki minimum süredir.

Başlama ve Bitiş gecikmesinin verildiği durumlarda, başlama ve bitme arası boş kalma sürelerinin alt sınır değerleri bilinmiş olur.

1.3.7 Transfer gecikmesi

Bu terim genellikle akış tipi yerleşime sahip iki makinalı problemlerde tanımlanmıştır. Transfer gecikmesi başlama ve bitiş gecikmesinin olduğu durumda bir partinin ikinci makinada işlenmeye başlama zamanı ile birinci makinada işleminin bitiş zamanı arasındaki fark olarak tanımlanmıştır.

1.3.8 Boş kalmama

Bu durum, bir makinada alt partilerin işlenmesi arasında boşluğa izin verilmemesi durumunu temsil etmektedir.

1.3.9 Aralıklı boş kalma

Aralıklı boş kalma durumunda bir partinin ardışık iki alt parti arasında boş kalma durumuna izin verilir.

1.3.10 Beklemesiz akış

Beklemesiz akışta bir partinin tüm alt partileri kesintisiz bir şekilde işlenmektedir. Yani, bir j alt partisinin bir makinada işlenmeye başlama zamanı bir önceki makinada bitiş zamanına eşittir.

1.4 Melez Üretim Kontrol Sistemleri

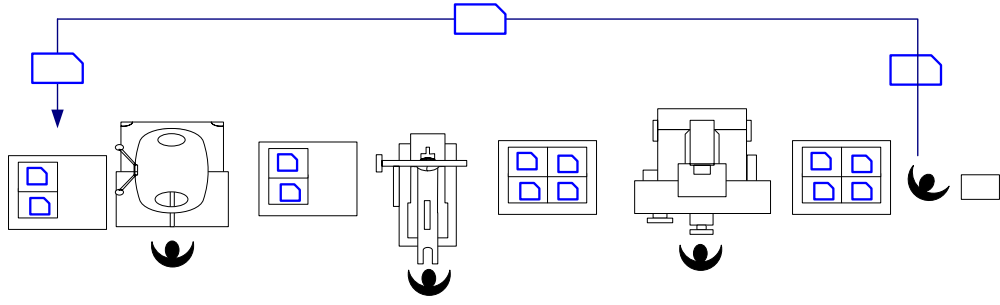
1.4.1 CONWIP (Constant Work in Process)

CONWIP üretim kontrolünde, üretimin başında ve sonunda çekme tipi kontrol uygulanmakta ara aşamalarda ise sistem itme mantığı ile çalışmaktadır. Kanban kontrolünde ürün çeşitliliği arttıkça üretim, hazırlıklardan ve talep dalgalanmalarından dolayı aksaklıklara uğramaktadır. Kanban kontrolünün bu dezavantajı ile baş edebilmek için talep tahminine dayalı bir itme sistemi oluşturulup üretimin ara aşamaları bu şekilde ilerleyebilir. Çekme sisteminin avantajı ise tüm sistemdeki ara stoku kontrol ederek, üretim temin süresini istenilen seviyede tutmasıdır.

CONWIP üretim kontrolünde sistem içerisindeki süreç içi stok seviyesi sabit tutularak sisteme yeni bir işin alınması, sistemden çıkan siparişe ve sistem süreç stok seviyesi durumuna göre yapılmaktadır.

Temel CONWIP üretim kontrolünde tek bir ürün hattı olup ürünlerin hatta kabulü, süreç içi stok seviyesine göre yapılmaktadır.

Şekil 1.11’de üç aşamalı, CONWIP üretim kontrolü ile işleyen akış tipi bir üretim sistemi görülmektedir.



Şekil 1.11 : CONWIP üretim kontrol sistemi.

Bir CONWIP sisteminin tasarımında sipariş listesinin belirlenmesi ve sistemde yer alacak olan maksimum stok miktarını gösteren kart sayısının belirlenmesi önem taşımaktadır.

CONWIP üretim kontrolünde kartların ürüne tahsisli olmadığı durumlarda merkezi bir planlama sisteminden gelen sipariş listesi ile üretim yapılmalıdır.

Malzeme Gereksinim Planlamasında siparişlerin istasyonda işleme başlama zamanları, sipariş listesini oluşturmaktadır. Kanban sisteminde ise her bir kart ürüne tahsisli olduğu için bir sipariş listesine ihtiyaç duyulmamaktadır. CONWIP üretim kontrolünde ise; sistemde yarı mamul stokunu (ing. WIP) sınırlandıran kartların ürüne tahsisli olmadığı uygulamalar bulunmaktadır. Bu durum sipariş listesinin oluşturulması problemini beraberinde getirmektedir. Üretim sisteminde tek bir CONWIP hattı varsa sipariş listesinin oluşturulması, basit iş başlatma kurallarına göre (Erken teslim zamanı öce, Kısa işlem süresi önce vs.) yapılabilir. Ancak gerçek uygulamalarda durum genellikle bu kadar kolay olmamaktadır. Birden fazla birbiri ile bağlantılı CONWIP döngüsü olabileceği gibi sıraya bağımlı hazırlık sürelerinden dolayı basit iş başlatma kuralları yetersiz kalmaktadır.

CONWIP üretim kontrolünün tasarımında diğer önemli bir konu ise sistemdeki kart sayısının bulunmasıdır. Kart sayısının hesaplanmasında genel olarak Little (1961) formulasyonu kullanılmaktadır. Sistemdeki WIP miktarını gösteren formül şu şekildedir.

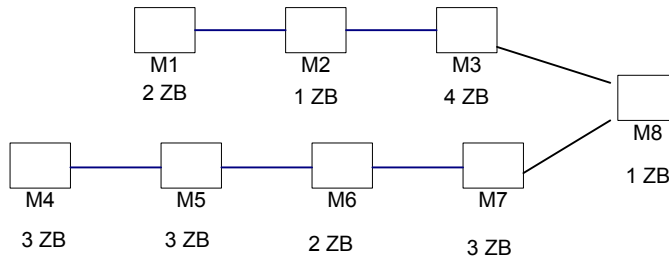
$$WIP = CT \times TH \quad (1.1)$$

CT = CONWIP hattındaki toplam işlem süresidir. (imalat temin süresi)

TH = CONWIP hattındaki üretim hızı

1.4.1.1 CONWIP montaj hatları için WIP belirlenmesi

CONWIP üretim kontrolünün montaj operasyonlarına uygulandığı durumdur. Birbirine paralel birden fazla hattın bir montaj işleminde birleştiği durumlarda, CONWIP üretim kontrolünün uygulanmasında, WIP seviyesi hesaplamaları her bir hat için ayrı ayrı yapılmaktadır. Eşitlik (1.1)'de yer alan hat üretim hızı, montaj hattındaki işlem süresi en uzun olan makinaya göre bulunmaktadır. Şekil 1.12'de birbirine paralel iki hattın oluşan bir montaj işlemini göstermektedir.



Şekil 1.12 : CONWIP montaj hattı.

Şekil 1.12'de görüldüğü gibi 2 üretim hattından beslenen bir montaj istasyonu için birinci üretim hattında işlem süreleri sırasıyla 2, 1 ve 4 zaman birimi olup ikinci üretim hattında ise 3, 3, 2 ve 3'tür. Montaj operasyonu ise 1 ZB olarak verilmiştir. Bu şekilde işleyen bir montaj sisteminde CONWIP sayısının hesaplanması Little (1961) önerdiği formülasyonla bulunabilir. Şekil 1.12'deki sistemin çıktı hızı (TH) sistemin içindeki en yavaş makinanın çıktı hızına eşittir. Bu da birim zamanda 0.25 ürün/ZB'e karşılık gelmektedir. Bunun yanında imalat temin süresi (CT) ise tüm işlem sürelerinin toplamıdır. Bu durumda her iki üretim hattı için WIP sayıları;

$$WIP_1 = TH \times CT_1 = 0,25 \times (2 + 1 + 4 + 1) = 2$$

$$WIP_2 = TH \times CT_2 = 0,25 \times (3 + 3 + 2 + 3 + 1) = 3$$

olarak bulunur.

1.4.2 Ürün aileleri için CONWIP sayısı hesaplanması

Temel CONWIP üretim kontrolünde kart sayısı hesaplanmasında, birbirine benzer ürünlerin benzer rotaları takip ettiği ve işlem sürelerinin farklılık göstermediği varsayımı vardır. Gerçek uygulamalarda ise durum bundan farklıdır. Bir CONWIP hattında birden fazla ürün ailesi üretilmekte ve makinalardaki işlem süreleri birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Böyle durumlarda sistemdeki iş yükü belirli

zaman aralıklarında farklılık göstermektedir. Bu nedenle kart sayısının sabit kalması sistemin bloke olmasına ya da aç kalmasına (ing. starving) neden olmaktadır.

Çoklu ürün ailelerinin, sıraya bağlı hazırlık sürelerinin olduğu durumlarda sistem içinde sabit bir iş yükü olması için planlama darboğaz makinaya göre yapılmalıdır. Örneğin bir ürün ailesinin darboğaz kaynaktaki işlenme süresi diğer bir ürün ailesinin 2 katı ise, sistemden ilk ürün ailesi çıktığında sabit iş yükünü koruyabilmek için diğer ürün ailesinden ilkinin iki katı kadar işin sisteme girmesine izin verilebilir. Bu durum darboğaz kaynağın ürün ailelerine göre farklılık göstermediği durumlarda geçerlidir.

Darboğaz kaynağın ürün ailelerine göre farklılık gösterdiği durumlarda ise, sistemdeki iş yükünün kapasiteye göre hesaplanması yukarıda anlatıldığı kadar kolay olmamaktadır. Bu durumda ise planlama, tüm makinalardaki işlem sürelerinin toplamına göre yapılabilir.

Üretim alanında hatların paylaşıldığı durumlar varsa, ya da farklı tipteki işler farklı işlem sürelerine sahipse; CONWIP üretim kontrolünün uygulanması yukarıda bahsedildiği kadar kolay olmamaktadır (Hopp ve Spearman 2008). Böyle durumlarda paylaşılan makinalar için, ürünlerin makinalar tarafından göreceli kullanım oranlarına göre işlem süreleri tekrar hesaplanarak CONWIP sayıları bulunur.

Sistemdeki WIP'in kapasiteye göre belirlendiği durumlarda ise; iş yükü değişkenlik göstereceğinden CONWIP tasarımında fiziksel kart yerine WIP seviyesini kontrol etmek amaçlı elektronik bir sistem önerilebilir (Hopp ve Spearman 2008).

Hopp ve Spearman (2008) itme sistemi içerisinde yer alan MGP (Malzeme Gereksinim Planlaması) kontrolünün, ürünlerin sisteme girip belirli bir çevrim sonunda sistemi terk ettiği açık kuyruk ağına benzediğini, çekme sisteminin ise ürünlerin sistemde içerisinde kalmasından dolayı kapalı kuyruk ağına benzediği belirtilmiştir.

1.4.3 İş yüküne dayalı kontrol (ing. Work load control)

İş yüküne dayalı kontrol sisteminde işlerin kontrolü yerine, iş yükünün kontrol edilmesi vardır. Sisteme yeni gelen bir ürün siparişinin sisteme alınma kararı, sistemin mevcut sipariş yüküne bakılarak yapılmaktadır. İş yükü planlamasının merkezi bir planlama biriminden yapılması ile yöntem itme tipi kontrolün

özelliklerini taşımaktadır. Sistemde iş yükünü kontrol etmesi ile çekme sisteminin özelliklerini taşımaktadır. İş yüküne dayalı kontrolde, çekme sistemlerinde önemli olan görselliğin bulunmaması yöntemin dezavantajlarından birisidir. Ancak literatürde iş yüküne dayalı kontrole görsellik kazandıran yeni yöntemler mevcuttur.

İşlem süreleri değişkenliği arttıkça çekme tipi kontrol yöntemlerine göre (Kanban) ya da diğer melez kontrol yöntemlerine göre (Periyodik Parti Kontrolü, CONWIP) daha avantajlı bir yöntem olarak önerilebilir (Riezebos, 2011). Thüerer ve diğ. (2011) iş yüküne dayalı kontrolün sipariş için üretim yapan firmalarda etkin bir planlama ve kontrol modeli olduğunu savunmaktadır.

1.4.4 Periyodik parti kontrolü (ing. Periodic batch control)

Periyodik parti kontrolü genellikle grup teknolojisi ile birlikte anılmaktadır. Periyodik parti kontrolünde, planlamanın merkezi bir birim tarafından yapılması kontrolün itme ayağını oluşturmaktadır (Burbidge, 1988). Periyodik parti kontrolü, planlama ve kontrol sisteminde planlama ayağını oluşturmaktadır (Riezebos, 2011).

Periyodik parti kontrolü tek çevrimli sipariş sistemi olarak da bilinmektedir (Burbidge,1988). Periyodik parti kontrolünde siparişler, önceden belirlenen bir çevrim süresinde üretilerek ilerlemektedir. Periyodik parti kontrolünde en önemli faktör, periyot büyüklüğünün bulunmasıdır. Belirlenen periyot büyüklüğüne bağlı kalınarak her bir periyotta belirli bir aktivite gerçekleştirilmektedir. Örneğin, ilk periyotta üretilecek ürün ailesi için satın alma siparişlerinin verilmesi, diğer periyotta üretimin gerçekleşmesi, diğerinde montajın yapılması ve son periyotta dağıtımın yapılması düşünülebilir. Periyot büyüklüğü önceden belirlendiği için üretimin planlaması ve kontrolü kolay olmaktadır. Bu sistemin iyi işleyebilmesi için tedarikçilerle ve müşterilerle tam bir uyum içerisinde çalışılması gerekmektedir. Tedarikçilerden gelecek ham maddelerin, tam istenilen zamanda gelmesi ve müşterilerden gelecek siparişlerin periyot boyunca belirlenen kapasiteyi aşmaması gerekliliği bulunmaktadır. Bununla birlikte üretim süreçleri arasındaki dengenin bozulmaması darboğazların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Her bir sürecin belirlenen periyot içinde işlemini tamamlayarak diğer sürece işi transfer edilmesi ile senkronize bir üretim oluşmaktadır. Böylece süreçler arasında gereksiz stok birikmesinin önüne geçilmektedir. Bu kontrolün çekme kontrolü tarafı ise bu eş zamanlılıktan gelmektedir (Riezebos 2011).

Bir sonraki bölümde CONWIP üretim kontrolü, parti bölmesi ve melez üretim sistemleri ile ilgili literatüre yer verilmiş, literatürdeki boşluklara dikkat çekilmiştir.

2. YAYIN TARAMASI

Tez çalışması boyunca melez üretim sistemleri olarak üretim ortamı açısından, hücresel ve fonksiyonel yapıların bir arada bulunduğu durumlar incelenmiştir. Üretim kontrolü açısından ise, itme ve çekme sistemlerinin bir arada bulunduğu kontrol yapısı incelenmiştir.

Bu bölümde, literatürde odaklanılan çalışmalar; üretim ortamı açısından ve üretim kontrolü açısından melez sistemler olmakla birlikte melez üretim kontrolü olarak CONWIP üretim kontrolü çalışmalarına odaklanılmıştır.

Melez üretim sistemi çalışmalarına ek olarak, parti bölmesi ile ilgili literatür de ayrıca ele alınmıştır.

Melez üretim ortamının uygulanma amacı, hücresel ve fonksiyonel yapıların avantajlarından eş zamanlı faydalanarak, ilgili yapıların dezavantajlarını minimize etmektir.

Ioannou (2006) yer değiştirme maliyetlerinin minimizasyonuna dayalı, hücrelerin ve fonksiyonel alanların oluşturulmasına yönelik bir matematiksel model önermiştir.

Kher ve Jensen (2002) tam hücresel yapıdan tam fonksiyonel yapıya kadar olan tüm yerleşimler için benzetim yardımıyla performans değerlendirmesi yapmıştır. Performans değerlendirmesi sonucu, hücresel üretim, fonksiyonel üretime göre tamamlanma süresi açısından daha iyi sonuç verdiği ortaya konulmuştur. Hazırlık süresinin hücresel yapılardaki performansı etkilediği görülerek, hazırlık sürelerinin belirli bir aralığa düşürülemediği durumlarda melez yapıların daha iyi performansa sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Venkataramanaiah ve Krishnaiah (2002) melez üretim sistemi oluşturulması açısından sezgisel bir yöntem önermiş ve önerdikleri yöntemi literatürdeki mevcut yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Murthy ve Srinivasan (1995) hücreler arası hareketi minimize eden doğrusal olmayan bir matematiksel model önermişler ve benzetimli tavlama yönteminden yararlanılarak çözüme gidilmiştir.

Harhalakis ve diğ. (1996) melez hücreli üretim sistemi tasarımı için bir yöntem önermişlerdir. Yöntemin amacı, üretim ortamındaki malzeme taşımının ve toplam trafiğin minimizasyonudur. Yöntemin bozucu faktörlere karşı dayanıklılığı test edilmiş ve önerilen yöntemin ürün karması değişkenliğinden ve ürün hacmi değişkenliğinden etkilenmediği belirlenmiştir.

Bir üretim ortamında melez yerleşimin olmasının melez üretim kontrolünü getirdiğinden önceki bölümde bahsedilmiştir. Melez üretim yerleşiminin başarısı, bu yerleşim için önerilen üretim planlama ve kontrolüne bağlıdır. Melez üretim kontrolü çalışmaları ile ilgili olarak odaklanılan ana yapı, CONWIP üretim kontrolüdür.

Steele ve diğ. (1995) birden çok hücrenin bulunduğu ve hücrelerin akış tipi yerleşime sahip olduğu üretim çevresinde periyodik parti kontrolünün verimliliğini etkileyen faktörleri araştırmış ve bu faktörlerin belirli seviyeleri için üretim sisteminin performansını değerlendirmiştir. Ele alınan faktörler; periyot büyüklüğü, ana üretim çizelgesi değişkenliği, hücreler arası iş yükü dengesi değişimi ve darboğaz kaynağın yeridir. Performans ölçütleri olarak; ortalama sipariş gecikmesi, WIP ve yayılma süresidir. Yapılan benzetim deneyleri sonunda, sistemdeki WIP'in, ele alınan periyot büyüklüğü ile doğrudan ilgili olduğu ortaya konulmuştur.

Stevenson ve diğ. (2005) sipariş üzerine üretim yapan çevrede tesis düzenlemesini, tesis büyüklüğünü, müşteri isteklerini, iş girişini ve işi başlatma aşamalarını göz önünde bulundurarak MGP, Kanban, CONWIP ve POLCA (ing. Paired Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization) kontrollerinin değerlendirmesini yapmıştır. Sipariş üzerine üretimin (İng. MTO) özelliklerinden bahsetmiş, MTO'yu belli bir sürede benzer ürünler üreten ve sürekli müşteri isteklerine dayalı küçük partiler halinde ürün üreten olmak üzere ikiye ayırmıştır. MTO çevresinde bir üretin planlama ve kontrol yapısında nelerin olması gerektiğinden bahsetmiştir. Bu çevrede MGP'nin, CONWIP'in, Kanban'ın, Kısıtlar Teorisi'nin, İş yüküne dayalı kontrolün ve POLCA'nın uygulanabilirliği tartışılmıştır.

Sonuç olarak MTO çevresinde, CONWIP ve POLCA'nın müşteri istekleri araştırması ve iş giriş kontrolünden dolayı başarı sağlayabileceğini vurgulamıştır. Fonksiyonel ve akış tipi üretim alanlarında iş yüküne dayalı bir kontrol yapısının sistemdeki değişkenliğin etkisine karşı dayanıklı olduğunu vurgulamıştır.

Literatürde CONWIP üretim kontrolü ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. (Framinan ve diğ., 2006; Cao ve Chen, 2005; Slomp ve diğ., 2009; Bokhorst ve Slomp, 2010; Lu ve diğ., 2011; Geraghty ve Heavey, 2004). Bu çalışmaları; CONWIP kart sayılarının hesaplanmasına yönelik çalışmalar, CONWIP sistem tasarımına yönelik çalışmalar, yöntem karşılaştırmasına yönelik çalışmalar olmak üzere gruplandırmak mümkündür.

Framinan ve diğ. (2006) sipariş üzerine ve stoka üretim çevrelerinde işleyen CONWIP üretim kontrolü için kart sayısını kontrol eden bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntem literatürden alınan benzer çalışmalarla her iki çevre için benzetim yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

MTO için 4 istasyonlu, tek çeşit ürünün üretildiği bir çevre incelenmiştir. Önerilen yöntem, işlem sürelerinin, çıktı hedefinin değişik seviyeleri ve makina bozulmalarının olduğu çeşitli senaryolarda, istatistiksel çıktı kontrolü yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemde, sisteme eklenecek/çıkarılacak kart sayısına çıktı oranının önceden belirlenen seviyesi ile karar verilmektedir. Yapılan deneyler sonunda, önerilen yöntemin karşılaştırılan sisteme üstünlük sağladığı görülmüştür.

Stoka üretim çevresinde ise işlem sürelerinin üstel olduğu ve talebin poisson dağılımına uyduğu durum göz önüne alınmış ve bu şekilde karşılaştırma yapılmıştır. Sonuç olarak iki yöntem arasında istatistiksel bir fark olmadığı ortaya konulmuştur.

Çalışmada kart sayılarının statik ve dinamik olarak belirlendiği iki durum, süreç içi stok ve çıktı miktarı açısından değerlendirilmiş ve siparişe üretim yapan çevrede dinamik kart kontrolünün üstünlük sağladığı, stoka üretim yapan çevrede ise bir yargıya varılamadığı ortaya konulmuştur. Kart sayılarının dinamik olarak belirlenmesi çekme sisteminin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Gerçek bir sistemde kart sayılarının sürekli değişmesi sistemdeki değişkenliğin artmasına neden olacaktır. Kart sayılarının değişmesi aslında envanter miktarının değişmesi anlamına gelmekte ve sürekli iyileştirme çalışmalarının oluşmasını engellemektir.

Matematiksel modele dayalı çalışmaların genel amacı, sipariş listesinin bulunması olup modellerin amaç fonksiyonları birbirinden farklılık göstermektedir (Ajourlou ve Shams 2012; Cao ve Chen 2005; Framinan ve diğ., 2006; Golany ve diğ., 1999; Herer ve Masin 1997; Wang ve diğ., 2013).

Alfieri ve Matta (2012), Golany ve diğ. (1999) akış tipi yerleşime sahip bir üretim ortamında yayılma süresini minimizasyonunu amaçlayan sipariş listesini bulan bir matematiksel model önermiştir.

Cao ve Chen (2005) birbirine paralel iki üretim hattı tarafından beslenen bir montaj hattında iş yükü dengesizliğini minimize eden bir matematiksel model önermiştir. Aynı şekilde Zhang ve Chen (2001) yine iş yükü dengesizliğinin minimizasyonunu amaçlamıştır. Herer ve Masin (1997) ise sipariş listesini bulurken üretim ile ilgili maliyetlerin minimizasyonunu amaçlamışlardır.

CONWIP üretim kontrolü model çalışmalarındaki üretim ortamı genellikle akış tipidir (Ajlou ve Shams, 2012; Alfieri ve Matta, 2012; Framinan ve diğ., 2006). Melez üretim sistemi çalışmaları ise azınlıktadır. Tez çalışması boyunca karşılaşılan melez ortam sadece Golany ve diğ. (1999)'un çalışmasında vardır. Çalışmada hücreler arası geçişlerin olduğu çok hücreli üretim ortamı ele alınmıştır.

CONWIP sistem tasarımına dayalı çalışmalarda, genellikle ürün çeşitliliğinin çok olduğu, üretim hacminin düşük olduğu durumlarda önerilen CONWIP üretim kontrolünün adapte edilmesi anlatılmaktadır.

Slomp ve diğ. (2009) ürün çeşitliliğinin yüksek üretim hacminin düşük olduğu bir üretim çevresinde CONWIP/FIFO/takt süresi uygulamasına dayalı bir çalışma yapmıştır. Çalışmanın ana katkısı, tek parça akışına yönelik üretim düzgünleştirmenin, çekme ve itme yapısının bir arada kullanılması ve müşteri talep hızına (takt) göre üretimin önerilmesi ile birlikte müşteri hizmet seviyesinde artış, akış süresinde azalma ve buna bağlı olarak temin sürelerinin kısılmasıdır.

Lu ve diğ. (2011) itme kontrolü ile işleyen çok ürünlü, çok aşamalı bir üretim sisteminde üretim ve talep değişkenliğini göz önüne alarak oluşturulan raflı depolama birimine (süpermarkete) sahip CONWIP hattı anlatılmaktadır.

Sistem tasarımı için değer akışı haritalandırma metodu kullanılarak mevcut durum değer akışı ortaya konulmuştur. Yalın üretim aktivitelerinden takt süresi belirleme, hızı belirleyen sürecin seçimi, tek parça akışının oluşturulması, süpermarket kavramı ve üretim düzgünleştirme yöntemi bulunmaktadır.

Mevcut durumdan yararlanılarak gelecek durum değer akışı oluşturulmuş ve sistemin benzetim modeli kurulmuştur. Talep değişkenliğinin belirli seviyeleri için performans ölçütlerinin değerleri TOPSIS yöntemi ile belirlenerek değişkenlik

altında uygun parametre değerleri benzetim modeline girdi olarak belirlenmiştir. Bu şekilde sistemde optimum WIP değeri ve sũpermarket bũyũklũkleri elde edilmiştir.

Yũntem karşılaştırmasına yũnelik çalışmalarda ise; genellikle karşılaştırma salt çekme sistemi ile yapılmıştır.

Geraghty ve Heavey (2004) melez itme/çekme ve CONWIP/ekme kontrol politikalarının karşılaştırmasını yapmıştır. Melez itme/çekme politikası literatũrden alınmıştır.

İtme/ekme politikasının her bir istasyondaki en bũyũk envanter miktarı ve gũvenlik stok seviyesi, benzetimli tavlama tekniği kullanılarak belirlenmiş ve bu değerler benzetim modelinin girdilerini oluşturmuştur. Benzetim modelinde incelenen performans değişkenleri; envanter maliyeti, gecikme maliyeti, ortalama stok ve servis seviyesidir. Sistemde itme ve çekmenin kontrolũnũn aşamaları değiştirilerek 8 farklı deney yapılmıştır.

ũnerilen CONWIP/ekme Sisteminde de yine benzetimli tavlama tekniği ile ortalama stok miktarı hesaplanarak benzetim modelinin girdisi oluşturulmuştur.

Yapılan deneyler sonunda her iki sistemin en iyi sonuçları karşılaştırılmış ve iki sistem arasında istatistiksel bir fark olmadığı ortaya konulmuştur.

Çizelge 2.1’de literatũrde incelenen çalışmaların belirlenen kriterlere gũre ũzeti verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Literatürün amaç, ortam ve uygulama açısından değerlendirilmesi.

Yazar	Amaç			Üretim Ortamı							Gerçek Uygulama	
	Maliyet Minimizasyonu	Temin Süresi Düşürme	Yöntem Karşılaştırma	Fonksiyonel	Akış Tipi	Sipariş Tipi	Melez	Montaj Sistemleri	Tek Hücre	Çok Hücre	Var	Yok
Sum ve Hill (1993)	x		x									x
Steele ve diğ. (1995)					x					x		x
França ve diğ. (2005)					x				x			x
Burbidge (1988)		x							x			x
Leu ve Nazemetz (1995)			x		x					x		x
Rachamadugu ve Tu (1997)	x											x
Riezebos (2011)			x					x			x	
Zolfaghari ve Roa (2006)		x		x	x		x			x		x
Zelenovic ve Tesic (1988)			x							x		x
Mosier ve diğ. (1984)			x			x		x				x
Mahmoodi ve diğ. (1992)			x		x				x			x
Ghezavati ve diğ. (2009)	x									x		x
Süer ve diğ. (1999)	x									x	x	
Kaloğlu ve Sarıçam (2007)		x							x			x
Steele ve diğ. (1995)			x							x		x
Leu ve Wang (1999)			x							x	x	
Krupp (2002)		x				x						x
Chaouiya ve diğ. (2000)								x		x		x
Gaury ve diğ. (2000)			x									x
Plenert (1999)	x											x
Geraghty ve Heavey (2004)				x	x		x					x
Landry ve Duguay (1997)		x								x	x	
Ghrayeb ve diğ. (2009)	x					x						x
Beamon ve Bermudo (2000)		x	x					x				x
Okubo ve diğ. (2000)			x									x
Stadtler (2000)	x		x									x
Bechte (1994)		x				x				x		x
Riezebos ve diğ. (2003)		x									x	
Shtub (1990)	x									x		x
Vericourt ve diğ. (2000)	x										x	
Krajewski ve diğ. (1987)			x		x			x			x	
Trentesaux ve diğ. (1998)			x				x					
Defersha ve Chen (2008)	x											x
Mahdavi ve diğ. (2010)	x											x
Toplam	11	8	14	2	7	4	3	5	4	12	7	26

Çizelge 2.2 : Literatürün kontrol yapısı ve sistem parametresi açısından incelenmesi.

Yazar	Planlama Kontrol Yapısı									Sistem Parametreleri							
	MRP	İş yüküne Dayalı Kontrol	Periyodik Piri Kontrolü	Grup Çizelgeleme	CONWIP	Kanban	POLCA	Melez (Diğer)	Kısıtlar Teorisi	Hazırlık Süresi	Hücre Sayısı	Taşıma Maliyeti	Hazırlık Maliyeti	Elde Bulundurma Maliyeti	Sıraya Bağlı Hazırlık	Ürün Kaması Değişkenliği	Ürün Hacmi Değişkenliği
Sum ve Hill (1993)	x			x						x		x	x				
Steele ve diğ. (1995)			x													x	x
França ve diğ. (2005)				x						x							
Burbidge (1988)			x	x									x	x			
Leu ve Nazemetz (1995)				x							x						
Rachamadugu ve Tu (1997)			x	x						x							
Riezebos (2011)			x													x	x
Zolfaghari ve Roa (2006)				x						x					x		
Zelenoviz ve Tesic (1988)			x	x											x	x	
Monster ve diğ. (1984)				x						x	x						
Mahmoodi ve diğ. (1992)				x									x		x		
Ghezavati ve diğ. (2009)																x	x
Süer ve diğ. (1999)	x			x						x	x					x	x
Kaloğlu ve Sarıçam (2007)											x						
Steele ve diğ. (1995)	x		x			x								x		x	x
Leu ve Wang (1999)				x											x		
Krupp (2002)	x				x	x											
Chaouiya ve diğ. (2000)					x												
Gaury ve diğ. (2000)					x	x	x										
Plenert (1999)	x					x			x								
Geraghty ve Heavey (2003)					x	x		x									
Landry ve Duguay (1997)								x									
Ghrayeb ve diğ. (2009)								x						x			x
Beamon ve Bermudo (2000)	x					x		x									
Riezebos ve diğ. (2003)		x							x								
Shtub (1990)	x																
Vericourt ve diğ. (2000)						x		x									
Krajewski ve diğ. (1987)						x				x			x				x
Trentesaux ve diğ. (1996)	x					x											
Defersa ve Chen (2008)						x											
Mahdavi ve diğ. (2010)														x			
Toplam	8	1	6	11	4	10	1	5	2	7	4	1	4	4	4	6	7

Çizelge 2.2'ye göre hücreli üretim sistemleri kontrolü ile ilgili itme esaslarına dayalı yaklaşımlar çoğunluktadır. Bunun yanı sıra, itme/çekme esaslarına dayalı ve yalnızca çekme esaslarına dayalı çalışmalar da mevcuttur. Yapılan çalışmaların çoğunluğunun amacı, yöntem karşılaştırmaya dayalı olup, maliyet minimizasyonu çalışmaları bulunmaktadır. Üretim sisteminde ilgili maliyetlerin belirlenmesinde pek çok kriter olduğu için maliyet minimizasyonu tüm kriterler göz önüne alınmazsa elde edilen sonuçlar doğruluktan uzak olabilir.

Melez üretim sistemi ile ilgili çalışmalara az rastlanılmıştır ve bu yerleşim için uygun bir planlama ve kontrol yapısı önerilmemiştir. Ayrıca çalışmaların çoğunda gerçek üretim ortamında uygulama yapılmamıştır.

CONWIP matematiksel modele dayalı çalışmalarda üretim ortamı genellikle akış tipidir (Ajlrou ve Shams, 2012; Alfieri ve Matta, 2010; Framinan ve diğ., 2006). Melez üretim ortamını göz önüne alan az çalışmaya rastlanılmıştır. Sadece Golany ve

diğ. (1999) çoklu hücrelerin ve hücreler arası geçişlerin olduğu üretim ortamında çalışma yapmışlardır.

Melez üretim çevresinde üretim parti büyüklükleri, malzeme taşıma maliyeti ve tamamlanma süresi arasındaki değiş tokuş ilişkisini göz önüne alarak azaltmak önerilmektedir. Parti büyüklüklerinin azaltılması ile artan alt parti miktarlarının sıralaması problemi gündeme gelmektedir. Parti bölmesinin olduğu bir ortamda hazırlık frekansı alt partilerin sıralanması ile yakından ilgilidir. Simons ve diğ. (2012) işlem süreleri farklılığı olduğu durumlarda parti bölmesi ile ilgili bazı kurallar önermiştir.

Parti üretiminin yapıldığı çevrelerde, uygun parti büyüklerinin ve alt parti çeşidinin belirlenmesi minimum WIP'e ve minimum temin süresine ulaşılması açısından önemlidir. Riezebos (2004) MGP'deki planlama penceresinin parti bölmesi yaklaşımındaki etkisini incelemiştir. Çalışmada farklı eşit büyüklükteki alt parti büyüklüklerinin farklı planlama pencereleri üzerindeki etkinliği incelenmiştir.

Pimentel ve diğ. (2010) bir tekstil firmasında minimum WIP ve zamanında teslim performans ölçütlerini göz önüne alan sezgisel bir yöntem önermiştir. Önerilen sezgisel yöntem, üretim parti büyüklüklerini, üretim yerini ve üretime başlama zamanını vermektedir.

Parti bölmesi durumunda alt parti tipinden başka diğer tasarım gereksinimleri ise, alt parti sayıları ve benzer alt partilerin birbirini takip etmesi/etmemesi durumlarıdır.

Alt parti sayısı durumunda en büyük alt parti sayısının bilindiği ve alt parti sayılarının bir ile en büyük değer arasındaki değerleri alabildiği durum ve alt parti sayılarının önceden bilindiği ve sabit olduğu durumlar vardır. Buckhin ve Masin (2004), Sarin ve diğ. (2008) en büyük alt parti sayısının bilindiği durumu çalışmışlardır. Sabit alt parti durumu, kapasitenin ve malzeme elleçleme ekipmanlarının kısıtlı olduğu çevrelerde uygulanmaktadır (Sarin ve Jaiprakash, 2007).

Benzer alt partilerin birbirini takip etmesi/etmemesi ile ilgili durumda ise Feldman ve Biskup (2008) çalışmıştır. Çalışmada tutarlı alt partiler için birbiri ardında üretilmesine izin verilen ve verilmeyen durumlar için karışık tam sayılı programlama modeli önerilmiştir.

Kher ve diğ. (2000) çekme tipi parti bölmesi kavramını literatüre eklemiştir. Çekme tipi parti bölünmede, alt parti bir istasyona transfer edilirken sonraki istasyonun uygunluk durumu göz önüne alınmaktadır. Bir sonraki istasyonun girdi tamponu boş ise önceki istasyonda bekleyen alt partiler sonraki istasyona transfer edilmektedir. Aksi halde sonraki istasyonun girdi tamponunun boşalması beklenmektedir. Çalışmada önerdikleri çekme tipi parti bölme ile klasik parti bölme yaklaşımlarını müşteri hizmet seviyesi ve akış süresi performans ölçütleri cinsinden karşılaştırarak, önerdikleri yaklaşımın müşteri hizmet seviyesinden ve akış süresinden ödün vermeden malzeme transferini büyük ölçüde azalttığı ortaya konulmuştur.

Kim ve Ha (2003), JIT felsefesi ile örtüşen küçük parti büyüklüğüne sahip ve sık dağıtım yapan bir tedarikçi, müşteri dağıtım modeli önermiştir. Çalışmada tek bir hazırlık ile çoklu dağıtıma dayanan bir maliyet fonksiyonu önerilmiştir. Üretim miktarları ve dağıtım sıklıkları önerilen maliyet fonksiyonu minimize edilerek bulunmuştur.

Moily (1986) çok aşamalı bir üretim sisteminde parça parti bölmesi problemini çalışmıştır. Parça parti bölmesi tekniği, alt montajının üretimi, ana ürüne göre yapılmaktadır. Çalışmada partileme problemi için parti bölmesini kapsayan bir maliyet fonksiyonu ve sezgisel bir yöntem önerilmiştir.

Dastidar ve Nagi (2007) paralel makinaların ve operasyonlar arası ardıllık öncüllük ilişkilerinin bulunduğu bir montaj sisteminde parti bölmesi ile ilgili bir karışık tam sayılı programlama modelleri önermiştir. Önerilen iki modelden biri, yalnızca parti bölmesini göz önüne almakta diğeri ise, parti bölmesi ile transfer parti büyüklüklerini birlikte ele almaktadır. Çalışmada ayrıca parti büyüklüklerinin miktarını veren ve alt partilerin çizelgelenmesini sağlayan iki adet sezgisel yöntem geliştirilmiştir.

Kumar ve Singhal (2013) hazırlık sürelerinin sıraya bağlı olduğu geleneksel ve genel akış tipi üretim sistemlerinde parti bölmesi ve sıralama problemi için genetik algoritma önermiştir.

Lockwood ve diğ. (2000) fonksiyonel yerleşime sahip bir imalat hücresinde parti bölmesi durumunda çizelgeleme problemini çalışmıştır. Sonuç olarak darboğaz kaynaktan önce yapılan ek hazırlıkların teslim süresi performansı ürünlerin ortalama temin süresini etkilemeden arttırdığı ortaya konulmuştur.

Melez akış tipi parti bölmesi çalışmalarında, üretim ortamı atölye tipi yerleşime sahiptir ve ürün rotaları farklıdır (Zhao ve diğ., 2010).

Azzi ve diğ. (2012) melez akış tipi üretim çevresinde sıralama problemini çalışmıştır. Yayılma süresini minimize eden, etkin kapasite kullanımını arttıran bir sezgisel yöntem geliştirmiştir. Geliştirilen sezgisel yöntemin bir aşaması hazırlık süresi avantajını kullanmak amacıyla aynı tip parçaların birleştirilmesine dayanırken, diğer aşama parti bölmesine dayanmaktadır.

Kia ve diğ. (2012) ürün çeşitliliğinin ve talebin değişken olduğu bir üretim ortamı için, hücre oluşumunu ve grup yerleşimini birlikte ele alan karışık tam sayılı doğrusal olmayan bir matematiksel model önermiştir. Önerilen model; alternatif rotaları, işlem sürelerini, üretim hacimlerini, makine satın alma kararını, makine kapasitelerini, parti bölmesi durumunu, hücre içi ve hücreler arası yerleşimi göz önüne almaktadır. Model, optimum hücre yerleşimini, makinaların konumunu ve her bir parçanın süreç planını vermektedir.

Çizelge 2.3’de görüldüğü gibi parti bölmesi çalışmalarının büyük çoğunluğu yayılma süresi ve ortalama temin zamanı minimizasyonuna odaklanmıştır. Üretim ortamı ise genellikle geleneksel üretim ortamlarından bir tanesidir (atölye tipi, akış tipi vb.). Üretim planlama yapısı ise Kher ve diğ. (2000) hariç itme tipidir.

İncelenen literatürden yapılan çıkarımlar sonucunda, üretim ortamı melez olan az sayıda çalışmaya rastlanılmıştır, melez üretim sistemi için etkin ve verimli bir planlama ve kontrol sistemine rastlanılmamıştır.

Gerçek hayat uygulamalarında rastlanması daha muhtemel olan melez yapılar için itme, çekme planlama ve kontrol faaliyetlerini içeren CONWIP üretim kontrol yapısı, küçük partilerle üretime olanak sağlayan parti bölmesi kavramı ile beraber incelenerek, gerçek bir üretim sisteminde uygulanmıştır. Her bir kavramın ortalama temin süresi üzerindeki etkisinin anlaşılması açısından matematiksel modeller geliştirilerek, farklı senaryolar üzerinde test edilmiştir. Önerilen matematiksel modeller CONWIP üretim kontrolü için sipariş listesini ve alt parti büyüklüklerini vermektedir. Çalışma melez üretim ortamları için etkin ve uygulanması kolay bir yöntem önermekle birlikte literatürde daha önce işlenmemiş bir konuya yer vermektedir.

Çizelge 2.3 : Parti bölmesi çalışmalarının kriterlere göre değerlendirilmesi.

Yazar	Amaç	Üretim Ortamı	Planlama ve Kontrol	Alt parti tipi	Hazırlık	Metot
Zhao ve diğ. (2010)	Yayılma süresi minimizasyonu	Atölye Tipi	İtme kontrolü	Tutarlı	Sıradan bağımsız	Genetik Algoritma
Wang ve diğ. (2013)	Yayılma süresi minimizasyonu	Melez Akış tipi	İtme kontrolü	Eşit	Sıraya bağımlı/bağımsız	Matematiksel Model
Low ve diğ. (2004).	Yayılma süresi/Üretim maliyeti Minimizasyonu	Atölye tipi	İtme Kontrolü	Eşit/değişken	Sıradan Bağımsız	Matematiksel Model
Bukchin ve diğ. (2010)	Yayılma süresi/Akış süresi minimizasyonu	Akış Tipi	İtme Kontrolü	Tutarlı	Sıradan Bağımsız	Değiş-tokuş Programlama Algoritması
Lockwood ve diğ.(2000)	Teslim Süresi performansı maksimizasyonu, Akış süresi minimizasyonu	Fonksiyonel Hücre	İtme Kontrolü	Eşit	Sıradan Bağımsız	Benzetim senaryoları
Kher ve diğ.(2000)	Müşteri Hizmet Parformansı/ Malzeme Elleçleme Parformansı/Parti bütünlüğü kaybı minimizasyonu	Akış Tipi	Çekme Kontrolü	Eşit	Sıradan Bağımsız	Benzetim Senaryoları
Riezebos (2004)	Akış Süresi minimizasyonu WIP minimizasyonu	Grup Teknolojisi hücresi	İtme Kontrolü	Eşit/Değişken	Sıradan Bağımsız	Matematiksel model ve benzetim
Pimental ve diğ. (2010)	/Zamanında teslimat maksimizasyonu	Atölye tipi	İtme kontrolü	Değişken	-	Liste çizelgeleme algoritması
Bukchin ve Masin (2004)	Ortalama akış süresi/Yayılma süresi minimizasyonu	Akış Tipi	İtme Kontrolü	Tutarlı	Sıradan Bağımsız	Değiş Tokuş Programlama Algoritması
Sarin ve diğ. (2008)	Maliyete dayalı yayılma süresi/Ortalama akış süresi/WIP/Alt partiye bağlı hazırlık vve transfer süresi minimizasyonu	Akış Tipi	İtme Kontrolü	Eşit/Tutarlı	Sıradan Bağımsız	Birleşik Maliyete dayalı Model
Feldman ve Biskup (2008)	Yayılma süresi minimizasyonu	Permütasyon Akış Tipi	İtme Kontrolü	Tutarlı	Sıraya Bağımlı/Bağımsız	Karışık Tam Sayılı Programlama
Dastidar ve Nagi (2007)	Yayılma süresi minimizasyonu	Montaj Oparasyonu	İtme Kontrolü	-	Sıradan Bağımsız	Matematiksel Model ve Sezgisel
Kumar ve Singhal (2013)	Yayılma süresi minimizasyonu	Akış Tipi	İtme Kontrolü	Eşit	Sıraya Bağımlı	Genetik Algoritma
Azzi ve diğ. (2012)	Yayılma süresi minimizasyonu	Melez Akış Tipi	İtme Kontrolü	-	Sıradan Bağımsız	Sezgisel

3. CONWIP ÜRETİM KONTROLÜ VE PARTİ BÖLMESİ İÇİN ÖNERİLEN MATEMATİKSEL MODELLERİN ANALİZİ

Bu bölümde tez çalışmasında geliştirilen matematiksel modellere kaynak olan CONWIP matematiksel modelinin incelenmesi, kısıtların analizi ve akış tipi yerleşime sahip üretim ortamında parti bölmesi problemi için Sarin ve Jaiprakash (2007)'de bahsedilen matematiksel modeller ayrı ayrı incelenmiştir.

3.1 CONWIP Üretim Kontrolü İçin Geliştirilen Matematiksel Modeller

Herer ve Masin (1997) CONWIP sipariş listesi oluşturma problemini incelemiştir. Çalışmada hazırlık süreleri sıraya bağımlı olup, talebin bilindiği varsayımı yapılmıştır, transfer parti büyüklüğü kavramına değinilerek bu büyüklük, bir birim olarak alınmıştır. Sistemde üretimin parça talebi gelmeden yapılması halinde, parçaya envanter maliyeti eklenerek çekme felsefesine uygun üretim amaçlanmıştır. Parça işlem süreleri deterministiktir. Çıktı miktarı ve sistemde kalış süresini bulmak için ise Ortalama Değer Analizi (ing. Mean Value Analysis) kullanılmıştır.

Önerilen matematiksel modelin amacı; nihai ürün stok maliyeti, sipariş gecikmesi maliyeti, yarı mamul stok maliyeti ve fazla mesai maliyetinin en küçüklenmesidir.

Kısıtlar ise; Yarı mamul ve nihai ürün eşitliği, talebin planlama ufku karışılması ve sipariş listesi girişlerinde bir ürün olması, ortalama değer analizi yöntemi ile bulunan etkin işlem süresi kısıtı, Little (1961) yasası kullanılarak bulunan ortalama sistemde temin süresi kısıtı, siparişlerin sisteme giriş zamanı kısıtı ve sistemden çıkış zamanı kısıtıdır. CONWIP kısıtı ise, sisteme yeni bir ürünün girmesi bir önceki siparişin tamamlanmasından sonra olarak belirlenmiştir. Son olarak normal ve fazla mesai zaman kısıtları vardır.

Önerilen matematiksel model ortalama değer analizi yönteminin varlığından dolayı doğrusal olmayan programlama modelidir. Önerilen model bir örnek üzerinde değerlendirilmemiştir.

Zhang ve Chen (2001) CONWIP üretim kontrolünde sipariş listesi oluşturma problemi ele almıştır. Doğrusal olmayan programlama modeli önermiş, modeli doğrusal hale getirilerek çeşitli örnekler üzerinde çözülmüştür. İncelenen sistem, akış hattı yerleşimine sahiptir. Hazırlık süreleri sıraya bağımlıdır. Sistemdeki darboğaz istasyona odaklanılmış olup darboğaz istasyona göre belirlenen sıra sipariş listesini oluşturmaktadır. Darboğaz istasyonun tek bir istasyon olduğu ve ürüne göre değişiklik göstermediği varsayımı vardır.

Modelin amacı; darboğaz istasyondaki hazırlık maliyetlerinin ve sipariş listesi girdileri arasındaki iş yükü dengesizliğinin minimizasyonudur.

Modeldeki kısıtlar; darboğaz istasyon kapasite kısıtı, sipariş listesi girişleri arasındaki iş yükü dengesizliği kısıtı, talep karşılanması kısıtı, sipariş listesi girişleridir.

Model üç ve beş ürünlü, dört makinalı, sipariş listesi giriş sayısının üç, dört, beş, 6 ve 7 olduğu örnekler üzerinde, iş yükü dengesizlik maliyet katsayısını ve hazırlık süresi maliyet katsayısının değişik değerleri için çözülmüş ve sipariş listesi elde edilmiştir.

Golany ve diğ. (1999) CONWIP üretim kontrolünde sistemdeki kart sayısını bulan ve sipariş listesini oluşturan karışık tam sayılı matematiksel bir model geliştirmiştir. Çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak ürünlerin rotalarının benzer olma zorunluluğunun olmamasıdır ve alternatif rotaların da göz önüne alınmış olmasıdır.

Modelin amacı, siparişin tamamlanma zamanının en küçüklenmesidir. Çalışmada hazırlık süreleri dikkate alınmadığı ve hazırlık sürelerinin sıraya bağımlı olduğu durumlarda önerilen model çalıştırılmıştır.

Modeldeki kısıtlar; aynı anda bir siparişin tek bir hücreye atanma kısıtı, siparişin makinada işlem görme kısıtı, sipariş bir hücrede bir sonraki makinada işlenmeye başlama zaman kısıtı, sistemdeki kart sayısı kısıtıdır.

Modelin çözümünde ise Benzetimli Tavlama (ing. Simulated Annealing) yöntemi kullanılmıştır. Önerilen sezgisel yöntemin doğruluğunu ve performansını ölçmek için benzetimden yararlanılmıştır. Model; 5, 6, 7, 8 ve 9 çeşit ürünün bulunduğu dört ürün ailesinin olduğu, üç ve 8 hücrenin olduğu senaryolarda test edilmiştir.

Cao ve Chen (2005) paralel iki CONWIP hattının montaj hattını beslediği bir üretim sisteminde sipariş listesinin oluşturulması problemini ele almıştır. Sistemden nihai

ürün çıktığında bir sinyal kanbanı üretimi başlatmaktadır. Montaj istasyonunun işleme başlayabilmesi için paralel hatlardan ikisinden de montajı yapılacak ürünün parçalarının gelmesi gerekmektedir. Ürünlerin paralel hatlarda rota esnekliği bulunmaktadır. Hazırlık süreleri sıraya bağımlıdır.

Modelin amacı, toplam hazırlık süresi ve paralel üretim hatlarındaki iş yükü dengesizliği minimizasyonudur.

Modeldeki kısıtlar; paralel hatlarda siparişlerin tamamlanma zamanı kısıtı, paralel hatlarda iş yükü dengesizliği kısıtı, tamamlanma zamanının belirlenen teslim zamanından küçük olma kısıtı, işlerin sıralanma kısıtıdır.

Önerilen model doğrusal olmayan karışık tam sayılı programlama modelidir. Doğrusal olmayan bazı kısıtlar doğrusal hale getirilmiş, doğrusal hale getirilemeyen bazı kısıtlar için ise bir sayma yöntemi kullanılarak optimum sonuca ulaşılması hedeflenmiştir.

Önerilen model 6, 8 ve 15 çeşit ürünün bulunduğu bir üretim sisteminde uygulanmış ve her bir hatta atanacak olan parça sayısı ile sıralar elde edilmiştir.

Alfieri ve Matta (2012) tek çeşit ürünün üretildiği akış tipi atölyede Kanban, CONWIP ve Temel Stok (ing. Base Stock) kontrolleri için matematiksel modeller kurmuş ve bu modellerin performansını ve doğruluğunu benzetim yardımıyla test etmiştir.

Çalışmada önerilen CONWIP üretim kontrolü modelinde amaç; siparişlerin sisteme alınma, işlenme ve sistemden çıkış zamanlarının minimizasyonudur.

Modeldeki kısıtlar ise; üretim kısıtları, siparişin bir sonraki süreçte işlenmeye başlama zamanı kısıtı, CONWIP kart sayısı kısıtı ve talep gelmeden üretimin başlamaması kısıtıdır. Çalışmada literatürdeki diğer modellerden farklı olarak hammadde kısıtı (ilgili siparişin hammaddesi sisteme gelmediyse üretim başlayamaz) vardır. Diğer modellerde taleplerin belirli bir anda geldiği varsayılmıştır ancak bu modelde bu varsayım ortadan kaldırılmıştır.

Lee ve Lee (2003) rotalarda geri dönüşlerin olduğu bir üretim sisteminde itme, itme/çekme ve çekme kontrol politikaları için matematiksel model kurmuş, hangi kontrol mekanizmasının üstün olduğunu incelemesini yapmıştır.

Modelin amacı; hedeflenen yarı mamul miktarı ile sonuçta oluşan yarı mamul miktarı arasındaki farkın minimizasyonudur.

Modeldeki kısıtlar ise; yarı mamul kısıtı, kapasite kısıtı ve talep kısıtıdır.

Luh ve diğ. (2000) atölye tipi üretim sisteminde CONWIP üretim kontrolü için matematiksel model önerilmiştir. Modelin amacı; erken tamamlanma ve geç tamamlanma zamanları minimizasyonudur. Önerilen model lagranj genişlemesi, dinamik programlama ve sezgisel yöntemlerle çözülerek sipariş çizelgesi elde edilmiştir.

Çizelge 3.1 : CONWIP çalışmalarının değerlendirilmesi.

Amaç													Kısıtlar													
	Minimizasyon												Mantıksal Kısıtlar										Conwip Kısıtı			
Yazar	Envanter Maliyeti	Sipariş Gecikmesi	WIP	Fazla Mesai	Hazırlık Süresi	İş yükü Dengesizliği	Hücre Yayılma Süresi	Temin Süresi	Kanban Maliyeti	Hedef WIP sapması	Erken ve Geç Tamamlanma	Envanter Eşitliği	Talep, Üretim Eşitliği	Sipariş Listesi Girişleri	İş atanma *	Rota kısıtı	Çalışma saatleri	Darboğaz makine kapasitesi	İstasyona iş atama, işlem süresi	Paralel Hatlara atama	Sisteme alınma ve işleme başlama zamanı	Üretime başlama	Etkin işlem süresi	İş yükü dengesi	Conwip (wip) sayısı	Sisteme alınma ve Tamamlanma zamanı
Herer ve Masin (1997)	x	x	x	x								x	x	x			x				x		x			x
Zhang ve Chen (2001)	x					x							x	x			x							x		
Golany ve diğ. (1999)							x					x		x	x				x						x	
Cao ve Chen (2005)					x	x														x	x		x			
Alfieri ve Matta (2012)	x							x								x			x		x	x		x	x	
Mitwasi ve Askin (1994)	x											x	x							x				x		
Lee ve Lee (2003)										x		x*	x*											x		
Luh ve diğ. (2000)											x					x				x				x		
Toplam	4	1	1	1	1	2	1	1	0	1	1	4	4	3	1	2	1	1	2	1	4	1	1	2	5	2

Çizelge 3.1’de matematiksel modele dayalı CONWIP üretim kontrol çalışmalarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Amaç fonksiyonunda genellikle envanter maliyetlerinin minimizasyonuna odaklanılmıştır. İş yükü dengesizliğinin minimizasyonu diğer öncelikli amaçlardandır. Çekme kontrolünde önemli bir yer taşıyan tam zamanlı üretim için temin süresinin minimizasyonu öncelikli amaçlardan biri olarak düşünülmemiştir. Kısıtlarda ise; öncelikle envanter eşitliği, siparişlerin sisteme alınma zamanı kısıtı, sipariş listesi girişleri kısıdı, rota kısıdı, işlerin istasyonlara atanma kısıdı, çalışma süresi kısıdı darboğaz istasyon kısıtı ve paralel hatlara atama kısıtları bulunmaktadır.

Çizelge 3.2 : CONWIP çalışmalarında incelenmeyen durumlar.

Göz Önüne Alınmayanlar					
Conwip kontrolü			Sistem İşleyişi		
Darboğaz	Kart Sayısı	Sisteme Alınma zamanı	Transfer Parti Büyüklüğü	Sıraya Bağlı Hazırlık Süresi	Etkin İşlem Süresi
x			x	x	
		x	x	x	x
x	x	x	x	x	x
x	x	x	x		x
	x	x		x	
x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x
x	x		x	x	x
6	6	6	7	7	6

Çizelge 3.2’de literatürdeki mevcut CONWIP çalışmalarında göz önüne alınmayan kriterler gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde çalışmalarda darboğaz istasyona göre bir çizelgeleme yapısı, parti bölmesinin göz önüne alınması ve sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin göz önüne alınması durumları ile karşılaşılmamıştır.

Tez çalışmasında geliştirilen modelde, literatürdeki eksikliklere bakılarak ve bu eksikliklerin gerçek uygulamalardaki öneminden yola çıkılarak, parti bölmesi ve darboğaz istasyona göre çizelgeleme yapısı göz önüne alınmaktadır.

3.2 Akış Tipi Atölyede Parti Bölmesi Matematiksel Modelleri

Bu bölümde Sarin ve Jaiprakash (2007)'de bahsedilen parti bölmesi matematiksel modellerden hazırlık sürelerinin partiye bağlı olduğu/olmadığı ve alt parti tiplerinin tutarlı/eşit olduğu durumlar ile ilgili önerilen matematiksel modeller incelenecektir. İncelenen modellerin sınıflandırılması Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 : Parti bölmesi modellerinin özellikleri

Model	Makine Sayısı	Parti Sayısı	Hazırlık Süresi	Sistemden Ayrılma Süresi	Transfer Süresi	Partilerin İç içe Geçmesi	Alt Parti Tipi	Sürekli ya da Kesikli Alt Parti
1	m	N	Partiye bağlı	Var	Var	Yok	Tutarlı, Eşit	Sürekli, Kesikli
2	m	N	Partiye bağlı olmayan	Var	Var	Yok	Tutarlı, Eşit	Sürekli, Kesikli
3	m	N	Alt partiye bağlı	Var	Var	Var	Tutarlı, Eşit	Sürekli, Kesikli
4	m	N	Alt Partiye bağlı olmayan	Var	Var	Var	Tutarlı, Eşit	Sürekli, Kesikli

İncelenecek matematiksel modeller için kullanılan notasyon aşağıdaki gibidir.

Notasyon:

Parametreler;

$RT_{j,k}$: j partisinin k makinasından ayrılma süresi

FT_j : j partisinin sabit transfer süresi

VT_j : j partisi için değişken transfer süresi

$\tau_{j,k}$: j partisinin k makinasında alt partiye bağlı hazırlık süresi

$t_{j,k}$: j partisinin k makinasındaki hazırlık süresi

G : yeterince büyük sayı

Değişkenler;

$s_{i,j,k}$: j partisinin i . altpartisinin k makinasındaki büyüklüğü

$C_{i,j,k}$: j partisinin i . altpartisinin k makinasında tamamlanma zamanı

$y_{i,j,k}$: i partisi j partisinden önce geliyorsa 1 diğer durumlarda 0 olan değişken

C_{max} : yayılma süresi

3.2.1 Model 1 için önerilen matematiksel model

Model 1’de m makinalı, N partili, hazırlık sürelerinin sıraya bağımlı olduğu, bir ürün çeşidinin tüm alt partileri işlenmeden farklı bir ürün çeşidinin işlenmediği bir üretim sisteminde yayılma süresini minimize eden model anlatılmaktadır.

Model 1 için yapılan kabuller;

-Alt parti transfer süreleri sabit ve değişken olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Sabit olan kısım tüm alt partiler için aynı olup, değişken olan kısım ise alt partinin büyüklüğüne bağlıdır. Hesaplaması ise; $VT_j \cdot s_{i,j,k}$ şeklindedir.

- Partilerin sistemden ayrılma süreleri son alt partiye eklenmekte ve partilerin işlenme sürelerinden bağımsızdır.

-Tüm partilerin alt parti sayıları bilinmektedir.

Model 1:

$$\text{Min. } C_{max}$$

Yayılma Süresi Kısıtı

$$C_{max} \geq C_{n,j,m} + RT_{j,m}, \forall n, j = 1, \dots, N. \quad (3.1)$$

(3.1) C_{max} değerini tanımlamaktadır. Bu değer sıralamada yer alan son alt partinin, son makinadaki tamamlanma zamanıdır.

Parti büyüklüğü Kısıtı

$$\sum_{u=1}^{n_j} s_{u,j,k} = U_j, \forall j = 1, \dots, N, \quad k = 1, \dots, m. \quad (3.2)$$

(3.2) k makinasında işlenen bir partinin alt parti büyüklüklerinin toplamının parti büyüklüğüne eşitliğini sağlayan kısıttır.

Tutarlı Alt parti Büyüklüğü Kısıtı

$$s_{i,j,k} = s_{i,j,k+1}, \forall i = 1, \dots, n_j, j = 1, \dots, N, k = 1, \dots, (m - 1). \quad (3.3)$$

Eşit Alt parti Büyüklüğü Kısıtı

$$s_{i,j,k} = s_{i+1,j,k}, \forall j = 1, \dots, N, k = 1, \dots, m. \quad (3.4)$$

(3.3) bir parti için tutarlı alt parti durumunda kullanılacak kısıttır. Eşit alt parti kısıtı oluşturulmak istenirse (3.3) ve (3.4) no'lu kısıtlar bir arada kullanılmalıdır.

Partiye Bağlı Hazırlık Kısıtı

$$s_{1,j,k} \geq \Psi, \forall j = 1, \dots, N, k = 1, \dots, m. \quad (3.5)$$

(3.5)'de yer alan Ψ herhangi bir makinada bir hazırlık yapmak için gerekli minimum parti miktarını göstermektedir. Partiye bağlı hazırlıkların olduğu durumda makine hazırlığı her bir partinin ilk altpartisi ile yapılır. Ancak bu hazırlığın yapılabilmesi için belirli miktarda parça ihtiyacı kısıtı olabilir.

Alt parti Büyüklüğü Kısıtı

$$s_{i,j,k} \geq 0, \forall i = 2, \dots, n_j, j = 1, \dots, N, k = 1, \dots, m. \quad (3.6)$$

(3.6) kısıt altpartilerin negatif olmaması kısıtıdır.

Sıralı işleme kısıtı

İlk alt parti için;

$$\begin{aligned} C_{1,j,(k+1)} - p_{j,(k+1)}s_{1,j,(k+1)} &\geq C_{1,j,k} + t_{j,(k+1)} + FT_j + VT_j s_{1,j,k}, \forall j \\ &= 1, \dots, N, k = 1, \dots, (m - 1). \end{aligned} \quad (3.7)$$

(3.7) ilk alt parti için $k+1$. Makinede işleme başlama zamanını göstermektedir. Bir partinin ilk alt partisinin $k+1$. makinada işleme başlama zamanı altpartinin k . makinada işleme başlama zamanına, $k+1$. Hazırlık süresine ve sabit ve değişken transfer zamanlarına bağlıdır.

Diğer alt partiler için;

$$\begin{aligned} C_{i,j,(k+1)} - p_{j,(k+1)}s_{i,j,(k+1)} &\geq C_{i,j,k} + FT_j + VT_j s_{i,j,k}, \forall i = 2, \dots, n_j, j \\ &= 1, \dots, N, k = 1, \dots, (m - 1). \end{aligned} \quad (3.8)$$

(3.8) ise (3.7) ile aynı olup bir partinin ilk alt partisi hariç $k+1$. Makinada işleme başlama kısıtıdır.

Partilerin iç içe geçmeme kısıtı

(i,j) partisi (i',j') partisinden önce geliyorsa;

$$\begin{aligned}
& (C_{i',j',k} - p_{j',k} s_{i',j',k}) - (C_{i,j,k} - p_{j,k} s_{i,j,k}) + G(1 - y_{j,j'}) \\
& \geq \left(U_j - \sum_{u=1}^{i-1} s_{u,j,k} \right) p_{j,k} + RT_{j,k} + t_{j',k} \\
& + p_{j',k} \sum_{u=1}^{i'-1} s_{u,j',k}, \forall (i,j) \text{ ve } (i',j'): j \neq j', i = 1, \dots, n_j, j \\
& = 1, \dots, N, i' = 1, \dots, n_{j'}, j' = 1, \dots, N, k = 1, \dots, m.
\end{aligned} \tag{3.9}$$

(i',j') partisi (i,j) partisinden önce geliyorsa;

$$\begin{aligned}
& (C_{i,j,k} - p_{j,k} s_{i,j,k}) - (C_{i',j',k} - p_{j',k} s_{i',j',k}) + G y_{j,j'} \\
& \geq \left(U_{j'} - \sum_{u=1}^{i'-1} s_{u,j',k} \right) p_{j',k} + RT_{j',k} + t_{j,k} \\
& + p_{j,k} \sum_{u=1}^{i-1} s_{u,j,k}, \forall (i,j) \text{ ve } (i',j'): j \neq j', i = 1, \dots, n_j, j \\
& = 1, \dots, N, i' = 1, \dots, n_{j'}, j' = 1, \dots, N, k = 1, \dots, m.
\end{aligned} \tag{3.10}$$

Birbirine eşit olmayan j ve j' partileri için j partisinin j' partisinden önce geldiği ya da j' partisinin j partisinden önce geldiği iki durum vardır. Buyukarıda yazılan iki kısıttan yalnızca birinin bağlayıcı olması gerektiğinden bu kısıtlara ayırıcı kısıtlar denilmektedir. Eğer (3.9) bağlayıcı ise (3.10)'un bağlayıcılığı ortadan kalmaktadır. (3.9) ve (3.10), farklı partilere ait, i ve i' alt partilerinin işleme başlama zamanları arasındaki farkın, j partisinden i alt partisinden n_j alt partisine kadar olan işlem sürelerinin toplamına, j' partisinden $i'-1$. alt partisine kadar olan işlem süreleri toplamına, j partisinden sistemden ayrılış süresine ve j' partisinden hazırlık süresine bağlıdır.

İstasyon kapasite kısıtları

j partisinin ilk makinadaki ilk alt partisi için;

$$C_{1,j,1} - p_{j,1}s_{1,j,1} \geq t_{j,1}, \forall j = 1, \dots, N. \quad (3.11)$$

(3.11) herhangi bir j partisinin ilk alt partisini ilk makinada işleme ancak hazırlık süresi tamamlandıktan sonra başlayabilir.

j partisinin ilk makinada $i=2, \dots, n_j$ alt partileri için;

$$C_{(i+1),j,1} - p_{j,1}s_{(i+1),j,1} = C_{i,j,1}, \forall i = 1, \dots, (n_j - 1), j = 1, \dots, N. \quad (3.12)$$

(3.12) j partisinin $i+1$. Alt partisinin ilk makinada işleme başlama zamanı i . alt partisinin tamamlanma zamanına bağlı olduğunu göstermektedir.

Makina $k=2, \dots, m$ 'deki tüm alt partiler için;

$$C_{(i+1),j,k} - p_{j,k}s_{(i+1),j,k} \geq C_{i,j,k}, \forall i = 1, \dots, (n_j - 1), j = 1, \dots, N, k = 2, \dots, m. \quad (3.13)$$

(3.13), makina 2 ve sonrasında işlenen tüm partiler için $i+1$. Alt partinin işleme başlama zamanının i . alt partinin işleme başlama zamanına bağlı olduğunu göstermektedir.

3.2.2 Model 2 için önerilen matematiksel model

Model 2, Model 1'den farklı olarak, hazırlıkların partiye bağlı durumu incelemektedir.

Bu durumda Amaç fonksiyonu ve kısıtlardan (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.6), (3.9), (3.10), (3.11), (3.12) ve (3.13) no'lu kısıtlar aynı kalmaktadır. Partiye bağlı hazırlık süresi kısıtı olan (3.5) no'lu kısıt ise Model 2'de yer almamaktadır. Bunun yanında (3.7) ve (3.8) no'lu sıralı işleme kısıtları ise birleştirilerek şu şekilde olmaktadır;

$$C_{i,j,(k+1)} - p_{j,(k+1)}s_{i,j,(k+1)} \geq C_{i,j,k} + FT_j + VT_js_{i,j,k}, \forall i = 1, \dots, n_j, j = 1, \dots, N, k = 1, \dots, (m - 1). \quad (3.14)$$

Bu durumda Model 2 için;

$$\text{Min. } C_{max}$$

(3.1),(3.2),(3.3),(3.4),(3.6),(3.9),(3.10),(3.11),(3.12),(3.13),(3.14) olarak eşitsizlikler yazılmaktadır.

3.2.3 Model 3 için önerilen matematiksel model

Model 3 olarak adlandırılan matematiksel modelde hazırlık sürelerinin alt partiye bağlı olduğu ve farklı partilerin karışık bir şekilde işlenebildiği durum incelenmektedir. Model 3 Model 1 ile benzerlik göstermekte olup farklı olarak hazırlıkların alt partiye bağlı olması söz konusudur. Model 3 için kısıtlar Model 1’de yer alan (3.1),(3.2),(3.3),(3.4),(3.6) aynı olup, (3.5) no’lu kısıt kaldırılmaktadır. (3.7) ve (3.8) no’lu ardışık işleme kısıtı ise şu şekilde ifade edilmektedir;

$$\begin{aligned} C_{i,j,(k+1)} - p_{j,(k+1)}S_{i,j,(k+1)} &\geq C_{i,j,k} + \tau_{j,(k+1)} + FT_j + VT_jS_{i,j,k} \quad \forall i \\ &= 1, \dots, n_j, j = 1, \dots, N, k = 1, \dots, (m-1). \end{aligned} \quad (3.15)$$

(3.15), herhangi bir i altpartisinin $k+1$. makinada işleme başlama zamanının k . makinada tamamlanma zamanına ve alt parti için gereken hazırlık süresine ve transfer sürelerine bağlı olduğunu göstermektedir.

Partilerin karışık üretilebilme kısıtı

(i,j) partisi (i',j') partisinden önce geliyorsa;

$$\begin{aligned} C_{i',j',k} - p_{j',k}S_{i',j',k} - C_{i,j,k} + G(1 - y_{i,j,i',j'}) \\ \geq RT_{j,k} + \tau_{j',k}, \forall (i,j) \text{ ve } (i',j'), i = 1, \dots, n_j, j \\ = 1, \dots, N, i' = 1, \dots, n_{j'}, j' = 1, \dots, N, k \\ = 1, \dots, m. \text{ eğer } j = j' \text{ ise } i \neq i' \end{aligned} \quad (3.16)$$

(i',j') partisi (i,j) partisinden önce geliyorsa;

$$\begin{aligned} C_{i,j,k} - p_{j,k}S_{i,j,k} - C_{i',j',k} + Gy_{i,j,i',j'} &\geq RT_{j',k} + \tau_{j,k}, \forall (i,j) \text{ ve } (i',j'), i \\ &= 1, \dots, n_j, j = 1, \dots, N, i' = 1, \dots, n_{j'}, j' = 1, \dots, N, k \\ &= 1, \dots, m. \text{ eğer } j = j' \text{ ise } i \neq i' \end{aligned} \quad (3.17)$$

Bu ayrılmış kısıtlar partilerin içi içe geçmeme kısıtında uygulanan duruma benzerdir. İç içe geçme durumuna izin verildiği için $y_{i,j,i',j'}$ olan yeni bir değişken tanımlanmıştır. Bu değişken (i,j) alt partisinden (i',j') alt partisinden önce geldiği durumlarda 1 değerini alan ve diğer durumda 0 değerini alan 0-1 değişkendir. Bu durumda (i,j) alt partileri ile (i',j') alt partilerinin işleme başlama zamanları

arasındaki fark en az (i,j) alt partisinin işlem süreleri toplamı ve (i',j') alt partisinin hazırlık süresi kadar olmalıdır.

İstasyon kapasite kısıtı ise;

$$C_{i,j,1} - p_{j,k} s_{i,j,1} \geq \tau_{j,1}, \forall i = 1, \dots, n_j, j = 1, \dots, N. \quad (3.18)$$

Bu durumda Model 3 için;

$$\text{Min. } C_{max}$$

(3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.6), (3.15), (3.16), (3.17) ve (3.18) no'lu eşitsizlikler yazılmaktadır.

3.2.4 Model 4 için önerilen matematiksel model

Model 4'te hazırlıkların alt partiye bağlı olmadığı, transfer ve sistemden ayrılış zamanlarının göz önüne alındığı ve partilerin karışık üretilmesine izin verildiği durum incelenmektedir.

Model 4, Model 3 ile benzerlik göstermektedir. Farklı olarak hazırlık sürelerinin alt partiye bağlı olmadığı durum söz konusudur. Buna göre kısıtlar (3.1),(3.2),(3.3),(3.4),(3.6), (3.16),(3.17) aynı kalmakta sıralı üretim kısıtı şu şekilde ifade edilmektedir;

$$C_{i,j,(k+1)} - p_{(k+1)} s_{i,j,(k+1)} \geq C_{i,j,k} + FT_j + VT_j s_{i,j,k}, \forall i = 1, \dots, n_j, j = 1, \dots, N, k = 1, \dots, (m-1). \quad (3.19)$$

İstasyon kapasite kısıtı ise;

$$C_{i,j,k} - p_{j,k} s_{i,j,k} \geq \tau_{j,k}, \forall i = 1, \dots, n_j, j = 1, \dots, N, k = 1, \dots, m. \quad (3.20)$$

Bu durumda Model 4 için;

$$\text{Min. } C_{max}$$

(3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.6), (3.16), (3.17), (3.19), (3.20) eşitsizlikleri yazılmaktadır.

Tez çalışmasında yalın üretim felsefesi ile uygun olan küçük partilerle üretime olanak sağlayan parti bölmesi, önerilen CONWIP üretim kontrol yapısı ile entegre

edilmektedir. Parti bölmesi matematiksel modelleri Model 1,2,3 ve 4'te olduğu gibi akış tipi yerleşime sahip sistemlerde önerilmiştir. Parti bölmesi durumu melez üretim yapıya sahip hücreler arası taşımaların olduğu üretim sisteminde uygulanmaktadır. CONWIP modelinin kısıtları oluşturulurken bu bölümde incelenen modellerin kısıtlarından yararlanılmıştır. Modelde parti bölmesi durumu ile ilgili olarak, alt partilerin iç içe geçmediği (ing. non-intermingling), maksimum alt parti sayısının bilindiği, tutarlı alt partilere sahip ve hazırlık sürelerinin parti sırasına bağlı olduğu durum incelenmiştir. Üretim sistem yapısı olarak ise; yukarıda bahsedildiği gibi melez üretim ortamı göz önüne alınarak, hücrelerde tek parça akışı olduğu, fonksiyonel bölümde ise parti akışı olduğu varsayılarak bir modelleme yapılmıştır.

Bir sonraki bölümde bahsedilen üretim ortamı için önerilen CONWIP üretim kontrollü, parti bölmesinin olduğu matematiksel modelle ve her bir yapının tek başına faydalarını anlamak, karşılaştırma yapmak amacıyla geliştirilen modellere yer verilmektedir. Önerilen matematiksel modeller işlem süresi değişkenliği altında, hazırlık süresinin farklı seviyelerinde ve talep büyüklüğünün farklı seviyelerinde çalıştırılmış ve yorumlanmıştır.

4. MELEZ ÜRETİM SİSTEMİ İÇİN PARTİ BÖLMELİ CONWIP ÜRETİM KONTROLÜNE YÖNELİK GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELLER

Bu bölümde melez bir üretim ortamında CONWIP üretim kontrolü ve parti bölmesi durumlarının ortalama temin zamanı üzerinde birlikte olan etkileri ve tek tek olan etkilerini araştıran dört adet matematiksel model önerilmiştir.

Geliştirilen matematiksel modeller sırasıyla CONWIP üretim kontrolü ve parti bölmesinin olduğu *CON_LSPT*, CONWIP üretim kontrolü ve parti üretiminin olduğu *CON_LOT*, itme kontrolünün ve parti bölmesinin olduğu *PUSH_LSPT* ve itme kontrolü ve parti üretiminin olduğu *PUSH_LOT* modelleridir. Önerilen matematiksel modellerin her biri, talep değişkenliğinin yüksek ve düşük olduğu durumlarda, hazırlık süresi azaltma oranının olduğu ve olmadığı durumlarda ve talebin yüksek ve düşük olduğu durumlarda çalıştırılarak her bir faktörün ilgili yapı üzerindeki etkileri incelenerek sonuçlar ayrıntılı bir şekilde tartışılmıştır.

Tez çalışması boyunca incelenen hipotetik üretim ortamı, akış tipi yerleşime sahip tahsisli hücrelerden ve fonksiyonel yerleşime sahip fonksiyonel bölümden oluşmaktadır.

4.1 Matematiksel Modeller

Bu bölümde CONWIP üretim kontrolü ve parti bölmesi için geliştirilen matematiksel modellere değinilmiştir. Anlatılan modeller sırasıyla *CON_LSPT*, *CON_LOT*, *PUSH_LSPT* ve *PUSH_LOT* modelleridir. Matematiksel modellerde yapılan kabuller aşağıdaki gibidir.

Kabuller:

- Ürünlere olan talep $t=0$ anında bilinmektedir.
- Üretim Ortamı hücrelerden ve fonksiyonel bölümden oluşmaktadır. Hücreler akış tipi atölye düzenine sahip olup, fonksiyonel bölüm olarak adlandırılan bölüm ise

fonksiyonel yerleşime sahiptir. Ürünlerin akışı hücreler içerisinde tek parça halinde olup, fonksiyonel bölümde parti tipi üretim vardır, ürünlerin izlediği rotalar farklıdır.

- Bir ürüne ait partinin tüm alt partileri bitmeden diğer bir ürüne ait partinin alt partisi üretilemez.

- Alt partilerin transfer zamanı göz ardı edilmektedir.

- Makina hazırlık süreleri sıraya bağlıdır.

- Alt partiler ilgili alt partinin son elemanı işlem görür görmez bir sonraki hücreye transfer edilmektedir.

- Makina arızaları göz önüne alınmamıştır.

- Hammadde ve üretim için gerekli malzemelerin hazır olduğu kabul edilmiştir.

Parametreler:

O :Sistemdeki kart sayısı.

U_j : j partisinin büyüklüğü.

RT_j : j partisinin sistemden ayrılış süresi.

FT_j : j partisinin sabit transfer süresi.

VT_j : j partisinin alt parti büyüklüğüne bağlı transfer süresi.

$kmax_{jc}$: j partisinin c hücresindeki darboğaz operasyon süresi.

$t_{jj,c}$: j partisinden sonra üretilecek olan j' partisinin sıraya bağımlı hazırlık süresi.

p_{jkc} : j partisinin c hücresindeki k makinasında işlem süresi.

Karar değişkenleri:

$y_{i,j,c}$: j partisine ait i alt partisinin c hücresinde tamamlanma zamanı.

$x_{j,c}$: j partisi sisteme girdiğinde sistemdeki yarı mamul sayısı.

$z_{j,j',c}$: j partisi j' partisinden önce sisteme giriyorsa 1 diğer durumlarda 0 olan değişken.

$R_{j,j',c}$: j partisi j' partisinden önce sistemden çıkıyorsa 1 diğer durumlarda 0 olan değişken.

$s_{i,j,c}$: j partisine ait i alt partisinin c hücresindeki büyüklüğü.

$Ccomp_{j,c}$: j partisinin c hücresindeki tamamlanma zamanı.

4.1.1 CON_LSPT modeli

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min. } \frac{\sum_{j=1}^N Ccomp_{j,c}}{N} \quad \forall c = C \quad (4.1)$$

Amaç fonksiyonu ürünlerin ortalama temin zamanının en küçüklenmesini amaçlamaktadır.

Kısıtlar:

Partinin rotası üzerindeki sonraki hücrede işleme başlama kısıtı:

İlk alt partiler için;

$$\begin{aligned} y_{i,j,c+1} - \sum_k p_{j,k,c+1} * s_{i,j,c+1} - \sum_{j'} z_{j,j',c+1} * t_{j,j',c+1} - FT_j - VT_j \\ * s_{i,j,c+1} \leq y_{i,j,c} \quad \forall j = 1, \dots, N, \forall i = 1, \forall c = 1, \dots, C - 1 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Diğer alt partiler için;

$$\begin{aligned} y_{i,j,c+1} - \sum_k p_{j,k,c+1} * s_{i,j,c+1} - FT_j - VT_j * s_{i,j,c+1} \leq y_{i,j,c} \quad \forall j \\ = 1, \dots, N, \forall i \neq 1, \forall c = 1, \dots, C - 1 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Bir partinin ilk alt partisinin rotasındaki sonraki hücrede işlenmeye başlama zamanı, parçanın önceki hücresinde işlemlerinin bitiş zamanına ve sonraki hücreye transfer süresine bağlıdır.

İşlerin Bölünemezliği Kısıtı:

$$\begin{aligned} y_{i,j,c} - \sum_k p_{j,k,c} - kmax_{j,c} * (s_{i,j,c} - 1) - \sum_{j'} z_{j,j',c} * t_{j,j',c} \geq 0 \quad \forall j \\ = 1, \dots, N, \forall i = 1, \forall c = 1, \dots, C - 1 \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} y_{i,j,c} - \sum_k p_{j,k,c} - kmax_{j,c} * (s_{i,j,c} - 1) \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, N, \forall i \neq 1, \forall c \\ = 1, \dots, C - 1 \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$y_{i,j,c} - \sum_k p_{j,k,c} * (s_{i,j,c}) - \sum_{j'} z_{j,j',c} * t_{j,j',c} \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall i = 1, \quad c = C \quad (4.6)$$

$$y_{i,j,c} - \sum_k p_{j,k,c} * (s_{i,j,c}) \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall i \neq 1, \quad c = C \quad (4.7)$$

Bir partinin herhangi bir alt partisi başladığı hücrede tamamlanmalıdır.

Bir partiye ait herhangi bir alt partinin ilgili hücrede işlenmeye başlama kısıtı:

Alt parti $i=2, \dots, n_j$ için;

$$y_{i,j,c} - kmax_{j,c} s_{i,j,c} \geq y_{i-1,j,c} \quad \forall i = 2, \dots, n_j, j = 1, \dots, N, c = 1, \dots, C - 1 \quad (4.8)$$

$$y_{i,j,c} - \sum_k p_{j,k,c} * s_{i,j,c} \geq y_{i-1,j,c} \quad \forall i = 2, \dots, n_j, j = 1, \dots, N, c = C \quad (4.9)$$

Bir partinin herhangi bir alt partisi bir önceki alt parti tamamlanmadan işlenmeye başlayamaz.

Alt parti 1 için j,j' 'den önce geliyorsa;

$$y_{i,j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} - kmax_{j',c} * (s_{i,j',c} - 1) + M * (1 - z_{j,j',c}) \geq y_{n_j,j,c} + t_{j,j',c} + FT_{j'} + VT_{j'} * s_{i,j',c} \quad \forall i = 1, \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c = 1, \dots, C - 1 \quad (4.10)$$

$$y_{i,j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} * (s_{i,j',c}) + M * (1 - z_{j,j',c}) \geq y_{n_j,j,c} + t_{j,j',c} + FT_{j'} + VT_{j'} s_{i,j',c} \quad \forall i = 1, \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c = C \quad (4.11)$$

Alt parti 1 için $j'j$ den önce geliyorsa;

$$y_{i,j,c} - \sum_{k=1}^m p_{j,k,c} - kmax_{j,c} * (s_{i,j,c} - 1) + M * (z_{j,j',c}) \geq y_{n_j,j',c} + t_{j,j',c} + FT_j + VT_j * s_{i,j,c} \quad \forall i = 1, \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c = 1, \dots, C - 1 \quad (4.12)$$

$$\begin{aligned}
& y_{i,j,c} - \sum_{k=1}^m p_{j,k,c} * (s_{i,j,c}) + M * (z_{j,j',c}) \\
& \geq y_{n_j,j',c} + t_{j,j',c} + FT_j + VT_j * s_{i,j,c} \quad \forall i = 1, \forall j \neq j' \\
& = 1, \dots, N, c = C
\end{aligned} \tag{4.13}$$

R değişkeni ile y değişkeni arasındaki ilişkiyi gösteren kısıt:

$$\begin{aligned}
& y_{n_j,j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} - kmax_{j',c} * (s_{i,j',c} - 1) - t_{j,j',c} - y_{i,j,c} \\
& \leq M * R_{j,j',c} \quad \forall i = 1, \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c = 1, \dots, C - 1
\end{aligned} \tag{4.14}$$

$$\begin{aligned}
& y_{n_j,j,c} - \sum_{k=1}^m p_{j,k,c} - kmax_{j,c} * (s_{i,j,c} - 1) - t_{j',j,c} - y_{i,j',c} \\
& \leq M * (1 - R_{j,j',c}) \quad \forall i = 1, \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c \\
& = 1, \dots, C - 1
\end{aligned} \tag{4.15}$$

$$\begin{aligned}
& y_{1,j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} * (s_{1,j',c}) - t_{j,j',c} - y_{i,j,c} \leq M * R_{j,j',c} \quad \forall i \\
& = 1, \dots, n_j, \forall j \neq j' = 1, \dots, N
\end{aligned} \tag{4.16}$$

$$\begin{aligned}
& y_{1,j,c} - \sum_{k=1}^m p_{j,k,c} * (s_{1,j,c}) - t_{j',j,c} - y_{i,j',c} \leq M * (1 - R_{j,j',c}) \quad \forall i \\
& = 1, \dots, n_j, \forall j \neq j' = 1, \dots, N
\end{aligned} \tag{4.17}$$

Sistemdeki yarı mamul ve CONWIP kısıtı:

$$\begin{aligned}
& \sum_j z_{j,j',c} * U_j - \sum_j R_{j,j',c} * U_j = x_{j,c} \quad \forall j \neq j' = 1, \dots, N \quad \forall c \\
& = 1, \dots, C - 1
\end{aligned} \tag{4.18}$$

$$x_{j,c} \leq O_c \quad \forall j = 1, \dots, N \quad \forall c = 1, \dots, C - 1 \tag{4.19}$$

Sisteme yeni bir parti geldiğinde sistemdeki yarı mamul seviyesi partiden önce gelen ve partiden önce çıkan iş sayısına eşittir. Sisteme yeni bir parti geldiğinde rotasındaki ilk hücreye alınıp alınmama kararı, sistemdeki yarı mamul sayısına bağlıdır.

Alt partilerin büyüklüğü toplamı kısıtı:

$$\sum_{i=1}^{n_j} s_{i,j,c} = U_j \quad \forall j = 1, \dots, N \quad c = 1, \dots, C \tag{4.20}$$

Bir partiye ait alt parti büyüklüklerinin toplamı parti büyüklüğüne eşittir.

Alt parti tutarlılığı kısıtı:

$$s_{i,j,c} = s_{i,j,c+1} \quad \forall i = 1, \dots, n_j, \\ j = 1, \dots, N, \quad c = 1, \dots, C - 1, i = 1, \dots, n_j \quad (4.21)$$

Tamamlanma zamanı kısıtı:

$$y_{n_j,j,c} + RT_{j,c} \leq Ccomp_{j,c} \quad \forall j = 1, \dots, N. \quad (4.22)$$

İlgili partinin son alt partisinin rotası üzerindeki son işleminin bitiş zamanı, parti transfer süresi toplamı tamamlanma zamanına eşittir.

4.1.2 CON_LOT modeli

CON_LOT modelinde CONWIP üretim kontrolü altında parti üretiminin yapıldığı durum modellenmiştir. Modelde CON_LSPT modelinden farklı olarak alt parti değişkeni kısıtlardan çıkarılarak ürünün parti büyüklüğü (U_j) kullanılmıştır.

-Ürünlere olan talep $t=0$ anında bilinmektedir.

-Üretim Ortamı Hücrelerden ve Fonksiyonel alandan oluşmaktadır. Ürünlerin akışı hücre içinde akış tipi atölyeye uygun olup hücre içinde tek parça akışı vardır, fonksiyonel bölüm ise; ürünler partiler halinde akmakta olup ürünlerin izlediği rotalar farklıdır.

-Bir partinin bitmeden diğer bir partinin üretimi başlayamaz.

-Partilerin transfer zamanı göz ardı edilmektedir.

-Makina hazırlık süreleri sıraya bağlıdır.

-Bir partinin son elemanı işlem görür görmez bir sonraki hücreye transfer edilmektedir.

-Makina arızaları göz önüne alınmamıştır.

- Hammadde ve üretim için gerekli malzemelerin hazır olduğu kabul edilmiştir.

Parametreler:

CON_LSPT modelinde kullanılan parametreler ile aynıdır.

Karar değişkenleri:

$y_{j,c}$: j partisinin c hücresinde tamamlanma zamanı

$x_{j,c}$: j partisi sisteme girdiğinde sistemdeki yarı mamul sayısı

$z_{j,j',c}$: j partisi j' partisinden önce sisteme giriyorsa 1 diğer durumlarda 0 değerini alan değişken

$R_{j,j',c}$: j partisi j' partisinden önce sistemden çıkıyorsa 1 diğer durumlarda 0 değerini alan değişken

$Ccomp_{j,c}$: j partisinin c hücresindeki tamamlanma zamanı

$$\text{Min. } \frac{\sum_{j=1}^N Ccomp_{j,c}}{N} \quad \forall c = C \quad (4.23)$$

Amaç fonksiyonu bir partinin rotasındaki son hücredeki bitiş zamanının en küçüklenmesini amaçlamaktadır.

Kısıtlar;

Partinin rotası üzerindeki sonraki hücrede işleme başlama kısıtı:

$$y_{j,c+1} - \sum_k p_{j,k,c+1} * U_{j,c+1} - \sum_{j'} z_{j,j',c+1} * t_{j,j',c+1} - FT_j - VT_j \quad (4.24)$$

$$* U_{j,c+1} \leq y_{j,c} \quad \forall j = 1, \dots, N, \quad \forall c = 1, \dots, C - 1$$

Bir partinin rotası üzerindeki sonraki hücrede işlenmeye başlama zamanı bulunduğu hücrede işlemlerinin bitiş zamanına ve sonraki hücreye transfer süresine bağlıdır.

İşlerin Bölünemezliği Kısıtı:

$$y_{j,c} - \sum_k p_{j,k,c} - kmax_{j,c} * (U_{j,c} - 1) - \sum_{j'} z_{j,j',c} * t_{j,j',c} \geq 0 \quad \forall j \quad (4.25)$$

$$= 1, \dots, N, \quad \forall c = 1, \dots, C - 1$$

$$y_{i,j,c} - \sum_k p_{j,k,c} * (U_{j,c}) - \sum_{j'} z_{j,j',c} * t_{j,j',c} \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, J, \quad (4.26)$$

$$c = C$$

Bir parti başladığı hücrede tamamlanmalıdır.

Bir parti için j partisi, j' den önce geliyorsa;

$$y_{j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} - kmax_{j',c} * (U_{j',c} - 1) + M * (1 - z_{j,j',c}) \geq y_{j,c} + t_{j,j',c} + FT_{j'} + VT_{j'} * U_{j',c} \quad \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c \quad (4.27)$$

$$= 1, \dots, C$$

$$y_{j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} * (U_{j',c}) + M * (1 - z_{j,j',c}) \geq y_{j,c} + t_{j,j',c} + FT_{j'} + VT_{j'} * U_{j',c} \quad \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c \quad (4.28)$$

$$= C$$

Bir parti için j' j den önce geliyorsa;

$$y_{j,c} - \sum_{k=1}^m p_{j,k,c} - kmax_{j,c} * (U_{j,c} - 1) + M * (z_{j,j',c}) \geq y_{j',c} + t_{j,j',c} + FT_j + VT_j * U_{j,c} \quad \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c \quad (4.29)$$

$$= 1, \dots, C$$

$$y_{j,c} - \sum_{k=1}^m p_{j,k,c} * (U_{j,c}) + M * (z_{j,j',c}) \geq y_{j',c} + t_{j,j',c} + FT_j + VT_j * U_{j,c} \quad \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c \quad (4.30)$$

$$= C$$

R ile y değişkeni arasındaki ilişkiyi gösteren kısıt:

$$y_{j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} - kmax_{j',c} * (U_{j',c} - 1) - t_{j,j',c} - y_{j',c} \leq M * R_{j,j',c} \quad \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c = 1, \dots, C - 1 \quad (4.31)$$

$$y_{j,c} + \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} + kmax_{j',c} * (U_{j',c} - 1) + t_{j,j',c} - y_{j,c} \leq M * (1 - R_{j,j',c}) \quad \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c = 1, \dots, C - 1 \quad (4.32)$$

$$y_{j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} * (U_{j',c}) - t_{j,j',c} - y_{j,c} \leq M * R_{j,j',c} \quad \forall j \neq j' = 1, \dots, N \quad (4.33)$$

$$y_{j,c} - \sum_{k=1}^m p_{j,k,c} * (U_{j,c}) - t_{j,j',c} - y_{j',c} \leq M * (1 - R_{j,j',c}) \forall j \neq j' \\ = 1, \dots, N \quad (4.34)$$

Sistemdeki yarı mamul ve CONWIP kısıtı:

$$\sum_j z_{j,j',c} * U_j - \sum_j R_{j,j',c} * U_j = x_{j,c} \forall j \neq j' = 1, \dots, N \quad \forall c \\ = 1, \dots, C - 1 \quad (4.35)$$

$$x_{j,c} \leq O_c \quad \forall j = 1, \dots, N \quad \forall c = 1, \dots, C - 1 \quad (4.36)$$

Sisteme yeni bir parti geldiğinde sistemdeki yarı mamul seviyesi partiden önce gelen ve partiden önce çıkan iş sayısına eşittir. Sisteme yeni bir parti geldiğinde rotasındaki ilk hücreye alınıp alınmama kararı sistemdeki yarı mamul sayısına bağlıdır.

Tamamlanma zamanı kısıtı:

$$y_{j,c} + RT_{j,c} \leq Ccomp_{j,c} \quad \forall j = 1, \dots, N. \quad (4.37)$$

4.1.3 PUSH_LSPT modeli

PUSH_LSPT modelinde itme kontrol yapısının olduğu durumda parti bölmesi matematiksel modeli geliştirilmiştir. Modelde yapılan kabuller ve karar değişkenleri *CON_LSPT* modeli ile aynı olup parametre değerlerinde sistemdeki kart sayısını temsil eden O_c parametresi kontrol yapısı itme olduğu için göz ardı edilmiştir.

$$\text{Min. } \frac{\sum_{j=1}^N Ccomp_{j,c}}{N} \quad \forall c = C \quad (4.38)$$

Amaç fonksiyonu bir partinin rotasındaki son hücredeki bitiş zamanının en küçüklenmesini amaçlamaktadır.

Kısıtlar;

Partinin rotası üzerindeki sonraki hücrede işleme başlama kısıtı:

İlk alt partiler için;

$$y_{i,j,c+1} - \sum_k p_{j,k,c+1} * s_{i,j,c+1} - \sum_{j'} z_{j,j',c+1} * t_{j,j',c+1} - FT_j - VT_j$$

$$* s_{i,j,c+1} \leq y_{i,j,c} \quad \forall j = 1, \dots, N, \forall i = 1, \forall c = 1, \dots, C - 1 \quad (4.39)$$

Diğer alt partiler için;

$$y_{i,j,c+1} - \sum_k p_{j,k,c+1} * s_{i,j,c+1} - FT_j - VT_j * s_{i,j,c+1} \leq y_{i,j,c} \quad \forall j$$

$$= 1, \dots, N, \forall i \neq 1, \forall c = 1, \dots, C - 1 \quad (4.40)$$

Bir partinin ilk alt partisinin rotası üzerindeki sonraki hücrede işlenmeye başlama zamanı bulunduğu hücrede işlemlerinin bitiş zamanına ve sonraki hücreye transfer süresine bağlıdır.

İşlerin bölünemezliği kısıtı:

$$y_{i,j,c} - \sum_k p_{j,k,c} - kmax_{j,c} * (s_{i,j,c} - 1) - \sum_{j'} z_{j,j',c} * t_{j,j',c} \geq 0 \quad \forall j$$

$$= 1, \dots, N, \forall i = 1, \forall c = 1, \dots, C - 1 \quad (4.41)$$

$$y_{i,j,c} - \sum_k p_{j,k,c} - kmax_{j,c} * (s_{i,j,c} - 1) \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall i \neq 1, \forall c$$

$$= 1, \dots, C - 1 \quad (4.42)$$

$$y_{i,j,c} - \sum_k p_{j,k,c} * (s_{i,j,c}) - \sum_{j'} z_{j,j',c} * t_{j,j',c} \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall i = 1,$$

$$c = C \quad (4.43)$$

$$y_{i,j,c} - \sum_k p_{j,k,c} * (s_{i,j,c}) \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, J, \forall i \neq 1, \quad c = C \quad (4.44)$$

Bir partinin herhangi bir alt partis başladığı hücrede tamamlanmalıdır.

Bir partiye ait herhangi bir alt partinin ilgili hücrede işlenmeye başlama kısıtı:

Alt parti $i = 2, \dots, n_j$ için;

$$y_{i,j,c} - kmax_{j,c} s_{i,j,c} \geq y_{i-1,j,c} \quad \forall i = 2, \dots, n_j, j = 1, \dots, N, c$$

$$= 1, \dots, C - 1 \quad (4.45)$$

$$y_{i,j,c} - \sum_k p_{j,k,c} * s_{i,j,c} \geq y_{i-1,j,c} \quad \forall i = 2, \dots, n_j, j = 1, \dots, N, c = C \quad (4.46)$$

Bir partinin herhangi bir alt partis bir önceki alt parti tamamlanmadan işlenmeye başlayamaz.

Alt parti 1 için j, j' den önce geliyorsa;

$$y_{i,j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} - kmax_{j',c} * (s_{i,j',c} - 1) + M * (1 - z_{j,j',c}) \geq y_{n_j,j,c} + t_{j,j',c} + FT_{j'} + VT_{j'} * s_{i,j',c} \quad \forall i = 1, \forall j \neq j' \quad (4.47)$$

$$= 1, \dots, N, c = 1, \dots, C$$

$$y_{i,j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} * (s_{i,j',c}) + M * (1 - z_{j,j',c}) \geq y_{n_j,j,c} + t_{j,j',c} + FT_{j'} + VT_{j'} s_{i,j',c} \quad \forall i = 1, \forall j \neq j' \quad (4.48)$$

$$= 1, \dots, N, c = C$$

Alt parti 1 için $j'j$ den önce geliyorsa;

$$y_{i,j,c} - \sum_{k=1}^m p_{j,k,c} - kmax_{j,c} * (s_{i,j,c} - 1) + M * (z_{j,j',c}) \geq y_{n_j,j',c} + t_{j,j',c} + FT_j + VT_j * s_{i,j,c} \quad \forall i = 1, \forall j \neq j' \quad (4.49)$$

$$= 1, \dots, N, c = 1, \dots, C$$

$$y_{i,j,c} - \sum_{k=1}^m p_{j,k,c} * (s_{i,j,c}) + M * (z_{j,j',c}) \geq y_{n_j,j',c} + t_{j,j',c} + FT_j + VT_j * s_{i,j,c} \quad \forall i = 1, \forall j \neq j' \quad (4.50)$$

$$= 1, \dots, N, c = C$$

R değişkeni ile y değişkeni arasındaki ilişkiyi gösteren kısıt:

$$y_{n_j,j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} - kmax_{j',c} * (s_{i,j',c} - 1) - t_{j,j',c} - y_{i,j',c} \leq M * R_{j,j',c} \quad \forall i = 1, \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c = 1, \dots, C - 1 \quad (4.51)$$

$$y_{n_j,j,c} + \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} + kmax_{j',c} * (s_{i,j',c} - 1) + t_{j,j',c} - y_{i,j,c} \leq M * (1 - R_{j,j',c}) \quad \forall i = 1, \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c = 1, \dots, C - 1 \quad (4.52)$$

$$y_{1,j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} * (s_{1,j',c}) - t_{j,j',c} - y_{i,j,c} \leq M * R_{j,j',c} \quad \forall i = 1, \dots, n_j, \forall j \neq j' = 1, \dots, N \quad (4.53)$$

$$y_{1,j,c} - \sum_{k=1}^m p_{j,k,c} * (s_{1,j,c}) - t_{j,j',c} - y_{i,j',c} \leq M * (1 - R_{j,j',c}) \forall i = 1, \dots, n_j, \forall j \neq j' = 1, \dots, N \quad (4.54)$$

Alt partilerin büyüklüğü toplamı kısıtı:

$$\sum_{i=1}^{n_j} s_{i,j,c} = U_j \forall j = 1, \dots, N \quad c = 1, \dots, C \quad (4.55)$$

Bir partiye ait alt parti büyüklüklerinin toplamı parti büyüklüğüne eşittir.

Alt parti tutarlılığı kısıtı:

$$s_{i,j,c} = s_{i,j,c+1} \forall i = 1, \dots, n_j, j = 1, \dots, N, \quad c = 1, \dots, C - 1, i = 1, \dots, n_j \quad (4.56)$$

Tamamlanma zamanı kısıtı:

$$y_{n_j,j,c} + RT_{j,c} \leq Ccomp_{j,c} \forall j = 1, \dots, N. \quad (4.57)$$

İlgili partinin son alt partisinin rotası üzerindeki son işleminin bitiş zamanı, parti transfer süresi toplamı tamamlanma zamanına eşittir.

4.1.4 PUSH_LOT modeli

PUSH_LOT modelinde itme kontrol yapısının ve parti üretiminin olduğu durumda geliştirilen matematiksel model yer almaktadır. Modelde yapılan kabuller ve parametreler PUSH_LSPT modeli ile aynı olup karar değişkenleri CON_LOT modeli ile aynıdır.

$$\text{Min. } \frac{\sum_{j=1}^N Ccomp_{j,c}}{N} \quad \forall c = C \quad (4.58)$$

Amaç fonksiyonu bir partinin rotasındaki son hücredeki bitiş zamanının en küçüklenmesini amaçlamaktadır.

Kısıtlar;

Partinin rotası üzerindeki sonraki hücrede işleme başlama kısıtı:

$$\begin{aligned}
y_{j,c+1} - \sum_k p_{j,k,c+1} * U_{j,c+1} - \sum_{j'} z_{j,j',c+1} * t_{j,j',c+1} - FT_j - VT_j \\
* U_{j,c+1} \leq y_{j,c} \quad \forall j = 1, \dots, N, \quad \forall c = 1, \dots, C - 1
\end{aligned} \tag{4.59}$$

Bir partinin rotası üzerindeki sonraki hücrede işlenmeye başlama zamanı bulunduğu hücrede işlemlerinin bitiş zamanına ve sonraki hücreye transfer süresine bağlıdır.

Bir partinin rotası üzerindeki sonraki hücrede işlenmeye başlama zamanı bulunduğu hücrede işlemlerinin bitiş zamanına ve sonraki hücreye transfer süresine bağlıdır.

İşlerin bölünemezliği kısıtı:

$$\begin{aligned}
y_{j,c} - \sum_k p_{j,k,c} - kmax_{j,c} * (U_{j,c} - 1) - \sum_{j'} z_{j,j',c} * t_{j,j',c} \geq 0 \quad \forall j \\
= 1, \dots, N, \quad \forall c = 1, \dots, C - 1
\end{aligned} \tag{4.60}$$

$$\begin{aligned}
y_{i,j,c} - \sum_k p_{j,k,c} * (U_{j,c}) - \sum_{j'} z_{j,j',c} * t_{j,j',c} \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, J, \\
c = C
\end{aligned} \tag{4.61}$$

Bir parti başladığı hücrede tamamlanmalıdır.

Bir parti için j partisi, j' den önce geliyorsa;

$$\begin{aligned}
y_{j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} - kmax_{j',c} * (U_{j',c} - 1) + M * (1 - z_{j,j',c}) \\
\geq y_{j,c} + t_{j,j',c} + FT_{j'} + VT_{j'} * U_{j',c} \quad \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c \\
= 1, \dots, C
\end{aligned} \tag{4.62}$$

$$\begin{aligned}
y_{j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} * (U_{j',c}) + M * (1 - z_{j,j',c}) \\
\geq y_{j,c} + t_{j,j',c} + FT_{j'} + VT_{j'} * U_{j',c} \quad \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c \\
= C
\end{aligned} \tag{4.63}$$

Bir parti için j' partisi j den önce geliyorsa;

$$\begin{aligned}
y_{j,c} - \sum_{k=1}^m p_{j,k,c} - kmax_{j,c} * (U_{j,c} - 1) + M * (z_{j,j',c}) \\
\geq y_{j',c} + t_{j,j',c} + FT_j + VT_j * U_{j,c} \quad \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c \\
= 1, \dots, C
\end{aligned} \tag{4.64}$$

$$\begin{aligned}
& y_{j,c} - \sum_{k=1}^m p_{j,k,c} * (U_{j,c}) + M * (z_{j,j',c}) \\
& \geq y_{j',c} + t_{j,j',c} + FT_j + VT_j * U_{j,c} \quad \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c \\
& = C
\end{aligned} \tag{4.65}$$

R değişkeni ile y değişkeni arasındaki ilişkiyi gösteren kısıt:

$$\begin{aligned}
& y_{j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} - kmax_{j',c} * (U_{j',c} - 1) - t_{j,j',c} - y_{j',c} \\
& \leq M * R_{j,j',c} \quad \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c = 1, \dots, C - 1
\end{aligned} \tag{4.66}$$

$$\begin{aligned}
& y_{j,c} + \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} + kmax_{j',c} * (U_{j',c} - 1) + t_{j,j',c} - y_{j,c} \\
& \leq M * (1 - R_{j,j',c}) \quad \forall j \neq j' = 1, \dots, N, c = 1, \dots, C - 1
\end{aligned} \tag{4.67}$$

$$\begin{aligned}
& y_{j',c} - \sum_{k=1}^m p_{j',k,c} * (U_{j',c}) - t_{j,j',c} - y_{j,c} \leq M * R_{j,j',c} \quad \forall j \neq j' \\
& = 1, \dots, N
\end{aligned} \tag{4.68}$$

$$\begin{aligned}
& y_{j,c} - \sum_{k=1}^m p_{j,k,c} * (U_{j,c}) - t_{j,j',c} - y_{j',c} \leq M * (1 - R_{j,j',c}) \quad \forall j \neq j' \\
& = 1, \dots, N
\end{aligned} \tag{4.69}$$

Tamamlanma zamanı kısıtı:

$$y_{j,c} + RT_{j,c} \leq Ccomp_{j,c} \quad \forall j = 1, \dots, N. \tag{4.70}$$

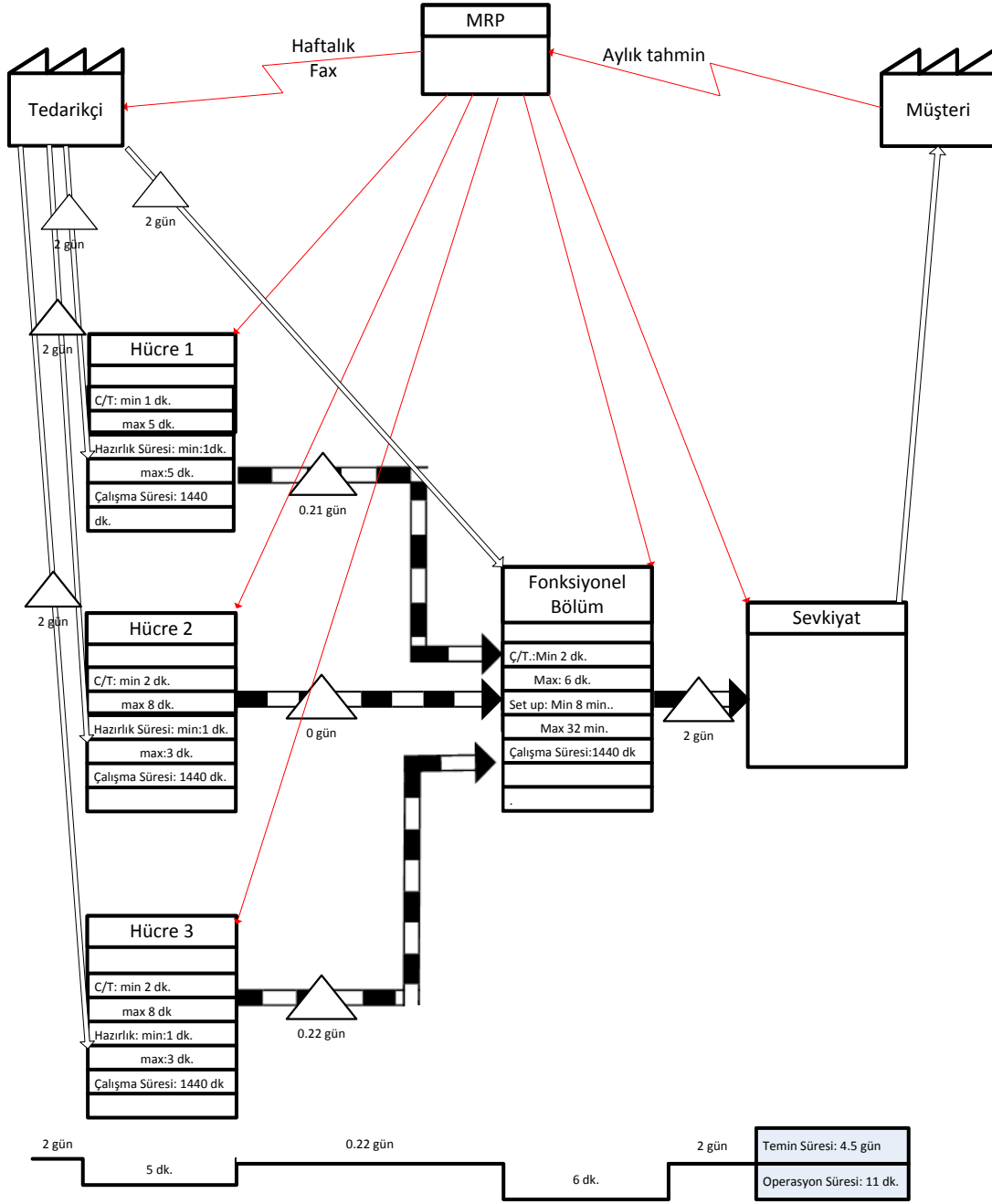
Bir sonraki bölümde geliştirilen matematiksel modellerin, her bir faktörün farklı seviyelerinde verdiği sonuçlar ayrıntılı bir şekilde tartışılmıştır.

4.2 Önerilen Modellerin Hipotetik Örnek Üzerinde Uygulanması

Bu bölümde önerilen matematiksel modellerin hipotetik bir örnek üzerinde uygulanması anlatılmaktadır. Önerilen CONWIP üretim kontrolünün ve parti bölmesinin, işlem süresi değişkenliği, hazırlık süresi azaltma oranı ve talep büyüklüğü faktörlerinden nasıl etkilendiği incelenmiştir. İşlem süresi değişkenliği için, işlem süresi standart sapmasının, işlem süresi ortalamasına oranı hesaplanmış, bu oranın belirli bir katsayıdan düşük ve yüksek olduğu durumlar ele alınmıştır.

Hazırlık süresi azaltma oranı için ise, hazırlık sürelerinin, %0 ve %75 azaltıldığı durumlar ele alınmıştır, son olarak ise talebin yüksek ve düşük olduğu durumlar incelenmiştir.

Öncelikle incelenen hipotetik örnekteki üretim ortamı incelenmiş, üretim ortamının mevcut durum değer akışı oluşturulmuştur. Değer akış haritalandırma yöntemi sisteme bütün bakılması açısından önem taşımaktadır. Değer akış haritalandırma yöntemi kâğıt kalem kullanılarak yapılan, süreçleri ve sistemdeki katma değeri olmayan stokları gösteren etkin bir yöntemdir (Rother ve Shook 1998). Değer akış haritalandırma bir sistemin bütün olarak görülmesini sağlamaktadır. Örnek için oluşturulan mevcut durum Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 : YDK, YHS durumunda üretim ortamı mevcut durum değer akış haritası.

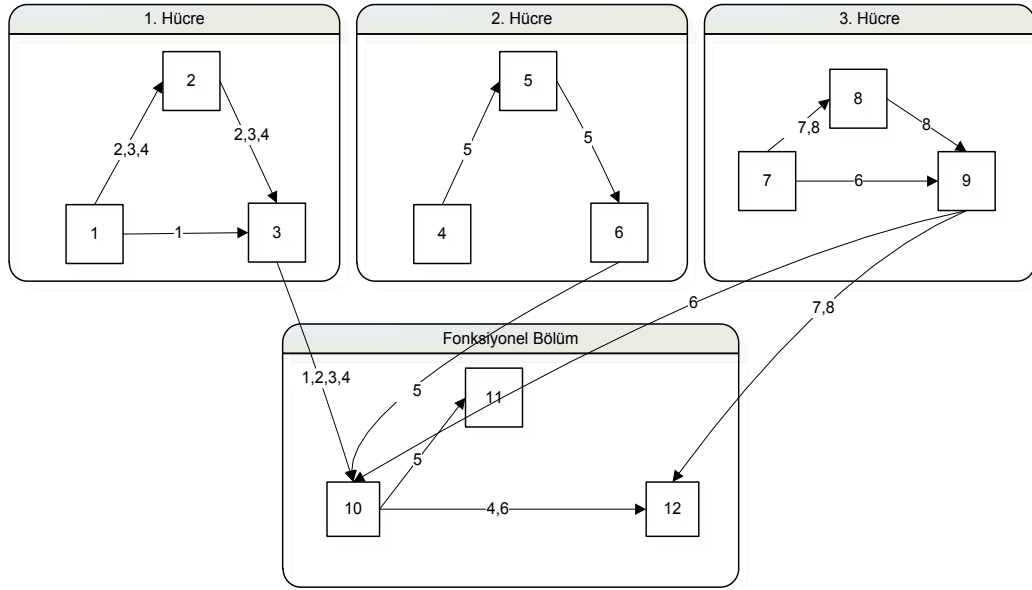
Şekil 4.1’de görüldüğü gibi sistem üç adet tahsisli hücreden ve bir adet fonksiyonel bölümden oluşmaktadır.

İncelenen sistemde üretim planlama ve kontrol yapısı MGP olup, müşterilerden gelen aylık tahmin ile üretim yapılmaktadır. Tedarikçiden ise haftalık fax ile hammadde istenmektedir. Sistemde katma değerli süre olarak tanımlanan operasyon süresi ile temin süresi arasındaki fark çok fazladır. 11 dakikalık katma değerli bir faaliyet için 4,5 günlük bir sistemde kalış söz konusudur. Bu durumun en büyük sebebi, Şekil

4.1’de görüldüğü gibi hammadde ve sevkiyatı bekleyen bitmiş ürün stokudur. Mevcut durumda uygulanan itme kontrolünde bu stoklar göz önüne alınmamaktadır. Fazla stoklar sistemin akışını yavaşlatarak, temin süresinin artmasına yol açmaktadır.

Önerilen CONWIP üretim kontrolünde sistemde dolaşan parça sayısı sınırlandırıldığı için temin süresi itme kontrolüne göre daha fazladır.

Şekil 4.2’de hücrelerdeki ve fonksiyonel bölümdeki akışı gösteren spagetti diyagramı verilmiştir.

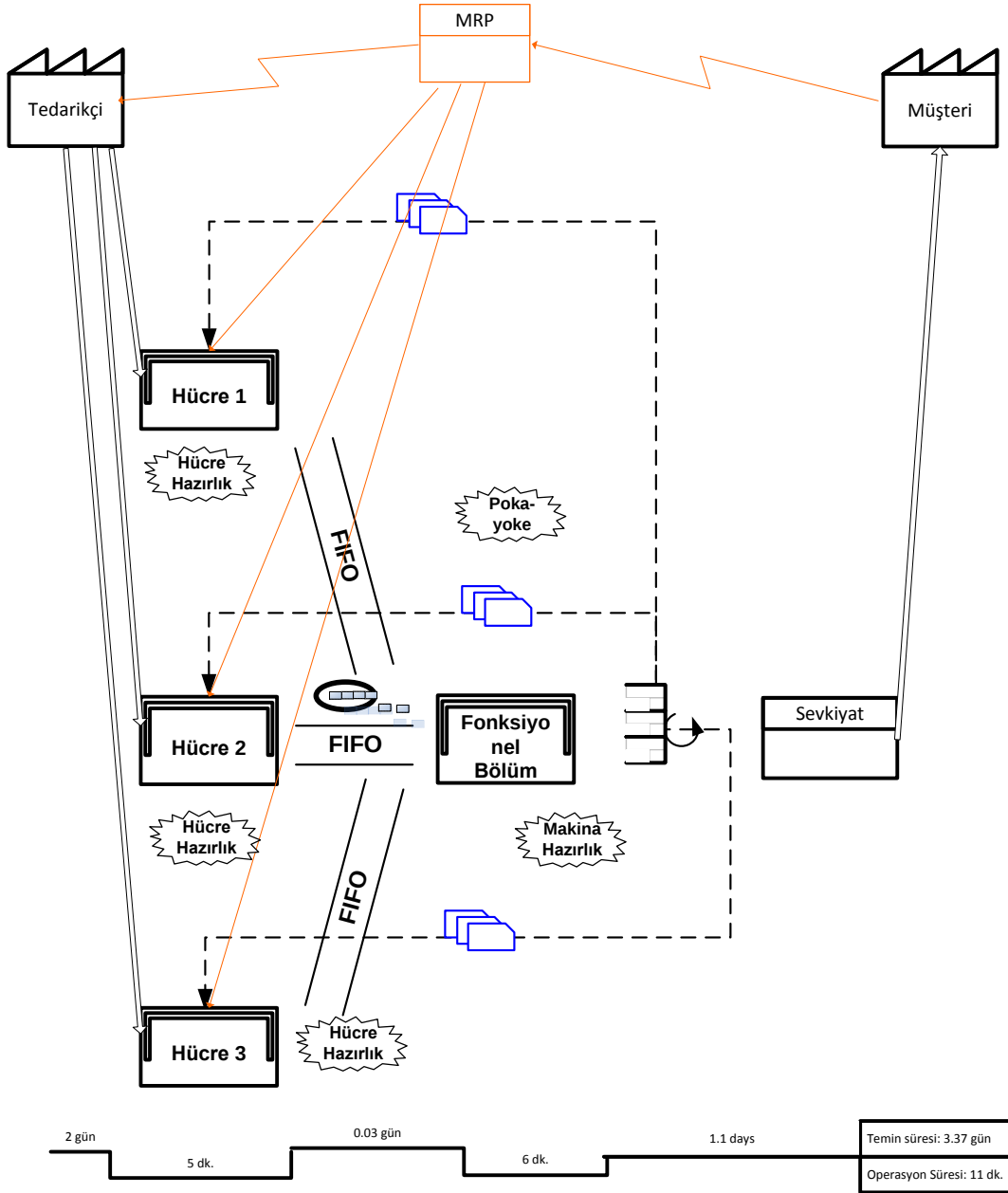


Şekil 4.2 : Hücre ve fonksiyonel bölümde üretilen ürünler için dolaşım şeması.

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, sistemde 8 adet ürün üretilmektedir. Her bir ürünün hücrelerde ve fonksiyonel bölümde ileriye doğru olarak, bazı ürünlerin bazı makinalarda işlemi bulunmamaktadır. Bir sonraki bölümde incelenen üretim sistemi için önerilen gelecek durum değer akışı anlatılmaktadır.

4.3 Hipotetik Örnek Gelecek Durum Haritası

Düşünsel örnek için yapılan mevcut durum analizi ile fazla stoktan kaynaklanan yüksek temin sürelerinin, önerilen yeni sistemde CONWIP üretim kontrolü ve parti bölmesi ile birlikte düşürülmesi planlanmıştır. Ele alınan örnek için çizilen gelecek durum değer akış haritası Şekil 4.3’te görülmektedir.



Şekil 4.3 : Hipotetik örnek gelecek durum değer akış haritası

Şekil 4.3’ te görüldüğü gibi incelenen ürün gruplarından işlemlerini tahsisli hücrelerde ve fonksiyonel bölümde tamamlayan ürün grupları için CONWIP üretim kontrolü ve parti bölmesi prensiplerine dayalı bir kontrol yapısı önerilmiştir.

Gelecek durum için planlanan yapıda, önerilen CONWIP üretim kontrolü ile sistemdeki ürün sayısı sınırlandırılarak ve küçük partilerle üretim yapılarak, hazırlık süreleri bir takım hazırlık süresi düşürme faaliyetleri (SMED,OTED,NOTED vb.) ile birlikte, temin süresinin 2 güne düşürülmesi planlanmıştır.

4.4 Önerilen Matematiksel Modellerin Örnek Üzerinde Uygulanması

Üretim sisteminde üretilen 8 ürün için oluşturulan *CON_LSPT*, *CON_LOT*, *PUSH_LSPT* ve *PUSH_LOT* modelleri, işlem süresi değişkenliği, hazırlık süresi azaltma oranı ve talep büyüklüğünün farklı seviyelerinde çalıştırılarak elde edilen ortalama temin süreleri bir birleriyle karşılaştırılmıştır. CONWIP üretim kontrolünün ve parti bölmesinin hangi durumlarda diğer sistemlere üstünlük sağladığı tartışılmıştır. Çizelge 4.1’de parça–makina bilgisi gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 : Parça makina matrisi.

Makina Parça	Hücre 1			Hücre 2			Hücre 3			Fonksiyonel Bölüm		
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
1	1		1							1		
2	1	1	1							1		
3	1	1	1							1		
4	1	1	1							1		1
5				1	1	1				1	1	
6							1		1	1		1
7							1	1				1
8							1	1	1			1

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi 1 no’lu ürün Hücre 1’de ilk işlemini M1 no’lu makinada ikinci işlemini M3 no’lu makinada tamamlayarak üçüncü işlemi için Fonksiyonel bölümde M10’a gönderilmektedir. Benzer şekilde 2 ve 3 no’lu ürünler ise Hücre 1’de M1, M2, M3 rotalarını izleyerek kalan işlemlerini fonksiyonel bölümde tamamlamaktadır.

Modelin girdisi olan işlem süreleri ile ilgili olarak, modelin farklı değişkenlik altında nasıl sonuç verdiğinin araştırılması için değişkenlik katsayısı durumları incelenmiştir.

Değişkenlik katsayısı (DK), bir yığının standart sapmasının yığının ortalamasına oranıdır. Standart sapmanın büyük ya da küçük olması yığının değişkenliği açısından yanıltıcı olabilmektedir. Standart sapma değerinin ortalamaya oranı olan DK, değişkenliğin yüzdelik olarak anlaşılmasını sağlayarak yığın değişkenliği konusunda bilgi vermektedir (Satoğlu ve Suresh, 2009).

Önerilen matematiksel model her ne kadar deterministik bir model olsa da hücrelerden çıkan parçaların fonksiyonel bölüme geliş zamanları, işlem süreleri farklılığından kaynaklanan bir değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenliğin sebebi bahsedildiği gibi hücreler arası işlem süresi değişkenliğinden kaynaklanmaktadır.

Hücrelerden fonksiyonel alana gelen ürünlerin değişkenliklerini ölçmek amacı ile değişkenlik katsayısı ölçütünden yararlanılmıştır.

DK değerinin yüksek ve düşük olduğu durumlar incelenmiştir. Satoğlu ve Suresh (2009) çalışmasından yola çıkılarak DK değerinin 0-1 aralığında olması düşük değişkenliği (DDK) temsil etmekte olup $DK > 1$ yüksek değişkenliği (YDK) temsil etmektedir.

Hücreler arası işlem süresi farklılığı arttıkça, farklı hücrelerde işlenen ürünlerin fonksiyonel bölüme gelişler arası değişkenliği artmaktadır. Bu değişkenlik arttıkça matematiksel modelde önerilen deterministik yapı stokastik bir durum göstermektedir. DK hesaplamasına bir örnek olarak; yüksek değişkenlik senaryosunda ürünlerin fonksiyonel alana geliş zamanları sırasıyla: 20, 54, 157, 2237, 733,1032, 3205 ve 37 olsun. Bu verilerin ortalama değeri, $\mu = 934$, standart sapma değeri ise, $\sigma = 1.114$ olup DK değeri 1,19'dur.

Çalışmada göz önüne alınan diğer durum ise; talep büyüklüğüdür. Talep büyüklüğü için; yüksek (16-80) ve düşük (2-10) olmak üzere iki farklı seviye ele alınmıştır. Son parametre ise hazırlık süresi azaltma oranıdır. Fonksiyonel bölümdeki sıraya bağımlı hazırlık süresi değerleri içinde hazırlık süresi düşürme oranının olmadığı yüksek (YHS) ve düşürme oranının %75 olduğu düşük (DHS) durumları ele alınmıştır. Tüm senaryolardaki DK değerleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Değişkenlik katsayısı değerleri.

Model	Talep			
	Yüksek		Düşük	
	YHS	DHS	YHS	DHS
CON_LSPT	1,16	1,23	0,86	0,67
CON_LOT	1,19	1,02	0,88	0,95
PUSH_LSPT	1,45	1,34	0,89	0,85
PUSH_LOT	0,98	0,89	0,84	0,85

Çizelge 4.3 : Düşük değişkenlik altında işlem süreleri.

	Hücre 1 (ZB)			Hücre 2 (ZB)			Hücre 3 (ZB)			Fonksiyonel Bölüm (ZB)		
Parça / Makina	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
1	2		1							6		
2	1	2	2							9		
3	2	2	4							6		
4	2	5								9		
5				2	3	5				5	6	
6							2		5	6		9
7							3	4		2		6
8							3	4	2			5

Çizelge 4.4 : Yüksek değişkenlik altında işlem süreleri.

	Hücre 1 (ZB)			Hücre 2 (ZB)			Hücre 3 (ZB)			Fonksiyonel Bölüm (ZB)		
Parça / Makina	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
1	1		1							6		
2	1	1	1							9		
3	1	1	1							6		
4	24	12	20							15		
5				9	8	5				10	12	
6							9		9	10		8
7							1	1		2		18
8							1	1	1			10

Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te sırasıyla düşük ve yüksek değişkenlik altındaki işlem süresi değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Hücreler için sıraya bağımlı hücre hazırlık süresi değerleri.

Parça	Hücre 1				Hücre 2	Hücre 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	2	3	1				
2	2	-	4	3				
3	3	4	-	5				
4	1	3	5	-				
5					-			
6						-	2	3
7						2	-	1
8						3	1	-

Çizelge 4.6 : Fonksiyonel bölüm için sıraya bağımlı hazırlık süresi değerleri.

Parça	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	12	8	4	16	8	12	20
2	12	-	4	16	16	28	20	16
3	8	4	-	12	8	16	20	8
4	4	16	12	-	24	12	20	28
5	20	16	8	24	-	4	16	20
6	8	28	16	12	4	-	16	20
7	12	20	20	20	8	16	-	4
8	20	16	8	28	16	20	4	-

Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da görüldüğü gibi tahsisli hücrelerde belirli bir ürün grubu üretildiği için sıraya bağımlı hazırlık süresi değerleri fonksiyonel bölüm sıraya bağımlı hazırlık süresi değerlerine göre daha düşüktür.

Her bir ürün grubunun ise alt ürün grupları bulunmaktadır. Örneğin 1 no’lu ürün için rota ve işlem süreleri aynı olan alt ürün grupları bulunmaktadır. Bu nedenle bu ürün gruplarının her birini ele almak modelin işleyişini değiştirmeyeceği için modele dâhil edilmemiştir.

Modelin bir başka girdisi olan CONWIP sayısı ise Hopp ve Spearman (2008)’de verilen çoklu ürün ve çoklu rota olması durumunda önerilen formül ile bulunmuştur.

Hücreler ile fonksiyonel bölüm arasında dolaşan kart sayıları için hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre Hücre 1 ile Fonksiyonel bölüm arasında dolaşan, Hücre 2 ile Fonksiyonel bölüm arasında dolaşan ve Hücre 3 ile Fonksiyonel bölüm arasında dolaşan olmak üzere 3 çeşit kart hesabı yapılmıştır.

Kart sayısı hesaplamaları yapılırken aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$WIP = r_b x T \quad (4.71)$$

WIP: kart sayısı.

r_b :darboğaz istasyonun birim zamanda ürettiği parça sayısı.

T :ortalama işlem sürelerinin toplamı.

İşlem süresi değişkenliğinin olması nedeniyle Hopp ve Spearman (2008) formülü tüm senaryolar ve durumlar için başlangıç değeri olarak alınmış, bu değerlerden yola çıkılarak, ortalama temin süresi açısından en iyi sonucu veren sayılar kart sayısı olarak belirlenmiştir. Parti bölmesi kısmında ise modelde en büyük parti sayısının bulunduğu durum ele alınarak alt parti büyüklükleri bulunmuştur.

Geliştirilen her bir model GAMS 21.6 optimizasyon programı ile çözülerek her bir senaryo için elde edilen ortalama temin değerleri, kart sayıları ve elde edilen sıralamalar Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de verilmiştir. Değişkenlik katsayısının, hazırlık süresi düşürme oranının ve talep büyüklüğünün tüm senaryolar üzerindeki etkisi ayrıntılı bir şekilde aşağıda açıklanmıştır.

Çizelge 4.7 : Tüm senaryolarda elde edilen ortalama temin süresi değerleri.

Senaryo	CON_LSPT		PUSH_LSPT		CON_LOT		PUSH_LOT	
	Düşük Talep	Yüksek Talep	Düşük Talep	Yüksek Talep	Düşük Talep	Yüksek Talep	Düşük Talep	Yüksek Talep
YDK-YHS	172	1966	282	2257	296	2365	310	2444
YDK-DHS	164	1792	271	2239	275	2326	276	2386
DDK-YHS	158	992	160	1507	197	1588	206	1594
DDK-DHS	129	796	136	1600	160	1556	190	1644

Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi tüm senaryolarda *CON_LSPT* modeli ortalama temin zamanı açısından en iyi sonuçları vermektedir.

Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10’da görüldüğü gibi talebin yüksek olduğu durumlarda parti bölmesi, talebin düşük olduğu durumlara nazaran daha fazla uygulanmıştır.

4.4.1 Değişkenlik katsayısı değerlerinin ortalama temin süresi üzerindeki etkisi

Çizelge 4.11, Çizelge 4.12, Çizelge 4.13’te görüldüğü gibi DK değerleri büyüdükçe, ortalama temin süresi artmaktadır. Düşük DK ve düşük talepte çekme sistemi ile kontrol edilen bir sistemde parti bölmesinin uygulanması temin süresi açısından %20 bir iyileştirmeye neden olurken, itme sisteminde parti bölmesinin uygulanması %22’lik bir iyileşmeye neden olmaktadır. Ancak, değişkenliğin ve talebin yüksek olduğu durumlarda CONWIP üretim kontrolünde parti bölmesinin uygulanması ortalama temin süresi performansı üzerinde belirgin bir iyileşme sağlamaktadır.

Çizelge 4.8 : Tüm senaryolardan elde edilen sıralamalar ve kart sayıları.

Senaryo		Talep		Kart Sayısı
		Yüksek	Düşük	
		Sıralama		
CON_LSPT	YDK-YHS	2-1-3-6-8-7-4-5	8-1-2-7-3-6-5-4	6-2-6*
	YDK-DHS	1-8-2-3-5-6-4-7	8-2-7-1-3-6-5-4	
	DDK-YHS	2-1-8-7-3-4-5-6	1-8-4-5-7-3-2-6	5-3-4
	DDK-DHS	1-8-7-4-5-2-6-3	1-2-8-7-3-4-6-5	
PUSH_LSPT	YDK-YHS	1-8-3-2-7-4-6-5	2-8-1-7-3-6-4-5	Yok
	YDK-DHS	1-8-2-3-5-6-4-7	8-2-3-1-7-6-4-5	
	DDK-YHS	1-8-3-7-2-6-4-5	1-8-4-2-7-3-5-6	
	DDK-DHS	1-8-3-2-6-7-4-5	2-8-1-4-7-3-5-6	
CON_LOT	YDK-YHS	1-8-2-3-5-6-4-7	8-2-3-1-5-6-4-7	6-2-6
	YDK-DHS	1-2-8-3-5-6-4-7	1-8-3-2-6-5-4-7	
	DDK-YHS	1-2-5-8-3-7-4-6	1-8-3-5-2-4-7-6	5-3-4
	DDK-DHS	1-2-8-5-3-7-4-6	2-1-8-3-5-7-4-6	
PUSH_LOT	YDK-YHS	1-8-3-5-2-6-4-7	1-8-2-3-6-5-7-4	Yok
	YDK-DHS	1-2-8-3-5-6-4-7	1-8-7-3-2-5-4-6	
	DDK-YHS	1-2-5-8-3-7-4-6	1-8-3-5-7-2-4-6	
	DDK-DHS	1-2-5-8-3-7-4-6	1-8-4-5-7-3-2-6	

Çizelge 4.9 : Yüksek talep koşullarında alt parti büyüklükleri.

Ürün	YDK-YHS				YDK-DHS				DDK-YHS				DDK-DHS			
	CON_LSPT		PUSH_LSPT		CON_LSPT		PUSH_LSPT		CON_LSPT		PUSH_LSPT		CON_LSPT		PUSH_LSPT	
	1.alt parti	2.alt parti	1. alt parti	2. alt parti	1. alt parti	2. alt parti	1. alt parti	2. alt parti	1. alt parti	2. alt parti	1. alt parti	2. alt parti	1. alt parti	2. alt parti	1. alt parti	2. alt parti
1	0	16	0	16	2	14	2	14	2	14	2	14	4	12	4	12
2	0	32	0	32	3	29	10	22	4	28	32	0	5	27	32	0
3	4	44	0	48	6	42	47	1	0	48	33	15	19	29	19	29
4	47	17	64	0	39	25	63	1	21	43	21	43	23	41	64	0
5	80	0	80	0	17	63	23	57	0	80	24	56	25	55	0	79
6	14	50	48	16	21	43	48	16	16	48	0	64	16	48	64	0
7	5	75	80	0	4	76	4	76	30	50	80	0	32	48	80	0
8	0	32	0	32	3	29	1	31	11	21	12	20	14	18	5	27

Çizelge 4.10 : Düşük talep koşullarında alt parti büyüklükleri.

Ürün	YDK-YHS				YDK-DHS				DDK-YHS				DDK-DHS			
	CON_LSPT		PUSH_LSPT		CON_LSPT		PUSH_LSPT		CON_LSPT		PUSH_LSPT		CON_LSPT		PUSH_LSPT	
	1.alt parti	2.alt parti	1. alt parti	2. alt parti	1. alt parti	2. alt parti	1. alt parti	2. alt parti	1. alt parti	2. alt parti	1. alt parti	2. alt parti	1. alt parti	2. alt parti	1. alt parti	2. alt parti
1	2	0	2	0	1	1	1	1	2	0	2	0	1	1	1	1
2	4	0	0	4	1	3	1	3	4	0	0	4	1	3	1	3
3	6	0	0	6	1	5	1	5	0	6	0	6	2	4	2	4
4	5	3	8	0	5	3	5	3	0	8	0	8	3	5	2	6
5	3	7	2	8	3	7	1	9	0	10	0	10	3	7	1	9
6	2	6	5	3	3	5	7	1	2	6	0	8	2	6	2	6
7	10	0	0	10	8	2	1	9	2	8	2	8	4	6	4	6
8	4	0	0	4	1	3	1	3	0	4	0	4	1	3	1	3

Çizelge 4.11 : CON_LSPT senaryosunun uygulanması ile ortalama temin süresindeki düşüş yüzdeleri.

Talep, DK ve Hazırlık süresi	Düşük Talep				Yüksek Talep				Düşük Talep				Yüksek Talep				Düşük Talep				Yüksek Talep															
	DDK		YDK		DDK		YDK		DDK		YDK		DDK		YDK		DDK		YDK		DDK		YDK													
	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS												
Model	PUSH_LSPT												CON_LOT												PUSH_LOT											
CON_LPST	1%	5%	39%	39%	34%	50%	13%	20%	20%	19%	42%	40%	38%	49%	17%	23%	23%	32%	45%	41%	38%	52%	20%	25%												

Çizelge 4.12 : PUSH_LSPT modelinin uygulanması ile ortalama temin süresindeki düşüş yüzdeleri

Talep, DK ve Hazırlık süresi durumları	Düşük Talep				Yüksek Talep				Düşük Talep				Yüksek Talep			
	DDK		YDK		DDK		YDK		DDK		YDK		DDK		YDK	
	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS
Model	CON_LOT								PUSH_LOT							
PUSH_LSPT	19%	15%	5%	1%	5%	-3%	5%	4%	22%	28%	9%	2%	22%	28%	8%	6%

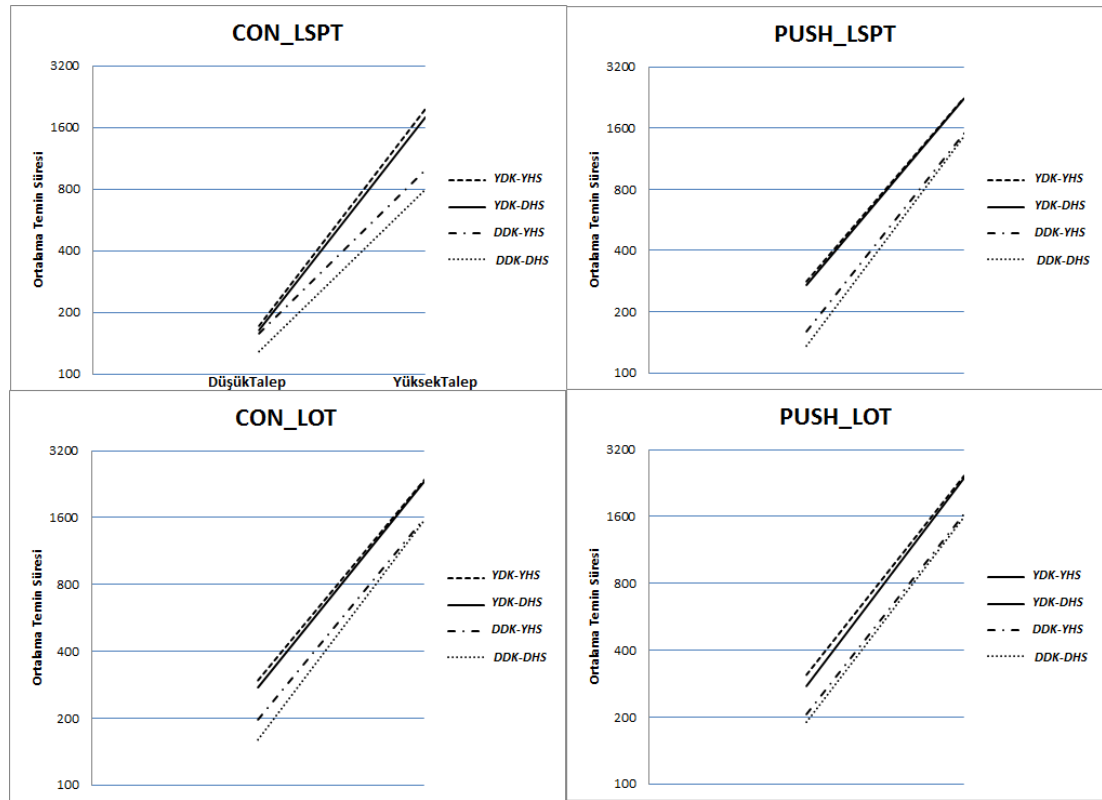
Çizelge 4.13 : CON_LOT senaryosunun uygulanması ile ortalama temin süresindeki düşüş yüzdeleri

Talep,DK ve Hazırlık süresi	Düşük Talep				Yüksek Talep			
	DDK		YDK		DDK		YDK	
	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS	YHS	DHS
CO_LOT	PUSH_LOT							
PUSH_LPST	4%	16%	5%	0%	0,3%	5%	3%	3%

En büyük iyileşmelerden biri olan %48’lik iyileşme; düşük değişkenlik katsayısında ve hazırlık sürelerinin %75 oranında azaltıldığı, yüksek talep koşullarında gözlemlenmiştir. Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13’te görüldüğü gibi ortalama temin süresi performansındaki en büyük iyileşme %52 oranındaki iyileşme düşük değişkenlik katsayılarında görülmüştür. Tüm parti bölmesi senaryolarında ise, CONWIP üretim kontrolü, düşük değişkenlikte ve yüksek talep değerlerinde ortalama temin süresi açısından düşük talep durumuna göre daha avantajlıdır ancak, yüksek değişkenlik değerlerinde bu durum tersine dönmektedir. Son olarak değişkenliğin düşük olduğu durumlarda parti bölmesinin olmadığı senaryolarda CONWIP üretim kontrolünün uygulanması daha avantajlıdır.

4.4.2 Hazırlık süresi azaltma oranının ortalama temin süresi üzerindeki etkisi

Yüksek ve düşük talep koşullarında, hazırlık süresinin azaltılması ile birlikte her bir senaryoda ortalama temin süresi azalmaktadır. Şekil 4.4’te ortalama temin süresinin hazırlık süresi azaltma durumlarındaki değişimi yüksek ve düşük talep değerlerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : YHS ve DHS kurgularında ortalama temin süreleri.

Yüksek ve düşük değişkenlik katsayısı değerlerinde, *CON_LSPT* ve *PUSH_LSPT* senaryolarında ise hazırlık süresinin azaltılmasının süresi üzerindeki etkisi *CON_LOT* ve *PUSH_LOT* senaryolarına göre daha fazla olmuştur.

4.4.3 Talep büyüklüğünün ortalama temin süresi üzerindeki etkisi

Parti bölmesinin olduğu itme kontrolü senaryosunda, yüksek değişkenlik, düşük talep ve hazırlık süresi azaltılmasının olduğu durumda CONWIP üretim kontrolü, ortalama temin süresi %39 oranında azalmaktadır

DDK ve düşük talep kurgusunda CONWIP kontrolünün uygulanması, ortalama temin süresini %5 düşürmüştür.

Yüksek talep kurdularında CONWIP kontrolünün uygulanması ortalama temin süresini, DDK için %20 ve YDK için ise %50 azaltmaktadır.

Ortalama temin süresi açısından parti bölmesinin de CONWIP üretim kontrolünde değişik talep seviyelerinde aynı etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak; CONWIP üretim kontrolünün itme kontrolüne göre ortalama temin süresi performans ölçütü açısından belirgin fayda sağlamakta, aynı şekilde parti bölmesinin parti üretimine göre belirgin fayda sağladığı görülmüştür.

Yüksek değişkenlik katsayı değerlerinde CONWIP üretim kontrolü yüksek talepte daha çok fayda getirirken, değişkenlik katsayısının düşük olduğu durumda CONWIP üretim kontrolü düşük talep değerinde daha çok fayda sağlamıştır.

Parti bölmesi yüksek değişkenlik katsayısında talebin düşük olduğu değerlerde daha fazla iyileşme sağlarken, düşük değişkenlikte yüksek talep değerlerinde daha çok fayda sağlamıştır.

Son olarak parti bölmesinin uygulanması, CONWIP üretim kontrolünün uygulanmasına göre ortalama temin süresi üzerinde daha fazla bir düşüş sağlamıştır.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde CONWIP üretim kontrolü ve parti bölmesi için geliştirilen sezgisel yöntem anlatılmaktadır.

5. CONWIP ÜRETİM KONTROLÜ İÇİN PARTİ BÖLMELİ BİR SIRALAMA SEZGİSELİ

Tez çalışmanın bu aşamasında Rshini ve Ran (1997) önermiş olduğu kanban kontrolünde çift bloke mekanizması ile sıralama sezgiselinden yola çıkılarak, önerilen yöntem, melez yerleşime sahip parti bölmesinin olduğu CONWIP üretim kontrol mekanizmasına uygulanmıştır. Önceki bölümde parti bölmesinin ve CONWIP üretim kontrolünün işlem süresi değişkenlik katsayısı, hazırlık süresi azaltma oranı ve talep büyüklüğünün değişik seviyelerinde, ortalama temin süresi üzerindeki etkileri ortaya konulmuştu. CONWIP üretim kontrolünün ve parti bölmesinin senaryolarda bahsedilen faktörler içinde ortalama temin süresinde en az iyileşmeyi gösteren senaryo değişkenlik katsayısının düşük, hazırlık süresi azaltma oranının olmadığı ve talebin düşük olduğu durumdur. Bu senaryodan yola çıkılarak, önerilen matematiksel model için Rshini ve Ran (1997) önermiş olduğu sezgisel CONWIP üretim kontrolüne göre uyarlanarak modelin doğruluğu kontrol edilmiş, ürün sayısının artması, işlem sürelerinin değişmesi, talebin artması durumunda optimum sonuca yakın sonuç veren bir sezgisel yöntem önerilmiştir. Önerilen sezgisel yöntem literatürden Kurz ve Askin (2004) önermiş olduğu, esnek akış tipi çizelgeleme yöntemi olan FTMIH (Flow Time Multiple Insertion Heuristic) sezgiseli ve parti bölmesi durumunun olduğu Kalir ve Sarin (2003) önermiş olduğu sezgisel yöntem ile karşılaştırılmıştır.

Rshini ve Ran (1997) çalışmasında çift bloke mekanizması olarak adlandırılan yapı bulunmaktadır. Çift bloke mekanizmasında ilgili istasyona bir iş atanırken, sisteme tahsis edilen kart sayısının sınıra ulaşması ve ilgili parça tipi için belirlenen sınıra ulaşılması kontrolü yapılmaktadır. CONWIP üretim kontrolünde ise, kart sayısının sınıra ulaşılması kontrolünün yapıldığı tek bloke mekanizması söz konusudur. Bu nedenle CONWIP üretim kontrolü için önerilen sezgisel tek bloke mekanizması için yapılmıştır. Tek bloke mekanizmasında ise incelenen düşünsel örnekte hücreler için belirlenen parti büyüklüğüne ulaşılmasının kontrolü yapılmaktadır.

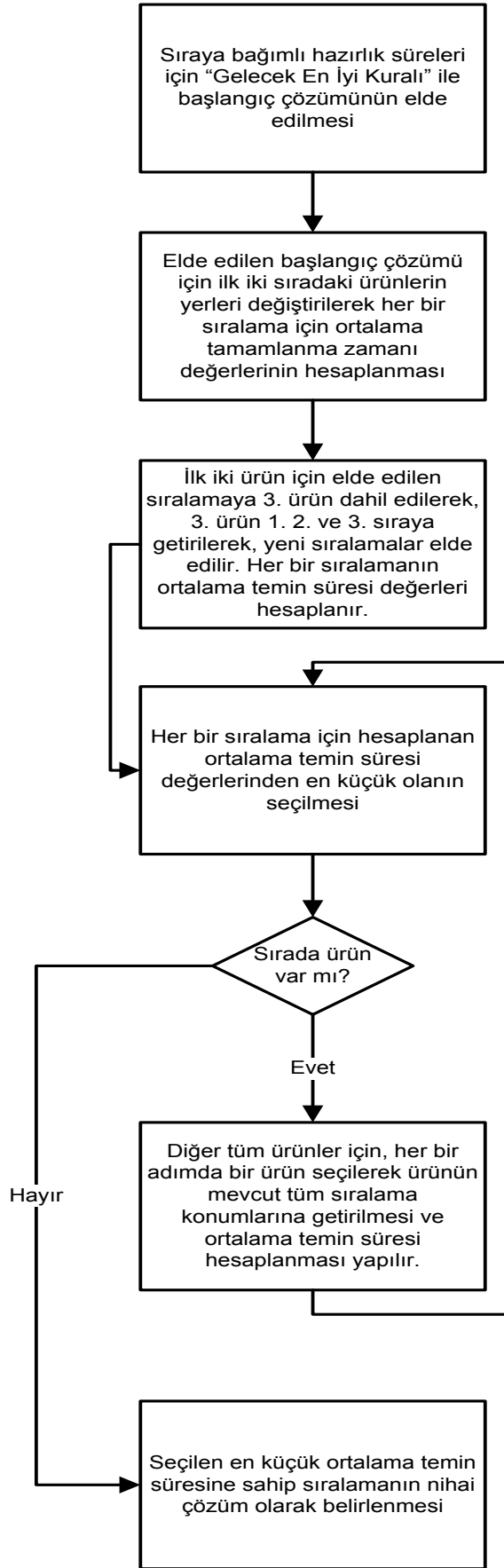
Rshini ve Ran (1997) önerdikleri sezgiselde işlenecek parçalar öncelikle ağırlıklı işlem süresine göre sıralanıp bir başlangıç çözümü elde edilmektedir. Başlangıç çözümünün elde edilmesinde ise birbirine benzer iki yaklaşım önerilmiştir. Önerilen başlangıç çözümünde ilk sıradaki üründen başlanarak parçaların ikili yerleri değiştirilip tamamlanma süresi değerlerine göre azalan sıra ile parçalar sıralanmaktadır. İlk iki parça için küçük tamamlanma değerine sahip sıralama alınarak, bir sonraki adıma geçilmektedir.

Sonraki adımda benzer şekilde ardılık öncüllük ilişkisi korunarak başlangıç çözümündeki üçüncü sıradaki işe geçilir ve bu parça sırasıyla 1, 2 ve 3. sıraya konularak tamamlanma değeri en küçük olan sıranın ardılık öncüllük ilişkisi korunarak diğer parçaya geçilir, başlangıç çözümündeki son parçaya ulaşana kadar iterasyonlar bu şekilde devam eder. Önerilen sezgisel yöntemin aşamaları Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

Önerilen sezgisel rassal olarak belirlenen verilerle çalıştırılmış ve literatürdeki benzer sezgisellerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak önerilen sezgisel yöntemin literatürdeki diğer sezgisellere göre üstünlük sağladığı görülmüştür.

CONWIP üretim kontrolünde kartlar ürüne değil sürece tahsisli olduğu için Rshini ve Ran (1997) sezgiselinin CONWIP üretim kontrolüne uygulanmasında parça tipinden kaynaklanan bloke dikkate alınmamıştır.

Tez çalışmasında önerilen tek blokeli mekanizmada öncelikle başlangıç çözümü Durmuşoğlu (1990) çalışmasında uyguladığı yöntem anlatılacaktır. Sonrasında maksimum parti sayısının bilindiği durumda alt parti büyüklüklerini bulan Çetinkaya (1994) çalışmasından yararlanılarak alt parti büyüklükleri elde edilmiştir.



Şekil 5.1 : Tek bloke mekanizmalı sezgisel yöntem akışı.

5.1 Tek Bloke Mekanizmalı Sezgisel İçin Elde Edilen Başlangıç Çözümü

İncelenen hipotetik modelde uygulanan sezgisel için başlangıç çözümü olarak Durmuşoğlu (1990)'ın çalışmasından yararlanılmıştır. Durmuşoğlu (1990) önerdiği sezgisel yöntemde sıraya bağlı hazırlık sürelerinde sıralama yapmıştır. Önerilen yöntemde, sıraya bağımlı hazırlık sürelerinde, hazırlık süresi tasarrufu değerleri ($\bar{S}_{kij}$) hesaplanarak elde edilen matrise göre minimum değerden başlanarak sıralamanın belirlenmesi söz konusudur. Hazırlık süresi tasarruf değerinin ($\bar{S}_{kij}$) hesaplanması ve sezgiselin akışı aşağıdaki anlatılmıştır.

Parametreler;

$\bar{S}_{kij}$: k makinasında i parçasından sonra j parçasının işlenmesi sonucu oluşan makine hazırlık tasarruf değeri

S_{koj} : k makinasının boş konumunda j parçası için olan hazırlık süresi.

S_{kij} : k makinasında i parçasından j parçasına geçişte olan sıraya bağımlı hazırlık süresi değeri.

Maksimum $\bar{S}_{kij}$ Gelecek En iyi Kuralı:

Sıra tamamlanana kadar makinanın boş konumundan başlanarak çizelgelenmemiş en büyük $\bar{S}_{kij}$ değerine sahip bir j parçasının gelecek en iyi pozisyon için seçilmesi. Birden fazla en büyük değer için en küçük sütuna karşılık gelen değer seçilir. Bu yöntemde sıralamaya alınacak ilk değer için en büyük $\bar{S}_{kij}$ kuralı uygulanmaz. Bunun yerine tüm parçalar ilk sıraya alınarak n adet parça için n adet sıralama oluşturulup en küçük toplam hazırlık değeri sıralama olarak kabul edilir.

Çizelge 5.1 : S_{kij} değerleri.

Ürün	1	2	3	4	5	6	7	8
0	24	32	24	32	24	32	24	32
1	-	12	8	4	16	8	12	20
2	12	-	4	16	16	28	20	16
3	8	4	-	12	8	16	20	8
4	4	16	12	-	24	12	20	28
5	20	16	8	24	-	4	8	16
6	8	28	16	12	4	-	16	20
7	12	20	20	20	8	16	-	4
8	20	16	8	28	16	20	4	-

Çizelge 5.2 : $\bar{S}kij$ değerleri.

Ürün	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-	20	16	28	8	24	12	12
2	12	0	20	16	8	4	4	16
3	16	28	-	20	16	16	4	24
4	20	16	12	-	0	20	4	4
5	4	16	16	8	-	28	16	16
6	16	4	8	20	20	-	8	12
7	12	12	4	12	16	16	-	28
8	4	16	16	4	8	12	20	-

Çizelge 5.3 : Maksimum $\bar{S}kij$ kuralı ile elde edilen sıralamalar.

Sıralama	Hazırlık Süresi
1-4-6-5-2-3-8-7	76
2-3-8-7-5-6-4-1	76
3-2-4-1-6-5-7-8	72
4-1-6-5-2-3-8-7	80
5-6-4-1-2-3-8-7	72
6-4-1-7-5-2-3-8	88
7-8-2-3-4-1-6-5	76
8-7-5-6-4-1-2-3	80

Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2 ile elde edilen hazırlık süresi değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu Çizelge 5.3'teki değerler elde edilmiştir. Bu değerlere göre elde edilen en iyi sıralama 72 ZB'lik sıralama ile 3-2-4-1-6-5-7-8 sıralaması başlangıç çözümü olarak alınmıştır. Bir sonraki alt bölümde sezgiselin girdisi olan alt parti büyüklüklerinin bulunması anlatılmaktadır.

5.2 Alt Parti Büyüklüklerinin Bulunması

Tek bloke mekanizmalı sıralama sezgiselinde alt parti büyüklüklerinin bulunması için Çetinkaya (1994) önermiş olduğu yöntemden yararlanılmıştır.

Çetinkaya (1994) iki aşamalı akış tipi bir üretim sisteminde alt parti oluşumuna izin verildiği durumda bir çizelgeleme problemini ele almıştır. Optimal alt parti büyüklüklerinin bulunduğu ve yayılma zamanının minimize edildiği bir sıralama algoritması önerilmiştir. Yapılan kabuller ise; maksimum alt parti büyüklüğünün bilinmesi, işlerin bölünmediği varsayımı ve hazırlık sürelerinin sıradan bağımsız olmasıdır. Hazırlık süresi iki aşamada incelenmiştir. İlki ekipmanların bir sonraki partiyi işleyebilmesi için gerekli aparatların ekipmanlara takılması, diğeri ise parti işlenip bittikten sonra aparatların ilgili ekipmanlardan çıkarılmasıdır.

Çalışmada iki aşamalı bir üretim sistemi göz önüne alınmıştır. Tez çalışmasında incelenen üretim sistemi birbirinden bağımsız 3 adet üretim hücresinden ve 1 adet fonksiyonel bölümden oluştuğu için Çetinkaya (1994)'ün önerdiği alt parti büyüklüklerini bulan aloritmadan yararlanılmıştır. Alt parti büyüklüklerinin bulunduğu aloritmanın işleyişi şu şekildedir;

Parametreler:

$p_{j,kmax,c}$: j partisinin c hücresinin darboğaz makinasındaki işlem süresi.

$s_{i,j,c}$: j patisinin c hücresinde i alt partisinin büyüklüğü.

U_j : j partisinin parti büyüklüğü.

Adım 1:

a)

$$s_{i,j,c} = r_{i,j,c} * U_j \quad (5.1)$$

$$r_{i,j,c} = \begin{cases} \frac{1}{k_j} & \text{alt partiler eşit büyüklükteyse} \\ \frac{(p_{j,kmax,c}/p_{j,kmax,c})^{i-1}}{\sum_{l=1}^{k_j} (p_{j,kmax,c}/p_{j,kmax,c})^{l-1}} & \text{alt partiler eşit büyüklükte değilse} \end{cases} \quad (5.2)$$

Eğer $s_{i,j,c}$ hepsi tam sayı ise Adım 4'e gidin, Değilse Adım 1 b)'ye gidin

b)

$$Z_j = \max_{1 \leq a \leq k_j} \left\{ p_{j,kmax,c} * s_{i,j,c} - \sum_{a=1}^{a-1} p_{j,kmax,c} * s_{i,j,c} \right\} \quad (5.3)$$

Adım 2:

$$s_{i,j,c} = \min \left\{ \left[Z_j - (p_{j,kmax,c} - p_{j,kmax,c}) * \sum_{b=1}^{i-1} s_{b,j,c} \right] / p_{j,kmax,c}, U_j - \sum_{b=1}^{i-1} s_{b,j,c} \right\} \quad \forall i \text{ için} \quad (5.4)$$

$$f_{i,j,c} = \frac{[Z_j - (p_{j,kmax,c} - p_{j,kmax,c}) * \sum_{b=1}^{i-1} s_{b,j,c}]}{p_{j,kmax,c} - s_{i,j,c}} \quad \forall i \text{ için} \quad (5.5)$$

Adım 3:

Eğer $\sum_{i=1}^{k_j} s_{i,j,c} = U_j$ ve $s_{i,j,c}$ tamsayı ise

Adım 4' e git.

Değil ise;

$$Z_j = Z_j + p_{j,kmax,c} * \min_i(1 - f_{i,j,c}) \quad (5.6)$$

Adım 2'ye git.

Adım 4:

Bitir.

Yukarıda anlatılan adımların değişkenlik katsayısının ve talebin düşük olduğu, hazırlık süresi azaltma oranının olmadığı senaryoya uygulanmış hali Çizelge, 5.4, 5.5 ve 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 : Adım 1 a) ve b) uygulanması ile elde edilen alt parti büyüklükleri.

j	1		2		3		4		5		6		7		8	
i	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
r	0,14	0,86	0,18	0,82	0,40	0,60	0,36	0,64	0,45	0,55	0,36	0,64	0,40	0,64	0,44	0,60
s	0,29	1,71	0,73	3,27	2,40	3,60	2,86	5,14	4,55	5,45	2,86	5,14	4,00	6,43	1,78	2,40

Çizelge 5.4'te görüldüğü gibi Adım 1 a) ve b) uygulandıktan sonra elde edilen alt parti büyüklükleri tam sayı değildir. Bu nedenle Adım 2 ile devam edilmiştir. Adım 2'nin uygulanması ile elde edilen alt parti büyüklükleri Çizelge 5.5'te görülmektedir.

Çizelge 5.5 : Adım 2'nin uygulanması ile elde edilen alt parti büyüklükleri.

j	1		2		3		4		5		6		7		8	
i	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
z	0,29		1,45		9,6		14,29		22,73		14,29		17,71		7,82	
s	0	0	0	0	2	3	2	4	4	5	2	4	4	6	1	2
f	0,29	0,29	0,73	0,73	0,40	0,40	0,86	0,46	0,55	0,35	0,86	0,46	0,43	0,43	0,96	0,36

Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi bu adımda alt parti büyüklükleri tam sayılı değerlere ulaşmıştır, ancak 7 no'lu parti dışında alt parti büyüklüklerin toplamı parti büyüklüğüne eşit olmadığı için z değerleri 7 no'lu parti hariç, yeniden hesaplanarak Adım 2 tekrarlanmıştır. Adım 2'nin tekrarlanmasından sonra elde edilen ve alt partilerin büyüklükleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Adım 2'nin uygulanması ile elde edilen nihai alt parti büyüklükleri.

j	1		2		3		4		5		6		7		8	
i	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
s	1	1	1	3	3	3	3	5	5	5	3	5	4	6	2	2

Bir sonraki alt bölümde Rshini ve Ran (1997) önermiş olduğu sezgisel yöntem anlatılmaktadır.

5.3 Tek Bloke Mekanizmalı Sıralama Sezgiseli

CONWIP üretim kontrolü için önerilen tek bloke mekanizmalı sezgiselin, başlangıç çözümü elde edildikten sonraki aşaması sıralamaların ikili olarak yer değiştirerek yerel en iyi çözümlerle iterasyonlara devam edilmesidir. Sezgiselin çözümü için kullanılan notasyon şu şekildedir:

p : ürün tipi (1,...,P).

C : ürünlerin bulunduğu kaplar ($c=1,..., C$).

T_c : c kabının içinde olan ürün tipi.

j_i : ilgili ürün için i . hücre.

$\Theta p, [j_i]$: p ürünün h . Hücresi.

kk : Akış tipi hücre ile fonksiyonel alan arasında izin verilen maksimum parti miktarından olan sapma değeri.

$Q(j_1, j_2)$: Akış tipi hücre ile fonksiyonel alan arasında izin verilen maksimum parti miktarı.

$g(j_i)$: j_i hücresinde çizelgelenen parça sayısı.

τ : Parçanın bitiş zamanını temsil eden değişken.

$s(i)$: i parçasının alt parti büyüklüğü.

$b[j_i, g(j_i), g(j_i)+s(i, j)]$: j_i hücresinde $g(j_i)$ den $g(j_i)+s(i)$ 'ye kadar çizelgelenen parti tipini gösteren değişken.

$N_{j_i}=j_i$ hücresinde çizelgelenen iş sayısı.

$p_{i, j_i, m}$: i partisi için j_i hücresinin m makinasındaki birim işlem süresi.

$kmax_{i, j_i}$: i partisi için j_i hücresindeki maksimum işlem süresi.

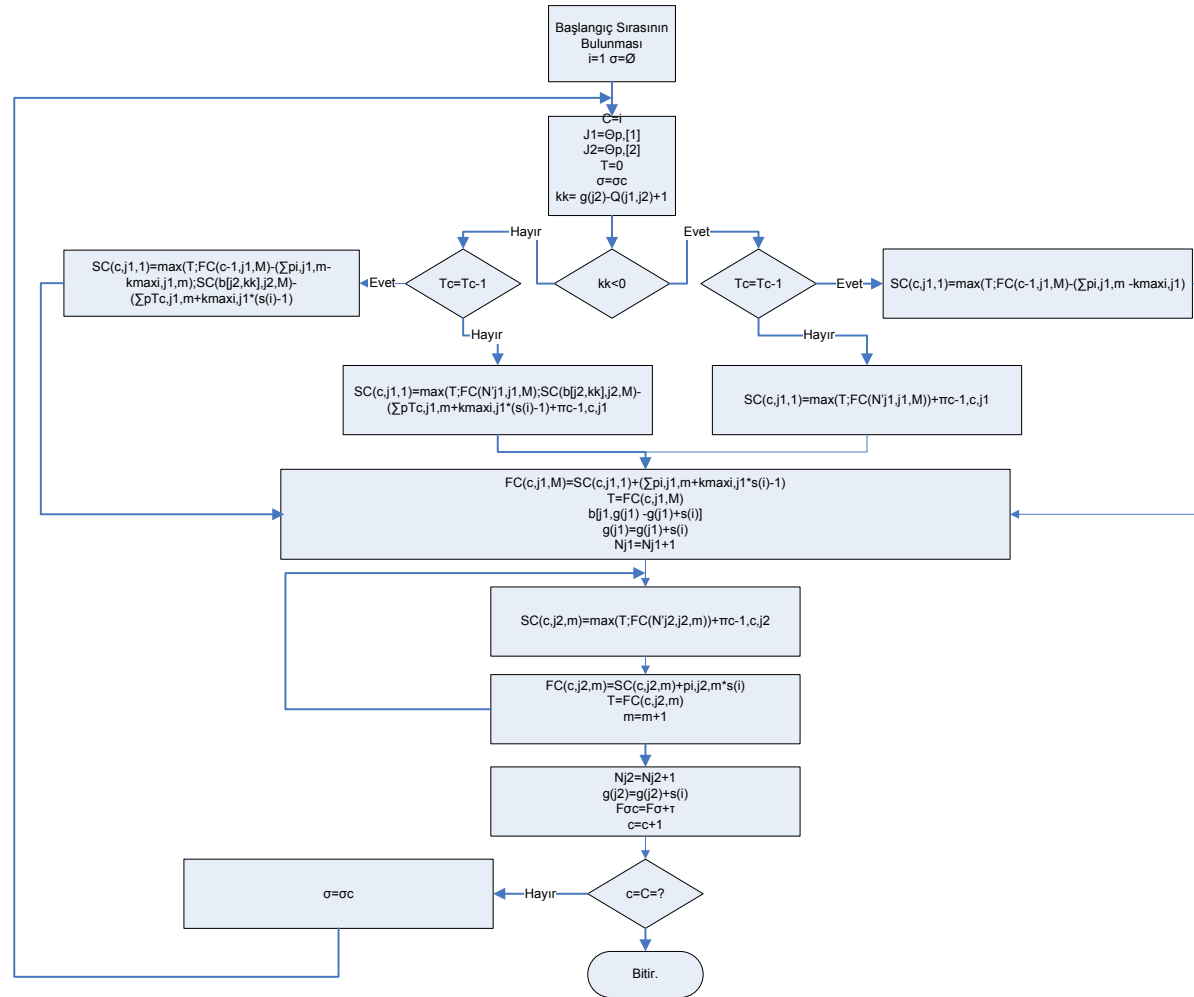
π_{c-1,c,j_i} : j_i hücresinde c kabında bulunan parça için sıraya bağlı hazırlık süresi.

$SC(c,j_i,m)$: c kabının j_i hücresinin m makinasında işleme başlama zamanı.

$FC(c,j_i,m)$: c kabının j_i hücresinin m makinasında bitiş zamanı.

σ : parçalı çizelge.

Sezgiselin akışı Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Tek bloke mekanizmalı sezgisel hesaplama adımları.

Önerilen sezgisel yöntemde tamamlanma zamanı Şekil 5.2’de gösterilen akış şemasındaki adımlar izlenerek bulunmaktadır. Sezgiselin sırayı bulma adımları ise verilen başlangıç çözümünde öncelikle ilk iki parçanın yerleri değiştirilerek küçük olan tamamlanma zamanına sahip sıralama sonraki adımda kullanılır. İlk iki parçadan küçük tamamlanma değerine sahip ürünün başlangıç sıralamasında 3. Sırada olan parça eklenerek, ilgili parça 1.,2. ve 3. sıraya konularak yine en küçük tamamlanma zamanına sahip sıralama sonraki adıma geçirilir. Tüm ürünler bitene kadar bu adımlar takip edilerek nihai sıralama elde edilir.

Durmuşoğlu (1990) çalışmasında önerilen sezgisel yöntemin hipotetik örneğe uygulanması sonucu elde edilen başlangıç çözümü 3-2-4-1-6-5-7-8 olarak bulunmuştu. Bu sıralamaya göre ilk adımda ele alınan ürünler; 3 ve 2 no’lu parçalardır.

İlk iki parti için hesaplama adımları şu şekildedir:

$$i=1 \sigma=\emptyset$$

$$C=1$$

$$J_1=1, j_2=4$$

$$T=0, \sigma=1$$

$$kk= g(4)-Q(1,4)+1=0-5+1=-4<0 \quad (5.7)$$

İlk alt parti için i değeri 1’dir. Çizelgelenen iş kümesini temsil eden σ ise boş kümedir. Çizelgelenecek ilk kap ise 1 no’lu kaptır. 1 no’lu kapta bulunan parçanın rotası üzerindeki ilk hücre 1 no’lu hücre olup son hücre ise 4 no’lu hücredir.

Eşitlik 5.7’de akış tipi hücre ile fonksiyonel bölüm arasında izin verilen en büyük parça miktarının ulaşıp ulaşılmadığı kontrolü yapılmaktadır. 4 no’lu fonksiyonel bölümde en başta çizelgelenmiş bir parça bulunmadığı için $g(4)$ değeri 0 olmuştur. 1 no’lu hücre ile 4 no’lu fonksiyonel bölüm arasında ise izin verilen maksimum parça sayısı 5 olduğu için başlangıçta hesaplanan kk değeri sıfırdan küçük olarak bulunmuştur.

$$SC(1,1,1)=\max(T;FC(0,1,3))+4=4 \quad (5.8)$$

Eşitlik 5.8’de ilk parçanın işleme başlama zamanı belirtilmektedir. 5.7’de hesaplanan kk değeri sıfırdan küçük olduğu için ilk partinin işleme başlaması o ana kadarki tamamlanma zamanından ya da bir önceki parçanın tamamlanma zamanından büyük olan değere eşit olmalıdır. Bu iki değerden büyük olan değere sıraya bağımlı hazırlık süresi değeri de eklenerek ilk partinin başlama zamanı 5.8 ile hesaplanmıştır.

$$FC(1,1,3)=SC(1,1,1)+(\sum p_{3,1,m}+kmax_{3,1}*s(3)-1)=4+8+2*4=20 \quad (5.9)$$

Eşitlik 5.9’te ilk partinin ait olduğu akış tipi hücreden çıkış zamanı hesaplanmıştır. Hücrelerde tek parça akışı olduğu için hesaplamalar buna göre yapılmıştır.

$$T=FC(1,1,3)=20 \quad (5.10)$$

Eşitlik 5.10’da tamamlanma zamanını temsil eden T değeri Sistemden çıkan son partinin tamamlanma zamanına eşitlenmiştir.

$$b[1,g(1)-g(1)+s(3)]=b[0-3]=1 \quad (5.11)$$

Eşitlik 5.11 kk değeri ile bağlantılı olup ilgili partinin sisteme alınmasının hangi parçtilere göre hesaplanacağını göstermektedir. Örneğin kk değerinin 2 olduğu durumda, 2 değerinin $b[0-3]$ aralığında olup ilgili partinin sisteme alınması 1 no’lu kabın (3 no’lu ürünün ilk alt partisinin) sistemden çıkışına göre hesaplanması anlamına gelmektedir.

$$N_1=N_1+1=1$$

$$g(1)=0+3 \quad (5.12)$$

Eşitlik 5.12’da 1 no’lu hücrede ilgili ana kadar çizelgelenen parti sayısını göstermektedir.

$$SC(1,4,1)=\max(T;FC(N'_4,4,1))+\pi_{0,1,4}=\max(20,0)+24=44 \quad (5.13)$$

Eşitlik 5.13 ise ilgili partinin fonksiyonel bölümde işlenmeye başlama zamanını hesaplamaktadır. Bu değer, o ana kadar hesaplanmış tamamlanma zamanından ya da fonksiyonel bölümde bir önceki partinin çıkış zamanından büyük olan değere eşittir.

Bu iki değerden büyük olan değere fonksiyonel bölüm için sıraya bağlı hazırlık süresi değeri eklenerek ilgili partinin fonksiyonel bölümde başlama zamanı hesaplanmış olmaktadır.

$$FC(1,4,1)=SC(1,4,1)+p_{3,4,1}*s(3)=44+6*3=62 \quad (5.14)$$

Eşitlik 5.14’de ilgili parçanın fonksiyonel bölümde tamamlanma zamanı hesaplanmıştır. Bu bölümde parti tipi akış olduğu için hesaplamalar tek parça akışı tamamlanma zamanından farklıdır.

$$T=FC(1,4,1)= 62$$

$$N_4=N_4+1=1$$

$$g(4)=0+3$$

$$F_1=F_0+\tau= 62 \quad (5.15)$$

Eşitlik 5.15’da ise toplam tamamlanma zamanının hesaplandığı değişkenin değeri hesaplanmaktadır. Sistemdeki ilk partinin tamamlanması ile birlikte bu değer 62 olarak hesaplanmıştır.

$$c=c+1=2$$

$$J_1=1, j_2=4$$

$$T=0, \sigma= 11$$

$$kk= g(4)-Q(1,4)+1=3-5+1=-1<0$$

$$SC(2,1,1)=\max(T;FC(1,1,3))=\max(0,20)=20$$

$$FC(2, 1,3)=SC(2,1,1)+(\sum p_{3,1,m}+kmax_{3,1}*s(3)-1)=20+4*3=32$$

$$T=FC(2,1,3)=32$$

$$b[1,g(1) -g(1)+s(3)]=b[4-6]=2$$

$$N_1=N_1+1=2$$

$$g(1)= 3+3=6$$

$$SC(2,4,1)=\max(T;FC(1,4,1)) = \max(32,62)=62$$

$$FC(2,4,1)=SC(2,4,1)+p_{3,4,1}*s(3)=62+6*3=80$$

$$T=FC(2,4,1)=80$$

$$N_4=N_4+1=2$$

$$g(4)=3+3=6$$

$$F_2=F_1+\tau=80+62=142$$

$$c=c+1=3$$

$$J_1=1, j_2=4$$

$$T=0, \sigma=112$$

$$kk= g(4)-Q(1,4)+1=6-5+1=2>0 \quad (5.16)$$

Ancak eşitlik 5.16'da bulunan kk değeri 2'dir. Yani ilgili partinin sisteme alınabilmesi için sistemden iki partinin çıkması gerekmektedir.

$$SC(3,1,1)=\max(T;FC(2,1,3);SC(b[4,2],4,3)-(\sum p_{3,1,m}+kmax_{2,1}*(s(2)-1)+\pi_{2,3,1}=\max(0,32,39)+4=43 \quad (5.17)$$

Eşitlik 5.17'de ise sistem parti miktarı limitine ulaştığı ilgili partinin sistemde başlama zamanı kk adet parçanın sistemden çıkış süresi kadar geciktirilmektedir.

$$FC(3,1,3)=SC(3,1,1)+(\sum p_{2,1,m}+kmax_{2,1}*(s(2)-1)=43+5=48$$

$$T=FC(3,1,3)=48$$

$$b[1,g(1)-g(1)+s(2)]=b[7]=3$$

$$N_1=N_1+1=3$$

$$g(1)=6+1=7$$

Sezgiselin 3. ve 4. partilerin çizelgelenmesi ile ilgili hesaplamalar yukarıda anlatıldığı gibi olup, açıklama yapılmadan hesaplamalar gösterilmiştir.

$$SC(3,4,1)=\max(T;FC(2,4,1))+\pi_{2,3,4}=\max(48,80)+4=84$$

$$FC(3,4,1)=SC(3,4,1)+p_{3,4,1}*s(2)=84+9=93$$

$$T=FC(3,4,1)=93$$

$$N_4=2+1=3$$

$$g_4=6+1=7$$

$$F_3 = F_2 + \tau = 142 + 93 = 235$$

$$c = c + 1 = 4$$

$$J_1 = 1, j_2 = 4$$

$$T = 0, \sigma = 1122$$

$$kk = g(4) - Q(1, 4) + 1 = 7 - 5 + 1 = 3 > 0$$

$$SC(4, 1, 1) = \max(T; FC(3, 1, 3); SC(b[4, 3], 4, 3) - (\sum p_{4,1,m} + kmax_{2,1} * (s(2) - 1)) \\ = \max(0, 48, 38) + 4 = 48$$

$$FC(4, 1, 3) = SC(4, 1, 1) + (\sum p_{2,1,m} + kmax_{2,1} * s(2) - 1) = 48 + 6 = 54$$

$$T = FC(4, 1, 3) = 54$$

$$b[1, g(1) - g(1) + s(2)] = b[8 - 10] = 3$$

$$N_1 = N_1 + 1 = 4$$

$$g1 = 7 + 3 = 10$$

$$SC(4, 4, 1) = \max(54; FC(3, 4, 1)) = \max(54, 93) = 93$$

$$FC(4, 4, 1) = SC(4, 4, 1) + p_{3,4,1} * s(2) = 93 + 18 = 111$$

$$T = FC(4, 4, 1) = 118$$

$$N_4 = 3 + 1 = 4$$

$$g4 = 7 + 3 = 10$$

$$F_4 = F_3 + \tau = 235 + 111 = 346$$

3 ve 2 no'lu partiler için gösterilen hesaplamalar, tüm adımlar için yapılmış ve Çizelge 5.7, Çizelge 5.8, Çizelge 5.9, Çizelge 5.10, Çizelge 5.11, Çizelge 5.12, Çizelge 5.13'te gösterilmiştir.

İterasyon 1:

Adım1

Çizelge 5.7 : 2. ve 3. ürünler için sıralama değerleri.

Sıra	Temin Süresi
3-2	346
2-3	253 SEÇİLİR

Adım 2

Çizelge 5.8 : 2., 3. ve 4. ürünler için sıralama değerleri.

Sıra	Temin Süresi
2-3-4	634 SEÇİLİR
2-4-3	944
4-2-3	669

Adım 3

Çizelge 5.9 : 1., 2., 3. ve 4. ürünler için sıralama değerleri.

Sıra	Temin Süresi
2-3-4-1	1126
2-3-1-4	898
2-1-3-4	968
1-2-3-4	848 SEÇİLİR

Adım 4

Çizelge 5.10 : 1.,2., 3.,4. ve 6. ürünler için sıralama değerleri.

Sıra	Temin Süresi
1-2-3-4-6	1553 SEÇİLİR
1-2-3-6-4	1577
1-2-6-3-4	1813
1-6-2-3-4	2065
6-1-2-3-4	2405

Adım 5

Çizelge 5.11 : 1.,2.,3.,4.,5. ve 6. ürünler için sıralama değerleri.

Sıra	Temin Süresi
1-2-3-4-6-5	2451
1-2-3-4-5-6	2354 SEÇİLİR
1-2-3-5-4-6	2422
1-2-5-3-4-6	2592
1-5-2-3-4-6	2913
5-1-2-3-4-6	3727

Adım 6

Çizelge 5.12 : 1.,2., 3.,4.,5.,6. ve 7. ürünler için sıralama değerleri.

Sıra	Temin Süresi
1-2-3-4-5-6-7	3400
1-2-3-4-5-7-6	3304
1-2-3-4-7-5-6	3100
1-2-3-7-4-5-6	3035 SEÇİLİR
1-2-7-3-4-5-6	3316
1-7-2-3-4-5-6	3212
7-1-2-3-4-5-6	3500

Adım 7

Çizelge 5.13 : 1.,2.,3.,4.,5.,6.,7. ve 8. sıradaki ürünler için sıralama değerleri.

Sıra	Temin Süresi
1-2-3-7-4-5-6-8	4109
1-2-3-7-4-5-8-6	4108
1-2-3-7-4-8-5-6	3904
1-2-3-7-8-4-5-6	3704
1-2-3-8-7-4-5-6	3580 Seçilir
1-2-8-3-7-4-5-6	4620
1-8-2-3-7-4-5-6	4012
8-1-2-3-7-4-5-6	3772

Elde edilen sezgisele göre nihai sıralama 1-2-3-7-8-4-5-6'dır.

Uygulanan sezgisel yöntem her bir alt partinin tamamlanma zamanlarının toplamına göre hesaplanmıştır. Matematiksel modelde elde edilen ise partilerin ortalama temin süresidir. Sezgisel yöntemde tamamlanma zamanı hesaplanırken her bir alt partinin tamamlanma zamanı göz önüne alınmıştır yani tamamlanma zamanı değerinde birinci ve ikinci alt partilerin toplam tamamlanma zamanları bulunmaktadır.

5.4 CON_LSPT Modelinin Literatürden İki Farklı Sezgisel Yöntem ile Karşılaştırılması

Bu bölümde önerilen matematiksel model literatürden alınmış iki adet akış tipi sıralama sezgiseli ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma yapılan sezgisel yöntemler den bir tanesi esnek akış tipi üretim sistemine sahip parti bölmesinin olmadığı sıraya bağımlı hazırlık süresini dikkate alan FTMIH sezgiseli olup, diğer sezgisel ise yine

akış tipi üretim sistemi için önerilmiş parti bölmesi durumunun olduğu Kalir ve Sarin (2003) sıralama sezgiselidir.

5.4.1 FTMIH sezgiseli

FTMIH sezgiseli esnek akış tipi üretim sisteminde önerilmiş olan, sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin göz önüne alındığı sezgisel yöntemdir. Esnek akış tipi üretim ile bahsedilen durum ürün rotaları üzerinde en az bir ürün çeşidinin sistemde yer alan en az bir makinada işlenme zorunluluğunun olmamasıdır. Sezgisel yöntem Kurz ve Askın (2004) tarafından önerilmiştir. Çalışmada esnek akış tipi üretim sistemi için tam sayılı programlama modeli önerilerek, modelin çözümü için dört adet sezgisel yöntem önerilmiştir.

FTMIH sezgiseli her bir aşamada akış süreleri toplamının minimize edildiği sezgisel bir yöntemdir. FTMIH sezgiseli her bir aşamada işlem sürelerine hazırlık sürelerini de ekleyerek, değiştirilmiş işlem süresi ile sıralamaya yapar. İşler makinalara atandıktan sonra işlem süreleri ve sıraya bağımlı hazırlık süreleri birbirinden ayrılarak diğer aşamalara geçilir.

FTMIH sezgiseli tez çalışmasında göz önüne alınan tek parça akış durumuna göre düzenlenmiştir. Sezgiselin akışı aşağıda anlatılmıştır.

FTMIH Sezgiseli:

Adım 1:

Akış tipi hücreler ve Fonksiyonel Bölüm için değiştirilmiş işlem süreleri (5.18) ve (5.19) kullanılarak hesaplanır.

Akış tipi hücreler için değiştirilmiş işlem süreleri $\tilde{p}_j^c$;

$$\tilde{p}_j^c = \sum p_{j,k}^c + kmax_{j,c} \cdot (U_j - 1) + min_j t_{jj}^c, \quad (5.18)$$

Fonksiyonel bölüm için değiştirilmiş işlem süreleri

$$\tilde{p}_j^4 = U_j \cdot p_{j,k}^4 + min_j t_{jj}^4, \quad k = 1, \dots, m \quad (5.19)$$

Adım 2:

Parçalar “En Uzun İşlem Süresi Kuralına” göre sıralanır.

Adım 3:

$c=1$ 'den 3'e kadar

$j=[1]$ 'den n 'ye kadar, $j \in S^c$, $S^c = c$ hücresinde işlenen ürünler

-Ürün $[j]$ ilgili hücrede her sıraya konulur.

-Gerçek hazırlık süresi ile birlikte her bir sıralamanın ortalama akış süresi hesaplanır.

- j ürünü hücrede/fonksiyonel bölümde en düşük toplam akış süresinin elde edildiği konuma yerleştirilir.

Adım 4:

Fonksiyonel bölümde ürünlerin işlenmeye hazır olan zamanları akış tipi hücrede tamamlanma zamanlarına göre güncellenir.

Adım 5:

$c=4$ için

-Fonksiyonel bölüm için ürün $[j]$ her sıraya konulur.

-Gerçek hazırlık süresi ile birlikte her bir sıralamanın toplam akış süresi hesaplanır.

-Parça j için en düşük toplam akış süresine sahip sıralama seçilir.

Bitir.

5.4.2 Kalir ve Sarin (2003) sezgiseli

Kalir ve Sarin (2003) önermiş olduğu sezgisel, akış tipi üretim sistemi için alt parti büyüklüklerini ve sırayı bulmayı amaçlamaktadır. Kalir ve Sarin (2003) iki makinalı akış tipi üretim sistemi için, eşit alt parti büyüklüklerinde, tek ürün olduğu durumda optimum sonuç vermiştir. Kalir ve Sarin (2003) m makinalı durumu için aşağıda anlatılan adımları önermiştir.

Adım 1:

$j=1$ 'den n 'ye kadar

$$\begin{aligned}
s_{i,j,c}^* &= \arg \min_{s_{i,j,c}} \\
&\times \left\{ M(s_{i,j,c}) \right. \\
&= \left(\frac{U_j}{s_{i,j,c}} - 1 \right) \\
&* \max \left(\max_{c=1,2,3} t_{j,j',c} + \sum p_{j,k,c} + (s_{i,j,c} - 1) \right. \\
&* kmax_{j,c}; \max_{k=1,..,3} (\max_4 t_{j,j',4} + s_{i,j,c} * p_{j,k,4}) \left. \right) \\
&+ \max \left(\max_{c=1,2,3} t_{j,j',c} + \sum p_{j,k,c} + (s_{i,j,c} - 1) * kmax_{j,c} \right. \\
&+ \max_{k=1,..,3} (\max_4 t_{j,j',4} + s_{i,j,c} * p_{j,k,4}) \left. \right) \left. \right\} \quad (5.19)
\end{aligned}$$

Adım 2:

Adım 1'de hesaplanan alt partiler FTMIH sezgiseli kullanılarak sıralanır. Bu sıra diğer adımlarda aynı kalır.

Adım 3:

Adım 2'de elde edilen sıralama için yayılma süresi $M(S, s_{i,j,c})$ hesaplanır. $M^*(S, s_{i,j,c}) = M(S, s_{i,j,c})$. S: FTMIH sezgiselinden elde edilen sıralama.

Adım 4:

Eğer $M^*(S, s_{i,j,c})$ elde edilen en küçük akış süresi ise;

Eğer $s_{i,j,c} \geq U_j$ ise Dur.

Değilse

$s_{i,j,c} = s_{i,j,c} + 1$ ve *Adım 3*'e git.

Değilse

Dur.

5.4.3 FTMIH, Kalir ve Sarin (2003), tek bloke mekanizmalı sıralama sezgiseli ve matematiksel modelden elde edilen sonuçların karşılaştırılması

CON_LSPT modelinde değişkenlik katsayısının düşük olduğu, talebin düşük olduğu ve hazırlık süresi azaltma oranının olmadığı senaryoda, çalışmada önerilen sezgisel

yöntem ve literatürden alınan sezgisel yöntemler ile karşılaştırılması Çizelge 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5.14'te görüldüğü gibi Kalir ve Sarin (2003) sezgiseli ortalama temin süresini, FTMIH sezgiseli ile karşılaştırdığında 16% iyileştirmiştir. Matematiksel model ise FTMIH sezgiselinden 23% daha iyi sonuç vermiştir. Kalir ve Sarin (2003) sezgiseli ile matematiksel model arasındaki fark ise %9 olup, Kalir ve Sarin (2003) sezgiseli, çalışmada önerilen sezgisel yöntemden %12 daha iyi sonuç vermiştir. Tez çalışmasında önerilen sezgisel yöntemin literatürden alınan sezgisel yöntemlerden farkı sistemdeki iş sayısının sınırlandırılmasıdır. Matematiksel modellerin değişik senaryolarda karşılaştırılması ile CONWIP üretim kontrolünün etkisinin işlem sürelerinin değişkenlik katsayısının fazla olduğu durumlarda etkisinin belirgin olduğu gösterilmiştir. Talebin düşük olduğu durumda sistemde boş kalma durumundan dolayı CONWIP üretim kontrolünün etkisi görülmemiştir. Talebin yüksek olduğu durumlarda Tek bloke mekanizmalı sezgisel yöntemin daha iyi sonuç vereceği düşünülmektedir.

Bir sonraki bölümde tez çalışması boyunca incelenen gerçek üretim ortamında CONWIP üretim kontrolü ve parti bölmesinin uygulanması ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır.

Çizelge 5.14 : Matematiksel model ile sezgisellerin karşılaştırılması.

	FTMIH	Kalir ve Sarin (2003)	Tek bloke Sezgiseli	CON_LSPT (DDK-Düşük Talep-YHS)
Ortalama Akış Süresi	208	174	197,5	158
% fark	Kalir ve Sarin (2003): 16%, CON_LSPT:24%, Tek bloke 5% FTMIH: -16%, CON_LSPT:9%, Tek Bloke -12% FTMIH:5%, Kalir ve Sarin(2003):-12%, CON_LSPT:-20% FTMIH: -24%, Kalir ve Sarin (2003):-9%, Tek Bloke: 20%			
Sıralama	8-2-3-7-1-6-5-4	8-2-3-7-1-6-5-4	1-2-3-8-7-4-5-6	1-8-4-3-7-2-5-6

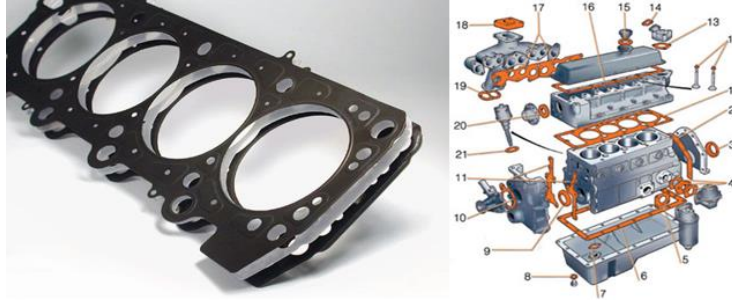
6. PARTİ BÖLMELİ CONWIP ÜRETİM KONTROLÜ İÇİN GERÇEK BİR UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde, geliştirilen matematiksel modellerin uygulanabilirliği ve faydası gerçek bir işletmede mümkün olduğunca uygulanmaya çalışılmıştır. Geliştirilen matematiksel model ile birlikte CONWIP üretim kontrolünde ortalama temin süresini en küçükleyecek üretim sırası bulunmaya çalışılarak, CONWIP üretim kontrolünün olmadığı, parti bölmesinin olmadığı durumlarla ve hazırlık süresi azaltma oranının olduğu durumlarda karşılaştırma yapılmış, önerilen yöntemin faydası gerçek bir işletmede ortaya konulmuştur.

Tez çalışmasında önerilen tek blokeli sıralama sezgiseli gerçek verilerle çalıştırılarak, elde edilen sonuç matematiksel modellerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Uygulama ROYAL CONTA A.Ş. şirketinde gerçekleştirilmiştir. ROYAL Conta fabrikası İstanbul Dudullu organize sanayi bölgesinde faaliyet göstermektedir.

Firmada motor parçaları arasında sızdırmazlık sağlayan, mantardan, madeni levhalardan veya malzemelerden kesilip delinerek parçalar arasına konulan ve conta olarak adlandırılan ürünlerin üretimi yapılmaktadır. Royal Conta'da üç çeşit ürün ailesi üretilmektedir. Bunlar; Klingrit (SKC) conta ailesi, çok katlı çelik (MLS) conta ailesi ve diğer olarak adlandırılan ailelerdir. Çalışmada, üretim aşamaları melez üretim sistemine daha uygun olan MLS çok katlı çelik conta ailesi dikkate alınmıştır. Şekil 6.1'de çok katlı çelik conta ve bu contanın motor üzerindeki yeri görülmektedir.



Şekil 6.1 : Çok katlı çelik conta ve contanın motor üzerindeki yeri

İncelenen ürünlerde boylarına ve üzerlerindeki çentik sayısına göre değişen 40 çeşit çok katlı çelik conta bulunmaktadır. Çok katlı çelik conta ailesinin üretim aşamalarını ve temin süresi bilgileri bir sonraki alt bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

6.1 Royal Conta’da Yalın Uygulamalar ve Değer Akış Yönetimi

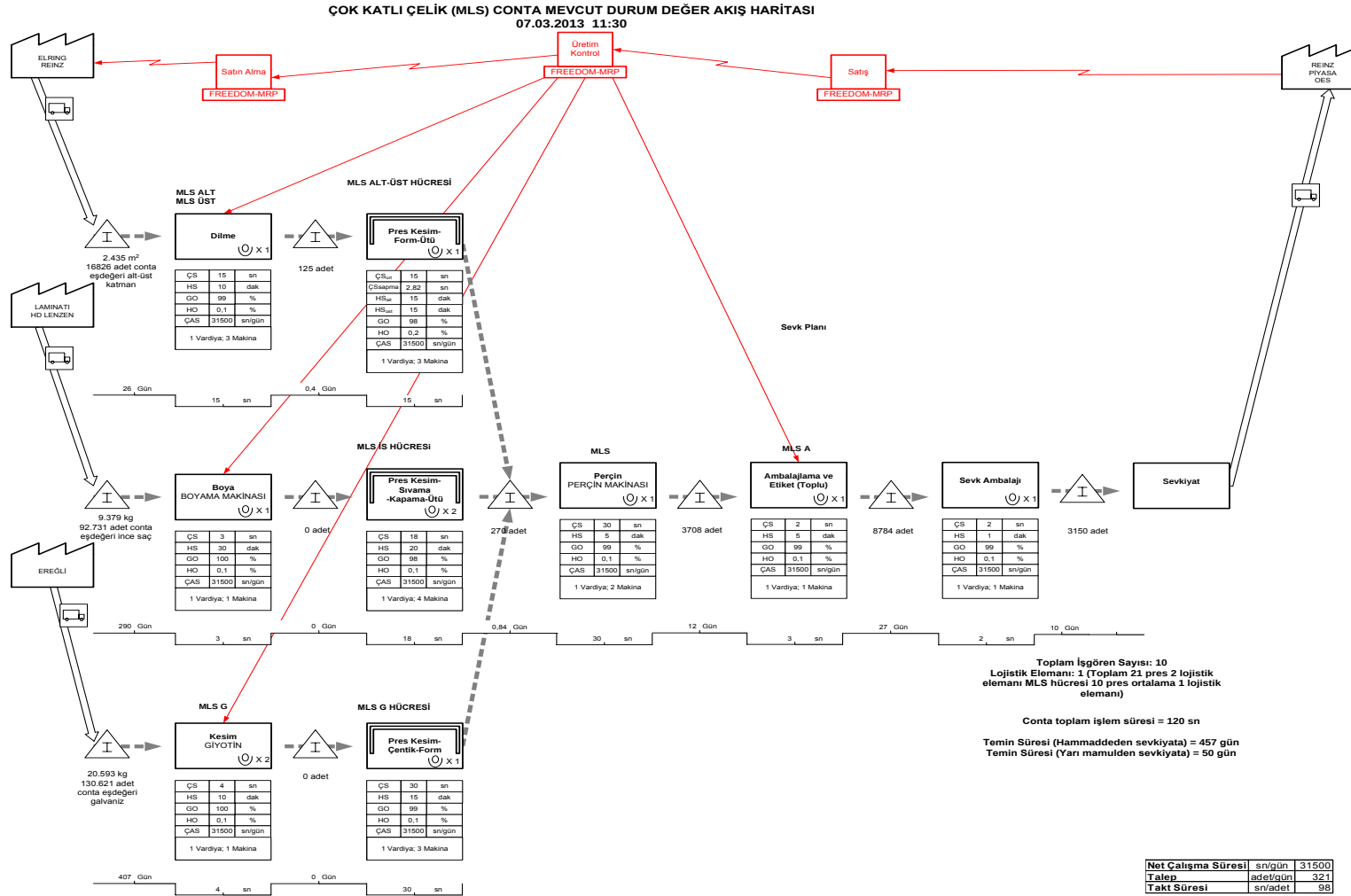
Çok katlı çelik conta üretim süreci Değer Akış Haritalandırma (DAH) yöntemi kullanılarak Şekil 6.2’de gösterilmiştir. DAH kâğıt kalem kullanarak yapılan, üretim sürecinin belirli bir zamandaki stokunu, ürün akışını gösteren basit ama etkili bir tekniktir.

Mevcut durumda MLS ürün ailesi için 3 adet hücre bulunmaktadır. MLS alt-üst olarak adlandırılan hücrede contaların alt ve üst kısımları basılmaktadır. Çok katlı çelik conta ailesinin ortasında bulunan ve hammaddesi ince sac olan kısım ise, MLS İS olarak adlandırılan hücrede üretilmektedir. MLS G olarak adlandırılan galvaniz kaplama işlemine tabi tutulan contaların üretildiği hücre bulunmaktadır. Bu hücreler birbirine paralel olup, operasyonları paralel bir şekilde yapılabilmektedir. Tedarikçilerden gelen rulo halindeki saclar MLS alt-üst hücrelerinden önce ürün çeşidine göre dilme operasyonundan geçerek, ilgili hücreye alınmaktadır. MLS alt-üst hücrelerinde ise ürünler tek parça halinde akmakta olup, dilme operasyonundan çıkan yarı mamul, ürün tipine göre kesim, form ve ütü işlemlerinin her birine ya da bazılarına tabi tutulmaktadır. Bu işlemin ortalama süresi 15 saniye olup, makine hazırlık süresi ürün ailesi değiştiğinde 20 dakika olup, altı ya da üstü basılmış ürün ailesinin diğer tarafı basılması için geçen hazırlık süresi 10 dakikadır. MLS alt-üst hücrelerine paralel işleyen MLS İS hücrelerinde de aynı şekilde tek parça akışı bulunmakta ve ürün ailesi tipine göre kesim, sıvama, kapama ve ütü işlemleri bulunmaktadır. Bu işlemlerin ortalama süresi 18 saniye olup, hazırlık süresi 20

dakikadır. Son olarak diğer hücrelerle paralel çalışan MLS G hücresi bulunmaktadır. Bu hücre galvanizle kaplanan ve kesim işlemi tamamlanan sacların kesim, çentik ve form operasyonlarını gerçekleştirmektedir. Hücrenin çevrim süresi 30 saniye olup, 15 dakikalık bir hazırlık süresi gerekmektedir. Çok katlı conta ailesindeki ürünlerin bazıları birbirine paralel olan bu hücrelerinde hepsinde işlenmemektedir. Akış tipi hücrelerden çıkan yarı mamuller perçin makinasında birleştirilerek, ambalajlanıp etiketlenerek, sevkiyat için sevk ambalajına gönderilmektedir. Şekil 6.2’de görüldüğü gibi mevcut durumda toplam conta işlem süresi 120 saniye olup, hammaddeden sevkiyata 457 günlük bir temin süresi, yarı mamulden sevkiyata ise; 50 günlük bir temin süresi vardır. Günlük net çalışma süresi 31500 saniye olup, günlük talep ortalama 321 adet contadır. U durumda toplam net çalışma süresinin günlük talebe bölmesi ile elde edilen takt süresi 98 sn/adet’tir. Takt süresi talebi karşılayabilmek için bir adet ürünün ne kadar sürede üretilmesi gerektiğini göstermektedir.

Üretim planlamasında ise; DAH’da görüldüğü gibi MGP ile işleyen, itmeye esaslarına dayalı merkezi bir planlama yapısı mevcuttur. Müşterilerden gelen talep bilgisi satış departmanı tarafından MGP sistemine girilerek bilgiler üretim planlama bölümüne gönderilmektedir. Üretim planlama bölümü, talebe göre, hazırladığı üretim planını üretim hücrelerine, hammadde satın alma emirlerini tedarikçilere elektronik ortamda göndermektedir. Firmanın alt ve üst malzemelerin hammaddesini tedarik ettiği, galvanizi tedarik ettiği ve ince sacı tedarik etti çeşitli tedarikçileri bulunmaktadır. Contanın alt ve üst malzemesi olan çelik sac İngiltere’de bulunan ELRING firmasından ve Almanya’da bulunan REINZ firmalarından, ince sac ise Almanya’da bulunan HD LENZEN firmasından, Galvaniz ise Ereğli’den tedarik edilmektedir. Firma’nın müşteri portföyü ise; OEM olarak adlandırılan ana üreticilere yedek parça olarak piyasaya üretilmektedir. Üreticileri, REINZ firması ve piyasadır.

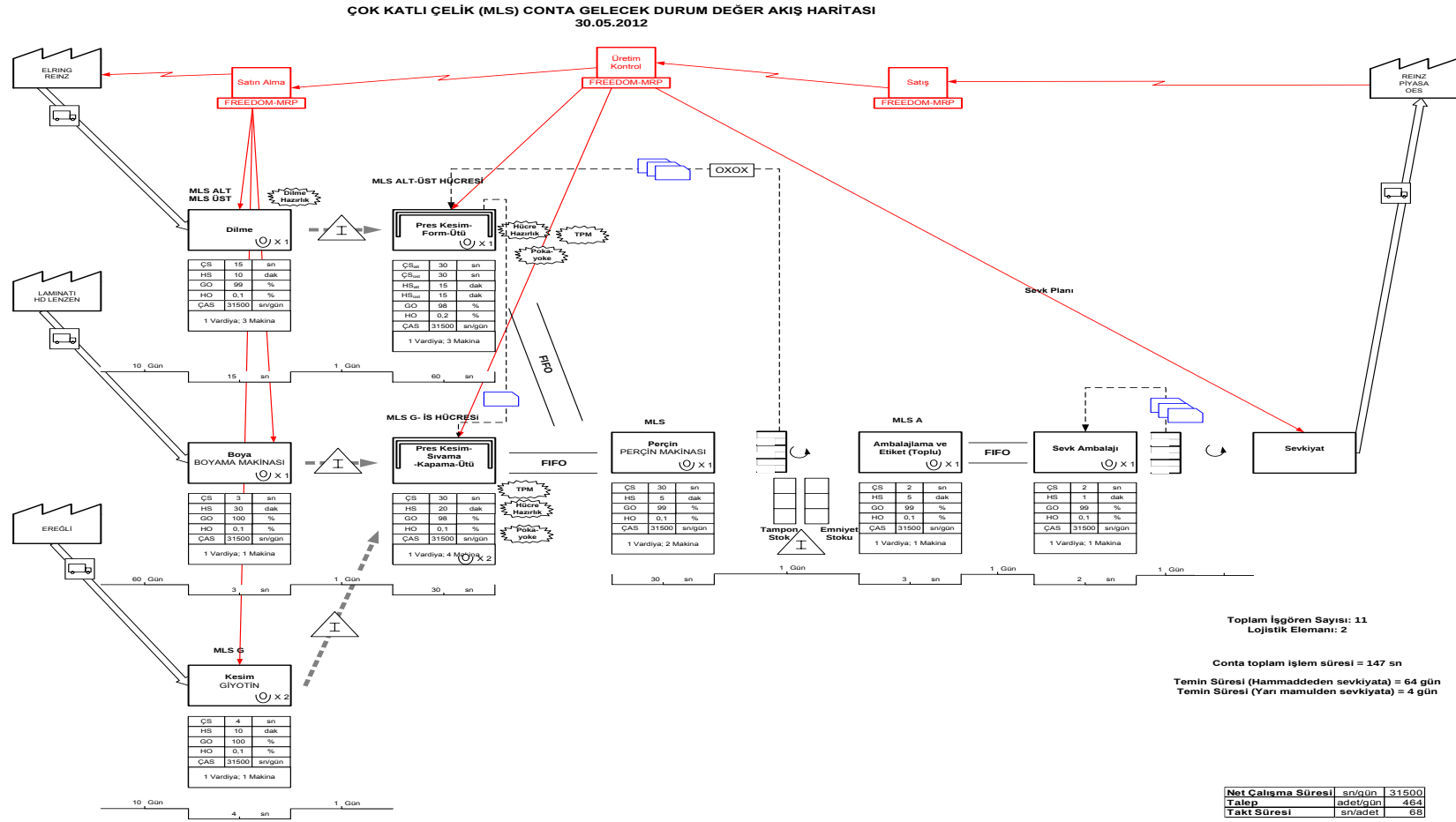
Temin süresinin uzunluğu Şekil 6.2’de görüldüğü gibi hammadde stoku ve hücreler ile perçin makinası arasında yer alan ve ambalajı bekleyen yarı mamulden kaynaklanmaktadır. Önerilen gelecek durumda CONWIP üretim kontrolü daha düzgün bir planlama sağlayarak, hammadde stokunu azaltarak ve bitmiş ürün stokunu azaltarak, temin süresinin düşmesini sağlamaktadır.



Şekil 6.2 : Mevcut durum değer akış haritası

Çalışmanın yapıldığı süreç boyunca MLS G hücresi kapasite fazlalığından dolayı MLS İS hücresine dâhil edilerek toplam hücre sayısı ikiye düşürülmüştür. Bu nedenle gelecek durum değer akışında iki hücre dikkate alınmıştır.

Mevcut durumdan yola çıkarak, parti bölmesini içeren CONWIP üretim kontrolüne sahip sistem için gelecek durum DAH Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3 : Gelecek durum değer akış haritası.

Gelecek durum değer akış haritasında görüldüğü gibi önerilen CONWIP üretim kontrolünün ve parti bölmesinin uygulanması ile birlikte mevcut durumda hammadde ve yarı mamul stokundan kaynaklanan 457 günlük temin süresinin 64 güne düşürülmesi planlamaktadır. Çekme kontrolünün uygulanması ile birlikte her bir süreç önündeki ardındaki sürece göre üretim yaptığından yarı mamul stokunun da azaltılması planlanmıştır. Şekil 6.4'te DAH'da yer alan MLS Alt-Üst hücresi görülmektedir.



Şekil 6.4 : MLS alt-üst hücresi.

Çizelge 6.1'de hücreler kurulmadan önce, hücreler kurulduktan sonra ve parti bölmeli CONWIP üretim kontrolünün uygulanması ile birlikte elde edilen değişimler gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 : Hücre öncesi,sonrası ve parti bölmeli CONWIP üretim kontrolü sonrası elde edilen iyileşmeler.

	Hücreler kurulmadan önce	Hücreler kurulduktan sonra	Parti bölmesi ve çekme kontrolünden sonra
Pres/Perçin Yarı Mamul (gün)	27,6	1,24	1

Çizelge 6.1’de görüldüğü gibi hücreler kurulmadan önce 27,6 gün olan yarı mamul stoku, hücrelerin kurulması ile birlikte 1,24 güne düşürülmüş, parti bölmesinin ve CONWIP üretim kontrolünün uygulanması ile birlikte 1 güne düşürülmesi planlanmıştır.

6.2 Matematiksel Modellerin İncelenen Sistem Üzerinde Uygulanması

Tez çalışmasında önerilen *CON_LSPT*, *PUSH_LSPT*, *CON_LOT* ve *PUSH_LOT* modelleri, mevcut durum değer akışında anlatıldığı gibi iki adet akış tipi hücresi bulunan ve bir adet perçinleme işlemi yapan conta firmasında uygulanmıştır.

Önceki bölümde anlatıldığı gibi sistemde boylarına ve ebatlarına göre değişiklik gösteren 40 çeşit ürün üretilmektedir. Bu parçalar operasyon çeşitlerine göre gruplandırılarak, çeşit sayısı öncelikle 15’e düşürülmüş, talep verilerine göre ABC analizinden yararlanılarak, nihai olarak 7 çeşit ürün, modelin girdisini oluşturmuştur. Hücrelerin çevrim süresi hesaplanmasında temsili parçalar seçilerek, Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3’te görülen standart iş çevrim süresi hesaplama tablosu doldurulmuştur.

Çizelge 6.2 : 1 no’lu ürün için MLS alt-üst hücresinde çevrim süresi hesaplaması.

#	Operasyon Tanımı	Süre				Süre					
		El ile	Otomatik	Yürüme	Boşaltma	0	5	10	15	20	25
1	Kesim	6	3	1	1						
2	Form	3	1	2							

Çizelge 6.3 : 1 no’lu ürüne ait çevrim süresi değerleri.

#	Operasyon Tanımı	Süre			
		El ile		Otomatik	Yürüme
		Yükleme	Boşaltma		
1	Kesim	6	3	1	1
2	Form	3		2	
	Toplam	10	3	3	1

H1 olarak adlandırılan MLS alt-üst hücresinde contanın alt ve üst kısmının basılması operasyonu yapılmaktadır. Alt kısmı basılan ürün, üst kısmının basılması için hücreye geri dönmektedir. Alt kısım basımından üst kısım basılmasına geçilirken, pres makinasında aparat değişimi yapılmaktadır. MLS alt-üst hücresinin ürün çeşidi değişiminde hazırlık süresi ortalama 20 dakika olup, geri dönen yarı mamul için hazırlık süresi ortalama 10 dakikadır. MLS alt-üst hücresinde ürünler basılırken, MLS G ve MLS İS hücrelerinin birleşiminden oluşan hücrede ise parçaların ara

katmanları basılmaktadır. Bu hücreler için hazırlık süresi değerleri MLS alt-üst hücresi ile benzerlik göstermektedir. Hücreler için hazırlık süreleri sıraya bağımlı değildir. Önerilen modeller düşük DK, düşük talep ve hazırlık süresi azaltma oranının olduğu ve olmadığı durumlarda karşılaştırılmıştır. İlk senaryo olan düşük DK, düşük talep ve hazırlık süresi azaltma oranının olmadığı senaryo Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 : Matematiksel modelden elde edilen ortalama temin süresi, sıralama, CPU zamanları.

Model	Ortalama Temin Süresi (dk)	Sıralama	CPU (sn)	Kart Sayısı
CON_LSPT	2018	6-5-4-7-2-3-1	12745	150
PUSH_LSPT	2166	3-5-6-7-1-4-2	14462	-
CON_LOT	2575	6-5-7-4-2-3-1	908	150
PUSH_LOT	2711	6-7-2-3-5-4-1	1108	-

Çizelge 6.4'te görüldüğü gibi sonuçlar hipotetik model sonuçları ile uyumlu olup, en iyi performansa sahip model CON_LSPT modelidir. PUSH_LSPT modeli CON_LSPT modelinden sonra ikinci iyi performansı vermiştir. En kötü performans yine beklendiği gibi itme sistemi ve parti bölmesinin olmadığı durumdur.

Parti bölmesinin olduğu durumda CONWIP üretim kontrolünün uygulanması sonucunda sistemde ortalama temin süresi açısından ortalama %6'lık bir iyileşme gözlenmiştir. Parti bölmesinin olmadığı durumda CONWIP üretim kontrolünün olması ise ortalama temin süresi açısından %3'lük bir iyileşme sağlamıştır.

İtme kontrolünün olduğu bir durumda ise parti bölmesinin uygulanması ile birlikte %17'lik performans iyileşmesi gözlemlenmiştir.

CONWIP üretim kontrolünün olduğu durumda parti bölmesi ile birlikte ortalama temin süresinde %20'lik bir iyileşme söz konusudur. Bu sonuçlara bakılarak parti bölmesinin sistem performansını CONWIP üretim kontrolünden daha fazla iyileştirdiği yorumunda bulunabiliriz.

Uygulanan diğer bir senaryo olan hazırlık süresi azaltma oranının olduğu, değişkenlik katsayısının düşük olduğu ve talebin yüksek olduğu senaryo Çizelge 6.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.5 : DHS kurgusunda ortalama temin süresi, sıralama, CPU zamanları.

Model	Ortalama Temin Süresi (dk)	Sıralama	CPU (sn)	Kart Sayısı
CON_LSPT	2018	6-5-4-7-2-3-1	12745	150
PUSH_LSPT	2166	3-5-6-7-1-4-2	14462	-
CON_LOT	2575	6-5-7-4-2-3-1	908	150
PUSH_LOT	2711	6-7-2-3-5-4-1	1108	-

Çizelge 6.5'te görüldüğü gibi hazırlık süresinin %75 azaltılması ortalama temin süresi performansında beklendiği gibi bir düşüş sağlamıştır. Parti bölmesinin olduğu durumda CONWIP üretim kontrolünün uygulanması ise temin süresinde %7'lik bir iyileşme sağlarken, parti bölmesinin olmadığı durumda ise CONWIP üretim kontrolü uygulamak %5'lik bir iyileşme sağlamıştır.

CONWIP üretim kontrolünde parti bölmesinin olduğu durumda olmadığı duruma göre %22'lik bir iyileşme gözlemlenirken, itme kontrolünde iyileşme oranı %20 olmuştur.

İyileşme değerleri hazırlık süresi azaltmanın olmadığı durum ile karşılaştırılacak olursa hazırlık süresi azaltmanın en çok parti bölmesinde etkili olduğu görülmüştür.

6.3 Tek Bloke Mekanizmalı Sezgiselin Gerçek Modele Uygulanması

Üretim sisteminde 15 çeşit çelik conta ailesi bulunmaktadır. Matematiksel model NP-zor sınıfında olduğu için, parçalara pareto analizi uygulanarak parça çeşidi 7'ye düşürülmüş, önerilen sezgisel 7 tip parça için uygulanarak elde edilen sonuçlar matematiksel modelin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. 7 ürün tipine ek olarak, sezgisel yöntem 15 parça tipi için de uygulanmış ve ortalama temin süresini küçükleyen bir sıralama elde edilmiştir.

6.3.1 Tek bloke mekanizmalı sezgiselin 7 parça tipine uygulanması

Öncelikle 7 parça tipi için sezgiselin uygulanması anlatılmıştır. Çizelge 6.6'da 7 parça tipi için işlem süresi ve talep değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.6 : 7 Parça tipi için işlem süreleri ve talep değerleri.

Ürün	MLS ALT				MLS ÜST				MLS G				MLS İS					Perçin		
	Kesim	Form	Ütü	İşlem süresi (dk)	Kesim	Form	Ütü	İşlem süresi (dk)	Kesim	Form	Çentik	İşlem süresi (dk)	Kesim	Sıvama	Kapama	Ütü	İşlem süresi (dk)	İşlem süresi (dk)		
1	*	*		2	*	*		2				0	*	*	*	*	2	*	3	200
2	*	*		2	*			2				0	*	*	*	*	2	*	3	60
3	*	*		2	*	*		2	*			2	*	*	*	*	2	*	3	150
4	*	*	*	2	*	*	*	2				0	*	*	*	*	2	*	3	50
5	*	*		2	*	*		2	*	*		2	*	*	*	*	2	*	3	120
6	*	*	*	2	*	*	*	2	*			2	*	*	*	*	2	*	3	100
7	*	*		2	*	*		2	*	*	*	4	*	*	*	*	2	*	3	70

Hazırlık süresi değerleri için matematiksel modelin anlatımında belirtildiği gibi MLS Alt- Üst hücresi için 20 dakika, alt kısımdan üst kısma geçişte ise 10 dakika alınmıştır. Diğer hücreler için de yine 20 dakikalık bir hazırlık söz konusudur.

Alt parti büyüklüklerinin bulunması için Çetinkaya (1994) önermiş olduğu yöntem kullanılarak elde edilen alt parti büyüklükleri Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7 : Alt parti bulma sezgiseli ilk aşama.

j	1		2		3		4		5		6		7	
i	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
r	0,3	0,7	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,3	0,7	0,4	0,6	0,4	0,6
s	67	133	60	90	48	72	40	60	23	47	24	36	20	30

Çizelge 6.8 : Alt parti bulma sezgiseli ikinci aşama.

j	1		5	
i	1	2	1	2
z	133,33		46,67	
s	66	132	23	46
f	66,67	133,3	24	36

Çizelge 6.9 : Alt parti bulma sezgiseli ikinci aşama tekrar.

j	1		5	
i	1	2	1	2
z	134		48	
s	67	133	24	46

Çizelge 6.10 : Nihai alt parti büyüklükleri.

j	1		2		3		4		5		6		7	
i	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
s	67	133	60	90	48	72	40	60	24	36	24	36	20	30

Çizelge 6.7’de görüldüğü gibi 1 ve 5 no’lu ürünler hariç tam sayı alt parti büyüklüklerine ulaşılmıştır. Sezgisel yöntem 1 ve 5 no’lu ürünler için devam ettirilerek, Çizelge 6.8 elde edilmiştir. Çizelge 6.9’da görüldüğü gibi ikinci aşamada elde edilen alt partiler tam sayıdır ancak, alt parti büyüklükleri toplamı parti büyüklüğü toplamına eşit olmadığı için aynı adım tekrar edilerek, Çizelge 6.9 elde edilmiştir. Çizelge 6.9’da görüldüğü gibi tüm alt partiler tam sayı olup, alt parti büyüklüklerinin toplamı parti büyüklüğüne eşittir. Nihai alt parti büyüklükleri Çizelge 6.10’da verilmiştir.

Sezgiselin başlangıç çözümü için hazırlık süresi sıraya bağlı olmadığı Durmuşoğlu (1990) uygulanmamış, bu yöntemin yerine kısa işlem süresi önce (ing. Shortest Processing Time) kuralı uygulanarak başlangıç sıralaması bulunmuştur. Başlangıç sıralaması; 7-6-4-3-2-5-1 olarak bulunmuştur.

Elde edilen, alt parti büyüklükleri ve başlangıç sıralamasından sonra, tek blokeli sıralama sezgiseli uygulanmasında elde edilen nihai sıralama ve ortalama temin süresi değerleri Çizelge 6.11’de verilmiştir.

Çizelge 6.11 : Tek blokeli sezgiselin 7 ürün tipine uygulanması sonucu elde edilen nihai sıralamalar.

Sıralama	Ortalama Temin Süresi (dk)
6-4-7-3-5-2-1	2311
6-4-7-3-5-1-2	2268
6-4-7-3-1-5-2	2399
6-4-7-1-3-5-2	2366
6-4-1-7-3-5-2	2468
6-1-4-7-3-5-2	2488
1-6-4-7-3-5-2	2551

Çizelge 6.11’de görüldüğü gibi en küçük ortalama temin süresi değerine sahip sıralama 6-4-7-3-5-2-1 sıralamasıdır.

Tek blokeli sıralama sezgiseli ile matematiksel modelin ortalama temin süresi performans ölçüsü bakımından arasındaki fark %5,2 olarak bulunmuştur. Bu sonuç ile birlikte matematiksel modelin çözüm süresinin uzun olduğu durumlarda sezgisel yöntem ile elde edilen sıralamanın iyi sonuçlar vereceği ortaya konulmuştur.

Çizelge 6.12 : 15 ürün tipi için işlem süreleri ve talep değerleri.

Ürün	MLS Alt				MLS Üst				MLS G				MLS İS					Perçin		Talep
	Kesim	Form	Ütü	İşlem süresi (dk)	Kesim	Form	Ütü	İşlem süresi (dk)	Kesim	Form	Çentik	İşlem süresi (dk)	Kesim	Sıvama	Kapama	Ütü	İşlem süresi (dk)	İşlem süresi (dk)		
1	*	*		2	*	*		2				0	*	*	*	*	2	*	3	200
2	*	*	*	2	*	*	*	2	*	*		4	*	*	*	*	2	*	3	20
3	*	*	*	2	*	*	*	2	*	*		4					0	*	3	30
4	*	*		2	*			2				0	*	*	*	*	2	*	3	60
5	*	*		2	*	*		2	*			2	*	*	*	*	2	*	3	150
6	*	*	*	2	*	*	*	2				0	*	*	*	*	2	*	3	50
7	*	*	*	2	*	*	*	2	*			2	*	*	*	*	2	*	3	50
8	*	*		2	*	*		2	*	*		2	*	*	*	*	2	*	3	120
9	*	*		2	*	*		2	*		*	4	*		*	*	2	*	3	40
10	*	*		2				0				0	*	*	*	*	2	*	3	20
11	*	*		2	*	*	*	2				0	*	*	*	*	2	*	3	50
12	*	*		2	*	*		2				0	*	*	*		2	*	3	50
13	*	*	*	2	*	*	*	2	*			2	*	*	*		2	*	3	100
14	*	*		2	*	*		2	*	*	*	4	*	*	*	*	2	*	3	70
15	*	*		2	*	*	*	2	*			2	*	*	*	*	2	*	3	50

Çizelge 6.13 : Alt parti bulma sezgiseli ilk aşama.

j	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
i	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
r	0,33	0,67	0,33	0,67	0,33	0,67	0,40	0,60	0,40	0,60	0,40	0,60	0,40	0,60	0,40	0,60	0,3	0,67	0,40	0,60	0,40	0,60	0,40	0,60	0,40	0,60	0,33	0,67	0,40	0,60
s	66,67	133,33	6,67	13,33	10	20	24	36	60	90	20	30	20	30	48	72	13,3	26,67	8	12	20	30	20	30	40	60	23,33	46,67	20	30

6.3.2 Tek bloke mekanizmalı sezgiselin 15 ürün tipi için uygulanması

Önerilen sezgisel yöntemin girdisi olan işlem süresi ve talep verileri Çizelge 6.12’de verilmiştir. Hazırlık süresi önceki bölümde anlatıldığı gibi hücreler için 20 dakika olarak belirlenmiş olup, MLS alt-üst hücresi için alt parça tipinden üst parça tipine geçişte MLS Alt-Üst için 10 dakikalık bir hazırlık söz konusudur.

Çizelge 6.13’te görüldüğü gibi 1, 2, 9 ve 14 no’lu ürünler hariç tam sayı alt parti büyüklüklerine ulaşılmıştır. Sezgisel yöntem 1, 2, 9 ve 14 no’lu ürünler için devam ettirilerek, Çizelge 6.14 elde edilmiştir. Çizelge 6.14’te görüldüğü gibi ikinci aşamada elde edilen alt partiler tam sayıdır ancak, alt parti büyüklükleri toplamı parti büyüklüğü toplamına eşit olmadığı için aynı adım tekrar edilerek, Çizelge 6.15 elde edilmiştir. Çizelge 6.15’te görüldüğü gibi tüm alt partiler tam sayı olup, alt parti büyüklüklerinin toplamı parti büyüklüğüne eşittir. Nihai alt parti büyüklükleri Çizelge 6.16’da verilmiştir. Sezgiselin başlangıç çözümü için hazırlık süresi sıraya bağlı olmadığı Durmuşoğlu (1990) uygulanmamış, bu yöntemin yerine kısa işlem süresi önce (ing. Shortest Processing Time) kuralı uygulanarak başlangıç sıralaması bulunmuştur. Başlangıç sıralaması; 10-12-11-6-4-15-13-8-7-5-3-2-14-9-1 olarak bulunmuştur.

Elde edilen, alt parti büyüklükleri ve başlangıç sıralamasından sonra, tek blokeli sıralama sezgiseli uygulanmasında elde edilen nihai sıralama ve ortalama temin süresi değerleri Çizelge 6.17’de verilmiştir.

Çizelge 6.17’de görüldüğü gibi en küçük ortalama temin süresi 2159 dakika olan 10-12-4-11-13-3-6-2-15-7-8-9-1-14-5 sıralaması seçilmelidir.

Tüm bunların özeti olarak, hücrelerin olduğu mevcut durum ile parti bölmeli CONWIP üretim kontrolünün olduğu hedef durum karşılaştırılırsa mevcut duruma göre, parti bölmeli CONWIP üretim kontrolünün uygulanması ile birlikte ortalama temin süresi performansında ortalama %5’lik bir iyileşme öngörülmüştür.

Çizelge 6.14 : Alt parti bulma sezgiseli ikinci aşama.

j	1		2		9		14	
i	1	2	1	2	1	2	1	2
z	133		13		27		47	
s	66	132	6	12	13	26	23	46
f	66,7	133	6,7	13	10	20	24	36

Çizelge 6.15 : Alt parti bulma sezgiseli ikinci aşama tekrar.

j	1		2		9		14	
i	1	2	1	2	1	2	1	2
z	134		14		28		48	
s	67	133	7	13	14	26	24	46

Çizelge 6.16 : Nihai alt parti büyüklükleri.

j	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
i	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
s	67	133	7	13	10	20	24	36	60	90	20	30	20	30	48	72	14	26	8	12	20	30	20	30	40	60	24	46	20	30

Çizelge 6.17 : Tek blokeli sezgiselin 15 ürün tipine uygulanması sonucu elde edilen nihai sıralamalar.

Sıralama	Ortalama Temin Süresi (dk)
10-12-4-11-13-3-6-2-15-7-8-9-14-5-1	2205
10-12-4-11-13-3-6-2-15-7-8-9-14-1-5	2201
10-12-4-11-13-3-6-2-15-7-8-9-1-14-5	2159
10-12-4-11-13-3-6-2-15-7-8-1-9-14-5	2312
10-12-4-11-13-3-6-2-15-7-1-8-9-14-5	2346
10-12-4-11-13-3-6-2-15-1-7-8-9-14-5	2403
10-12-4-11-13-3-6-2-1-15-7-8-9-14-5	2452
10-12-4-11-13-3-6-1-2-15-7-8-9-14-5	2516
10-12-4-11-13-3-1-6-2-15-7-8-9-14-5	2553
10-12-4-11-13-1-3-6-2-15-7-8-9-14-5	2602
10-12-4-11-1-13-3-6-2-15-7-8-9-14-5	2720
10-12-4-1-11-13-3-6-2-15-7-8-9-14-5	2815
10-12-1-4-11-13-3-6-2-15-7-8-9-14-5	2842
10-1-12-4-11-13-3-6-2-15-7-8-9-14-5	2753

7. SONUÇLAR

Tez çalışmasında üretim hücreleri ve fonksiyonel bölümlerin bir arada bulunduğu melez üretim sistemleri için parti bölmesi ve CONWIP üretim kontrolü tartışılmıştır. Parti bölmesi ve CONWIP üretim kontrolünün ayrı ayrı ve birleşik etkilerini anlamak amacıyla matematiksel modeller önerilmiştir. Önerilen modeller çekme kontrolünün ve parti bölmesinin birlikte uygulanmasıyla literatürdeki bir araştırma boşluğunu kapatmaktadır. Ayrıca çekme kontrolünde parti bölme yaklaşımı, teze gerçek hayata uygun bir özellik kazandırmıştır.

Önerilen modellerin amacı, ortalama temin süresini minimize eden iş sırasının bulunmasıdır. Modellerde, ürünler arası işlem süresi değişkenliği, talep büyüklüğü ve hazırlık süresi azaltma oranı gibi parametreler ile farklı kurgularda çalıştırılarak, CONWIP üretim kontrolünün ve parti bölmesinin etkileri incelenmiştir. Çalışmada önerilen matematiksel modellerin özgün tarafları aşağıda listelenmiştir:

- Ele alınan üretim ortamı hücresel akış tipi ve fonksiyonel yerleşimden oluşmaktadır.
- Üretim hücrelerinde tek parça akışının olması, fonksiyonel bölümde ise parti tipi akışın olmasıdır.
- CONWIP ve parti bölmesi kısıtları bir arada bulunmaktadır.

Değişkenliğin artması sistemde ortalama temin süresini önemli bir oranda arttırmaktadır ve bu artış model sonuçları ile sayısallaştırılmıştır. Talep yapısının düşük olduğu ve değişkenliğin düşük olduğu durumlarda parti bölmesinin itme kontrolünde etkisinin daha fazla olduğu gözlemlenirken, talep büyüklüğü ve değişkenlik arttıkça CONWIP üretim kontrolünün temin süresi üzerindeki olumlu etkisi ortaya çıkmıştır.

Parti bölmesinin yapılmadığı durumlarda ise, değişkenlik katsayısının küçük değerlerinde ($DK < 1$) CONWIP üretim kontrolü, itme kontrolüne göre temin süresi açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. Parti bölmesi açısından ise hazırlık

sürelerinin düşük olduğu durumda elde edilen alt parti sayıları artış göstermektedir. Bu da hazırlık süresi düşürmenin etkisini ortaya koymuştur.

Hazırlık süresinin azaltılması ise parti bölmesinin olduğu durumlarda itme ya da çekme kontrolünün uygulanmasından bağımsız olarak ortalama temin süresinde belirgin bir düşüş sağlamaktadır.

Çalışmada önerilen matematiksel modeller otomotiv sektörüne motor conta üreten bir firmada çok katlı çelik conta ailesinde uygulanmıştır. Önerilen matematiksel model NP-zor sınıfında olduğu için, ürün çeşidinin az olduğu durum için modellenebilmiştir. Tez çalışmasının diğer bir özgünlüğü ise, ürün çeşitliliğinin artması durumunda modelin çözüm süresi polinom şeklinde artacağından melez yapıya ve CONWIP üretim kontrolüne uygun, tek bloke mekanizmalı bir sıralama sezgiseli geliştirilmiştir.

Geliştirilen sezgisel yöntem Rshini ve Ran (1997) önermiş olduğu çift bloke mekanizmalı sezgisel yöntemin CONWIP üretim kontrolüne göre düzenlenmesi ve parti bölmesinin eklenmesidir. Gerçek uygulamada önerilen sezgisel yöntemin matematiksel model ile temin süresi açısından farkı %5,2 olarak bulunmuştur. Bu durumda sezgisel yöntemin ürün çeşitliliğinin fazla olduğu durumlarda daha etkin kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Önerilen tüm bu sonuçlar ile birlikte gerçek üretim ortamında rastlanılması daha olası olan hücresel ve fonksiyonel yapıların bir arada bulunduğu durumlarda, melez kontrol yapısının uygunluğu ve parti bölmesinin melez kontrol yapısı ile birlikte uygulanabilirliği, temin süresi üzerinde belirgin iyileşme sağladığı gösterilmiştir.

Çalışmanın kısıtlamaları arasında, matematiksel modellerin ürün çeşit sayısına ve talep büyüklüğüne bağlı olması nedeniyle talebin artması ve/veya ürün çeşitliliğinin artması durumunda optimum sonuç vermemesi ve önerilen sezgisel yöntemin başlangıç çözümüne duyarlı bir sezgisel olması sayılabilir.

Gelecek çalışmalar arasında işlem sürelerinin ve talebin rassal olarak değiştiği durumlarda parti bölmesi ve CONWIP üretim kontrolünün etkileri benzetim yardımı ile incelenebilir. İş akışlarının geriye dönüşlü olduğu durumlarda CONWIP üretim kontrolünün etkisi üzerinde çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmada yer alan sezgisel yöntemin yanı sıra, CONWIP üretim kontrolü için meta-sezgisel yöntemlere de başvurulabilir.

KAYNAKLAR

- Ajorlou S., ve Shams, I. (2012).** Artificial bee colony algorithm for CONWIP production control system in a multi-product multi-machine manufacturing environment, *J. Intell Manuf.* 24(6), 1145-1156.
- Alfieri, A. ve Matta, A.. (2012).** Mathematical programming formulations for approximate simulation of multistage production systems, *European Journal of Operational Research*, 219(3), 773-783
- Azzi, A., Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F. (2012).** Lot splitting scheduling procedure for makespan reduction and machine capacity increase in a hybrid flowshop with batch production, *Int J Adv Manuf Technol*, 59,775-786
- Beamon, B. M. ve Bermudo, J. M. (2000).** A hybrid push/pull control algorithm for multi-stage, multi-line production systems, *Production Planning & Control*, 11(4), 349-356.
- Bechte, W. (1994).** Load-oriented manufacturing control just-in-time production for job shops, *Production Planning & Control*, 5(3), 292-307.
- Benton, W.C. ve Shin, H. (1998).** Manufacturing planning and control: The evolution of MRP and JIT integration, *European Journal of Operational Research*, 110, 411-440.
- Bokhorst, J. A. ve Slomp, J. (2010).** Lean production control at a high-variety, low-volume parts manufacturer, *Interfaces*, 40(4), 303-312.
- Bukchin, J. ve Masin, M. (2004).** Multi-objective lot splitting for a single product m-machine flowshop line, *IIE Transactions*, 36(2), 191-202.
- Bukchin Y., Masin, M., Kirshner, R. (2010).** Modeling and Analysis of Multi objective Lot Splitting for N-Product M-Machine Flowshop Lines, *Naval Research Logistics* 57,354–366.
- Burbidge, J. L. (1988).** Operation scheduling with GT and PBC, *The International Journal of Production Research*, 26(3), 429-442.
- Cao, D., ve Chen, M. (2005).** A mixed integer programming model for a two line CONWIP-based production and assembly system, *International Journal of Production Economics*, 95(3), 317-326.
- Chaouiya, C., Liberopoulos, G., Dallery, Y. (2000).** The extended kanban control system for production coordination of assembly manufacturing systems, *IIE Transactions*, 32(10), 999-1012.
- Çetinkaya F. C. (1994).** Lot Streaming in a Two-Stage Flow Shop with Set-up, Processing and Removal Times Separated, *The Journal of the Operational Research Society*, 45(12), 1445-1455.

- Dastidar, G.S. ve Nagi, R.** (2007). Batch splitting in an assembly scheduling environment, *International Journal of Production Economics*, 105(2), 372-384.
- De Vericourt, F., Karaesmen, F., Dallery, Y.** (2000). Dynamic scheduling in a make-to-stock system: A partial characterization of optimal policies, *Operations Research*, 48(5), 811-819.
- Defersha, F. M. ve Chen, M.** (2008). A linear programming embedded genetic algorithm for an integrated cell formation and lot sizing considering product quality, *European Journal of Operational Research*, 187(1), 46-69.
- Durmuşoğlu, M. B.** (1990). Toplam Hazırlık Sürelerini Düşürme ve Yükleme Sorununun Çözümüne Yönelik Bir Yaklaşım, *Endüstri Mühendisliği*, 9, 4-17.
- Durmusoglu, M.B. ve Satoglu, S.I.** (2011). Axiomatic design of hybrid manufacturing systems in erratic demand conditions, *International Journal of Production Research*, 49 (17): 5231–5261.
- Feldmann, M. ve Biskup, D.** (2008). Lot streaming in a multiple product permutation flow shop with intermingling, *International Journal of Production Research*, 46(1), 197-216.
- Fernandes, N. O., ve Carmo-Silva, S.** (2011). Order release in a workload controlled flow-shop with sequence-dependent set-up times, *International Journal of Production Research*, 49(8), 2443-2454.
- Framinan, J. M., Gonzalez, P.L., Ruiz-Usano, R.** (2003). The CONWIP production control system: review and research issues, *Production Planning & Control*, 14, 255-265.
- Framinan, J. M., Gonzalez, P. L., Ruiz-Usano, R.** (2006). Dynamic card controlling in a Conwip system, *International Journal of Production Economics*, 99(1), 102-116.
- França, P. M., Gupta, J. N., Mendes, A. S., Moscato, P., Veltink, K. J.** (2005). Evolutionary algorithms for scheduling a flowshop manufacturing cell with sequence dependent family setups, *Computers & Industrial Engineering*, 48(3), 491-506.
- Gaury, E. G. A., Pierreval, H., Kleijnen, J. P.** (2000). An evolutionary approach to select a pull system among Kanban, Conwip and Hybrid, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 11(2), 157-167.
- Geraghty, J. ve Heavey, C.** (2004). A comparison of hybrid push/pull and CONWIP/pull production inventory control policies, *International Journal of Production Economics*, 91(1), 75-90.
- Ghezavati, V. R., Jabal-Ameli, M. S., Makui, A.** (2009). A new heuristic method for distribution networks considering service level constraint and coverage radius, *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5620-5629.
- Ghrayeb, O., Phojanamongkolkij, N., Tan, B. A.** (2009). A hybrid push/pull system in assemble-to-order manufacturing environment, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(4), 379-387.

- Golany, B., Dar-el, E.M., Zeev, N.** (1999). Controlling shop floor operations in a multi family, multi-cell manufacturing environment through constant work-in-process, *IIE Transactions*, 31,771-781.
- Harhalakis, G., Lu, T., Minis, I., Nagi, R.** (1996). A practical method for design of hybrid-type production facilities, *International Journal of Production Research*, 34(4), 897-918.
- Herer, Y.T. ve Masin, M.** (1997). Mathematical programming formulation of CONWIP based production lines; and relationships to MRP, *International Journal of Production Research*, 35(4), 1067-1076.
- Hopp ,W.J. ve Spearman, M.L.** (2008). *Factory Physics*, Mc Graw Hill:Singapore.
- Ioannou, G.** (2006). Time phased creation of hybrid manufacturing systems, *International Journal of Production Economics* 102(2), 183–198.
- Jacob, V. S. J., Mark, E. K., Willis, M., Gerard, B.** (2012). Conditional Lot Splitting to Avoid Setups While Reducing Flow Time, *American Journal of Operations Research*, 2, 453-466.
- Kalir, A. A. ve Sarin, S. C.** (2003). Constructing Near Optimal Schedules for the Flow-Shop Lot Streaming Problem with Sublot-Attached Setups, *Journal of Combinatorial Optimization*, 7, 23-44.
- Kalaoğlu, F. ve Saricam, C.** (2007). Analysis of modular manufacturing system in clothing industry by using simulation, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 15(3), 62.
- Kher, H. V. ve Jensen, J. B.** (2002). Shop Performance Implications of Using Cells, Partial Cells, and Remainder Cells*, *Decision Sciences*, 33(2), 161-190.
- Kher, H.V., Malhotra, M.K., Steele, D.C.** (2000). The effect of push and pull lot splitting approaches on lot traceability and material handling costs in stochastic flow shop environments, *International Journal of Production Research*, 38 (1),141-160.
- Kia, R., Baboli, A., Javadian, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Kazemi, M., Khorrami, J.** (2012). Solving a group layout design model of a dynamic cellular manufacturing system with alternative process routings, lot splitting and flexible reconfiguration by simulated annealing, *Computers & operations research*, 39(11), 2642-2658.
- Kim, S. L., ve Ha, D.** (2003). A JIT lot-splitting model for supply chain management: Enhancing buyer–supplier linkage, *International Journal of Production Economics*, 86(1), 1-10.
- Krajewski, L.J., King, B.E., Ritzman, L.P., Wong, D.S.** (1987).Kanban, MRP and shaping the manufacturing environment, *Management Science*, 33 (1), 39-57.
- Krupp, J.A.G.** (2002). Integrating Kanban and MRP to Reduce Lead Time, *Production and Inventory Management Journal* ,43, 78–82
- Kumar, G. ve Singhal, S.** (2013). Genetic algorithm optimization of flow shop scheduling problem with sequence dependent setup time and lot

- splitting, *International Journal of Engineering, Business and Enterprise Applications* 4 (1),62-71.
- Kurz, M. E. ve Askin, R. G.** (2004). Scheduling flexible flow lines with sequence-dependent setup times, *European Journal of Operational Research* 159, 66-82.
- Landry S., Duguay, C. R., Chausse, S., Themens, J. L.** (1997). Integrating MRP, KANBAN and Barcoding systems to achieve JIT procurement, *Production and Inventory Management journal*, 37), 8-12.
- Lee, Y. H. ve Lee, B.** (2003). Push-Pull Production Planning of the Re-entrant Process, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22, 922–931.
- Leu, B. Y. ve Nazemetz, J. W.** (1995). Comparative analysis of group scheduling heuristics in a flow shop cellular system, *International Journal of Operations & Production Management*, 15(9), 143-157.
- Leu, B. Y. ve Wang, F. K.** (1999). A simulation study of sequencing heuristics in a cellular flexible assembly system with hybrid order shipment environments, *Simulation Practice and Theory*, 7(1), 31-46.
- Little, J. D. C.** (1961). A Proof for the Queuing Formula: $L = \lambda W$, *Operations Research*, 9 (3), 383-387.
- Lockwood, W.T., Mahmoodi, F., Ruben, R.A., Mosier, C.T.** (2000). Scheduling unbalanced cellular manufacturing systems with lot splitting, *International Journal of Production Research* 38(4), 951-965.
- Low C., MingHsu, C., IHuang, K.** (2004). Benefits of lot splitting in jobshop scheduling, *Int J Adv Manuf. Technology*, 24,773–780.
- Lu, J. C., Yang, T., Wang, C. Y.** (2011). A lean pull system design analysed by value stream mapping and multiple criteria decision-making method under demand uncertainty. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 24(3), 211-228.
- Luh, P. B., Zhou, X., Tomastik, R. N.** (2000). An effective method to reduce inventory in job shops, *IEEE Trans. Robotics and Automation*, 16(4), 420-424.
- Mahdavi, I., Aalaei, A., Paydar, M. M., Solimanpur, M.** (2010). Designing a mathematical model for dynamic cellular manufacturing systems considering production planning and worker assignment, *Computers & Mathematics with Applications*, 60(4), 1014-1025.
- Mahmoodi, F., Tierney, E. J., Mosier, C. T.** (1992). Dynamic Group Scheduling Heuristics in a Flow-through Cell Environment, *Decision Sciences*, 23(1), 61-85.
- Miltenburg, J.** (2001). One-piece flow manufacturing on U-shaped production lines: a Tutorial, *IIE Transactions* 33(4), 303-321.
- Mitwasi, M. G., ve Askin, R. G.** (1994). Production planning for a multi-item, single-stage kanban system, *International Journal of Production Research*, 32(5), 1173-1195.

- Moily, J. P.** (1986). Optimal and heuristic procedures for component lot-splitting in multi-stage manufacturing systems, *Management Science*, 32(1), 113-125.
- Monden, Y.** (1993). *Toyota Production System An Integrated Approach to Just in Time*, Norcross: Engineering & Management Press.
- Mosier, C. T., Elvers, D. A. ve Kelly, D.** (1984). Analysis of group technology scheduling heuristics, *International Journal of Production Research*, 22(5), 857-875.
- Murthy, C. V. ve Srinivasan, G.** (1995). Fractional cell formation in group technology, *The international Journal of Production Research*, 33(5), 1323-1337.
- Okubo, H., Jiahua, W., Onari, H.** (2000). Characteristics of distributed autonomous production control, *International Journal of Production Research*, 38(17), 4205-4215.
- Pimentel C., Alvelos, F., Duarte, A. J., Carvalho, A.** (2010). A fast heuristic for a lot splitting and scheduling problem of a textile industry, *Management and control of production logistics*, Portugal, 120-125.
- Plenert, G.** (1999). Bottleneck allocation methodology (BAM): an algorithm. *Logistics Information Management*, 12(5), 378-385.
- Rachamadugu, R. ve Tu, Q.** (1997). Period batch control for group technology—an improved procedure, *Computers & industrial engineering*, 32(1), 1-7.
- Riezebos, J.** (2004). Time Bucket Length and Lot Splitting Approach, *International Journal of Production Research*, 42, 2325-2338.
- Riezebos, J.** (2011). Order sequencing and capacity balancing in synchronous manufacturing, *International Journal of Production Research*, 49(2), 531-552.
- Riezebos, J., Korte, G. J., Land, M. J.** (2003). Improving a practical DBR buffering approach using Workload Control, *International Journal of Production Research*, 41(4), 699-712.
- Rother, M. ve Shook, J.** (1998). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*, Massachusetts, The Lean Enterprise Institute.
- Rshini, B.S. ve Ran, C.R.** (1997). Scheduling in a Kanban-controlled flowshop with dual blocking mechanisms and missing operations for part-types, *International Journal of Production Research*, 35(11), 3133–3156.
- Santos, J., Wysk, R. A., Torres, J. M.** (2006). *Improving Production with Lean Thinking*, John Wiley & Sons.
- Sarin, S.C. ve Jaiprakash, P.** (2007). *Flow Shop Lot Streaming*, New York: Springer Science + Business Media.
- Sarin, S. C., Kalir, A. A., Chen, M.** (2008). A single-lot, unified cost-based flow shop lot-streaming problem, *International Journal of Production Economics*, 113(1), 413-424.

- Satoglu, S.I., Durmusoglu, M. B., Ertay T.** (2010). A mathematical model and a heuristic approach for design of the hybrid manufacturing systems to facilitate one-piece flow, *International Journal of Production Research* 48 (17), 5195-5220.
- Satoglu, S. I. ve Suresh, N. C.** (2009). A goal-programming approach for design of hybrid cellular manufacturing systems in dual resource constrained environments, *Computers & industrial engineering*, 56(2), 560-575.
- Shafer, S.M. ve Bradford, J.W.** (1995). Efficiency Measurement of Alternative Machine Component Grouping Solutions Via Data Envelopment Analysis, *IEEE Transactions on Engineering Management* 42(2), 159-165.
- Shtub, A.** (1990). Lot sizing in MRP/GT systems, *Production planning & control*, 1(1), 40-44.
- Slomp, J., Bokhorst, J.A.C., Germs, R.** (2009). A lean production control system for high variety/low volume environments: a case study implementation. *Production Planning and Control*, 20 (7), 586-595.
- Stadtler, H.** (2000). Improved rolling schedules for the dynamic single-level lot-sizing problem, *Management Science*, 46(2), 318-326.
- Stevenson, M., Hendry, L. C., Kingsman, B. G.** (2005). A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry, *International journal of production research*, 43(5), 869-898.
- Steele, D. C., Berry, W. L., Chapman, S. N.** (1995). Planning and Control in Multi-Cell Manufacturing, *Decision sciences*, 26(1), 1-34.
- Suer, G. A., Saiz, M., Gonzalez, W.** (1999). Evaluation of manufacturing cell loading rules for independent cells, *International Journal of Production Research*, 37(15), 3445-3468.
- Sum, C. C. ve Hill, A. V.** (1993). A New Framework for Manufacturing Planning and Control Systems, *Decision sciences*, 24(4), 739-760.
- Thürer, M., Silva, C., Stevenson, M.** (2011). Optimizing workload norms: The influence of shop floor characteristics on setting workload norms for the workload control concept, *International Journal of Production Research* 49(4), 1151–1171.
- Trentesaux, D., Tahon, C., Ladet, P.** (1998). Hybrid production control approach for JIT scheduling, *Artificial Intelligence in Engineering*, 12(1), 49-67.
- Venkataramanaiah, S. ve Krishnaiah, K.,** (2002). Hybrid heuristic for design of cellular manufacturing systems, *Production Planning & Control* 13 (3), 274-283.
- Wang, L., Chen, Y., Chen, T., Cheng, C., Chang, C.** (2013). A hybrid flow shop scheduling model considering dedicated machines and lot-splitting for the solar cell industry, *International Journal of Systems Science* DOI:10.1080/00207721.2012.762557.

- Zelenovic, D. M. ve Tesic, Z. M.** (1988). Period batch control and group technology. *International Journal of Production Research*, 26(3), 539-552.
- Zhang, W. ve Chen, M.** (2001). A mathematical programming model for production planning using CONWIP, *International Journal of Production Research* 39(12), 2723-2734.
- Zhao, Y., Wang, H., Xu, X., Wang, W.** (2010). A new hybrid parallel algorithm for consistent sized batch splitting job shop scheduling on alternative machines with forbidden intervals, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 48, 1091-1105.
- Zolfaghari, S. ve Roa, E. V. L.** (2006). Cellular manufacturing versus a hybrid system: a comparative study, *Journal of manufacturing technology management*, 17(7), 942-961.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Canan Ağlan
Doğum Yeri ve Tarihi : 17.09.1984
E-Posta : canan.aglan@marmara.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2007, Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
- **Yükseklisans** :2009, İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

2010-2011 Eğitim öğretim yılında Beykent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümü araştırma görevlisi

2012-2013 Eğitim öğretim yılında Güz döneminde Özyeğin Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümü araştırma görevlisi

2013- Marmara Üniversitesi araştırma görevlisi. Devam ediyor.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Ağlan, C.,** ve Durmusoglu, M. B. (2014). Lot-splitting approach of a hybrid manufacturing system under CONWIP production control: a mathematical model. International Journal of Production Research, (ahead-of-print), 1-23.

