

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MELEZ ÜRETİM KONTROL STRATEJİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Canan AĞLAN

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Endüstri Mühendisliği

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MELEZ ÜRETİM KONTROL STRATEJİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Canan AĞLAN

(507071108)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. C.Erhan BOZDAĞ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Elimhan MAHMUDOV (İTÜ)
Doç. Dr. Tijen ERTAY (İTÜ)

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Öncelikle bu çalışmamı gerçekleştirmemde bana en büyük katkıyı sağlayan, tezimin tüm aşamalarında maddi, manevi desteğini esirgemeyen tez danışmanım İstanbul Teknik Üniversitesi Öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Cafer Erhan Bozdağ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez konuma karar vermemde ve uygulama yaptığım firmayı bulmamda, firma ziyaretlerimde yanımda bulunarak ve oradaki personelin de benimle ilgilenmesini sağlayarak, desteğini, yardımlarını esirgemeyen İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Bülent Durmuşoğlu'na çok teşekkür ederim.

Ayrıca tüm yüksek lisans eğitimim boyunca bana düzenli olarak sağladıkları maddi destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim

Uygulama yaptığım firmada endüstri mühendisi olarak çalışan Görken Uğan'a yoğun iş temposu arasında destek ve yardımlarını esirgemediği için teşekkür ederim.

Beni bugüne getiren aldığım her kararın yanlış ya da doğru arkasında duran hiçbir zaman beni yalnız bırakmayan canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın son aşamasında karşılaştığım güçlükte bana yardımcı olan İstanbul Teknik Üniversitesi Araştırma Görevlisi Murat Engin Ünal'a ve çalışmamın başında tez konumu bulmamda yardımcı olan Araştırma Görevlisi Serdar Baysan'a teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2009

Canan AĞLAN

(Endüstri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Özeti	2
1.3 Tezin Organizasyonu.....	3
2. ÜRETİM SİSTEMLERİ İÇİN MALZEME KONTROL STRATEJİLERİ....	5
2.1 İtme, Çekme ve Melez Malzeme Kontrol Stratejileri	6
2.2 İtme Sistemleri	7
2.2.1 Malzeme gereksinim planlaması.....	9
2.2.2 Üretim kaynak planlaması (MRP II).....	9
2.3 Çekme (Kanban) Sistemleri	10
2.3.1 Kanban sistemi	11
2.3.2 Diğer çekme sistemleri.....	12
2.3.3 Statik ve dinamik çekme sistemleri	12
2.4 İtme- Çekme (Melez) Sistemler	13
2.4.1 POLCA sistemi	13
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	15
3.1 Giriş.....	15
3.2 İtme Sisteminin Performansının Değerlendirilmesi	15
3.3 Çekme tipi üretim kontrol stratejileri	16
3.3.1 Statik çekme sistemleri	25
3.3.2 Dinamik çekme sistemleri.....	27
3.4 Çekme Sistemi İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	29
3.5 İtme, Çekme ve İtme-Çekme Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	44
3.6 İtme-Çekme Melez Sistemleri.....	47
3.6.1 POLCA kontrol sistemi.....	47
4. HIZLI TEPKİSEL ÜRETİM.....	57
4.1 Kapasite ve Parti Büyüklerinin Belirlenmesi Kararı	58
4.1.1 Temin sürelerini etkileyen faktörler.....	58
4.1.2 İş merkezi için faydalanmanın temin süresi üzerindeki etkisi	59
4.1.3 Parti büyüklüklerinin etkisi	61
4.1.4 Parti büyüklüklerinin faydalanma üzerindeki etkisi	62
4.1.5 Parti büyüklüklerinin temin süresi üzerindeki etkisi.....	63
4.2 Ürün Çeşitliliğinin Olduğu Durumlarda Parti Büyüklüğünün Belirlenmesi....	65

4.3 Birden Fazla Operasyon Gerektiren Ürünler.....	66
4.3.1 Parti aktarma ya da çakışan operasyonlar	66
4.3.2 Değişkenliğin yayılma etkisi	66
4.4 Little Kanunu'nun Kullanımı	67
4.4.1 Little kanunu'nun ilk kullanımı – tutarlı hedefler koymak	67
5. UYGULAMA	69
5.1 POLCA Kontrolünün Uygulandığı Firmanın Üretim Süreci	69
5.2 İncelenen Ürünlerin Üretim Aşamaları	70
5.3 Ürünlerin Talep Yapısı	74
6. SİSTEMİN BENZETİM İLE MODELLENMESİ	77
6.1 Gelişmiş Kaynak Planlaması (ARP)	77
6.2 Yüke Dayalı POLCA Kontrolü	78
6.3 Sistemdeki POLCA Döngüleri	79
6.4 Döngü Yüklerinin ve İş Yüklerinin Hesaplanması	79
6.5 Sistemin Çalışma Prensibi	81
6.5.1 Modelin akış diyagramı.....	83
6.6 Modelin ARENA v.11 Programındaki Akışı	86
6.6.1 POLCA kontrolünün ARENA akışı	87
6.6.2 CONWIP kontrolünün ARENA akışı	91
7. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR	95
7.1 Değerlendirme	96
7.2 Gelecek Çalışmalar.....	96
KAYNAKLAR.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	103

KISALTMALAR

ARP	: Advanced Resource Planning
CONWIP	: Constant Work In Process
DBR	: Drum Buffer Rope
EWMA	: Exponentially Weighted Moving Average
GAS	: Gelişler Arası Süre
GPOLCA	: Generic POLCA
HL/MRP	: High Level/ MRP
IMR	: Immediate Release
JIT	: Just In Time
KKS	: Kanban Kontrol Sistemi
MPS	: Master Production Schedule
MRP	: Material Requirements Planning
MRP II	: Manufacturing Resource Planning
POLCA	: Paired-Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization
QRM	: Quick Response Manufacturing
SMED	: Single Minute Exchange of Dies
TBC	: Time Based Competition
TPM	: Total Productivity Maintenance
TZÜ	: Tam Zamanlı Üretim
WIP	: Work In Process

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Talep Özellikleri.....	75
Çizelge 7.1 : POLCA sisteminin performans değerleri	95
Çizelge 7.2 : CONWIP sisteminin performans değerleri	95

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çok aşamalı bir üretim sistemi (Krishnamurthy,2002).....	5
Şekil 2.2 : İki aşamalı üretim sisteminde itme tipi malzeme kontrol stratejisi (Boonlertvanich,2005)	8
Şekil 2.3 : Dört aşamalı kanban kontrolü ile işleyen bir üretim sisteminde kart ve talep akışı (Boonlertvanich,2005)	11
Şekil 2.4 : POLCA sisteminin işleyişi (Suri, 1998).....	14
Şekil 3.1 : Temel stok kontrolü ile kontrol edilen iki aşamalı üretim hattı (Boonlertvanich,2005)	18
Şekil 3.2 : CONWIP ile kontrol edilen iki aşamalı bir üretim sistemi (Boonlertvanich,2005)	20
Şekil 3.3 : İki aşamalı bir üretim sisteminde CONWIP KANBAN kontrol mekanizması (Boonlertvanich,2005)	21
Şekil 3.4 : Genişletilmiş kanban kontrolü ile kontrol edilen iki aşamalı üretim hattı (Boonlertvanich,2005)	23
Şekil 3.5 : Uzatılmış kanban ile kontrol edilen iki aşamalı üretim hattı (Boonlertvanich,2005)	24
Şekil 3.6 : GPOLCA mekanizmasının işleyiş mekanizması (Fernandes ve Carmo- Silva, 2006)).....	52
Şekil 4.1 : İş merkezi için faydalanmanın temin süresi üzerindeki etkisi (Suri,1998)	60
Şekil 4.2 : Faydalanma ve değişkenliğin temin süresi üzerindeki birleşik etkisi (Suri,1998)	60
Şekil 4.3 : Parti büyüklüğünün faydalanma üzerindeki etkisi (Suri,1998).....	63
Şekil 4.4 : Parti büyüklüğünün temin süresi üzerindeki etkisi (Suri,1998).....	64
Şekil 4.5 : Ürün1'in parti büyüklüğünün iki ürünün temin süresindeki etkisi (Suri,1998)	65
Şekil 5.1 : KT 300 ürününün üretim aşaması	70
Şekil 5.2 : TS 300 ürününün üretim aşaması.....	71
Şekil 5.3 : AT3 100 ürününün üretim aşaması	72
Şekil 5.4 : ASU 2A 5 ürününün üretim aşaması.....	73
Şekil 5.5 : UKS ek elemanının üretim aşaması	74
Şekil 6.1 : POLCA döngüleri.....	79
Şekil 6.2 : AT3 100, KT300 ve ASU 2A 5 için model akış diyagramı	83
Şekil 6.3 : TS 300 ve UKS elemanı için model akış diyagramı	85
Şekil 6.4 : POLCA sisteminin ürün özelliklerinin atandığı ARENA parçaları	87
Şekil 6.5 : POLCA sistemi iş istasyonlarının ARENA parçaları.....	88
Şekil 6.6 : POLCA sistemi iş istasyonlarının ARENA parçaları devamı.....	90
Şekil 6.7 : POLCA sistemi performans ölçütlerinin hesaplandığı ARENA parçaları.....	90
Şekil 6.8 : CONWIP kontrolünün ürün özelliklerinin atandığı ARENA parçaları ...	92
Şekil 6.9 : CONWIP kontrolünün iş istasyonlarının ARENA parçaları.....	93
Şekil 6.10 : CONWIP kontrolünün performansının hesaplandığı ARENA parçaları	93

MELEZ ÜRETİM KONTROL STRATEJİLERİ

ÖZET

Bu çalışmada gerçek bir üretim sisteminde itme çekme esaslı bir kontrol politikası uygulanmasını anlatılmaktadır. POLCA ve CONWIP olarak adlandırılan özel bir üretim kontrol tekniği üzerinde çalışılmıştır. POLCA sistemi üretim kontrol sistemi olarak Suri tarafından önerilen itme ve çekme üretim kontrol tekniklerini içeren sistemdir. POLCA sistemi talep belirsizliğinin fazla olduğu süreçler arasında işlem sürelerinin çok farklılık gösterdiği, ürün çeşitliliğinin çok olduğu (neredeyse her müşteriye özel ürünlerin üretildiği) ortamlarda sipariş temin süresini azaltmayı amaçlayan bir kontrol sistemidir. Sistemde elde edilen performans değerlerini karşılaştırmak amacıyla da CONWIP sistemi önerilmiştir. CONWIP sistemi de Spearman tarafından önerilmiş bir sistemdir. Bu sistemde siparişler üzerlerine kart takılarak aşamalar arasında ilerlemektedir. Siparişler gönderilmeden önce takılı kart çıkartılarak üretim sisteminin en başına gönderilmektedir. CONWIP sistemi ilk ve son aşamalarında çekme kontrolü ile çalışmakta ara aşamalarda itme mantığı ile çalışmaktadır. Bu sistem de ürün çeşitliliğinin çok olduğu durumlarda iyi sonuçlar vermektedir.

Çalışmada orijinal POLCA sisteminden farklı olarak iş yüküne dayalı POLCA sistemi kurulmuştur.. POLCA kontrolünün iki çeşit girdisi vardır. Bunlardan ilki sistemin itme esaslı kontrolü olan ve Malzeme Gereksinim Planlamasından alınan üretim izin tarihleridir. Diğer ise sistemin çekme esaslı kontrolünü oluşturan döngülerin yükleri kısmıdır. Döngü yüklerini hesaplamak için Nico Vandaele (1996) çalışması olan kuyruk modelinden yararlanılmıştır.

Çalışmada POLCA ve CONWIP sistemlerini kurmak için ve performans ölçütlerinin değerlerini hesaplamak için benzetim modeli kurulmuştur. Benzetim modeli ARENA isimli program ile oluşturulmuştur. Çalışmadaki performans ölçütleri üretim ve sipariş temin süreleri, müşteri hizmet seviyesi ve yarı mamül stoğudur. Göz önüne alınan üretim sisteminde yapılan benzetim modellerinin sonuçları göstermiştir ki CONWIP kontrolü yüke dayalı POLCA kontrolünden daha iyi sonuçlar vermektedir.

Bu durumda işlem süreleri arasındaki farkın çok olmadığı ve ürün çeşitliliğinin çok olduğu ortamlarda CONWIP sistemini uygulamak POLCA sisteminden daha iyi sonuçlar vermektedir.

HYBRID PRODUCTION CONTROL STRATEGIES

SUMMARY

In this thesis a hybrid production Control policy is studied by taking into account a real production system. The hybrid production Control systems under study are called as POLCA found by Rajan Suri (1998) and CONWIP found by Spearman et al., These policies include both push and pull Control mechanisms. It is known that if demand is known beforehand and it is not fluctate a lot pull Control mechanisms result best performance. However in real situations demand generally fluctates a lot. So pure pull system may not result the best system performance. In this situation a hybrid production Control mechanism which includes the best properties of both pull and push systems may give better performance when compared pure push or pure pull systems. The POLCA Control mechanism Works well when there is demand uncertainty and when there is multiple types of products (even one of a kind). POLCA Control tries to minimize the order and so production lead time. For this purpose the best features of pull and push systems are collected in POLCA Control. To make a comparison of the POLCA system a CONWIP Control system is also proposed.

In CONWIP Control policy orders go ahead between stages attached a CONWIP card. When order arrives at the end of the last station its CONWIP card is detached and sent back to the first stage. CONWIP Control is a pure push system except for first and last stations. In first and last stations it behaves as a pull system. It is known that in production systems where multiple types of products are produced and demand for these types of products can not be forecasted well CONWIP system results a good system performance.

In this study a load based POLCA system is proposed which is a bit different from original POLCA system. POLCA Control has two input parameters. First one is production authorization times gotten from High Level Materials Requirements Planning which constitutes the push based part of POLCA system. Second one is loop loads which is Pull based part of POLCA system. To calculate the Loop loads queuing theory which is the study of Nico Vandaele (1996) was considered.

To construct the POLCA and CONWIP system and to assess the performance of these two systems a simulation study was proposed. Simulation model was developed using a simulation software proposed by Rockwell software called ARENA. The performance criteria are production and order lead times, customer service level and work in process inventories. The results show that in the system under study works better in CONWIP production Control system. It is shown that when processing times don't differ significantly between stages and demand uncertainty is high CONWIP system gives better system performance than the POLCA system.

1. GİRİŞ

Küreselleşmenin etkisi arttıkça rekabetin sınırları da değişmiş, müşteri ihtiyaçları teknolojiye paralel bir şekilde farklılık göstermeye başlamıştır. Bu durumdan hizmet sektörü kadar üretim sektörü de etkilenmiştir. Rekabet artık yalnızca müşteri ihtiyaçlarına cevap vermekle değil zamanında, daha az maliyetle ve bu ihtiyaca ne kadar hızlı cevap verildiği ile de ölçülmeye başlanmıştır. Envanter maliyetlerinin ürün maliyetinin büyük bir kısmını oluşturduğu ve bu maliyetin bağlanan yatırım olduğu bir gerçektir. 2. Dünya savaşında Japonlar üretim maliyetlerini düşürmenin yollarını aramışlar ve en uygun yöntemin en az stokla müşteriye hizmet sunmak olduğunu bulmuşlardır. Üretim sürecindeki tüm israfları özellikle de fazla stok tutulmasını engelleyerek daha düşük maliyetlerle piyasaya hizmet sunmaya başlamışlardır. Bu durum diğer dünya ülkelerini de üretim ile ilgili konularda reform yapmaya itmiştir. Klasik üretim kontrol stratejilerinin maliyetleri düşürmedeki yetersizliği özellikle (stok maliyetlerini) ortaya çıkmıştır. Bu nedenle firmalar kendi yapılarını da göz önünde bulundurarak en uygun üretim kontrol tekniklerini bulmaya çalışmaktadır. Ürün yapıları ve müşteri ihtiyaçları geliştikçe klasik üretim kontrol teknikleri ve Toyota'nın uyguladığı karta dayalı kontrol teknikleri birleştirilerek daha etkin kontrol yöntemleri bulunmaya başlanmıştır. Bu kontrol teknikleri uygulanarak firmalar hem üretim maliyetlerini düşürmekte hem de müşteri ihtiyaçlarına daha hızlı cevap vermektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı geleneksel kanban uygulanmasının uygun olmadığı talebin fazla değişkenlik gösterdiği, ürün çeşitliliğinin çok olduğu ve işlem sürelerinin değişken olduğu gerçek bir üretim ortamında Suri (1998) tarafından önerilmiş olan POLCA sistemini benzetim yardımı ile kurmak ve oluşturulan sistemi belirli performans ölçütlerini temel alarak değerlendirmektir. Kurulan sistemin performansını değerlendirmek amacı ile bu üretim sistemi için uygun olduğu düşünülen Spearman ve diğ. (1990) tarafından önerilen itme ve çekme sisteminin

birleşimi olan CONWIP sistemi kurulacak ve iki sistemin performansı belirlenen performans ölçütleri ile birlikte karşılaştırılacaktır. Bu çalışmada gerçek bir üretim sistem göz önüne alınarak bilgisayar ortamında simüle edilecek ve performans ölçütleri birtakım senaryolar ile incelenecektir. İncelenen sistemin POLCA kontrolünün uygulanması için uygun bir sistem olduğu düşünülmektedir.

Son olarak kurulan sistemin performansı değerlendirilecek ve göz önüne alınan ortam için hangi kontrol yönteminin daha uygun olduğu belirlenecektir.

1.2 Literatür Özeti

Çalışmanın literatür araştırması kısmında öncelikle itme sistemi ile ilgili kaynaklar araştırılmıştır. Krishnamurthy (2002) malzeme gereksinim planlaması çalışmalarının büyük çoğunluğunun parti büyüklüğü konularına odaklandığını saptamıştır. Yano (1987) akış sürelerinin stokastik olduğu, ürün talebinin bilindiği çok aşamalı bir üretim sisteminde en uygun planlama temin süresinin bulunması üzerinde durmuştur. Chang (1985) sonrasında Buzacott ve Shanthikumar (1994) tek çeşit ürün üreten bir sistem için güvenlik stoğu ve güvenlik temin süresi üzerinde durmuşlardır. Buzacott ve Shanthikumar bu çalışmalarında tek çeşit ürün üreten tek aşamalı bir sistem için stokastik model kullanarak güvenlik süresinin yalnızca üretim temin süresi boyunca gelecek gereksinimlere dair kesin tahminlerin yapılabildiği durumlarda güvenlik stoğuna tercih edilebilir olduğunu göstermişlerdir. Lambrecht ve diğ. (1984,1985) iki aşamalı bir seri üretim sisteminde üretim miktarlarını ayarlama problemi üzerinde çalışmıştır ve optimal güvenlik süresini ve temin süresini bulmak için Markov karar verme süresi yaklaşımını kullanmıştır. Tabe ve diğ. (1980) son ürün talebindeki dalgalanmaların orta aşamalarda stokta ve üretime alınan parça miktarlarında nasıl dalgalanmalara neden olduğunu göstermiştir. Güvenlik zamanı ve güvenlik stoğu konuları üzerinde Whybark ve Williams (1976), Ritzman ve King (1991) benzetim çalışmaları ile durulmuştur. Lambrecht et al. (1994) Malzeme gereksinim planlamasının temel stok değerlendirmenin işlemlerinin bir genellemesine benzediği vurgulanmıştır. Buzacott et al. (1992) seri bir üretim sistemini göz önüne alarak farklı siparişlerin servis düzeyinin temin süreleri ve güvenlik stoğu parametrelerinin seçiminden nasıl etkilendiği incelenmiştir.

Literatürün önemli bir kısmı ise MRP sistemlerinin kullanılmasının uygun olmadığı durumlardan oluşmaktadır. Örneğin Buzacott ve Shanthikumar (1994) eğer koruyucu güvenlik stoğunu sürdürmek mümkünse ve tercih edilirse MRP itme sistemlerinin geleceği temel alan özelliğinin gerekli olmayabileceğini gözlemlemiştir.

Literatür araştırması kısmında çekme tipi kontrol stratejilerinden bahsedilmiş. İşleyiş biçimleri anlatılmıştır.

Takahashi ve Nakamura (1999), Tardif ve Maaseidvag (2001)'in çalışmalarında kart sayılarının sistem durumuna göre dinamik olarak hesaplandığı durumlar anlatılmıştır. Bu sistemlerin işleyişi anlatılmış iperformans ölçütlerinden bahsedilmiştir.

İtme, Çekme, İtme-Çekme kontrollerinin karşılaştırıldığı Chang ve Yih (1994), (Spearman ve Zazaniz 1998) çalışmalarına yer verilmiştir.

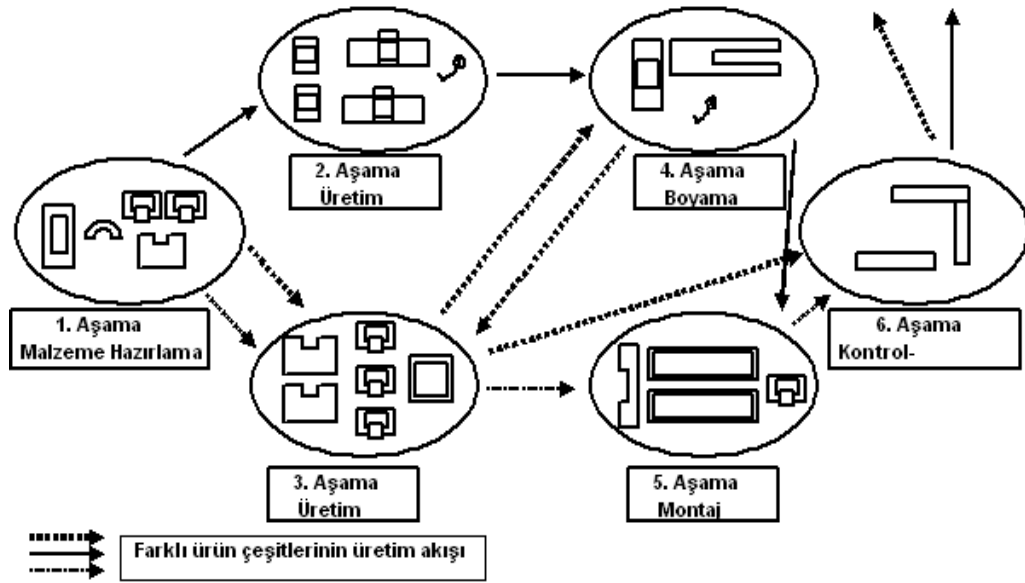
Son olarak literatür araştırması kısmında POLCA sistemi Suri (1998), Vandaele ve Clearhout (2006), Riezebos (2006) tarafından ilgili yapılmış çalışmalar anlatılmıştır.

1.3 Tezin Organizasyonu

Çalışmanın ilk bölümünde üretim kontrol stratejilerinin küreselleşmeyle birlikte artan önemi vurgulanmıştır. 2. bölümünde bir üretim kontrol yöntemlerine bir giriş yapılacaktır. İtme ve çekme kontrol yöntemi kavramlarının üzerinde durulacaktır. Üretim ortamının özelliklerinin seçilmesi gereken kontrol sistemi üzerindeki önemi vurgulanacaktır. 3. bölümde POLCA ile ilgili çalışmaları daha çok vurgulayan ve benzer şekilde diğer melez yöntemleri anlatan kaynak taraması yapılacaktır. 4. bölümde uygulamanın yapıldığı firma, talep yapısı, ürün çeşitliliği, üretim düzeni detaylı bir şekilde anlatılacaktır. 5. bölümde bu sistemde kurulan benzetim modeli, performans ölçütleri anlatılacaktır. 6. bölümde kurulan model üzerinde bir takım deneyler yapılacak ve bunların sonuçlarından bahsedilecektir. 7. bölümde çalışmanın bir özeti ve gelecek çalışmalar ile ilgili öneriler yapılacaktır.

2. ÜRETİM SİSTEMLERİ İÇİN MALZEME KONTROL STRATEJİLERİ

Üretim sistemleri, müşterilere ulaştırılacak son ürünlerin yaratılması amacı ile montaj, ısıl işlem, torna vb. operasyonlardan oluşan sistemlerdir. Bu üretim aktiviteleri genellikle farklı aşamalarda toplanmakta böylelikle planlama, kontrol ve kaynak yararlanımı (makine, işgücü ve malzeme) etkin ve kolay bir şekilde sürdürülmektedir. Bu farklı aşamalarda toplama işi birkaç yolla yapılabilmektedir. Bunlardan biri bütün üretim sistemi tek bir aşama altında toplamaktır. Diğer bir yol ise üretim sistemindeki her makine farklı bir aşama olarak düşünmektir. Tipik bir üretim sistemi çeşit sayısı fazla olan ürünler ürettiği için bu sistemleri ele alırken birçok yapılandırma mümkün olmaktadır. Şekil 2.1 bu şekilde bir sistem konfigürasyonu görülmektedir.



Şekil 2.1 : Çok aşamalı bir üretim sistemi (Krishnamurthy,2002)

Malzeme kontrolü, bir üretim sisteminde hammadde alımından son ürünün müşteriye dağıtımına kadarki tüm aşamaların yönetilmesidir. Bir malzeme kontrol stratejisi, süreç içi stoğu, temin sürelerini ve maliyetleri düşük bir seviyede tutarak iyi bir müşteri hizmet seviyesini yakalamak için ne zaman ve ne kadar üretim yapılması gerektiği soruları üzerinde durmaktadır. Hangi ürünün ne zaman üretileceği kararı, malzeme yönetimine, makinelerin kullanım oranına ve iş gücü kapasitesine yakından

bağlı konulardır. Bir üretim sisteminin rekabetçiliği; üretim maliyetlerine, servis seviyelerine ve temin süresinin uzunluğuna bağlı olduğu için üretim sisteminin karlılığının belirlenmesinde uygun malzeme kontrol stratejisinin seçimi ve performansı çok önemlidir (Krishnamurthy,2002).

Göz önüne alınan bir üretim sistemi için uygun malzeme kontrol stratejisinin tasarlanması sistemdeki üretim kapasitesinin değişkenliği, kuyruktaki beklemler ve ürün taleplerindeki rastsallıktan kaynaklanan bağımsız dinamiklerden ötürü zor bir eniyileme problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Üretim sistemleri en uygun kontrol stratejisini bulmak için formülize edilebilmeye çalışılabilir ancak en uygun kontrol stratejisi çok sınırlı sayıda sistemler ve üretim çevreleri için mümkündür.

Daha da önemlisi en uygun kontrol stratejisini pratikte uygulamak çok zor olabilmektedir. Bu şekilde tüm üretim sistemi için eniyi stratejiyi bulmak yerine uygulanması kolay olan bir sınıf alt eniyi politikalar araştırmak hem bulunan stratejinin uygulanmasını kolaylaştırmakta hem de ilgilenilen alanda daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu alandaki çoğu çalışmada birkaç sayıda değişkene bağlı olan basit üretim kontrol politikaları geliştirilmekte ve değerlendirilmektedir. Şimdi başlıca üretim planlama ve kontrol stratejilerini tanımlayıp açıklayalım.

2.1 İtme, Çekme ve Melez Malzeme Kontrol Stratejileri

Malzeme planlama ve kontrol stratejileri itme, çekme ve melez sistemler olmak üzere sınıflandırılabilir (Karmarker,1986a). İtme ve Çekme sistemleri arasındaki fark iş emirlerinin iş istasyonlarına ulaşma şekline göre yapılmaktadır. İtme tipi bir üretim kontrol sisteminde üretim; siparişinin verilmesi, son ürünün teslim süresi ile planlanan temin süresi dengelenerek başlatılmaktadır. Çekme tipi bir üretim kontrol sisteminde ise üretim; bitmiş ürün stoğundan ürün çekilmesi ile başlatılır. Diğer bir deyişle itme tipi bir üretim kontrol stratejisi, işin başlatılmasını talep tahmini ile çizelgelemektedirken çekme tipi üretim kontrol stratejisinde işin başlatılması, talebin gerçekleşmesi ile oluşmaktadır. İtme sistemleri malzeme gereksinim planlaması (MRP) ile eş anlamlı olarak, çekme sistemleri ise kanban kontrol sistemleri ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır (Krishnamurthy, 2002). CONWIP (sabit süreç içi stok) ya da POLCA (Paired-Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization) gibi farklı itme ya da çekme sistemlerinin ya da her iki sistemin değişik özelliklerini birleştiren sistemler ise melez sistem olarak adlandırılmaktadır.

2.2 İtme Sistemleri

İtme sistemleri genellikle malzeme gereksinim planlaması ile özdeşleşmiş sistemlerdir. Malzeme gereksinim planlaması üretim planlama ve malzeme kontrol sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Malzeme gereksinim planlaması Ana Üretim Çizelgesi (MPS) ile başlamaktadır. Ana üretim çizelgesi, göz önüne alınan dönemde son ürünlerin üretim emrinin zamanını ve üretim miktarlarını belirtir. Bu bilgi stoğa üretim yapan üretim sistemlerinde hedeflenen stok seviyelerinden ya da sipariş üretimi yapan sistemlerin teslim sürelerinden elde edilebilir. Malzeme gereksinim planlaması ana üretim çizelgesine dayanarak bu gereksinimleri ürün reçetesine göre her bir son ürün için belirlemektedir. Sonrasında malzeme gereksinim planlaması ürün reçetesindeki parça ve alt montajlar için geri çizelge yaratır. Geri çizelgeleme bir iş istasyonunda bir operasyonun en geç başlama zamanını hesaplamaktadır. Her bir operasyonun en geç başlama zamanı bir sonraki operasyonun sabit tahmini temin süresinin dengelenmesi ile elde edilmektedir. Geri çizelgeleme yaratıldıktan sonra parçalar için üretim emri verilmektedir. İlgili parçanın operasyonu tamamlandıca bu parçalar bir sonraki aşamaya itilir. Geri çizelge oluşturulduktan sonra üretim emirleri parçalara doğru itilir. Operasyonlar tamamlandıktan sonra parçalar diğer iş istasyonlarına doğru itilir. Bu işlemden sonra her iş istasyonu geri çizelgeden gelen öncelik kuralına göre önündeki parçaları işlemeye başlar. Bu şekilde her bir ürün ana üretim çizelgesi tarafından belirlenen teslim süresinden hemen önce üretilmeye çalışılmaktadır.

Malzeme gereksinim planlamasının ya da itme sistemlerinin güçlü tarafı, sadece yakın gelecekte talep edilecek olan ürünlerin malzeme elde edimi ve üretim emirlerinin çizelgelenmesini sağlamaktadır. Geri çizelgeleme üretimi başlatma emirlerini zamanı göz önüne alarak başlatmasına rağmen bu durum çok nadir gerçekleşmektedir. İş istasyonlarının temin sürelerinin sabit olduğu kabul edilerek, malzeme ihtiyaç planlaması iş istasyonlarının sonsuz kapasitede olduğunu kabul etmektedir. Temin süreleri mevcut iş yükünün bir fonksiyonu olduğu için gerçekçi olmayan bir kabuldür. Bu durum uygulanması mümkün olmayan çizelgeler yaratmaktadır bu da malzeme gereksinim planlamasının ana olumsuzluklarından biridir. Ayrıca talep değişkenliğinin ve talep tahmin yönteminin güvenilir olmadığı durumlarda, son ürün talebindeki küçük değişimler çıktı hızının azalmasına ve yüksek hacimde süreç içi stoğa neden olmaktadır (Burns ve Sivazlian1978), (Tabe ve

diğ.1980) ve (Takahashi ve diğ. 1987). Değişken temin sürelerini ve talep dalgalanmalarının üstesinden gelmek için güvenlik stoğu ya da güvenlik temin süresi kullanılmaktadır (Buzacott ve Shanthikumar, 1994). Bütün bu düzeltme eğilimlerine rağmen bir üretim organizasyonunda malzeme gereksinim planlaması uzun dönemde birtakım dysfunctional dinamiklere yol açabilmektedir (Suri,1998).

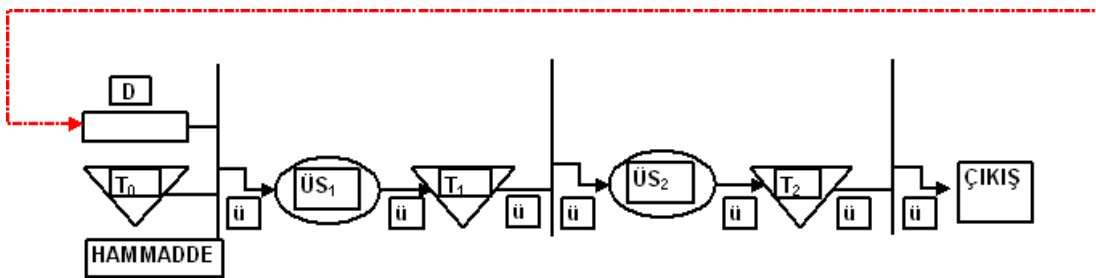
Bir itme sisteminin tasarlanmasında göz önüne alınması gereken başlıca konular (1) üretim geri çizelgelemedeki sabit temin sürelerinin belirlenmesi, (2) Güvenlik stoğunun ya da/ve temin süresinin miktarına ve yerine karar vermek ve (3) Değişik ürün çeşitleri için talep tahminlerindeki hataları göz önüne almaktır.

İtme tipi kontrol yöntemlerinde süreç içi stok işlemlerdeki belirsizliği ve talepteki değişimleri absorbe etmek için kullanılır. Uygulamada itme tipi sistemler iki probleme neden olabilmektedir. Bunlar;

1) Farklı evreler arasındaki stok dengesizliğinden kaynaklanan malzeme yokluğuna ya da aşırı stoğa neden olmaktadır.

2) Üreticinin kapasite üzerinde donanım ya da iş gücü alımına neden olmaktadır (Singh, 1996).

Bu problemlere rağmen itme tipi kontrol, çekme tipi kontrolün tampon stok tutması, ergonomik yazılımının bulunması, tasarlanmasındaki yatırımların geri dönüşümü gibi özellikleri ile karşılaştırıldığında güçlü ve geleneksel bir sistem olarak kabul edilmektedir. Yukarıda bahsedilen Malzeme Gereksinim Planlaması ve Malzeme Kaynak Planlamasından bahsedelim. Şekil 2.2’de tipik bir üretim sisteminde itme tipi malzeme kontrol stratejisinin işleyişi görülmektedir.



Şekil 2.2 : İki aşamalı üretim sisteminde itme tipi malzeme kontrol stratejisi (Boonlertvanich,2005)

Sistemde D sembolü talebi simgelemektedir. T_i süreç içi stoğu (tampon), $ü$ ise ürünü temsil etmektedir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi talep üretim sürecinin ilk aşamasına

gönderilmektedir. Diğer süreçlere ise fiziksel malzeme ilgili aşamada üretimi tamamlandıktan sonra gönderilmektedir (Boonlertvanich,2005).

2.2.1 Malzeme gereksinim planlaması

Malzeme gereksinim planlamasının ana prensipleri yıllardır kullanılmaktadır. Ancak malzeme gereksinim planlamasının hesaplamaları için kapasitesi yüksek bilgisayarlar gerektiği için bu prensipler tam olarak yerine getirilememektedir. Malzeme gereksinim planlaması, stoğu üretim planlama ile birleştirmektedir. Bu birleştirme elle yapılması karmaşık çizelgeleme prosedürlerinden ve veri güncellemelerinin dinamik yapıda olmasından dolayı çok zaman almaktadır (Kelkar, 1999). Bilgisayar kullanımı arttıkça malzeme gereksinim planlaması yönetim bilişim sistemleri için ideal örnekler oluşturdu. Bu nedenle malzeme gereksinim planlaması, satış, ana üretim çizelgesi, ürün reçetesi, satın alma siparişleri, süreç içi stok ve temin süreleri arasında fonksiyonel bir denge oluşturmaktadır. Bu denge ise üretim ile ilgili üretme ya da satın alma, gönderme ya da depolama, kapasitenin azaltılması ya da artırılması ile ilgili konularda karar almaya yardımcı olmaktadır (Riggs, 1987).

Malzeme gereksinim planlaması, zaman ufkunu zaman kutularına ayırır ve sonrasında ürün reçetesinde bulunan seviyelere göre hesaplamaları yapar. Toplu kapasite hesapları tüm parçaların net talep miktarları ile dengelenir. Tedarikçilerden gelecek olan çizelgelenmiş parçalar da bütün zaman ufku içerisinde göz önüne alınır. Son çizelge tüm bu kısıtlar göz önüne alınarak oluşturulur. Sonucunda bazı zaman kutularında kapasite fazlalığı bazılarında ise fazla mesai ya da fason üretim gerektiren durumlar ortaya çıkabilir.

2.2.2 Üretim kaynak planlaması (MRP II)

Malzeme gereksinim planlamasının genişletilmiş hali üretim mühendisleri için yalnızca planlamadan oluşmayan, daha fazla kontrol mekaniğinin olduğu bir durumdur (Kelkar, 1999). Ana üretim çizelgesi makine çalışma süresi, iş gücü süresi ve sermaye gibi bağımlı değişkenlerle birleştirilir. Üretimin seyri ve tedarikçi bilgileri de son ürünün üretilme zamanını ve üretim miktarlarını belirlemede göz önüne alınır. Tüm bölümlerin MRP II veritabanına geçiş izni bulunmaktadır ve üretim alanında bu bilgilerin üzerinde az da olsa değişiklik yapılma hakkı vardır.

Satın alınan MRP II yazılımlarında ürün reçetesi, parça rotaları ve üretim sürecinde bir kontrol bölümü bulunmaktadır. Bu sisteme kapalı devre MRP sistemi denilmektedir (Kelkar, 1999).

2.3 Çekme (Kanban) Sistemleri

Çekme tipi kontrol sistemleri talepteki değişimlere hızlı cevap vermeyi amaçlayan basitleştirilmiş bir tekniktir. Bu teknik en az derecede veri tutmayı ve basit metotları gerektirmektedir. En yalın şekilde anlatılacak olursa üretimin ileriki aşamasındaki makineler taleplerine bağlı olarak geri aşamadaki makinelerin çıktı tamponlarında üretilen ürünleri çekmektedirler. Önceki aşamalara belirli bir parçaya ait talebi gösteren bir çeşit sinyal (kanban kart şeklinde, konteynır şeklinde, etiketlerle vb.) gönderilir. Bu sebepten ürün akışı ve bilgi akışı ters yönlerde gerçekleşmektedir. Ürün akışı, önceki aşamalardan sonraki aşamalara doğru, bilgi akışı, sonraki aşamalardan önceki aşamalara doğrudur.

Çekme sistemin ürün talebine olan büyük hassasiyeti belli durumlarda bu sistemi itme tipi üretim sistemine göre daha tercih edilir kılmaktadır. Çekme tipi kontrol sisteminde ana üretim çizelgesi farklı iş istasyonlarının kaynak ihtiyaçlarını kabataslak belirlemek için kullanılmaktadır. İtme tipi kontrol sistemi ile çekme tipi kontrol sistemi arasındaki en büyük fark itme sisteminde ana üretim çizelgesinin her bir iş istasyonunun üretim hızını belirlemesi çekme sisteminde ise bu çizelgenin kabataslak bir ihtiyaç planlaması için kullanılmasıdır. Daha öncede belirttiğimiz gibi oluşturulan çizelgeler birtakım sinyaller yardımı ile geriye doğru hareket eder. Tam zamanlı üretim felsefesi de bu durumu temel almaktadır. Tam zamanlı üretim (TZÜ) felsefesi üretim problemlerini açığa çıkarmak için üretim parti büyüklüklerini azaltmayı amaçlamaktadır. Ürünleri tam istenilen zamanda üretmek tampon stokları ortan kaldırmaktadır. TZÜ'yi tanımlamanın diğer bir yolu ise ürünü doğru zamanda doğru miktarda ve doğru yerde üretmek ya da satın almaktır. MRP II ile TZÜ karşılaştırıldığında MRP II problemleri belirlemek için planlama yapmaktayken TZÜ problemleri belirlemek için uygulamaya yönelik bir tavır izlemektedir. TZÜ en düşük maliyeti, yüksek kaliteyi ve zamanında üretimi başarmak için değişik üretim aşamalarında toplanan stoklardan kurtulmayı amaçlamaktadır. Çalışma hatasız üretimi kavramına dayalı yapılmaktadır. Kalite probleminden kaynaklanan parçanın reddedilmesi durumunda bu parçanın tipinde diğer parça üretime hızlı bir şekilde

ürünü yerine koymak için üretim yapılır ve müşteriler tarafından gönderilen sinyaldeki ürün üretilir (Boonlertvanich,2005).

2.3.2 Diğer çekme sistemleri

Drumbuffer Sistemi: Darboğaz makinelerine/aşamalara göre üretimin senkronizasyon içinde olmasını sağlamaya çalışır.

Temel Stok Değerlendirmesi: Çalışma felsefesi kanban ile aynıdır. Yalnızca talep bilgisi son istasyondan ziyade tüm aşamalara gönderilmektedir. Her makinede belli bir hacimde stok tutulmaktadır(Clark ve Scarf,1960).

Periyodik Çekme Sistemi: Bu sistemin de çalışma felsefesi kanban ile aynı olmakla birlikte tek fark kartların yerini bilgisayar almasıdır.

Uzun Çekme Sistemi: Bu sistemin kanbandan tek farkı bir parça sistemden çıkmadan diğer parçanın sisteme girememesi durumu söz konusudur (Kelkar, 1999).

2.3.3 Statik ve dinamik çekme sistemleri

Kanban sisteminin tasarlanmasında kanban kart sayılarının hesaplanması önemli bir konu olduğu için Chang ve Yih (1994b) en uygun sistem performansına ulaşmak için kanban sayılarını hesaplayan benzetimli tavlama yaklaşımı geliştirmişlerdir. Bu algoritma yerel optimumlardan uzak durmaya çalışan ve nihayetinde global eniyiye ulaşmayı amaçlayan bir araştırma tekniğidir.

Bu yaklaşım belli bir zaman aralığında kullanılması gereken sabit kart sayısına karar vermektedir. Bu sabit kart sayısı dinamik kanban sisteminin statik olan kısmıdır. Bu elde edilen kart sayıları talebin gelişler arası süresinin dağılımına, üretim işlem süreleri gibi talep bilgilerine bağlıdır. Eğer önceki talep bilgileri elde edilemiyorsa ya da talep beklenenden farklı bir şekilde değişiyorsa dinamik kontrol uygulaması kısıtlı kalmaktadır. Ayrıca eğer her dönemde taleple ilgili bilgiler değişiyorsa önerilen bu algoritmanın her dönemde yeniden çalıştırılması gerekmektedir.

Dinamik çevrelerde talebin ve işlem sürelerinin özelliği değişkenliktir. Bu nedenle statik bir kanban kontrolü değişken bir sistemde iyi bir performans garantisi vermemektedir Chang(1996). Bu nedene böyle bir üretim ortamı için dinamik kanban kontrolü iyi bir çözüm önerisi olarak düşünülebilir. Dinamik kanban kontrolü mevcut sistem durumunu göz önüne alarak herhangi bir karar evresinde diğer bir

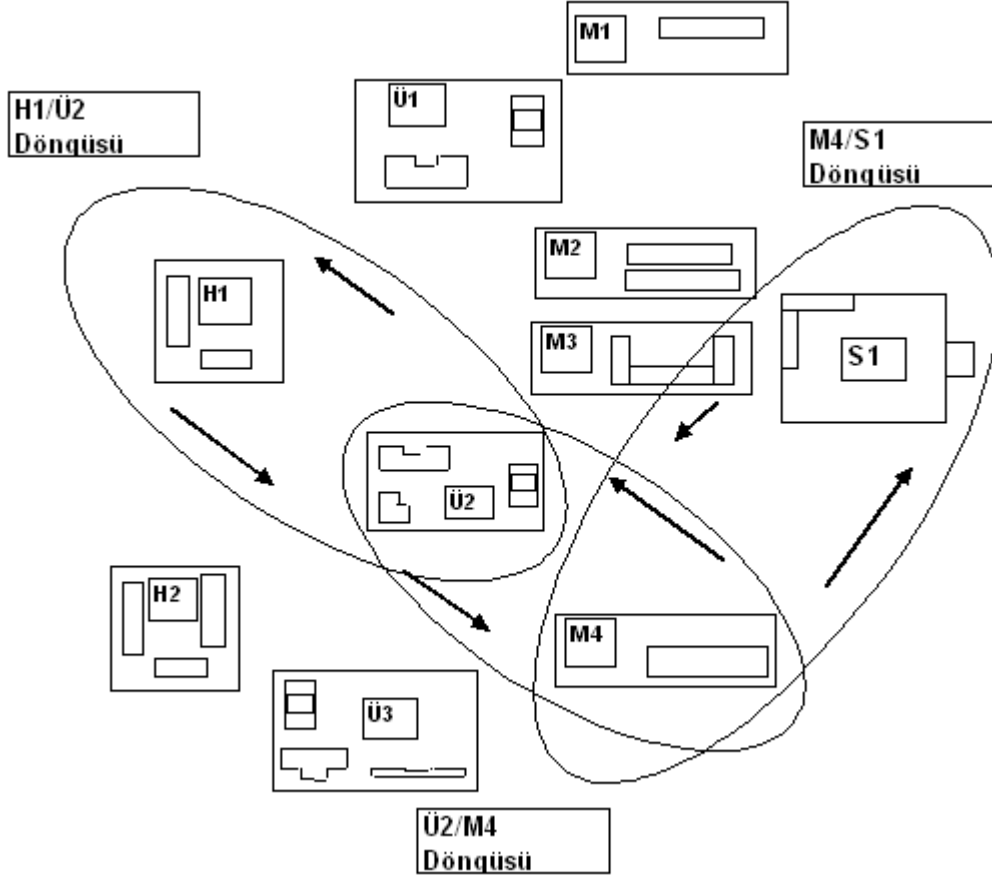
evreye kadar kaç tane kanbanın kullanılacağı sorusuna cevap aramaktadır. Bu yaklaşım kanban kontrolüne esneklik getirirken benzetimli tavlama algoritmasındaki kısıtlamaları yoktur. Dinamik kanban kontrolü yaklaşımı mevcut talep bilgisini mevcut sistem durumunun bir parçası olarak görmektedir. Bu sistem geçmiş talep bilgisine ihtiyaç duymamaktadır. Bu durumda da Chang ve Yih (1994 b) tarafından önerilen dinamik çevrelerde kanban sayılarının statik kaldığı sisteme göre dinamik kart kontrolü daha uygulanabilir bir sistemdir (Chang, 1996).

2.4 İtme- Çekme (Melez) Sistemler

Basitleştirilmiş üretim hatlarında yapılan analitik çalışmalar kadar kanban sistemlerinin başarılı uygulamaları çekme sistemleri ve bunun versiyonlarının genel olarak itme tipi sistemlere daha üstün bulunmuştur (Spearman ve Zazanz, 1992), (Hopp ve Spearman, 1996). Çekme sisteminin destekleyicileri bu sistemin daha geniş çevrelere uygulanabileceğini düşünmektedirler (Womack ve Jones, 1996). Ancak son zamanlarda yapılan çalışmalar bunun doğru olmayabileceğini vurgulamaktadır (Buzacott ve Shanthikumar, 1993), (Suri 1998,2000) , (Zhou ve diğ., 2000). Yapılan araştırmalarda ürün çeşitliliğinin çok olduğu, taleplerin değişken olduğu ortamlarda ya da küçük hacimde hatta bir tane yüksek mühendislik gerektiren ürünlerin üretildiği üretim çevrelerinde bu sistemin başarısızlığa uğrayabileceği gösterilmektedir (Suri, 1998). Ürün çeşitliliğinin çok olduğu, talep değişkenliğinin fazla olduğu ve müşteriye özel ürünlerin yapıldığı üretim çevrelerinde hem itme tipi hem de çekme tipi kontrol elemanları kullanılmalıdır. Bu sistemlere örnek olarak POLCA (Paired-Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization) sistemi gösterilebilir (Suri,1998).

2.4.1 POLCA sistemi

POLCA ilk olarak Suri tarafından 1998 yılında önerilmiştir. POLCA temel olarak hücreler arası malzeme kontrolü anlamını taşımaktadır. POLCA çekme sinyallerini, kartları ve malzeme gereksinim planlamasını birleştirmektedir. POLCA sisteminde kullanılan malzeme gereksinim planlaması geleneksel olarak kullanılan planlamadan farklı olduğu için bu planlamaya yüksek seviye malzeme gereksinim planlaması adı verilmektedir (HL/MRP). Şekilde görüldüğü gibi POLCA kart döngüleri aşamaları (hücreleri) ikili olarak birleştirmektedir.



Şekil 2.4 : POLCA sisteminin işleyişi (Suri, 1998)

Şekildeki sistemde hücreler fonksiyonel olarak tasarlanmıştır. Bir ürün tamamen hücrenin içerisinde üretilmeyip hücrelerde üretilen parçaların diğer hücelere de uğraması söz konusudur. Şekilde de görüldüğü gibi herhangi bir ürün H1/Ü2, Ü2/M4, M4/S1 gibi 3 kart döngüsü içerisinde girmektedir ve 4 ayrı hücrede üretimi tamamlanmaktadır. Buna ek olarak kart döngüleri aşamalar arasında kesişmektedir. POLCA sistemi ile ilgili diğer detaylar sonraki kısımlarda geniş olarak anlatılacaktır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1 Giriş

Bu kısımda farklı üretim sistemleri için tasarlanmış malzeme kontrol stratejileri incelenecektir. Farklı çalışma prensiplerine sahip kanban sistemleri açıklanmaya çalışılacaktır. İlk olarak itme sistemi ile ilgili performans değerlendirme çalışmaları değerlendirilecektir. Sonrasında farklı statik ve dinamik çekme sistemlerine bir giriş yapılacaktır. Çekme sisteminin performans değerlendirmesi ile ilgili kaynaklar incelenecektir. Diğer bölümde itme ve çekme sistemini karşılaştıran kaynaklar incelenmeye çalışılacaktır. Diğer bölümde melez üretim sistemlerine bir giriş yapılacak ve çeşitli melez üretim sistemlerinin çalışma prensibi anlatılacaktır.

3.2 İtme Sisteminin Performansının Değerlendirilmesi

İtme sisteminin çalışma prensibi ilk bölümde anlatılmaya çalışılmıştır. Bu bölümde itme sisteminin performansını değerlendiren bazı çalışmalar incelenecektir. Malzeme gereksinim planlaması ile ilgili yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu parti büyüklüğü konularına odaklanmaktadır (Krishnamurthy, 2002). Yano (1987) akış sürelerinin stokastik olduğu, ürün talebinin bilindiği çok aşamalı bir üretim sisteminde en uygun planlama temin süresinin bulunması üzerinde durmuştur. Chang (1985) sonrasında Buzacott ve Shanthikumar (1994) güvenlik stoğu ve güvenlik temin süresi üzerinde durmuşlardır. Buzacott ve Shanthikumar bu çalışmalarında tek çeşit ürün üreten tek aşamalı bir sistem için stokastik model kullanarak güvenlik süresinin yalnızca üretim temin süresi boyunca gelecek gereksinimlere dair kesin tahminlerin yapılabildiği durumlarda güvenlik stoğuna tercih edilebilir olduğunu göstermişlerdir. Diğer bütün durumlarda güvenlik stoğu, temin süresi boyunca değişen müşteri ihtiyaçları ya da talep temin süresi tahminlerindeki dalgalanmalarla baş etmek için daha kesin bir yöntem olarak görülmektedir. Lambrecht ve diğ. (1984,1985) iki aşamalı bir seri üretim sisteminde üretim miktarlarını ayarlama problemi üzerinde çalışmıştır ve eniyi güvenlik süresini ve temin süresini bulmak

için Markov karar verme süresi yaklaşımını kullanmıştır. Tabe ve diğ. (1980) son ürün talebindeki dalgalanmaların orta aşamalarda stokda ve üretime alınan parça miktarlarında nasıl dalgalanmalara neden olduğunu göstermiştir. Güvenlik zamanı ve güvenlik stoğu konuları üzerinde Whybark ve Williams (1976), Ritzman ve King (1991) benzetim çalışmaları ile durulmuştur. Lambrecht ve diğ. (1994) Malzeme gereksinim planlamasının temel stok istemlerinin bir genellemesine benzediği vurgulanmıştır. Temel stok sistemi gibi son talep bilgisi tüm seviyelere (kutucuklara) gönderilir ve her seviyede alt seviyedeki stok seviyelerini hedeflenen seviye stok seviyesi ile karşılaştırmalar yapılarak stok yenileme kararları alınır. Ana fark ise malzeme gereksinim planlaması sistemi, kararları her aşamada son talebin gelecek tahminini içeren seviye hedef stoğunu kullanarak almaktadır. Buzacott ve diğ. (1992) seri bir üretim sistemini göz önüne alarak farklı siparişlerin servis düzeyinin temin süreleri ve güvenlik stoğu parametrelerinin seçiminden nasıl etkilendiği incelenmiştir. Servis seviyesini ise hem bir talebi karşılamada beklenen gecikme açısından hem de bir talebin hiç gecikme olmadan karşılanma olasılığı açısından incelemiştir.

Literatürün önemli bir kısmı ise MRP sistemlerinin kullanılmasının uygun olmadığı durumlardan oluşmaktadır. Örneğin Buzacott ve Shanthikumar (1994) eğer koruyucu güvenlik stoğunu sürdürmek mümkünse ve tercih edilirse MRP itme sistemlerinin geleceği temel alan özelliğinin gerekli olmayabileceğini gözlemlemişlerdir. Böyle durumlarda stok yenilemeye dayalı Kanban ya da temel stok gibi çekme sistemleri uygun olabilmektedir. Ancak ürünler müşteriye özel ise ya da siparişe göre yapılıyorsa etkin bir üretim planlama için MRP' nin geleceği temel alan özelliği değerli olabilmektedir. Bu özelliğe sahip üretim ortamlarında güvenlik süresi ve güvenlik stoğu politikalarını da hesaba katan MRP sistemleri etkin bir şekilde üretimi başlatmak ve sipariş gönderme gereksinimlerini karşılamak için kullanılabilir.

3.3 Çekme tipi üretim kontrol stratejileri

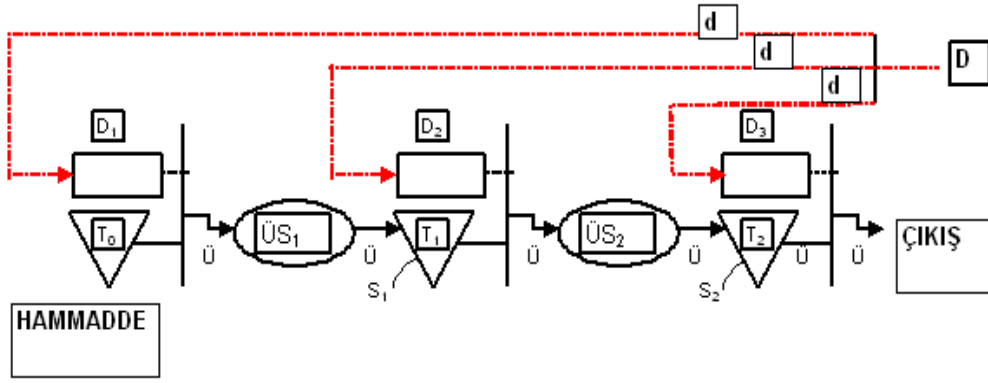
Çekme tipi üretim kontrol sistemlerinin en bilineni ilk bölümde de bahsettiğimiz gibi Kanban kontrol sistemidir. Kanban sistemi ilk olarak 70'lerin ortasında uygulanmaya başlamıştır ve eş zamanlı üretim felsefesi ile yakından ilgilidir (Zipkin, 1991), (Groenvelt, 1993). Kanban kontrol sisteminde kanban olarak adlandırılan üretimi başlatan yetkilendirme kartları her bir üretim aşamasına parçaların geçişine olanak

sağlamaktadır. Bu mekanizmanın avantajı her aşamadaki parça sayısı o aşamadaki kart sayısı ile sınırlı kalmaktadır. Sistemin en büyük dezavantajı ise yukarı üretim aşamalarının talepteki ani değişikliklere hemen uyum sağlayamamasıdır (Boonlertvanich, 2005).

Diğer çekme tipi kontrol stratejisi stok kontrol tekniğinden oluşmuş olan temel stok kontrol sistemidir (Clark ve Staff, 1960), (Kimball, 1988). Bu sistem ilk olarak sonsuz üretim kapasitesine sahip üretim/stok sistemleri için önerilmiştir ve koordinasyonu sağlamak için bitmiş ürün güvenlik stoğu fikri ile birlikte aşamalar arası güvenlik stoğu fikrini de kullanmaktadır. Bu sistemde her aşamanın hedeflediği bir bitmiş ürün stok miktarı vardır buna da temel stok denilmektedir. Son ürünün talep bilgisi ulaştığında bu bilgi anında yeni parçanın üretime girmesi için bütün aşamalara gönderilmektedir. Bu mekanizmanın eş zamanlı üretim felsefesine göre bir avantajı; talep bilgisini tüm aşamalara geçirerek bilgi kilitlenmesini engellemesidir. Dezavantajı ise sistemdeki parça sayısına bir sınır getirmemektir (Boonlertvanich 2005).

Temel stok kontrol mekanizması çok aşamalı üretim sistemini koordine eden basit bir çekme kontrol mekanizmasıdır. Bu sistem her bir çıktı tamponunda belli sayıda bitmiş ürün tutmaya çalışmaktadır. Eğer varsa gecikmiş talepleri de bu tamponlardan düşmektedir. Son kalan miktara her aşamanın temel stok seviyesi denilmektedir.

Bu sistemi yönetmek için talep bilgisinin (global talep bilgisi) bütün aşamalara iletilmesi gerekmektedir. Bu mekanizma ya kartlı bir sistem ile ya da bilgisayarlı bir sistem ile yapılmaktadır. Şekil 3.1 'de temel stok kontrol mekanizmasına ait tek ürünlü ve iki aşamalı bir sistemin kuyruk modeli görülmektedir. Di kuyruğu talebi içermektedir. Temel stok kontrolünde ardışık aşamalar arasında bir koordinasyon bulunmamaktadır. Parça sonraki aşamalara, daha sonraki aşamalardan gelen talep bilgisi ile gönderilmektedir.



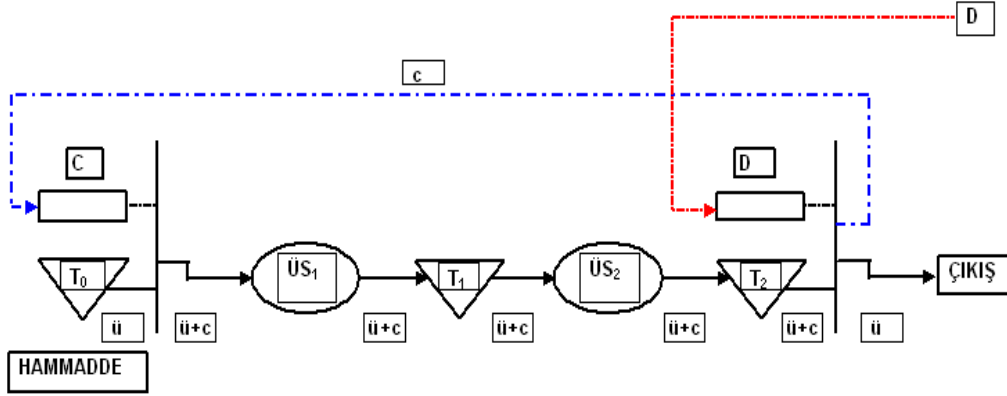
Şekil 3.1 : Temel stok kontrolü ile kontrol edilen iki aşamalı üretim hattı (Boonlertvanich,2005)

Sistem başlangıç aşamasında yani talep bilgisi sisteme ulaşmadan önce T_1 tamponunda s_1 kadar bitmiş ürün (süreç içi ürün) bulunmaktadır. Bu kontrol mekanizması şu şekilde işlemektedir. Müşteri talep bilgisi sisteme ulaşınca bu bilgi tüm aşamalara ulaştırılmak için $N + 1$ tane çoğaltılır ve ilgili D_i kuyruklarına iletilir sonuncusu ise D kuyruğuna gönderilerek T_2 deki bitmiş ürünün müşteriye gönderilmesini sağlar. Bu durumda iki olasılık vardır. Eğer T_1 de parça varsa bu parça bir sonraki aşamaya gönderilir ve temel miktarına ulaşmak için üretime başlanır ya da son aşama için müşteriye yollanır ve D_i talebi karşılanmış olur. Eğer T_1 de parça yoksa talep geciktirilir ve D_i kuyruğunda önceki aşamalardan yeni parça gelene kadar bekletilir.

Temel stok kontrolü her aşamada s_i isimli tek bir parametreye bağlı olan basit bir kontrol mekanizmasıdır. Bu parametre sistemde bitmiş ürünlerin sonraki aşamalara ilerlemesini etkilemektedir ama talep bilgisinin önceki aşamalara transferine müdahale etmez (Boonlertvanich, 2005). Sistemin üretim kapasitesi S_i parametresine dayanmaz. Üretim kapasitesi darboğaz aşamanın üretim kapasitesi ile belirlenmektedir. Bitmiş ürün tamponu temel stok seviyesi ile sınırlandırılmaktadır ama süreç içi stoklar sınırlandırılmamaktadır. Bir aşamada bir arıza oluşmuş ise talep süreci çıktı tamponundan parça almaya devam eder ve arızalanan aşama sonrasındaki süreçler parça yokluğundan dolayı süreç durana kadar normal bir şekilde işlemeye devam eder. Önceki aşamalar direk talep bilgisini almaya devam eder ve aynı şekilde parçaların üretimine devam eder. Bu nedenle arızalanan makinenin önünde sınırlandırılmamış bir şekilde stok oluşur. Temel stok politikası için her bir çıktı tamponundaki başlangıç stoğu diğer talebin gelmesine kadar geçen zamanda hattaki

malzeme miktarını kontrol eder. Clark ve Scarf (1960) Temel stok kontrolünün kapasite kısıtı olmayan üretim sistemleri için eniyi kontrol stratejisi olduğunu belirtmiştir. Ancak sınırlı kapasiteye sahip ve makinelerin güvenilirliğinin düşük olduğu iki makineli hatlarda Veatch ve Wein (1994) temel stok ile kanban arasındaki seçimin darboğaz makinenin yerine bağlı olduğunu göstermiştir. Eğer önceki aşamalardaki makineler darboğaz ise temel stok aksi halde Kanban kontrolünün tercih edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bunun nedeni bilgi akışının iki sistemde farklı olmasındandır.

Diğer bir kontrol sistemi ise Spearman ve diğ. (1990) tarafından önerilen CONWIP kontrol mekanizmasıdır. Bu sistem tüm hat boyunca oluşan toplam süreç içi stoğu kontrol etmek amacıyla tek çeşit kart kullanmaktadır. CONWIP sistemi ayrıca tek aşamalı Kanban sistemi olarak da görülebilir. CONWIP sistemi çalışma mekanizması itibari ile hattın sonunda çekme sistemi olarak hattın başından sonuna kadar da itme sistemi olarak kabul edilebilir. Sistemin itme kısmı klasik itme sistemi ile ilgili problemlerden etkilenebilir. CONWIP kontrol politikası sistemin popülasyonunu sabitlemektedir. Hedef popülasyon değerine ulaşıldığında siparişler sisteme ancak talep gerçekleştiğinde verilmektedir. Hammadde sisteme girdi olarak verilince sistemde mümkün olduğunca hızlı bir şekilde itilir. CONWIP mekanizması tüm sistem için süreç içi stoğun üst sınırını korur. Önceden belirlenen bu üst sınıra ulaşıncaya sistemden parça çıkmadıkça yeni siparişlerin sisteme ulaşmasına izin verilmez. Bu durum talebin geliş sıklığına bağlı olarak değişir. Şekil 3.2 'de tek çeşit ürünün üretildiği iki aşamalı üretim bir sisteminin CONWIP modelini göstermektedir. CONWIP kontrolü tek aşamalı kontrol olarak da algılanabilmektedir. ÜS1 ve ÜS2 sırasıyla üretim süreci 1 ve 2'yi gösterir, T_0 ise hammadde tamponunu göstermektedir. T_i kuyruğu i . aşamanın çıktı tamponunu göstermektedir. ÜSi kuyruğu i . aşamaya gönderilen toplam parçaları göstermektedir. D kuyruğu talebi içerir ve C kuyruğu CONWIP kartlarını/sinyallerini içermektedir.



Şekil 3.2 : CONWIP ile kontrol edilen iki aşamalı bir üretim sistemi (Boonlertvanich,2005)

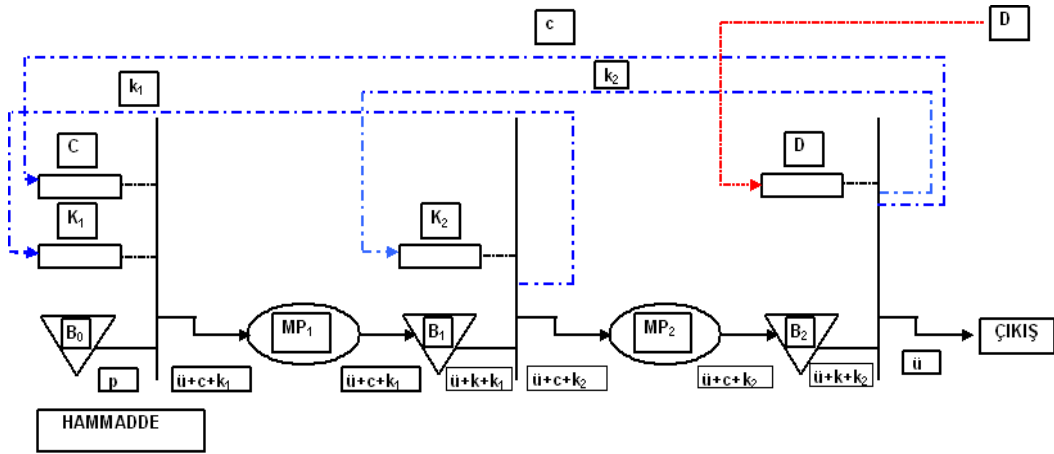
Sistem başlangıç durumunda iken yani herhangi bir talep sisteme gelmeden T_1 tamponu parça içermez. Yalnızca T_2 tamponu C adet üzerine CONWIP kartı takılı bitmiş ürün içerir. Müşteri talebi sisteme ulaşınca T_2 tamponundan bitmiş ürünün gönderilmesi gerekir. Bu anda iki olasılık vardır. Eğer T_2 tamponunda parça varsa (başlangıç koşulunun bu olması gerekir) bu parça müşteriye gönderilir ve CONWIP kartı parçadan çıkarılarak C kuyruğuna transfer edilir. Eğer tamponda parça yoksa talep ertelenir ve önceki aşamalardan yeni parça gelene kadar D kuyruğunda bekler. Son aşamanın dışındaki diğer aşamalar itme sisteminin çalışma mantığı ile aynı mantıkta çalışmaktadır. Parçalar sonraki aşamalara kilitlenme olmadan aktarılır.

CONWIP kontrolü tüm sistem için tek bir parametreye CONWIP sayısına, C dayalı basit bir kontrol mekanizmasıdır. Bu parametre hem bitmiş ürünlerin sonraki aşamalara transferini hem de talebin önceki aşamalara gönderilmesini etkilemektedir. İlk ve son aşamalar hariç aşamalar arasında talep transferi yoktur.

CONWIP hattında bir aşamada problem olursa sonraki aşamalardaki malzeme miktarı aşamalı olarak arızaya uğramaktadır. Tüm CONWIP kartları problem olan aşamanın önünde toplanınca sisteme yeni parçaların girişi engellenecektir.

CONWIP her parçaya tek çeşit kart takılarak uygulanabilmektedir. Bitmiş bir ürün sistemi terk edince diğer parçanın sisteme girişine izin vermek amacıyla ilgili ürünün kartı çıkarılıp üretimin ilk aşamasına yollanır. Diğer bütün aşamalar sisteme gönderilen parçaları işlemektedir bu nedenle kartları ara aşamalara göndermek gerekmemektedir.

Diğer bir çekme sistemi ise CONWIP ile Kanban kontrol sisteminin birleştirilmesi ile elde edilen CONWIP Kanban melez sistemidir. Bazı durumlarda Temel Stok ve CONWIP kontrolü ile oluşan ara stok çok fazla olabilir. Örneğin bazı aşamalar darboğaz ise bu aşamaların önünde oluşan stok uzun süre sistemde kalacaktır. Eğer darboğaz aşamanın önündeki aşamalar hızlı ve güvenilirse darboğaz makinenin önünde oluşan süreç içi stok en büyük seviyesine ulaşmadan stoğu sınırlayabiliriz. Bu nedenle melez CONWIP Kanban kontrolünden oluşan sistem incelenebilir. Bu sistemde talep bilgisi CONWIP sinyali sayesinde üretimi başlatmak için direk olarak bitmiş ürün tamponundan ilk aşamaya gönderilir ve ayrıca her aşamadaki stok kontrolü Kanban mekanizması ile gerçekleşir.



Şekil 3.3 : İki aşamalı bir üretim sisteminde CONWIP KANBAN kontrol mekanizması (Boonlertvanich,2005)

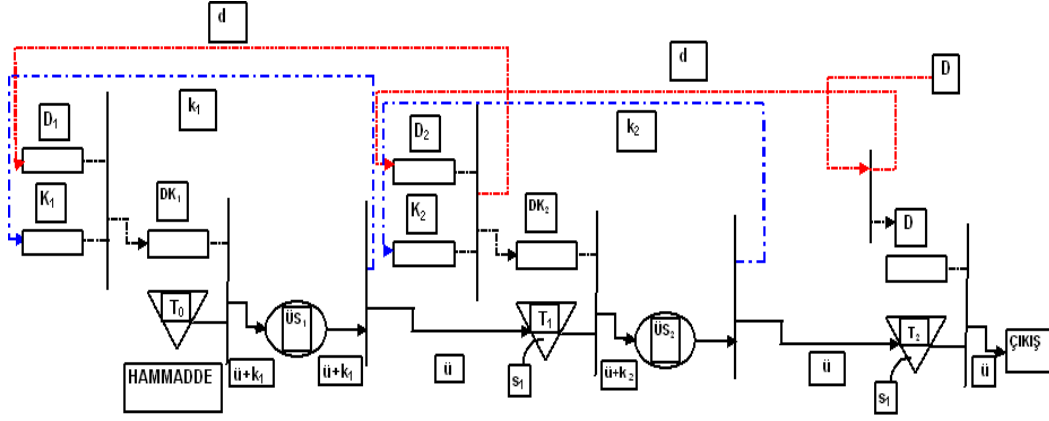
Yukarıdaki şekilde tek ürün çeşidi olan iki aşamadan oluşan CONWIP Kanban kontrol politikasının kuyruk modelidir. B_i kuyruğu aşama i deki bitmiş ürünleri, aşama i kanbanlarını ve CONWIP kartlarını içeren çıktı tamponudur. K_i kuyruğu aşama i kanbanlarını ve c kuyruğu CONWIP kartlarını içermektedir. Kanban ve CONWIP kart hareketleri mavi kesikli çizgiler ile gösterilmiştir.

Sistem başlangıç durumundayken B_2 kuyruğu her birinde aşama 2 kanbanı ve CONWIP kartı olan K_2 adet bitmiş ürün içermektedir. B_1 kuyruğu $C - k_2$ adet aşama iki bitmiş ürünü içermektedir. Bu ürünlerin her birinde aşama 2 kanbanı ve CONWIP kartı vardır. K_1 kuyruğunda $k_1 - (c - k_2)$ adet serbest aşama bir kanbanı vardır. Diğer tüm kuyruklar boştur.

CONWIP Kanban kontrolü şu şekilde işlemektedir. Müşteri talebi sisteme ulaşınca B_2 tamponundan bitmiş ürünün transferini isteyen D kuyruğuna katılır. Bu anda iki

olasılık vardır. Eğer B_2 de parça varsa üzerindeki aşama iki kanbanını ve CONWIP kartını serbest bırakarak müşteriye teslim edilir. Kanban üzerindeki talep sinyali ile birlikte bir önceki aşamaya gönderilir. CONWIP kartı hammaddenin sisteme girmesini sağlayan C kuyruğuna gönderilir. Eğer B_2 de parça yok ise talep geciktirilir ve aşama 2 'nin B_2 sinden parça gelene kadar D kuyruğunda bekler. Yeni biten parçalar hemen müşteriye gönderilir ve üzerindeki kanban K_2 kuyruğuna gönderilir. K_2 kuyruğuna kanban sinyali ulaşır ulaşmaz aşama 2'ye yeni parçanın gelişine izin verilir. Bu seferde iki durum oluşabilir. Eğer B_1 kuyruğunda aşama 1 kanbanı takılı parça varsa aşama bir kanbanı parçadan çıkarılıp aşama 2 kanbanı takılır. Aşama 2 kanbanı ve parça $ÜS_2$ 'ye gönderilir. Aşama 1 kanbanı aşama 1'e parça aktarımına izin veren K_1 'e gönderilir. Eğer B_1 tamponunda parça yoksa aşama 2 kanbanı B_1 tamponuna yeni parça gelene kadar K_2 'de bekler. Bu şekilde müşteri talep bilgisi bir önceki aşamaya kanban kartı ile ilk aşamaya CONWIP kartı ile gönderilir. Eğer aşama i tamponunda bitmiş ürün yoksa kanban önceki aşamaya gönderilmez ve önceki aşamalardan parça gelişi geçici olarak durdurulur ve B_i tamponunda parça olunca yeniden başlatılır. Bu kontrol modelinde istemdeki toplam süreç içi stok CONWIP kartları ile kontrol edilmektedir. CONWIP kanban kontrol mekanizması her aşamada ki olarak adlandırılan tek parametreye bağlıdır ve tüm sistem için C olarak adlandırılan artı bir parametreye sahiptir. Kanban ve CONWIP sayıları hem parçaların sonraki aşamalara ilerlemesini hem de talep bilgisinin önceki süreçlere transferini etkilemektedir.

Kanban kontrol mekanizmasının diğer bir versiyonu ise Kapsamlı kanban kontrol sistemidir (Generalized Kanban Control). Şekil 3.4'de Kapsamlı kanban kontrolünün iki aşamalı bir üretim sisteminde kuyruk modelini göstermektedir. Kapsamlı kanban kontrolünde her bir i aşaması bu aşamadaki üretimi başlatmak için ki adet kanbana sahiptir. Başlangıçta tüm i aşaması kanbanları K_i kuyruğundadır. T_i tamponunda si adet aşama i parçası vardır ve T_0 hammadde tamponunu gösterir. I . üretim aşaması parça talepleri iki kuyrukta tutulmaktadır. D_i kuyruğu yalnızca talebi içerir, DK_i kuyruğu sonraki aşamalardan gelen talep bilgisini tetikleyen aşama i kanbanlarını içerir.



Şekil 3.4 : Genişletilmiş kanban kontrolü ile kontrol edilen iki aşamalı üretim hattı (Boonlertvanich,2005)

Genişletilmiş kanban kontrolünün kanban kontrolünden farklı yönü her aşama iki parametreye dayanmaktadır bunlar; her aşamadaki kanban miktarı k_i ve o aşamanın yedek stok miktarı s_i 'dir.

Genişletilmiş kanban kontrolü şu şekilde işlemektedir. Müşteri talebi sisteme ulaştığı anda iki talebe ayrılır. İlk talep T_2 'deki bitmiş ürünün müşteriye gönderilmesini talep eden D kuyruğuna katılır, ikinci talep bilgisi ise ikinci üretim aşamasının üretime başlamasını talep eden D_2 kuyruğuna katılır. D kuyruğuna ilk talep bilgisi ulaştığında eğer T_2 tamponunda parça varsa bu parça müşteriye gönderilir yoksa T_2 tamponuna parça gelene kadar talep bekletilir. İkinci talep D_2 kuyruğuna katılınca eğer K_2 kuyruğunda aşama 2 kanbanı varsa talep bilgisi D_1 kuyruğuna gönderilir. Aşama 2 kanbanı DK_2 kuyruğuna hareket ederek aşama 2'deki üretimi başlatır. Eğer T_1 tamponunda parça varsa bu parça DK_2 kanbanı ile birleşir ve $ÜS_2$ 'ye gönderilir. Eğer yoksa kanban T_2 'ye parça gelene kadar DK_2 'de bekletilir. Eğer K_2 kuyruğunda aşama 2 kanbanı yoksa talep K_2 kuyruğuna kanbanın gelmesini bekler ve bu talep bilgisi önceki aşamalara gönderilmez.

Genişletilmiş kanban kontrolü ile kanban kontrolü arasında 3 ana farklılık vardır. Bunlar;

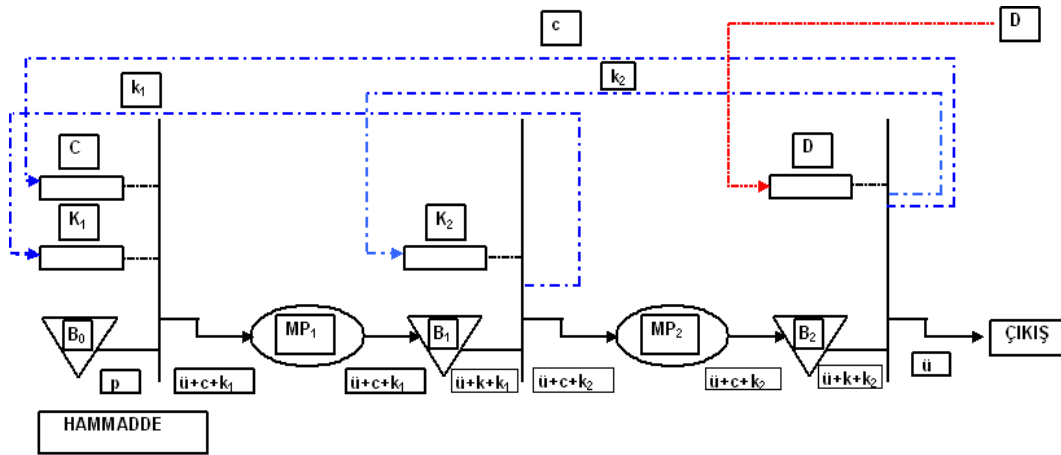
İlk fark talep bilgisi önceki aşamalara parçaların hareketinden ayrı olarak gönderiliyor. Genişletilmiş kanban kontrolünde i aşamasındaki bir talebin önceki aşamalara transferi için iki durumun oluşması gerekmektedir. İlki D_{i+1} kuyruğuna talep bilgisinin ulaşması gerekir ve aşama $i+1$ 'de K_{i+1} kanbanının olması gerekir. Kanban kontrolünde talep daima kanbanlarla ilerler bu nedenle iki duruma ek olarak talep bilgisi aşama i nin çıktı tamponunda bitmiş ürün varsa önceki aşamalara

ilerletilir. Bu durumda genişletilmiş kanban kontrolünde talebin bilgisi ve kanbanlar basit kanban kontrolünden daha çok bölünmektedir. Bu durum ayrıca verilen bir aşamada talep bilgisinin önceki aşamalara transferinde bitmiş ürünün sonraki aşamalara transferi ile tamamen senkronize olmamaktadır.

İkinci fark kanban kontrolünde aşama i kanbanı yalnızca parçanın üretimi o aşamada gerçekleşince yapılmaktadır. Genişletilmiş kanban kontrolünde kanban $ÜSi$ aşamasındaki üretim sürecini tamamlar tamamlamaz çıkartılır. Bu durum kanbanların genişletilmiş kanban kontrolünde basit kanban kontrolünden daha erken serbest bırakıldıklarını göstermektedir.

Son fark ise genişletilmiş kanban kontrolünde başlangıçta i aşamasında s_i adet kanbansız parça ilgili aşamanın çıktı tamponundadır ve K_i kuyruğunda k_i adet aşama i kanbanı vardır. Bu durum parçaların sonraki aşamalara transferinin ve talebin önceki aşamalara transferinin parçalı ayrımı durumunu beraberinde getirmektedir.

Kanban kontrolünün diğer bir versiyonu ise Uzatılmış kanban kontrolü'dür (Extended Kanban Control). Uzatılmış kanban kontrolü genişletilmiş kanban kontrolüne çok benzemektedir. Farkı ise talep bilgisinin değiştirilmeden aşamalara gönderilmesidir.



Şekil 3.5 : Uzatılmış kanban ile kontrol edilen iki aşamalı üretim hattı (Boonlertvanich,2005)

Aşama i 'nin çıktı tamponu B_i kuyruğu aşama i kanbanı ve aşama i bitmiş ürünü içermektedir. B_i kuyruğu ise hammadde tamponudur. D_i kuyruğu aşama i bitmiş ürünlerinin üretim talebini içermektedir. D kuyruğu ise müşteri talebi tamponudur. K_i kuyruğu ise serbest aşama i kanbanlarını içermektedir. Genişletilmiş kanban kontrolünde olduğu gibi uzatılmış kanban kontrolünde de her aşamada iki parametre

vardır bunlar aşama i kanbanları ve yedek stok seviyesi s_i 'dir. Başlangıç durumunda B_i tamponunda aşama i kanbanı takılı bitmiş ürün bulunmaktadır. K_i kuyruğunda ise $k_i - s_i$ adet serbest aşama kanbanı vardır ve diğer tüm kuyruklar boştur. Uzatılmış kanban şu şekilde işlemektedir. Müşteri talebi sisteme ulaştığı anda $N+1$ adet talep bilgisi olarak çoğaltılır. İlk talep B_2 'den bitmiş ürünün müşteriye gönderilmesini talep eden D kuyruğuna katılır ve diğer N talebin her biri D_i kuyruğuna katılır ve aşama i 'deki yeni parçaların üretime girmesini sağlar. D kuyruğuna ilk talep geldiğinde eğer B_2 tamponunda parça varsa parçadaki aşama i kanbanını çıkartarak müşteriye yollar. Çıkartılan kanban K_2 kuyruğuna gönderilir. Yoksa Talep B_2 'ye ürün gelene kadar ertelenir. D_i kuyruğuna talep gelince eğer hem aşama i 'de K_i kuyruğunda hem de aşama $i-1$ 'de B_{i-1} 'de parça varsa parçadan aşama $i-1$ kanbanı çıkartılır. K_i kuyruğundan bir tane aşama i kanbanı alınır ve parçaya takılarak MP_i üretim sürecine gönderilir. Aynı anda $i-1$ kanbanı K_{i-1} kuyruğuna gönderilir. Eğer B_{i-1} 'de parça yoksa ya da aşama i 'de K_i kanbanı yoksa talep ertelenir ve D_i kuyruğunda bekletilir.

Uzatılmış kanban kontrolü ile kanban kontrolü arasında üç fark vardır. İlki Uzatılmış kanban kontrolünde müşteri talebi sisteme geldiği anda talep sistemin tüm aşamalarına iletilir. Sistemdeki tüm aşamalar bitmiş ürün stoğunu yenilemek için yeni bir parçanın üretilmesi gerektiğini bilir. Diğer fark ise genişletilmiş kanban kontrolünde olduğu gibi Uzatılmış kanban kontrolünde de kanbanlar talep bilgisinden bağımsız olarak önceki aşamalara iletilir. Aşama i kanbanı serbest kalınca ve K_i kuyruğuna gönderilince B_{i-1} tamponundaki bitmiş ürünün MP_i 'ye transferi gerçekleşmektedir. Bu nedenle Uzatılmış kanban kontrolünde kanbanların görevi bitmiş ürünlerin sonraki aşamalara taşınmasını sağlamaktadır. Kanbanlar kanban kontrolünde olduğu gibi talep bilgisinin önceki aşamalara gönderilmesini sağlamaz.

Son fark ise Uzatılmış kanban kontrolünde Genişletilmiş kanban kontrolündeki gibi her aşamada iki parametre vardır. Başlangıçta her i aşaması için s_i adet çift (aşama i parçaları ve aşama i kanbanları) ve $k_i - s_i$ adet aşama i kanbanı vardır.

3.3.1 Statik çekme sistemleri

Çekme tipi kontrol sistemlerinin ön gereksinimlerinden bir tanesi de üretimin düzgünleştirilmesi olarak da bilinen hat dengeleme işidir. Hat dengeleme takt

süresini (belirli bir zaman biriminde talebi karşılamak için üretilmesi gereken ürün miktarı) karşılamak için işin operatörlere dağıtılma sürecidir. Hat dengelemesi için öncelikle mevcut durumun anlaşılması gereklidir. Hattaki her operasyonu tanımlayan ve operatörlerin sayısını gösteren bir harita çizilir. Her bir operasyonun çevrim süreleri toplanır ve toplam çevrim süresi elde edilir. Sonrasında toplanan verinin görsel bir sunumu olan operatör denge grafiği çizilir. Bu grafik her bir operasyonun çevrim süresini takt süresi ile karşılaştırır. Böylece nerelerde geliştirme yapılacağı anlaşılır. Son olarak da gerekli operatör sayısı hesaplanır ve her operatöre takt süresine uygun olarak iş atanması yapılır.

Üretimin düzgünleştirilmesi ile ilgili alt başlıklardan bir tanesi yük dengeleme ve düzgünleştirme kavramıdır. Yük dengeleme herhangi bir hatta ürünlerin tipi ve miktarlarının eşitlenmesidir. Buna aynı zamanda üretimin düzgünleştirilmesi de denilir ve yalın üretim kavramının önemli bir parçasıdır. Yük dengeleme müşteri siparişlerini sıraya sokar. Bu durum günlük değişiklikleri düzgünleştirerek uzun dönemde talebi karşılamaya yardımcı olmaktadır. Örneğin; bir ayda 50 ek talep gelirse bu talep belirlenen günlük üretim çizelgesini fazla bozmadan her günün içerisine yedirilir. Üretimin düzgünleştirilmesi bir üründen talep miktarının tamamını bir anda üretip bitirmek değildir. Talebi temrin süresine kadar daha küçük parçalara bölüp belirli bir zamana yaymaktır. Bu durumda da en önemli nokta hazırlık sürelerinin düşürülmesidir. Üretimin düzgünleştirilmesi mantığını anlattıktan sonra bu olayın düzgün çalışabilmesi için hiç kuşkusuz ki talebin değişkenliğinin çok olmaması gereklidir. Eğer talepte tahmin edilemeyecek derecede çok değişkenlik varsa üretimin düzgünleştirilmesi durumu mümkün olmamaktadır. Talebin düzgün olarak gelmemesi en başta takt süresinin hesaplanmasını mümkün kılmamaktadır. Bu da zincirin ilk halkadan bozulmasına neden olmaktadır.

Üretimin düzgünleştirilmesi durumu başarı ile uygulandıktan sonraki adım ise kanban sayılarının belirlenmesidir. Kanban sayılarının belirlenmesi önemli bir tasarım parametresidir çünkü bu parametre tüm sistem performansı kanban sayılarından direk olarak etkilenmektedir (Chang, 1996). Örneğin az sayıda kanban ile çalışan bir çekme sisteminde yarı mamül stoğu az olmaktadır ama kanban sayısı az olduğu için siparişlerin üretim temin süreleri uzamaktadır. Bu durumun tersi de kanban sayılarının çok olması durumunda ortaya çıkar. Bu nedenle yarı mamül stoğu

ile üretim temin süresi arasında bir değiş-tokuş ilişkisi bulunmaktadır ve kanban sayısına bu iki durum göz önüne alınarak karar verilmelidir.

Kanban sayılarına karar vermede birçok yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan ilki Little kuralı olarak bilinen kanban sayısı bulma formülüdür. Diğer bir yöntem ise Chang ve Yih (1994 b) tarafından önerilen eniyi sistem performansı için kanban sayılarını hesaplayan benzetimli tavlama algoritmasıdır. Bu yaklaşım belirli bir zaman aralığında sistemde kullanılan sabit sayıda kanban miktarını hesaplamaktadır. Bulunan kanban sayısı talebin gelişler arası dağılımının süresine ve üretim işlem sürelerine bağlıdır.

3.3.2 Dinamik çekme sistemleri

Talebin değişkenlik gösterdiği ve işlem sürelerinin değişken olduğu dinamik çevrelerde statik kanban kontrol mekanizması iyi bir sistem performansı sağlamamaktadır. Bu tür çevrelerde yukarıda bahsedilen takt süresi ve üretimin düzgünleştirilmesi kavramları tek başlarına pek faydalı olmamaktadır. Bu sistemler için kanban sayılarının bir kez hesaplanıp bırakılmadığı dinamik kanban kontrolü gerekli olmaktadır. Dinamik kanban kontrolünde mevcut sistem durumuna bakılarak bir sonraki karar aşamasında kaç tane kanban kullanılacağı belirlenmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalardan bir tanesi de Chang (1996) tarafından yapılan kanban sayılarını dinamik olarak ayarlayan bulanık mantığa dayalı bir sistem ile çalışan algoritma kullanılmaktadır. Önerilen sistem benzetim modeli ile incelenmiştir. Çalışma ile ilgili deneyler bulanık sistemleri yaratmadaki genel yöntemleri değerlendirmek amacı ile ve bulanık mantığa dayalı sistemleri kullanarak kanban kontrol yönteminin değerlendirilmesi amacı ile yapılmıştır. Bu çalışmada genişletilmiş kanban kontrolünde dinamik kanban kontrolü için bulanık bir sistem önerilmiştir. Son olarak çalışmada önerilen bulanık sistem yaklaşımı aynı sistem koşulları altında benzetimli tavlama algoritması ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak da iki sistemin birbirinden çok farklı olmadığı ancak bulanık sistemin daha genel koşullara uygulanabileceği tezine ulaşılmıştır.

Dinamik kanban sistemleri ile ilgili yapılan bir diğer çalışma ise Gupta ve Al Turki (1997) tarafından yapılan çalışmadır. Bu çalışmada bir üretim dönemi boyunca belirsizliklerin neden olduğu kilitlenme ve starvasyonu dengelemek için kanban sayılarını sistematik ve dinamik olarak ele alan bir algoritma önerilmektedir. Sunulan

algoritmanın adımları ve etkinliği örnek bir model üzerinde detaylandırılmaktadır. Çalışma işlem sürelerinin stokastik ve talebin değişken olduğu çevrelerde üretim dönemi boyunca talepteki beklenen dalgalanmadan ya da işlem sürelerinin tahmin edilememesinden kaynaklanan tutarsızlıkları dengelemek için kanban sayılarını değiştirmenin karlı olduğunu savunmaktadır. Bu durum ile ilgili olarak kanban sayılarını işlem sürelerindeki ve talepteki varyasyonlar ile baş etmek için kanban sayılarını sistematik olarak değiştiren algoritma sunulmaktadır. Çalışmadaki performans ölçütleri siparişin sistemde kalış süresi, yarı mamül stok miktarı, siparişin tamamlandığı süre ve ertelenmiş sipariş sayısı olarak alınmıştır. Bu performans ölçütlerine dayanarak önerilen esnek kanban sistemi geleneksel kanban sistemi ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; çalışmada önerilen esnek kanban sisteminde siparişin sistemde kalış süresi geleneksel kanban sistemine göre daha fazladır. Bunu nedeni esnek kanban sisteminde kanban sayılarının talep değişkenliğine bağlı olarak artırılıp azaltılmasıdır. Aynı şekilde sistemde bulunan yarı mamül miktarı da esnek kanban sisteminde daha fazladır. Bunun nedeni ise esnek kanban sisteminde işlem talepteki dalgalanmayı dengelemek için erken başlar ve süreç erken tamamlanır ve bitmiş ürün olarak tutulur. Diğer bir taraftan eğer ürünler üretilir üretilmez gönderilebiliyorsa esnek kanban sistemlerinde, sistemde geçirilen zaman, süreç içi stok değerlerinde gelişme görüleceği öne sürülmektedir. Eğer siparişin gecikme olasılığı arttırılırsa bahsedilen performans ölçülerinde yine bir iyileşme olduğu gösterilmiştir.

Çalışmada önerilen esnek kanban sistemi talepteki dalgalanmaya önceden belirli miktarda bitmiş ürün üreterek reaksiyon göstermektedir. Geleneksel kanban sisteminde olmayan kanban sayıların dinamik olarak ayarlandığı esnek kanban sisteminde talep daha hızlı bir şekilde karşılanmaktadır.

Son olarak oluşturulan sistemde toplam ertelenen sipariş sayısı geleneksel ve esnek sistemlerde karşılaştırılmıştır. Esnek kanban sisteminde kanban sayıları dinamik olarak hesaplandığı için sipariş gecikmesi bulunmamaktadır.

Esnek kanban sistemleri ile ilgili olarak yapılan bir diğer çalışma ise Takahashi ve Nakamura (2002) tarafından yapılan reaktif kanban ile reaktif CONWIP sisteminin talebin değişken olduğu bir ortamda benzetim yardımı ile karşılaştırma çalışmasıdır. Çalışmada eş zamanlı sipariş sistemleri anlatıldıktan sonra Kanban ve CONWIP sistemleri kurulmuştur. Tampon büyüklüğünü için bir kontrol kuralı geliştirmede

temel bilgi edinmek için iki çeşit eş zamanlı sipariş sisteminin performansı benzetim deneyleri ile çeşitli durağan talep koşullarında analiz edilmiştir. Sonuçlara dayanarak reaktif eş zamanlı sipariş sistemleri önerilmiştir ve önerilen sistemlerin performansı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak önerilen her iki sistemin de talepteki olağan olamayan değişikliklere uyum sağlayabileceği gösterilmiştir ayrıca talebin ortalama bekleme süresinin belirli bir seviyenin altında tutulabileceği gösterilmiştir. Reaktif kanban sisteminde toplam yarı mamül stoğunun ortalaması tampon büyüklüğünü kontrol etmeyen geleneksel kanban sisteminden çok daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak reaktif CONWIP sisteminde toplam yarı mamül stoğunun ortalaması birbirine güçlü derecede ya da zayıf derecede bağımlı işlem süreleri altında tampon büyüklüğünün kontrol edilmediği geleneksel CONWIP sisteminden çok daha fazladır ya da geleneksel CONWIP sistemi ile eşittir. Sonuçlara dayanarak önerilen sistemlerden reaktif kanban sisteminin reaktif CONWIP sistemine göre talepteki belirsizliklerle baş etme konusunda çok daha verimli olduğu öne sürülmüştür.

3.4 Çekme Sistemi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Chang ve Yih (1994) modifiye bir kanban sistemi olan Jenerik kanban sistemini önermişlerdir. Çalışmanın amacı dinamik çevrelere uyumlu ve kullanışlı modifiye bir kanban sistemi önermektedir. Bu kanban sisteminin de jenerik kanban sistemi olduğu belirtilmiştir.

Bu sistem itme sistemine benzer şekilde işlemektedir ancak sistem performansı açısından daha esnek bir sistem olmakla beraber darboğazın yeri açısından daha güçlü bir sistemdir. Önerdikleri sistemin dinamik çevrelere uygunluğu ispatlanmıştır.

Çalışmada önerilen jenerik kanban sistemindeki kartlar sistemdeki iş sayısını (WIP) kontrol etmek için kullanılmaktadır. Jenerik kanban ürüne değil sürece tahsis edilmiştir. Önerilen jenerik kanbanın geleneksel kanban sisteminden farkı bir iş sisteme işlemleri için gerekli tüm kanbanları toplamadan giremiyor. İş bir istasyonda tamamlanınca o sürece ait kanban bırakılıyor ve kanban sonraki iş için bekletiliyor.

Kanban sayısı önerilen kanban için önemli bir parametre olmaktadır. Eğer kanban sayısı çok az ise sisteme az iş girer ve yarı mamül stoğu buna bağlı olarak az olur

diğer siparişler sisteme girmek için kanbanların serbest kanban bekler bu da siparişin temin süresini uzatır. Kanban sayısı çoksa da tersi bir durum oluşur.

Önerilen sistemin performansını alternatif kontrol disiplinleri ile karşılaştırmak için benzetim modeli kurulmuştur. İncelenen sistemde iki çeşit ürün üretilmekte ve ürünlerin işlem süreleri düzgün dağılıma uymaktadır. Makinelerin işlem süreleri üstel dağılıma uymakta ve yalnızca sürece bağlıdır. Taleplerin gelişer arası süresi üstel dağılıma uymaktadır. Talep hacmi ise belirli değerler arasında düzgün dağılıma uymaktadır. Üretimde parti büyüklüğü vardır.

Sistemde performans ölçütü olarak çevrim süresi ve yarı mamül stoğu alınmıştır. Çevrim süresi de ardışık iki bitmiş sipariş arasındaki süre olarak kabul edilmiştir. Yarı mamül stoğu ise belirli bir zamanda sistemde olan parça sayısı olarak tanımlanmıştır. Önerilen sistem tek aşamalı itme tipi bir üretim sistemini ile karşılaştırılmıştır ve önerilen jenerik kanban sisteminin itme sistemine göre en üstün yönünün kanban kartlarının fiziksel ürüne göre daha kolay bir kontrol sağlamasıdır.

Jenerik kanban sisteminin performansı iki farklı parti büyüklüğü ile ve değişik kanban sayıları ile incelenmiştir. Oluşturulan grafikte iki performans ölçütü arasındaki değiş-tokuş ilişkisi incelenmiştir. Sonuç olarak da kanban sayısı belirli bir seviyeye gelince kartların miktarını arttırmak yalnızca yarı mamül stoğunu arttırmakta çevrim süresinde bir gelişmeye neden olmamaktadır. Ayrıca parti büyüklüğünün küçük olması çevrim süresinin artmasına ve yarı mamül stoğunun azalmasına neden olmaktadır. İtme sisteminin ise aynı parti büyüklükleri ele alınarak performansları karşılaştırılmıştır. İtme sisteminde incelenen durum ise tampon büyüklüğüdür. İtme sisteminde daha büyük tampon büyüklüğü ile iş istasyonunun kilitletmesinin daha az olduğu ve çevrim süresinin daha az olduğu ancak yarı mamül stoğunun daha fazla olduğu görülmüştür. Jenerik sistem ile itme sistemi karşılaştırıldığında parti büyüklüğünün performans ölçüsü üzerindeki etkisinin benzer olduğu görülmektedir. Parti büyüklüğünün sabit bir değeri alınarak jenerik kanban ile itme sisteminin performans ölçütleri karşılaştırılmıştır. Jenerik kanban sisteminin performansının kanban sayıları küçükken daha esnek olduğu görülmüştür. Bu iki sistem karşılaştırılırken darboğaz istasyonunun yerinin sistem performansı üzerindeki etkisini anlamak için değiştirilmesi söz konusudur. Bu deneyin sonucunda darboğazın yerinin itme sisteminin performansını etkilediği görülmüştür. İki sistemde de aynı tampon büyüklüğünde işlem süreleri eşit kaldığı için benzer çevrim

süreleri gözlemlenmiştir. Ancak yarı mamül stok seviyesinin darboğaz son istasyonlara doğru kaydıkça itme sisteminde arttığı gözlemlenmiştir.

Önerilen jenerik kanban sisteminin performansı, her kanbanın belli bir ürün tipine atandığı tahsisli kanban ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak iki sistemin performansının eşit olduğu söylenememekte ancak tahsisli kanban sistemi ile elde edilecek performansın benzerinin jenerik kanban ile de elde edilebileceği vurgulanmıştır. Jenerik kanban sistemi son olarak da CONWIP ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak iki sisteminde benzer olduğu gözlemlenmiştir. Jenerik kanban sisteminde kanban sayısı her istasyonda aynı kalırsa sistemin performansının CONWIP sistemi ile aynı olduğu gözlemlenmiştir.

Tüm bu sonuçlara dayanarak jenerik kanban sisteminin tahsisli kanban ve CONWIP sistemine göre daha baskın olduğu vurgulanmıştır.

Takahashi ve Nakamura (1999) iki çeşit eş zamanlı sipariş sisteminden bahsetmektedirler. Bunlar kanban ve eş zamanlı sipariş sistemidir. Eş zamanlı sipariş sistemleri için tampon büyüklüğünü talepteki kararsız değişikliklere bağlı olarak kontrol edilen bir mekanizma sunulmaktadır. Çalışmada sunulan sipariş sistemlerinde siparişi başlatma mekanizması farklıdır. Kanban sistemi siparişi başlatmak için üç çeşit bilgi kullanırken eş zamanlı üretim sistemi tek çeşit bilgi kullanmaktadır. Bu durumda da iki sistemin performansı farklı olmaktadır. Bu iki sisteme ek olarak itme tipi üretim sistemi de performans karşılaştırması için kullanılmaktadır. Çalışmada eş zamanlı sipariş sistemlerinde reaktif kontrol mekanizması olarak her stok noktasındaki tampon büyüklüğünün yeniden düzenlenmesi düşünülmüştür.

Çalışmada önerilen sistemlerde talepteki kararsız değişiklikler üstel ağırlıklandırılmış kayan ortalama şemaları (EWMA) ile saptanmaktadır. Önerilen sistemlerin performansı benzetim deneyleri ile analiz edilmiştir ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışmada sunulan reaktif eş zamanlı sipariş sistemleri talepteki kararsız değişiklikleri saptıyor ve saptanan bu değerlerle ilgili olarak göz önüne alınan performans ölçütlerindeki değiş-tokuş ilişkisine dayanarak tampon büyüklüğü revize ediliyor. Önerilen iki sistemin performansı kararsız talep koşullarında benzetim deneyleri ile karşılaştırılıyor. Performans ölçütleri ise talebin ortalama bekleme süresi ve ortalama toplam yarı mamül stoğudur. Modellenen sipariş sistemlerinin

performansı talebin kararlı olduğu durumlarda incelenmiştir. Ayrıca talepteki kararsız değişikliklere cevap veren bir kontrol kuralı geliştirmek için tampon büyüklüğünün performans ölçütleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Takahashi ve Nakamura bu çalışmada talepteki kararsız değişiklikleri belirlemek için zaman serisi verilerinden yararlanmaktadır. Gözlenen zaman serisi verileri üstel düzgünleştirme ile filtrelenmektedir. Filtrelenen bu veriler EWMA şemalarında işaretlenip alt ve üst kontrol limitleri ile karşılaştırılmaktadır. Tampon büyüklüğünün uygun olduğu aralığın alt ve üst kontrol limitleri de benzer şekilde hesaplanmaktadır. Limitlerin dışında kalan verilerin sistem üzerindeki etkisini absorbe etmek için tampon büyüklüğünü değiştiren bir fonksiyon önerilmiştir. Çalışmada kontrol kolaylığını sağlamak için her aşamadaki tampon büyüklüğü eşit alınmıştır. Talebin gelişler arası süresinin belirli değerlerinde ve talebin ortalama bekleme süresinin çok düşük seviyede olmasının istendiği durumlarda kanban sistemi eş zamanlı sipariş sisteminden daha az yarı mamul stoğu ile işlemektedir. Ancak ortalama bekleme süresi arttıkça eş zamanlı sipariş sisteminin daha az stok ile işlediği gözlemlenmiştir. Çünkü eş zamanlı sipariş sistemi siparişi kanban sistemine göre daha erken başlatmaktadır. Bu da talebin bekleme süresini azaltırken ortalama yarı mamul stoğunun artmasına neden olmaktadır. Talebin ortalama bekleme süresinin azalması yetersiz tamponla işleyen sistemlerin değişikliklere daha duyarlı olmasına neden olmaktadır.

Çalışmada yapılan karşılaştırmalar sonucunda çekme tipi üretim sistemlerinin diğer üretim sistemlerine üstünlük sağladığı görülmüştür. Talebin kararlı olduğu durumlarda yapılan benzetim çalışmaları sonucunda talebin gelişler arası süresi azaldıkça ortalama bekleme süresi artmaktadır. Bu azalışın hızı eş zamanlı sipariş sistemi ve kanban sisteminde farklıdır ancak etki aynıdır. Diğer yandan toplam ortalama yarı mamul stoğu talebin gelişler arası süresi azaldıkça azalmaktadır ancak eş zamanlı sipariş sisteminde değişmektedir. Eğer talepte kararsız değişiklikler oluyorsa tampon büyüklüğünün bu değişikliklere bağlı olarak ve talebin ortalama bekleme süresine bir üst sınır konularak nasıl değişmesi gerektiği grafiklerle anlatılmaktadır.

Kanban sistemi talebin ortalama bekleme süresine bağlı bir sistem olduğu için bu parametrenin değişmesi yarı mamul stok seviyesini çok etkilemekte ancak eş zamanlı sipariş sisteminin işleyişi verileri göz önüne almadığı için değerlerin değişmesinden

çok fazla etkilenmektedir. Ayrıca çalışmada talebin ortalama bekleme süresinin hangi değerlerinde kanbanın hangi değerlerinde eş zamanlı sipariş sisteminin etkin olduğu gösterilmiştir.

Yapılan benzetim deneylerinde talebin gelişler arası süresinin ortalamasının her 100 gelişte bir değiştirilmektedir. Böylece önerilen sistemin kararsız değişikliklere de cevap verebildiği gösterilmiştir. Önerilen bu sistemde talepteki değişikliği saptamadaki değişikliği engellemek için emniyet stoğu önerilmektedir. Sonuç olarak da önerilen her iki sisteminde talebin ortalama bekleme süresini istenilen seviyede tuttuğu görülmüştür. Ayrıca kanban sisteminin eş zamanlı sipariş sisteminden daha az yarı mamül stoğu ile çalıştığı görülmüştür. Son olarak talebin değişikliğini belirli aralıklarla düzgün olarak gerçekleştiren bir benzetim deneyi yapılmıştır. Önerilen her iki sisteminde performans ölçütlerini istenilen seviyede tuttuğu gösterilmiştir. Ayrıca talebin ortalama gelişler arası süresindeki değişiklik aralığı azaldıkça ortalama yarı mamül stoğunun da azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuçlara dayanarak da önerilen her iki sistemin de talepteki kararsız değişikliğe uyum sağladığı görülmüştür.

Tardif ve Maaseidvaag (2001) bu çalışmalarında stoğa, sipariş gecikmesine ve müşteri talebine dayanarak hammaddelerin ne zaman üretime alınacağına ya da sipariş edileceğine dayanan yeni bir uyarlamalı kanban mekanizması önerilmektedir. Önerilen bu sistem kart sayılarının stoğa ve sipariş gecikme seviyelerine göre değiştiği için geleneksel kanban sisteminden farklıdır. Ancak sistemdeki yarı mamül stoğunu sınırlamak içinde kart sayıları sınırlı tutulmuştur. Çalışmada bitmiş ürünlerin üretim sürecini duruma bağlı Markov süreci ile terk ettiği kabul edilmektedir. Bu sürecin hızının da üretim sürecindeki parça sayısına bağlı olduğu belirtilmektedir.

İncelenen sistemde tek tip ürün tek aşamada üretilmektedir. Talep Poisson dağılımına göre gelmekte ve işlem süreleri üstel dağılıma uymaktadır. Simülasyon deneyleri ile değişken talep koşulları altında sistemin etkin yönleri gösterilmiştir. Çalışmada göz önüne alınan sistemde üretim süreci, iş istasyonların birinde ya işlenmeyi bekleyen ya da işlenen parçalardan oluşmaktadır. P sembolü üretim sürecinde işlemleri tamamlanmış ve müşteriye gitmeye hazır parçaların beklediği kuyruğu temsil etmektedir. Sistemde K adet kanban vardır ve üretim sürecindeki her parçada ve P kuyruğunda beklemekte olan tüm ürünlerde kanban vardır. D sembolü ile gösterilen kuyrukta müşteri talebi bulunmaktadır. Müşteri talebi sisteme ulaştıkça bitmiş ürünün

müşteriye gönderilmesini isteyen talep ve yeni parça üretim talebi D kuyruğuna katılmaktadır.

Önerilen sistemde öncelikle amaç fonksiyonunu en küçükleyen kanban sayısının bulunması amaçlanmıştır. Bunun içinde Liberopoulos ve Dallery (1995)'nin K'nin en uygun değerini bulan algoritması yeniden düzenlenmiştir. Algoritma iki farklı sisteme uygulanarak en uygun kanban sayısı bulunmuştur. Sonrasında uyarlanmış kanban sistemi bulunan K adet kanban ile çalıştırılmıştır. Sistemde K adet kanbana ek olarak E adet de ekstra kart bulunmaktadır. Bu kartlar A kuyruğunda beklemektedir. Önerilen uyarlanmış sistemde R ve C olarak adlandırılan iki adet parametre de bulunmaktadır. Bu parametreler sırasıyla sisteme ne zaman ekstra kart ekleneceğini ve sistemden ekstra kartın ne zaman çekileceğini gösteren eşik değerlerdir. Sistemde önerilen algoritma herhangi bir t anında P kuyruğundaki parça miktarı ile D kuyruğundaki talep miktarının farkı R değerinden küçükse ve A kuyruğunda ekstra kart varsa üretim sürecine farkı dengeleyecek miktarda ekstra kart gönderen eğer tersi bir durum söz konusu ise üretim sürecindeki bu kartın A kuyruğuna gönderilmesini sağlayan mantığa dayanmaktadır. Önerilen sistemin performansını değerlendirmek için stoğun beklenen değerini, yarı mamül stoğunun beklenen değerini ve geciken siparişlerin beklenen değerini en küçükleyen bir amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Oluşturulan iki farklı sistemde de her adımda K,E,R,C parametrelerinden birini değiştirip en iyi amaç fonksiyon değerini veren sistem parametreleri bulunmaya çalışılmıştır. İncelenen sistemde değişkenlik talebin gelişler arası süresinin ortalamasını belirli zaman aralıkları ile değiştirerek verilmektedir.

Çalışmada önerilen sistemin belirtilen koşullar altında geleneksel kanban sisteminden üstün olduğu belirtilmektedir. Önerilen uyarlanmış sistemin durağan talep koşullarında bile geleneksel kanban sistemine üstünlük sağladığı gösterilmektedir.

Önerilen sistemde K,E,R,C parametrelerinin bulunmasında uyarlanmış sistemlerin R ve C değerlerinin sistemdeki toplam kart sayısından daha duyarlı olduğu görülmüştür.

Çalışmada dezavantaj olarak görülen tek nokta ise önerilen yerel araştırma algoritmasının yerel minimumlarda takılabilme olasılığının bulunmasıdır. Bu nedenle çalışmada parametrelerin en uygun değerlerinin bulunacağı garantisi

verilmemektedir. Önerilen bu sistemin dezavantajı olsa bile yapılan benzetim deneyleri ile önerilen uyarlanmış sistemin geleneksel sisteme üstünlük sağladığı görülmüştür.

Takahashi ve Nakamura (2001) çalışmalarında dağıtılmış reaktif kanban sistemi önermişlerdir. Önerilen sistemde her aşamada bir sonraki süreçten gelen talebin zaman serisi verileri gözlemlenmiş ve talepteki kararsız değişiklikler kontrol şemalarını kullanarak belirlenmiştir. Belirlenen kararsız değişiklikler için her aşamadaki tampon büyüklüğü kontrol edilmektedir. Önerilen sistemde tampon büyüklüğünü kontrol etmek için çok aşamalı üretim ve taşıma sistemi incelenmiştir ve bu sistem tek aşamalı alt sistemlere ayrılmıştır. Her alt sistemin performansı farklı durağan talep koşullarında benzetim deneyleri ile incelenmiştir. Bu deneyin sonuçlarına dayanarak dağıtılmış reaktif kanban sistemi önerilmiştir. Önerilen bu sistemin performansı da farklı kararsız talep koşullarında benzetim deneyleri ile incelenmiştir ve önerilen sistemin verimliliği sonuçlarla kanıtlamıştır. Sistemde sipariş başlatma kuralının matematiksel modeli formülize edilmiş ve performansı da benzetim deneyleri ile değerlendirilmiştir. Çalışmada incelenen sistemde talebin gelişler arası süresinin ortalamasının ve varyansının değiştiği kabul edilmiştir. Takahashi ve Nakamura'nın reaktif kanban sistemi ile ilgili diğer çalışmalarında varyans sabit olarak kabul edilmektedir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise talebin yalnızca gelişler arası süresinin ortalaması kararsız değil varyansında da kararsız değişiklikler olduğu kabul edilmektedir. Çalışmada önerilen dağıtılmış sisteme ek olarak Izumi ve Takahashi (1993) tarafından önerilen eş zamanlı sipariş sistemi de göz önüne alınmış ve iki sistem birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışmada kanban sipariş sistemleri tam kanban ve iyi bilinen kanban olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tam kanban sisteminde bir siparişin başlatılması için üç koşulun sağlanması gerekiyor. Bunlardan ilki bir sonraki süreçten talebin gelmesi diğeri önceki süreçten ham maddenin gelmesi ve sonuncusu ilgili süreçte kapasitenin uygun olmasıdır. İyi bilinen kanbanda ise yalnızca ilk iki koşulun sağlanması siparişi başlatmak için yeterli olmaktadır. Çalışmada sipariş başlatmak için iyi bilinen kanban sistemi kullanılmıştır. Performans ölçütü olarak da talebin ortalama bekleme süresi ve toplam ortalama yarı mamül stoğu alınmıştır. Değerlendirmeler iki performans ölçütü arasındaki değiş-tokuş ilişkisine dayanarak yapılmıştır. Talebin

ortalama bekleme süresine bir üst sınır konularak toplam ortalama yarı mamül stoğunun en küçüklenmesi amaçlanmıştır. İncelenen sistemde N adet üretim ve taşıma aşaması 2N adet tek aşamalı üretim ya da taşıma sistemine ayrılmıştır. Bölünmüş tek aşamalı kanban sisteminde yapılan deneylerde talebin gelişler arası süresinin Gamma dağılımına uyduğu, ortalama ve varyansının sabit olduğu kabul edilmektedir. Ortalama ve varyansın farklı değerleri de test edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında talepteki kararsız değişiklikleri anlamak için talebin gelişler arası süresinin zaman serisi verileri alınmıştır. Talebin ortalama ve varyansındaki kararsız değişikliklerin belli zaman aralıklarında anlık olduğu kabul edilmiştir. Bu değişiklikleri saptamak için talebin orijinal zaman serisi verileri m 'li olarak gruplandırılmıştır. Değişiklikleri saptamak için de üstel ağırlıklı kayan ortalama (EWMA) yöntemi kullanılmıştır. Kontrol şeması içinde alt ve üst kontrol limitleri belirlenmiştir. Bu limitlerin dışında olan verilere karşılık gelen tampon büyüklüğünün ne kadar olması gerektiği de belirlenmiştir. Önerilen bu yöntemin performansı ilgili verileri (talebin GAS'nin ortalaması ve varyansı) belirli aralıklarla değiştirerek benzetim çalışması ile denenmiştir.

Talebin kararsız değişikliklerinin ilk aşamada olmadığı, varyansın sabit tutulduğu durumda performans ölçütünün nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Talebin gelişler arası süresinin ortalaması azaldıkça talebin ortalama bekleme süresinin azaldığı gözlemlenmiştir. Talebin gelişler arası süresinin ortalaması ve varyansının belirli değerlerinde bekleme süresi belirli seviyede sabitlenerek her değere karşılık gelen tampon büyüklüklerinin ne olması gerektiği de grafiklerle gösterilmiştir.

Çalışmanın son aşamasında dağıtılmış kanban, merkezi kanban ve merkezi eş zamanlı sipariş sistemleri, talebin GAS'nin ortalaması ve varyansını belirli aralıklarla değiştirerek talebin ortalama bekleme süresi ve toplam ortalama yarı mamül stok performans ölçütlerini kullanarak karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırmalarda her üç sisteminde bekleme süresini istenilen seviyede tuttuğu görülmüştür. Ayrıca talebin GAS'nin ortalaması ya da varyansındaki kararsız değişikliklerin aralığı azaldıkça toplam ortalama yarı mamül stoğunun azaldığı görülmüştür.

Dağıtılmış reaktif kanban sisteminin toplam ortalama yarı mamül stoğunun diğer iki sisteme göre daha az olduğu görülmüştür.

Tüm bu sonuçlara dayanarak dağıtılmış reaktif kanban sisteminin diğer iki sisteme göre daha etkin olduğu görülmüştür.

Takahashi ve Nakamura (2002) diğer bir çalışmalarında benzetim deneyleriyle talepte kararsız değişikliklerin olduğu durumlarda reaktif kanban ve CONWIP sistemlerini karşılaştırmışlardır.

Tampon büyüklüğünün kontrolü için mekanizma geliştirilmesi ile ilgili bilgi edinmek için benzetim deneyleriyle talebin durağan olduğu durumlarda iki çeşit eş zamanlı sipariş sisteminin performansı analiz edilmiştir. Sonuçlara dayanarak reaktif eş zamanlı sipariş sistemleri önerilmiştir ve önerilen sistemlerin performansı incelenmiştir. Performans ölçütleri olarak talebin ortalama bekleme süresi ve toplam ortalama yarı mamül stok seviyesi alınmıştır. Çalışmada önerilen reaktif kanban sistemi Takahashi ve Nakamura (1999)'nın çalışmasına dayanmaktadır ancak bu çalışmada yeni bir tampon büyüklüğü kontrol mekanizması öneriliyor. Çalışmada CONWIP sisteminde performans toplam büyüklüğünden etkilendiği için her stok noktasındaki tampon büyüklüğü değil toplam tampon büyüklüğü göz önüne alınmıştır. Ancak kanban sisteminde stok noktalarında tampon büyüklüğünün belirlenmesinin performans üzerinde önemli bir etkisi bulunduğu için reaktif kanban sisteminde tampon büyüklüğünün dağıtılması göz önüne alınmıştır ve her stok noktasında tampon büyüklüğünü ayrı ayrı kontrol eden yeni bir kontrol kuralı önerilmiştir. Talepteki kararsız değişikliklere cevap vermek için modellenen eş zamanlı sipariş sistemi çeşitli durağan talep koşullarında incelenmiştir. Ayrıca benzetim deneyleri ile tampon büyüklüğünün performans ölçütleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tampon büyüklüklerini belirlemek için toplam ortalama yarı mamül stoğunu ve talebin ortalama bekleme süresini göz önüne alan bir algoritma önerilmiştir. Tampon büyüklükleri durağan talep bilgileri ile bulunduktan sonra talepteki kararsız değişiklikleri belirleyen ve tampon büyüklüğünü de bu değişikliklere bağlı olarak değiştiren bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistem öncelikle EWMA Lucas ve Saccuri (1990) şemaları ile talebin GAS'ni düz bir hale getirmekte ve verileri alt, üst kontrol limitleri ile karşılaştırıp limitlerin dışında kalan verileri gözlemlemektedir. Bu veriler alınarak ilgili tampon büyüklükleri azalıp arttırılarak reaktif kontrol sağlanmış olunuyor.

Önerilen reaktif kontrol sistemlerinin benzetim deneyleri de yapılmıştır. Benzetim deneylerinde Kanban ve CONWIP sistemleri için emniyet stoğu belirlenmiştir.

Kurulan modelde geleneksel ve reaktif kanban ve CONWIP sistemleri, işlem süreleri arasındaki korelasyonun zayıf ve güçlü olduğu durumlarda önceden belirlenen performans ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır.

Simülasyon sonuçları iki sisteminde talepteki kararsız değişikliklere uyum sağlayabildiğini ve ortalama bekleme süresini istenilen seviyede tuttuğunu göstermiştir. Reaktif kanban sisteminde toplam ortalama yarı mamül stoğu tampon büyüklüğünü kontrol etmeyen geleneksel kanban sisteminden daha az olmaktadır. Ancak sırasıyla işlem süreleri arasındaki korelasyonunun çok ve az olduğu reaktif CONWIP sisteminde toplam ortalama yarı mamül stoğu tampon büyüklüğünü kontrol etmeyen geleneksel CONWIP sisteminden çok daha fazladır ve neredeyse aynıdır.

Çalışmada sonuçlara dayanarak önerilen sistemlerden reaktif kanban sisteminin talepteki kararsız değişikliklere reaktif CONWIP sistemine göre çok daha etkin bir şekilde cevap verdiği söylenmiştir. İşlem süreleri arasında güçlü bir korelasyon varsa reaktif kanban sistemindeki toplam ortalama yarı mamül stoğu CONWIP sisteminden daha az olarak bulunur. Bu durumda işlem süreleri arasında güçlü bir korelasyon varsa reaktif kanban sistemi önerilmektedir. Diğer yandan eğer işlem süreleri arasında korelasyon az ise reaktif CONWIP sisteminde toplam ortalama yarı mamül stoğu reaktif kanban sisteminden daha azdır. Bu durumda reaktif CONWIP sistemi kanban sisteminden daha etkindir. Bu sonuçlara bakılarak reaktif sipariş kontrol sistemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesinde işlem süreleri arasındaki korelasyonun önemli bir parametre olduğu ortaya konmaktadır.

Yapılan deneyler sonucunda önerilen her iki reaktif kontrol sisteminin de sipariş bekleme süresini belli bir sınırın üstüne çıkmadan tutulabildiği görülmüştür. Yapılan benzetim deneylerine dayanarak reaktif CONWIP sisteminde toplam ortalama yarı mamül stoğu işlem süreleri arasındaki korelasyonun zayıf ya da kuvvetli olduğu durumlarda geleneksel CONWIP sistemi ile aynı bulunmuştur ya da geleneksel CONWIP sisteminden daha çok bulunmuştur. Buradan da CONWIP sisteminde tampon büyüklüğünü kontrol etmenin bir anlam taşımadığı sonucuna varılmıştır. Diğer yandan reaktif kanban sisteminde toplam ortalama yarı mamül stoğu geleneksel kanban sisteminden işlem süreleri arasındaki korelasyona bağlı olmaksızın çok daha azdır. Buradan talebin belirsiz olduğu ortamda kanban sisteminde tampon büyüklüğünün kontrol edilmesinin anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Reaktif kanban sistemi reaktif CONWIP sisteminden daha verimlidir.

Talepteki kararlı ya da kararsız değişikliklerden bağımsız olarak reaktif kanban sisteminde toplam ortalama yarı mamül stoğu işlem süreleri arasındaki korelasyonun güçlü olduğu durumlarda reaktif CONWIP sisteminden daha azdır, korelasyonun zayıf olduğu durumlarda ise daha fazladır.

Tüm bu sonuçlara dayanarak işlem süreleri arasındaki korelasyonun hangi sistemin daha etkin olduğunun belirlenmesinde etkisinin çok olduğu söylenebilmektedir. Talep yapısındaki değişikliklerin ve tampon büyüklüğünün kontrol edilmesinin bu reaktif kontrol sistemlerinin performansının karşılaştırılmasında sonucu değiştirmediği görülmüştür.

Takahashi (2003) talepte kararsız değişikliklerin olduğu çok aşamalı üretim sistemleri için eş zamanlı reaktif sipariş sistemleri önermiştir. Bu eş zamanlı reaktif sipariş sistemlerinde talebin zaman serisi verileri gözlemlenmiştir ve kararsız değişiklikler istatistiksel kontrol şemalarını kullanarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın ilk amacı hem kontrol şemasına bağlı hem de stoğa bağlı reaktif kanban sistemlerini analiz etmek ve performanslarını karşılaştırmaktır. İkinci amaç olarak stoğa dayalı yeni bir sistem önerilmektedir. Çalışmada talepteki kararsız değişiklikler için üç sistem performansı incelenmiştir. Bu sistemler Takahashi ve Nakamura (1998) tarafından önerilen kontrol şemasına dayalı sistem, Tardif ve Maaseidvaag (2001) tarafından önerilen stoğa dayalı sistem ve bu çalışmada önerilen yeni bir stoğa dayalı sistemdir.

Talep yapısında belirlenen kararsız değişikliklere cevap vermek için her aşamadaki tampon büyüklüğü ve kanban sayısı ayarlanmıştır. Çalışmada önerilen yeni sistemde talepteki kararsız değişikliği belirlemek için talebin zaman serisinin izlenmesi yerine ürünün stok seviyesi incelenmiş ve belirlenen değişikliklere göre kanban sayıları ayarlanmıştır. Önerilen sistemin performansı kararsız talep koşullarını modelleyen benzetim deneylerini kullanarak diğer iki sistem ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmada performans ölçütü olarak ürün talebinin ortalama bekleme süresi ve toplam ortalama yarı mamül stoğudur. Benzetim deneylerinde talebin GAS'nin ortalaması 0,9 ile 1,2 arasında değişiyor, talepte kararsız değişikliklerin olmadiğı durumlarda benzetim deneylerindeki koşum uzunluğu 100000 zaman birimi olarak alınıyor ve talebin GAS'nin varyansı 0.052 olarak kabul ediliyor. Simülasyon modelinde 5 tane üretim aşaması göz önüne alınıyor, işlem süresinin olasılık

dağılımı; ortalaması 0,8 varyansı 0,3 olan gamma dağılımı olarak kabul edilerek modelleniyor ve taşıma süreleri 0 olarak kabul ediliyor. Çalışmada gözlemlenen ilk sistem olan kontrol şeması sisteminde talebin GAS'ı gözlemlenmekte ve zaman serisi verilerinden yalnızca kararsız değişiklikler belirlenmektedir. Çalışmada kullanılan zaman serisi şeması EWMA şemasıdır. EWMA şemasındaki veriler alt ve üst kontrol limitleri ile karşılaştırılıyor. Eğer şemada bu limitlerin dışında veri varsa bu veriler kararsız değişiklikleri yansıtıyor. Bu değişikliklerin olduğu veri gruplarında kanban sayıları duruma göre artırılıp azaltılıyor. Çalışmada göz önüne alınan diğer sistem ise stok seviyesi kontrolüne dayalı bir sistemdir. Bu sistemde kanban sayıları stok seviyesine göre ayarlanmaktadır. Çalışmada son sistem olarak yine stok seviyelerine dayalı bir metot vardır. Envanter seviyelerindeki kararsız değişiklikleri bulmak için gerçek stok seviyesi 0-1 aralığında değiştiriliyor. Bu işlem de üstel düzgünleştirme formülü ile yapılmıştır.

Çalışmada incelenen ikinci sistemde talebin GAS azaldıkça, işleme süreci yavaşlar ve stok seviyesi azalır. Bu süre içerisinde eğer kanban sayıları arttırılırsa stok seviyesindeki düşüşte talebin bekleme süresindeki artış da durur. Bu duruma ek olarak eğer talebin ortalama GAS artarsa ve stok seviyesi artarsa üretim ortamına katılan ekstra kanbanlar toplam yarı mamül stoğundaki artışı durdurmak için geri çekilir. Çalışmada önerilen stoğa dayalı sistemde ise benzetim deneyleri sonucunda benzetim seviyesindeki olasılık dağılımı talebin GAS ile orantılı olarak artmaktadır. Bu sonuca dayanarak da talebin GAS'ndeki artışın ya da azalışın stok seviyesinin alt ya da üst limiti geçip geçmemesi ile anlaşılabilceği sonucuna ulaşılmıştır.

Stok seviyesinin dağılımı üstel düzgünleştirme formülünde kullanılan kat sayıya bağlı olarak merkezileşmektedir. Kat sayı küçüldükçe talebin GAS'ndeki kararsız değişiklikleri bulan stok seviyesindeki limitler daralmaktadır. Son olarak da stok seviyesinin sıklık ağılımı kanban sayısı arttıkça artmaktadır. Çalışma bu sonuçlara dayanarak kanban sayılarını ayarlayan bir fonksiyon önerilmiştir. Talebin GAS'nin ortalamasının her 100 gelişte bir 0,9 ile 1,2 arasında değiştiği bir durumda kontrol şemasına bağlı sistemde alt ve üst kontrol limitlerindeki kat sayıların değişiminin talebin ortalama bekleme süresini ve toplam ortalama yarı mamül stoğunu nasıl etkilediği gösterilmiştir. Alt kontrol limitindeki kat sayı azaldıkça talebin ortalama bekleme süresinin azaldığı ve toplam ortalama yarı mamül stoğunun arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca üst kontrol limitindeki kat sayı arttıkça talebin bekleme

süresinin azaldığı ve toplam ortalama yarı mamül stoğunun arttığı görülmüştür. Bu sonuçların elde edildiği grafiklere dayanarak alt kontrol limit kat sayısı iki performans ölçütü arasındaki değiş tokuş ilişkisinde daha güçlü rolü bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmada 2. olarak incelenen stoğa dayalı sistemde ise normal kanban sayıları iki performans ölçütü arasındaki değiş-tokuş ilişkisinde en güçlü etkiye sahiptir. Çalışmada önerilen ve incelenen son sistemde ise alt kontrol limitindeki olasılık değeri iki performans ölçütü arasındaki değiş-tokuş ilişkisinde en güçlü etkiye sahiptir. Ayrıca düzgünleştirme sabitinin de en zayıf etkiye sahip olduğu görülmüştür. İki performans ölçütü arasındaki değiş-tokuş ilişkisi talepteki kararsız değişikliklerin 20 gelişte bir olduğu durumda üç sistemde de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda kontrol şemasında ve çalışmada önerilen stoğa dayalı sistemin birçok durumda en az toplam yarı ürün stoğuna sahip sistem olduğu gözlemlenmiştir.

Framinan ve diğ. (2005) CONWIP sisteminde kart sayılarının dinamik olarak hesaplanması konusunu ele alınmıştır. Öncelikle çekme sisteminde kart kontrolü yapılmasının farklı katkıları literatürden incelenmiştir. Sonrasında yeni bir prosedür önermiş ve farklı üretim çevrelerinde test edilmiştir. Son olarak da kart sayısının sabit tutulduğu önerilen dinamik CONWIP sistemi karşılaştırılmıştır. Kart kontrolü için yeni bir prosedür önerilen bu çalışmada diğer sistemlere göre daha az sayıda parametre kullanılmaktadır. Bu durumda da ek veriye ihtiyaç duyulmamaktadır ve önerilen sistemin hem stoğa üretim yapan hem de siparişe üretim yapan çevrelere uygulanabileceği savunulmaktadır. Ayrıca CONWIP sistemi için önerilen sistemin diğer çekme sistemlerine uygulanabileceği belirtilmektedir. Önerilen prosedürün amacı sipariş tipi üretim yapan çevrelerden belirli bir çıktı oranını yakalamak ya da stoğa üretim yapan çevrelerde belirli bir servis seviyesini yakalamaktadır. Çalışmada çıktı oranı belirli bir dönemde bitmiş ürün sayısı olarak servis seviyesi ise müşteri siparişinin stoktan karşılanma yüzdesi olarak tanımlanıyor. Çalışmanın bir diğer bölümünde ise kart sayılarının kontrol edildiği prosedürün mü yoksa kart sayılarının statik olarak belirlendiği durumun daha iyi olduğu araştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan iki performans ölçütünün de iki farklı yolla gözlenebileceği belirtilmiştir. Bunlardan ilki sabit zamanlı gözlemdir. Bu metot performans ölçütlerini belirli zaman aralıklarında gözlemlemektedir. Bu metodun dezavantajı

zaman aralıklarının belirlenmesinde sistemdeki işlerin işlem sürelerinin etkili olmasıdır. Bu nedenle incelenen her durum için bu aralıkların yeniden hesaplanması gerekmektedir. İkinci metot ise sistemden çıkan parça sayısına bağlı gözlemlenmelerdir. Bu metotta sistemden çıkan parça sayısının bilinmesi gerekmektedir. Sayı belirli bir seviyeye ulaştığında performans ölçütleri kaydedilir ve sayaç sıfırlanır. Bu metot istatistiksel çıktı kontrolünde ve Tardif ve Maaseidvaag (2001)'in çalışmasında kullanılmıştır. Performans ölçütlerinin incelendiği çıktı hızı metodunda çıktı oranının hedef değerinin iyi belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Eğer bu oran çok küçük seçilirse sistemde oynamaların fazla olacağı belirtilmektedir. Bu durumu önlemek için de sisteme eklenecek ek kart sayısına üst sınır getirilmiştir. Ekleme ve çıkarma işlemi çıktı miktarı (servis seviyesi) gözlemlenerek yapılmaktadır. Eğer çıktı oranı (servis seviyesi) hedef değerinin altında ise ve ek kart mevcut ise sisteme ek kart eklenmektedir. Bu şekilde üretim hızı artar. Sistemden kart çekme süreci de benzer mantıkla yapılmaktadır.

Önerilen bu sistem siparişe üretim yapan çevrelere uygulanan istatistiksel çıktı kontrolü metodu ile ve stoğa üretim yapan çevrelere uygulanan Tardif ve Maaseidvaag'ın çalışması ile karşılaştırılmıştır. Deneyler iki kısma ayrılmıştır. İlki siparişe üretim yapan çevreleri ele almıştır diğeri de stoğa üretim yapan çevreleri ele almıştır. Siparişe üretim yapan kısımda 4 istasyondan oluşan, CONWIP mekanizması ile kontrol edilen ve tek çeşit ürün üretilen bir üretim sistemi incelenmiştir. Bu sistem için her birinin hedef çıktı oranları ya da işlem süreleri farklı olan beş adet senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolardan bazılarında olasılık dağılımı üstel olan makine arızalanmaları bulunmaktadır. Stoğa üretim yapan kısımda ise yine 4 istasyon vardır ve müşteri dağılımının GAS Poisson dağılımına uymaktadır. Statik ve dinamik kontrol sistemlerinin karşılaştırıldığı son kısımda ise her iki sistemin güçlü ve zayıf yönleri tartışılmış ve iki sistem birkaç senaryo ile karşılaştırılmıştır. Hangi sistemin hangi çevrede iyi olduğunu anlamak için hem stoğa hem siparişe üretim yapan çevrelerde ayrı ayrı iki sistem karşılaştırılmıştır. Siparişe üretim yapan kısımda karşılaştırılan çalışmada önerilen metodun incelenen performans ölçütünde istatistiksel çıktı kontrolü metoduna göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir ve önerilen metodun tüm senaryolarda diğer metoda göre değişikliklere daha hızlı cevap verdiği gözlemlenmiştir.

Çalışmanın stoğa üretim yapan kısmında ise her iki sistemin performansının eşit olduğu görülmüştür. Dinamik ve Statik kart kontrollerinin karşılaştırıldığı siparişe üretim yapan çevrelerde dinamik kart kontrolünün toplam kart sayısı belirli bir miktarın altında iken statik kontrole eşit ya da ondan daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Stoğa üretim yapan çevrelerde ise dinamik kart kontrolünün hedef servis seviyesine statik kontrolden çok daha fazla yaklaştığı gözlemlenmiştir.

Shahabudeen ve Sivakumar (2008) stoğa ve sipariş gecikme seviyesine göre değiştiği bir genetik algoritma ve benzetimli tavlama yöntemine dayalı yöntemleri incelemişlerdir ve bu algoritmaları kanban sisteminin tasarım parametrelerini tahmin etmede kullanmışlardır. Çalışma meta-sezgisel algoritmaların kullanımına bağlı kanban sisteminin Markov modeline dayanmaktadır. Önerilen sistemin performansı diğer uyarlamalı kanban sistemleriyle ve geleneksel kanban sistemi ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada karşılaştırma için kullanılan geleneksel kanban modeli Tardif ve Maaseidvaag (2001) çalışmasına dayanmaktadır. Bu sistemde süreç hızı kapalı kuyruk ağlarını kullanarak elde edilmektedir ve bitmiş ürünler sistemi duruma bağlı Makrov süreci ile terk etmektedir. İncelenen sistem tek aşamalıdır ve bu sistem uzun dönemli geciken sipariş seviyesini ve stok maliyetlerini en küçükleyen kanban sayısı ile eniyilemeye edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada önerilen dinamik kanban sistemi ise Tardif ve Maaseidvaag (2001)'ın önerdiği kanban sistemi ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada değişken arz ve talep koşullarını dengelemek için kart sayılarının mevcut stok ve sipariş gecikmesi seviyesine göre değiştiği bir sistem önerilmektedir. Kurulan sistemde talep sisteme ulaştığında stok seviyesi belirli bir eşik değerin altında ise ek bir kart sisteme alınmakta, stok seviyesi belirli bir sınırın üstündeyse kart sistemden çekilmektedir. Sistem belirli miktarda kanban ve ek kanbanlarla işlemektedir. Önerilen sistem duruma bağlı Markov zinciri ile modellenmiştir. Amaç fonksiyonu olarak da geciken sipariş ve stok seviyesinin en küçüklenmesi düşünülmüştür. Önerilen sistemin tasarım parametreleri kanban sayısı, ek kanban sayısı, sisteme ek kart eklemenin eşik değeri ve sistemden kanban çekmenin üst sınırıdır. Tardif ve Maaseidvaag (2001) bu değerleri belirlemek için bölgesel araştırma metodunu önermişlerdir. Bu metotta parametrelerin biri değiştirilip diğerleri sabit tutularak amaç fonksiyonunun en iyi değerleri bulunmaya çalışılmıştır. Önerilen bu modelde yerel minimumlara takılma olasılığı bulunduğu için Shahabudeen ve Sivakumar genetik algoritma ve benzetimli tavlama meta-

sezgiseli önermişlerdir. Genetik algoritmada kanban tasarım parametreleri bahsedilen algoritmalarla bulunur. Sonrasında Genetik algoritma ve benzetimli tavlama yöntemleri Maaseidvaag'ın bölgesel araştırma metodu ile karşılaştırılmış ve amaç fonksiyonundaki iyileşmeler gözlemlenmiştir.

Sonuçlar benzetimli tavlama algoritmasına dayalı sezgisel yöntemin gelişmiş hesaplama etkinliği ile daha iyi sonuçlar yarattığını göstermiştir.

Sonuç olarak tüm durumlarda benzetimli tavlama algoritmasının genetik algoritmaya yerel araştırma metoduna ve geleneksel kanban sisteminde amaç fonksiyon değerinde iyileştirme yaptığı görülmüştür.

3.5 İtme, Çekme ve İtme-Çekme Sistemlerinin Karşılaştırılması

İtme sistemlerinin çalışma disiplini çekme sistemlerinin çalışma disiplininden farklıdır. Bu farklılık iki sistemin belirli performans ölçütlerine göre karşılaştırılması durumunu ortaya çıkarmaktadır. İtme tipi kontrol sistemi birçok üretim çevresinde uygulanmaktadır. İtme tipi kontrol sistemlerinde süreçlerin birbirleriyle iletişim halinde olması durumu söz konusu değildir. Siparişler önceden belirlenen bir ana üretim çizelgesine göre başlatılmaktadır. Sistemin mevcut kapasitesinin ayarlanması çok geniş bir şekilde yapılmaktadır. Ayrıca aşamaların darboğaz olup olmaması da üretim planlamada pek fazla göz önüne alınmamaktadır. Böyle bir durumda gelen sipariş diğer istasyonların durumuna bakmadan ilk iş istasyonuna gönderilmektedir. Eğer herhangi bir aşama darboğaz ise ya da beklenmedik bir arızalanma söz konusu ise ilgili istasyonun önünde yarı mamul stoğunun birikmesi söz konusu olmaktadır. Diğer yandan itme tipi sistemler talep tahminleri ile çalıştığı için talebi karşılama süresi çekme tipi sistemlere göre daha kısa olabilmektedir. Chang ve Yih (1994) geliştirdikleri jenerik kanban sistemini itme sistemi, tahsisli kanban sistemi ve CONWIP (Spearman ve Zazanz 1998) ile karşılaştırmıştır. Çalışmada yapılan benzetim sonuçları ile kanban sistemi ile itme sisteminin performanslarının benzer olduğu ancak kanban sisteminin daha esnek bir sistem olduğunu belirtmişlerdir. Kanban sistemlerinin darboğaz istasyonundan çok etkilenmediği vurgulanmıştır. Önerilen jenerik sisteminin daha kolay bir kontrol tekniği olması açısından tahsisli kanban sistemine göre daha tercih edilir bir sistem olduğunu belirtmişlerdir ve bu sistemin CONWIP sisteminin performansına göre daha esnek olduğu belirtilmektedir.

Chang ve Yih (1994) kanban sistemi ile ilgili yaptıkları çalışmada performans ölçütü olarak çevrim süresi ve yarı mamül stoğu alınmıştır. Bu performans ölçütleri benzetim deneylerinde farklı senaryolar oluşturularak incelenmiştir. Sistemde üretilen iki ürünün üretim süreleri farklı kabul edilmiştir. Ürünler arası geçişte de hazırlık sürelerinin olduğu kabul edilmiştir. Kurulan itme ve çekme modellerinin iki performans ölçütü arasındaki değiş-tokuş ilişkisinin parti büyüklüğünden nasıl etkilendiği, darboğaz makinenin yerinden nasıl etkilendiği üzerinde durulmuştur. Ayrıca önerilen sistem yine performans ölçütlerinin değiş-tokuş ilişkilerine bakılarak tahsisli kanban ve jenerik kanban sistemleri ile karşılaştırılmıştır. Son olarak aynı şekilde sistem CONWIP sistemi ile karşılaştırılmıştır.

Takahashi ve Nakamura (2001,2002) dinamik kanbanlarla ilgili yaptıkları çalışmalarda talebin ortalama bekleme süresini ve toplam ortalama yarı mamül stoğunu göz önüne almışlardır.

Tardif ve Maaseidvaag (2001) kanban sayılarını belirli bir dönem içerisinde sistemdeki mevcut sipariş miktarına bakılarak kanban sayılarını tekrar ayarlayan algoritmalarında amaç fonksiyonu olarak yarı mamül stoğunun beklenen değerini, sipariş gecikmesinin beklenen değerini ve stoğun beklenen değerinin toplamının en küçüklenmesini düşünmüşlerdir. Önerdikleri algoritmanın performansını bu amaç fonksiyon değerine dayanarak farklı parametre değerlerinde karşılaştırılıp en iyi amaç fonksiyon değerini veren birleşimini bulmaya çalışmışlardır.

Shahabudeen ve diğ. (2003) Üretim ve çekme kanban miktarını benzetimli tavlama algoritmasını kullanarak dinamik bir şekilde düzenleyen bir sistem önermişlerdir. Sistemde ürün çeşitliliği ve talep belirsizliği olduğunu kabul etmişlerdir. Sistemde kullanılan performans ölçütü olarak; Yüzde sıfır talep (sipariş gecikmesinin olmadığı durum), ortalama çevrim süresi ve ortalama toplam yarı mamül stoğudur.

Takahashi (2003) önerdiği talepte kararsız değişikliklerin olduğu çok aşamalı üretim sisteminde kanban sayılarının dinamik olarak hesaplandığı çalışmalarında talebin ortalama bekleme süresini ve toplam ortalama yarı mamül stoğunu performans ölçütü olarak almışlardır.

Framinan ve diğ. (2005) CONWIP sisteminde kart sayılarının dinamik olarak hesaplandığı bir sistem önermişlerdir. Önerdikleri sistemin amacı sipariş tipi üretim yapan çevrelerde belirli bir servis seviyesini yakalamak yani siparişi zamanında

karşılama oranını arttırmak, stoğa üretim yapan çevrelerde ise belirli bir belirli bir çıktı oranını yakalamaktır. Performans ölçütü olarak servis seviyesi ve çıktı oranı alınmıştır. Çalışmada önerilen prosedür Tardif ve Maaseidvaag (2001)'in çalışmasından alınmıştır.

Pandey ve Khokhajaikiat (1996) itme ve çekme sistemlerini çıktı miktarı, yarı mamül stoğu ve kaybedilen sipariş performans ölçütleri ile karşılaştırmışlardır.

Hodgson ve Wang (1991a,1991b) itme ve çekme sistemlerini çıktı oranı, yarı mamül stoğu ve kaybedilen siparişler açısından değerlendirmişlerdir.

Shipper ve Shapira (1989) itme ve çekme sistemlerini yarı mamül stoğu ve sipariş gecikmesi açısından değerlendirmişlerdir.

Krajewski ve diğ. (1987) kanban, MRP ve yeniden sipariş noktası sistemlerini çıktı oranı açısından değerlendirmişlerdir.

Muramatsu ve diğ. (1987) itme ve çekme sistemlerini yarı mamül stoğu ve çıktı miktarı açısından değerlendirmişlerdir.

Spearman ve Zazanis (1992) itme ve çekme sistemlerini çıktı oranı ve ortamla yarı mamül stoğu açısından değerlendirmişlerdir.

Tayur (1993,1992) ve Muckstadt ve Tayur (1995a,1995b) Kanban ve CONWIP sistemlerini maksimum yarı mamül stoğu ve çıktı miktarı açısından değerlendirmişlerdir.

Bonvik ve diğ. (1997) Kanban, CONWIP ve melez kanban CONWIP sistemlerini ortamla yarı mamül stoğu, çıktı miktarı ve servis seviyesi açısından değerlendirmişlerdir.

Zhou ve diğ. (2000) İtme, çekme, POLCA ve CONWIP sistemlerini yarı mamül stoğu, servis seviyesi açısından benzetim deneyleri ile değerlendirmişlerdir.

POLCA sisteminin felsefesi kanban sisteminin felsefesinden biraz daha farklıdır. Kanban sistemi süreçler arasındaki stoğu yenileme mantığı ile işlerkek, POLCA sistemi ise Hızlı Tepkisel Üretim (Quick Response Manufacturing) felsefesi ile işlemektedir (Suri, 1998). POLCA sistemindeki bu felsefe temin süresini kısa tutup müşteriye siparişini oldukça çabuk karşılamayı hedeflemektedir. İki sistemin amaçları aynı olsa bile sistem dinamikleri farklıdır. Önce de bahsettiğimiz gibi Kanban sisteminde talebin birtakım yöntemlerle bir sıraya sokulması (üretimin

düzenleştirilmesi) durumu söz konusudur. Bunun gerçekleştirilmesi için de üretilecek ürünlerin ya da gelen siparişlerin tiplerinin çok değişiklik göstermemesi gerekmektedir. Ancak POLCA sisteminin adapte edildiği hızlı yanıt sisteminde ürün çeşitliliğinde bir kısıtlama yoktur. Bu durumda da Kanban sisteminde kullanılan üretimin düzenleştirilmesi durumu yoktur. İki sistemin çalışma mantıkları birbirinden farklı olduğu için POLCA sisteminin performans ölçütünde de tekrarlı üretim olmadığı için süreç içi stok değeri çok önem taşımamaktadır. En önemli performans ölçütü temin süresi olarak alınmaktadır. POLCA sistemindeki başlıca performans ölçütleri çıktı miktarı, yarı mamül stoğu, akış süresidir. Ayrıca temin sürelerinin düşürülmesinde aralardaki bekleme süreleri de önemli olduğu için iş istasyonundaki ortalama bekleme sürelerinin toplamının en küçüklenmesi de performans ölçütü olarak kullanılmıştır.

3.6 İtme-Çekme Melez Sistemleri

Teknolojinin gelişmesi ve küresel rekabetin artması sonucu müşteri ihtiyaçları da değişmektedir. Bu değişiklikler beraberinde ürün ve hizmetlerin farklılaşması durumunu ortaya çıkarmaktadır. Bugünün müşterileri artık pazarda mevcut olan ürünlerle değil kendi özel ihtiyaçlarına cevap verecek ürünlerle tatmin olmaktadır. Bu kişiye özel ürün seçenekleri şimdiye kadar bahsettiğimiz klasik çekme sisteminin ve versiyonlarının istenilen hizmet seviyesine ulaşmakta güçlük çekmektedir. Çekme sisteminin çalışma prensibi tekrarlı üretim mantığına dayanmaktadır. Her şeyden önce takt süresinin hesaplanması ürün çeşitliliğinin ve talep kararsızlığının olduğu durumlarda pek mümkün olamamaktadır. Bu nedenle yeni çevrelere uyum sağlayabilecek itme ve çekme mantığının avantajlarını kullanan yeni yöntemler önerilmektedir. Bu şekilde birçok yöntem bulunmaktadır ancak burada POLCA (Paired Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization) olarak adlandırılan ve Suri tarafından 1998 yılında önerilen melez kontrol sistemi anlatılmaya çalışılacaktır ve bu sistemle ilgili kaynaklardan bahsedilecektir.

3.6.1 POLCA kontrol sistemi

Bugünün pazarında kişiye özel ürünlere olan talep artmaktadır. Bu ürünler birçok seçenek içerisinde oluşturulan ürünler ya da mühendislik ürünleri olabilir. Bu şekilde çeşidi çok olan ya da mühendislik ürünleri üreten firmalar üretim alanında

verimli malzeme kontrol stratejilerini uygulamada zorluk yaşamaktadır. Bu şekilde talebin değişkenliğinin çok olduğu ortamlarda takt süresi, akış süresi gibi yalın üretim kavramları ihtiyaçları karşılamamaktadır. Yalnız itme ya da yalnız çekme sistemlerinin yeterli olmadığı ortamlarda POLCA (Suri, 1998) adı verilen malzeme kontrol stratejisi önerilmektedir. POLCA sistemi melez bir itme-çekme sistemidir. Bu sistem itme ve çekme kontrol stratejilerinin iyi yönlerini birleştirmektedir. POLCA sistemi hızlı yanıt üretim stratejisinin bir parçası olarak önerilmiştir. Bu strateji firma dâhilindeki temin süresini azaltmaya odaklanmıştır. Suri ve Krishnamurty (2003) POLCA sistemi ile ilgili geniş bir bilgi vermişlerdir. Sistemin çalışma mantığını anlatarak kanban sistemleri ile sözel karşılaştırmasını yapmışlardır. Sonrasında POLCA sistemini bir fabrikada uygulamak için gerekli adımlar anlatılmıştır. POLCA sistemini uygulayan farklı firmalardan örnekler verilerek POLCA sisteminin uygulanmasıyla temin süresi, süreç içi stok azalması, zamanında dağıtımın artması ve çalışan memnuniyetinin artması ile ilgili performans gelişimlerinden bahsetmişlerdir.

Değişken talebe sahip ürün çeşitliliği çok olan ya da küçük partiler halinde isteğe göre ürünler üreten bir firmaları göz önüne alalım. İki firma içinde Kanban sisteminin önemli dezavantajları bulunmaktadır. Kanban bir sipariş yenileme sistemidir (Suri ve Krishnamurty, 2003). Kanban sisteminin işlemesi için her iş istasyonunun çıktı tamponunda belli sayıda ürün tutulmalıdır. Sonraki süreçler tarafından bir birim ya da bir konteynır ürün alınınca önceki süreçlere alınan ürünün yerine konması için sinyal gönderilmektedir. Öncelikle böyle bir sistemde ürün çeşitliliği çok, talep çok değişken bir yapıya sahipse bu durum süreçlerin her aşamasında yarı mamül stoğunun artmasına neden olmaktadır. Böyle bir üretim ortamında çekme sistemi istenilen sonuçları vermemektedir. Ayrıca son ürünlerin müşteriler tarafından belirlendiği bir çevrede her aşamada stok tutmak mümkün olmamaktadır çünkü müşterinin önceden ne istediği bilinmemektedir. Son olarak Kanban sistemleri talebin durağan olduğu ve tekrarlı üretimin olduğu ortamlarda verimli olmaktadır. Bu şekilde üretim ortamlarında stoğu gelecekteki talebi karşılamak amacıyla tampon olarak kullanmak mantıklıdır. Ancak siparişe göre üretim yapan ortamlarda stoğu bu amaçla kullanmak pratik değildir. Ayrıca siparişe göre üretim yapan ortamlarda takt süresine göre üretim yapmak çok zordur. Yukarıda da belirttiğimiz gibi çekme sistemleri ürün çeşitliğinin çok olduğu üretim

çevrelerine uygun değildir. Ayrıca itme sistemlerinde fazla stok bulundurma temin süresini uzatma gibi dezavantajları bulunmaktadır. POLCA sistemi itme ve çekme sistemlerinin en iyi yönlerini birleştiren melez bir sistemdir.

POLCA sisteminin uygulanabilmesi için öncelikle benzer parçaların üretildiği üretim sürecinin alt kümelerine odaklanan hücreler olması gerekmektedir. Her hücrede ürün rotası sipariştten siparişe değişebilir. POLCA sisteminde siparişlerin akışı; siparişi başlatma yetkisi ve üretim kontrol kartı POLCA'nın birleşmesi ile kontrol edilmektedir. Sipariş başlatma yetkisi HL/MRP olarak adlandırılan yüksek seviyede malzeme gereksinim planlaması ile kontrol edilir. HL/MRP, malzeme gereksinim planlamasının benzeridir ama operasyonel seviyede değil hücresel seviyede çalışır. POLCA sisteminde siparişi başlatma yetkisi sadece hücrenin o işe başlayabileceğini gösterir ilgili POLCA kartı olmadan hücre üretime başlayamaz. POLCA kartları hücreler arası malzeme kontrolünü sağlamaktadır. POLCA sisteminin Kanban sistemi ile önemli farklılıkları vardır. Bunlar;

- 1.POLCA kartları yalnızca hücreler arası kontrolü denetler, hücre içi kontrolü denetlemez.
- 2.POLCA kartları ürüne değil hücre çiftine tahsislidir.
- 3.POLCA kartı döngüsünün başındaki hücreye gelmeden önce üzerinde çalışılan iş ile birlikte iki hücreyi de dolaşır.

POLCA sisteminin Malzeme Gereksinim Planlaması ve Kanban sistemine göre avantajları vardır. İlk olarak POLCA kartları mevcut hücrede yalnızca bir sonraki hücre yakın gelecekte o siparişi işleyebilecekse o sipariş işlenir. Bu durum kanban sistemine benzerdir ancak POLCA bir kapasite sinyali kanban ise stok yenileme sinyalidir. İkincisi HL/MRP esnek rotaları sayesinde siparişe göre üretim yapan çevrelerde işlem yapılmasına olanak sağlar. Ayrıca yetki zamanlarının olması gereksiz stoğun oluşmasını engellemektedir. Son olarak Kanban sisteminde iş istasyonları kanban kartları ile birleştirilmiştir ve kanban sisteminde üretim belli bir hızda olmalıdır. POLCA isteminde de hücrelerin birleşimi vardır ama kanban sistemine göre daha esnektir. Bir çekme sistemini tasarlarken takt süresini hesaplamak için çok çaba gerekmektedir. Ancak çeşidi çok olan, siparişe özel üretimin olduğu üretim çevrelerinde farklı gereksinimler vardır. Günlük üretim hızı ve darboğaz makineler sipariştten siparişe değişebilir. Bu sebepten POLCA

sisteminde çalışan döngüler vardır. Döngüleri uzun tutarak döngüdeki ek işler talepteki değişiklikleri absorbe eder. POLCA sistemi her hücrenin mevcut ürün çeşidine göre kapasitenin ayarlanmasını sağlar.

Son olarak POLCA'nın ikili hücre ve çalışma özelliği 2 ayrı fayda sağlamaktadır. Biri her hücre bir sonraki hücrenin müşterisi olduğu kadar potansiyel bir tedarikçisidir. Bu sebepten POLCA döngüleri müşteri ve tedarikçi hücrelerinde mevcut iş yükünü dengeler ve işlere kapasite atayıp üretimi çizerler. POLCA sistemini bir firmada uygulamak için 2 adet ön gereksinim vardır. İlki HL/MRP diğeri ise hücreyel organizasyondur. Bu iki ön gereksinime ek olarak POLCA uygulaması yapılacak hücrelerde kabaca bir kapasite planlamasının ve temin süresi planlamasının olması gerekmektedir. Ayrıca HL/MRP sisteminde her hücre için işi başlatma listesi olması gerekir. Bu listede işin gideceği sonraki hücrenin de olması gerekir.

Bir firmada POLCA uygulaması 4 ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; POLCA öncesi değerlendirme, POLCA sisteminin tasarımı, POLCA uygulamasının başlatılması ve uygulama öncesi değerlendirilmesidir.

POLCA öncesi değerlendirme aşamasının amacı gereklilik değerlendirmesi yapmak, ön gereksinimleri kontrol etmektir.

İhtiyaç değerlendirilmesinin yapılması evresinin amacı POLCA uygulamasının yapılacağı hücrelerde öncelikle kapasite ya da temin süresi planlamasına ihtiyaç olup olmadığına bakmaktır. Ayrıca POLCA uygulaması için gerekli ön gereksinimlerin gerçekleştirildiğinin doğrulanmasıdır. Bunlar HL/MRP'nin ve hücreyel organizasyonun varlığının kontrolüdür. Son olarak amaçlara ve performans metriklerine karar vermektir. POLCA sisteminin tasarımında POLCA döngülerinin belirlenmesi, yetki zamanlarının hesaplanması, POLCA kartlarının temsil ettiği iş düzeyinin belirlenmesi, POLCA kartının tasarımı ve POLCA kartların sayısının hesaplanması evreleri vardır. Tüm bunlara ek olarak da parça yokluk problemine geçici bir çözüm için güvenlik kartı mekanizmasının tasarımı vardır. POLCA sisteminin tasarım evresinde her döngüdeki POLCA kart sayısını hesaplamak için bir POLCA döngüsünde yer alan her iki hücredeki ortalama temin sürelerinin bilinmesi ve ilgili iki hücre arasında dolaşan iş sayısının bilinmesi gerekmektedir. Suri (1998) ilgili iki hücre arasındaki

Kart sayısını hesaplamak için aşağıdaki formül önermiştir.

$$N_{A/B} = \left(T_A + LT_B \right) \times \left(Num_{A,B} / D \right) \quad (3.1)$$

$N_{A/B}$: A/B döngüsünde gerekli POLCA kart sayısı

LT_A : A istasyonunun temin süresi

LT_B : B istasyonunun temin süresi

$Num_{A/B}$: A/B istasyonları arasındaki iş sayısı

D : Planlama Ufku

Güvenlik kart sayısı ise kart sayısının %10 ile %15'i arasındadır. Ayrıca POLCA uygulamasındaki performans ölçütleri temin süresi, hücrenin çıktı sayısı, sistemde belli noktalardaki yarı mamül stoğu olabilir.

POLCA sistemi ile ilgili olarak önerilen diğer bir model ise Fernandes ve Carmo-Silva (2006)'nın yaptığı kapsamlı POLCA sistemidir. Bu çalışmada sipariş başlatma stratejilerini 5 ana sınıflandırmıştır. Bunlar arasında başlatma (IMR), girdi, çıktı, girdi-çıkıtı ve darboğaz kontrol mekanizmasıdır. IMR mekanizmasında talep oluştuğundan hemen sonra sistem durumu ile ilgili ya da işin özelliği ile ilgili hiçbir bilgiyi hesaba katmadan işin üretime alınmasıdır. Bu mekanizmanın çekme tipi kontrol mekanizmasına örnek temel stok'tur. Girdi mekanizmasında üretim önceden belirlenmiş başlama tarihlerine göre üretim başlamaktadır. Bu mekanizmanın itme kontrolü MRP'dir. Çıkıtı kontrolünde ise üretim stoğunun mevcut tüketimine göre başlatılır. İtme kontrolünde örnek CONWIP çekme kontrolünde örnek ise Geleneksel Kanban sistemidir. Girdi-çıkıtı mekanizmasında ise girdi ve çıkıtı kontrolünün ayrı ayrı özelliklerini birleştirmektedir. Siparişlerin sisteme alınması hem tarihe hem de üretim izinlerine (Genellikle kart şeklinde) bağlıdır. İki durumda gerçekleştiğinde üretim başlar. Bunlara örnek GPOLCA, POLCA ve Synchro-MRP'dir. Darboğazda ise darboğaz makine tarafından bir işlem yapılıncaya benzer iş yükünde diğer iş sisteme alınır. Bu sisteme örnek DBR, SA kontrolleridir.

Çalışmada önerilen kontrol mekanizması POLCA sistemindeki gibi siparişi üretim izin kartlarının ve işi başlatma tarihlerinin bir birleşimi kullanarak başlatır. POLCA sisteminden farkı ise siparişi başlatma işini malzeme stoğunu kontrol ederek değil de izin kart stoğunu kontrol ederek gerçekleştirir.

çok olduğu, üretim hacimlerinin düşük olduğu ve isteğe göre uyarlanan ürünlerin talep değişkenliğinin fazla olduğu ortamda bütünleşmiş bir üretim planlama ve kontrol sistemi önermişlerdir.

Bu çalışmada gelişmiş kaynak planlaması sistemi anlatılmıştır. Gelişmiş kaynak planlaması 2 evreye ayrılmaktadır. Parti büyüklüklerinin tanımlanması ve çevrim süresi tahmin aşamalarıdır. Gelişmiş Kaynak Planlamasını harekete geçiren durum kuyruk modelidir. Farklı ürün çeşitlerini ele almak için bir sunucudaki geliş ve servis süreçleri tek bir geliş ve servis sürecinde toplanmıştır. Bu süreçlerin her ikisi de parti büyüklüğü çarpanlarının bir katıdır. Müşteri siparişi üretim siparişi olarak gruplanır ve k ürünü için üretim parti büyüklüğü, k ürünü için ortalama müşteri sipariş büyüklüğünün belirlenen bir sayı ile çarpılması ile elde edilir. Göz önüne alınan sistemde iki çeşit ürün üretilmektedir. Bu ürünlere ait sipariş miktarları ve termin süreleri verilmiştir. Bu verilerden yararlanarak her bir ürün çeşidi için ortalama sipariş miktarı, talebin GAS, bir operasyon için hazırlık süresi, birim işlem süreleri de gelişmiş kaynak planlaması girdisi olarak kullanılmaktadır.

Parti büyüklükleri optimize etmek için girdiler kullanılarak toplam bekleme sürelerini en küçükleyen en iyi parti büyüklükleri elde edilir (Vandaele,1999). Optimal parti büyüklükleri ve ortalama bekleme süresini elde edildikten sonra siparişler Bk olarak adlandırılan grup sayısı bulunarak gruplandırılır. Müşteri siparişleri gruplandıktan sonra başlama izni zamanları ayarlanır. Bu ayarlama zaman penceresi oluşturulup temin süresi en erken olan sipariş ile dengelenerek yapılır. Belirli bir servis seviyesi garanti edilerek oluşturulan zaman penceresinde toplam beklenen temin süresi ve güvenlik süresi bulunmaktadır. Güvenlik zamanı toplam temin süresi dağılımının istenilen yüzdesi ile beklenen toplam temin süresi arasındaki farktır. Toplam beklenen temin süresi ve bu sürenin varyansı için hesaplamalar önerilmiştir. Beklenen ve planlanan temin süreleri bulunduğundan sonra siparişi başlatma tarihleri belirlenir. Bu şekilde gelişmiş kaynak planlaması müşteri siparişlerini üretim emirlerine çevirmiş olmaktadır.

Üretim emrine çevrilmiş müşteri siparişleri yalnızca gelişmiş kaynak planlamasına dayanarak değil mevcut sistem durumuna da bakılarak belirlenmelidir. Bu durumda da POLCA kontrolü göz önüne alınmaktadır. Çalışmada önerilen POLCA sistemi kart sayıları ile değil de yük büyüklüğü ile işlemektedir. Öncelikle Suri'nin önerdiği POLCA kart sayısı hesaplanmaktadır. Sonrasında tüm siparişlerin ilgili döngüdeki iş

yükleri hesaplanıp kart sayısı ile çarpılıp döngünün son iş yükü hesaplanır. GPOLCA sisteminin POLCA sistemine göre üç avantajı vardır. İlki işlem süreçlerinin siparişe göre değişkenlik gösterdiği aynı döngüdeki siparişlerin daha iyi görülmesini sağlar. Bu şekilde az iş yüküne sahip çok sayıda küçük işler ya da çok iş yüküne sahip daha az sayıda büyük iş sisteme alınmaktadır. Bu durumda aynı performansa sahip durumlara olanak sağlar bu durum POLCA sisteminde yoktur. Ayrıca bu şekilde yüke dayalı POLCA sistemi üretim alanında POLCA sayılarının sürekli yeniden hesaplanması durumunu ortadan kaldırmaktadır. Son olarak bu sistem iş akışının, malzeme elleçlemesinin ve sipariş ilerlemesinin kontrolünden daha iyi izlenmesini sağlamaktadır. Talebin ortalama GAS'nin varyansı ile ortalama sipariş miktarı hesaplanmaktadır. Gelişmiş kaynak planlaması girdisi için son olarak ürünlerin iş istasyonlarındaki işlem süreleri, varyansları, makinelerin hazırlık süresi ortalamaları ve varyansları verilmiştir. Parti büyüklüklerini optimize etmek için her bir iş istasyonundaki ortalama bekleme sürelerinin toplamının en küçüklenmesi yaklaşımı ele alınmıştır.

Riezebos (2006) yapmış olduğu çalışmada Little kuralı olarak bilinen iki hücre arasındaki POLCA kart sayısını bulan formülünde olarak gösterilen ve hata payını temsil eden formülün hücreler arası temin sürelerindeki değişkenliği içermediğini göstermektedir. Bu değişkenliğin POLCA'nın etkinliği üzerinde bir etkisinin olup olmadığını ve tek yönlü akış sisteminde ne kadar önemli olduğunu incelemektedir. POLCA sisteminin etkinliğini incelemek için benzetim kullanılmıştır.

Çalışmada farklı parametre düzenlemeleri ile sistem incelenmiştir. Bu parametreler siparişlerin sabit ya da üstel GAS, eş zamanlı gelen siparişlerin parti büyüklüğü, eş zamanlı gelen siparişlerin sabit ya da rastsal olarak değişen büyüklükte olması (talep değişkenliği), kullanılan siparişi başlatma kuralı (en uzun bekleme süresi ya da en kısa hazırlık süresi) ve arızanın oluşması (evet/hayır). 2⁶ adet birleşim incelenmiştir. Yapılan benzetim sonuçları ile şu hipotezler öne sürülmüştür. İlki sistem durağanlığında geniş parti büyüklüklerinin değişkenliğinin etkisi GAS değişkenliğinin etkisinden daha fazladır.

İkincisi ise ilk hücrede kullanılan işi başlatma kuralının sistem durağanlığında etkisi çok olmaktadır. Çalışmada kullanılan performans ölçütleri toplam çıktı süresi ve üretim alanı çıktı süresidir. 6 deneysel faktörün ana etkileri test etmek için ANOVA analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada incelenecek üretim sisteminde parti büyüklüklerinin en uygun değerlerini bulmak için Vandaele ve Clearhout (2006)'un çalışmalarında kullandığı gelişmiş kaynak planlaması kullanılacaktır.

Çalışmanın diğer bölümünde Hızlı tepkisel üretim felsefesinden bahsedilecek. Bu felsefenin tam zamanlı üretim felsefesinden farkı tartışılacak. Hızlı tepkisel üretim ile ilgili performans ölçütlerinin itme sistemindeki performans ölçütlerinden farkı anlatılacak ve Hızlı tepkisel retimde Temin süresini etkileyen faktörler üzerinde durulacaktır.

4. HIZLI TEPKİSEL ÜRETİM

Bu bölümde POLCA sisteminin içinde bulunduğu hızlı tepkisel üretim felsefesinin üzerinde durulacak ve POLCA sistemini uygularken göz önüne alınması gereken kapasitenin nasıl ayarlanması gerektiği ve parti büyüklüklerinin nasıl olması gerektiği anlatılacaktır.

POLCA kontrolünün oluştuğu ana felsefe hızlı tepkisel üretim (QRM) olarak bilinen ve temel olarak sipariş temin süresinin azaltılmasını amaçlayan felsefedir. Hızlı tepkisel üretim temeli 80'lerde Japonların uyguladığı tam zamanlı üretim stratejisi ile atılmıştır. 80'lerin sonunda bu strateji bazı Amerikan yazarları tarafından kaleme alınmış ve zaman eksenli rekabet (TBC) olarak anılmıştır. TBC'nin temeli rekabet avantajı sağlamak için hız faktörünün kullanılmasıdır. TBC stratejisini kullanan firmalar ürünlerini ya da hizmetlerini rakiplerinden hızlı sunmaktadır. TBC stratejisinin özel bir uygulaması olarak da hızlı tepkisel üretim (QRM) örnek verilmektedir. QRM üretimin her aşamasında gerçekleştirilen operasyonların temin süresini kısaltmayı amaçlamaktadır. QRM'i hem firma açısından hem de firmanın müşterileri tarafından açıklamak mümkündür. Firma açısından QRM müşterilerin farklılaşmış ihtiyaçlarına tasarım ve üretim açısından hızlı cevap vermektir. Tam zamanında (JIT) ya da yalın üretim kavramları kaliteyi arttırmak, maliyetleri düşürmek, temin süresini azaltmak için katma değeri olmayan işlemlerin (israf) devamlı olarak azaltılmasıdır. QRM ise kaliteyi arttırmak, maliyetleri azaltmak ve katma değeri olmayan faaliyetlerden kurtulmak için temin süresinin sürekli olarak azaltılmasını amaçlamaktadır (Suri, 1998).

Tam zamanlı üretim felsefesinin dayandığı Toyota üretim sistemi üretim sistemi boyunca israfın elenmesi prensibine dayanmaktadır. Bu prensipten yola çıkarak tam zamanlı felsefeyi uygulamak için sürekli geliştirme, toplam üretken bakım (TPM), sıfır hata, hızlı kalıp değiştirme (SMED) gibi destekleyici yapılar uygulanmaktadır.

QRM sisteminde ise organizasyonel yapı için tek bir prensip uygulanmaktadır bu da temin süresinin azaltılmasıdır. Temin süresinin azaltılması amacına uygun olarak da diğer aktiviteler kullanılır. Eş zamanlı üretim de temel amaç her türlü israfların

ortadan kaldırılması olup temin süresinin kısaltılması bu amacın bir sonucudur. QRM’de ise temel amaç temin süresinin kısaltılması olup israfların ortadan kaldırılması bu amaca ulaşmak için araçtır. POLCA kontrol mekanizmasının da yer aldığı hızlı tepkisel üretimden bahsettikten sonra bu felsefenin uygulanmasında kapasite ve parti büyüklükleri kararlarının nasıl olması gerektiği üzerinde duralım.

4.1 Kapasite ve Parti Büyüklüklerinin Belirlenmesi Kararı

Kapasitenin belirlenmesi ve parti büyüklüklerinin hesaplanması yalnız üretim bölümünü ilgilendiren bir durum olmaktan öte tüm firmayı ilgilendirmektedir. Bunun nedenini üç başlıkta toplayabiliriz. İlki QRM’in tüm firmanın işleyişini değiştirmesidir diğeri uygulanan ya da değiştirilen politikalar çoğunlukla bölümler arası sınırlara sahiptir. Yani bir bölümün uyguladığı karar sadece o bölüm içinde etki göstermez o bölümle ilgili diğer bölümlerde de etki gösterir. Sonuncusu ise QRM’in ana prensiplerinin ofis işlemlerine de uygulanması gerektiğidir (Suri, 1998).

4.1.1 Temin sürelerini etkileyen faktörler

Klasik MRP sisteminde üretim alanının performansını ölçmek için kullanılan faydalanma terimi QRM’i adapte eden firmanın temin süresi performansını ölçmede yeterlilik göstermemektedir.

Faydalanma terimi genellikle üretimin yapıldığı (makinelerin çalıştığı) toplam zamanın toplam çalışma süresine oranı olarak tanımlanmaktadır. Ancak bu şekildeki bir hesaplama yöntemi QRM açısından yanlış bir yöntemdir. Örneğin üretim bölümünde kalite ile ilgili bir toplantı varsa o saatler arasında makineler çalışmayacak ve o günün faydalanma oranı düşük olacaktır. Bu durum da verimsizlik olarak algılanacaktır. Bunun gibi birçok neden faydalanma teriminin hesaplanma şeklinin eksikliğini ortaya koymaktadır.

QRM’de kullanılan faydalanma terimi daha farklı bir şekilde hesaplanmaktadır. Hesaplamanın nasıl yapıldığına geçmeden önce bazı terimleri açıklayalım.

TJ = Bir siparişin yapılması için geçen süre. (Hazırlık süresi ve siparişteki tüm parçaların işlem süresini içerir.)

SJ = Bir siparişin işlenme süresinin standart sapması.

TA = Siparişlerin iş merkezine gelişler arası süresinin ortalaması.

SA = Siparişlerin iş merkezine gelişler arası süresinin standart sapması.

U = İş istasyonunun faydalanma oranı. (İş istasyonunun bir siparişe çalıştığı zaman oranı)

Q = İş istasyonunda hizmet almayı bekleyen ortalama iş miktarı.

WIP = Sistemdeki ortalama yarı mamül stok miktarı. (hizmet almayı bekleyen ve hizmet gören iş sayısı)

QT = Bir işin hizmet almak için beklediği ortalama süre. (Bir siparişin iş merkezinde ulaşmasından işlenmesine kadar geçen süre)

LT = Bir siparişin ortalama temin süresi. (Siparişin iş merkezine ulaşmasından tamamlanmasına kadar geçen süre)

Faydalanma oranı;

$$U = \frac{TJ}{TA} \quad (4.1)$$

Şeklinde tanımlanır.

QRM’de kullanılan diğer performans ölçütleri için de birkaç gösterim açıklayalım.

$$VRA = \text{Gelişler için değişkenlik oranı} = SA / TA \quad (4.2)$$

$$VRJ = \text{İşlem süreleri için değişkenlik oranı} = SJ / TJ \quad (4.3)$$

$$V = \text{Toplam değişkenlik} = VRA^2 + VRJ^2 \quad (4.4)$$

$$M = \text{Faydalanmanın büyütücü etkisi} = U / 1-U \quad (4.5)$$

Yukarıdaki ilk iki oran standart sapmanın ortalama ile karşılaştırıldığında ne kadar geniş olduğunun bir ölçüsüdür.

$$QT = (1/2) \times V \times M \times TJ \quad (4.6)$$

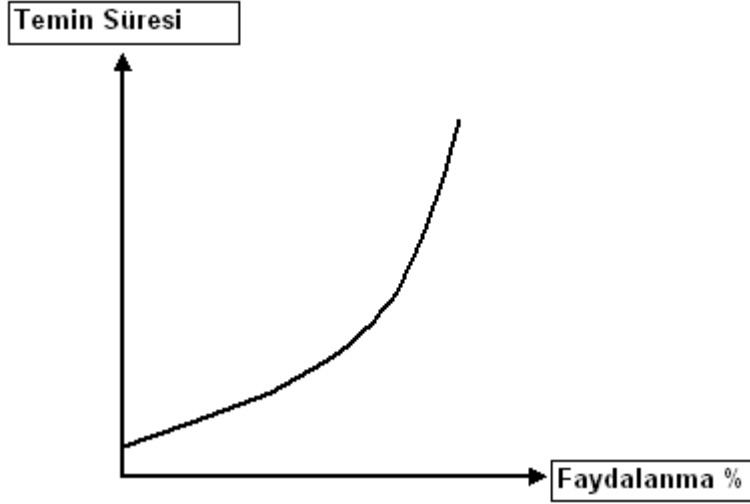
İş istasyonundaki her işin hizmet bekleme süresi ve işleme süresi bulunduğu için ortalama temin süresi;

$$LT = QT + TJ \quad (4.7)$$

4.1.2 İş merkezi için faydalanmanın temin süresi üzerindeki etkisi

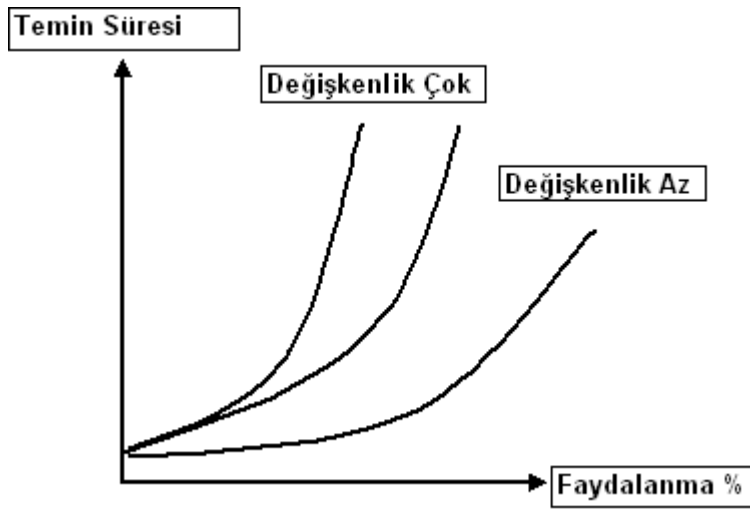
Faydalanmanın çok düşük olduğu durumlarda yani siparişin işlenme süresinin gelişler arası süresinden çok düşük olduğu durumlarda kuyrukta bekleme süresi sıfıra

yakındır. Temin süresi de vardiya süresine eşittir. Ancak faydalanma %100'e yaklaştıkça kuyrukta bekleme süresi de buna bağlı olarak hızla artmaktadır. Temin süresinin bu hızlı artışı M olarak adlandırılan faydalanmanın büyütücü etkisinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.1 'de temin süresinin faydalanma ile nasıl değiştiği gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : İş merkezi için faydalanmanın temin süresi üzerindeki etkisi (Suri,1998)

Bu grafiği değişkenlikler için de ele alabiliriz. Gerek gelişler arası sürenin gerekse işlem sürelerindeki artan değişkenlik temin süresinin artmasına neden olmaktadır. Şekil 4.2'de bu durum görülmektedir.



Şekil 4.2 : Faydalanma ve değişkenliğin temin süresi üzerindeki birleşik etkisi (Suri,1998)

Bu şekli günlük hayattan açıklayalım. Müşterilerin 2 dk'ya bir geldiği bir lokantayı göz önüne alalım. Eğer hizmet veren çalışan sayısı yeterli ise kuyruk olmayacaktır. Şimdi bu lokantaya sabahtan müşteri gelmemiş olsun öğle vaktinde bir otobüs dolusu müşterinin aynı anda geldiğini düşünelim. Bu iki örnekte de faydalanma oranı aynıdır. Ancak ikinci durumda temin süresinin fazla olduğu gözlemlenir. Çünkü buradaki müşterilerin kuyrukta bekleme süreleri daha uzundur.

4.1.3 Parti büyüklüklerinin etkisi

Bunu açıklamak için bir firmada incelenen bir dönemde üretilebilecek toplam ürün miktarının sabit olduğunu kabul edelim ama parti büyüklüğünün değiştiğini varsayalım. Bu firmadaki iş istasyonunda tek makine olsun ve müşteri taleplerinde de ufak tefek değişiklikler olsun (ürün tasarımı açısından) ama yine de bu makine tüm çeşitlerin üretilbileceğini varsayalım. Bir yıl boyunca her müşteriden gelecek talep toplamı aşağı yukarı biliniyor olsun ancak müşteri talebinin ne zaman geleceği tam olarak bilinmiyor. Böyle bir durumda parti büyüklüklerini ayarlama geleneksel yaklaşım en etkin çözümün her müşteri talebi için makinenin bir kere kurulup müşterinin o yıla ait tüm talebinin tek seferde üretilmesi olabilir. Böylece yıl boyunca yapılacak tüm hazırlıkların maliyeti ve süresi en küçüklenir. Ancak stok maliyeti çok olur. Bu durumla baş etmek için de stok ve hazırlık maliyetlerini en küçükleyen ekonomik sipariş miktarı formülü çözüm olarak önerilebilir. Bu formül de tamamen itme mantığına dayalı bir mantık ile çalıştığı için ve temin sürelerinin azaltılması amacını taşımadığı için QRM felsefesi ile ters düşmektedir.

Tüm bu seçeneklerin ötesinde QRM' de uygulanacak parti büyüklüğünün nasıl olduğuna geçmeden önce birkaç kavramı açıklayalım.

D = Dönem boyunca gerçekleşen talep

H = Dönem boyunca toplam çalışma saati

L = Her siparişin ortalama parti büyüklüğü

Eğer müşteri siparişi tek tek geliyorsa (parti büyüklüğü 1 ise) H saatte D adet sipariş gelmiş olur yani siparişlerin gelişler arası süresi H/D saat/adet'tir.

Eğer her müşterinin sipariş büyüklüğü L ise siparişlerin GAS = H ÷ (D/L)

Yani $L \times (H/D)$ olur.

(4.8)

Başka bir şekilde açıklayacak olursak;

$TA1 = \text{Sipariş büyüklüğünün 1 olduğu durumda siparişin gelişler arası süresi} = H/D$

$TA = \text{Sipariş büyüklüğünün L olduğu durumda siparişin GAS} = L \times TA1$

Bir siparişin toplam tamamlanma süresi;

$$TJ = TSU + L \times TJ1 \text{ 'dir.} \quad (4.9)$$

$TSU = \text{Bir sipariş için hazırlık süresi}$

$TJ1 = \text{Bir parçayı üretmek için gerekli süre}$

4.1.4 Parti büyüklüklerinin faydalanma üzerindeki etkisi

TA ve TJ için açıklamalar yapıldıktan sonra verilen bir parti büyüklüğü için iş istasyonunun faydalanma oranı hesaplanır. Faydalanma'nın TJ / TA olduğundan bahsetmiştik. TJ ve TA değerlerinin de eşitliklerini yazalım.

Faydalanma;

$$U = (TSU + L \times TJ1) / (L \times TA1) \quad (4.10)$$

$$U = (TSU / (L \times TA1)) + (TJ1/TA1) \text{ olur.}$$

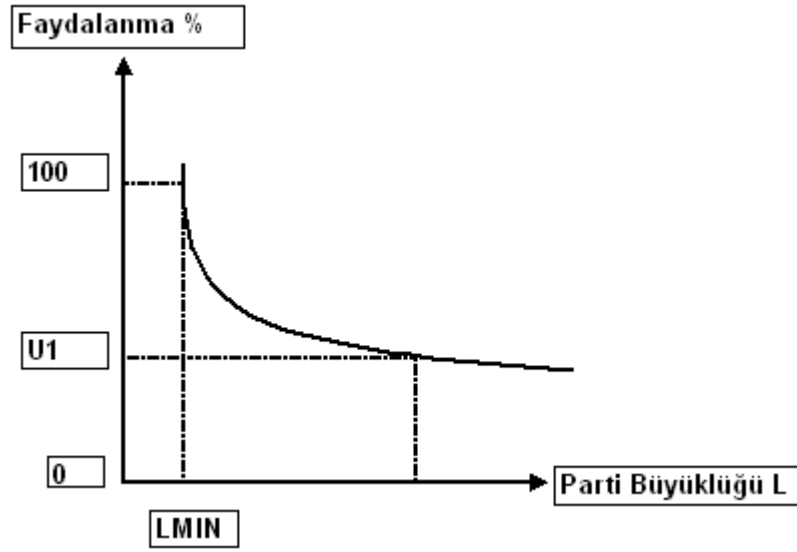
Yukarıdaki formülde siparişlerin 1'er parça olduğunu ve hazırlığa gerek olmadığını düşünürsek gelişler arası süre $TA1$ 'e, işleme için sürenin de $TJ1$ 'e eşit olduğu görülmektedir. Faydalanma ise;

$$U1 = TJ1 / TA1$$

$$U = U1 + TSU / (L \times TA1) \text{ olmaktadır.}$$

Yukarıdaki eşitlikte L hariç tüm değerler bilinmektedir. Yalnız L karar değişkenidir.

Şekil 4.3'te U'nun L'nin bir fonksiyonu olarak değişimi görülmektedir.



Şekil 4.3 : Parti büyüklüğünün faydalanma üzerindeki etkisi (Suri,1998)

Şeklin sağ kısmından açıklamaya başlayalım L çok büyük olursa U U1'e yaklaşmaktadır. L'nin büyük değerlerinde hazırlık sayısı az olduğu için sistemdeki faydalanma oranında neredeyse hiç hazırlık süresi olmuyor. Sola doğru gidildikçe L'nin azaldığı ve U'nun arttığı gözlemlenmektedir. LMIN değerinde U 1'e eşittir. LMIN değerinden daha küçük değerlerde ise sipariş gecikmesi durumu ortaya çıkmaktadır.

4.1.5 Parti büyüklüklerinin temin süresi üzerindeki etkisi

Bu kısma kadar olan bölümlerde yalnızca faydalanma performans ölçütünü hesapladık. Temin süresi performans ölçütünün parti büyüklüğü üzerindeki etkisinden bahsetmedik. Temin süresini hesaplamak için siparişlerin gelişler arası süresinin ve işlem süresinin değişkenliklerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Anlatımı kolaylaştırmak için değişkenlik oranlarının (VRA ve VRJ) 1'e eşit olduğunu kabul edelim. Bu durumda toplam değişkenlik (V) 2'ye eşit olmaktadır.

Kuyrukta bekleme süresi;

$$QT = M \times TJ \text{ olmaktadır.} \quad (4.11)$$

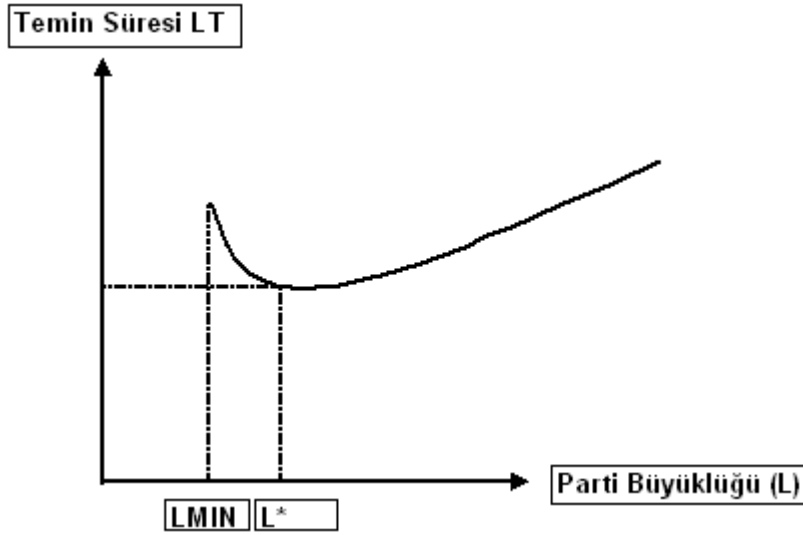
Siparişin temin süresi;

$$LT = M \times TJ + TJ \quad (4.12)$$

$$LT = TJ \times (M+1)$$

$LT = TJ / (1-U)$ olur.

Bu formüllerden bahsettikten sonra parti büyüklüğü kararının bir fonksiyonu olan temin süresi değişimini analiz edebiliriz. Değişimin grafik üzerindeki gösterimi Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.4 : Parti büyüklüğünün temin süresi üzerindeki etkisi (Suri,1998)

Öncelikle L'nin büyük değerlerinde öncede açıklandığı gibi $U \rightarrow 1$ 'e yaklaşmaktadır. Bu nedenle formülün paydasındaki değere $1 - U$ yerine $1 - U_1$ yazılabilir. Formülün payı olan TJ'nin de $TSU + (L - TJ)$ olduğu bilindiğine göre L'nin çok büyük değerleri için LT'nin neredeyse L ile doğrusal bir şekilde arttığı söylenebilir. Bu durum Şekil 4.4'ün sağ kısmında görülmektedir. Şeklin sağ kısmına bakarak iş istasyonunun etkinliğinin artırılmasında hazırlığa daha az zaman harcanması gerektiği yani L'nin büyük tutulması gerektiği düşünülebilir. Ancak grafiğe bir bütün olarak bakılırsa belli bir noktadan sonra L artmaya devam ederse temin süresinin de buna bağlı olarak artacağı görülmektedir.

Şekil 4.4'ün sağ kısmından sola doğru hareket edersek temin süresinin L ile neredeyse doğrusal olarak azaldığı gözlemlenmektedir. Belli bir değerden sonra L hala azalmaya devam ederse U artmaya başlar ve Temin süresinin hesaplandığı formülün payda değeri küçülür. Bu değer küçülmesi TJ'nin büyümesine neden olur ve formüldeki temin süresi aynı hızda azalmaz. Sonunda U değeri 1'e yaklaşır ve $1 - U$ sifıra yaklaşır. TJ bu sifıra yakın değere bölündüğü için temin süresi çok büyük olur. L hala küçülmeye devam ederse temin süresi hızlı bir şekilde artmaya başlar. L

LMIN değerine ulaşıncaya siparişlere cevap vermek imkânsızlaşır ve temin süresi sonsuza yaklaşır.

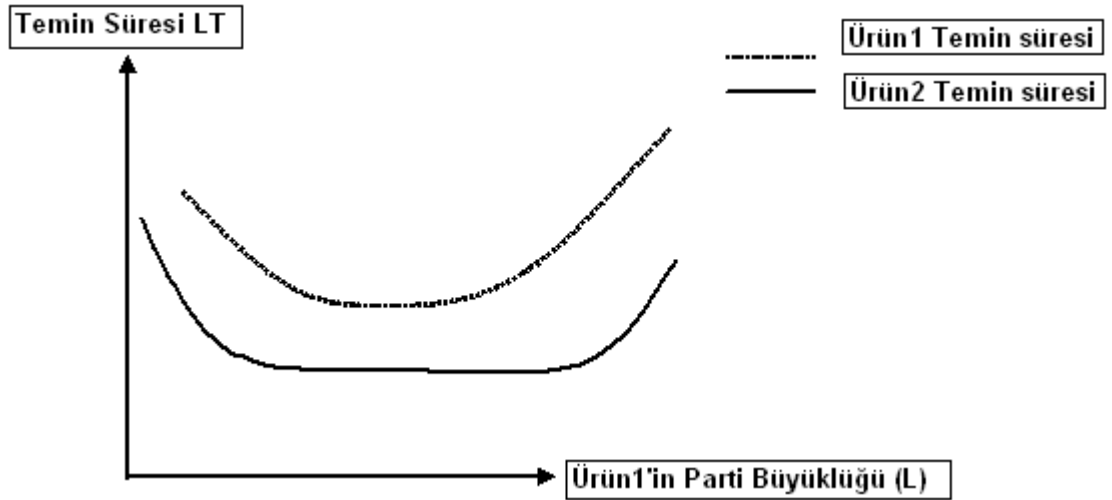
Şekil 4.4'ün sağında ve solunda artan temin sürelerinin arasında bir yerde temin süresi en küçük değerine ulaşmaktadır. Bu da şekilde L^* ile gösterilmiştir.

4.2 Ürün Çeşitliliğinin Olduğu Durumlarda Parti Büyüklüğünün Belirlenmesi

Önceki bölümde ürün çeşitliliği ortalama ürün olarak teke indirildi ve ortalama parti büyüklüğünün temin süresi üzerindeki etkisi incelendi. Bu bölümde ise farklı çeşitteki ürünler için farklı parti büyüklükleri etkisi incelenecektir.

Bu bölümde kolaylık açısından iki çeşit ürünün varlığı kabul ediliyor. Her ürün için toplam talep yine sabit olduğu kabul edilmektedir. Bu şekilde işleyen bir sistemde parti büyüklüklerinin temin süresini nasıl etkilediğini inceleyelim.

İki çeşit ürün göz önüne alındığı için iki tip parti büyüklüğü kararına ihtiyaç vardır. Bunlar birinci ve ikinci tip ürünler için sırasıyla L_1 ve L_2 olsun. L_2 sabit tutulup L_1 'deki değişimin iki tip ürün içinde temin süresini nasıl etkilediği Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5 : Ürün1'in parti büyüklüğünün iki ürünün temin süresindeki etkisi (Suri,1998)

Başta da anlatıldığı gibi ürün1'in temin süresi kendi parti büyüklüğünün bir fonksiyonudur. Ancak ürün çeşitliliğinin olduğu durumda L_1 değeri ürün2'nin temin süresi üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. L_1 değeri çok büyükken ürün 2 için gelen sipariş ürün 1'in üretiminin tamamlanmasını beklemek zorundadır. Diğer

yandan L1 çok küçükken iş istasyonunun faydalanma oranı yüksektir. İki durumda temin süresinin uzun olmasına neden olmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi en iyi durum bu iki uç noktanın arasında gerçekleşmektedir.

Üzerinde durulması gereken diğer bir nokta ise iki ürünün parti büyüklükleri arasında çok fark olmasıdır. Eğer böyle bir durum varsa işlem süreleri arasındaki değişkenlik de büyük olacaktır. Bu değişkenliği azaltmak için ürünlerin parti büyüklükleri her ürünün hazırlık ve işlem sürelerinin toplamı birbirine yakın olacak şekilde seçilmelidir.

4.3 Birden Fazla Operasyon Gerektiren Ürünler

Şimdiye kadar tek bir iş istasyonuna odaklandık ancak gerçek hayat çoğu ürünün üretiminde birden çok operasyon gerektirmektedir. Bu operasyonların temin sürelerinin kısa olduğundan emin olmak için bazı ek değişkenlerin etkisini anlamak gerekmektedir. Bu bölümde bu değişkenlerin üzerinde durulacaktır.

4.3.1 Parti aktarma ya da çakışan operasyonlar

Parti aktarma stratejisinde bir partideki tüm parçaların ilk operasyonlarının tamamlanmasını beklemek yerine parçaların ilgili makinede işlendikten hemen sonra bir sonraki makineye aktarılması durumu söz konusudur. Parçalar teker teker gönderilmek yerine küçük kutularla da gönderilebilir. Örneğin 100'lük bir siparişin parti aktarma büyüklüğü 10 olabilir.

4.3.2 Değişkenliğin yayılma etkisi

Çoklu operasyonları gerçekleştirirken göz önünde bulundurulması gereken diğer etki de sistemdeki değişkenliğin yayılması durumudur. Önceki bölümlerde işlerin gelişler arası süresinin değişkenliğinin temin süresi üzerindeki etkisinden bahsetmiştik. Çoklu operasyonlarda bir istasyonun girdisi diğer istasyonun çıktısı olduğu için önceki operasyonların değişkenliği sonrakileri de etkilemektedir. Bu değişkenliğin kabul edilir olup olmadığının kararına da kuyruk teorisinde tanımlanan çıktı değişkenliği formülü ile varılmaktadır. Çıktı değişkenliği de çıkışlar arası değişkenlik oranı (VRD) ile ölçülmektedir. VRD'nin anlamı önceden tanımlanmış olan VRA ile benzerdir.

Bir istasyonun girdisi diğeri nin çıktısı olduğu için bir istasyonun VRD'si diğeri nin VRA'sı olmaktadır. Bu nedenle iş istasyonlarında VRD'yi oldukça düşük tutmak gerekmektedir.

4.4 Little Kanunu'nun Kullanımı

Little kanununun üretim yönetiminde kullanıldığı iki önemli nokta bulunmaktadır. İlki bu kuralın yöneticilerin personel için tutarlı hedefler belirleyip belirlemediğinin kontrolüdür. Diğeri ise yöneticilerdeki fabrikanın performansı ile ilgili verilerin doğru olup olmadığının kontrolüdür. Little kanunu aşağıdaki formülle açıklanabilir.

$$WIP = \text{Üretim Hızı} \times \text{Temin Süresi}$$

Örneğin bir üretim hattının 3 haftalık bir temin süresi olsun ve her hafta 20 adet ürün üretilsin. Bu üretim hattındaki yarı mamül stoğu;

$$WIP = 20 \times 3 = 60 \text{ 'dır.}$$

4.4.1 Little kanunu'nun ilk kullanımı – tutarlı hedefler koymak

Bu basit kuralın değeri büyüktür. Çoğu üretim müdürü yönetim tarafından belirlenen yarı mamül stoğu (WIP) ve temin süresi amaçlarına ulaşmakta zorluk çekmektedir. Örneğin yukarıdaki örnekte üretim hızının değişmediği bir firmada 20 adet yarı mamül stoğu ile üç haftalık temin süresi amacı belirlenmesi uygun değildir. Daha karmaşık üretim sistemlerinde bu iki amacın birbiri ile tutarlı olmasının önemi daha açıkça anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak Little kanunu hedeflerin ulaşılabilirliğinin ve tutarlılığının kontrolünde basit ancak etkin bir yöntemdir.

Little Kanunu'nun İkinci Kullanımı – Performans Raporları

Bu kısmı açıklamak için Little kanunu'nu biraz değiştirerek yazalım;

$$\text{Temin Süresi} = WIP / \text{Üretim Hızı}$$

Little kanunu yöneticilere sunulan farklı bölümlerin aynı içerikteki raporlarının birbiri ile tutarlı olmasını sağlar. Örneğin bir firmanın müşterisi temin sürelerinin uzunluğundan şikâyet ediyorsa ve üretim bölümü de temin süresinin müşterilerin istediği aralıkta olduğunu belirtiyorsa performansın belirlenmesinde ilgili bölümlerin

farklı verileri temel aldığı açıktır. Burada Little Kanunu standartlar belirleyerek aynı performans girdilerinin kullanımını sağlamaktadır.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde incelenen üretim sisteminden bahsedilecektir. Firmanın talep yapısından, incelenen ürünlerin üretim süreçlerinden bahsedilecektir. Firmaya hangi malzeme kontrol stratejisinin neden uygulanacağından bahsedilecektir.

5. UYGULAMA

5.1 POLCA Kontrolünün Uygulandığı Firmanın Üretim Süreci

Bu çalışmada incelenen firmada kablo taşıma sistemleri üretilmektedir. Firmada temelde 5 çeşit ürün üretilmektedir. Bunlar; UKS, UKF, CTH-CTA, KC-KM ve Askı Aksesuar'dır. Bu ürünlerin hepsi kablo taşıma sistemleri ile ilgili ürünler olup üretildiği malzeme çeşidi ve ihraç edilen ülkenin iklim yapısı ve kullanım amacına göre farklılık göstermektedir.

Bu 5 çeşit ürün grubunun her birinde farklı ürünler bulunmaktadır. Örneğin UKS olarak adlandırılan ürün grubunda UKS kablo kanalı, UKD kablo kanalı, UKS kablo taşıma sistemi parçaları ve UKK kanal kapağı ve Modül kapakları olarak adlandırılan ve her birinin en boy ve yükseklikte çeşitleri bulunan ürünleri vardır. Firmanın müşteri profili büyük alışveriş merkezleri ve otoparklardan, üretim işi yapan ve elektrik kablo taşıma sistemine ihtiyaç duyan firmalardan oluşmaktadır. Alışveriş merkezlerinde elektrik kablolarının gerek zeminden gerekse tavadan taşınmasını sağlayan ürünler bu firma tarafından üretilmektedir.

Çalışmada firmadaki tüm ürünler modelin karmaşık olmaması açısından ele alınmadı. Bunun yerine incelediğimiz POLCA kontrol mekanizmasının faydalarının daha net görülmesi anlaşılması için talep çeşitliliği çok olan 5 adet ürün incelenmeye çalışılmıştır. Bu ürünler; UKS ürün grubunun içerisinde yer alan UKS ek elemanı,

Askı aksesuar ürün grubunda bulunan ASU 2A 5 olarak adlandırılan ürün, AT3 100 olarak adlandırılan ürün, KT300 olarak adlandırılan ürün, TS 300'dür.

AT3 100 ürünü, 100 mm genişliğindeki kablo kanalını tavadan tutturmak için kullanılan tij sistemli kanal taşıyıcıdır. AT3 ürününün 50, 100, 150, 200, 250, 300 olmak üzere genişliği farklılık gösteren 6 çeşidi bulunmaktadır.

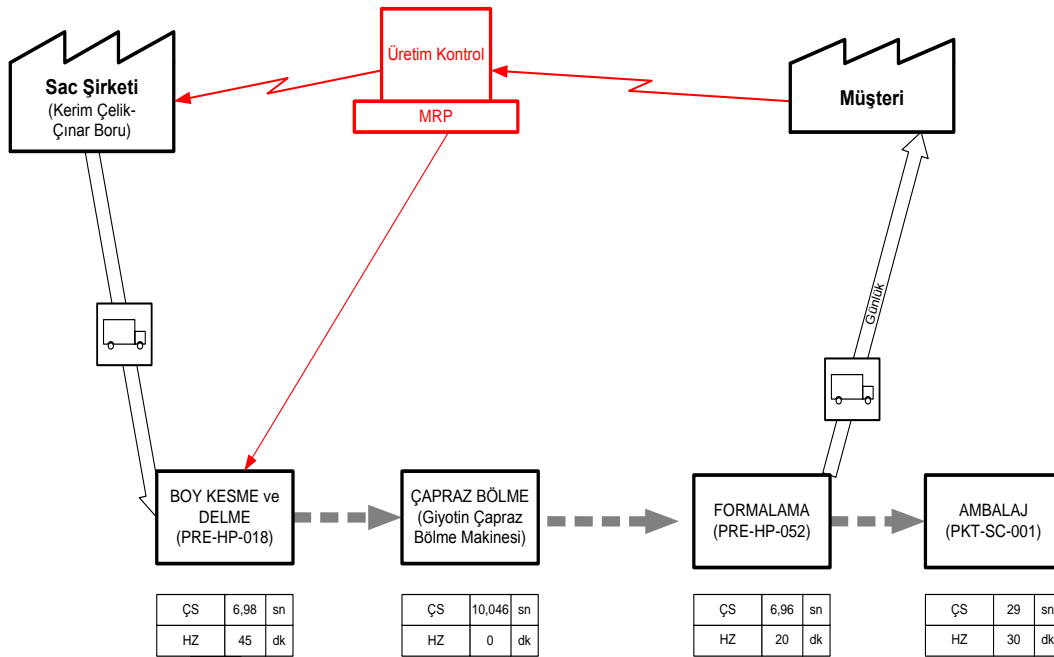
UKS ek elemanı, UKS Kablo kanallarını birbirine eklemek için kullanılan birleştirme elemanıdır.

ASU 2A 5 ürünü kablo kanalını veya kablo merdivenini asmak için, çeşitli askı malzemelerinin bağlandığı (KT-TS v.b) askı uzatma profilidir. ASU 2A ürünlerinin de farklı boya sahip 5 çeşidi bulunmaktadır.

KT 300 ve TS 300 ürünleri ise askı uzatma profiline bağlanarak 300 mm'lik kablo kanalı veya 300 mm'lik kablo merdiveni taşıyan hafif hizmet tipi taşıyıcıdır.

5.2 İncelenen Ürünlerin Üretim Aşamaları

Bu kısımda incelenen ürünlerin üretim aşamaları anlatılacaktır. Şekil 5.1'de KT300 ürününün üretim aşaması görülmektedir.

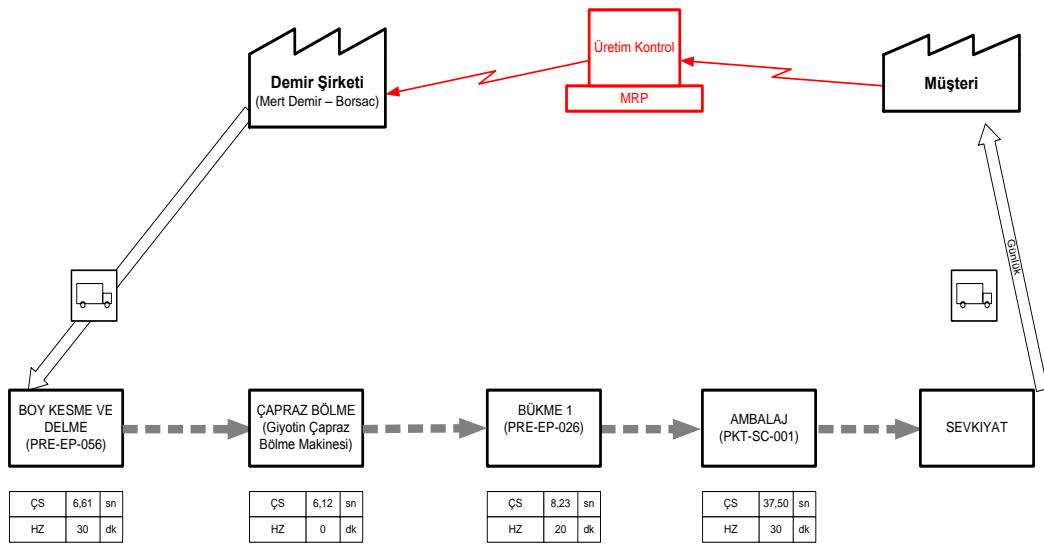


Şekil 5.1 : KT 300 ürününün üretim aşaması

Şekilde de görüldüğü gibi KT300 ürününün hammaddesi Sac şirketinden geldikten sonra PRE-HP-018 olarak adlandırılan baskı makinesinde delikleri açılmakta ve siparişe göre boyu kesilmektedir. Bu işlem lognormal dağılımına uymaktadır ve ortalaması 6,96 saniyedir. Bu makinenin hazırlığı ise her günün başında yapılmakta olup yaklaşık 45 dakika sürmektedir. Bu işlem için bir operatör makinenin başında durmaktadır. KT 300 ürünün ikinci üretim aşaması Giyotin Çapraz Bölme Makinesi olarak adlandırılan makinede yapılmaktadır. Bu makine için bir hazırlık süresi bulunmamaktadır. İşlem süresi lognormal dağılıma uymaktadır ve ortalaması 10,046 saniyedir. Çapraz bölme işleminde bir operatör görev almaktadır. Sonraki aşamada

ise formalama olarak adlandırılan sacın yanlarının bükülme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem için de bir operatör makinenin başında durmaktadır. Bu makinenin de hazırlığı günün başında yapılmakta olup ortalama yarım saat sürmektedir. Formalama işleminin süresi normal dağılıma uymaktadır ve ortalaması 6,96 saniyedir. Sonrasında siparişler PKT-SC-001 olarak adlandırılan ambalajlama makinesine gönderilip burada paketlenmektedir. Bu işlem ise ortalama 29 saniye sürmektedir. İşlem süresi Erlang dağılımına uymaktadır.

Bir sonraki ürün ise TS 300 ürünüdür. Şekil 5.2’de bu ürün için üretim aşaması görülmektedir.



Şekil 5.2 : TS 300 ürününün üretim aşaması

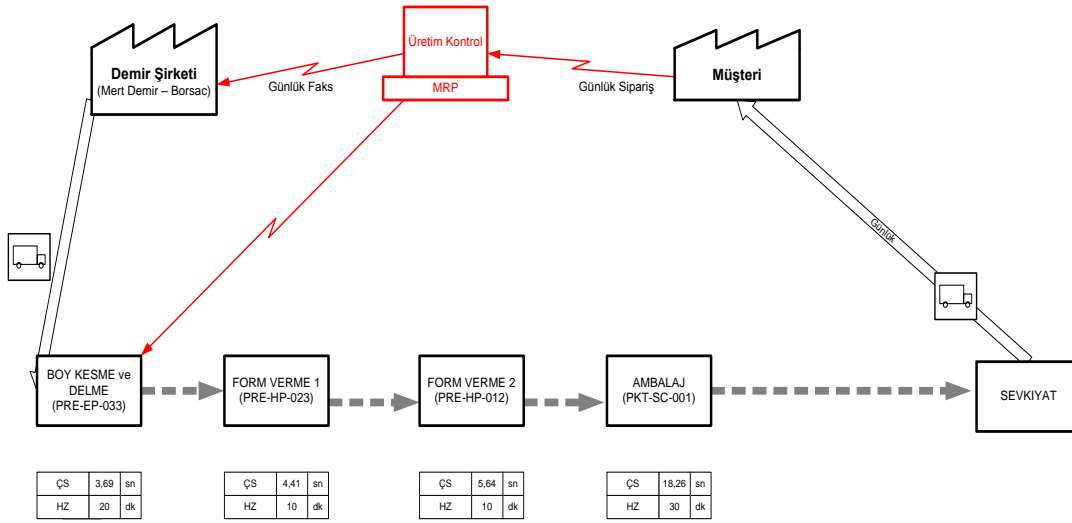
TS 300 ürününün hammaddesi olan sac rulolar halinde tedarikçiden gelmektedir. Rulo halindeki sac, sac açıcıda açıldıktan sonra doğrultucu olarak adlandırılan ve sacı PRE-EP-056 makinesine gitmesini sağlayan bir mekanizmaya bağlanır. Sonrasında bu makinede siparişe göre boy kesme işlemi ve üzerinde delik delme işlemi yapılır. Bu işlemin yapıldığı makinede ki işlem süresi normal dağılıma uymakta olup ortalaması 6,61 saniyedir. Makinenin hazırlığı da her günün başında yapılmakta olup 30 dakika sürmektedir. Bu işlemde de bir operatör görev almaktadır.

Boy kesme işlemi bittikten sonra çapraz bölme olarak adlandırılan kesilmiş ürünlerin çapraz bir şekilde kesilme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem de normal dağılıma uymaktadır ve ortalaması 6,12 saniyedir.

Çapraz bölme işlemi gerçekleştikten sonra parçaların yanlarının bükülme işlemi vardır bu işlem için de bir operatör gerekmektedir. İşlem süresi Gamma dağılımına uymakta olup ortalaması 8,23 saniyedir.

Tüm bu işlemlerden sonra bitmiş ürünler PKT-SC-001 makinesinde ortalama 37,50 saniye süren işlem süresi ile paketlenip gönderilmektedir.

Bir sonraki ürün AT3 100 ürünüdür. Bu ürün için üretim süreci Şekil 5.3'te görülmektedir.



Şekil 5.3 : AT3 100 ürününün üretim aşaması

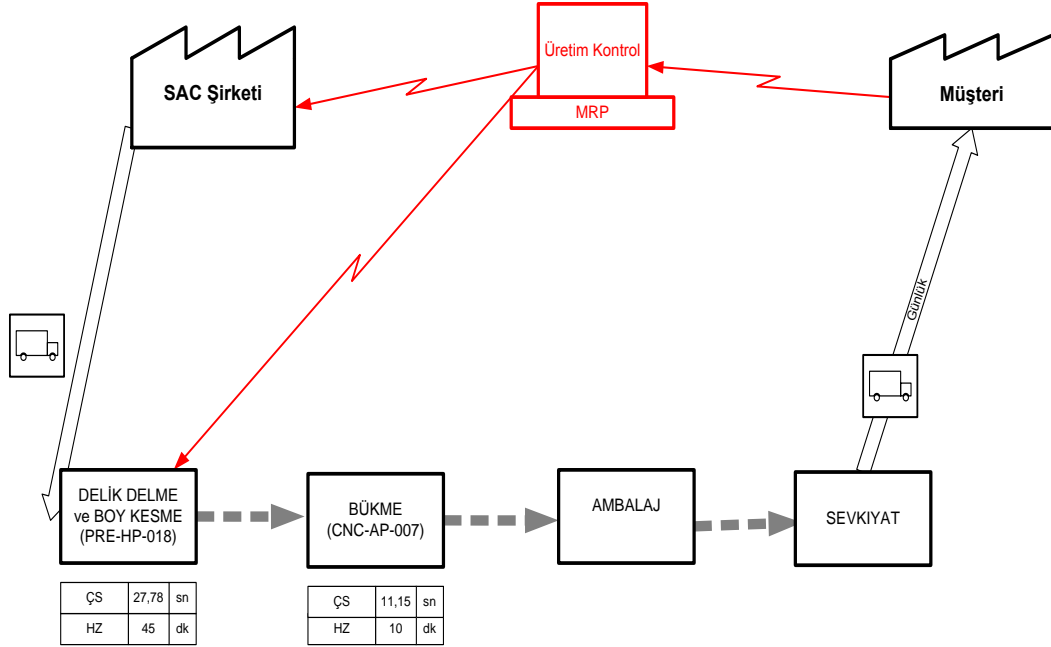
AT3 100 ürününün hammaddesi olan sac rulolar halinde tedarikçiden gelmektedir. Rulo halindeki sac, sac açıcıda açıldıktan sonra doğrultucu olarak adlandırılan ve sacı PRE-EP- 033 makinesine gitmesini sağlayan bir mekanizmaya bağlanır. Sonrasında bu makinede siparişe göre boy kesme işlemi ve üzerinde delik delme işlemi yapılır. Bu işlemin yapıldığı makinede ki işlem süresi üstel dağılıma uymakta olup ortalaması 3,69 saniyedir. Makinenin hazırlığı da her günün başında yapılmakta olup 20 dakika sürmektedir. Bu işlemde de bir operatör görev almaktadır.

Boy kesme işlemi bittikten sonra kesilmiş sacların yanlarının kıvrılması işlemi formalama 1 işlemi olarak PRE-HP-023 makinesinde yapılmaktadır. Bu işlem lognormal dağılımı göstermektedir ve ortalaması 4,41 saniyedir.

Formalama 1 işlemi gerçekleştikten sonra yanları bükülmüş parçaların boylamasına bükülme işlemi vardır bu işlem için de bir operatör gerekmektedir. İşlem süresi Beta dağılımına uymakta olup ortalaması 5,64 saniyedir.

Tüm bu işlemlerden sonra bitmiş ürünler PKT-SC-001 makinesinde ortalama 18,26 saniye süren işlem süresi ile paketlenip gönderilmektedir.

Bir sonraki ürün ASU 2A 5 ürünüdür. Şekil 4.4'te bu ürünün üretim aşaması görülmektedir.



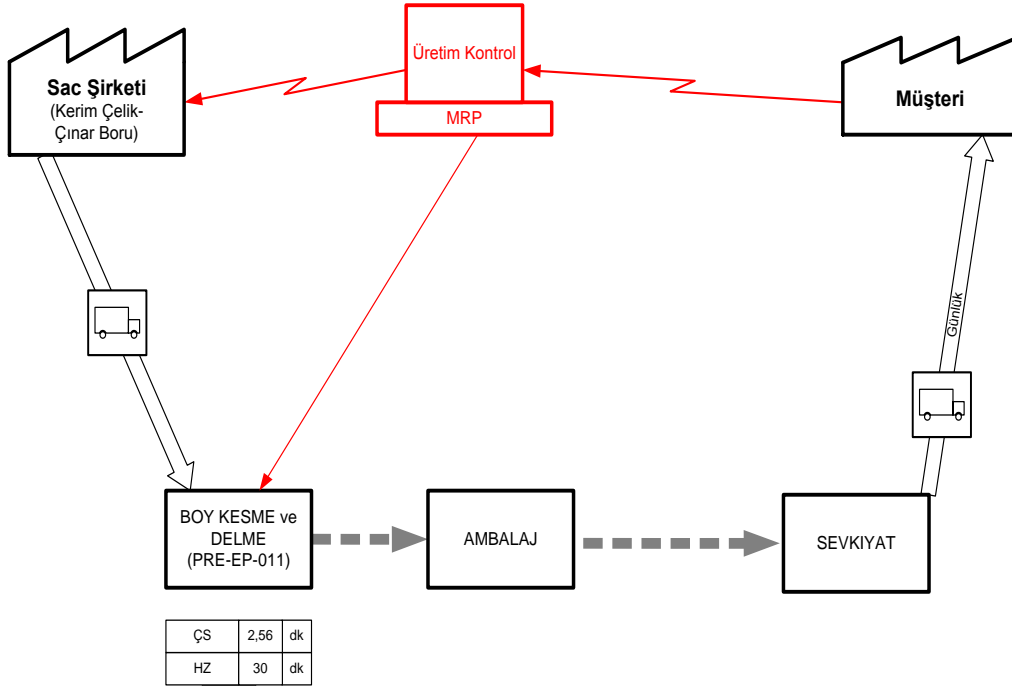
Şekil 5.4 : ASU 2A 5 ürününün üretim aşaması

ASU 2A 5 ürününün hammaddesi olan sac rulolar halinde tedarikçiden gelmektedir. Rulo halindeki sac, sac açıcıda açıldıktan sonra doğrultucu olarak adlandırılan ve sacı PRE-HP- 018 makinesine gitmesini sağlayan bir mekanizmaya bağlanır. Sonrasında bu makinede siparişe göre boy kesme işlemi ve üzerinde delik delme işlemi yapılır. Bu işlemin yapıldığı makinede ki işlem süresi normal dağılıma uymakta olup ortalaması 27,78 saniyedir. Makinenin hazırlığı da her günün başında yapılmakta olup 45 dakika sürmektedir. Bu işlemde de bir operatör görev almaktadır.

Boy kesme işlemi bittikten sonra kesilmiş sacların bükülme işlemi CNC-AP-007 makinesinde gerçekleştirilmektedir. Bu işlem Gamma dağılımı göstermektedir ve ortalaması 11,15 saniyedir.

Bükme işlemi gerçekleştirildikten sonra sipariş büyüklüğüne göre ürünler kolilenip gönderilmektedir.

Son ürün UKS ek elemanının üretim aşaması da Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 5.5 : UKS ek elemanının üretim aşaması

Diğer tüm ürünlerde olduğu gibi UKS ürününün de hammaddesi tedarikçiden geldikten sonra doğrultma ve açma işlemleri ile birlikte PRE-EP-011 makinesine gitmek için hazırlanır. Bu ürününün tek bir işlemi vardır PRE-EP-011 makinesinde boy kesme ve delme işlemi gerçekleştikten sonra sipariş miktarına göre kolilenip müşteriye gönderilmektedir. Boy kesme ve Delme işlemi normal dağılıma uyuyor ve ortalaması 2,56 saniyedir. Bir sonraki bölümde ürün siparişlerinin gelişlerarası sürelerinden (GAS) ve sipariş büyüklüklerinden bahsedilecektir.

5.3 Ürünlerin Talep Yapısı

POLCA kontrolünün talep koşullarının belirsizlik gösterdiği ve işlem sürelerindeki sapmanın çok olduğu durumlarda uygun olduğundan bahsetmiştik. POLCA kontrolü genellikle daha çok müşterilerin bir katalogdan değil de tamamıyla tek çeşit olan ve ihtiyaçlarına göre tasarlanmış özel ürünler istediği durumlara uygulansa da incelenen sistemde de temin süresini kısaltacağı düşünülmektedir. Çizelge 5.1'de talep özellikleri görülmektedir.

Çizelge 5.1 : Talep Özellikleri

Ürün	GAS Ortalaması	GAS Varyans	GAS Dağılımı	Miktar Ortalaması (gün)	Miktar Varyansı	Miktar Dağılımı
KT 300	2,80	5,25	Beta	94,35	17458	Üstel
TS 300	3,78	14,46	Weibull	145,15	40464	Weibull
AT3 100	3	5	Beta	289	158714	Weibull
ASU2A5	3,17	5	Beta	75	8105	Lognormal
UKS	4,36	9,59	Beta	805	1068670	Weibull

Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi ürünlerin talep büyüklükleri, talebin GAS’nin standart sapmaları bir hayli büyüktür. Bu nedenle bu sistemde Kanban kontrolünün yerine POLCA kontrolü uygulanabileceği düşünülmüştür.

Çizelgede de görüldüğü gibi gerek GAS gerekse miktarın varyans değerleri oldukça büyük olduğu için yani talep miktarındaki belirsizliğin çok olduğu bu ortamda üretim planlamada POLCA kontrolünün kanban kontrolünden daha uygun bir yöntem olduğu düşünülmektedir.

Bir sonraki bölümde yüke dayalı POLCA sisteminin girdilerini oluşturan Gelişmiş Kaynak Planlamasından bahsedilecek. Siparişlerin iş yüklerinin ve döngülerde izin verilen iş yüklerinin hesaplanması ve kurulan benzetim modeli anlatılacaktır.

6. SİSTEMİN BENZETİM İLE MODELLENMESİ

İncelenen firmanın talep yapısı POLCA sisteminin uygulanması için uygun bir sistem olduğunu belirtmiştik.

Önceki bölümlerde POLCA kontrolünün işleyiş biçiminden, POLCA kart sayılarının hesaplanmasından bahsedildi.

Bu çalışmada yapılan POLCA benzetimi döngü yüküne dayalı bir benzetimdir. Döngü yüküne dayalı sistemde kartların yerini bir döngünün saatlik yük miktarı almaktadır. Bu sistem Nico Vandaele (1996)'nın çalışmasından alınmıştır.

Modelin yapısından bahsetmeden önce modelin girdisi olan POLCA döngü yüklerinin hesaplanmasını içeren Gelişmiş Kaynak Planlamasından (ARP) bahsedelim.

6.1 Gelişmiş Kaynak Planlaması (ARP)

Üretim planlama hangi ürünün ne zaman ve nerede üretilceğinin kararını belirler. Sınırlı kaynak varlığını ve bunun değişkenliklerini hesaba katarak müşteri siparişleri ve teslim süreleri üretime izin tarihleri olan üretim siparişlerine çevrilir. Bu çevirme aşamasında parti büyüklüğü ve gerçekçi temin sürelerinin hesaplanması çok büyük önem taşımaktadır. Gelişmiş kaynak planlaması sınırlı kaynakların değişkenliğini de göz önüne alarak üretim alanını stokastik bir ağ şeklinde modellemektedir.

Gelişmiş kaynak planlaması 2 aşamaya ayrılmaktadır. Bunlardan ilki parti büyüklükleri ve temin süresi tahmin aşamasıdır. İlgili kuyruk ağına eniyileme (ağırlıklı ortalama temin süresini en küçükleyen amaç fonksiyonu ve birtakım kısıtlarla) uygulanarak her ürün için en uygun parti büyüklüğü belirlenir. Diğer aşama ise düzenleme evresidir. Bu evrede Ya ise? senaryoları ile (mesai kullanarak, kapasite artırımına gidilerek, alternatif rotalar kullanılarak) kapasite ve talep ayarlanmaya çalışılır.

6.2 Yüke Dayalı POLCA Kontrolü

POLCA kontrolünde çalışma prensibi itme kontrolünün üretim planlamasında olduğu gibi yalnızca üretim izin tarihlerine dayalı olarak yapılmaz. Üretim izin tarihine ek olarak mevcut sistem durumu da göz önüne alınmaktadır. POLCA sistemini itme sisteminden ayıran en büyük fark da budur.

POLCA sistemi iki girdi parametresi ile çalışmaktadır. Bunlar; üretim izin tarihleri ve POLCA kart sayılarıdır. Ele alınan POLCA sisteminde kart sayılarının yerini döngü yükleri almaktadır. Bu yüklerin nasıl hesaplanacağı sonraki bölümlerde anlatılacaktır. Şimdi yüke dayalı POLCA sisteminin kart sayısına dayalı POLCA sistemine göre avantajlarından söz edelim.

İlk olarak yüke dayalı sistemde işlem sürelerinin birbirinden çok farklı olduğu aynı döngüdeki süreçlerin üretim siparişlerini karşılanmasını sağlamaktadır. Döngü yükü hesaplanırken işlem sürelerinin ortalamaları da göz önüne alınmaktadır. Kartlı sistemde ise bu farklılık dolaylı olarak göz önüne alındığı için etkisi tam anlamıyla sistemde yer almamaktadır.

Yüke dayalı sistemde iş yükü az olan birçok sipariş ya da iş yükü çok olan az sayıdaki sipariş döngüye girebilmektedir ve aynı performansı göstermektedir. Kartlı sistemde ise iş yükü göz önüne alınmadığı için iş yükü ağır bir sipariş de hafif bir sipariş de aynı kartı tutmaktadır. Diğer bir deyişle yüke dayalı POLCA sisteminde POLCA kartlarının daha da düzgünleştirilmesi söz konusudur.

Yüke dayalı POLCA sistemi karta dayalı sistemde talepte, ürün sıralamalarında bir değişiklik olursa ya da mevsimsellik olursa ya da kartlar kaybolursa üretimin sürekli ayarlanması durumunu da ortadan kaldırmaktadır.

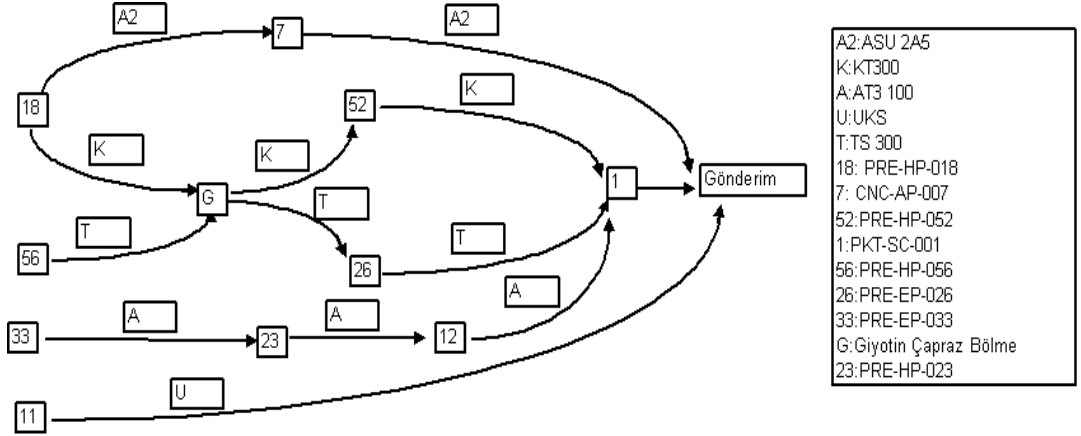
Son olarak yüke dayalı sistemde iş akışının malzeme elleçlemesinin daha kolay olması gibi ürün izlenebilirliğinin daha kolay olması gibi pratik avantajları da bulunmaktadır.

Diğer yandan kart sayılarının yerini yükler aldığı için yüke dayalı POLCA sisteminde bilgisayarlı bir sistem gerekmektedir bu durumda da operatörlere sisteme alışana kadar eğitim vermek gerekmektedir (Vandaele ve Clearhout, 2006).

Bir sonraki bölümde incelenen ürünlere ait POLCA döngülerini tanımlayıp yüklerin hesaplanmasını anlatalım.

6.3 Sistemdeki POLCA Döngüleri

POLCA kontrolünde döngüler ardışık operasyonların olduğu hücreler şeklinde belirlenmektedir. Bizim incelediğimiz modelde hücresel üretim olmadığından makineler hücreler olarak düşünülmüştür. Şekil 6.1’de bu döngüler görülmektedir.



Şekil 6.1 : POLCA döngüleri

Sistemde kabul edilen döngüler 18-7, 18-G,G-52,52-1,56-G,G-26,26-1,33-23,23-12,12-1 olarak düşünülmüştür.

6.4 Döngü Yüklerinin ve İş Yüklerinin Hesaplanması

POLCA kontrolünde kartların döngünün başına dönmesi ya da herhangi bir döngüde serbest bir kartın bulunması o döngüdeki kapasite uygunluğuna işaret etmektedir. Başka bir deyişle POLCA döngüsündeki makineler üretim izni verilen siparişleri işlemeye başlayabilecektir. Hesaplanmaları anlatmadan önce formüllerde geçen terimleri açıklayalım.

No. l/m kartları: l/m döngüsünde gerekli kart sayısı

LT(z): Z istasyonunun üretim temin süresi

Num (l/m): l istasyonundan m istasyonuna giden toplam sipariş miktarı

D: Planlama ufku (saat)

\bar{Y}_k : K ürünün ortalama gelişler arası süresi (saat)

$\delta_{kl \rightarrow m}$: K ürünü l istasyonundan sonra m istasyonuna geçerse 1 diğer durumda 0

değeri alan 0,1 fonksiyonu.

$E(W_k)$: K ürününün ortalama temin süresi

$E(W_{qz})$: Z istasyonundaki ortalama kuyruk uzunluğu

$\overline{T_{kz}}$: K ürünü için z istasyonundaki ortalama hazırlık süresi (saat)

$\overline{OQ_k}$: K ürününün ortalama talep miktarı (saat)

$\overline{x_{kz}}$: K ürününün z istasyonundaki ortalama işlem süresi (saat)

$WL(l/m)$: l/m döngüsündeki ortalama iş yükü

$E(WL_k)$: K ürünün ortalama iş yükü

$$\text{No. l/m kartları} = \left[T(l) + LT(m) \right] \frac{\text{Num}(l/m)}{D} \quad (6.1)$$

$$\text{Num}(l/m) = \sum_{k=1}^K \delta_{kl \rightarrow m} \frac{D}{Y_k} \quad (6.2)$$

$$LT(z) = \frac{\sum_{k=1}^K \frac{\delta_{kz}}{Y_k} E(W_k)}{\sum_{k=1}^K \frac{\delta_{kz}}{Y_k}} \quad (6.3)$$

$$E(W_k) = E(W_{qz}) + \overline{T_k} + \overline{OQ_k} x_k \quad (6.4)$$

Orijinal POLCA sisteminde kart sayısının hesaplanma formülünden bahsetmiştik.

Yüke dayalı POLCA sisteminde de öncelikle kart sayıları hesaplanmaktadır. Bu hesaplama Suri (1998)'de önerilen formül ile aynıdır. Sistemde istasyonların temin süreleri olan $LT(z)$ kuyruk modeli için geçerli olan formül ile edilmektedir. Bizim çalışmamızda ise temin süresi formülündeki k ürünün z istasyonundaki ortalama bekleme süresi benzetim modeli ile elde edilmiştir. Hazırlık süresi değerleri, ortalama işlem süresi değerleri firmada zaman etüdü yapılarak bulunmuştur. Ortalama sipariş büyüklüğü ise siparişlerin geçmiş talep verilerinden yararlanarak elde edilmiştir.

Planlama ufku boyunca l/m döngüsündeki ortalama iş yükü ise;

$$WL(l/m) = \frac{\sum_{k=1}^K \frac{\delta_{kl \rightarrow m}}{\bar{Y}_k} E(WL_k)}{\sum_{k=1}^K \frac{\delta_{kl \rightarrow m}}{\bar{Y}_k}} \quad (6.5)$$

$$E(WL_k) = \bar{T}_{kl} + \bar{T}_{km} + \bar{OQ}_k (\bar{x}_{kl} + \bar{x}_{km}) \quad (6.6)$$

Döngülerin ortalama iş yükü, ilgili döngü istasyonlarının hazırlık sürelerinin ve işlem sürelerinin toplamının ortalama sipariş miktarları ile çarpımının toplamından elde edilmektedir.

Bu çalışmada elde edilen başlangıç değerleri de bu formüllerle oluşturulmuştur. Ancak bu hesaplamalar yapılırken önce de belirttiğim gibi POLCA döngülerinin olduğu istasyonlar hücre şeklinde düşünülmüştür ancak bizim sistemimiz de döngüyü makineler oluşturmaktadır. Bu sebepten POLCA kart sayılarının hesaplanması aşamasındaki girdiler olan iş istasyonları arasında dolaşan sipariş ortalaması ve istasyonların temin süreleri ortalaması hem yukarıdaki formüllerden yararlanarak hem de sistem itme kontrolü şeklinde modellenip benzetim sonuçları ile elde edilmiştir.

Modelin girdisi olan döngü yüklerinin başlangıç değerleri formüllerle belirlenmiş. Sonrasında sipariş büyüklüklerinin ortalamaları modelden tekrar elde edilerek döngülerin yükleri gözden geçirilmiştir.

6.5 Sistemin Çalışma Prensipleri

Oluşturulan benzetim modelinde gelen siparişe temin süresi ile orantılı bir üretim izin tarihi atanıp üretim izni tarihi henüz gerçekleşmemiş olan siparişler bekletilir. Üretim izni alınmış olan siparişler önceden belirlenmiş rotalarına göre ilgili döngülere girmektedir.

Döngüde belirlenen iş yükü siparişin döngüdeki iş yükünden fazla ise sipariş döngüye girmektedir. Eğer döngü yükü siparişin iş yükünden az ise sipariş istasyonun tamponunda bekletilir. Döngü yükü arttığı anda yani işlenen sipariş döngüden çıktığında bekletilen üretim izin tarihi en erken olan sipariş döngü yükü uygunsa işlenmeye başlatılır.

Sistemde kabul edilen performans ölçütleri; süreç içi stok, temin süresi ve müşteri hizmet seviyesidir. Sipariş temin süresi siparişin sisteme gelip yollanmasına kadar geçen süre olarak alınmıştır. Müşteri hizmet seviyesi ise zamanında ya da termin zamanından önce biten siparişin tüm siparişlere oranıdır. Örneğin 100 sipariş sisteme girmiş ve bunların 90 tanesi zamanında ya da istenilen süreden önce tamamlanmışsa bu sistemin müşteri hizmet seviyesi %90'dır.

Modelin akış idyagramına geçmeden önce sistemin incelenmesini kolaylaştıracak olan varsayımlardan bahsedelim.

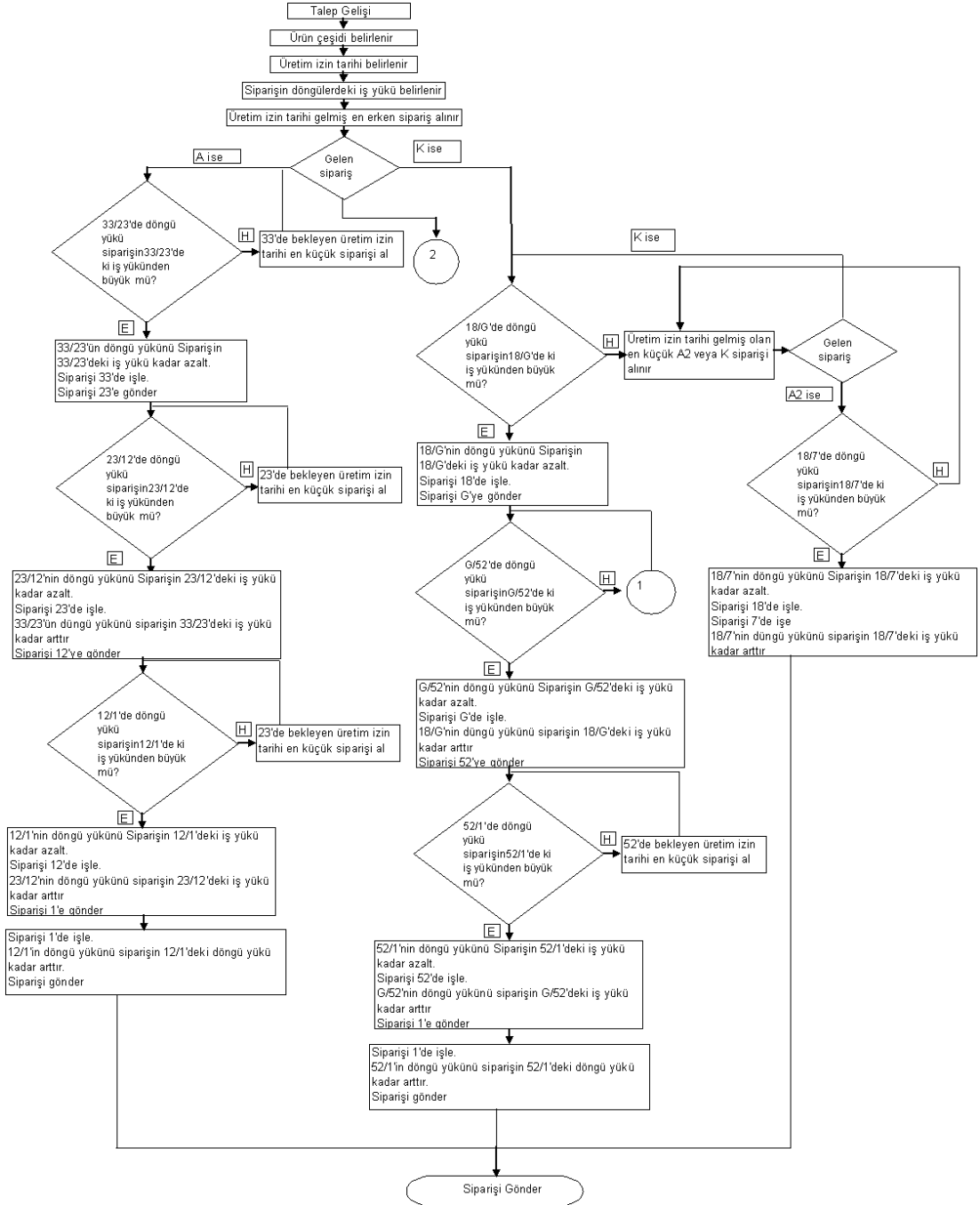
Sistemde yapılan kabuller;

- Sistemde 5 çeşit ürün üretilmektedir.
- Her ürün çeşidinin kendine ait GAS ve Talep dağılımı vardır.
- Her ürün çeşidinin kendine ait hangi makinelerde işlendiğini gösteren bir rotası vardır.
- Bir makinede birden çok çeşitte ürün işleniyorsa o makine hazırlık süresi bulunmamakla birlikte ürün çeşitlerinin aynı makinedeki işlem süreleri farklıdır.
- Makineler arızaları göz ardı edilmiştir.
- Makineler arası mesafe göz ardı edilmiştir.
- Giriş ve Çıkış istasyonlarında makine olmadığı varsayılmıştır.
- Giriş ve Çıkış istasyonu hariç tüm istasyonlarda bir makine vardır.
- Bitmiş ürünün ve herhangi bir makineden çıkan yarı mamülün diğer istasyonlara taşınma süresi göz ardı edilmiştir.
- POLCA sisteminde talep öncelikle Yüksek seviye Malzeme gereksinim planlamasının ve sonrasında POLCA döngülerinin uygunluğu sırasına uygun olarak işlenmektedir.
- CONWIP sisteminde talep MRP'den gelen üretim izin tarihlerine bakılarak ve son aşamadan dönen CONWIP kartlarına bağlı olarak karşılanmaktadır.
- Üretimin girdisi olan hammaddenin sonsuz olduğu kabul edilmiştir.
- Malzeme elleçleme kaynakları sonsuzdur.

6.5.1 Modelin akış diyagramı

Bir önceki kısımda anlattığımız sistemin çalışma prensibini ayrıntılı bir şekilde akış diyagramında gösterelim.

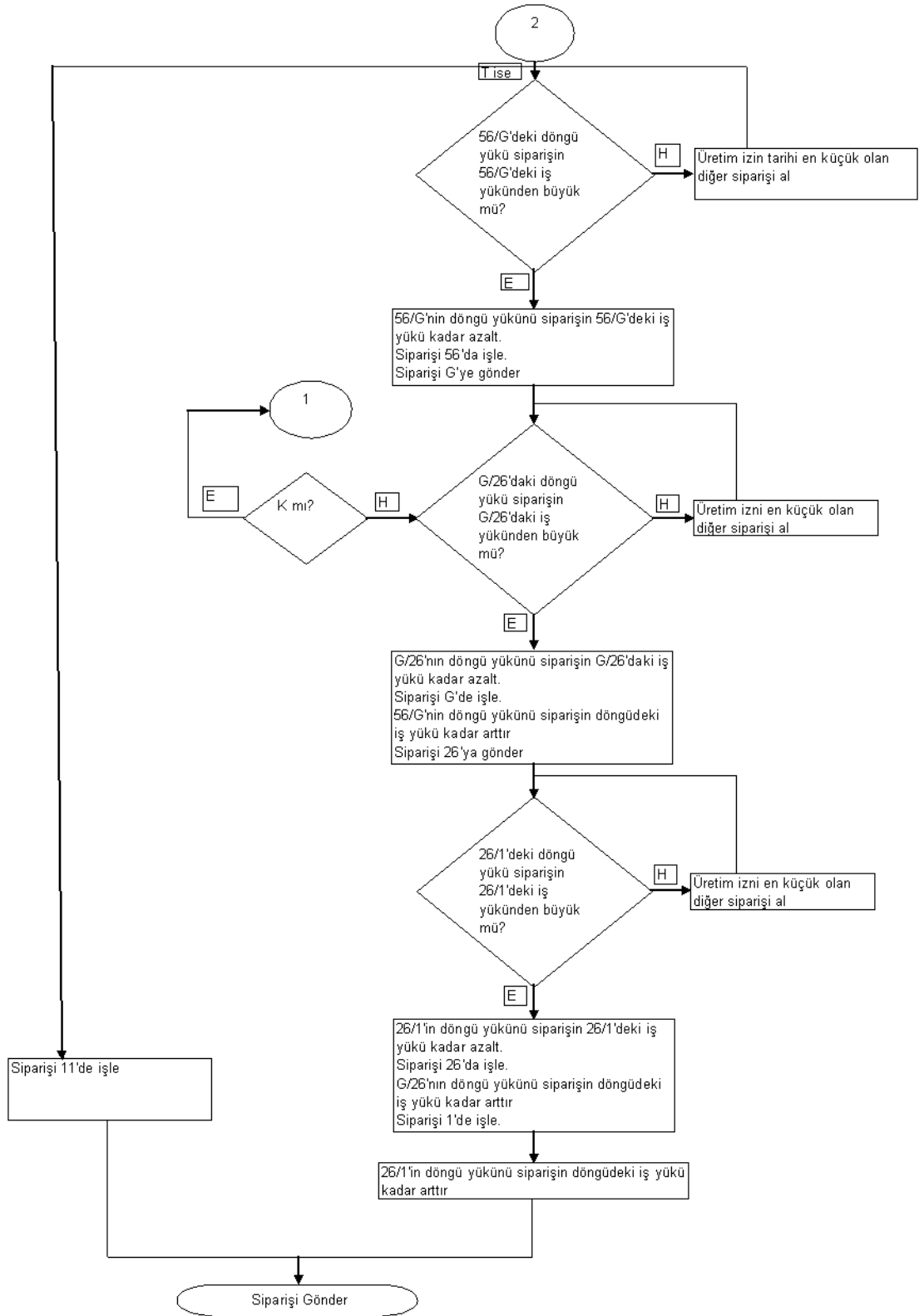
Ürünlerin ve makinelerin sembollerini Şekil 6.1’de göstermiştik. Şekil 6.2’de AT3 100, KT300 ve ASU 2A 5 ürünleri için akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 6.2 : AT3 100, KT300 ve ASU 2A 5 için model akış diyagramı

Şekil 6.2 ve 6.3'de gösterilen akış diyagramını ayrıntılı bir şekilde anlatalım. Kurulan benzetim modelinde sistemde döngü yükleri belirlenir model çalıştırılmadan önce girdi olarak verilir. Döngü yüklerinin nasıl hesaplandığını önceki bölümlerde anlatmıştık. Ürünlerin izlediği aşamalardaki işlem süreleri de toplanan veriler analiz ederek dağılımlarına göre makine işlem süresi olarak makine işlem süresi olarak belirlenir. Ayrıca siparişin gelişler arası süresi ve sipariş büyüklükleri de aynı şekilde analiz edilerek modelin girdileri tamamlanmıştır.

Model çalıştırıldığında da siparişlerin kendi döngülerindeki iş yükleri sipariş büyüklükleri ve ilgili istasyondaki işlem süreleri ile birlikte hesaplanarak iş yükleri hesaplanır. Bu iş yüklerine göre ve makinelerin mevcut durumuna göre döngü yükleri güncellenmektedir. Şekil 6.3'de TS300 ve UKS ek elemanı için akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 6.3 : TS 300 ve UKS elemanı için model akış diyagramı

Sisteme talep gelince her bir siparişe üretim izin tarihi atanır. Sipariş büyüklüğüne göre iş yükü belirlenir. Gelen sipariş üretim izin tarihine göre sıralanır. Üretim izin

tarihi gelmiş olan siparişler sisteme girer. Örnek olması için yalnızca KT300 ürününün akışını anlatalım. Diğer tüm siparişlerin akışı aynı mantıkla işlemektedir.

KT 300 ürünün döngülerinin 18/G, G/52, 52/1 döngüleridir. Gelen KT 300 siparişinin iş yükü sipariş döngülere girmeden önce hesaplanır. Siparişin ilk döngüdeki (18/G) iş yükü döngünün önceden hesaplanmış döngü yükünden küçük ise sipariş döngüye kabul edilir. Döngü yükü siparişin ilgili döngüdeki iş yükü kadar azaltılır. Sipariş ilk istasyonda (18) işlenir. Döngünün diğer istasyonuna gönderilir. Eğer iş yükü döngü yükünden büyük ise sipariş istasyonun tampon bölgesinde bekletilir ve üretim izin tarihi gelmiş olan diğer sipariş sisteme alınır. Döngünün ikinci istasyonuna gelen sipariş ikinci istasyonun ait olduğu diğer döngüdeki döngü yükü ile siparişin diğer döngüdeki (G/52) iş yükü ile karşılaştırılır, iş yükü küçükse döngü yükü siparişin iş yükü kadar azaltılarak ikinci istasyonda işlenir. Değilse ikinci istasyonun tampon bölgesinde bekletilir. İkinci istasyonda işlenmesi bitince ilk döngünün yükü (18/G) siparişin ilk döngüdeki iş yükü kadar arttırılır. G istasyondan çıkan sipariş üçüncü istasyona gelince (52) o istasyonun ait olduğu döngü yükü (52/1) ile siparişin o döngüdeki iş yükü karşılaştırılır. İş yükü küçükse sipariş döngü yükü iş yükü kadar azaltılarak 3. istasyonda işlenir. Siparişin terk ettiği döngünün yükü ise siparişin iş yükü kadar arttırılır. Üçüncü istasyonda işlenen sipariş son istasyona gönderilir. Son istasyonun ait olduğu başka döngü olmadığı için son istasyonda herhangi bir karşılaştırma yapılmadan son istasyonda işlenir ve işlem bitince o döngünün yükü iş yükü kadar arttırılır.

Bir sipariş döngüyü terk edince döngüye o döngünün ilk istasyonunun tampon bölgesinde bekleyen üretim izin tarihi en erken olan sipariş alınarak işlenir.

Bir sonraki bölümde kurulan benzetim modeli parçaları ile birlikte anlatılacaktır.

6.6 Modelin ARENA v.11 Programındaki Akışı

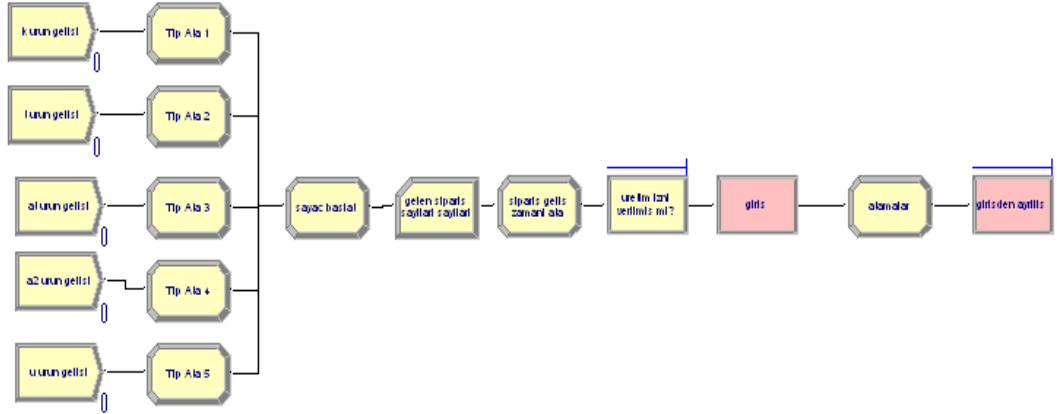
Çalışmanın bu bölümünde modellemede kullanılan ARENA v.11 programının parçalarından ve önceki bölümde anlatılan modelin akışının nasıl oluşturulduğundan bahsedeceğiz.

ARENA v.11 programı Rockwell yazılım şirketi tarafından geliştirilmiş bir benzetim programıdır.

Öncelikle kurulan POLCA sistemi anlatılacak sonrasında CONWIP sistemi anlatılacaktır.

6.6.1 POLCA kontrolünün ARENA akışı

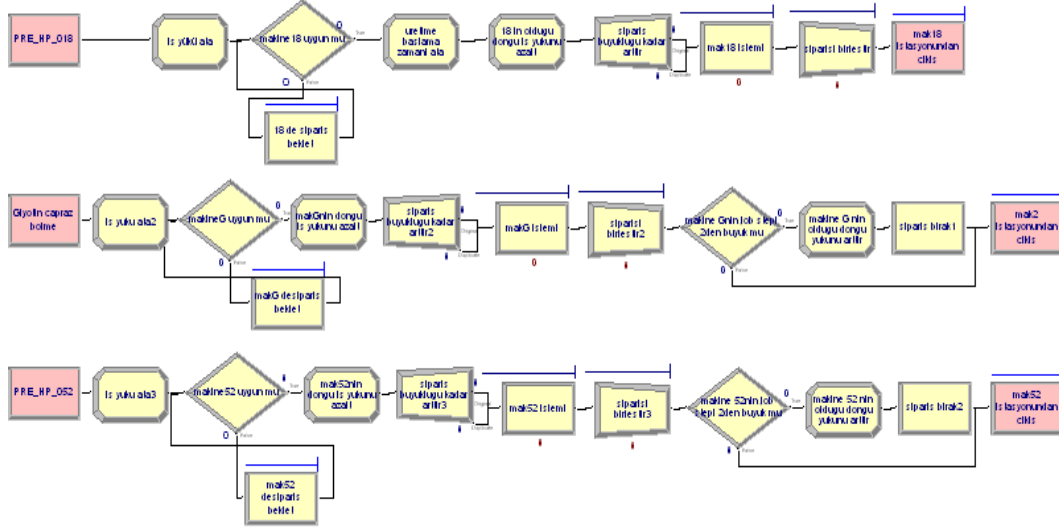
Benzetimi gerçekleştirmek için ARENA programının kullanıldığından bahsetmiştik. Şimdiki bölümde bu programın parçalarından ve hangi amaca hizmet ettiklerinden bahsedeceğiz.



Şekil 6.4 : POLCA sisteminin ürün özelliklerinin atandığı ARENA parçaları

Şekil 6.4’de incelediğimiz ürünler için ayrı ayrı tipinin atanması, sipariş büyüklüklerinin oluşturulması, gelişler arası sürelerinin atanması yapılmıştır. K, T, A, A2 ve ürün gelişleri ile adlandırılan parçalarda talebin gelişler arası süreleri belirlenmiştir. Tip ata1,2,3,4,5 ile adlandırılan parçalarda oluşturulan her ürünün tipi belirlenmiş, sipariş büyüklüğü oluşturulmuş, MRP’den geldiği varsayılan üretim izin tarihi, siparişin termin süresi özellikleri belirtilmiştir. Sipariş geliş zamanı olarak adlandırılan parçada siparişin geliş zamanı belirlenmiştir. Bu parçanın kullanılmasının amacı siparişin geliş zamanı ile üretilip gönderilmesi arasında geçen üretim termin süresi olarak adlandırılan performans ölçütünün belirlenmesidir. Üretim izni verilmiş mi? Olarak adlandırılan parçada ise benzetim saatinin üretim izin tarihinden büyük olup olmadığı kontrol edilmektedir. Eğer zaman üretim izin tarihinden büyük değilse üretim izin tarihi gelene kadar siparişler bekletilmektedir. Bu kısımda ürünlerin POLCA sisteminde işlenmeye başlaması için öncede belirtildiği gibi iki koşulun sağlanması gerekli idi. Bunlardan ilki MRP’den gelen üretim izin tarihinin olması koşuluydu. Bu parça bahsettiğimiz koşulun gerçekleşip gerçekleşmediğini kontrol etmektedir.

Siparişlerin özellikleri atandıktan ve üretim izin tarihi koşulunu sağlandıktan sonra siparişler POLCA döngülerine alınmaktadır. Bunun için giriş olarak adlandırılan ilk istasyonumuz oluşturulmuştur. Her ürün çeşidinin rotaları farklıdır. Bu rotalarda ürün tiplerine bağlı olarak belirlenmiştir. Giriş olarak adlandırılan istasyonda herhangi bir makine bulunmamaktadır. Ayrıca modelde bu istasyonda siparişlerin beklemediği varsayılmıştır. Giriş istasyonunu fabrikanın girişi olarak düşünebiliriz. Modelde her istasyonun bir girişi bir de çıkışı bulunmaktadır. Çıkış istasyonu tanımlanmadan sipariş rotasında belirtilen diğer istasyona giremediği için programda her istasyonun bir de çıkış istasyonu tanımlanmıştır. Yukarıda da belirttiğimiz gibi çıkış istasyonlarında siparişlerin beklemeden rotalarındaki diğer istasyonlara gittiği varsayılmıştır.



Şekil 6.5 : POLCA sistemi iş istasyonlarının ARENA parçaları

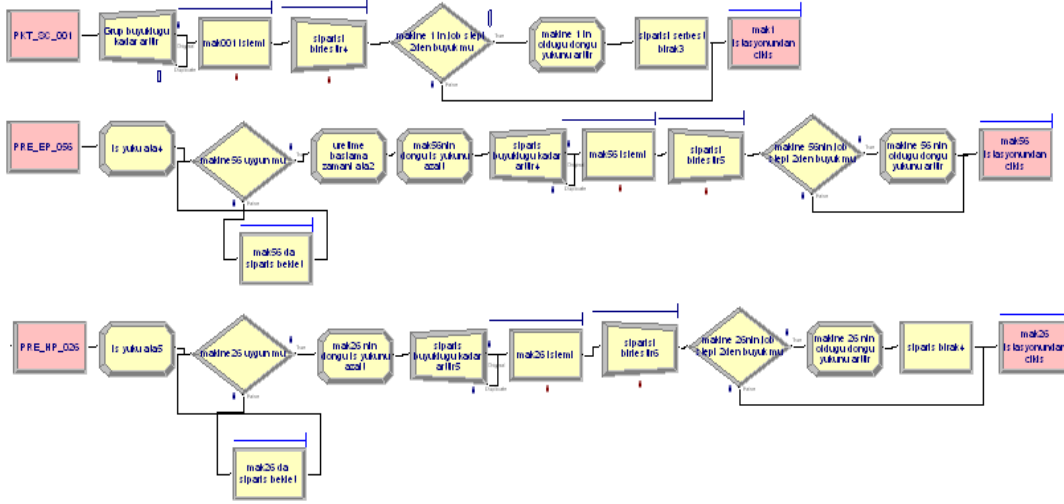
Giriş istasyonundan ayrılan ürünler önceden belirlenmiş rotalarına göre ilgili istasyonlara gitmektedir. Örneğin k olarak simgelenen KT300 ürününün rotası 18,G, 52 ve 1 istasyonlarıdır. Şekil 6.5’de PRE_HP_018 olarak adlandırılan istasyon K ürününün ilk istasyonudur. Bu istasyona giren K siparişine “iş yükü ata” olarak adlandırılan parçada hesaplanmasını önceki bölümlerde anlattığımız iş yükü atanmaktadır. Siparişlere iş yükü atanırken o siparişin kaç adet döngüsü varsa her birinde ayrı ayrı olarak siparişin döngülerdeki iş yükleri hesaplanmaktadır. Örneğin K ürününün 18-G, G-52 ve 52-1 olmak üzere 3 adet döngüsü vardır. Bu nedenle döngünün ilk istasyonu olan yerlerde K ürününün o döngüdeki iş yükü hesaplanır. Bu durumda 18. İstasyonda G. İstasyonda ve 52. İstasyonda K siparişinin iş yükleri

hesaplanmaktadır. İş yükü hesaplanan siparişler “Makine ... uygun mu?” olarak adlandırılan karar parçasına gönderilir. Bu parçada siparişin iş yükü ile döngülerin önceden belirlenmiş döngü yükleri karşılaştırılır, iş yükü döngü yükünden küçük olan siparişlerin döngüye girip işlenmesine izin verilir. Eğer iş yükü döngü yükünden daha büyükse döngü yükü siparişi işleyebilecek duruma gelene kadar “...’da sipariş beklet” parçasında bekletilir. Döngüye giren siparişlere “üretime başlama zamanı ata” olarak adlandırılan parçada üretime başlama zamanı özelliği atanır. Bu özellik yine performans ölçütlerimizden biri olan üretim temin süresinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Bir sipariş döngüye girdiği anda ilgili döngünün işleme kapasitesini siparişin o döngüdeki iş yükü kadar azaltılmasını sağlayan “...’nın olduğu döngü yükünü azalt” parçası devreye girmektedir. ,

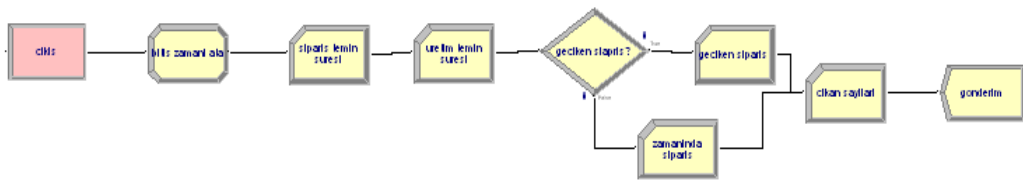
Kurulan modelde bu aşamaya kadar siparişleri gösteren varlıların üzerinde sipariş büyüklüğü yazdığını düşündük her siparişin büyüklüğü farklı olduğu için ve miktarlarında makinede geçirdiği süreler de farklı olduğu için modelin makinelerde işlenmeye başladığı aşamada gelen siparişi sipariş büyüklüğü kadar çoğaltıp her varlığın bir adet ürünü temsil ettiğini varsaydık. Bu özelliği de “sipariş büyüklüğü kadar arttır” parçası ile sağladık. Makinede işlemi biten siparişler tekrardan önceden atanmış özelliklerine göre birleşip tek bir varlığa dönüşerek ilgili istasyonu terk etmektedir. Şekil 6.5’de eğer sipariş rotasının ilk istasyonunda ise o siparişe üretime başlama zamanı atanmaktadır.

Bir istasyondan çıkan sipariş döngüsünün ikinci istasyonunda ise o döngüyü terk ederken döngünün yükünü kendi sipariş büyüklüğü kadar arttırmaktadır. Bu özelliği de makineden çıkan ve birleştirilen siparişlerden sonra konulan “Makine ...’nın döngü yükünü arttır” parçası ile sağladık.



Şekil 6.6 : POLCA sistemi iş istasyonlarının ARENA parçaları devamı

Diğer tüm istasyonlar benzer mantık ile çalışmaktadır. Son olarak bir istasyon eğer bir ürün çeşidinin son makinesini içeren istasyon ise örneğin Şekil 6.6'da görülen ve PKT_SC_001 olarak adlandırılan istasyon K,T ve A ürünlerinin son istasyonlarıdır. Bu istasyona gelen siparişler için döngü yüklerinin uygunluğunu karşılaştıran bir karar parçası bulunmamaktadır. Çünkü son istasyon döngünün de son istasyonudur. Siparişler döngünün ilk istasyonunda uygunluğa göre alındığı için döngüye girebilmesi koşulu sağladığını gösterir. POLCA sisteminin mantığında da döngüler ilk ve sonda tek kart ile işlemektedir. Kartların çakışması art arda olan döngülerde olmaktadır.



Şekil 6.7 : POLCA sistemi performans ölçütlerinin hesaplandığı ARENA parçaları

Siparişler sisteme ilk girdiklerinde tüm zamanları 0 olarak kabul edilen ve makinenin bulunmadığı bir istasyona girmişti. Aynı şekilde sistemi terk eden siparişler ayrılırken çıkış olarak adlandırılan istasyona girmektedir.

Şekil 6.7'de "Sipariş temin süresi" olarak adlandırılan parçada her siparişin tipine bağlı olarak ayrı ayrı siparişin sisteme gelişinden sistemden ayrılmasına kadar geçen süre olan ve sipariş temin süresi olarak adlandırılan performans ölçütünün değerini

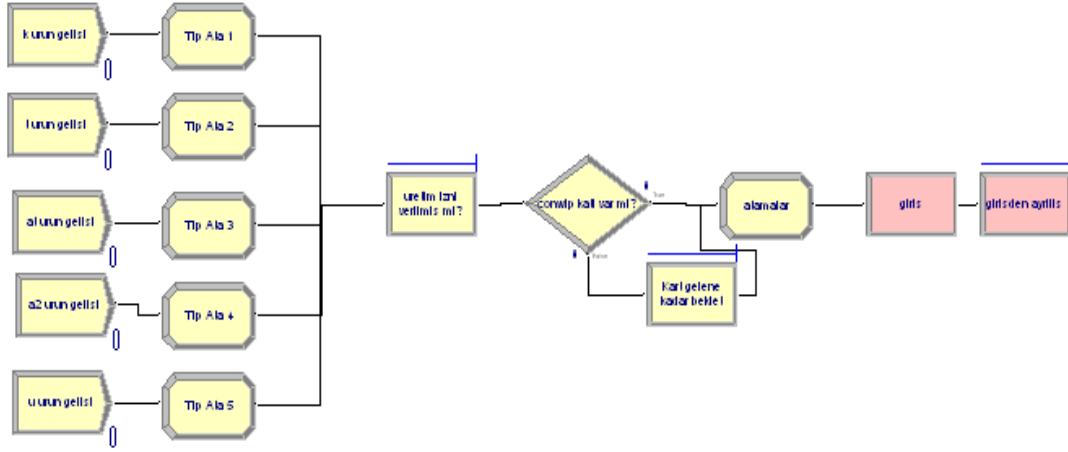
tutmaktadır. “Üretim temin süresi” parçası ise siparişin istasyonlarda işlenmeye başlamasından bitişine kadar geçen süre olan üretim temin süresi olarak adlandırılan performans ölçütünün değerini tutmaktadır.

Üretim temin süresi parçasından çıkan siparişler zamanında karşılanıp karşılanmadığının karşılaştırılmasının yapıldığı “geciken sipariş” parçasına girmektedir. Bu parçada siparişin termin zamanı ile bitiş zamanı karşılaştırılmaktadır. Eğer termin zamanı bitiş zamanından küçük ise sipariş zamanında kabul edilmektedir. Bu özelliği sağlayan siparişler “zamanında sipariş” parçasından karşılamayan siparişler de “geciken sipariş” parçasından çıkarak sistemi terk etmektedir. Bu parçalarda müşteri hizmet seviyesi olarak adlandırdığımız zamanında siparişlerin tüm siparişlere oranı olan performans ölçütünün belirlenmesini sağlamaktadır.

POLCA sisteminin akışı bu şekildedir. Şimdi CONWIP kontrolünün akışını anlatan modelimize geçelim.

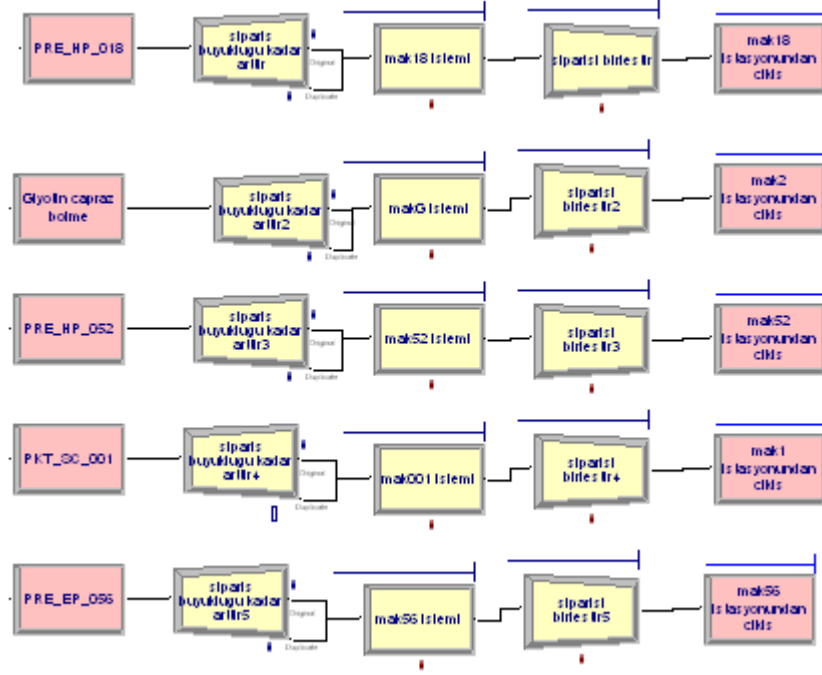
6.6.2 CONWIP kontrolünün ARENA akışı

CONWIP sisteminin çalışma prensibi ilk ve son istasyonlar hariç itme tipi sistemdir. Yalnızca ilk ve son istasyonda kartlı üretim yapılmaktadır. Üretilen ürünün üzerine ilk istasyonda CONWIP kartı takılır bu kart sipariş müşteriye gönderilene kadar ürün ile birlikte kalır. Sipariş müşteriye yollanmadan önce kart çıkarılıp üretim sisteminin en başına gönderilir. Gelen talep her zaman son istasyona gönderilir. Ancak bizim kurulan sistemde karşılaştırma yaptığımız için makinelerin tampon bölgelerinde bitmiş ürünün olmadığı varsayılmaktadır. Ayrıca Üretimde parti büyüklüğü de yoktur. Örneğin sipariş 1000 adet ise makine 1000 adet üretmektedir.



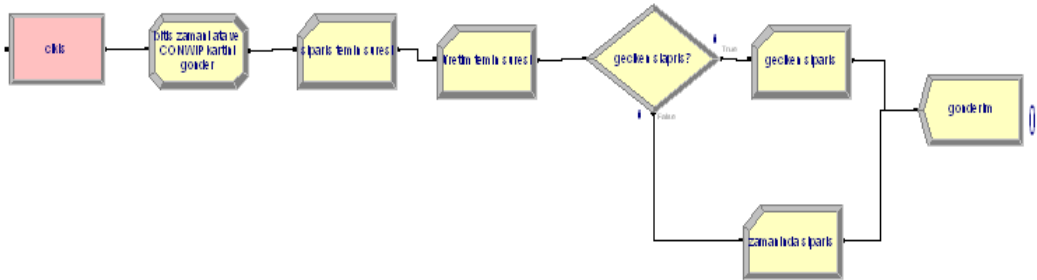
Œekil 6.8 : CONWIP kontrolünün ürün özelliklerinin atandığı ARENA parçaları

CONWIP kontrolünde POLCA kontrolünde olduğu gibi K,T,A,A2 ve U ürün geliŒi ve Tip ata1,2,3,4,5 parçaları ile aynı özellikler atanmaktadır. “Aynı Œekilde üretim izni verilmiş mi?” parçasında benzetim saatinin önceden belirlenen üretim izin tarihinden büyük olup olmadığı kontrol edilmektedir. Büyük ya da eşit değil ise üretim izin tarihinin gelmesi beklenmektedir. Üretim izin tarihi gelmiş sipariŒler her ürün çeŒidi için ayrı ayrı hesaplanmış CONWIP kart sayıları ile karşılaştırılmıştır. Eğer sistemde CONWIP kartı varsa gelen sipariŒler atamalar parçasına girmektedir yoksa üretim sisteminin sonundan kart gelmesi beklenmektedir. Üretim sistemine girmeyi başarmış sipariŒler ilk istasyona girerek rotalarında bulunan tüm istasyonları sırası ile takip etmektedir.



Şekil 6.9 : CONWIP kontrolünün iş istasyonlarının ARENA parçaları

CONWIP sistemi itme sisteminin mantığı ile benzer bir mantıkla çalıştığı için sürece girmiş ürünler herhangi bir koşulun sağlanmasına gerek olmadan art arda işlenmektedir. Bu durum da Şekil 6.9'da görülmektedir. POLCA kontrolünde olduğu gibi CONWIP kontrolünde de siparişler birer birer gelmekte üzerlerine atanmış sipariş büyüklükleri bulunmaktadır. Siparişler rotalarındaki bir makinede işlemeye başlamadan önce sipariş büyüklükleri kadar çoğalmaktadır. Makinede işlenmesi bittikten sonra da yine tek bir sipariş olarak ilgili istasyondan ayrılmaktadır.



Şekil 6.10 : CONWIP kontrolünün performansının hesaplandığı ARENA parçaları

Rotalarındaki tüm istasyonlarda işlemini bitiren siparişler çıkış parçasına gelir bu parçada tüm işlem süreleri 0 olarak kabul edilmiştir. CONWIP sisteminde işlemlerini bitiren siparişler Şekil 6.10'da görülen "CONWIP kartını gönder" parçasından geçtikten sonra sitemdeki CONWIP sayısı bir artmaktadır. CONWIP kontrolünde de

POLCA kontrolünde olduğu gibi üretim ve sipariş temin süreleri performans ölçütlerinin belirlenmesi için sipariş ve üretim temin süresi, müşteri hizmet seviyesini ölçmek için geciken ve zamanında sipariş parçaları bulunmaktadır. Performans değerleri de belirlenen siparişler sistemden ayrılmaktadır.

POLCA ve CONWIP kontrolünün Arena'daki akışı mantığı bu şekildedir.

Çalışmamızın son bölümünde kurulan modelin performans ölçütleri karşılaştırılacak ve gelecek çalışmalardan bahsedilecektir.

7. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Çalışmanın bu son kısmında her iki sistemin benzetim çıktıları çizelge halinde gösterilecek, sistemlerin performans karşılaştırmaları yapılacak ve ele alınan sistem için iki kontrol yönteminden en uygun olanı belirtilecektir.

Kurulan benzetim modeli 40 koşum çalıştırılmıştır ve her koşumun uzunluğu 8000 saattir. Ayrıca sistem sonlanan sistem olarak modellendiği için ısınma periyodu bulunmamaktadır.

Her iki sistemde de 40 koşum sonucunun ortalamaları Çizelge 7.1’ de görülmektedir. Sonuçlar ARENA’nın çıktı analizi yapan ve ARENA’dan bağımsız çalışan programı ile %95 güven aralığında incelenecektir.

Çizelge 7.1 : POLCA sisteminin performans değerleri

POLCA Sistemi	KT300	TS300	AT3100	ASU2A5	UKS
Sipariş Temin Süresi	494,22	110,61	119,78	546,32	46,91
Üretim Temin Süresi	474,61	110,61	119,78	532,55	46,91
Müşteri Hizmet Seviyesi	0,47	0,54	0,74	0,47	0,72
Süreç İçi Stok	769	914	1603	1623	697

Çizelge 7.2 : CONWIP sisteminin performans değerleri

CONWIP Sistemi	KT300	TS300	AT3100	ASU2A5	UKS
Sipariş Temin Süresi	583,13	133,53	158,69	67,414	53,13
Üretim Temin Süresi	219,48	92,23	117,84	246,93	51,4
Müşteri Hizmet Seviyesi	0,53	0,64	0,76	0,48	0,82
Süreç İçi Stok	438	763	118	1267	815

Çizelge 7.1 ve 7.2’yi incelediğimizde POLCA sisteminin sipariş temin süresi açısından CONWIP sisteminden daha etkin bir sistem olduğu görülmektedir. Üretim

Temin süresi açısından baktığımızda ise UKS ek elemanı hariç CONWIP sisteminin POLCA sistemine göre daha üstün olduğu görülmektedir. Aynı şekilde Müşteri hizmet seviyesi açısından yine CONWIP sisteminin üstünlüğü açıkça görülmektedir.

CONWIP sisteminin en önemli özelliği süreçlerdeki yarı mamul stoğunu sabit tutması olduğu için CONWIP sisteminin bu performans ölçütünde de POLCA sistemine üstünlük sağladığı görülmektedir.

7.1 Değerlendirme

Çıktı analizi programının ve ARENA benzetim sonuçlarına bakılarak her iki sistem arasında da çok büyük bir fark olmadığı görülmektedir. Ancak POLCA sisteminin bu şekilde bir üretim sistemi için çok uygun bir sistem olmadığı da görülmektedir. Her iki sistemde de müşteri hizmet seviyesi çoğu ürün çeşidinde istenilen seviyede değildir. Bu firma eğer rekabette sipariş temin süreleri öneminin fazla olduğu bir pazarda ise üretim süreçlerini gözden geçirmeli ve gerekli düzenlemeleri yapmalıdır.

Kurulan POLCA sisteminin en iyi sonuçları işlem süreleri arasındaki farkın çok fazla olduğu ve aynı makineleri paylaşan farklı döngülerin çok olduğu ortamda vereceğinden bahsetmiştik. Kurulan modelde istasyonların işlem süreleri hem çok kısa hem de aralarında büyük bir değişkenlik görülmemektedir. Kurulan sistemde tüm işlem süreleri dakika olarak alınmıştır. Oysa POLCA sisteminde bu işlem süreleri genellikle saat olarak alınmakta ve süreçler arası fark daha büyüktür.

CONWIP sistemi bir çeşit itme sistemi olduğu için ve işlem süreleri birbirine çok yakın olduğu için süreçler arasında çok fazla yarı mamül stoğu olmadan işlemler gerçekleştirilebilir.

Sonuç olarak bir makinenin girdi hızı ile diğer makinenin çıktı hızı arasında çok büyük fark olmadığı için ve aynı makineyi paylaşan ürünlerin sayısı az olduğu için bu sisteme en uygun üretim kontrolü CONWIP'tir.

7.2 Gelecek Çalışmalar

Yapılan bu çalışmada POLCA sisteminin bir gereksinimi olan grup teknolojisi göz ardı edilmiştir ancak taşımalar önemsiz kabul edilerek grup teknolojisi mantığına daha yakın bir mantık bulunmaya çalışılmıştır. Gelecek çalışmalarda makineler gruplandırılarak POLCA sisteminin bu gereksinimi oluşturulabilir.

Çalışmada ürünlerin üretildiği makinelerde yalnızca incelenen ürünler üretilmemektedir. Kurulan modelde ürün çeşitliliğini arttırarak performans ölçütleri yeniden incelenebilir.

İncelenen sistem için müşteri hizmet seviyesini arttıracak başka üretim kontrol yöntemleri araştırabilir.

Modelde yapılan kabuller azaltılarak gerçeğe daha fazla yansıtan bir benzetim modeli kurulabilir. Özellikle taşımaların önemsiz olduğu kabulu kaldırılarak sistem yeniden incelenebilir.

Kurulan yüke dayalı POLCA sisteminde döngü yükünü belirlemek için sezgisel algoritmalar önerilebilir.

Kurulan yüke dayalı POLCA sistemini kart sayılarının talep verilerine göre dinamik bir şekilde ayarlandığı reaktif sistem ile karşılaştırılması yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Affan N., Durmuşoğlu, M.B.**, 2003. Bir hücreli üretim ortamında, üretim planlama ve kontrol sistemlerinin benzetim analizi. *İtü dergisi/d mühendislik*, **2**, 43-52.
- Andres, C., Albarracin, J. M., Tormo, G., Vicens, E., Sabater, J.**, 2004. Group technology in a hybrid flowshop environment: A case study. *European Journal of Operational Research* **167**, 272-281.
- Beamon, B. M., and Bermurdo, J. M.**, 2000. A hybrid push/pull control algorithm for multi-stage, multi-line, production systems. *Production Planning & Control*, **11**, 349-356.
- Bonvik, A. M., Couch, C. E., and Gershwin, S. B.**, 1996. A comparison of production-line control mechanisms. *Int. J. Prod. Res.*, 1997, **35**, 789-804.
- Boolertvanich, K.**, 2005. Extended-CONWIP-Kanban System. Control and Performance Analysis. *PhD Thesis*, Georgia Institute of Technology.
- Chang, T.**, 1996. A Fuzzy Rule-Based Methodology for Dynamic Kanban Control in A Generic Kanban System. *PhD Thesis*, Purdue University.
- Chang, T. M. and Yih, Y.**, 1994. Generic kanban systems for dynamic environments. *Int. J. Prod. Res.*, **32**, 889-902.
- Creemers, B. S., Lambrecht, M. and Vandaele, N.**, 2007. Queueing Models in Healthcare. *Tijdschrift voor Economie en Management*, **LII**, 471-497.
- Fernandes, N. O. and Carmo-Silva, S.**, 2006. Generic POLCA-A production and materials flow control mechanism for quick response manufacturing. *Int. J. Production Economics*, **104**, 74-84.
- Framinan, M. J., Gonzalez, P. L. and Ruiz-Usano, R.**, 2006. Dynamic card controlling in a Conwip system. *Int. J. Production Economics*, **99**, 102-116.
- Geraghty, J. and Heavey, C.**, 2003. A comparison of Hybrid Push/Pull and CONWIP/Pull production inventory control policies. *Int. J. Production Economics*, **91** (2004), 75-90.
- Geraghty, J. and Heavey, C.**, 2005. A review and comparison of hybrid and pull-type production control strategies. *OR Spectrum* (2005), **27**, 435-457.
- Gross, M. and McInnis K. R.**, 2003. Kanban made simple: demystifying and applying Toyota's legendary manufacturing process. *AMACOM*, Newyork, c2003.
- Gupta, S. M. and Al-Turki, Y. A. Y.**, 1997. An algorithm to dynamically adjust the number of Kanbans in stochastic processing times and variable demand environment. *Production Planning and Control*, **8**, 133-141.

- Gupta, Y. P. and Gupta, M. C.**, 1989. A system dynamics model for a multi-stage multi-line dual-card JIT-kanban system. *Int. J. Prod. Res.*, **27**, 309-352.
- Hafner, A. D.**, 2003. Analysis of the Effect of Ordering Policies for A Manufacturing Cell Transitioning to Lean Production. *MASc Thesis*. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Huang, C. C.**, 1998. Manufacturing control with a push-pull approach. *Int. J. Prod. Res.*, **36**, 251-275.
- Huq, F., Hensler, D. A. and Mohamed, Z. M.**, 2001. A simulation analysis of factors influencing the flow time and through-put performance of functional and cellular layouts. *Integrated Manufacturing Systems* **12**, 285-295.
- Ioannou, G.**, 2005. Time-phased creation of hybrid manufacturing systems. *Int. J. Production Economics*, **102**, 183-198.
- Kelkar, A. S.**, 1999. A JIT Implementation Using Hybrid Kanban-Conwip Modeling Approach. *MASc Thesis*, University of Regina.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P. and Sturrock, D. T.**, 2004. Simulation with ARENA. *Mc Graw Hill*, 3rd Edition.
- Krishnamurthy, A.**, 2002. Analytical Performance Models for Material Control Strategies in Manufacturing Systems, *PhD Thesis*, University of Wisconsin-Madison.
- Krishnamurthy, A. and Suri, R.**, 2002. A New Approach for Analyzing Queuing Models of Material Control Strategies in Manufacturing Systems. *Center for Quick Response Manufacturing*, 200-350.
- Krishnamurthy, A., Suri, R. and Vernon, M.**, 2004. Re-examining the Performance of MRP and Kanban Material Control strategies for Multi-Product Flexible Manufacturing Systems. *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, **16**, 123-150.
- Leu, B. Y.**, 2000. Generating a backlog list for a CONWIP production line: a simulation study. *Production Planning & Control*, **11**, 409-418.
- Marek, R. P., Elkins, D. A. and Smith, D. R.**, 2001. Understanding the fundamentals of Kanban and Conwip pull systems using simulation. *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*.
- Nicholas, J.**, 1998. Competitive Manufacturing Management. Mc Graw Hill, USA.
- Nieuwenhuysse, I. V., Boeck, L. D., Lambrecht, M. and Vandaele, N.**, 2006. Advanced Resource Planning as Decision Support Module to ERP, *Research Center for Operations Management*.
- Productivity Press**, 2002. Kanban for the shop floor. Portland, Or.
- Riezebos, J.**, 2006. Polca simulation of a unidirectional flow system. *Group Technology Cellular Manufacturing Conference, Groningen, Netherlands*, July 3-5.

- Sanchez, S., M., Moeeni, F. and Sanchez, P., J.,** 2005. So many factors, so little time... Simulation experiments in the frequency domain. *Int.J. Production Economics* **103**, 149-165.
- Shabudeen, P., Krishnaiah, K. and Narayanan, M. T.,** 2003. Design of a Two-Card Dynamic Kanban System Using a Simulated Annealing Algorithm. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, **21**, 754-759.
- Shahabudeen, P. and Sivakumar, G. D.,** 2007. Algorithm for the design of single stage adaptive kanban system, *Computers & Industrial Engineering*, **54**, 800-820.
- Suri, R.,** 1998. Quick Response Manufacturing a company wide approach to reducing lead times. *Productivity Pres, USA* .
- Suri, R.,** 2003. QRM and POLCA. A Winning Combination for Manufacturing Enterprises in the 21st Century. *Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing*, May 2003, USA.
- Suri, R. and Krishnamurthy, A.,** 2003. How to Plan and Implement POLCA: A material Control System for High-Variety or Custom-Engineered Products. *Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing*, May 2003.
- Takahashi, K. and Nakamura, N.,** 1999. Reacting JIT ordering systems to the unstable changes in demand. *Int. J. Prod. Res.*, **37**, 2293-2313.
- Takahashi, K. and Nakamura, N.,** 2002. Comparing reactive Kanban and reactive CONWIP. *Production Planning and Control*, **12**, 702-714.
- Takahashi, K. and Nakamura, N.,** 2002. Decentralized reactive kanban system. *European Journal of Operational Research* **139**, 262-276.
- Takahashi, K.,** 2003. Comparing reactive Kanban Systems. *Int. J. Prod. Res.*, **41**, 4317-4337.
- Tardif, V. and Maaseidvaag, L.,** 2001. An adaptive approach to controlling kanban systems. *European Journal of Operational Research* **132**, 411-424.
- Vandaele, N. and Claerhout, D.,** 2006. A structural approach to control cellularized job shops, *Group Technology Cellular Manufacturing Conference, Groningen, Netherlands*.
- Vandaele, N., Boeck, L. and Callewier, D.,** 2000. An open queuing network for lead time analysis. *IIE Transactions*, **34**, 1-9.
- Wallace J. H. and Spearman, M. L.,** 2000. Factory Physics. *Mc Graw Hill*, 2nd edition, USA.
- Weitzman R. and Rabinowitz, G.,** 2003. Sensitivity of 'Push' and 'Pull' strategies to information updating rate. *Int. J. Prod. Res.*, **41**, 2057-2074.
- Zhang. W.,** 2007. Production Planning in a Multi-Product Manufacturing Environment Using Constant Work-In-Process. *PhD Thesis*, Concordia University, Canada.
- Zolfaghari, S. and Lopez Roa, E. V.,** 2005. Cellular Manufacturing versus a hybrid system: a comparative study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, **17**, 942-961.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Canan Ağlan

Doğum Yeri ve Tarihi: Denizli 17/09/1984

Adres: Kefçe Dede Mah. Viransaray Sok.Ekşioğlu Apt. No:10/6

Üsküdar/İstanbul

Lisans Üniversite: Bahçeşehir Üniversitesi