

**SİPARİŞE DAYALI VE CONWIP TEMELLİ
DARBOĞAZ İÇEREN
ÜRETİM AKIŞ KONTROL SİSTEMİ**

Uğur KAHYA
Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Ocak-2014

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Uğur Kahya'nın "Siparişe Dayalı ve CONWIP Temelli Darboğaz İçeren Üretim Akış Kontrol Sistemi" başlıklı Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 30.01.2014 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Doç. Dr. NİHAL ERGİNEL
Üye	: Prof. Dr. REFAİL KASIMBEYLİ
Üye	: Doç. Dr. İNCİ SARIÇİÇEK

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİPARİŞE DAYALI VE CONWIP TEMELLİ DARBOĞAZ İÇEREN ÜRETİM AKIŞ KONTROL SİSTEMİ

Uğur KAHYA

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nihal ERGİNEL
2014, 115 sayfa

Bu tezde, siparişe dayalı ve darboğaz içeren üretim sistemleri için üretim akış kontrol sistemlerinin analizi yapılmaktadır. İlk olarak, MRP, JIT, kanban, POLCA ve CONWIP üretim kontrol sistemleri incelenmiş ve farklılıkları belirtilmiştir. CONWIP sistemi, kolay uygulanabilirliği ve diğer sistemlerden üstünlüklerinden dolayı siparişe dayalı ve darboğaz içeren KOBİ'ler için uygun bir sistem olarak gösterilmiştir. İkinci olarak, CONWIP sistemi için, erken bitirme, geç bitirme ve fazla mesai üretim maliyetleri ve CONWIP sisteminin gereksinimlerinden olan üretim dengelemeyi dikkate alarak ve darboğaz tezgah üzerinden üretim sırasını ve parti büyüklüklerini belirleyen bir B-CONWIP matematiksel modeli oluşturulmuştur. Üçüncü olarak, B-CONWIP matematiksel modeli, hipotetik olarak oluşturulan farklı test problemleri üzerinden GAMS paket programında bulunan CPLEX ile çözülmüş ve analizleri yapılmıştır. Dördüncü olarak, B-CONWIP sisteminin bir KOBİ firmasında uygulama adımları anlatılmıştır. Son olarak, KOBİ firmasından alınan verilerle B-CONWIP matematiksel modeli çözülmüş ve sonuçlar KOBİ tarafından uygulanan üretim programıyla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Siparişe Dayalı Üretim, Darboğaz Tezgah, CONWIP, KOBİ, B-CONWIP Matematiksel Modeli, Üretim Akış Kontrolü

ABSTRACT

Master of Science Thesis

BOTTLENECK BASED CONWIP PRODUCTION FLOW CONTROL SYSTEM IN MAKE-TO-ORDER MANUFACTURING

Uğur KAHYA

Anadolu University
Graduate School of Sciences
Industrial Engineering Program

Advisor: Doç. Dr. Nihal ERGİNEL
2014, 115 pages

In this thesis, production flow control systems which have make-to-order and include bottleneck manufacturing environments are analyzed. First of all, MRP, JIT, kanban, POLCA and CONWIP, which are production control systems, are studied and their differences are stated. Because of easy applicable and has advantages over the others, CONWIP is shown as appropriate system for small and medium-sized enterprises which has make-to-order and include bottleneck manufacturing environments. Secondly, a mathematical model is developed for B-CONWIP system which is determined production scheduling and lot sizes using bottleneck machine's data and its objective function has earliness, lateness and overwork as manufacturing cost and unbalanced workload cost as the requirements of CONWIP. Thirdly, the mathematical model is solved with hypothetical data by CPLEX which is module of GAMS and analyzed. Fourthly, B-CONWIP system's implementation steps for small and medium-sized enterprise is described. Finally, the mathematical model is solved with small and medium-sized enterprise's data and results are compared with actual production scheduling which is applied.

Key Words: Make-to-Order, Bottleneck Machine, CONWIP, Small and Medium-Sized Enterprises, B-CONWIP Mathematical Model, Production Flow Control

TEŞEKKÜR

İlk olarak tez çalışmamda beni yönlendiren ve yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Nihal Erginel hocama teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bugünlere gelmemde emekleri geçen tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın gerçekleştiği işletme olan Eskişehir Jant Sanayi A.Ş.'ye ve çalışanlarına destekleri ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Son olarak bugünlere gelmemde büyük katkıları olan, gerek maddi gerekse manevi hiçbir destekten kaçınmayan, bana güvenen ve her zaman yanımda olan annem Aynur KAHYA ve babam Muammer KAHYA 'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Uğur Kahya
Eskişehir, 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. ÜRETİM KONTROL SİSTEMLERİ	4
2.1. İtme Sistemi	4
2.2. Çekme Sistemi.....	9
2.3. İtme ve Çekme Sistemleri Arasındaki Farklar	18
2.4. İtme – Çekme Sistemleri.....	19
2.4.1. Yetkilendirme Kartlarının İkili Çakışan Döngüleri	19
2.4.2. Trampet – Tampon – Kordon Sistemi	24
3. CONWIP SİSTEMİ	25
3.1. Süreç İçi Stokların Sınırlandırılması	25
3.1.1. Üretim Maliyetini Azaltmak.....	26
3.1.2. Değişkenliğin Azaltılması	27
3.1.3. Kalitenin Geliştirilmesi	29
3.1.4. Esnekliğin Korunması	29
3.1.5. İşlerin Başlamasını Kolaylaştırılması.....	30
3.2. CONWIP Sisteminin Yapısı ve İşleyişi.....	31
3.3. CONWIP Sisteminin Diğer Sistemlerle Karşılaştırması	39
3.3.1. CONWIP ile MRP sisteminin karşılaştırılması	39
3.3.2. CONWIP ile Kanban sisteminin karşılaştırılması	42

4. DARBOĞAZA DAYALI CONWIP MODELİ	45
4.1. CONWIP Modeli.....	45
4.2. Darboğaza Dayalı CONWIP Modelinin Tanımlanması	48
4.3. Varsayımlar	50
4.4. B-CONWIP Modelinin Matematiksel İfadesi.....	51
4.5. B-CONWIP Test Uygulaması.....	58
4.6. B-CONWIP Matematiksel Modelinin Çözülmesi ile Elde Edilen Sonuçlar	69
5.B-CONWIP SİSTEMİNİN BİR KOBİ’DE UYGULANMASI	72
5.1. İşletme Hakkında Bilgi	72
5.2. Uygulama Konusu	72
5.3. Uygulama Adımları	73
5.3.1. Zaman etüdü çalışması	74
5.3.2. B-CONWIP sisteminin toplam kart sayısının ve sistem parametrelerinin belirlenmesi.....	77
5.3.3. B-CONWIP sisteminde parça listesinin oluşturulması	78
5.3.4. Parça listesi tablosunun oluşturulması ve fiziki kartların yapısı	90
5.3.5. Acil sipariş kartları ve kartsız üretime girme durumu	93
5.3.6. Siparişlerin donmuş bölgede bekletilmesi.....	93
5.4. B-CONWIP Uygulama Sonrası Kazanımlar.....	93
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. MRP II hiyerarşi	8
2.2. MRP ile kanban arasındaki fark.....	12
2.3. Çekme ve Üretim Kanbanı örneği	14
2.4. Basitleştirilmiş Kanban ve POLCA kart işleyişleri	20
2.5. POLCA kart örneği	21
2.6. Sekiz iş istasyonu ve Üç iş akışı: (a) K1 iş akışı, (b) K2 iş akışı, (c) K3 iş akışı'dan oluşan POLCA modeli	23
2.7. DBR sisteminin işleyişi	24
3.1. İş akış kontrol sistemleri.....	26
3.2. WIP ve üretim kontrolüne etkisi	28
3.3. Tek hat CONWIP üretim sistemi	32
3.4. Tandem CONWIP döngüsü ve farklar	36
3.5. Paylaşılan kaynak olduğunda CONWIP döngüsü ayrımı	37
3.6. Elektronik kontrol modülü kullanan CONWIP sistemi	38
3.7. Montaj işleminde CONWIP kontrolü	39
3.8. Optimal kontrol altında itme sisteminde zamana bağlı oluşan WIP miktarı..	41
3.9. CONWIP ve itme sisteminin dayanıklılık karşılaştırılması	42
4.1. Darboğaz Dayalı CONWIP üretim sistemi	50
5.1. B-CONWIP sistemi iş akış diyagramı	75
5.2. EJS firması için düşünülen tandem B-CONWIP sistemi	76
5.3. Sistemdeki toplam kart sayısına bağlı çevrim süresi	88
5.4. B-CONWIP sistemi yarımamül ile birlikte ilerleyen plastik kartlar.....	91
5.5. CONWIP sistemi için oluşturulan parça listesi	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1. JIT sisteminin hangi elemanları uygulanmaktadır	16
2.2. JIT sistemi uygulamaya konulurken işletmenin karşılaştığı sorunlar	16
2.3. JIT sistemi uygulamasından sonra işletmenin karşılaştığı sorunlar	17
4.1. Üretim programı sıkışık ve sipariş miktarları dengesiz üretim ortamı	59
4.2. Sadece üretim maliyetleri göz önüne alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=0$)	60
4.3. Sadece üretimi dengeleme göz önüne alınırsa ($\pi=0$ ve $\mu=1$)	60
4.4. Üretim maliyeti ve üretim dengeleme katsayıları eşit alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=1$).....	61
4.5. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin iki katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=2$).....	61
4.6. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin beş katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=5$).....	61
4.7. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin on katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=10$).....	62
4.8. Üretim programı sıkışık ve sipariş miktarları dengeli üretim ortamı.....	62
4.9. Sadece üretim maliyetleri göz önüne alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=0$)	62
4.10. Sadece üretim dengeleme göz önüne alınırsa ($\pi=0$ ve $\mu=1$)	63
4.11. Üretim maliyeti ve üretim dengeleme katsayıları eşit alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=1$).....	63
4.12. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin iki katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=2$).....	63
4.13. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin beş katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=5$).....	64

4.14. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin on katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=10$).....	64
4.15. Üretim programı gevşek ve sipariş miktarları dengesiz olduğu üretim ortamı	64
4.16. Sadece üretim maliyetleri göz önüne alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=0$)	65
4.17. Sadece üretim dengeleme göz önüne alınırsa ($\pi=0$ ve $\mu=1$)	65
4.18. Üretim maliyeti ve üretim dengeleme katsayıları eşit alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=1$).....	65
4.19. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin iki katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=2$).....	66
4.20. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin beş katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=5$).....	66
4.21. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin on katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=10$).....	66
4.22. Üretim programı gevşek ve sipariş miktarları dengeli üretim ortamı	67
4.23. Sadece üretim maliyetleri göz önüne alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=0$)	67
4.24. Sadece üretim dengeleme göz önüne alınırsa ($\pi=0$ ve $\mu=1$)	67
4.25. Üretim maliyeti ve üretim dengeleme katsayıları eşit alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=1$).....	68
4.26. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin iki katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=2$).....	68
4.27. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin beş katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=5$).....	68
4.28. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin on katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=10$).....	69
5.1. Aylık sipariş bilgileri kullanılarak hesaplanan B-CONWIP sistemi bilgileri	78

5.2. EJS firması 30.12.2013 tarihi itibariyle sipariş durumu.....	79
5.3. Darboğaz tezgah için hesaplanan termin süreleri	80
5.4. EJS firması için belirlenen maliyet parametreleri değerleri	81
5.5. Sadece üretim maliyeti kısıtı dikkate alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=0$)	81
5.6. Sadece üretim dengeleme dikkate alınırsa ($\pi=0$ ve $\mu=1$)	82
5.7. Üretim maliyeti ve üretim dengeleme eşit alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=1$).....	82
5.8. Üretim dengeleme katsayısı üretim maliyetleri katsayısının iki katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=2$).....	83
5.9. Üretim dengeleme katsayısı üretim maliyetleri katsayısının beş katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=5$).....	84
5.10. Üretim dengeleme katsayısı üretim maliyetleri katsayısının 10 katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=10$).....	85
5.11. Farklı üretim maliyeti ve üretim düzgünleştirme katsayılarında elde edilen en iyi sonuçlar	85
5.12. Çizelge 5.2’de verilen sipariş bilgileri kullanılarak hesaplanan B-CONWIP sistemi bilgileri	86
5.13. Matematiksel modelin sonuçları kullanılarak hesaplanan B-CONWIP sistemi bilgileri	87
5.14. Mevcut durum ile B-CONWIP uygulanması sonrası durum karşılaştırması.....	90

1. GİRİŞ

Günümüzde, özellikle uluslararası ticaretin yoğunlaşmasıyla küresel bazda rekabet günden güne artmakta ve müşteri isteklerinin tam zamanında ve kaliteli karşılanarak pazar kazanma çabaları acımasızca çoğalmaktadır. Sürekli değişen müşteri isteklerinin karşılanması ve yeni ürün çıkarma çabaları işletmeler için büyük maliyetlere katlanmak zorunda bırakılmaktadır. Bu durumda üretim teknolojilerinin ve üretim kontrol sistemlerinin yenilenmesi kaçınılmaz bir hal almaktadır.

Üretim yapan firmalar, müşterilerden gelen kısa termin süreleri, ürün çeşitliliği ve azaltılmış maliyetler sebebiyle yoğun bir baskı altında kalmaktadırlar. Bu sebeple üretim kontrolünün sağlanması ve hem müşteri isteklerinin karşılanması hem de maliyetlerin azaltılması için üretim kontrol sistemlerinin kullanılması zorunlu bir hale gelmektedir. Etkin bir üretim kontrol sisteminin amacı ise doğru zamanda, etkin bir şekilde ve müşteri isteklerini karşılayarak ayrıca en düşük maliyetle ve rekabeti sağlayarak üretim yapmaktır.

Türkiye’de rekabetçi üretim ortamında hem müşteri isteklerinin karşılanması hem de firmaların düşük maliyetlerde üretim yapmasına zorlanması özellikle Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler (KOBİ) üzerinde çok büyük baskı yapmaktadır. Sürekli olarak siparişlerin değiştirilmesi, kalite isteklerinin yükseltilmesi ve rekabet baskıları nedeniyle KOBİ’ler hem üretim sistemlerinin değiştirilmesi hem de nitelikli insan çalıştırmak zorunda kalmaktadır. Fakat birçok KOBİ, işletme büyüklüğü ve sermaye yetersizliği dolayısıyla müşteri isteklerinin karşılanmasında zor durumda kalmaktadır.

Günümüzde bir çok firma yalın üretimi keşfetmiş ve fabrikanın nasıl yönetileceği konusunda fikirlerini değiştirmişlerdir. Yalın üretim, bir çok teknik kullanarak değer katmayan fakat maliyeti bulunan aktiviteleri ortadan kaldırarak üretim kayıplarını azaltmayı amaçlayan bir sistemdir. Yalın üretimin yanında günümüz rekabet ortamıyla başa çıkmak için farklı yönetsel ve operasyonel sistemler oluşturulmuştur. Tam zamanında üretim (Just-In-Time - JIT), çevik üretim, Sabit Süreç İçi Stoklar (CONstant Work-In-Process - CONWIP), Yetkilendirme Kartlarının İkili Çakışan Döngüleri (Paired Overlapping Loops of

Cards with Authorization – POLCA) ve Malzeme İhtiyaç Planlaması (Material Requirement Planning – MRP) sistemleri rekabet ortamında ayakta kalabilmek için genellikle kullanılan sistemlerdir.

Üretim kontrol sistemlerini uygulamada işletmelerin karşılaştıkları en büyük sorunlardan birisi ise yanlış bir üretim kontrol sistemi seçimi olmaktadır. Özellikle KOBİ'lerin yetersiz iş gücü ve sermayelerine ve tekrarsız üretim yapmalarına rağmen KANBAN gibi yararlarının fazla olmasına karşılık karmaşık ve maliyetli bir sistem uygulamaya çalışması hem başarısızlıkla sonuçlanabilmekte hem de maliyetlerin artmasına neden olabilmektedir. Bunun yanında klasik bir itme sisteminin kullanılması ise müşteri ihtiyaçları karşılamak ve rekabet etmek için gereken nitelikleri sağlayamamaktadır.

KOBİ'lerde sıklıkla görülen bir durum ise siparişlerin zamanında karşılanamamasıdır. Bu durumda büyük müşteri kayıpları ve ceza maliyetlerine katlanılmak durumunda kalınmaktadır. Bu durumun temel nedeni olarak yüksek yarı mamül stokları görülmektedir. Yüksek yarı mamül stoğu ile birlikte üretim akış hızı yavaşlamakta ve termin süreleri uzamaktadır. Bununla beraber sipariş iptalleri veya tasarım değişikliği nedeniyle bu yarı mamüller kullanılmaz bir duruma gelerek büyük zararlara neden olabilmektedirler. Bu sebeple yarı mamül miktarlarının azaltılması işletmeler için hem esneklik hem de termin sürelerinin kısılması yönünde olumlu etkiler yaratacaktır. Özellikle hassas olarak verilebilen termin süreleri ile firmanın rekabetçi seviyesi artmakta ve pazarda vazgeçilmez bir aktör olmasını sağlamaktadır.

90'ların başında itme sisteminin basitliği ve çekme sisteminin ise faydalarından yararlanılarak temel olarak üretim içi yarı mamül stoklarının sınırlandırılmasıyla CONWIP sistemi bir hibrit itme-çekme sistemi olarak ortaya atılmıştır. Çalışmada KOBİ'lerde uygulanması daha kolay bir sistem olan CONWIP sistemi üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Bu çalışmada, siparişe dayalı üretim yapan ve darboğaz içeren bir üretim çevresinde CONWIP adıyla anılan süreç içi yarı mamül stoklarının sabitlenmesini amaçlayan ve uygulanması diğer çekme sistemlerine göre daha kolay olan bu sistem için çizelgelemeyi ve parti büyüklüğünü belirleyen bir matematiksel model

oluşturularak bir problem üzerinde uygulanması, daha sonra ise bir KOBİ’de uygulamasını sağlamaktır.

İşletmede yapılan uygulamada darboğaz tezgahı içeren ve bir kapalı kuyruk modeli oluşturan bir bölümünde darboğaz tezgahın çözülmesi ve darboğaz tezgah baz alınarak siparişlerin erken bitirme, geç bitirme ve fazla mesaiden oluşan üretim maliyetleri ile CONWIP sisteminin bir gereksinimi olan üretim düzgünleştirme maliyetinin ağırlıklandırılmış toplamlarını en küçükleyecek şekilde en iyi çizelgeleme ve parti büyüklüklerinin bulunması amaçlanmaktadır.

Uygulama ülkemizde bulunan firmaların çoğunluğunu oluşturan KOBİ’ler için kolay uygulanabilir bir üretim sistemi oluşturulması ve en düşük maliyetle müşteri ihtiyaçlarının karşılanması için büyük bir önem taşımaktadır. Süreç içi stoklar azaltılarak hassas termin süreleri verilebilmekte, yüksek müşteri memnuniyeti, esnekliğin artması ve kalite problemlerinin daha erken farkedilmesi sağlanabilecektir. Ayrıca süreç içi stokların azaltılması ile sürekli olarak iyileştirmenin zorunlu hale gelmesi sağlanacaktır. Böylelikle KOBİ’ler hem müşteri kaynaklı değişikliklere uyum sağlayabilecek hem de küresel rekabet gücünde artış sağlayacaktır.

Literatürde ise, genellikle CONWIP sisteminin genel yapısı ve diğer sistemlerle karşılaştırmalarını konu alan çalışmalar yapılmaktadır ve birçoğunda benzetim çalışması yapılmaktadır. Matematiksel programlama modeli içeren çalışmalar ise sınırlı sayıda bulunmaktadır. Herer ve Masin (1997), CONWIP sisteminde optimal iş sırasını veren kararlı bir matematiksel model geliştirmiştir. Bu modelin amaç fonksiyonu, erken bitirme maliyeti, geç kalma maliyeti, WIP tutma maliyeti ve fazla mesai maliyetlerinin en küçüklenmesidir ve optimal iş sırası elde edilmektedir. Golany ve ark. (1999), çok hücreli çok aileli CONWIP üretim sistemi için model geliştirmiştir ve model eş zamanlı olarak en iyi WIP seviyesini ve parça listesindeki sıralamayı vermiştir. Luh ve ark. (2000), atölye tipi tek seri CONWIP üretim hattı bulunan Sikorsky Aircraft için bir matematiksel programlama modeli oluşturmuşlardır. Zhang ve Chen (2001), CONWIP üretim sisteminde en iyi iş sırası ve parti büyüklüğünü bulan doğrusal olmayan tamsayılı matematiksel programlama ile çözülmüştür. Cao ve Chen (2005), CONWIP üretim sisteminde iki hat tarafından beslenen montaj istasyonu için bir doğrusal

olmayan karma tamsayı programlama modeli oluşturmuşlardır. Zhang (2007), çalışmasında farklı üretim çevreleri için matematiksel modeller oluşturmaya çalışmıştır. Tek hatlı bir CONWIP sisteminde stok için üretim ve sipariş için üretim yapan olmak üzere iki adet model ve çok hatlı montaj tipi CONWIP üretim hattı için model geliştirmiştir.

Literatürde, genel olarak CONWIP matematiksel modeli ile siparişe dayalı üretim çevreleri ve darboğaz tezgah üzerinden çizelgeleme yapılan çalışmalara odaklanılmamıştır. Çalışmada, sipariş için üretim yapılan bir üretim ortamı için darboğaz tezgahı dikkate alınarak ve erken bitirme, geç bitirme ve fazla mesai maliyetlerini dikkate alan ayrıca CONWIP sisteminin darboğaz tezgahta uygulanması için gereksinim duyulan üretim dengeleme dikkate alınarak bir CONWIP matematiksel modeli oluşturulmaktadır. Oluşturulan CONWIP matematiksel modeli ile üretim sisteminde sadece üretim hızını belirleyen darboğaz tezgah üzerinden çizelgelemeyi yapmasından dolayı karmaşık çok ürün aileli ve çok makinalı üretim çizelgeleme problemini tek makina problemine dönüştürerek çözüm süresinde önemli bir iyileştirme sağlamaktadır. Literatüre, CONWIP sisteminin siparişe dayalı üretim çevresinde sadece darboğaz tezgahı dikkate alınarak ve erken bitirme, geç bitirme ve fazla mesai gibi üretim maliyetlerini de dikkate alan farklı bir matematiksel model oluşturularak katkı sunmaktadır. Ayrıca Türkiye’de CONWIP sistemi ile ilgili detaylı bir çalışma bulunmamaktadır.

Tez toplam beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde üretim kontrol sistemleri incelenmektedir. İkinci bölümde CONWIP sistemi ve diğer üretim kontrol sistemlerinden farkları incelenmektedir. Üçüncü bölümde ilk olarak CONWIP modelinin incelemesi yapılmakta daha sonra B-CONWIP modeli anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde ise bir KOBİ’de B-CONWIP modelinin uygulanması için yapılması gerekenler anlatılmaktadır ve KOBİ firmasından alınan üretim ve sipariş bilgileri kullanarak B-CONWIP matematiksel modeli ile çözümü sağlanmaktadır. Beşinci bölümde ise çalışma sonucu tartışılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

2. ÜRETİM KONTROL SİSTEMLERİ

Üretim yapan firmalar, müşterilerden gelen kısa termin sürelerinde karşılanması, istenen yüksek talep çeşitliliği ve azaltılmış maliyetler nedeniyle sürekli artan bir baskı hissetmektedirler (Satyam ve Krishnamurthy, 2008). Bu sebeple üretim kontrolünün sağlanması ve hem müşteri isteklerinin karşılanması hem de maliyetlerin azaltılması için üretim kontrol sistemlerinin kullanılması zorunlu bir hale gelmektedir. Etkin bir üretim kontrol sistemi doğru parçayı, doğru zamanda ve rekabetçi bir maliyetle üretmek amacını gütmektedir (Spearman ve ark., 1990). Üretim sistemleri kullandıkları planlama stratejisine bağlı olarak itme ve çekme sistemleri olarak kategorize edilebilir.

2.1. İtme Sistemi

İtme sistemlerinde üretim planlaması, talep tahminleri, malzeme listeleri, bileşen tedarik süreleri ve envanter durumu temel alınarak yapılmaktadır. Bu sistemlerde emniyet stoğu ve güvenli bir tedarik süresi tahmin edilmekte ve kararlaştırılmaktadır. Çoğu üretim sisteminde tedarik süresi hazırlık ve üretim süreleri, taşıma süreleri ve bekleme sürelerinden oluşmaktadır. Özellikle bekleme zamanı üretim hattındaki darboğaz tezgahda ki sürelerden oluşmaktadır. Bekleme zamanı genellikle kuyruk belirleme politikasının değiştirilmesi ve çizelgelenmemiş makine bakımları sebebiyle önceden bilinmemektedir. Bekleme zamanının iyi tahmin edilememesi gerekli olan parçaların tedarik sürelerinin belirlenmesi ve müşteriye teslim sürelerinin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu durumu güvenli bir hale getirmek itme üretim sistemleri için oldukça maliyetlidir (Zhang ve Chen, 2001).

Malzeme İhtiyaç Planması (Material Requirements Planning – MRP) ‘nda malzeme hareketleri itme sistemine dayanan ve önceden hazırlanan bir imalat programına göre gerçekleşmektedir.

1960’lı yılların başında üretimde bilgisayarların kullanılmaya başlanmasıyla birlikte ABD(Amerika Birleşik Devletleri)’de MRP sistemi ortaya çıkmıştır. 1970’lerde ise ABD’de oldukça popüler bir sistem haline gelmiştir.

Orlick ve Mattson'a göre bunun sebebi MRP sistemi ile tekrarlı sipariş yöntemi arasındaki şu farklardır (Segerstedt, 1996):

- Talepler değişken olsa bile göz önüne alınabilmesi,
- Ürün ağacına bakılarak parçalar arasındaki ilişkilerin göz önüne alınması; parçalar demode olması veya kullanılmaması riskinde birbirlerinden ayrılmaması,
- Basit gelecek iş yükünü oluşturması ve geleneksel tekrarlı sipariş yönteminin aksine sadece varolan müşteri siparişlerinden faydalanmaması.

MRP'nin temel fonksiyonu adından anlaşılabilirdiği gibi malzeme gereksinimlerinin planlanmasıdır. MRP, fabrika iç ve dış siparişlerin kordine edilmesi için kullanılmaktadır. Dış siparişler alım siparişleri olarak adlandırılırken, iç siparişler ise işler olarak adlandırılır. MRP'in temel odağı ise işlerin çizelgelenmesi ve dış talepten kaynaklanan malzeme gereksinimlerinin alım siparişleri ile karşılanmasıdır. MRP, üretim kontrolünün temel iki boyutuyla ilgilenmektedir: miktarlar ve zamanlama. Sistem satılan nihai üründen gerekli malzemeleri ve parçaları, hammaddeleri belirlemelidir. Ayrıca termin tarihlerinden faydalanarak üretim zamanlamalarını (işlerin başlama zamanı vb.) belirlemek zorundadır (Hopp ve Spearman, 1996).

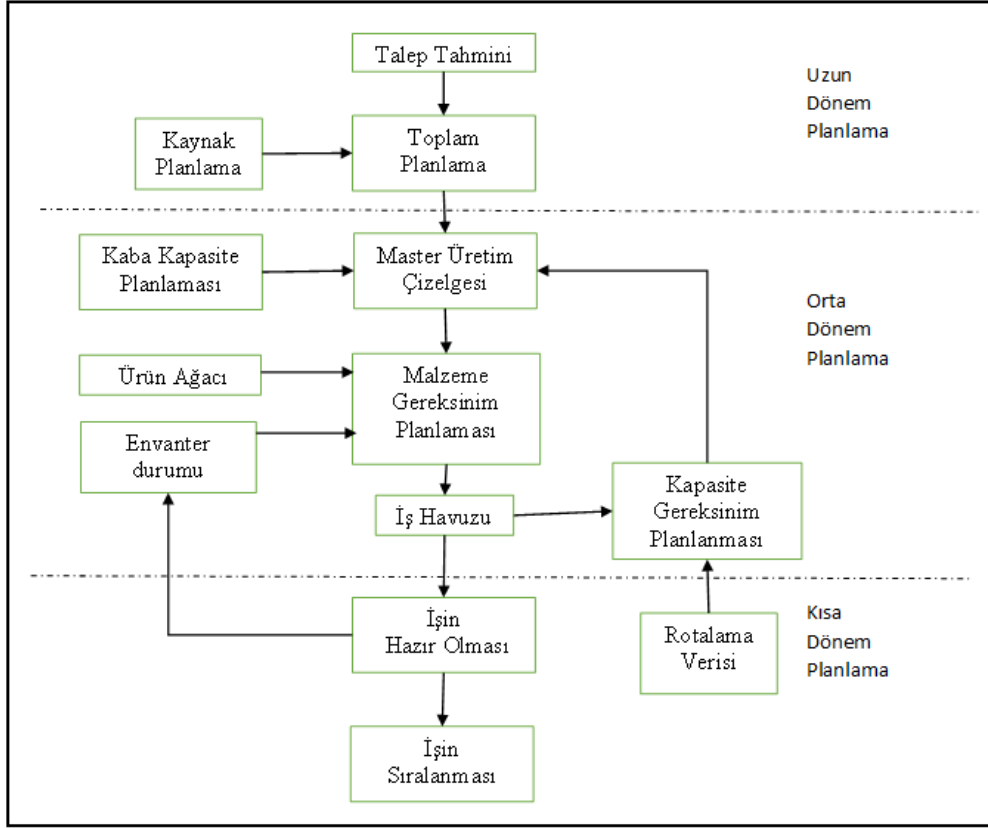
Temel MRP prosedürü basittir. MRP her ürün için şu adımları takip eder (Hopp ve Spearman, 1996):

- Net gereksinim: Elde bulunan ürünlerin herhangi çizelgelenmiş siparişlerin brüt ihtiyacından çıkarılması ile net ihtiyacın belirlenmesi.
- Parti büyüklüğü: Net taleplerin uygun parti büyüklüklerine bölünmesi.
- Zaman fazı: İşlerin teslim zamanından gerek termin sürelerinin hesaplanarak işler için başlama zamanlarının belirlenmesi.
- Ürün ağacı ilerlemesi: Başlangıç zamanı, parti büyüklüğü ve ürün ağacından faydalanarak gelecek seviye için herhangi bir komponent için brüt gereksinimi oluştur.
- İterasyon: Tüm seviyeler işleninceye kadar adımları tekrarla.

MRP sistemi ilk başlarda ateşli olarak desteklense de, birçok problemle karşı karşıya kalmıştır. Bu problemlerden en önemli üç tanesi: kapasitenin uygun

olmaması, termin sürelerinin uzun planlanması ve sistem tedirginliğidir. Kapasitenin uygun olmaması, temel MRP çalışma modelinin üretim hattı için sabit tedarik süresi vermesindedir. Termin süresi atölyede ne kadar iş olduğuna bağlı değil ise, burada hattın her zaman kapasitesinin yeterli olduğunun var sayılmasıdır. Diğer bir deyişle, MRP tüm hatların sınırsız kapasitede olduğunu varsaymaktadır. Bu üretim seviyesi kapasitede veya kapasiteye yakın olduğu durumlarda problemlere neden olabilmektedir. Termin sürelerinin uzun verilmesi diğer bir problemdir. Güvenli bir termin süresi verilmesi gibi MRP sistemi üzerinde tedarik süresinin uzun verilmesini sağlayacak baskılar bulunmaktadır. Yarı mamül miktarının fazlalığında tedarik sürelerinin uzamasına neden olmaktadır. Bu durumda yöneticiler kötümser tahminlerle uzun termin süreleri verebilmektedirler. Ne kadar uzun termin süresi verilirse, ürünler bir diğer işlem için o kadar uzun süre bekleyeceklerdir ve sistemde böylelikle daha fazla yarı mamül bulunacaktır. MRP sisteminde tedirginlik MPS’de küçük bir değişkenliğin planlanan işlerde büyük değişiklik yaratmasından oluşmaktadır. Bu durumda talepte oluşan değişiklikler fizibil olan bir planı infizibil bir duruma getirebilir (Hopp ve Spearman, 1996).

MRP sisteminde bulunan hatalar yeni MRP prosedürlerinin eklenmesini zorlamıştır (Hopp ve Spearman, 1996). Zaman geçtikçe MRP sistemine daha geniş operasyonel işlevler eklemiştir. Bunlar özellikle, Master Üretim Çizelgesi (Master Production Scheduling - MPS), Üretim Aktivite Kontrolü (Production Activity Control - PAC), Kaba Kapasite Planlama (Rough Cut Capacity Planning - RCCP), Kapasite İhtiyaç Planlaması (Capacity Requirements Planning- CRP) ve Satın alımlar. Planlamanın (MPS, MRP, CRP) ve uygulama modülleri (PAC ve satın alımlar) kombinasyonu, uygulama çevriminden planlama çevrimine elde edilen potansiyel geri beslemeler ile oluşturulan sisteme kapalı döngü MRP diye adlandırılmıştır. Finansal modülünde eklenmesiyle oluşan sistem üretim kaynaklarının yönetilmesinde birleştirilmiş amaçları olan bir sistem önerilmiştir. Bu genişletilmiş MRP sistemi ise Üretim Kaynak Planlaması (Manufacturing Resource Planning - MRP II) olarak adlandırılmıştır (Browne ve ark., 1996). Şekil 2.1’de MRP II hiyerarşisi ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 2.1. MRP II hiyerarşi (Hopp ve Spearman, 1996)

APICS(The American Production and Inventory Control Society)'e göre sık MRP sistem hatalarına kaynak dört problem şunlardır (Hopp ve Spearman, 1996):

- Üst yönetimin sisteme bağlılığının eksikliği
- Sistemi kullanan personelin eğitim eksikliği
- Master üretim çizelgesinin gerçekçi olmaması
- Ürün ağacı ve envanter kayıtları gibi bilgilerin yanlışlar içermesi.

MRP'nin işletilmesi ile ilgili önemli sorunları Benton ve Shin (1998) üç nedenle açıklamıştır. İlk sorun MRP'nin kararlı yapısı ile süreçlerin belirsizliği arasındaki uyumsuzluktur. Kritik MRP sorunlarından biri, MRP'nin doğal bir varsayımı olan parti büyüklüğü ve tedarik süresi gibi fiili üretim parametrelerinin sabit ya da kararlı verilebilmesidir. Hassas tedarik süresi belirleme ve parti büyüklüğü optimizasyonu, MRP sisteminin işletilmesi için temel etken

olmaktadır. Fakat gerçekte, özellikle atölye tipi üretimde, fiili tedarik süresi ve optimal parti büyüklüğü değişkenlik göstermektedir. Son iş istasyonundaki küçük değişiklikler, önceki iş istasyonlarında sert etkilere neden olabilmektedir. Üretimin doğasından gelen değişikliklere rağmen, MRP sistemini değişmez tutmak başa çıkılması çok zor bir problemdir. İkinci olarak, MRP sistemi sıklıkla kapasite kısıtlarını ihmal etmektedir. Bu sebeple eksik kapasite nedeniyle atölye içi gecikmelerin olması kaçınılmaz bir durum almaktadır. Üçüncü olarak, süreç içi stokların fazla olması MRP sistemi için büyük bir eksikliklerdir. Aşırı süreç içi stoklar, tedarik süresi hassaslığı ve üretim esnekliğini yakından ilgilendirmektedir.

2.2. Çekme Sistemi

Çekme sistemlerinde malzeme hareketleri önceden hazırlanan bir programa göre düzenlenmez. Bir sonraki üretim aşamasında hangi malzeme veya parçaya ne kadar ihtiyaç varsa bir önceki aşamada üretilir. Her üretim aşamasında neyin ne kadar üretileceği bir sonraki üretim aşamasında o andaki ihtiyaca göre belirlenir. Çekme sistemlerinde temel amaç üretim sürecinde ürüne değer katmayan unsurların ortadan kaldırılmasıdır. Tam Zamanında Üretim (Just In Time – JIT) bir çekme üretim sistemidir (Soyuer, 1999).

Japon firmalarının uluslararası pazarda başarı olması batılı firmaların bu başarının nasıl elde edildiği konusunda ilgilenmesine neden oldu. Birçok görüşe göre bu başarının altında JIT yatmaktadır. JIT üretim felsefesi çok basit bir amaca dayanmaktadır; gerekli parçaların, gerekli olduğu miktarda, gerekli görülen kalite seviyesinde, gerekli olduğu zamanda ve gerekli olan yerde üretmek (Browne ve ark., 1996).

JIT, ilk kez Toyota Motor Fabrikası Başkanı, Taichi Ohno tarafından 1940 yıllarında geliştirilip, uygulamaya konmuştur. İkinci Dünya Savaşı sonrası, zaten kısıtlı olan doğal kaynaklara işgücü ve sermaye kaynaklarının da yetersizliği eklenince Japonya, ekonomik varlığını sürdürebilmek için kısıtlı olan kaynakları mümkün olan en düşük maliyetle kullanmayı öğrenmek zorunda kalmıştır (Acar, 2003).

JIT felsefesi üretimin tüm aşamalarında israfın azaltılması amacını gütmektedir. İşletmeler israfları azaltmadıkça üretimlerini hiçbir zaman tam zamanında yapamayacaklardır. JIT felsefesinde ürüne değer katmayan tüm hareketler israf olarak nitelendirilmektedir. Edwards (1983), JIT’de sıfır envanter amacına ulaşmak için yedi sıfır adında kurallar oluşturmuştur. Kısaca özetlenirse:

- **Sıfır hata:** JIT ortamında iş istasyonları sadece ihtiyaçları kadar parçayı aldıklarında, eğer parça hatalı ise bu durumda duruşlar kaçınılmaz olacaktır. Bu sebeple her bir parçanın ilk seferinde hatasız yapılması esastır. Tek kabul edilebilir hata oranı sıfır olmalıdır ve kalite kontrol noktalarında beklemek mümkün değildir. Kalite kaynaktan gelmek zorundadır.
- **Sıfır parti büyüklüğü:** JIT sisteminde amaç iş istasyonunda ürün çıktığında diğer istasyona ikmal etmektir. Eğer akış yönündeki iş istasyonu bir çok farklı tipte parça işliyorsa, maksimum karşılanabilirlik eğer her iş istasyonu tek parçayı aynı anda değiştirmesiyle olabilmektedir. Eğer iş istasyonları sadece yüksek parti büyüklüğünde üretim yapabiliyorsa, bu durumda gecikme olmadan diğer iş istasyonuna geçiş mümkün olamayacaktır. Bu amaç bir parti büyüklüğü adıyla adlandırılmaktadır.
- **Sıfır hazırlık süresi:** Üretim sistemlerin yüksek parti büyüklüğü kullanılmasının sebeplerinden biri hazırlık süreleridir. Eğer farklı tip ürünleri üretmek için saatler süren hazırlık süreleri mevcut ise, sadece bu durumda yüksek parti büyüklüğünün kullanılması mantıklı olacaktır. Küçük parti büyüklükleri sıklıkla hazırlık süresi oluşmasına neden olacağı için kapasitede ciddi azalmalara neden olacaktır. Bu sebeple hazırlık sürelerinin elemine edilmesi bir parti büyüklüğü amacına ulaşmak için bir önkoşuldur.
- **Sıfır duruş:** Süreç içi stoklar olmadan makinalarda oluşacak bir arızada hattın durması kaçınılmaz olacaktır. Bu sebeple ideal bir JIT sistemi planlanmamış duruşları tolare etmemektedir.
- **Sıfır taşıma:** Eğer ürünler gereken zamanda ve gereken miktarda üretilirse, malzemeler kesin gereken taşıma miktarından daha fazla taşınmayacaktır. Depodan veya depoya hiçbir ekstra taşıma tolare edilmemektedir. İdeal

besleme biçimi hiçbir duraksama olmadan iş istasyonundan iş istasyonuna olmalıdır. Herhangi bir fazladan taşıma JIT hedefinden uzaklaşmaya neden olacaktır.

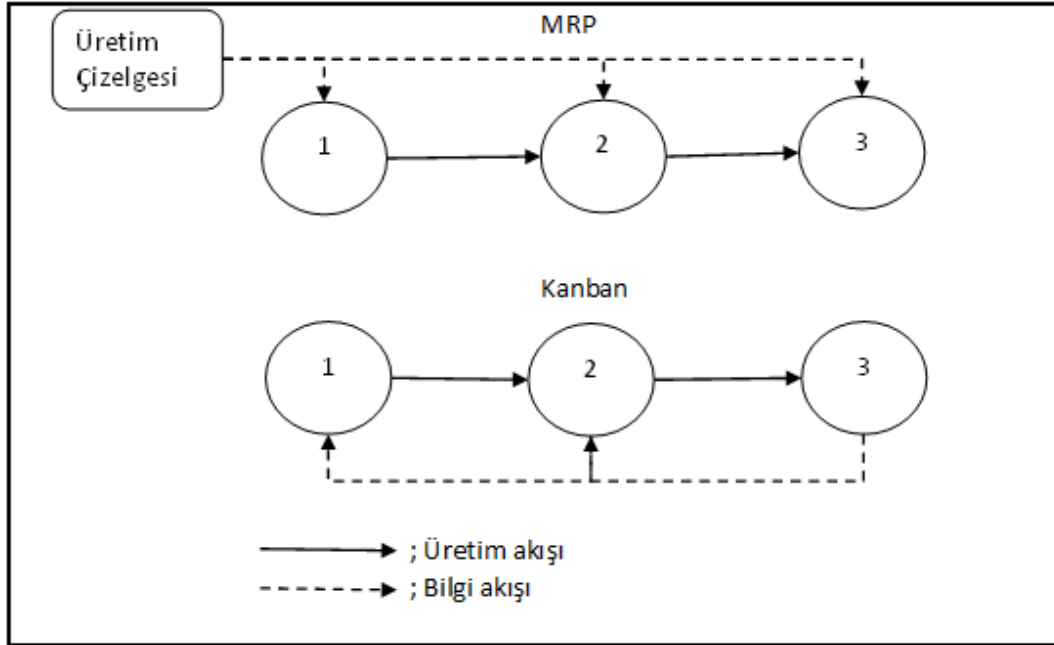
- **Sıfır tedarik süresi:** Eğer mükemmel bir JIT sistemi varsa, akış yönündeki iş istasyonu malzeme isteği yaptığında bu istek hemen karşılanır. Bir parti büyüklüğü efektif tedarik süresinin azalmasında etkisi olsada, ürünün fiili üretim zamanında kuyrukta bekleme zamanı gibi aynı şekilde önemlidir. Sıfır tedarik süresi amacı temel olarak sıfır envanter seviyesi ile çok yakındır.
- **Sıfır dalgalanma:** JIT ortamında ürünler sadece ihtiyaç duyulduğu zaman üretilirler, bu sebeple üretim planı düzgün olduğu sürece malzeme akışında düzgün olacaktır. Eğer üretim miktarları ve ürün karmalarında ani değişimler olursa, sistemde bu değişimi karşılayacak fazladan süreç içi stok olmadığından sistem bu durumu karşılamak için zorlanır. Fakat sistemde fazladan süreç içi stok olması mümkün olmayacak ve sonuçta bozulmalar ve gecikmeler oluşacaktır. Üretim planının seviyesi ve tek tip ürün karması JIT için önemli girdilerdir.

Açıkçası, bu yedi sıfır kuralı, sıfır envanter amacına göre gerçekte daha ulaşılabilir bir durum değildir. Hiç yarımamül olmadan sıfır tedarik süresinin anlamı şipşak üretim yapılmasıdır ki fiziksel olarak bu imkansızdır. Bu amaçlar aslında JIT kullanan firmaları sürekli olarak iyileştirme yapmaya zorlamaktadır. Üretim sistemin nasıl güzel çalıştığına bakılmaksızın, her zaman iyileştirme için yer vardır (Hopp ve Spearman, 1996).

JIT'nün uygulanmasında en yakın bağlantılı olan araç Japonların Toyota'da geliştirdikleri KANBAN sistemidir. Kanban sistemi, JIT ortamında malzeme hareketlerinin kontrolü ve bu bağlamda üretim etkinliklerinin planlanması amacıyla kullanılan bir üretim kontrol yaklaşımıdır (Acar, 2003).

Kanban sistemini anlatmak için itme ve çekme üretim sistemlerini açıklamak gerekmektedir. MRP gibi itme sistemlerinde işler çizelgenirler. Çekme sistemlerinde ise işler yetkilendirilir. Aralarındaki fark ise yetkilendirme atölyenin durumuna göre olurken, çizelgelemenin ise önceden hazırlanmasıdır. Bu sebepten dolayı itme sistemi direkt olarak müşteri termin zamanına bağlıdır, fakat

atölyede değişikliklere karşılık vermek zorunda kalınmaktadır (örneğin MRP sistemi baştan çalıştırılır.). Benzer şekilde çekme sisteminde de değişikliklere karşılık verilir, fakat müşteri termin zamanına uyum sağlamaktadır. Diğer bir deyişle MRP sistemi iş istasyonları arasında bulunan ara stoklarla bu değişimlere uyum sağlarken, çekme sistemi ise uyum kanbanlarla sağlanmaktadır. Şekil 2.2’de MRP ve kanban sisteminin şematik olarak karşılaştırılması verilmiştir. MRP sisteminde üretim hattında üretim çizelge tarafından tetiklenmektedir. Bir iş istasyonunda işlem tamamlandığında ürün diğer iş istasyonuna itilir. Bu sistem altında makinada iş bulunduğu sürece üretime devam edilmektedir. Kanban sisteminde ise üretim talep tarafından tetiklenmektedir. Ürün son stok noktasından ayrıldığında, son iş istasyonu yeniden ürünü yerine koymak için yetkilendirilir. Bu iş istasyonu da önceki iş istasyonuna kullandığı ürünün yerine konulması için yetkilendirme sinyali gönderir. Her iş istasyonu için bu işlem tekrarlanır(Hopp ve Spearman, 1996).



Şekil 2.2. MRP ile kanban arasındaki fark (Bonney ve ark. , 1999)

Kanbanlar daima üretim akışına ters yönde ancak fiziksel birimlerle birlikte sondan başa doğru hareket ederek üretim aşamalarını birbirlerine bağlarlar. Üretim aşamalarının bu şekilde birbirlerine bağlanması sonucunda ise

gereken parçalar, gerekli olan miktarda ve gerektiği zaman üretilmekte ve aşamalar arasında ara stoklara ihtiyaç kalmamaktadır. Bu zincirlerin işletme dışında satıcılara kadar uzatılması durumunda ise hammadde stoklarında kaldırılmış olacaktır (Acar, 2003).

Esparrago (1988)'e göre Toyota Üretim Sisteminde kanban sistemi, çekme kanbanı ve üretim kanbanı olmak üzere iki temel kanban kartından faydalanmaktadır. Çekme kanbanı, istasyonlar arasında çekmek istenilen parça cinsi ve miktarını belirleyen ve parça ya da malzeme çekmek için kullanılan karttır. Tipik bir çekme kanbanında parça hakkında en az beş bilgi bulunmalıdır. *Parça tanımı*, taşınan parçalar hakkında parti numarası, parti cinsi ve son montaj numarası gibi bilgiler bulunmalıdır. *Konteyner içi miktarı*, konteyner içinde kaç adet ürün olduğu ve kapasitesi belirtilmelidir. *Kanban salıverme numarası*, kanbanın hangi konteynerle eşleştiği ve bu iş istasyonunda kaç adet konteyner bulunduğu belirtilmelidir. Önceki iş istasyonu, parçanın geldiği iş istasyonu belirtilmelidir. Sonraki iş istasyonu, işlem sonrası gidilecek iş istasyonu belirtilmelidir. Üretim kanbanı ise bir önceki iş istasyonunun üretmesi gereken ürün ve miktarını belirleyen karttır. Şekil-3'de çekme ve üretim kanbanları için bir örnek verilmiştir.

Raf numarası	A61	Önceki Operasyon	
Parça numarası	P-447	İskelete hazırlama	
Parça adı	Tabure iskelet B	Sonraki Operasyon	
		Montaj	
Kutu kapasitesi	Kutu tipi	Salıverme numarası	
10	A	3/4	

Çekme Kanbanı

Raf numarası	A22	Operasyon	
Parça numarası	P-447	İskelet hazırlama	
Parça adı	İşlenmemiş iskelet		

Üretim Kanbanı

Şekil 2.3. Çekme ve Üretim Kanbanı örneği (Browne ve ark., 1996)

Kanbanın amacı olan JIT'i uygulamak için aşağıda verilen kurallar takip edilmelidir (Monden, 1998):

- **Kural-1.** Sonraki iş istasyonu önceki iş istasyonundan gereken ürünü, gerekli miktarda ve gerektiği zamanda çekmelidir.
- **Kural-2.** Önceki iş istasyonu, sadece sonraki iş istasyonunun çektiği ürünler ve çektiği miktarda üretim yapmalıdır.
- **Kural-3.** Hatalı ürünler kesinlikle bir sonraki istasyona gönderilmemelidir.
- **Kural-4.** Kanban sayısı enküçüklenmelidir.
- **Kural-5.** Kanban sistemi, talepteki küçük dalgalanmalara adapte olunabilen sistemlerde uygulanmalıdır.

İşletmelerde JIT'nün uygulanabilmesi için birtakım özelliklere sahip olunması gerekmektedir. Bu özellikler kısaca aşağıdaki maddelerle özetlenebilir (Üreten, 1998):

- Tekrarlamalı üretim
- Standart ürün
- Sabit talep hızı ve dengeli üretim
- Grup teknolojisi
- Esnek makina ve çok fonksiyonlu işgücü
- Kalitenin kaynağında denetlenmesi
- Küçük parti büyüklükleri
- Üretim kontrolünde Kanban
- Tedarikçilerle iyi ilişkiler
- Sıfır stok
- Önleyici bakım.

Yukarıda verilen özelliklere sahip olmayan firmalarda JIT'nün uygulanmasında çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Araştırmacılar bu zorlukları belirlemek amacıyla bir çok çalışma yapılmıştır. Emre (1995), yaptığı anket çalışmasında Türkiye'de JIT uygulamaları ve sorunları hakkında bilgiler toplamıştır. Ankete 217 firma katılırken 8'i geçersiz sayılmıştır. Sonuç olarak değerlendirilen anket sayısı 209'dur. Anket sonuçlarına göre 141 firmada JIT sistemi uygulanmamaktadır. 68 firmada kısmen veya tamamen JIT sistemi uygulandığı belirtilmiştir. Yüzde olarak belirtilirse ankete cevap veren firmaların %68'i JIT sistemini uygulamamakta, %32'si ise JIT sistemini uygulamaktadır. JIT sistemini uygulayanların %24'ü tamamen, %8'i ise kısmen uyguladıklarını belirtmişlerdir. JIT sistemini kısmen uygulayan firmalar da JIT sistemini uygulayan firmalar grubuna dahil edilmiştir. Çizelge 2.1 firmalar tarafından hangi JIT elemanlarının uygulandığını belirtmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta sadece %4 oranında şirketin kanban sistemini kullanmasıdır.

Çizelge 2.1. JIT sisteminin hangi elemanları uygulanmaktadır (Emre, 1995).

ELEMANLAR	FİRMA SAYISI	YÜZDE(%)
Grup teknolojisi	33	49
Toplam kalite kontrol	45	66
Toplam koruyucu bakım	29	43
Kalite kontrol çemberleri	21	31
Kanban	3	4
Kısaltılmış hazırlık süreleri	21	31
Çok yönlü işçiler	22	32
Dengeli iş yükleri	24	35
Satın alınan parçaların tam zamanında teslimi	28	41
Tekrarlı imalat ortamının yaratılması	32	47

Çizelge 2.2 ise JIT sistemi uygulamaya konulurken işletmenin karşılaştığı sorunları göz önüne sunmaktadır. Buna göre Tedarikçiler ile ilgili sorunlar ve çalışanların eğitim sorunu %50 ile en sık karşılaşılan sorunlar olmuştur.

Çizelge 2.2. JIT sistemi uygulamaya konulurken işletmenin karşılaştığı sorunlar (Emre, 1995)

SORUNLAR	FİRMA SAYISI	YÜZDE(%)
Değişime karşı olan kültürel tepkiler	22	32
Yönetim desteği eksikliği	4	6
Performans ölçümü	13	19
Tedarikçilerle ilgili sorunlar	34	50
Kısa dönemde maliyeti karşılabilmek	25	37
Alıcıların uzaklık sorunu	18	26
Teknolojik donanım sorunu	19	28
Çalışanların eğitim sorunu	34	50

Çizelge 2.3'de JIT sistemi uygulanmasından sonra işletmenin karşılaştığı sorunlar verilmiştir. %35 oranla yapılan programa uyamamak en büyük problem olarak gözükmektedir. Ayrıca, yan sanayi desteği eksikliği ve makina bozuklukları %34 ile büyük sorunlar teşkil etmektedir.

Çizelge 2.3. JIT sistemi uygulamasından sonra işletmenin karşılaştığı sorunlar (Emre, 1995)

SORUNLAR	FİRMA SAYISI	YÜZDE(%)
Yapılan programa uyamamak	24	35
Düşük kalite	2	3
Yan sanayi desteği eksikliği	23	34
Eksik talep tahmini	20	30
Veri güvenilirliği	11	16
Makina bozuklukları	23	34
Performans ölçümü	10	15
Makina ön hazırlık zamanlarının azaltılması	10	15
Muhasebeleştirme ve raporlama sorunları	12	18
Verilerin sürekli olamaması	10	15
Orta kademe yönetimin desteğinin eksikliği	9	13
Mevcut MRP sistemiyle çelişme	3	4

Celley ve ark. (1986), Amerika Birleşik Devletlerindeki otomobil endüstrisinde faaliyet gösteren 131 işletmede yaptıkları araştırma sonucunda JIT sisteminin uygulama problemlerini aşağıda belirtmiştir (Koçak, 2007):

- Sürekli değişen talep miktarları
- Satıcı kalitesinin düşüklüğü
- Üretim kalitesinin düşüklüğü
- Kırtasiye işinin çok olması
- Kritik parçaların gerektiğinde elde edilememesi
- Çalışanların bağlılığının olamaması
- Hazırlık sürelerinin düşürülememesi
- Yetersiz ekipman ve araçlar
- Üst yönetimin desteğinin eksikliği.

Sonuç olarak JIT sisteminin uygulamalara bakıldığında stok maliyetleri, imalat süreleri ve süreç içi stoklarda belirgin bir azaltma yaşatmasına rağmen bir çok sorunla karşılaştığı ve bu sorunlar nedeniyle uygulanmasında yeterli bilgi ve sermayesi olmayan firmaların (KOBİ'ler) JIT sistemini tam olarak benimsemesi zor olmaktadır.

2.3. İtme ve Çekme Sistemleri Arasındaki Farklar

İtme ve çekme sistemleri arasındaki farkları Emre (1995) şöyle özetlemektedir:

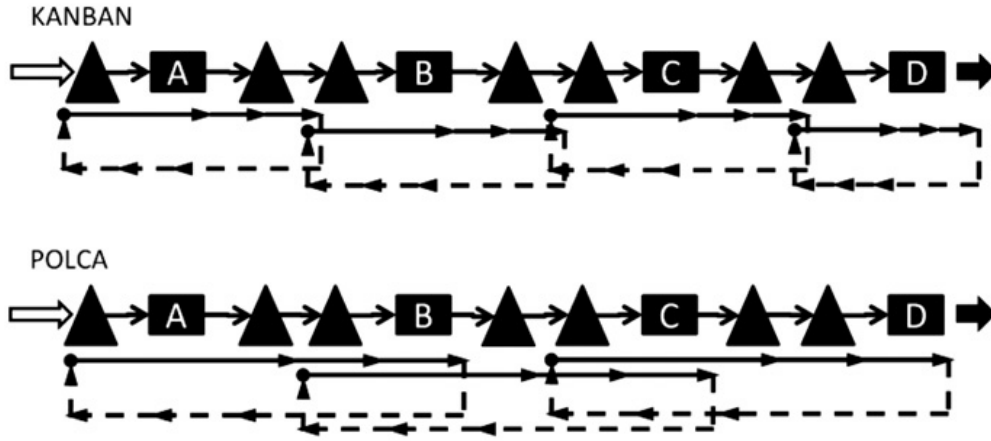
- İki sistem arasındaki temel farklılık, çekme sisteminin üretimi mevcut talebe göre yönlendiriyor olması, itme sisteminin ise üretimi geleekteki talep tahminlerine göre yönlendiriyor olmasıdır.
- Talepteki önemli değişiklikler, çekme sistemlerinde sonraki süreçten öncesine artarak geçmesine karşın, itme sistemlerinde her süreç için üretim çizelgesini yenilemek çok zor veya imkansız olacağından dolayı bu değişiklikler aşırı stoğa neden olmaktadır.
- Çekme sistemleri, süreç içi stoğun istenmeyen birikimini, yani işlerin gereksiz yere başlatılmasını, problemlerin ve hatalar ortaya çıkmadan önce çok sayıda hatalı parçanın üretilmesini engelleyen yöntemlere sahiptir. Oysa itme sistemlerinde üretim hızı ve stok düzeyini tüm durumlar için incelemek ve takip etmek zor olduğundan, süreçler arasında güvenlik stokları tutulmakta ve üretim çizelgesi bu stokları da içerecek şekilde hazırlanmalıdır. Başka bir deyişle, ortaya çıkacak hatalı veya eksik parçaları karşılamak amacıyla güvenlik stoklarının tutulmasına razı olunmaktadır.
- İtme sistemlerinde üretim kontrolü bir merkezden yönetilmekte ve sürece üretim planlama ve kontrol kısmından iş emirleri dağıtılmakta, böylece birbirinden bağımsız olarak çalışan her sürecin üretimi yine üretim planlama ve kontrol kısmı tarafından sürekli planlanan üretim ile karşılaştırılmaktadır. Başka bir deyişle göre, bu sistemlerde üretim planlama ve kontrol kısmı ile her süreç arasında ayrı bir bilgi akışı vardır. Buna karşılık, çekme sistemlerinde ise merkezden sadece son montaj hücresine iş emri gönderilmekte, önceki hücreler ya da süreçler üretimlerini bu son montaj hücresine göre ayarlamaktadır. Yani, üretim kontrolü merkezi değildir ve süreçler arasında çok hızlı bilgi akışı vardır.

2.4. İtme - Çekme Sistemleri

Günümüzde varolan rekabet ortamında işletmeler rekabete uyum sağlamak için birçok çözüm yoluna başvurmuşlardır. MRP kullanan firmalar, hem MRP sistemindeki sorunları gidermek hem de sürekli değişen müşteri ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla JIT sistemine geçmek istemektedirler. Fakat JIT sistemini uygulamak işletmelerin yapısına uymamakta veya daha önce belirtilen sorunlarla karşılaştığı görülmektedir. Bu sebeple hem MRP hem de JIT sistemlerinin faydalarından yararlanarak melez üretim sistemleri oluşturulmuştur. Bu sistemlerden en önemli ikisi CONWIP ve POLCA sistemleridir. Ayrıca itme ve çekme sisteminin üretimde farklı bölgelerde kullanıldığı sistemler bulunmaktadır. Bu sistemlerden en önemlisi Trampet-Tampon-Kordon (Drum-Buffer-Rope – DBR) sistemidir.

2.4.1. Yetkilendirme Kartlarının İkili Çakışan Döngüleri (Paired Overlapping Loops of Cards with Authorization – POLCA)

POLCA, Rajan Suri tarafından Hızlı Tepki üretim modelinin bir parçası olarak 1998 yılında geliştirilen, itme ve çekme sistemlerinin bütünleştirildiği melez bir modeldir. Kanban sistemleri, üretim firmalarının bulunduğu yüksek ürün çeşitliliği ve/veya özel üretim çevrelerinde uygun bir sistem değildir. Aynı şekilde MRP sistemi de yüksek ara mamül stoğu ve tedarik süresinin uzun olmasından kaynaklanan dezavantajları bulunmaktadır. POLCA ise, kanban ve MRP sistemlerinin en iyi özelliklerini alarak kombine edilmesiyle oluşturulmaktadır (Krishnamurthy ve Suri, 2009). Şekil 2.4’de Kanban ile POLCA sistemlerinin arasındaki işleyiş farkı verilmiştir.



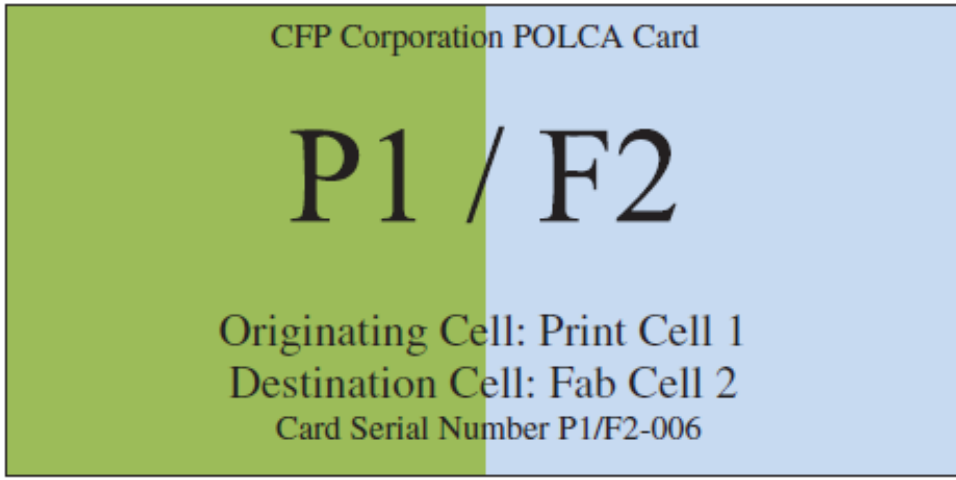
Şekil 2.4. Basitleştirilmiş Kanban ve POLCA kart işleyişleri (Harrod ve Kanet, 2013)

POLCA, kart sinyallerine dayanan, üretim sürelerinin azaltılması, üretim maliyetlerinin azaltılması ve israfların ortadan kaldırılmasına odaklanan bir modeldir. POLCA, yüksek ürün çeşitliliği, düşük ara stoklar ve yüksek mühendislik amaçlamaktadır (Suri, 2003).

POLCA sisteminde, ürün rotasında bulunan ardışık iki iş istasyonu, önceden tahsis edilmiş POLCA kartlarını kullanarak bir çift ya da döngü oluşturmaktadır. Orjinal POLCA sisteminde, döngü içerisinde bulunan POLCA kartı sayısı bu döngü tarafından kabul edilen iş sayısını belirlemekte ve eğer boş kart yoksa işler beklemekte ve üretime girememektedir. Şekil 2.6'da sekiz iş istasyonundan ve üç iş akışından oluşan bir POLCA sistemi gösterilmektedir. K1 tipi siparişler A-B-C-D rotasını takip etmekte (Şekil 2.6.a), K2 tipi siparişler E-F-C-H rotasını takip etmekte (Şekil 2.6.b) ve K3 tipi siparişler ise E-F-C-D-G rotasını takip etmektedir. Rotalar üzerinde bulunan her çift olan iş istasyonu, sayısı verilen POLCA kartları ile döngüye katılırlar. Çünkü, döngüler üst üste binmekte ve her bir iş istasyonu aynı rotadaki iki döngünün elemanı olmaktadır (Vandaele ve ark., 2008).

POLCA sisteminin mekanizması Vandaele ve ark. (2008) tarafında şöyle özetlenebilir: Üretim talebi, eğer iş istasyonunda boş bir POLCA kartı varsa ve talep yüksek seviye MRP tarafından yetkilendiriliyorsa üretime alınabilmektedir. Bu koşullar sağlandığında, seçilecek sipariş üretime başlar ve uygun olan POLCA kartı siparişe iliştilir ve bu kart döngünü ikinci iş istasyonunda işlem bitişine

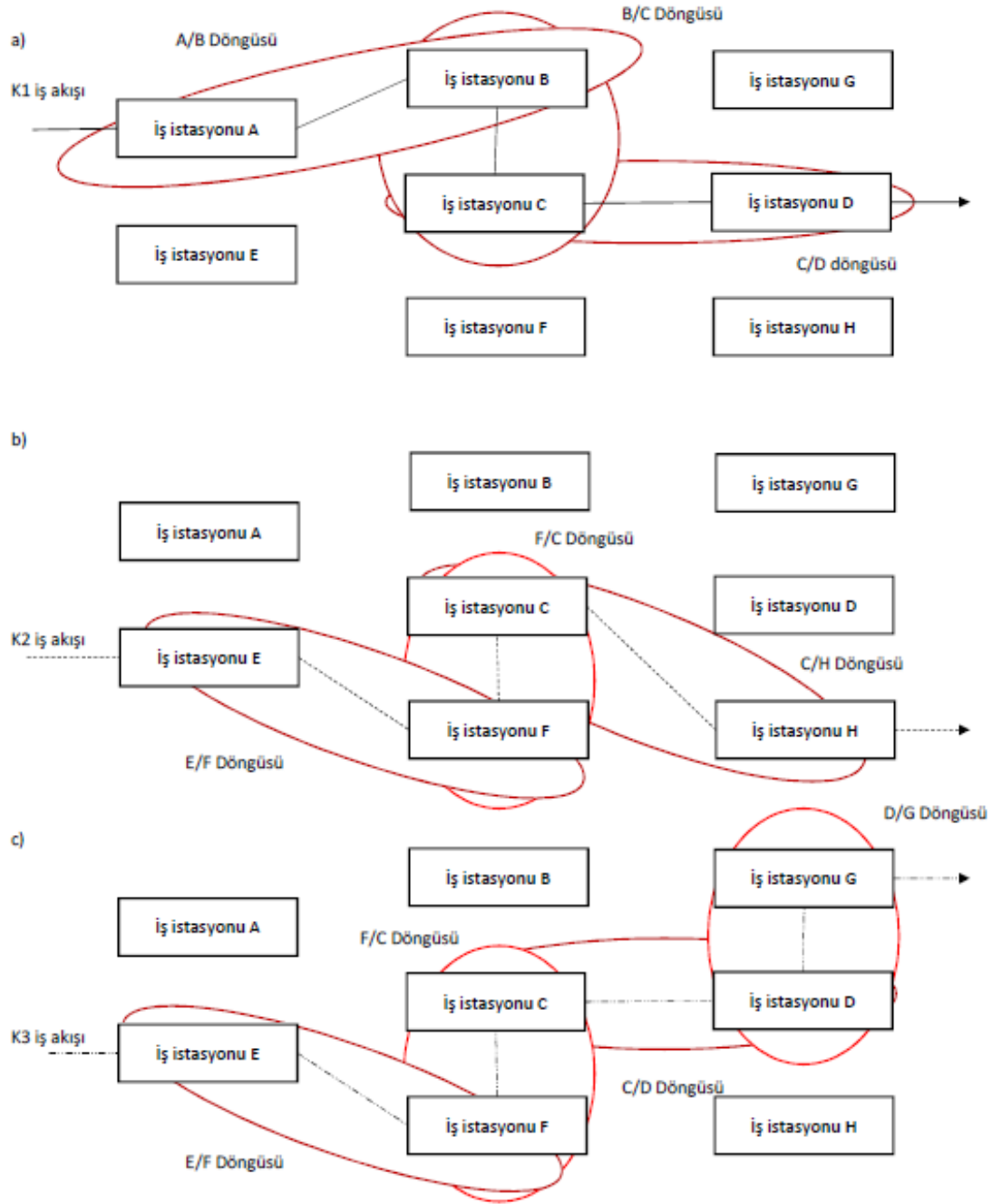
kadar kalır. Örnek olarak, Şekil 2.6’da bulunan C/D kartı, sadece K1 veya K3 tipi işlerin bulunduğu dördüncü operasyon iş istasyonu D tarafından bitirildiğinde kullanılabilir olabilmektedir. İş istasyonu bir çok ürün tipi için uygun olursa (hepsi yetkilendirilmiş ve kart hepsi için uygun), yetkilendirilme listesi veya ikinci bir sipariş sıralama algoritması kullanılarak seçim yapılmaktadır. İlk ve son iş istasyonları hariç, diğer iş istasyonlarında döngülerin üst üste gelmesinden dolayı iki farklı kart bulunmaktadır. Örneğin Şekil 2.6’da iş istasyonu C’de hem B/C hem de C/D kartları bulunmaktadır.



Şekil 2.5. POLCA kart örneği (Krishnamurthy ve Suri, 2009)

POLCA sistem mekanizması, hem itme hem de çekme sistemlerinin avantajlarından yararlanarak melez bir sistem oluşturmaktadır. İtme sistemi yetkilendirme özelliği ile, siparişin sistemde daha önce işleme başlayıp başlamadığından emin olmakta ve böylelikle gereksiz süreç içi stoğu engellemektedir. Bununla birlikte, siparişlerin öncelikleri ile ilgili sistemi bilgilendirmektedir. Çekme sinyalleri, POLCA kartının uygunluğuna ve ilk iş istasyonu için akış yönündeki kapasitenin uygunluğuna değinmektedir. Böylece, bir sonraki iş istasyonunun yakın gelecekte işlem için uygun olacağı garanti edilmektedir. Bu sebeple, yetkilendirme zamanı ile gerçek başlama zamanı farklı olursa iş istasyonunda işlem başlamamaktadır (Vandaele ve ark., 2008).

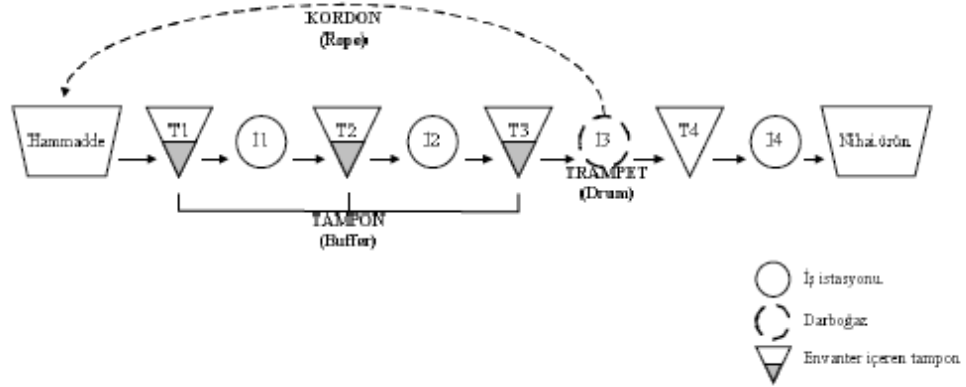
Literatürde POLCA modelinin üretim süreçlerine etkilerini gösteren yeterli çalışmalar yapılmamıştır. Bu sebeple POLCA modelinin eksik yönleri ve avantajları konusunda bir belirsiz olduğu söylenebilir.



Şekil 2.6. Sekiz iş istasyonu ve Üç iş akışı: (a) K1 iş akışı, (b) K2 iş akışı, (c) K3 iş akışı'dan oluşan POLCA modeli (Vandaele ve ark., 2008)

2.4.2. Trampet-Tampon-Kordon (Drum-Buffer-Rope – DBR) Sistemi

Trampet-Tampon-Kordon (Drum-Buffer-Rope – DBR) methodu, kısıtlar teorisinden yararlanarak 80'lerde Goldratt tarafından geliştirilmiştir. DBR sisteminde mantığı sistemin gücü ancak en zayıf halkanın gücüyle orantılı olmasıdır. Üretim hatlarında ise sistemin zayıf halkaları darboğaz tezgahlardır. Darboğaz tezgahta meydana gelen süre kayıpları üretimi direkt olarak etkileyecektir. Kısıtlar teorisi, süreçleri darboğaza göre yönetmek için DBR sistemini kullanmaktadır. DBR, kısıtın çizelgelenmesidir. Diğer bütün kısıt olmayan süreçler kısıta göre çalışmaktadırlar. Kaynaklar arasındaki ilişkileri düzenleyerek ürünün akışının düzgün bir şekilde olmasını sağlamaya odaklanılmıştır (Altun ve Göleç, 2011).



Şekil 2.7. DBR sisteminin işleyişi (Altun ve Göleç, 2011)

Şekil 2.7’de görüldüğü üzere DBR sisteminde darboğaz tezgah verilerine dayanarak darboğaz tezgah öncesinde çekme işlevini gerçekleştirmektedir. Darboğaz tezgah sonrası ise itme sistemi devreye girmektedir.

3. CONWIP SİSTEMİ

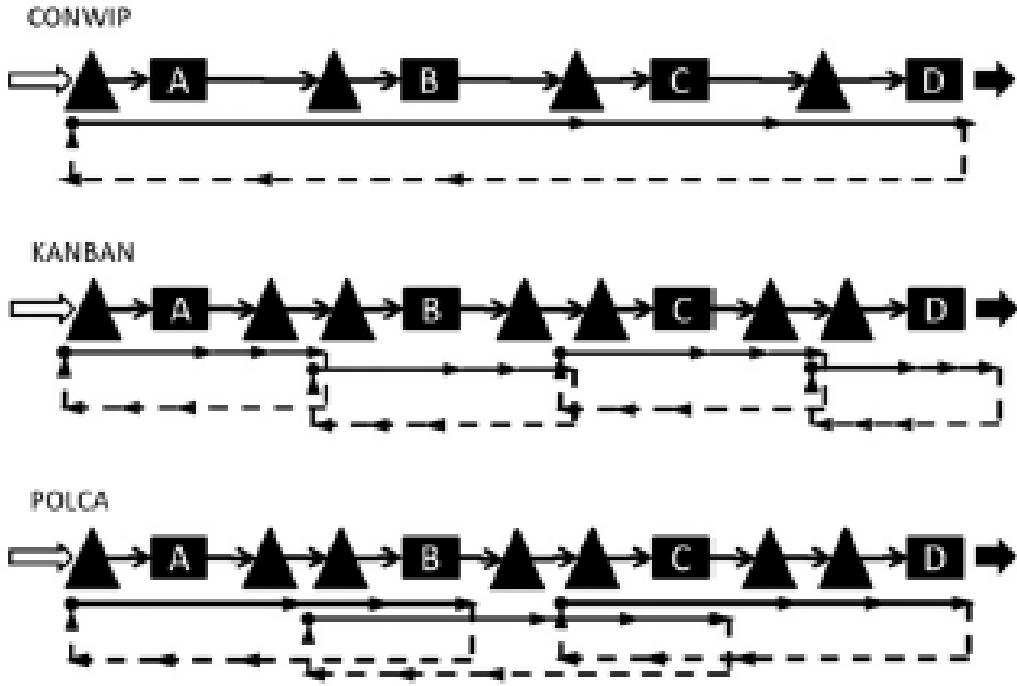
Melez üretim sistemlerinden birisi de Spearman ve ark. (1990) tarafından önerilen Sabit Süreç İçi Stok (Constant Work-in-process – CONWIP) sistemidir. Japon firmalarının İkinci Dünya Savaşı sonrasında kısa süredeki başarıları ABD’de bu başarının nasıl sağlandığı hakkında düşünmek zorunda bırakmıştır. Japon firmalarının başarıları, hazırlık sürelerinin azaltılması, kalite kontrol ve hızlı ürün girişlerini gerçekleştirilmesinde bir çok teknik kullanmasından kaynaklanmaktaydı. Bununla beraber Japonya ve ABD arasında kültür, coğrafya ve ekonomik çevreler çok farklıydı. Bu sebeple Amerikalılar JIT ile ilgili olarak görüşlerini daraltmak zorunda kalmışlardır.

3.1. Süreç İçi Stokların Sınırlandırılması

Hopp ve Spearman (1996), çekme sisteminin en önemli faydasının süreç içi stokların (work-in-process – WIP) azaltılması olduğunu iddaa etmektedir. Bu kapsamda asıl mucizenin çekme sistemi değil WIP sınırlaması olduğu belirtilmiştir. Hopp ve Spearman (1996) WIP sınırlamasının yararlarını beş başlık altında tartışılmaktadır. Bunlar, üretim maliyetini azaltmak, değişkenliğin azaltılması, kalitenin geliştirilmesi, esnekliğin korunması ve işlerin başlamasının kolaylaştırılmasıdır.

İş akış kontrol sistemlerinde WIP kontrolü literatürde üç temel şekilde değerlendirilmektedir (Harrod ve Kanet, 2013):

1. Tek iş merkezinde WIP kontrolü(Kanban)
2. Tüm atölyede toplam WIP kontrolü(CONWIP)
3. Verilen rotada iki iş merkezi arasında WIP kontrolü(POLCA).



Şekil 3.1. İş akış kontrol sistemleri (Harrod ve Kanet, 2013)

3.1.1. Üretim Maliyetini Azaltmak

Eğer WIP sınırlaması söz konusu ise, hat üzerinde olan bozulmalar (makina arızası, kalite problemlerinden dolayı duruş, ürün karmasından dolayı oluşan yavaşlamalar), WIP'in önceden kararlaştırılan seviyeden fazla büyümesine neden olmaz. Saf çekme sistemlerinde ise böyle bir durum yoktur. MRP bazlı çizelgeleme tüm koşullar göz önüne alınmadan tam olarak izlenirse, çizelge ve gerçekleşen üretim arasında büyük farklar ortaya çıkabilmektedir. Bu sebeple WIP atölyede yüksek miktarlarda tutulur ve bu WIP patlamasına neden olur. Gerçek hayat problemlerinde WIP'in sonsuza kadar büyüdüğü gözlemlenemez. Buna rağmen, durumlar yeterince kötüleştiğinde yönetimler birşeyler yaparlar. Fazla mesai çizelgelenir, termin tarihleri ötelenir ve atölyeye sipariş limitleri konulur. Bir başka deyişle, saf itme sistemi uygulanmasından vazgeçilir. Kapasite artırılması için geçici işçiler işe alınır. Ve herşey bir sonraki WIP patlamasına kadar normale döner. Buradaki anahtar nokta ise, itme sisteminde düzeltici

faaliyetler problem ortaya çıkmadan ele alınmamaktadır ve WIP zaten kontrolden çıkmış bulunmaktadır.

Çekme sistemlerinde ise WIP kurgusu, sistem fazla yüklenmeden önce sınırlandırılıyor olmasıdır. Üretim oranı yine de düşebilir fakat bu durum WIP seviyesi artsın veya artmasın oluşabilecek bir durumdur. Örnek olarak, eğer darboğaz bir makina duruş yaşarsa, tüm WIP onun önünde birikmeye başlar ve daha fazla üretim yapılamaz. Fakat sistem dışında WIP bekletilerek, böyle bir durumla karşılaşıldığında esnekliğin kaybolmamasını sağlayabilmektedir. Siparişler kağıt üzerinde kaldığı sürece, mühendislik değişimi ya da çizelgeleme önceliği değişimleri kolayca yapılabilir. Fakat işler bir defa atölyeye girdiklerinde, çizelge önceliğinin değiştirilmesi maliyetlidir, üretim hızını bozar ve mühendislik değişimleri ise hemen hemen imkansızlaşır. Bu sebeple, WIP hızlanma ve mühendislik değişikliklerinden kaynaklanan üretim maliyetlerini azaltmaktadır.

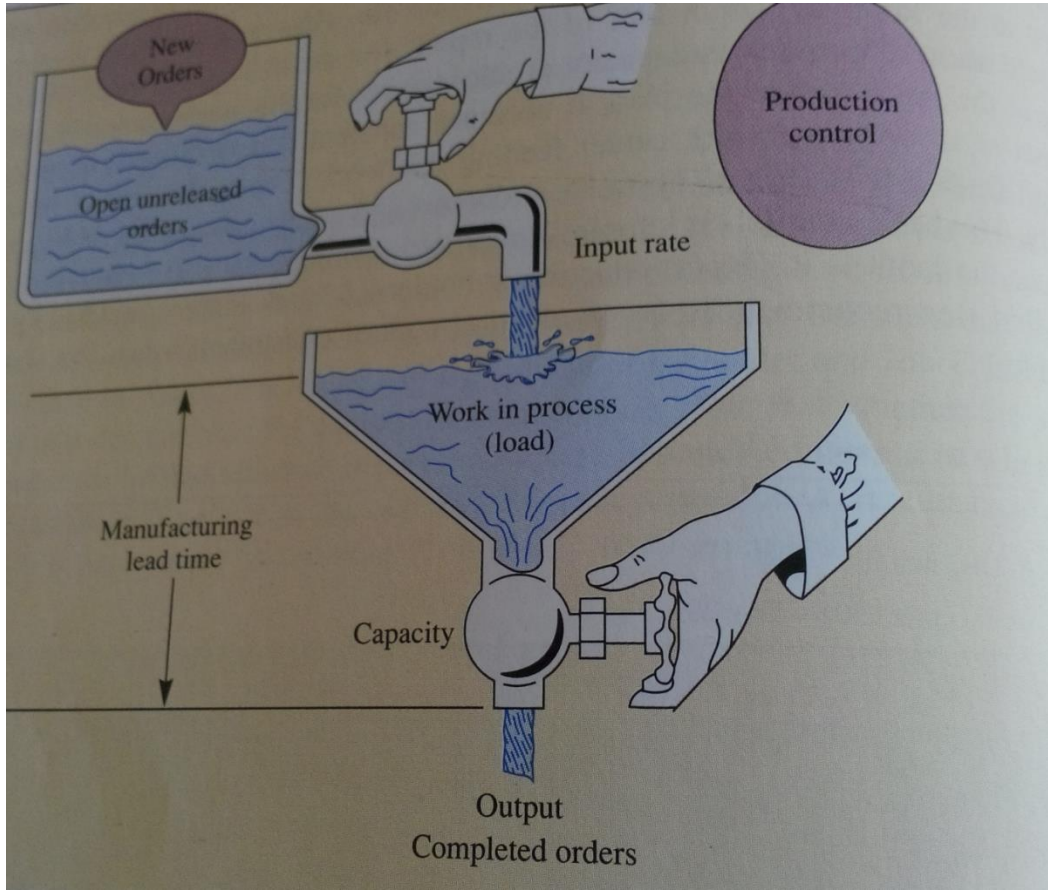
Esnekliğin artmasına ek olarak, çekme sistemi işlerin başlamasında daha iyi bir zamanlama sağlamaktadır. Eğer itme sistemi periyodik olarak sisteme çok fazla iş alırsa, bu ortalama WIP seviyesini arttırırken üretim çıkış hızında bir iyileştirme yapmamaktadır. Çekme sistemi belirlenen üretim çıkış hızına, ortalama WIP seviyesini azaltarak ulaşmaktadır. Bu direkt olarak elde tutmadan kaynaklanan üretim maliyetinin azalmasını sağlamaktadır.

3.1.2. Değişkenliğin Azaltılması

Müşteri servis seviyesinin tutulmasındaki anahtar nokta hattın bir tahmin edilebilir akış hızının olmasıdır. Özellikle, düşük çevrim süresi değişkenliğine ihtiyacımız vardır. Eğer çevrim süresi değişkenliği düşük ise, işlerin atölyeden ne zaman çıkacağına dair yüksek olasılıklı bir tahminde bulunabilir. Bu bize termin sürelerinin sağlanmasında etkinlik getirecektir. Düşük çevrim süresi değişkenliği ayrıca bize müşterilere daha kısa termin süreleri vermemizi sağlayabilmektedir. Eğer çevrim süresi 10 gün artı eksi 6 gün ise, yüksek servis seviyesini sağlamak için 16 günlük bir termin süresi vermemiz gerekmektedir. Diğer taraftan, eğer

çevrim süresi 10 gün artı eksi bir gün olursa 11 günlük bir termin süresi vermemiz yeterlidir.

Kanban itme sistemine göre daha az değişkenlik gösteren bir termin süresi sağlamaktadır. Çevrim süresi artışı WIP seviyesinin artışı ile ilişkili (Little's Law) ise de, kanban WIP patlamasının önüne geçer ve böylelikle çevrim süresi patlamasını da engellenmektedir. Kanban bunun yanında sıklıkla iş istasyonlarında direkt olarak değişkenliğin azaltılması ile kurulmaktadır. Bu JIT'de bulunan "su seviyesi azalınca kayalar ortaya çıkar" çıkarımıdır. Özellikle, sistem içerisinde kanbanın WIP seviyesini sınırlandırması sistemi değişkenlik konusunda daha savunmasız hale getirmekte, ve bununla birlikte yönetim üzerinde sürekli iyileştirme konusunda bir baskı oluşturmaktadır.



Şekil 3.2. WIP ve üretim kontrolüne etkisi (APICS)

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere WIP ne kadar çok olursa tedarik süresinin uzunluğu ve tedarik süresinin hassas olarak tahmin edilebilme olasılığı o kadar çok etkilenmektedir. Sistemde çıktı hızı darboğaz tezgah tarafından belirlendiği bir ortamda fazla mesai aşırı WIP durumunda kaçınılmaz bir hale gelebilmektedir (APICS,1979).

3.1.3. Kalitenin Geliştirilmesi

Kalite genel olarak hem JIT’nün ön koşulu hem de JIT’in bir faydası olarak gösterilmektedir. Daha yüksek kalite için düşük WIP seviyesi, sürekli olarak kalite iyileştirmeleri için talep oluşturacaktır. Daha iyi kalite için yapılan bu basit baskı ile, JIT direkt olarak kaliteyi geliştirmektedir çünkü daha düşük WIP seviyesi kalite kontrolünü daha efektif bir hale getirmektedir. Eğer WIP seviyesi yüksek ve makine önlerinde oluşan kuyruklar uzun olursa, kalite güvencenin büyük partiler hatalı bir şekilde üretilmeden önce tespit yapması oldukça olmaktadır. Eğer WIP seviyesi düşük olursa, hataların tespit edilmesi daha kolay olacaktır.

Basit bir WIP sınırlandırmasının hem kalite üzerinde geliştirilmesi yönünde baskı oluşturulması hem de etkin kalite güvence için makine önlerinde oluşan kuyruk uzunluklarının kısaltılmasında faydalığı olacağı görülmektedir.

3.1.4. Esnekliğin Korunması

İtme üretim sistemi çok sıkışık bir üretim hattında sadece işleri bir yerlere sıkıştırarak üretime başlayabilirler. Bu da birçok yönden esnekliğin kaybolmasına neden olmaktadır. İlk olarak, bir kısmı tamamlanmış işlerin üzerinde tasarım gibi mühendislik değişikliklerinin yapılması kolay olmamaktadır. İkincisi, yüksek WIP seviyesi öncelik ya da çizelge değişimlerini engellemektedir. Ve son olarak, eğer WIP seviyesi yüksek olursa, siparişler termin sürelerini sağlamak için gerekenden daha önceden üretime alınacaklardır. Çünkü, müşteri siparişleri planlama uzayı genişledikçe daha belirsiz bir hale gelecektir ve sistem talep tahminlerine dayanarak üretim yapmak zorunda kalmaktadır. Ve talep tahminleri istenilen

kadar etkin olamadığı zamanlar, sistem performansında büyük düşüşler yaşanmaktadır.

Çekme üretim sistemi, WIP sınırlaması ile bu negatif etkileri önleyebilir ve tüm sistem esnekliğinin artırılmasını sağlar. Atölyenin tamamıyla sıkışık olduğu bir durumda, yeni siparişlerin sisteme girmesi engellenerek, sipariş mümkün olduğunca kağıt üzerinde kalması sağlanmaktadır. Bu durumda mühendislik, öncelik ve çizelgeleme üzerinde değişikliklerin kolayca uygulanmasına imkan sağlamaktadır. Böylelikle işler olabildiğince geç başlamakta ve sipariş için üretim yapma imkanı sunulmaktadır. Bu sayede müşteri isteklerine cevap verebilme imkanları artırılmaktadır.

3.1.5. İşlerin Başlamasını Kolaylaştırılması

Çekme üretim sisteminin atölyenin durumuna göre işlerin başlamasıyla sağlanan esnekliğin koruması faydasının bir diğer yararını da sistemin uygun olduğu durumlarda sunmaktadır. Eğer katı bir şekilde çekme üretim sistemi uygulanır ve WIP sınırın altına düşerse, bir sorun çıkmaz ise siparişin üretimine başlayabilmektedir. Örnek olarak, eğer makina arızası olmayan, işçi sıkıntısı yaşamadığımız ve malzeme sıkıntısı olmayan bir dönem yakaladığımızda beklenenden daha iyi bir üretim gerçekleştirilmektedir. İtme üretim sisteminde ise böyle bir durumla karşılaşıldığında bu durumdan faydalanılamamaktadır, çünkü iş başlangıçları atölyenin durumu göz önüne alınmadan çizelgenmektedir.

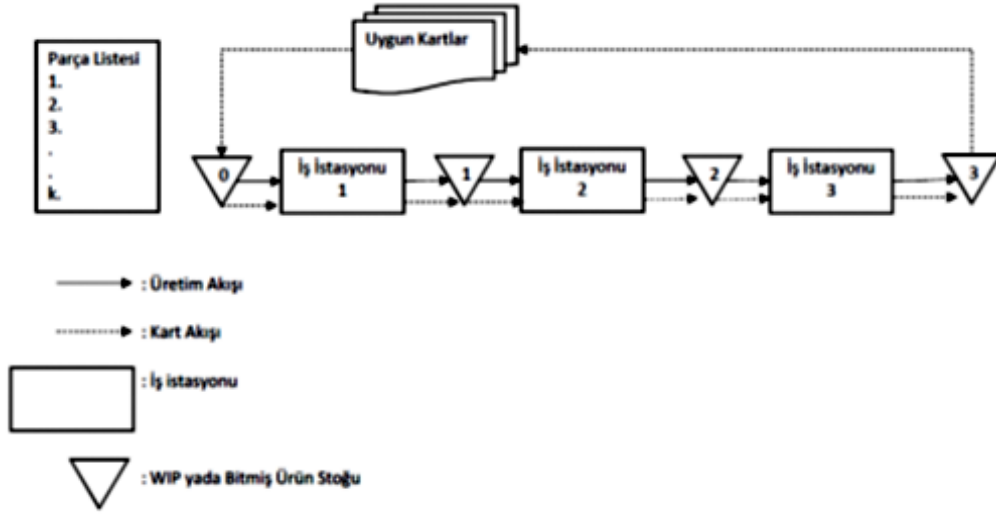
Gerçek hayatta böyle bir durum için çekme sisteminde bir limit koyulması gerekmektedir. Eğer işler termin sürelerinden çok önce başlarsa, işlerin erken tamamlanması bazı riskler getirmektedir. Talepteki değişiklikler ya da mühendislik değişimleri erken bitirmenin değerini etkisiz hale getirmektedir. Bu nedenle, talepleri karşılamak konusunda rahatladığımız zamanlar üretim temposunu azaltmak daha mantıklı olabilmektedir.

3.2. CONWIP Sisteminin Yapısı ve İşleyişi

CONWIP kanban sisteminin genelleştirilmiş halidir. Kanban gibi sinyaller üzerinden çalışmaktadır. CONWIP sisteminde kartlar tüm üretim sistemi boyunca ilerlemektedir. Kart üretim sisteminin başında standart bir konteynere ilişitirmektedir. Konteyner hattın sonuna geldiği zaman, kart silinmekte ve tekrar üretime girmek üzere üretim sisteminin başına gönderilmektedir. Kanban sisteminde, farklı olarak her kart için özel bir parça sinyal göndermekteydi. CONWIP sisteminde ise kartlar üretim hattına atanmakta ve her bir işlem için ayrı bir kart belirlenmesi gerekmemektedir. Kartlara parti numarası üretim sisteminin başında verilmekte ve bu numaralar parça listesinde bulunan siparişlerle eşleştirilmektedir (Spearman ve ark., 1990).

CONWIP sistemi kısaca, sisteme siparişin girmesiyle birlikte tanımlanmaktadır. Sipariş sisteme girdiğinde Parça listesinde (Backlog list) yerini alır. Parça listesi basitçe, işlenmek için kabul edilmiş üretilmesi gerekli olan siparişlerden oluşan bir listedir. Parça listesi belirlenen bir sıralama algoritması ile düzenlenir ve işler bu sıra ile üretime girerler. İşler parça listesinde bir kart uygun oluncaya kadar beklerler. Toplam kart sayısı sistem tarafından katı bir şekilde tutulmaktadır ve bu kart sayısı sistemdeki WIP seviyesini sınırlandırmaktadır. Bir kart uygun olursa parça listesinin en başında bulunan sipariş üretime girmektedir. Üretime giren sipariş kart ile ilişkilendirilmektedir. Sipariş üretim süreci boyunca İlk Giren İlk Çıkar (FIFO) prensibiyle devam etmektedir. Kart üretim hattının sonuna geldiğinde bitmiş üründen ayrılır ve yeniden bir siparişle ilişkilendirilmek üzere sistemin ilk noktasına gönderilir (Herer ve Masin, 1997).

Malzeme akışı bitmiş ürün talebi ile çekilirken üretim ise itilmektedir. Parça listesi için en uygun sipariş ya da en uygun iş sırası, CONWIP gibi hibrit itme/çekme sisteminin kullandığı çevrelere göre tamamıyla çekme sistemi kullanılan çevrelerden daha önemlidir (Zhang ve Chen, 2001).



Şekil 3.3. Tek hat CONWIP üretim sistemi (Zhang ve Chen, 2001)

CONWIP sistemini en basit şekilde sürdürmek için Şekil 3.3’de gösterildiği gibi fiziksel kart ya da konteynera gereksinim duyulmaktadır. Bu kartlar kağıttan, metalden veya plastikten yapılabilir ya da boş konteyner kullanılabilir. Kartların üzerlerinde rota veya ürün bilgisi olmadığından dolayı çok basittirler. İşlerin sadece kart ile üretime girilmesi sağlanmaktadır ve kartlar sürekli bir döngü içinde üretim hattında dolaşmaktadırlar. Hattın WIP seviyesi, hatta bulunan toplam kart tarafından sınırlandırılmaktadır (Hopp ve Spearman, 1996).

CONWIP, atölye düzeyinde giriş/çıkış işlemlerinin düzenlenmesi için pratik bir method sağlamaktadır. CONWIP, hava trafik kontrolünde kullanılan tekniğe benzer bir teknik kullanmaktadır. Gidilecek havalimanında ağır bir hava trafiğinin olduğu zamanlarda, kalkılacak hava alanının boş olmasına rağmen uçakların kalkmasına izin verilmemektedir. Bunun sebebi, uçakların havada beklemesini engellemek ve yakıt tüketiminin azalmasını sağlamaktır. Sonuç olarak güvenli, daha az maliyetli ve gecikmesiz bir seyahat sağlanmaktadır. CONWIP sistemi kullanıldığında, işler kendileri için sistemde bir yer ayrılmadığı sürece sisteme alınmamaktadırlar. Bir CONWIP kullanıcısı hava trafik kontrolüne benzer bir tutum sergilemektedir. İşler (uçaklar), öyle bir planlanmalıdır ki, darboğaz tezgah (pist) hiç boş kalmamalıdır ve çok fazla iş (uçak) üretim (iniş) için beklememelidir. Eğer bu sistem doğru bir şekilde gerçekleştirilirse, minimum

WIP ve uzun olmayan imalat süreleri ile yüksek bir çıktı oranı elde edilebilir (Spearman ve ark., 1990).

CONWIP sisteminin basit olmasına rağmen, atölye düzeyi kontrolde aşağıdaki beş soruna çözüm bulması gerekmektedir (Hopp ve Spearman, 1996):

- 1. Parça listesinin çalışması:** CONWIP kartlarının üzerinde ürün ile ilgili bilgiler bulunmamasından dolayı, hattın operatörü veya yöneticiler hangi işin üretime gireceğine dair ek bilgiye ihtiyaç duyarlar. İşlerin hangi sıralama ile üretime gireceğine, basit olarak eğer hazırlık süreleri yoksa teslim sürelerine göre (Early due date – EDD) veya daha karmaşık yöntemler (paket program veya algoritma) uygulanabilir. İşlerin sıralaması tamamlandığında, parça listesi üretim hattı ile bir çok yöntemle haberleşebilir. En basit yöntem ise, işlerin önceliklerinin bulunduğu bir kağıt oluşturulmasıdır. CONWIP kartı kullanılabilir olduğunda, gelecek iş için hammaddeler hazır olmalıdır. Bazı komplike durumlarda (işlerin önceliklerinin olduğunda veya hedeflenen bitiş zamanlarının bulunduğu), daha uygun bir haberleşme seçeneği düşünülebilir.
- 2. Kuyruk disiplini:** Genel olarak CONWIP sisteminde hattın işleyişi FIFO'ya göre olmalıdır. Bunun anlamı, eğer verim kaybı, tekrar işleme problemleri ve çok merkezli iş istasyonları gibi durumlarla karşılaşılmazsa, işler sisteme girdikleri sıra ile sistemden çıkmaktadırlar. CONWIP protokolünün üretim hattını sabit tutmasından dolayı, işlerin bitiş zamanlarını hala parça listesinde bulunsalar bile tahmin etmek çok kolaydır. Buna rağmen CONWIP hattı uzunsa, bazı işleri hızlandırmak gereksinimi duyulabilmektedir. Bu sebeple, işler için iki kademeli bir önceliklendirme ve geçiş noktası (passing point) oluşturulmalıdır. Geçiş noktası tampon stok veya stoklama noktası olabilmektedir ve işler acil (hot) ve normal işler olarak katagorize edilmektedir. İşler geçiş noktalarına geldiklerinde, acil işlerin öne geçmesine izin verilmektedir. Eğer çok fazla geçiş noktası ve işler için çok

kademeli bir önceliklendirme kullanılırsa, hattın davranışlarını tahmin etmek bir o kadar zor olacaktır.

3. Kart sayısı: Etkin bir atölye düzeyi kontrol için CONWIP sistemi WIP seviyesini sınırlandırmalıdır ve bu sınırlandırma önceden de belirtildiği üzere kartlar üzerinden olmaktadır. Kart sayısının belirlenmesi iş durumuna göre anlık olarak belirlenen bir fonksiyon olmamakla birlikte aylık veya 3 aylık periyotlarla belirlenmelidir. Üretim hattında bir iyileştirme yapıldığında tekrar kart sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Hattın WIP seviyesini bulmak için, geçerli ve olurlu bir çevrim zamanı(cycle time – CT) ve hattın üretim oranı (production rate of line - r_p) tahmini gerekmektedir. Böylelikle WIP seviyesi Little yasayı (Little's Law) ile belirlenebilir: $WIP = CT \times r_p$

4. Kart açıkları: Eğer üretim hattı için belirlenen kart sayısı, hattın değişkenliğine yeteri kadar uyum sağlıyorsa, sıkı bir şekilde CONWIP protokolü çalışabilmektedir. Buna rağmen, sabit WIP kuralını bozacak nedenler olabilmektedir. Eğer darboğaz tezgahından sonra gelen bir darboğaz olmayan tezgah uzun süreli arızalanır ise, bu durumda arızalı tezgah önünde kart birikmekte ve darboğaz tezgah için duruş riski bulunmaktadır. Eğer darboğaz olmayan tezgah, darboğaz tezgahtan büyük oranda daha hızlı ise, tezgah tamir edildiğinde aralarındaki fark kısa sürede kapanacaktır. Fakat bu süre içinde darboğaz tezgahta çok değerli bir üretim kaybı yaşanacaktır. Bu durumu düzenlemek için açık kart (card deficit) çalıştırılarak, CONWIP kartı olmadan üretime işler alınmaktadır. Böylelikle, darboğaz tezgahta duruş yaşanmayacaktır. Arızalı tezgah onarıldıktan sonra tekrar CONWIP sıkı bir şekilde uygulamaya devam edilmelidir. Bir diğer sorun ise, hattın sonu yerine darboğaz tezgah üzerinden çekme işlemi yapılırsa oluşmaktadır. Eğer WIP seviyesi belirlenen seviyenin altına düşerse, siparişin termin süresine bir ay olmasına rağmen üretim tetiklenebilir. Bu durum sonucunda bitmiş mamül stoğunda

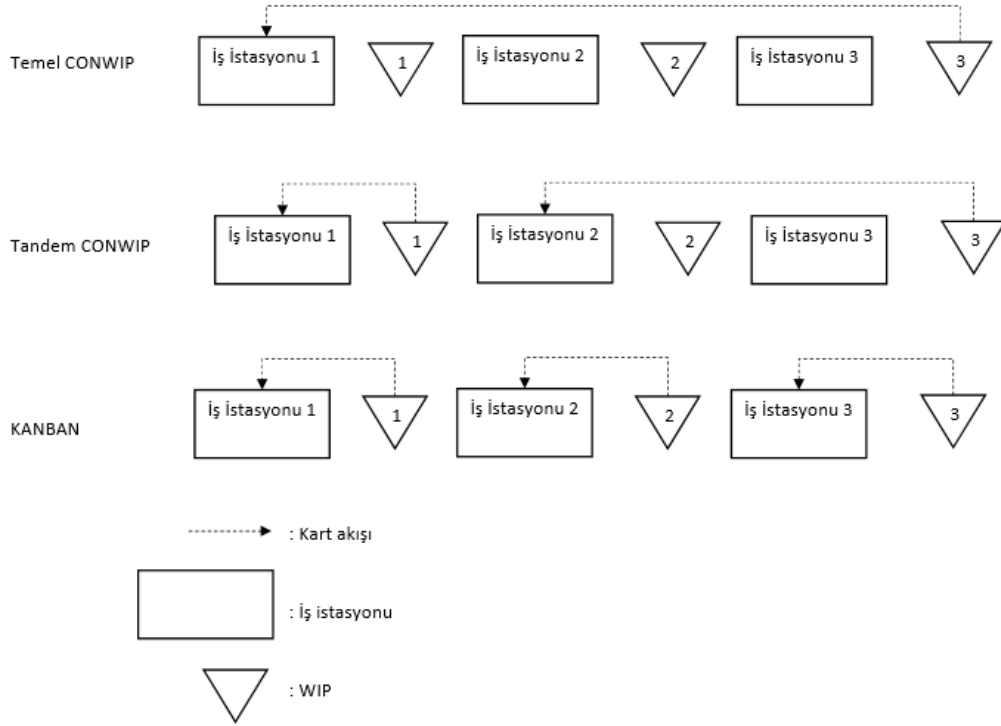
çoğalma ve esnekliğin azalması gibi durumlarla karşılaşılabilir.

- 5. İşlere önceden başlamak:** Darboğaz tezgahın beklenmedik şekilde hızlı ve verimli olduğu bir hafta için, tetikleme mekanizmasından dolayı planlanandan daha fazla işin yapılması olası olmaktadır. Eğer Ana üretim çizelgesi çok sıkışık ise bu durum avantaj olarak belirtilebilir. Fakat aylar öncesinde bir işe başlamak gereksizse, bu durumda esnekliğin yitirilmesi, bitmiş mamül stoğunun çoğalması gibi bazı dezavantajlar getirmektedir. Bu gibi durumlar için, CONWIP tetikleme mekanizmasına, işlerin tetiklenmesi için teslim tarihine n hafta kalması gerekmektedir şeklinde bir kural koyulmalıdır. Burada kalan işler donmuş bölge (frozen zone)'da teslim tarihlerine n hafta kalıncaya kadar bekletilmelidirler. İşlerin donmuş bölgede bekletilmesi, müşteri isteklerinin değişmesi veya mühendislik değişimlerinin oluşması durumları göz önüne alındığında, işlere önceden başlamaya göre daha az riskli gözükmektedir.

Tipik bir CONWIP sisteminde, tedarik süresi temel olarak darboğaz tezgahın hazırlık ve bekleme sürelerinden etkilenmektedir. CONWIP sisteminde, tedarik süresinin azaltılması, darboğaz tezgahın hazırlık süreleri ve iş dengesinin düzgünleştirilmesi ile elde edilebilmektedir. Darboğaz tezgahı tedarik süresinin kısaltılması ise optimal iş sırası ve optimal parti büyüklüğü ile sağlanabilmektedir. Kanban sistemindeki gibi, sabit iş yükü ile düzgün üretim, boş zamanların azaltılması ve WIP envanteri CONWIP sisteminde de düzenlenmesine yol açar (Zhang ve Chen, 2001).

Temel CONWIP sistemi uygulamak için koşullar sağlansa bile, tek bir CONWIP döngüsü üzerinden tüm sistemin kontrol edilmesi istenilmemektedir. Bunun temel sebebi olarak ise ayrıştırılmış döngülerle uzun bir hat daha yönetilebilir olmaktadır. Bu ayrıştırılmış döngüler oluşturmanın bir yolu WIP tamponu ile tandem CONWIP kullanımınıdır. Çeşitli döngüler için WIP seviyeleri belirlenmiş olarak sabit tutulmaktadır. Döngüler arasında, döngülerin geçici olarak farklı hızlarda çalışmaları durumunda birbirlerini etkilemeyeceği kadar

WIP bulunmaktadır. Böylelikle farklı yöneticilerin farklı döngülerde çalışması kolaylaşmaktadır. (Hopp ve Spearman, 1996).

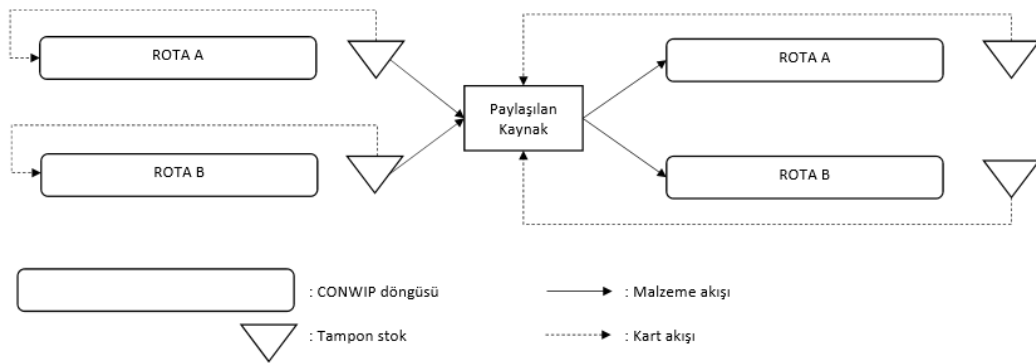


Şekil 3.4. Tandem CONWIP döngüsü ve farklar (Hopp ve Spearman, 1996)

Şekil 3.4’de görüldüğü üzere, Temel CONWIP hattında kart döngüsü tüm hat üzerinden olmaktadır. Tandem CONWIP ise hattı bölgelere ayırarak yeni kart döngüleri oluşturmaktadır. Böylelikle her yeni döngüde daha iyi kontrol sağlanması amaçlanmıştır. Üretim hattı ne kadar çok bölümlere ayrılırsa o kadar çok tek kart kanban sistemine yaklaşmış olmaktadır. Fakat ne kadar fazla döngü olursa haberleşme ve karmaşıklık bir o kadar artmaktadır.

Üretim çevrelerinde bir makina tarafından farklı ürün ailelerin işlenmesi sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Pahalı bir makine tarafından bu işlem gerçekleştiriliyorsa bu ürün aileleri makina kaynağını paylaşmak zorunda kalmaktadırlar. CONWIP hatlarında, paylaşılan kaynaklar hem kontrol hem de tahminler konusunda karmaşıktır. Bu gibi durumlarda CONWIP sisteminde hangi ürünün önce işleneceği konusunda sisteme ilk giren ilk çıkar (first-in-system-first-out – FISCO) prensibi uygulanabilmektedir. Eğer paylaşılan kaynaktan sonra

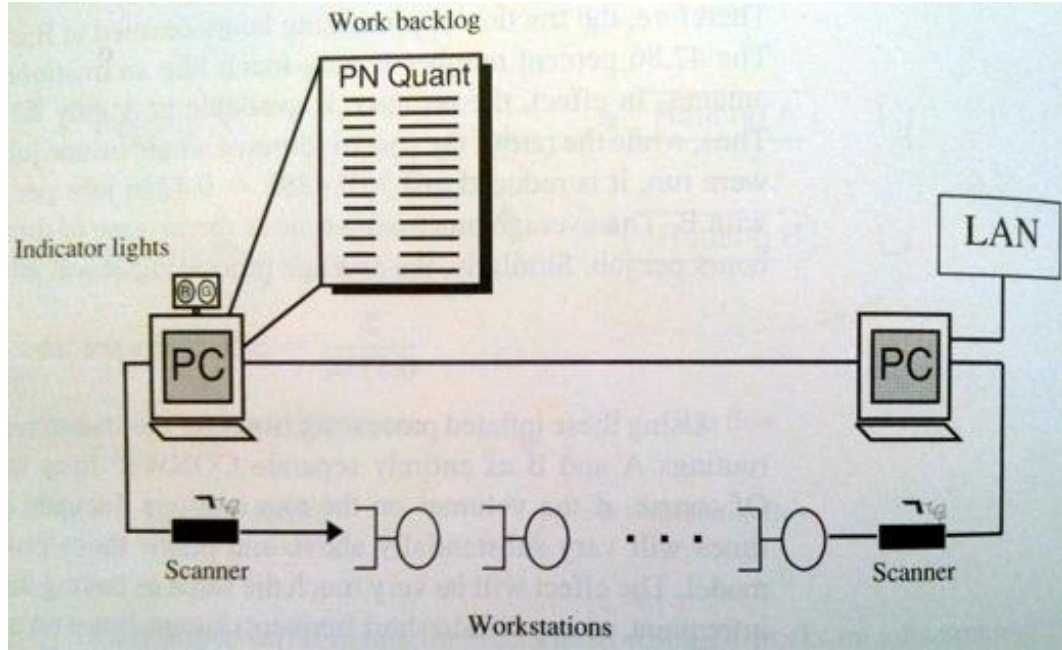
gelen makinalar işlemde hemen sonra ürün ihtiyacı oluyorsa, kaynağın öncesi ve sonrası olmak üzere CONWIP sistemi ayrılır (Şekil 3.5). Eğer ürün aileleri A ve B'den birlerine geçişte paylaşılan kaynak hazırlık süresine ihtiyaç duyuyorsa, parti büyüklüğü bir diğer etmen olarak bulunmalıdır. Paylaşılan kaynaklar, süre tahminleri ile ilgili sorunlarda yaratmaktadır. Bu sorun ise ortalama paylaşılan kaynağı kullanma oranlarına bakılarak A %60 ve B %40 gibi bir oran verilir ve hesaplamalar bu yönde yapılarak sorun giderilmeye çalışılmaktadır (Hopp ve Spearman, 1996).



Şekil 3.5. Paylaşılan kaynak olduğunda CONWIP döngüsü ayrımı (Hopp ve Spearman, 1996)

CONWIP sisteminde karşılaşılan bir diğer durum ise çoklu ürün ailelerinin aynı hatta işlenmesidir. Farklı ürün aileleri muhtemelen farklı işlem zamanları ve sıraya bağlı hazırlık süreleri ile karşı karşıya kalmamıza neden olacaklardır. Bu koşullar altında, üretim hattında sabit miktarda kart tutarak WIP oranını sabitlememiz mümkün olmayacaktır. Bu sebepten dolayı farklı bir sınırlama tekniği kullanmamız gerekmektedir. Darboğaz tezgahdaki üretim zamanı mantıklı bir çözüm olarak görülmektedir. Bu amaç altında, eğer A ürünü bir saatte ve B ürünü iki saatte işleniyorsa, bir B ürünü işlendikten sonra iki A ürünü işleme girmelidir (parça listesinde B'den sonra A geliyorsa). Bu ifadeyi genelleştirecek olursak, darboğaz tezgahta her bir kart için harcanan sürenin eşitlenmesi gerekmektedir. Eğer kapasite ayarlı WIP kontrolü kullanmaya çalışırsak, kart sistemi gibi basit bir sistem kontrol için yetersiz kalmaktadır. Bu durumda elektronik CONWIP kontrol modülü kullanılması zorunludur. Şekil 3.6'da

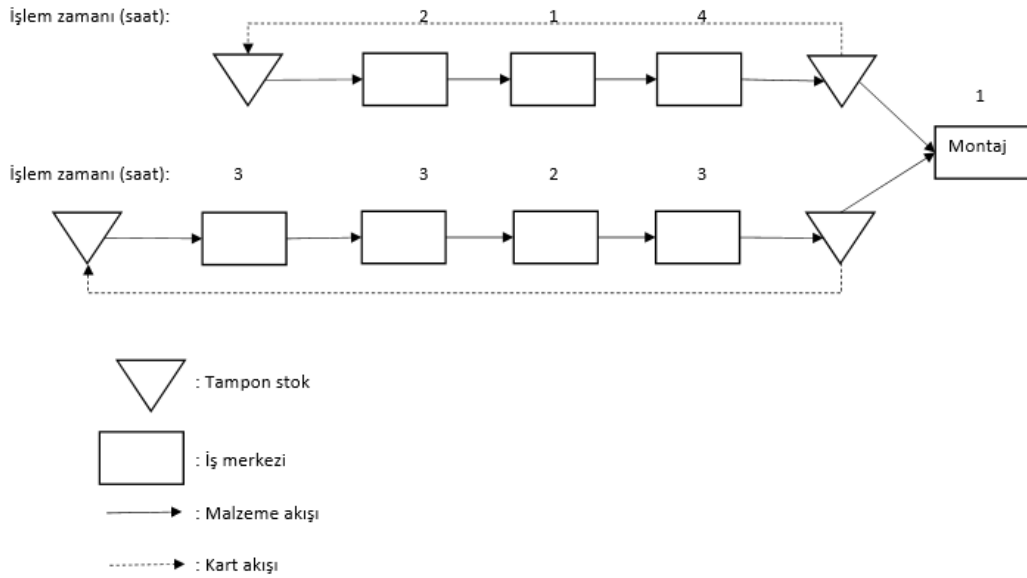
görüldüğü gibi, bilgisayar ve barkod okuyucular kullanılan hattın iş yükü miktarı ölçülerek yeni ürünün alınıp alınmamasına bilgisayar sistemi tarafından karar verilen bir modül kullanılmaktadır. Eğer iş yükü miktarı belirlenen sınırın altında ise hattın başında yeşil ışık yanarak ürünün üretime girmesine izin verilir. Aksi halde hattın başında kırmızı ışık yanmaktadır (Hopp ve Spearman, 1996).



Şekil 3.6. Elektronik kontrol modülü kullanan CONWIP sistemi (Hopp ve Spearman, 1996)

CONWIP sistemi, montaj hatlarında da kullanılmaktadır. Şekil 3.7’de iki hattın birleştirilmesinden oluşan bir basit CONWIP montaj hattı verilmiştir. Her bir montaj işlemi için A ve B parçaları gereklidir ve herhangi birisi olmadığında montaj yapılamamaktadır. Her iki hat CONWIP sistemini kullanmakta ve fakat aynı WIP seviyesine sahip değildirler. Bir montaj işlemi bittiğinde, her iki hatta üretim yapılmasına dair tetikleyici bir sinyal gönderilmektedir. Fabrika hatlarında sisteme ilk giren ilk çıkar (First in system first out - FIFO) sıralaması takip edildiği sürece ürünler üretime girdikleri sıra ile üretimi tamamlamaktadır. Hat B’nin toplam üretim süresi, hat A’dan daha yüksek olduğundan bir dengesizlik oluşmaktadır. Little yasasına göre uzun olan hattın WIP seviyesi daha yüksektir. Bu sebepten dolayı ufak bir hileye başvurulmaktadır. Neyse ki, WIP seviyesi

güçlü performansı için, darboğaz tezgahın boş kalmaktan korunması için gerekli WIP sağlanmalıdır. Şekil 3.7'ye bakıldığında darboğaz tezgah A hattında bulunan 3. makinadır. İki hat içinde WIP hesaplamalarında bu darboğaz tezgah esas alınmaktadır (Hopp ve Spearman, 1996).



Şekil 3.7. Montaj işleminde CONWIP kontrolü (Hopp ve Spearman, 1996)

3.3. CONWIP Sisteminin Diğer Sistemlerle Karşılaştırması

3.3.1. CONWIP ile MRP sisteminin karşılaştırılması

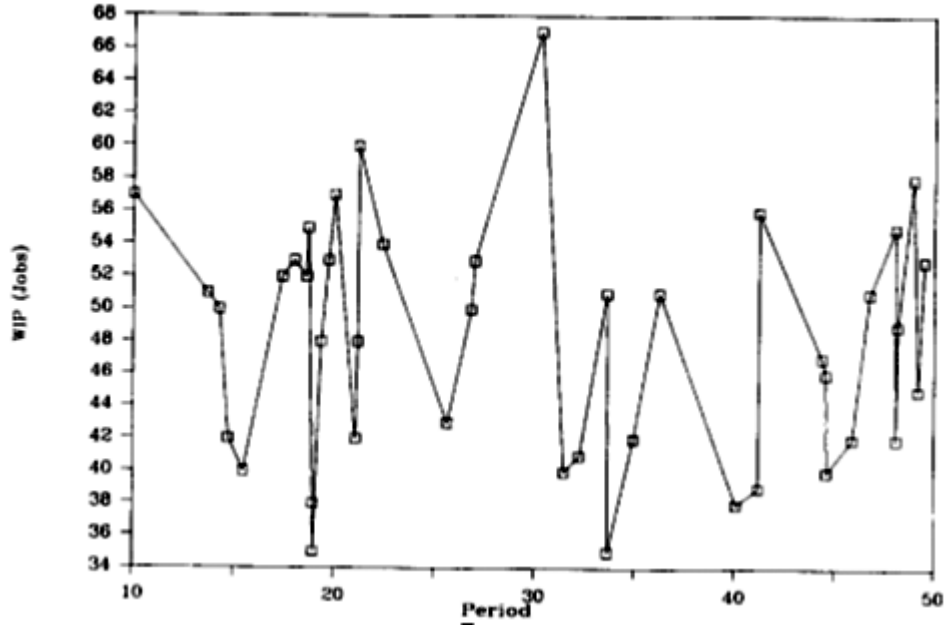
İtme ve Çekme sistemleri arasındaki temel fark literatürde, “ İtme sistemi çıktı oranını kontrol eder ve WIP’i gözlemler, çekme sistemi ise WIP’i kontrol eder ve çıktı oranını gözlemler” şeklinde açıklanmaktadır.

Hopp ve Spearman (1996), MRP ile CONWIP sistemleri arasındaki farkları gözlemlenebilirlik, etkinlik, değişkenlik ve sağlamlık olmak üzere dört başlık altında incelemektedir:

- Gözlemlenebilirlik: WIP seviyesini kontrol etmek çekme sistemlerinde daha kolaydır. Fiziksel olarak atölyede işler sayılabilir ve WIP sınırlaması kuralına uyulur. Tam tersine, itme

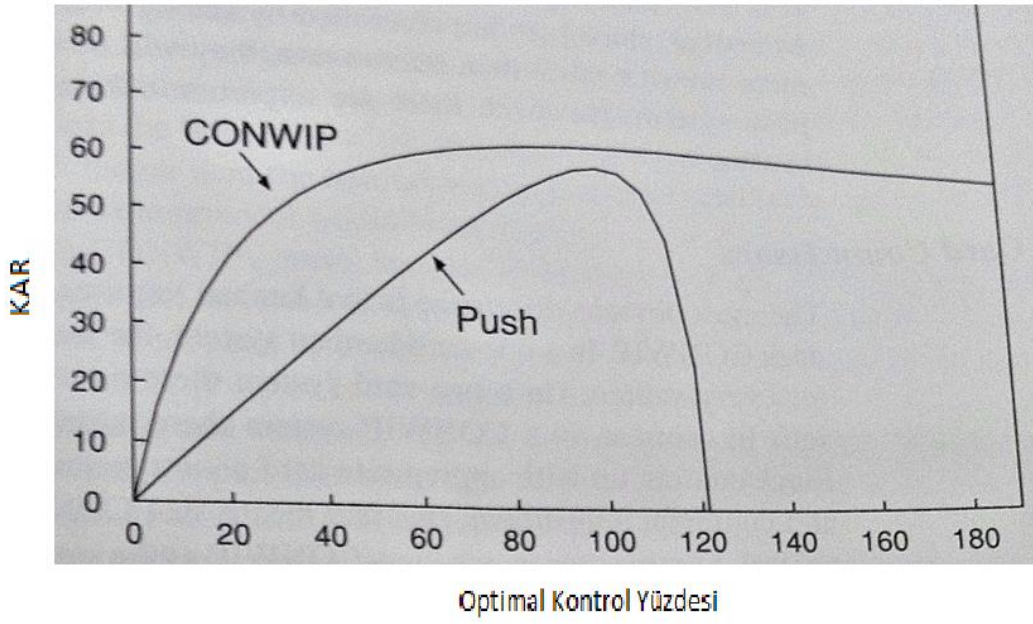
sistemlerinde işlemlerin başlama oranları kapasite göz önüne alınarak yapılmaktadır. Eğer işlemlerin başlama oranı fazla seçilirse, bu durumda WIP'den kaynaklanan tıkanıklıklar oluşacaktır. Fakat kapasite tahmini kolay değildir. Bu nedenle, itme sisteminin optimize edilmesi çekme sistemine göre daha zordur. Çıktı oranı hassas ve sadece kapasitenin gözlemlenemeyen parametreleri kontrol edilebilir olduğunda, WIP güçlü ve gözlemlenebilir olduğundan çekme sistemi daha iyi olmaktadır.

- Etkinlik: Etkinliği ölçmenin bir yolu verilen çıktı oranında sahip olunan WIP miktarının kıyaslaması ile yapılabilmektedir. Yapılan çalışmalar sonrası bir yasa oluşturulmuştur “ Verilen bir çıktı oranında, itme sistemi eşdeğer bir CONWIP sisteminden daha fazla ortalama WIP miktarına sahiptir”.
- Değişkenlik: CONWIP sisteminde WIP seviyesi sınırlandırılmıştır. Bu sebeple iş istasyonları arasında WIP seviyelerinde negatif korelasyon oluşturmaktadır. Bu durum ise çevrim süresindeki dalgalanmayı azaltmaktadır. Fakat, itme sistemlerinde iş istasyonları arasında WIP seviyelerinde serbest bir ilişki vardır. Bu sebeple çevrim süresinin değişkenliğinin itme sisteminde çekme sistemine göre daha fazla olduğu söylenebilir. Şekil 3.8'de itme sisteminde optimum kontrol parametreleri altında oluşan WIP dalgalanması gösterilmiştir. Aşırı WIP dalgalanması, uzun tedarik süreleri verilmesine neden olmakta ve bu sebepten dolayı müşteri servis kalitesini düşürmektedir.



Şekil 3.8. Optimal kontrol altında itme sisteminde zamana bağlı oluşan WIP miktarı (Spearman ve ark., 1990)

- Sağlık: CONWIP sisteminin, itme sistemine göre en önemli avantajı sağlamlığıdır. CONWIP sistemi WIP seviyesinde yapılan hatalara, itme sisteminde yapılan girdi oranı hatalarına göre daha dayanıklıdır. Şekil 3.9’da CONWIP ve itme sistemi arasındaki dayanıklılık farkı gösterilmiştir. Grafik hazırlanırken, “ $kar = p \cdot TH - h \cdot w$ ” formülü kullanılmıştır. Burada, p her iş için marjinal kar, TH çıktı oranı, h WIP maliyeti ve w ortalama WIP oranıdır. Grafik incelendiğinde itme sisteminde girdi oranı optimum parametrenin %120 ulaştığında kar sıfır olmaktadır. CONWIP sisteminde ise WIP seviyesi %600 oranına geldiğinde kar sıfır olmaktadır. Böylelikle CONWIP sisteminin daha dayanıklı olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 3.9. CONWIP ve itme sisteminin dayanıklılık karşılaştırılması (Hopp ve Spearman, 1996)

Özet olarak CONWIP sisteminin MRP sistemine karşı avantajları:

- WIP seviyesi direkt olarak gözlemlenebilir.
- Aynı çıktı oranında daha düşük WIP'e gereksinim duyar.
- Kontrol parametrelerinde hata olduğunda daha dayanıklıdır.
- Uygun koşullar oluşursa, işlerin çizelgeden önce gitmesine olanak sağlar.

3.3.2. CONWIP ile Kanban sisteminin karşılaştırılması

CONWIP ve kanban sistemlerinin ikisinde de düşük WIP miktarı ile hedef çıktı oranında ve düşük çevrim süreleri elde etmekte itme sistemine göre üstündürler. Buna rağmen, CONWIP sistemi ile kanban sistemi arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar Hopp ve Spearman (1996) tarafından kart sayısı konusu, ürün karması konusu ve insan konusu olmak üzere üç bölümde anlatılmaktadır:

- Kart sayısı konusu: CONWIP ve kanban sistemleri arasındaki en bariz fark, kanban sisteminin daha fazla parametre ile

ayarlanmasıdır. Tek kart kanban sistemi düşünüldüğünde her bir iş istasyonu için bir kart ayarlanmalıdır. CONWIP sisteminde ise tüm bir üretim hattı için bir tek kart atanmaktadır. Bu sebeple CONWIP sisteminde kontrol daha kolay olmaktadır. Bir diğer farklılık ise kanban sisteminin parti numaraları üzerinden çalışırken, CONWIP sistemi ise üretim hattı üzerinden çalışmaktadır. Bu durumda kanban sisteminde çoklu ürün ortamlarında iş istasyonu hangi parti numaralı ürünü ikmal edeceğini bilmek zorundadır. CONWIP sisteminde ise sıralama parça listesi tarafından verildiğinden böyle bir bilgiye gerek duyulmamaktadır. Bir farklılıkta WIP miktarları arasında olmaktadır. Kanban gerçek hatta uygulandığında 40000 adet parti tipi olan sistemde, aylarca üretilmesede ürünlerinde WIP'te kalması olasıdır. Fakat az kullanılan ürünlerden WIP tutulmazsa, en son iş istasyonundan gelen bir talebin karşılanması için ilk istasyona kadar gidilmesi gerekecek ve üretime başlamak için bile uzun bir süre geçecektir ve JIT protokolü bozulacaktır. CONWIP sisteminde ise, bir WIP sınırı olacaktır ve bu sınır 40000'den az olacaktır. Eğer bir ürüne 6 ay boyunca ihtiyaç olmadığı durumlarda, bu ürün sisteme alınmayacaktır.

- Ürün karması konusu: Kanban sistemi sadece tekrarlı üretim çevrelerinde uygulanabilmektedir. Tekrarlı üretimden kasıt, malzeme akışı sabit rotada ve istikrarlı oranlarla gerçekleşmesidir. Üretim hacminde ve ürün karmasında büyük değişiklikler kanban sisteminde üretim akışını bozmaktadır. A ve B ürününün üretildiği bir sistem düşünülürse, ideal bir kanban sisteminde A-B-A-B-... sıralamasında ilerlemelidir. Fakat ideal olmayan bir sistemde ürün karması talebin mevsimsel etkilerle değişmesinden dolayı değiştirilmek zorunda kalınmaktadır. Bu durumda darboğaz tezgahın boş kalmaması için darboğaz tezgah önünde daha fazla WIP bırakılarak çözüm bulunabilir. Fakat darboğaz tezgah ürün karması oranına göre sürekli değişime uğrarsa, bu durumda dinamik olarak kart sayısının belirlenmesi gerekecektir. CONWIP

sisteminde ise tüm hat için bir kart sayısı belirlendiğinden, ürün karması değiştiğinde kullanıcı katkısı olmadan doğal olarak yeni darboğaz tezgah önünde daha çok WIP birikmeye başlayarak darboğaz tezgahın boş kalması engellenecektir.

- İnsan konusu: Kanban sisteminde üretim kartı geldiğinde, operatör hattın herhangi bir yerinde duruş olmaması için derhal boşalan konteynırı ikmal etmek zorundadır. Bu durum operatör için sürekli tetikte durma nedeniyle bir stres oluşturmaktadır. CONWIP sisteminde ise üretim akışı itme sistemi gibi olduğundan böyle bir stres durumu ile sadece çekme işlemi yapan ilk iş merkezinin operatörü karşılanmaktadır. Kanban sisteminde operatörün komşu iş merkezleriyle sürekli ilişki halinde olması gerekmektedir. Bu durumda kalitenin sağlanması ve üretim sürecindeki hataların belirlenmesi açısından önemlidir. CONWIP sisteminde ise operatör sadece kendi iş istasyonu ile ilgilenmektedir.

Özet olarak CONWIP sisteminin kanban sistemine karşı avantajları:

- Üretim hattı için bir kart atanması, tüm iş merkezleri için kart atanmasından daha basittir.
- Kartların üretim hattına atanması ve parça listesinin kullanılmasından dolayı ürün karmalarının değiştirilmesi daha kolaydır.
- Değişken darboğaz tezgah olduğu durumlarda, doğal olarak yavaş istasyon önünde WIP birikmesi olmaktadır.
- Daha esnek tempo protokolüne sahip olmasından dolayı operatör üzerinde daha az baskı oluşmaktadır.

4. DARBOĞAZA DAYALI CONWIP MODELİ

4.1. CONWIP Modeli

CONWIP sistemi, Spearman ve ark. (1990) tarafından kanban sistemine bir alternatif sistem olarak tanıtılmıştır. CONWIP adı ilk olarak Spearman (1988)'de geçmesine rağmen, basit mekanizması Jackson (1963)'de zaten verilmişti. Değişik yazarlar tarafından benzer sistemlerde önerilmektedir. Bertrand (1983) tarafından önerilen "Workload control" sistemi, Glassey ve Resende (1988) "C-WIP" sistemi, Lambrecht ve Segart (1990) "Long Pull" sistemi, So (1990) "Globally Flexible Line" sistemi ve Spearman (1992), Di Mascolo ve ark. (1996), Karaesmen ve Dallery (2000) ve Tardif ve Maaseidvaag (2001) "Single Stage Kanban" üzerinde çalışmışlardır. Bu sistemlerin arasında bazı farklılıklar olmasına rağmen, birbirlerine çok benzemektedirler ve bir çok yazar maksimum sınırlandırılmış WIP'i belirten herhangi bir sistem için CONWIP terimini kullanmaktadırlar (Framinan ve ark., 2003).

Hoop ve Spearman (1991), üretim sürelerinin kararlı ve makinalar için üstel arıza ve tamir sürelerinin olduğu bir CONWIP üretim hattını bulunan bir çalışma yapmaktadır. Duenyas ve Hopp (1992), montaj hatları için üretim çıktı hızını yapısal sonuçlar ve yaklaşımlar içeren model geliştirmişlerdir. Spearman ve Zazanis (1992), CONWIP sistemi ile kanban sistemini karşılaştırmış ve çekme sisteminin performansının ölçülmesi için teorik analizler önermişlerdir. Roderick ve ark. (1994), benzetim çalışması yaparak MRP ile CONWIP sistemini karşılaştırmıştır. Chang ve Yin (1994), dinamik üretim kontrol sistemi için genel kanban sistemini kullanmış ve CONWIP ile benzetim çalışması yaparak karşılaştırmıştır. Gstettner ve Kuhn (1996), çekme sistemlerinin farklarını sınıflandırmakta ve üretim oranı ve ortalama WIP'e göre kanban ve CONWIP sistemlerini analiz etmiştir. Hopp ve Roof (1998), CONWIP sisteminde hedef üretim oranı ışığında WIP seviyesini belirleyen uyarlanabilir üretim kontrol metodu geliştirmişlerdir. Huang ve ark. (1998), soğuk haddeleme yapan bir fabrika için CONWIP sistemi ile fabrikada kullanılan sistemini benzetim çalışması yaparak karşılaştırmışlardır. Bonvik ve ark. (2000), CONWIP'in sonlu tampon stok kontrol prensibi ile kontrol edilen bir tandem üretim sistemi için

ayrıştırma metodu ile yaklaşık performans analizi yapmışlardır. Leu (2000), CONWIP sisteminde parça listesi oluşturmak için grup çizelgeleme ve tek seviye sezgisellerini kullanmakta ve benzetim çalışma yaparak performanslarını kıyaslamışlardır. Beamon ve Bermudo (2000), çok hatlı ve çok kademeli bir montaj hattı için melez kontrol mantığı ve yapılan algoritma sunmakta ve sistem performanslarını benzetim çalışması ile karşılaştırmıştır. Framinan ve ark. (2001), akış tipi CONWIP sisteminde parça listesinin sıralaması için bir sezgisel algoritma önermiştir. Ryan ve Choobineh (2003), CONWIP tarafından kontrol edilen atölye tipi üretim için her ürün grubuna farklı WIP sınırlaması getiren bir planlama prosedürü oluşturmuştur. Weitzman ve Rabinowits (2003), envanter bilgisinin yenileme oranının farklı olduğu üretim planlama ve kontrol sisteminde itme ve çekme sistemlerinin karşılaştıran değiştirilmiş CONWIP algoritmasını tanımlamıştır. Koh ve Bulfin (2004), üç kademeli dengesiz tandem üretim hattı için davul-tampon-ip (drum-buffer-rope – DBR) tekniği ile diğer alternatif melez itme-çekme sistemleri ve CONWIP sistemini analiz etmiş ve karşılaştırmıştır. Takahashi ve ark. (2005), tedarik zinciri için CONWIP ve kanban sistemlerini benzetim çalışması yaparak karşılaştırmıştır. Hopp ve ark. (2009), çevik otomasyon üretim sistemi için CONWIP sisteminin dizayn ve parametrelerinin belirlenmesi çalışması yapmıştır. Slomp ve ark. (2009), yüksek ürün çeşitliliği ve düşük ürün miktarı olan yalın üretim sistemi için CONWIP önerilen bir gerçek yaşam uygulaması yapmıştır. Mershai ve ark. (2013), CONWIP sisteminin uygulanmasında bulanık mantık ve öğrenme etkisi kullanan bir benzetim çalışması yapmıştır. Satyam ve Krishnamurty (2013), çoklu ürün, çok hatlı ve parti büyüklüğü kısıt olan bir CONWIP sisteminde performans analizini benzetim çalışması kullanarak yapmıştır. Harrod ve Kanet (2013), sipariş için üretim yapan sistemler için kanban, CONWIP ve POLCA sistemlerinin karşılaştırmasını benzetim çalışması kullanarak yapmıştır.

CONWIP sisteminin genel görüşlerini içeren tarihsel sıra ile verilen bu çalışmalarda, itme ve çekme sistemleri ve melez üretim sistemleri arasındaki farkları belirtmek için benzetim çalışmaları ve CONWIP sisteminin analizi, WIP seviyesinin belirlenmesi gibi olasılıksal modeller kullanılmaktadır. Tüm bu araştırmalar, CONWIP sisteminin özelliklerini anlamak için yeterli olsa da,

CONWIP sistemi içerisinde gelişen her olguya cevap verememektedir. Bu çalışmada araştırma konusu ise CONWIP sistemi ile ilgili bir matematiksel model oluşturmaktır. Literatürde CONWIP sisteminin matematiksel modelinin oluşturulması konusunda çok az çalışma bulunmaktadır (Zhang, 2007).

Herer ve Masin (1997), CONWIP sisteminde optimal iş sırasını veren kararlı bir matematiksel model geliştirmiştir. Bu modelin amaç fonksiyonu, erken bitirme maliyeti, geç kalma maliyeti, WIP tutma maliyeti ve fazla mesai maliyetlerinin enküçüklenmesidir. Optimal iş sırası, talep ve çıktı oranının ya da akış zamanın tahmininden elde edilen verilerle elde edilmektedir. Parti büyüklüğü, kart sayısı ve darboğaz tezgahın iş sırasına etkisi bu modelde ele alınmamaktadır. Modelde önceden belirlenen bir parti büyüklüğü sabit olarak kullanılmaktadır. Modelin çözümü ve çözüm yolları hakkında herhangi bir bilgi çalışmada bulunmamaktadır.

Golany ve ark. (1999), çok hücreli çok aileli CONWIP üretim sistemi için model geliştirmiştir. Model eş zamanlı olarak en iyi WIP seviyesini ve parça listesindeki sıralamayı vermiştir. Model tavlama benzetimi metasezgiseli tarafından çözülmüştür. Modelin amaç fonksiyonu toplam üretim zamanın enküçüklenmesidir. Envanter maliyeti, hazırlık maliyeti ve parti büyüklüğü bu modelde ele alınmamaktadır.

Luh ve ark. (2000), atölye tipi tek seri CONWIP üretim hattı bulunan Sikorsky Aircraft için bir matematiksel programlama modeli oluşturmuştur. Modelin amaç fonksiyonu, hammaddelerin erken ve geç getirilmelerinden kaynaklanan ağırlıklandırılmış maliyetlerden oluşmaktadır. Model teslim zamanı ve WIP seviyesini göze alarak, belirtilen bir zaman için çizelgeleme yapmaktadır. Toplam kart sayısı ve parti büyüklüğüne bu modelde bahsedilmemiştir.

Zhang ve Chen (2001), CONWIP üretim sisteminde en iyi iş sırası ve parti büyüklüğünü bulan doğrusal olmayan tamsayı matematiksel programlama ile çözülmüştür. Amaç fonksiyonu, darboğaz tezgahta hazırlık maliyetini ve ardışık parti büyüklüğünün farklılıklarından kaynaklanan ağırlıklandırılmış maliyeti enküçükmektir. Çalışmada geç kalma, erken bitirme ve fazla mesai gibi maliyet unsurları dikkate alınmamaktadır.

Cao ve Chen (2005), CONWIP üretim sisteminde iki hat tarafından beslenen montaj istasyonu için bir lineer olmayan karma tamsayı programlama modeli oluşturmuştur. Model en iyi iş sırası ve parti büyüklüğünü anlık olarak bulabilmektedir. Fakat, kart sayısı veya WIP seviyesi ve darboğaz tezgah bu modelde tartışılmamıştır.

Zhang (2007), çalışmasında farklı üretim çevreleri için matematiksel modeller oluşturmaya çalışmıştır. Tek hatlı bir CONWIP sisteminde stok için üretim ve sipariş için üretim yapan olmak üzere iki adet model oluşturmuştur. Stok için üretim yapılan modelde, darboğaz tezgahta oluşan hazırlık süresi maliyeti ve dengelenmemiş iş yükü maliyetini enküçüklemetedir. Sipariş için üretim yapılan üretim çevresi için kurulan modelde ise, bütün işlerin tamamlanması için gereken toplam zaman enküçülenmektedir. Üçüncü ise çok hatlı montaj tipi CONWIP üretim hattı için model geliştirilmiştir. Modelin amaç fonksiyonu fabrika hatları arasındaki bütün işlerin tamamlanması için gereken toplam zaman farklılıklarının enküçülenmesi üzerinedir. Bu modelin çözülmesi için tavlama benzetimi metasezgiseli kullanılmıştır.

4.2. Darboğaza Dayalı CONWIP Modelinin Tanımlanması

Çalışmada, siparişe dayalı üretim yapan ve darboğaz tezgah içeren tek hatlı bir Darboğaza Dayalı CONWIP (Bottleneck Based CONWIP – B-CONWIP) üretim sistemi için kararlı ve doğrusal olmayan tamsayı programlama matematiksel modeli oluşturulmuş ve doğrusallaştırılmıştır. B-CONWIP matematiksel modelinin çözülmesiyle birlikte parça listesinde bulunan işlerin sıralaması ve parti büyüklükleri bulunabilmektedir.

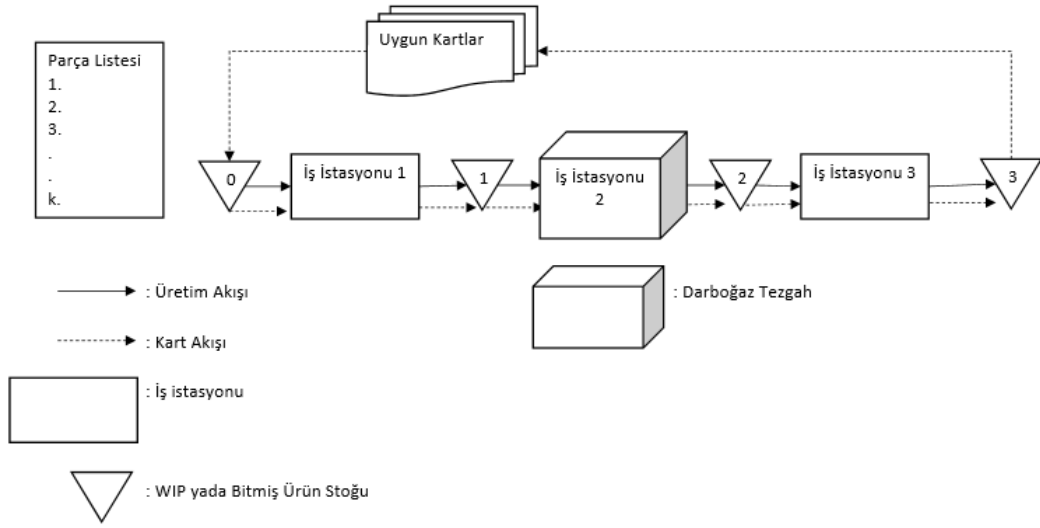
B-CONWIP sisteminde üretim hızı darboğaz tezgah tarafından belirlenmektedir. Bu sebeple B-CONWIP sisteminde darboğaz tezgaha odaklanarak, çok zor olan çoklu iş istasyonuna sahip olasılıksal çizelgeleme problemleri, çözülmesi daha kolay olan tek iş istasyonlu kararlı çizelgeleme problemine dönüştürülmektedir. Bunun yanında, hatta FISFO kuralı uygulanmasından dolayı darboğaz tezgahta bulunan sıralama tüm iş merkezleri ve tüm sistem tarafından geçerli olmaktadır.

Eğer sistemde hazırlık süresi yoksa, bu durumda EDD sıralaması kullanılabilir. Fakat hazırlık süreleri olduğunda, yeni bir sezgisel veya matematiksel model oluşturulmalıdır (Hopp ve Spearman, 1996).

Sipariş için üretim yapılan sistemlerde, müşteriler siparişlerinin istenen günde teslim edilmesini beklemektedirler. Bu sistemlerde amaç fonksiyonları genellikle, akış zamanını, bütün işlerin tamamlanması için gereken toplam zaman, enbüyük gecikme ve ağırlıklandırılmış ortalama gecikme vb. etkenler olmaktadır (Zhang, 2007). Harrod ve Kanet (2013)'e göre kanban, CONWIP ve POLCA sistemleri sipariş için üretim yapan sistemlerde karşılaştırıldığında, CONWIP sisteminin seçilmesi uygulanmasının basit olması, toplam WIP'in az olması ve en büyük gecikme ve değişkenliğin az olması nedeniyle uygun görülmektedir.

Üretim parti büyüklüğü arasındaki farkların az olması (sabit üretim yükü), kanban sisteminde olduğu gibi CONWIP sisteminde de, üretimin düzgünleşmesi, boş zamanların ve WIP seviyesinin enküçüklenmesini sağlamaktadır (Zhang ve Chen, 2001). Burada bahsedilmek istenen, CONWIP sisteminde iş istasyonunda işlem süresinin iki ardışık kart için birbirine yakın olması durumudur. Bu durumun bir faydası da siparişler için termin zamanlarının daha tahmin edilebilir olmasıdır. Böylelikle müşteriler için daha iyi bir servis verilebilmektedir.

Çalışmada incelenen B-CONWIP sistemi Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Üretim sistemi tek hattan oluşmakta ve bir darboğaz tezgah içermektedir. Kart sayısı sınırlıdır ve kartlar parça listesinde bulunan siparişler ile eşleşerek sisteme girmektedirler. Parça listesi matematiksel modelin çözülmesiyle elde edilmektedir. Sisteme sipariş ile giren kartlar sistem boyunca FIFO sıralaması ile ilerlemekte, son stok noktasında siparişlerden ayrılarak tekrar sistemin başına dönmektedirler. Böylelikle hem çevrimi tamamlamakta hem de tetikleme işlevini yerine getirmektedirler. Bu işlemle birlikte çekme işlevi yerine getirilmekte ve ürünlerin iş merkezlerinde itilmesiyle itme işlevi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.1. Darboğaza Dayalı CONWIP üretim sistemi

4.3. Varsayımlar

Darboğaz tezgah içeren ve sipariş için üretim yapılan sistemler için oluşturulan B-CONWIP modeli için varsayımlar şöyledir:

- Üretim hattı dengelenmemiştir ve sadece bir adet dominant darboğaz tezgah vardır.
- Ürünler aynı rotayı takip ederler ve her iş istasyonundan sıralı olarak geçerler.
- Üretim hattı boyunca FIFO sistemi uygulanır.
- Her bir iş istasyonu için hazırlık ve işlem süreleri bilinmekte ve karardır.
- Her ürün tipi için hazırlık süresi vardır. Eğer sistemde aynı ürünler arka arkaya gelirse hazırlık süresi olmamaktadır.
- Parça listesindeki her bir kalem sadece bir tip ürünü temsil etmektedir.
- Parti büyüklüğünden kaynaklı bir taşıma sorunu yaşanmamaktadır.
- Makina duruşu yaşanmamaktadır.
- Sistem boyunca mükemmel bir kalite vardır ve hatalı ürün üretilmemektedir.

- Talep sürekli olduğundan, kartlar sistem sonunda üründen ayrılır ayrılmaz sistem başına gönderilerek tekrar sisteme girer.
- Hammadde tedarigi konusunda herhangi bir sıkıntı yaşanmamaktadır.
- Siparişlerin geç kalabilecekleri süreler sınırlıdır.
- Üretim kapasitesi sınırlıdır.
- Gerektiğinde fazla mesai yapılabilmektedir.
- Donmuş bölgede olan (teslim zamanına çok uzun zaman olan) siparişler dikkate alınmamaktadır.

4.4. B-CONWIP Modelinin Matematiksel İfadesi

Matematiksel model sipariş için üretim yapan sistemler için geliştirildiğinden, müşteri memnuniyeti önemli bir unsurdur. Fakat müşteri memnuniyetini en yüksek hedeflediği durumlarda maliyetlerin yükseldiği ve müşteri isteklerinin karşılanaması imkansız durumlar oluşmaktadır. Bu durumlarda, müşteri tarafından verilen gecikme cezasına katlanmak ya da fazla mesai, ürünleri erken bitirme vb. katlanmak zorunda kalınmaktadır. Müşteri memnuniyeti için bir diğer konu ise hassas termin süreleri vermektir. Hassas termin süreleri verebilmek için sistem değişkenliğinin az olması gerekmektedir. Ayrıca CONWIP sisteminde, parti büyüklükleri arasındaki farklardan kaynaklanan maliyet WIP kaynaklı maliyetlerdir. CONWIP sisteminde, farklı ürünler farklı parti büyüklüklerinde üretime girebilmektedirler.

Eğer darboğaz tezgah sabit bir üretim oranına sahipse, tüm üretim sistemi düzgün üretime yakın bir performans gösterir. Little yasasına göre, ortalama envanter seviyesi, ortalama çıktı oranı ve ortalama akış zamanının çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Eğer sisteminin çıktı oranı zaten sabit olursa, WIP oranı ya da toplam konteynir sayısının değişkenliği düşük olmalıdır. Bu CONWIP sisteminin uygulanması için temel bir gereksinimdir (Zhang, 2007).

İndisler

- I Toplam farklı ürün tipi
K Toplam CONWIP kart sayısı

Bilinen parametreler

- S_i i. ürün için hazırlık süresi
 P_i i. ürün için işlem süresi
 d_i i. ürünün teslim zamanı
 D_i i. ürün talebi
Cap kapasite
 $TMAX_i$ i. ürünün maksimum izin verilen gecikme süresi
OMAX toplam maksimum izin verilen fazla mesai süresi
 α erken bitirme maliyeti
 β geç bitirme maliyeti
 θ fazla mesai maliyeti
 γ üretim dengesizliği maliyeti
 μ üretim dengeleme katsayısı
 π üretim maliyeti katsayısı
M büyük sayı

Karar değişkenleri

- n_{ik} i. ürünün k. karttaki miktarı
 C_k k. kartın tamamlanma zamanı
 dk_k k. Kartın teslim zamanı
 T_k k. kartın gecikme süresi
 E_k k. kartın erken bitirme süresi
 O_k k. kartın fazla mesai miktarı
 ϵ_k k. kartın k-1. karta göre işlem süresi farkı
 $TKMAX_k$ k. karta atanan maksimum izin verilen gecikme süresi
 $X_{ik} = \begin{cases} 1, & i. \text{ ürün } k. \text{ sırada üretime girerse} \\ 0, & d.d. \end{cases}$
 $Y_{ik} = \begin{cases} 1, & i. \text{ ürün } k - 1. \text{ ve } k. \text{ kartta ardışık ise} \\ 0, & d.d. \end{cases}$

$$V_{ik} = \begin{cases} Y_{ik}, & \text{eğer } X_{ik} = 1 \\ 0, & \text{eğer } X_{ik} = 0 \end{cases}$$

Matematiksel programlama modelinin amaç fonksiyonu, erken ve geç bitirme maliyeti, fazla mesai maliyeti ve üretim düzgünleştirme maliyetinin toplamalarının enküçüklenmesini amaçlamaktadır. Geç bitirme maliyeti, müşteri istekleri tam olarak yerine getirilemediği için uygulanmaktadır. Erken bitirme ve fazla mesai maliyeti, müşteri isteklerini yerine getirmek için katlanılan maliyetlerden oluşmaktadır. Üretim düzgünleştirme maliyeti ise, B-CONWIP sisteminin uygulanmasında temel gereksinimin sağlanabilmesi için katlanılan ve dolaylı olarak WIP maliyeti ve makine boş kalma maliyetini etkileyen bir maliyettir. Modelin amaç fonksiyonu:

$$\text{Min}(\pi f(x) + \mu g(x)) \quad (4.1)$$

$$f(x) = \sum_{k=1}^K (\alpha E_k + \beta T_k + \theta O_k) \quad (4.2)$$

$$g(x) = \sum_{k=1}^K \gamma \mathcal{E}_k \quad (4.3)$$

Model ile ilgili ilk olan kısıt (4.4) kartların tamamlanma zamanlarını belirtmektedir. İlk kart için öncesinde bir kart üretime giremeyeceği için özel bir durum oluşmaktadır. Bu sebeple önceki kart tamamlanma süresine kısıt (4.5)'de yer verilememektedir. Diğer kısıt ise ilk kart hariç tüm kartlar için tamamlanma zamanlarını vermektedir.

$$\sum_{i=1}^I n_{ik} P_i + \sum_{i=1}^I V_{ik} S_i = C_k \quad k=1 \quad (4.4)$$

$$\sum_{i=1}^I n_{ik} P_i + \sum_{i=1}^I V_{ik} S_i - C_{k-1} = C_k \quad \forall k > 1 \quad (4.5)$$

Kısıt (4.6) üretim düzgünleştirme kısıtdır. Ardışık partilerin (kartların) işlem süreleri farklarını belirlemektedir. B-CONWIP'in uygulanmasında anahtar bir kısıttır.

$$\left| \left(\sum_{i=1}^I n_{i,k-1} P_i + \sum_{i=1}^I V_{i,k-1} S_i \right) - \left(\sum_{i=1}^I n_{ik} P_i + \sum_{i=1}^I V_{ik} S_i \right) \right| \leq \varepsilon_k \quad \forall k > 1 \quad (4.6)$$

Kısıt (4.6) ile k-1. ve k. kart arasındaki iş yükü farkını ε_k 'dan az ya da eşit yapmaya zorlamaktadır. Eğer $\varepsilon_k = 0$ olursa, iki ardaşık kart arasındaki iş yükü farkı sıfır olacaktır. Mutlak değer silindiğinde kısıt (4.6)'ün yerini kısıt (4.7) ve kısıt (4.8) almaktadır.

$$\left(\sum_{i=1}^I n_{i,k-1} P_i + \sum_{i=1}^I V_{i,k-1} S_i \right) - \left(\sum_{i=1}^I n_{ik} P_i + \sum_{i=1}^I V_{ik} S_i \right) \leq \varepsilon_k \quad \forall k > 1 \quad (4.7)$$

$$\left(\sum_{i=1}^I n_{i,k-1} P_i + \sum_{i=1}^I V_{i,k-1} S_i \right) - \left(\sum_{i=1}^I n_{ik} P_i + \sum_{i=1}^I V_{ik} S_i \right) \geq -\varepsilon_k \quad \forall k > 1 \quad (4.8)$$

Kısıt (4.9) ile, fazla mesai için sınırlı kaynak olabileceği için, fazla mesainin alabileceği belirlenen en yüksek değer ile sınırlandırılmaktadır.

$$\sum_{k=1}^K O_k \leq OMAX \quad (4.9)$$

Her farklı tip ürün için işlerin geçikebileceği farklı en yüksek değerleri vardır. Kısıt (4.10)'da ilk olarak bu değerleri, ürünlerin atandığı kartlarla ilişkilendirilmektedir. Daha sonra kısıt (4.11) ile, her bir kart için gecikebilme üst sınırı oluşturulmaktadır.

$$\sum_{i=1}^I X_{ik} TMAX_i = TKMAX_k \quad \forall k \quad (4.10)$$

$$t_k \leq TKMAX_k \quad \forall k \quad (4.11)$$

Kısıt (4.12) ile, ürünler için belirlenen termin sürelerinin atandıkları kartlarla ilişkilendirilmektedir.

$$\sum_{i=1}^I X_{ik} d_i = dk_k \quad \forall k \quad (4.12)$$

Sipariş için üretim yapan firmalar için termin zamanına uymak çok önemlidir. Kısıt (4.13) ile, termin zamanına ulaşmak için, erken bitirme, geç

bitirme ve fazla mesai değişkenlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Eğer işler erken biter ise, E_k kısıtı sıfırdan büyük bir değer olarak termin zamanına toplan süreyi eşitler. Eğer kartın tamamlanma süresi termin zamanını geçiyorsa, yapılabilecek iki durum vardır; geç bitirme ve fazla mesai. Amaç fonksiyonundaki katsayıları ve diğer kısıtlardan gelen sınırlamalar dahilinde bu iki değişkenden biri ya da ikisi birden değer olarak tarmin zamanı ile eşitliği sağlamaktadırlar.

$$C_k + E_k - T_k - O_k = dk_k \quad \forall k \quad (4.13)$$

Fazla mesai değişkenini kullanılan bir diğer durum ise makina kapasitenin aşılmasıdır. Kısıt (4.14) ile, kapasite açığını kapatmak için fazla mesai yapılması zorunlu kılınmaktadır. Bu sebeple SL serbest değişkeni ile sadece gerektiğinde fazla mesai kullanılması garanti edilmektedir.

$$\sum_{i=1}^I n_{ik} P_i + \sum_{i=1}^I V_{ik} S_i - O_k + SL = Cap \quad \forall k \quad (4.14)$$

Kısıt (4.15) ile her bir kartın sadece tek bir ürün tipine atanabilmesi sağlanmaktadır.

$$\sum_{i=1}^I X_{ik} = 1 \quad \forall k \quad (4.15)$$

Kısıt (4.16) ile taleplerin eksiksiz bir şekilde karşılanması sağlanmaktadır.

$$\sum_{k=1}^K n_{ik} = D_i \quad \forall i \quad (4.16)$$

Eğer aynı ürünler ardışık kartlara atanırlarsa, sadece birinci kart için hazırlık süresi olmalıdır. Kısıtlar (4.17) ve (4.18) kullanılarak eğer ardışık iki kart aynı i . ürüne sahipse ikinci kart için $Y_{ik} = 0$ olmaktadır.

$$2,5 - Y_{ik} - X_{i,k-1} - X_{ik} \geq 0 \quad \forall i,k \quad (4.17)$$

$$1,5 - 1,5Y_{ik} - X_{i,k-1} - X_{ik} \leq 0 \quad \forall i,k \quad (4.18)$$

Kısıtlar (4.17) ve (4.18) ile elde edilen tüm Y_{ik} değerleri üretimde olmayan siparişler ($X_{i,k-1}$ ve X_{ik} sıfır iseler) içinde geçerlidir. Bu sebeple sadece üretimde

olan siparişleri dikkate almak için X_{ik} ve Y_{ik} tanımlarından aşağıdaki değişkene ihtiyaç vardır:

$$V_{ik} = \begin{cases} Y_{ik}, & \text{eğer } X_{ik} = 1 \\ 0, & \text{eğer } X_{ik} = 0 \end{cases}$$

Üç lineer eşitlik kullanarak lineerleştirme işlemi sağlanmaktadır:

$$V_{ik} \geq MX_{ik} + Y_{ik} - M \quad \forall i,k \quad (4.19)$$

$$V_{ik} \leq Y_{ik} \quad \forall i,k \quad (4.20)$$

$$V_{ik} \leq MX_{ik} \quad \forall i,k \quad (4.21)$$

Kısıt (4.22) ile kart içinde bulunan sipariş sıfırdan büyükse kart siparişe atanmaktadır. Zhang ve Chen (2001)'de kısıt (4.22) yerine doğrusal olmayan bir değişken atanmaktadır. Çalışmada ise doğrusal bir değişken kullanılmaktadır.

$$n_{ik} \leq MX_{ik} \quad \forall i,k \quad (4.22)$$

Matematiksel model, Zhang ve Chen (2001) yılındaki çalışması temel alınarak oluşturulmaktadır. Amaç fonksiyonunda üretim maliyetleri toplamı (4.2) ve ağırlıklandırılmış maliyet toplamı (4.1) ilave edilmektedir. Kısıtlarda ise, kısıt (4.9) ile fazla mesai toplamı sınırı, kısıt (4.10) ve (4.11) ile işlerin gecikebileceği üst sınırı, kısıt (4.13) ile termin süresine uyulması için gereken erken bitirme, geç bitirme ve fazla mesai miktarlarını belirleyen, kısıt (4.14) ile kapasite sınırı ve kısıtlar (4.17), (4.18), (4.19), (4.20) ve (4.21) ile hazırlık süresi gereksinimi belirleyen kısıtlar ilave edilmektedir. Ayrıca kısıt (4.22) çalışmada doğrusal değişkenle verilmektedir. Model böylelikle sipariş için üretim yapan üretim çevresine uyum sağlamaktadır.

B-CONWIP matematiksel modeli aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

Amaç Fonksiyonu

$$\begin{aligned} & \text{Min}(\pi f(x) + \mu g(x)) \\ f(x) &= \sum_{k=1}^K (\alpha E_k + \beta T_k + \theta O_k) \\ g(x) &= \sum_{k=1}^K \gamma \varepsilon_k \end{aligned}$$

Kısıtları Altında

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^I n_{ik} P_i + \sum_{i=1}^I V_{ik} S_i &= C_k & k = 1 \\ \sum_{i=1}^I n_{ik} P_i + \sum_{i=1}^I V_{ik} S_i - C_{k-1} &= C_k & k = 1, \dots, K \\ \left(\sum_{i=1}^I n_{i,k-1} P_i + \sum_{i=1}^I V_{i,k-1} S_i \right) - \left(\sum_{i=1}^I n_{ik} P_i + \sum_{i=1}^I V_{ik} S_i \right) &\leq \varepsilon_k & k = 2, \dots, K \\ \left(\sum_{i=1}^I n_{i,k-1} P_i + \sum_{i=1}^I V_{i,k-1} S_i \right) - \left(\sum_{i=1}^I n_{ik} P_i + \sum_{i=1}^I V_{ik} S_i \right) &\geq -\varepsilon_k & k = 2, \dots, K \\ \sum_{k=1}^K O_k &\leq OMAX \\ \sum_{i=1}^I X_{ik} TMAX_i &= TKMAX_k & k = 1, \dots, K \\ t_k &\leq TKMAX_k & k = 1, \dots, K \\ \sum_{i=1}^I X_{ik} d_i &= dk_k & k = 1, \dots, K \\ C_k + E_k - T_k - O_k &= dk_k & k = 1, \dots, K \\ \sum_{i=1}^I n_{ik} P_i + \sum_{i=1}^I V_{ik} S_i - O_k + SL &= Cap & k = 1, \dots, K \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ik} = 1 \quad k = 1, \dots, K$$

$$\sum_{k=1}^K n_{ik} = D_i \quad i = 1, \dots, I$$

$$2,5 - Y_{ik} - X_{i,k-1} - X_{ik} \geq 0 \quad i = 1, \dots, I; k = 1, \dots, K$$

$$1,5 - 1,5Y_{ik} - X_{i,k-1} - X_{ik} \leq 0 \quad i = 1, \dots, I; k = 1, \dots, K$$

$$V_{ik} \geq MX_{ik} + Y_{ik} - M \quad i = 1, \dots, I; k = 1, \dots, K$$

$$V_{ik} \leq Y_{ik} \quad i = 1, \dots, I; k = 1, \dots, K$$

$$V_{ik} \leq MX_{ik} \quad i = 1, \dots, I; k = 1, \dots, K$$

$$n_{ik} \leq MX_{ik} \quad i = 1, \dots, I; k = 1, \dots, K$$

$$X_{ik}, Y_{ik}, V_{ik} = 0,1$$

$$n_{ik} \geq 0 \text{ ve tamsayı}$$

$$T_k, E_k, O_k, C_k, dk_k, TKMAX_k, \varepsilon_k \geq 0 \text{ ve SL serbest de\u0131\u015fen.}$$

Çalışmada küçük test problemleri ve ayrıca 5. bölümde gerçek hayat problemi GAMS paket programında CPLEX yazılımı ile çözülmüştür.

4.5. B-CONWIP Test Uygulaması

B-CONWIP matematiksel modelinin uygulanması için hipotetik veriler ile test problemleri oluşturulmaktadır. Test probleminde, Şekil 4.1'de verilen B-CONWIP hattı için sadece darboğaz tezgah ile ilgili üretim verileri verilmektedir. Verilen problemde, hat için FISFO sıralaması uygulanmaktadır ve darboğaz tezgah sonrası ürünün hat sonuna kadar geçireceği süre bilinmektedir. Bu sebeple erken bitirme, geç bitirme süreleri darboğaz tezgah tarafından

belirlenebilmektedir. Ayrıca fazla mesai sadece darboğaz tezgahta yapılabilmektedir. Termin süreleri, darboğaz tezgah öncesi ve sonrası geçen veya geçecek süreler çıkarıldıktan sonra verilmiştir. Her ürün, eğer arkasından aynı tip ürün gelmiyorsa, hazırlık için süre harcaması gerekmektedir. Her ürün tipi için müşteri memnuniyet indeksleri farklıdır ve bu sebeple bazı ürünler için gecikme söz konusu olamazken, diğer tip ürünler içinse bu süre kısıtlıdır. Ayrıca dönem içinde gereken fazla mesai miktarı kısıtlıdır ve gecikme olması durumunda bir sonraki döneme işler ertelenmektedir.

Çalışmada dört farklı hipotetik veri grubu oluşturulmaktadır:

- Üretim programı sıkışık ve sipariş miktarları dengesiz
- Üretim programı sıkışık ve sipariş miktarları dengeli
- Üretim programı gevşek ve sipariş miktarları dengesiz
- Üretim programı gevşek ve sipariş miktarları dengeli

İki amaç fonksiyonun katsayıları değiştirilerek müşteri isteklerinin karşılanması için katlanılan üretim maliyetleri ile B-CONWIP'in gereksinimi olan üretim dengesi arasında farklar ve üretim sıralaması ve parti büyüklüğüne etkileri araştırılmaktadır. Tüm verilerde üretim düzensizliği maliyeti 1 TL/dk.'dir. İlk çalışma üretim programı sıkışık ve sipariş miktarları dengesiz (Çizelge 4.1) için yapılmaktadır.

Çizelge 4.1. Üretim programı sıkışık ve sipariş miktarları dengesiz üretim ortamı

Ürün Tipi	Talep (Adet)	Hazırlık Süre (Dk.)	İşlem Süre (Dk.)	Termin (Dk.)	Max. İzin Verilen Gecikme (Dk.)
1	30	30	8	1800	0
2	50	45	16	1800	0
3	50	30	20	1800	900
4	60	15	10	2700	1800
5	25	10	12	2700	0
Erken Bitirme (Tl/Dk.)	2	Geç Bitirme (Tl/Dk.)	10	Fazla Mesai (Tl/Dk.)	5

Çalışmada amaç, hem en az maliyetle üretimi tamamlamak hem de B-CONWIP sisteminin uygulanması için gereken üretim dengesinin

sağlanmasıdır. Bu amaçla, parça listesinde bekleyen farklı tip ürünler için kart miktarları artırılarak en iyi sonuç bulunmaya çalışılmaktadır. Amaç fonksiyonunda bulunan π (üretim maliyeti) ve μ (üretim dengeleme) ağırlıkları değiştirilerek bulunan sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

İlk olarak sadece üretim maliyeti dikkate alındığında ($\pi=1$ ve $\mu=0$) elde edilen sonucu (Çizelge 4.2) incelenmektedir. Kart sayısı beşten altıya yükseldiğinde üretim maliyetinde azalma yaşanmaktadır. Fakat bu azalma kart sayısı yediye yükseltildiğinde yaşanmamaktadır. Kart sayısının altı veya yedi olduğu durum seçilebilir.

Çizelge 4.2. Sadece üretim maliyetleri göz önüne alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=0$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	2-1-3-5-4	50-30-50-25-60	9570
6	2-3-1-3-5-4	50-33-30-17-25-60	9320
7	2-3-1-3-5-4-4	50-33-30-17-25-20-40	9320

Çizelge 4.3’de ise eğer sadece üretim dengeleme göz önüne alınırsa ($\pi=0$ ve $\mu=1$) elde edilen sonuçlar verilmektedir. Program sadece üretimi dengelemek için uğraştığında kart sayısı ne kadar fazla olursa o kadar dengeli bir üretim olmaktadır.

Çizelge 4.3. Sadece üretimi dengeleme göz önüne alınırsa ($\pi=0$ ve $\mu=1$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	1-5-2-3-4	30-25-50-50-60	1175
6	1-5-3-2-3-4	30-25-14-50-36-60	805
7	1-5-2-2-3-3-4	30-25-23-27-24-26-60	345

Üretim maliyetleri ve üretim dengeleme katsayıları eşit alındığında ($\pi=1$ ve $\mu=1$) elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4’de verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, kart sayısı yedi olana kadar amaç fonksiyonunda azalma yaşanmakta fakat sekizinci kart ile birlikte amaç fonksiyonunda artış yaşanmaktadır.

Çizelge 4.4. Üretim maliyeti ve üretim dengeleme katsayıları eşit alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=1$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	2-1-3-5-4	50-30-50-25-60	11930
6	2-3-1-3-5-4	50-33-30-17-25-60	10360
7	2-3-1-3-5-4-4	50-33-30-17-25-20-40	10335
8	2-3-1-3-5-4-4-4	50-33-30-17-25-10-10-40	10765

Üretim dengeleme katsayıları artırılarak, nasıl bir fark yarattığı Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7 incelenerek, üretimin sıkışık ve sipariş miktarlarının dengesiz olduğu bir üretim ortamında, üretim sıralamasının belirlenmesinde üretim maliyetlerinin ve parti büyüklüklerinin belirlenmesinde ise üretim dengesinin kullanıldığı sonucuna varılmaktadır. Tüm karşılaştırmalarda en iyi sonuç kart sayısı yedi çıkmaktadır, fakat parti büyüklükleri üretim dengeleme katsayısının değerine göre değişmektedir. Üretim dengeleme katsayısının en yüksek olduğu parti büyüklüğünü seçmek, B-CONWIP'in uygulanması için daha iyi olacaktır.

Çizelge 4.5. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin iki katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=2$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	1-2-3-5-4	30-50-50-25-60	14290
6	2-3-1-3-5-4	50-33-30-17-25-60	11400
7	2-3-1-3-5-4-4	50-33-30-17-25-20-40	11350
8	2-3-1-3-5-4-4-4	50-33-30-17-25-9-11-40	12010

Çizelge 4.6. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin beş katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=5$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	1-2-3-5-4	30-50-50-25-60	19645
6	2-3-1-3-5-4	50-36-30-14-25-60	14440
7	2-3-1-3-5-4-4	50-36-30-14-25-29-31	13825
8	2-1-3-3-3-5-4-4	50-30-16-17-17-25-29-31	14415

Çizelge 4.7. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin on katı alırsa ($\pi=1$ ve $\mu=10$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	1-2-3-5-4	30-50-50-25-60	28570
6	2-3-1-3-5-4	50-36-30-14-25-60	19000
7	2-3-1-3-5-4-4	50-36-30-14-25-29-31	16950
8	3-2-2-1-3-5-4-4	36-33-17-30-14-25-29-31	17144

Bir diğer veri grubu olan, üretim programı sıkışık ve sipariş miktarları dengeli üretim ortamı için veriler Çizelge 4.8’de verilmektedir.

Çizelge 4.8. Üretim programı sıkışık ve sipariş miktarları dengeli üretim ortamı

Ürün Tipi	Talep (Adet)	Hazırlık Süre (Dk.)	İşlem Süre (Dk.)	Termin (Dk.)	Max. İzin Verilen Gecikme (Dk.)
1	70	30	8	1800	0
2	35	45	16	1800	0
3	30	30	20	1800	900
4	60	15	10	2700	1800
5	50	10	12	2700	0
Erken Bitirme (Tl/Dk.)	2	Geç Bitirme (Tl/Dk.)	10	Fazla Mesai (Tl/Dk.)	5

Sadece üretim maliyetleri göz önüne alındığında ($\pi=1$ ve $\mu=0$), kart sayısı arttırıldığında amaç fonksiyonunda bir değişiklik olmamaktadır. Ayrıca üretim dengelemesi dikkate alınmadığı durumlarda, parti büyüklüğünün sıfır olduğu sonuçlarla karşılaşabilmektedir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Sadece üretim maliyetleri göz önüne alırsa ($\pi=1$ ve $\mu=0$)

KART SAYISI	SIRALAMA	PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ	TOPLAM MALİYET
5	3-2-1-5-4	30-35-70-50-60	6400
6	3-2-1-5-4-4	30-35-70-50-25-35	6400
7	3-2-1-5-4-4-4	30-35-70-50-25-0-35	6400

Çizelge 4.10'da sadece üretim dengeleme göz önüne alınırsa ($\pi=0$ ve $\mu=1$) elde edilen sonuçlar verilmektedir. Zaten dengeli bir sipariş ortam olduğundan, kart sayısı arttırıldığında üretim dengesi bozulmaktadır

Çizelge 4.10. Sadece üretim dengeleme göz önüne alınırsa ($\pi=0$ ve $\mu=1$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	1-2-5-3-4	70-35-50-30-60	55
6	3-3-1-2-5-4	14-16-70-35-50-60	305
7	2-3-2-3-1-5-4	17-15-18-15-70-50-60	304

Üretim maliyetleri ve üretim dengeleme katsayıları eşit alındığında ($\pi=1$ ve $\mu=1$) elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11'de verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, kart sayısı arttıkça amaç fonksiyonu değeride artmaktadır. Bunun sebebi, siparişlerin ilk durumda zaten dengeli bir durumda olmasıdır.

Çizelge 4.11. Üretim maliyeti ve üretim dengeleme katsayıları eşit alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=1$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-2-1-5-4	30-35-70-50-60	6465
6	3-2-1-5-4-4	30-35-70-50-25-35	6890
7	3-2-1-5-4-4-4	30-35-70-50-25-0-35	7420

Çizelgeler 4.12, 4.13 ve 4.14 incelendiklerinde, üretim sıralarının değişmediği görülmektedir. Ayrıca tüm çözümlerde, kart sayısı beş için en iyi çözümün bulunduğu tespit edilmektedir. Bunun sebebi olarak, siparişlerin dengeli olduğu durumlarda, parti büyüklüklerini değiştirmek anlamlı değildir. Modelin bu tip problemlere de uyum sağladığı gözükmemektedir.

Çizelge 4.12. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin iki katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=2$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-2-1-5-4	30-35-70-50-60	6530
6	3-2-1-5-4-4	30-35-70-50-25-35	7380
7	3-2-1-5-4-4-4	30-35-70-50-12-13-35	8180

Çizelge 4.13. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin beş katı alırsa ($\pi=1$ ve $\mu=5$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-2-1-5-4	30-35-70-50-60	6725
6	3-2-1-5-4-4	30-35-70-50-29-31	8650
7	3-2-1-5-5-4-4	30-35-70-25-25-29-31	9630

Çizelge 4.14. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin on katı alırsa ($\pi=1$ ve $\mu=10$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-2-1-5-4	30-35-70-50-60	7050
6	3-2-1-5-4-4	30-35-70-50-29-31	10500
7	3-2-1-5-5-4-4	30-35-70-25-25-29-31	11330

Üretim programı gevşek ve sipariş miktarları dengesiz olduğu üretim ortamının verileri Çizelge 4.15’de verilmektedir.

Çizelge 4.15. Üretim programı gevşek ve sipariş miktarları dengesiz olduğu üretim ortamı

Ürün Tipi	Talep (Adet)	Hazırlık Süre (Dk.)	İşlem Süre (Dk.)	Termin (Dk.)	Max. İzin Verilen Gecikme (Dk.)
1	20	30	8	1800	0
2	20	45	16	1800	0
3	30	30	20	1800	900
4	30	15	10	2700	1800
5	40	10	12	2700	0
Erken Bitirme (Tl/Dk.)	2	Geç Bitirme (Tl/Dk.)	10	Fazla Mesai (Tl/Dk.)	5

Sadece üretim maliyetleri göz önüne alındığında ($\pi=1$ ve $\mu=0$), üretim dengesi katsayısı göz önüne alınmadığı için altı ve yedi kart sayısında sıfır değeri alan parti büyüklükleri gözlemlenmiştir. Ayrıca, beş kart olduğu durum en iyi amaç fonksiyonu değerini vermektedir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Sadece üretim maliyetleri göz önüne alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=0$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-5-2-1-4	30-40-20-20-30	7800
6	3-5-2-1-2-4	30-40-20-20-0-30	7870
7	3-5-2-1-2-3-4	30-40-20-20-0-0-30	7910

Çizelge 4.17’da sadece üretim dengeleme göz önüne alınırsa ($\pi=0$ ve $\mu=1$) elde edilen sonuçlar verilmektedir. Üretim dengesiz olduğundan, program üretimi dengelemeye çalışmakta ve kart sayısı arttırıldığında amaç fonksiyonu değeri azalmaktadır.

Çizelge 4.17. Sadece üretim dengeleme göz önüne alınırsa ($\pi=0$ ve $\mu=1$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-5-2-4-1	30-40-20-30-20	440
6	3-1-4-2-3-5	8-20-30-20-22-40	300
7	2-3-4-5-3-1-5	20-16-30-25-14-20-15	175

Üretim maliyetleri ve üretim dengeleme katsayıları eşit alındığında ($\pi=1$ ve $\mu=1$) elde edilen sonuçlar Çizelge 4.18’de verilmektedir. Amaç fonksiyonu değerinin, kart sayısı arttıkça çoğalmaktadır. Bu sebeple, üretim düzgülendirme katsayısının bir olduğu durumlarda yeterli etkiyi göstermediği söylenebilmektedir.

Çizelge 4.18. Üretim maliyeti ve üretim dengeleme katsayıları eşit alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=1$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-5-2-1-4	30-40-20-20-30	8365
6	3-5-2-1-2-4	30-40-20-20-0-30	8725
7	3-5-2-1-2-1-4	30-40-20-20-0-0-30	8795

Çizelgeler 4.19, 4.20 ve 4.21 incelendiğinde, beş kart sayısı olduğu durumlarda amaç fonksiyonu değeri en az çıkmaktadır. Üretim dengesizliği, üretim sırasını sadece $\mu=10$ ’a geldiğinde sıralamayı etkileyecek büyüklükte etki yapmaktadır.

Çizelge 4.19. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin iki katı alırsa ($\pi=1$ ve $\mu=2$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-5-2-1-4	30-40-20-20-30	8930
6	3-5-2-1-2-4	30-40-11-20-9-30	9580
7	3-5-2-1-2-3-4	30-40-20-20-0-0-30	9680

Çizelge 4.20. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin beş katı alırsa ($\pi=1$ ve $\mu=5$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-5-2-1-4	30-40-20-20-30	10625
6	3-5-2-1-2-4	30-40-11-20-9-30	11281
7	3-5-2-1-2-1-4	30-40-16-10-4-10-30	12121

Çizelge 4.21. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin on katı alırsa ($\pi=1$ ve $\mu=10$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-5-2-4-1	30-40-20-20-30	13280
6	5-3-2-1-3-4	40-22-20-20-8-30	13420
7	3-5-2-1-3-4-4	23-40-20-20-7-15-15	14110

Son olarak inceleyeceğimiz örnek problem, üretim programının gevşek ve siparişlerin dengeli olduğu üretim ortamı için veriler Çizelge 4.22’de verilmektedir.

Çizelge 4.22. Üretim programı gevşek ve sipariş miktarları dengeli üretim ortamı

Ürün Tipi	Talep (Adet)	Hazırlık Süre (Dk.)	İşlem Süre (Dk.)	Termin (Dk.)	Max. İzin Verilen Gecikme (Dk.)
1	45	30	8	1800	0
2	20	45	16	1800	0
3	20	30	20	1800	900
4	40	15	10	2700	1800
5	30	10	12	2700	0
Erken Bitirme (T/Dk.)	2	Geç Bitirme (T/Dk.)	10	Fazla Mesai (T/Dk.)	5

İlk olarak sadece üretim maliyetleri dikkate alındığında ($\pi=1$ ve $\mu=0$), k değeri arttıkça, amaç fonksiyonu değeride artmaktadır. Ayrıca, kart sayısının altı ve yedi olduğu durumlarda bazı parti büyüklükleri sıfır değerinin alabilmektedir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. Sadece üretim maliyetleri göz önüne alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=0$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-4-1-2-5	20-40-45-20-30	9440
6	3-4-2-1-2-5	20-40-20-45-0-30	9710
7	3-4-1-2-1-2-5	20-40-45-20-0-0-30	9880

Sadece üretim dengeleme dikkate alındığında ise ($\pi=0$ ve $\mu=1$), siparişler zaten dengeli olduğundan, beş karttan sonraki çözümler daha yüksek amaç fonksiyonuna sahiptirler (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Sadece üretim dengeleme göz önüne alınırsa ($\pi=0$ ve $\mu=1$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	2-5-1-4-3	20-30-45-40-20	65
6	3-3-2-5-1-4	9-11-20-30-45-40	205
7	4-4-3-3-2-5-1	19-21-9-11-20-30-45	185

Üretim maliyetleri ve üretim dengeleme katsayıları eşit alındığında ($\pi=1$ ve $\mu=1$) elde edilen sonuçlar Çizelge 4.25’de verilmektedir. Amaç fonksiyonu değerinin, kart sayısı arttıkça çoğalmaktadır. Çünkü, sipariş dengeli olduğunda parti büyüklüklerinin düzenlenmesine gerek kalmamaktadır.

Çizelge 4.25. Üretim maliyeti ve üretim dengeleme katsayıları eşit alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=1$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-4-1-2-5	20-40-45-20-30	9510
6	3-4-1-2-3-5	20-40-45-20-0-30	10460
7	3-4-1-2-3-2-5	20-40-40-45-20-0-0-30	10620

Çizelgeler 4.26, 4.27 ve 4.28 incelendiğinde, hepsinde en iyi değere sahip kart ve sıralama aynıdır. Siparişler dengeli olduğundan, program tahmin edileceği üzere parti büyüklüklerini değiştirme ihtiyacı duymamaktadır.

Çizelge 4.26. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin iki katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=2$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-4-1-2-5	20-40-45-20-30	9580
6	3-4-1-2-2-5	20-40-45-9-11-30	11088
7	3-4-1-2-3-2-5	20-40-40-45-20-0-0-30	11360

Çizelge 4.27. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin beş katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=5$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-4-1-2-5	20-40-45-20-30	9790
6	3-4-1-5-2-2	20-40-45-30-9-11	11902
7	3-4-5-2-1-1-1	20-40-30-20-13-16-16	12602

Çizelge 4.28. Üretim dengeleme katsayısı, üretim maliyetlerinin on katı alırsa ($\pi=1$ ve $\mu=10$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
5	3-4-1-2-5	20-40-45-20-30	10140
6	3-4-5-2-1-1	20-40-30-20-21-24	13134
7	3-4-5-1-1-2-2	20-40-30-21-24-9-11	13986

4.6. B-CONWIP Matematiksel Modelinin Çözülmesi ile Elde Edilen Sonuçlar

Sonuçlar incelendiğinde, amaç fonksiyonunda bulunan üretim maliyetleri ve üretim dengeleme maliyetini ağırlıklandırılan π ve μ değerlerinin belirlenmesi problemin doğru bir şekilde çözülmesi için önemlidir. Çalışmada farklı problemler için farklı π ve μ değerleri ile matematiksel model çözülmektedir. Böylelikle π ve μ değerlerinin, amaç fonksiyonu, sıralama ve parti büyüklüğüne etkileri farklı üretim çevreleri için incelenmektedir. En iyi sonuçlar karşılaştırılmakta ve şu sonuçlara ulaşılmaktadır:

- Üretim programı sıkışık ve sipariş miktarları dengesiz üretim ortamı (Çizelge 4.1) için tüm π ve μ değerlerinin ortak olarak değer aldığı durumlarda en iyi kart sayısı 7 ve sıralama 2-3-1-3-5-4-4 olarak bulunmaktadır. Parti büyüklükleri ise μ değerine göre değişiklik göstermektedir. Bu durumda, μ değerinin en büyük olduğu değerleri seçmek B-CONWIP gereksinimlerinin daha iyi sağlanması amacıyla daha iyidir. Böylelikle $\mu=10$ değerinde bulunan 50-36-30-14-25-29-31 parti büyüklüklerinin seçilmesi uygun görülmektedir.
- Üretim programı sıkışık ve sipariş miktarları dengeli üretim ortamı (Çizelge 4.8) için amaç fonksiyonu katsayılarının $\pi=0$, $\mu=1$ ve $\pi=1$, $\mu=0$ olduğu sonuçlar incelendiğinde, kart sayısı arttırıldığında amaç fonksiyonu değerinin arttığı veya değişmediği gözlemlenmektedir. Bu sebeple, kart sayısı arttıkça amaç fonksiyonu değerinin artacağı tahmin edilebilmektedir. Ayrıca π ve μ değerlerinin her ikisinde sıfırdan büyük değer aldıklarında da

kart sayısı arttıkça amaç fonksiyonu değeri artmaktadır. Amaç fonksiyonun en iyi değeri için kart sayısı 5 ve sıralama 3-2-1-5-4 ve parti büyüklükleri sipariş miktarları ile aynı miktardadır.

- Üretim programı gevşek ve sipariş miktarları dengesiz olduğu üretim ortamı (Çizelge 4.15) için sonuç Çizelgeleri incelendiğinde sadece $\pi=0$ ve $\mu=1$ olduğunda kart sayısında artış yaşandığında amaç fonksiyonu azalmaktadır. Bunun sebebi, sipariş miktarlarının dengesiz olmasıdır. Fakat bu dengesizlik, üretim maliyetleri söz konusu olduğunda bu problem için beklenen etkiyi yaratmamaktadır. Bu sebepten en iyi sonuç kart sayısı 5 için bulunmaktadır. Sıralama ise sadece $\mu=10$ yani üretim dengeleme katsayısının en yüksek değerinde farklı çıkmaktadır. Bununla birlikte, $\mu=10$ için en iyi kart sayısı 5 çıktığı için bu sıralama değişikliği dikkate alınmamalıdır. Çünkü μ değerleri sadece parti büyüklüklerini belirlemede etkin rol oynamalıdır. Bu problemde amaç fonksiyonun en iyi değeri için kart sayısı 5, sıralama ise 3-5-2-1-4 seçilmelidir.
- Üretim programı gevşek ve sipariş miktarları dengeli olduğu üretim ortamı (Çizelge 4.22) için sonuçlar incelendiğinde amaç fonksiyonu katsayıları $\pi=0, \mu=1$ ve $\pi=1, \mu=0$ için kart sayısı arttırıldığında amaç fonksiyonu değerinin arttığı gözlemlenmektedir. Bunun nedeni, siparişin dengeli ortamda, siparişleri parçalamak üretim dengesini bozacaktır. Her iki amaç fonksiyonunun etkin olduğu tüm durumlar için kart sayısı 5 ve sıralama 3-4-1-2-5 bulunmaktadır.

Sonuç olarak, amaç fonksiyonunda üretim maliyetleri katsayısı π ve üretim düzgünleştirme katsayısı μ için bazı genel çıkarımlar yapılabilmektedir:

- $\pi > 0$ ve $\mu > 0$ için, eğer bulunan kart sayısı ve sıralama tüm π ve μ değerleri için eşit ise parti büyüklüğünün belirlenmesi için en büyük μ değerine sahip sonuç seçilmelidir.

- $\pi > 0$ ve $\mu > 0$ için, eğer bulunan kart sayısı $i = k$ (ürün tipi kadar kart sayısı olması) olursa, bu durumda sıralama için π değerinin etkin ve μ değerinin az olduğu durumlardaki sıralama seçilmelidir.
- Eğer parti büyüklüğü sıfır çıkarsa, bu durumda μ değeri üretimi dengelemek için yeterli seviyede değildir ve yükseltilmesi gerekmektedir.
- $\pi=0$ ve $\mu=1$ değerleri için, eğer kart sayısı arttıkça amaç fonksiyonu değeri azalıyorsa üretim dengesizdir.

Yukarıda verilen çıkarımlara rağmen, hangi π ve μ değerlerinin seçilmesinde belirsizliğe düşülen durumlar olabilecektir. Bu durumlar için ayrı bir matematiksel model, sezgisel model ya da bulanık mantık yöntemleri kullanılabilir. Literatürde henüz bu konu ile ilgili bir yöntem önerilmemiştir.

Problemler, GAMS paket programı içerisinde bulunan CPLEX modülü ile çözülmektedir. Problem boyutlarının küçük olmasında dolayı Intel® Core™ i7-2670QM (6M Cache, up to 3.10 GHz) işlemci ile kart sayısı 5 için anlık, kart sayısı 10 için 5 – 10 saniye arasında çözüm bulabilmektedir.

5. B-CONWIP SİSTEMİNİN BİR KOBİ'DE UYGULANMASI

5.1. İşletme Hakkında Bilgi

Eskişehir Jant Sanayi A.Ş. (EJS), 1950 yılında Eskişehir'de kurulmuştur. Geçmiş yıllarda bugüne EJS, yolcu ve özel araçlar, endüstri ve tarım araçları, forkliftler, römork vb. araçlar için değişik tipte jantlar üretmektedir. EJS bu yıllarda, endüstri ve ağır iş makineleri uygulamalarında tecrübe edinmiştir. Bugün üretiminin %75'ini kazıcı yükleyici jantları, tekerlekli yükleyiciler jantları, forklift jantları, biçerdöver jantları ve diğer endüstri uygulamaları oluşturmaktadır.

EJS'in müşteriler için en önemli özelliği esnekliktir. Müşteri isteklerine tam uyum sağlayacak üretim yapmak amaç edinilmiştir. Özellikle özel yapım ya da standart olmayan ağır endüstri işleri yapan müşteriler için teklifler vermektedir.

5.2. Uygulama Konusu

İşletmenin piyasada en karakteristik özelliği esnek bir üretim yapısına sahip olmasıdır. Fakat yapılan ölçümlere göre bir siparişin üretim sürecinin başından sonuna kadar geçen süre yaklaşık bir ayı bulmaktadır. Bu sebeple, müşterilere uzun termin süreleri verilmesine neden olmaktadır. Ayrıca günümüz rekabet koşullarında hız ve esneklik işletmeler için büyük önem taşımaktadır ve her ikisinin bir işletmede bulunması rekabet koşullarında bir adım öne geçilmesini sağlamaktadır.

İşletmenin bir diğer sorunu ise bir üretim kontrol sisteminin olmamasıdır. Daha önce yalın üretim sistemi üzerine çalışmalar yapılsa da istenen başarı sağlanamamıştır. Üretim kontrol sistemi olmaması, özellikle üretim planı yapma ve üretimi takip etme konusunda büyük sıkıntılar yaşanmasına neden olmaktadır.

İşletmede sorunları başlıca sebebi olarak WIP'in fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Uzun termin sürelerinin verilmesinin başlıca nedeni olarak WIP fazlalığı görülmektedir. Ayrıca WIP'lerin takip edilmesi bir diğer karşılaşılan sorundur. İşletme içinde gerekli yer olmadığından bazı WIP'ler

işletme bahçesinde bekletilmekte ve bu ileride kalite problemlerine ya da yeniden işlem görmeye neden olabilmektedir.

Üretim sürecinde, sıvama tezgahı işlem süresinin uzunluğu ve bir ürünün aynı makinada üç veya dört defa işlem görmesinden dolayı dominant bir darboğaz tezgah olmaktadır. Darboğaz tezgahın sürekli çalışır durumda olması ve iyi bir şekilde planlanması toplam üretim süresinin kısalması açısından büyük önem taşımaktadır.

İşletmede veri havuzu oluşturma konusunda büyük sıkıntılar yaşamaktadır. Özellikle makinaların büyük kısmının manuel olması ve insan faktörünün yüksek olmasından dolayı işlem sürelerinin değişkenliği yüksektir. Bu nedenle üretim sürelerinin hassas olarak belirlenmesi gereken yalın üretim ve kanban gibi sistemlerin uygulamasında büyük sıkıntılar yaratması olasıdır.

Ayrıca işletmede WIP'lerin üzerinde herhangi bir tanıtıcı bilgi kartı olmamakla birlikte, belirlenmiş WIP alanlarının olmaması da işlem öncesi ürün arama karmaşası yaratabilmektedir. Taşıma aracı olarak genellikle el forklifti kullanılmakta ve taşıma işlemleri makina operatörü tarafından yapılmaktadır. Bu sırada ise makina boş kalmaktadır. WIP'lerin üzerlerinde belirleyici ve uzaktan farkedilebilen işaretler bulunması, operatörün taşıma süresini belirgin olarak azalmasını sağlayabilecektir.

Tüm bu sorunlar ışığında işletme için, uygulanması kolay, değişkenliklerden fazla etkilenmeyen, WIP sorunuyla başa çıkabilecek, veri takibini kolaylaştıracak, üretim çıktı hızını arttıracak, darboğaz tezgah üzerine yoğunlaşabilecek ve en önemlisi esnekliği sağlayacak bir üretim sistemine geçilmesi gerekmektedir. Önceki bölümlerde anlatıldığı üzere bu özelliklere en iyi uyum sağlayabilecek sistem B-CONWIP sistemidir.

5.3. Uygulama Adımları

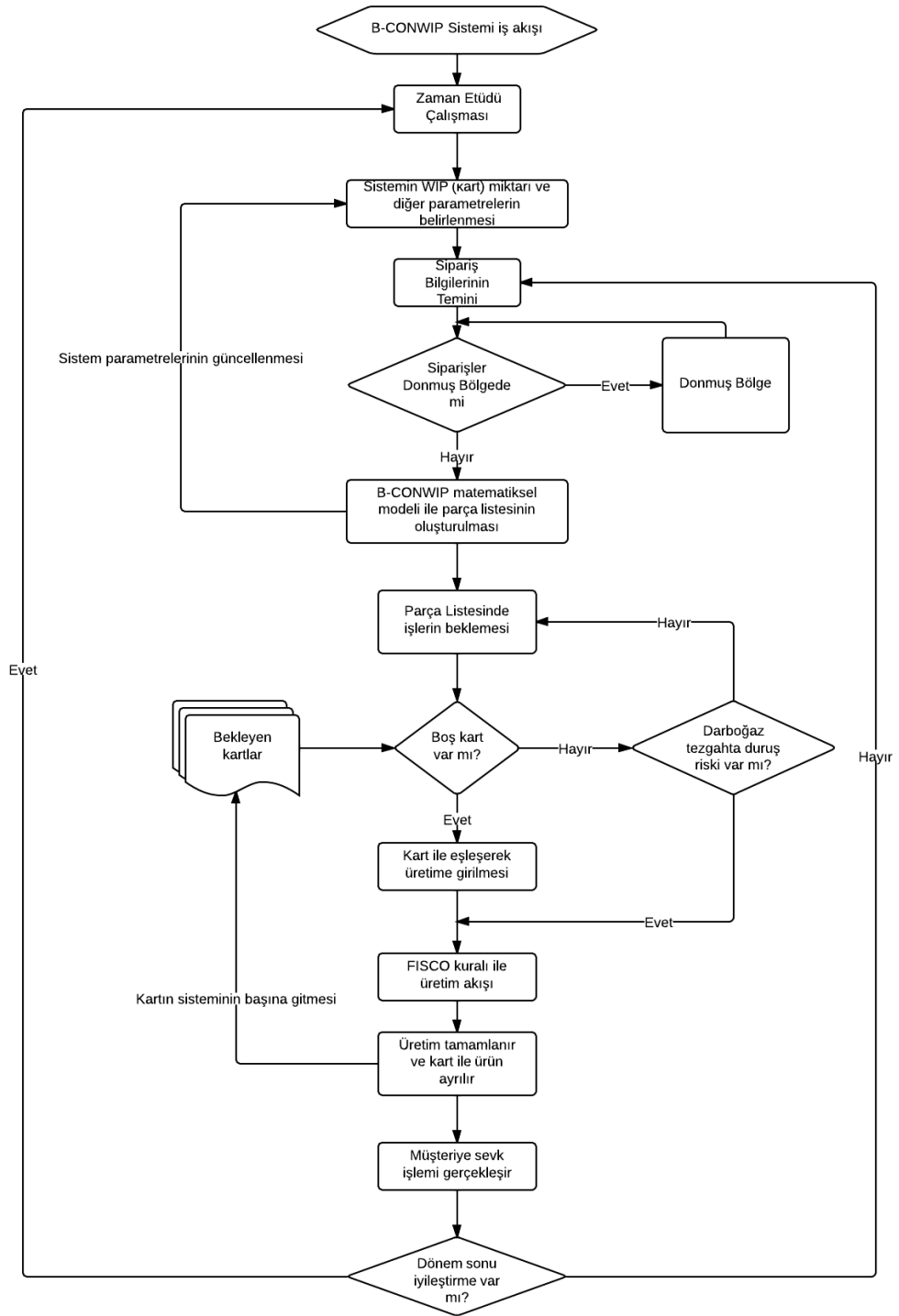
B-CONWIP sisteminin sağlıklı bir şekilde kurulabilmesi için ürünlerin aynı makinelerden aynı sırayla ve dengeli bir biçimde geçmeleri gerekmektedir. Jant üretiminde bazı özelleşmeler olsa da, genel olarak benzer rota ve işlemlerden geçmektedirler. Özellikle darboğaz tezgah (sıvama tezgahı) ve öncesi rota ve

işlemler tüm jantlar için aynıdır. Bu sebeple, ilk olarak bir tandem B-CONWIP sisteminin darboğaz ve öncesi tezgahları içerecek bir şekilde kurulması gerekmektedir. Çalışmada bu tandem CONWIP hattı üzerinde yoğunlaşılacaktır. Şekil 5.1’de B-CONWIP sisteminin iş akış diyagramı gösterilmektedir.

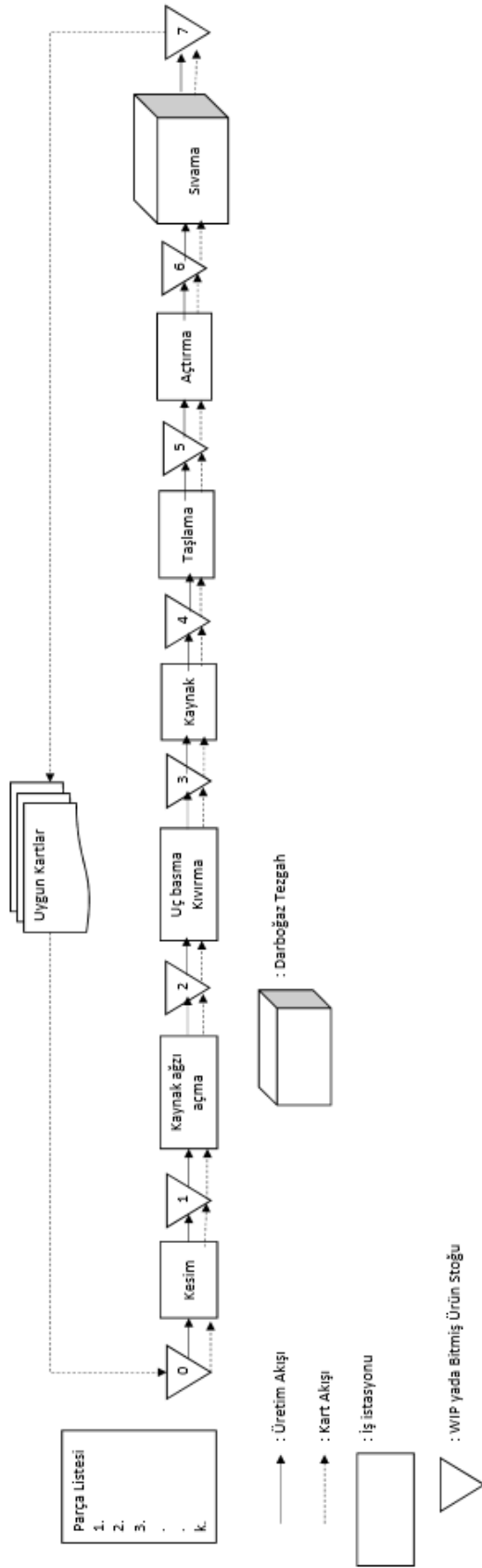
Şekil 5.2’de EJS firması için düşünülen tandem B-CONWIP hattı gösterilmektedir. Sıvama tezgahı, darboğaz tezgah ve son iş istasyonu olduğundan çekme işlemini yapacaktır. Bu sebeple kartların çevrim hızı sıvama tezgahı tarafından belirlenmektedir.

5.3.1. Zaman etüdü çalışması

İlk olarak çalışmada, ürünlerin işlem sürelerinin belirlenmesi amacıyla zaman etüdü çalışması yapılmaktadır. Zaman etüdü çalışması ile standart üretim süreleri belirlenmektedir. Bu veriler kullanılarak daha etkin bir B-CONWIP hattı kurulumu gerçekleştirilecektir. Fakat daha önceki bölümlerde belirtildiği üzere, B-CONWIP sistemi değişkenliklerden en az etkilenen sistemlerden biridir. Bu sebeple, üretim sürelerinin değişken olduğu işletmede B-CONWIP sistemi kurulumunda ve işletilmesinde değişkenlikten kaynaklanan sorunlar çıktı oranını fazla etkilememesi beklenmektedir.



Şekil 5.1. B-CONWIP sistemi iş akışı diyagramı



Şekil 5.2. EJS firması için düşünülen tandem B-CONWIP sistemi

5.3.2. B-CONWIP sisteminin toplam kart sayısının ve sistem parametrelerinin belirlenmesi

İkinci olarak, çalışmanın konusu olmamasına rağmen B-CONWIP sisteminin uygulanmasında temel parametrelerden biri olan sistem içerisindeki toplam kart miktarının belirlenmesidir. B-CONWIP sisteminde toplam kart sayısı bulunması için literatürde genel olarak Little's yasası (Denklem 5.1) kullanılmaktadır.

$$TH = \frac{WIP}{CT} \quad (5.1)$$

Denklem (5.1)'de çıktı oranı (TH), süreç içi yarımamülün (WIP) çevrim süresine (CT) bölünmesi ile bulunmaktadır. Bu denklemin kullanılabilmesi için üretim sürelerinin hafızasız olabilmesi gereksinimi dolayısıyla üstel dağılımda olduğu kabul edilmektedir (Hopp ve Spearman, 1996).

Little's yasası kullanılarak, sistemde darboğaz tezgahın boş kalmaması için gereken kritik WIP seviyesi (W_0) bulunabilmektedir. W_0 'ın bulunabilmesi için darboğaz tezgah üretim oranı (r_b) ve hattaki tüm makineler için ortalama uzun dönem üretim süresi olan kaba üretim süresi (T_0) çarpılmalıdır (Denklem (5.2)).

$$W_0 = r_b T_0 \quad (5.2)$$

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (X_{ijk} n_{ijk} P_{ijk} + X_{ijk} Y_{ijk} S_{ijk})}{K} \quad (5.3)$$

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K (X_{ik} n_{ik} P_{ik} + X_{ik} Y_{ik} S_{ik})}{K} \quad (5.4)$$

$$r_b = \frac{1}{T_b} \quad (5.5)$$

Denklem (5.2) ile bulunan değer bir üst tamsayı değerine tamamlanarak sistemin kart sayısı bulunabilmektedir.

EJS firmasından alınan bir aylık sipariş bilgileri ve Denklem (5.4) kullanılarak darboğaz tezgahta sipariş başına düşen ortalama üretim süresi $T_b = 561$ dk/sipariş bulunmaktadır. Darboğaz tezgah için üretim oranı Denklem (5.5) kullanılarak hesaplanmakta ve sonuç $r_b = 0,00178$ sipariş/dk bulunmaktadır. T_0 ise yine bir aylık sipariş bilgileri ve Denklem (5.3) kullanılarak hesaplanmakta ve $T_0 = 1934$ dk/sipariş bulunmaktadır. Bu iki veri ve Denklem (5.2) kullanılarak $W_0 = 3,44$ sipariş bulunmaktadır. Bir üst değere tamamlandığında kritik WIP değeri 4 sipariş yani 4 kart bulunmaktadır. Eğer sistemde 4 sipariştten az WIP bulunursa darboğaz tezgahta duruş yaşanacaktır. Bu değerler siparişler üzerinden ve parça listesini düzenleyen matematiksel model çözümü olmadan bulunmaktadır. Bu sebeple B-CONWIP sistemine tam olarak geçildiğinde değerlerde değişim yaşanacaktır. Ayrıca kart sayısının belirlenmesi parti büyüklükleri bulunduktan sonra belirlenmesi daha uygundur.

Çizelge 5.1. Aylık sipariş bilgileri kullanılarak hesaplanan B-CONWIP sistemi bilgileri

T₀	Kaba işlem süresi	1934	dakika/sipariş
T_b	Darboğaz tezgah için üretim süre ortalaması	561	dakika/sipariş
r_b	Darboğaz tezgah üretim oranı	0,00178	sipariş/dakika
W₀	Darboğaz tezgah duruşu olmaması için en az kart sayısı	3,44	sipariş

B-CONWIP sisteminde WIP seviyesinin belirlenmesi ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Üstte verilen yöntem, sadece basit bir çözüm bulmaktadır ve yöneticiler bu değere göre bir WIP seviyesi değeri atanabilmektedir.

5.3.3. B-CONWIP sisteminde parça listesinin oluşturulması

Parça listesi, önceki bölümlerde anlatıldığı üzere, B-CONWIP sisteminde siparişlerin sıralamasının ve parti büyüklüklerinin belirlendiği bölümdür. Çalışmanın asıl amacı parça listesinin 4. Bölümde oluşturulan yeni model ile

oluşturulmak ve örnek problem üzerinde sonuçlar incelenmektedir. Bu bölümde ise EJS firması için parça listesinin oluşturulmakta ve sonuçlar incelenmektedir.

EJS firmasından 30.12.2013 tarihine ait iki haftalık sipariş listesi alınmıştır. Üretime girmiş siparişler ve stokta hazır bulunan ürünler çıkarıldığında 8 adet sipariş kalmaktadır ve siparişler Çizelge 5.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.2. EJS firması 30.12.2013 tarihi itibarıyla sipariş durumu

Sipariş No	Ürün tipi	Sipariş Adet	Hazırlık Süresi (dk.)	İşlem Süresi (dk.)	Teslim Zamanı
1	14x28	90	60	11	25.1.2014
2	16x28	38	80	11	11.1.2014
3	15x28	30	60	11	18.1.2014
4	9x18	10	60	12	11.1.2014
5	9x18	18	60	12	18.1.2014
6	9x18	100	60	12	23.1.2014
7	13x20	100	60	9	23.1.2014
8	14x24	20	60	10	23.1.2014

Çizelge 5.1 incelendiğinde, bölüm 4’de oluşturulan modelin varsayımlarında farklı olarak aynı ürün tipinden iki adet sipariş bulunmaktadır. Fakat farklı teslim tarihlerinde olduklarından ayrı ürünler kabul edilmelidirler. Bu kabul sonrası siparişler 2 ile 3 ardışık olduklarında hazırlık süresi olacaktır.

4. Bölümde oluşturulan model darboğaz tezgah üzerinden çalışmasından dolayı Çizelge 5.1’de verilen siparişlerin darboğaz tezgah için termin tarihlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Tandem B-CONWIP sistemi sonrası bir sipariş için 9 iş günü (3780 dakika) sonra teslim edilebildiği varsayılmaktadır. Tandem B-CONWIP sisteminde ise darboğaz tezgah öncesi tezgahların kaba üretim süreleri toplanarak bir değer elde edilebilir. Bu değer T_0 ’dan T_b çıkartılarak hesaplandığında 1373 dakika bulunmaktadır. Bu veriler ışığında Çizelge 5.2’de darboğaz tezgah için hesaplanan termin süreleri verilmektedir.

Çizelge 5.3. Darboğaz tezgah için hesaplanan termin süreleri

Sipariş No	Ürün tipi	Sipariş Adet	Sistem Termin (dk)	T ₀ - T _b (dk)	Tandem CONWIP sonrası (dk)	Darboğaz Tezgah Termin (dk)
1	14x28	90	10080	1373	3780	4927
2	16x28	38	5040	1373	3780	0
3	15x28	30	7560	1373	3780	2407
4	9x18	10	5040	1373	3780	0
5	9x18	18	7560	1373	3780	2407
6	9x18	100	8820	1373	3780	3667
7	13x20	100	8820	1373	3780	3667
8	14x24	20	8820	1373	3780	3667

Erken bitirme maliyeti parti başına Denklem (5.6) kullanılarak hesaplanmakta, ortalama jant fiyatı 225 TL, Merkez Bankası yıllık faiz oranı % 7,93 , dakikalık faiz oranı ise $4,83 \cdot 10^{-7}$ ve aylık ortalama parti büyüklüğü 55 olmak üzere 0,0055 TL/dk. bulunmaktadır.

$$\alpha = \text{Ort. Jant Fiyatı} * \text{Dakikalık Faiz Oranı} * \text{Ort. Parti Büyüklüğü} \quad (5.6)$$

Fazla mesai maliyeti ise firma tarafından 6,10 TL/saat olarak verilmektedir. Denklem (5.7) kullanılarak dakikalık fazla mesai miktarı 0,102 TL/dk. hesaplanmaktadır.

$$\beta = \text{Saatlik Fazla Mesai} / \text{dakika olarak bir saat} \quad (5.7)$$

Ayrıca geç bitirme maliyeti firmalar tarafından uygulanmamasına rağmen tüm müşteriler teslim tarihlerine tam olarak uyulmasını istemektedir. Bu sebeple geç bitirme maliyeti diğer maliyetlerden belirgin olarak yüksek ve parti başına 1 TL/dk olarak alınmaktadır.

Üretim dengesizliği maliyeti ise, bu dengesizlikten kaynaklanan makine boş kalma durumundan gelmektedir ve bir vasıflı işçinin (yüksek maaşlı) maaşından hesaplanmakta ve bu maliyet ise 0,163 TL/dk'dır. Bununla birlikte, 4. bölümde oluşturulan modelde bulunan en fazla geç kalınabilecek süre kısıtı firmalar arasında bir farklılık olmadığından dolayı dikkate alınmamaktadır. Model iki haftalık bir süre (5040 dakika) için çözülmekte ve en fazla normal sürenin %10'u kadar fazla mesaiye (504 dakika) izin verilmektedir.

Çizelge 5.4. EJS firması için belirlenen maliyet parametreleri değerleri

Maliyet Tipi	Model Parametresi	Maliyet Miktarı
Erken bitirme maliyeti	α	0,0055 TL/dk.
Geç bitirme maliyeti	β	1 TL/dk.
Fazla mesai maliyeti	θ	0,102 TL/dk.
Üretim dengesizliği maliyeti	γ	0,163 TL/dk.

İlk olarak problem sadece üretim maliyetlerinin dikkate alındığı ($\pi=1$ ve $\mu=0$) durum için çözülmektedir. Çizelge 5.5’deki sonuçlar incelendiğinde, kart sayısı arttıkça maliyette belirgin bir artış veya azalış yaşanmamaktadır. Bunun temel nedeni ise zaten tüm fazla mesai kapasitesi kullanıldığı ve gecikmeler olduğundan ve üretim dengesizliği dikkate alınmadığından dolayı parti büyüklüğü bölündüğünde maliyetin artmasını önlemek için parti büyüklüklerinin sıfır değeri almalarıdır.

Çizelge 5.5. Sadece üretim maliyeti dikkate alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=0$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
8	4-2-7-3-5-6-8-1	10-38-100-30-18-100-20-90	577,076
9	4-2-7-3-5-6-8-8-1	10-38-100-30-18-100-4-16-90	577,093
10	4-2-7-3-5-6-8-8-8-1	10-38-100-30-18-100-4-0-16-90	577,109
11	4-2-7-3-5-6-8-8-8-8-1	10-38-100-30-18-100-4-0-0-16-90	577,126

Çizelge 5.6’de sadece üretim dengeleme dikkate alındığında ($\pi=0$ ve $\mu=1$) elde edilen sonuçlar verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde kart sayısı arttıkça amaç değeri fonksiyonu değeri azalmaktadır. Bu ilk durumda siparişlerin dengesiz olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.6. Sadece üretim dengeleme dikkate alınır (π=0 ve μ=1)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
8	6-1-7-2-3-5-8-4	100-90-100-38-30-18-20-10	176,04
9	1-7-6-2-3-6-5-8-4	90-100-75-38-30-25-18-20-10	141,81
10	4-8-5-6-1-3-2-1-6-7	10-20-18-27-30-30-38-60-73-100	127,14
11	4-8-5-3-7-7-1-2-1-6-6	10-20-18-30-46-54-39-38-51-47-53	74,33

Çizelge 5.7 amaç fonksiyonu için eşit ağırlıklandırılmış üretim maliyeti ve üretim dengeleme maliyeti değeri (π=1 ve μ=1) alınmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde kart sayısı 14 olduğunda en düşük maliyete ulaşılmaktadır. Kart sayısı 15'e geldiğinde ise amaç fonksiyonunda artış yaşanmaktadır.

Çizelge 5.7. Üretim maliyeti ve üretim dengeleme eşit alınır (π=1 ve μ=1)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
8	4-2-3-5-8-7-6-1	10-38-30-18-20-100-100-90	881,18
9	4-2-3-5-8-6-6-7-1	10-38-30-18-20-47-53-100-90	818,986
10	4-2-7-7-3-5-8-6-6-1	10-38-48-52-30-18-20-47-53-90	818,342
11	4-2-7-7-3-5-8-6-6-1-1	10-38-48-52-30-18-20-48-52-43-47	773,326
12	4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-1-1	10-38-48-52-30-18-20-30-35-35-42-48	739,02
13	4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-1-1-1	10-38-48-52-30-18-20-30-35-35-28-31-31	737,31
14	4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-6-1-1-1	10-38-48-52-30-18-20-21-26-26-27-26-32-32	716,22
15	4-2-7-7-3-5-6-6-6-6-6-8-1-1-1-1	10-38-48-52-30-18-22-27-27-24-20-18-24-24-24	719,77

Çizelge 5.8'da amaç fonksiyonundaki üretim dengesizliği katsayısının, üretim maliyetleri katsayısından iki kat büyük olduğu durum için sonuçlar verilmektedir. Çizelge 5.7'e benzer şekilde en iyi sonuca yine 14 kart sayısına ulaşıldığı zaman elde edilmektedir. Ayrıca en iyi sıralama ve parti büyüklükleri her ikisi içinde aynıdır.

Çizelge 5.8. Üretim dengeleme katsayısı üretim maliyetleri katsayısının iki katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=2$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
8	4-2-3-5-8-7-6-1	10-38-30-18-20-100-100-90	1169
9	4-2-3-5-8-6-6-7-1	10-38-30-18-20-47-53-100-90	1038,384
10	4-2-7-7-3-5-8-6-6-1	10-38-48-52-30-18-20-47-53-90	1037,74
11	4-2-7-7-3-5-8-6-6-1-1	10-38-48-52-30-18-20-48-52-43-47	944,639
12	4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-1-1	10-38-48-52-30-18-20-30-35-35-42-48	873,33
13	4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-1-1-1	10-38-48-52-30-18-20-30-35-35-28-31-31	866,89
14	4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-6-1-1-1	10-38-48-52-30-18-20-21-26-26-27-28-31-31	821,85
15	4-2-7-7-3-5-6-6-6-6-8-1-1-1-1	10-38-48-52-30-18-22-27-27-24-20-18-24-24-24	827,35

Çizelge 5.9’da amaç fonksiyonundaki üretim dengeleme katsayısının üretim maliyetleri katsayısının 5 katı olduğu durum incelenmektedir. Önceki sonuçlara benzer olarak en iyi sonucu veren kart sayısı 14 çıkmaktadır. Üretim sıralamasınında birebir aynı olmasına rağmen üretim dengeleme katsayısı baskın olduğundan parti büyüklükleri ufak farklılıklar göstermektedir.

Çizelge 5.9. Üretim dengeleme katsayısı üretim maliyetleri katsayısının beş katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=5$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
8	4-2-3-5-8-7-6-1	10-38-30-18-20-100-100-90	2032,613
9	4-2-3-5-8-6-6-7-1	10-38-30-18-20-47-53-100-90	1696,528
10	4-2-7-7-3-5-8-6-6-1	10-38-48-52-30-18-20-47-53-90	1695,93
11	4-2-7-7-3-5-8-6-6-1-1	10-38-48-52-30-18-20-48-52-43-47	1458,578
12	4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-1-1	10-38-48-52-30-18-20-30-35-35-42-48	1276,27
13	4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-1-1-1	10-38-48-52-30-18-20-30-35-35-28-31-31	1255,68
14	4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-6-1-1-1	10-38-48-52-30-18-20-21-26-26-27-26-32-32	1132,72
15	4-2-7-7-3-5-6-6-6-6-6-8-1-1-1-1	10-38-48-52-30-18-22-27-27-24-20-18-24-24-24	1138,73

Çizelge 5.10’da amaç fonksiyonundaki üretim dengeleme katsayısının üretim maliyetleri katsayısının 10 katı olduğunda elde edilen sonuçlar verilmektedir. Önceki sonuçların aksine en iyi sonuç kart sayısı 13 için elde edilmektedir.

Çizelge 5.10. Üretim dengeleme katsayısı üretim maliyetleri katsayısının 10 katı alınırsa ($\pi=1$ ve $\mu=10$)

Kart Sayısı	Sıralama	Parti Büyüklüğü	Toplam Maliyet
8	4-2-3-5-8-7-6-1	10-38-30-18-20-100-100-90	3471,9
9	4-2-3-5-8-6-6-7-1	10-38-30-18-20-47-53-100-90	2793,568
10	4-2-2-8-5-3-6-6-7-1	10-15-23-20-18-30-47-53-100-90	2444,118
11	4-2-7-7-3-5-8-6-6-1-1	10-38-48-52-30-18-20-48-52-43-47	2315,143
12	4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-1-1	10-38-48-52-30-18-20-30-35-35-42-48	1747,93
13	4-2-2-8-5-3-6-6-6-7-7-1-1	10-15-23-20-18-30-30-35-35-46-54-42-48	1606,11
14	4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-6-1-1-1	10-38-48-52-30-18-20-21-26-26-27-26-32-32	1666,84

Çizelge 5.11. Farklı üretim maliyeti ve üretim düzgünleştirme katsayılarında elde edilen en iyi sonuçlar

Kart Sayısı	π	μ	Sıralama	Parti Büyüklüğü
14	1	1	4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-6-1-1-1	10-38-48-52-30-18-20-21-26-26-27-26-32-32
14	1	2	4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-6-1-1-1	10-38-48-52-30-18-20-21-26-26-27-28-31-31
14	1	5	4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-6-1-1-1	10-38-48-52-30-18-20-21-26-26-27-26-32-32
13	1	10	4-2-2-8-5-3-6-6-6-7-7-1-1	10-15-23-20-18-30-30-35-35-46-54-42-48

Sonuç olarak hangi üretim maliyeti ve üretim dengeleme katsayılarının kabul edileceğine karar vermek gerekmektedir. Bunun için bölüm 4’de verilen genel çıkarımlar kullanılabilir. “ $\pi > 0$ ve $\mu > 0$ için, eğer bulunan kart sayısı ve sıralama tüm π ve μ değerleri için eşit ise parti büyüklüğünün belirlenmesi için en büyük μ değerine sahip sonuç seçilmelidir.” çıkarımı elde edilen durum için uygundur. Fakat ilk olarak hangi kart sayısının seçileceğine karar verilmelidir. Kart sayısı 14 için üç farklı çözümde en iyi sonuca ulaşılırken sadece $\pi=1$ ve $\mu=10$ olduğu durumda kart sayısı 13 için en iyi sonuca ulaşılmaktadır. $\pi=1$ ve $\mu=10$ durumu için üretim dengeleme maliyetinden daha fazla etkilendiği sonucuna

ulaşılabilir ve diğer üç sonuç kart sayısı 14 için en iyi sonuca ulaştığından kart sayısı 14 olan sonuçlar seçilmelidir. Bu noktadan sonra varsayıma dayanarak kart sayısı 14 için sıralamalar eşit olduğunda üretim dengeleme katsayı en büyük olan parti büyüklükleri seçilecektir. Sonuçta problemin en iyi sonucu, $\pi=1$ ve $\mu=5$ için kart sayısı 14, sıralama 4-2-7-7-3-5-8-6-6-6-6-1-1-1 ve parti büyüklükleri 10-38-48-52-30-18-20-21-26-26-27-26-32-32 bulunmaktadır.

Bu sonuçlar ile birlikte tekrar sistemdeki kart sayıları hesaplanarak çevrim sürelerindeki farklar karşılaştırılabilir. Çizelge 5.2’de verilen bilgiler kullanılarak ilk olarak parti büyüklüğüne bölünmeden elde edilen WIP miktarı ve çevrim süresi bulunabilmektedir. Kaba işlem süresi T_0 Denklem (5.3) kullanılarak 2107 dk/sipariş bulunmaktadır. Darboğaz tezgah için kaba işlem süresi T_b Denklem (5.4) kullanılarak 610 dk./sipariş bulunmaktadır. Darboğaz tezgahın üretim oranı r_b ise Denklem (5.5) kullanılarak 0,00164 sipariş/dk bulunmaktadır. Denklem (5.3) kullanılarak sistemdeki kart sayısı W_0 , 3,458 sipariş bulunmaktadır ve 4’e tamamlanmalıdır.

Çizelge 5.12. Çizelge 5.2’de verilen sipariş bilgileri kullanılarak hesaplanan B-CONWIP sistemi bilgileri

T₀	Kaba işlem süresi	2107	dakika/sipariş
T_b	Darboğaz tezgah için üretim süre ortalaması	610	dakika/sipariş
r_b	Darboğaz tezgah üretim oranı	0,00164	sipariş/dakika
W₀	Darboğaz tezgah duruşu olmaması için en az kart sayısı	3,458	sipariş

Çevrim süresi için pratik en kötü sonuç ile ilgili Hopp ve Spearman (1996) tarafından verilen denklem;

$$CT_{pwc} = T_0 + \frac{w-1}{r_b} \quad (5.8)$$

Denklem (5.8)'de verilen w değeri kart sayısını belirtmektedir ve 4 olacaktır. Sonuç olarak çevrim süresi ilk sipariş durumu için 3936 dakika bulunmaktadır.

Kart sayısı 14 olan ve matematiksel model ile bulunan en iyi sonuç içinde sonuçlar incelenmektedir. Kaba işlem süresi T_0 Denklem (5.3) kullanılarak 1132 dk bulunmaktadır. Darboğaz tezgah için kaba işlem süresi T_b Denklem (5.4) kullanılarak 347 dk./sipariş bulunmaktadır. Darboğaz tezgah üretim oranı r_b ise Denklem (5.5) kullanılarak 0,00288 kart/dk bulunmaktadır. Buradan Denklem (5.2) kullanılarak sistemdeki kart sayısı 3,26 bulunmaktadır ve 4'e tamamlanmalıdır. Çevrim süresi ise bu sonuçlardan yararlanarak 2174 dk bulunmaktadır.

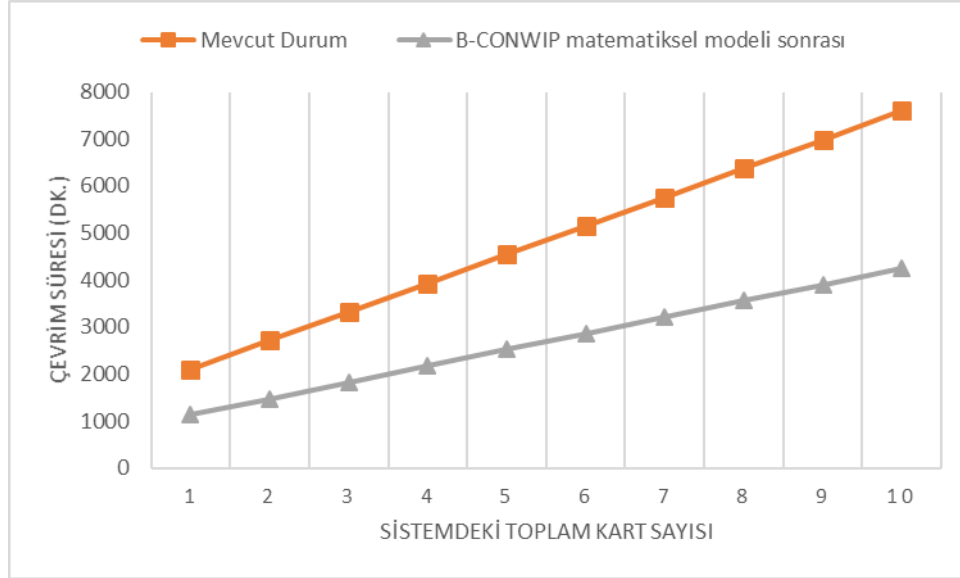
Çizelge 5.13. Matematiksel modelin sonuçları kullanılarak hesaplanan B-CONWIP sistemi bilgileri

T_0	Kaba işlem süresi	1132	dakika/sipariş
T_b	Darboğaz tezgah için üretim süre ortalaması	347	dakika/sipariş
r_b	Darboğaz tezgah üretim oranı	0,00288	sipariş/dakika
W_0	Darboğaz tezgah duruşu olmaması için en az kart sayısı	3,26	sipariş

Sistemdeki kart sayısı gözönüne alınarak, mevcut durum ile B-CONWIP matematiksel modeli sonrası karşılaştırma Şekil 5.3'de verilmektedir. Üretim esnekliğinin sağlanması için çevrim sürelerinin kısa olması önemli bir unsurdur ve model ile bu unsurun dikkate alındığı gözükmektedir. Şekilden elde edilebilecek bir diğer bilgi ise, sistemde kart sayısı yani WIP seviye arttırıldıkça çevrim süresi uzamaktadır. Ayrıca B-CONWIP matematiksel modeli kullanıldığında ve modelin çözümüne uyulduğunda kart sayısına bağlı çevrim süresinin artış oranı daha düşük olmaktadır.

EJS firmasında çevrim sürelerinin uzunluğundan dolayı yüksek parti büyüklükleri tercih edilmektedir. Örneğin 60 birimlik bir sipariş varsa 100 birime tamamlanmakta ve 40 birimlik ürün ise bir sonraki sipariş gelinceye kadar bitmiş

ürün stoğunda beklemektedir ya da ara mamül olarak saklanmaktadır. B-CONWIP modeli ve matematiksel model kullanılarak çevrim sürelerinin kısılması ile böyle bir ihtiyaç kalmayacaktır ve firma için önemli olan esneklik sağlanacaktır.



Şekil 5.3. Sistemdeki toplam kart sayısına bağlı çevrim süresi

B-CONWIP matematiksel modeli ile mevcut durumun karşılaştırıldığı bir diğer durum ise WIP seviyesidir. Her iki durumda da darboğaz tezgahın duruş yaşamaması için gerek sipariş miktarı ya da kart sayısı 4'dür. Fakat kartların içerdiği ortama ürün miktarı farklıdır. Siparişlerin bölünmediği bir parça listesi kullanıldığında kart başına düşen ortalama ürün miktarı 50,75 ve WIP miktarı ise 203 jant olacaktır. Çalışmada oluşturulan matematiksel modelin sonucunda ise ortalama kart başına düşen ürün miktarı 29'dur ve WIP miktarı ise 116'dır. Matematiksel modelin çözümüyle birlikte ortalama % 43 WIP miktarında azalma yaşanmaktadır. Ayrıca B-CONWIP sisteminin uygulanmasına atölye düzeyi kontrolde seviyeside artacaktır.

Çizelge 5.14'de mevcut durum yerine B-CONWIP uygulanması durumunda oluşan iyileştirmeler gösterilmektedir. Her iki durum için çevrim süresi miktarları incelendiğinde B-CONWIP kullanılarak 1762 dakika ve % 45 iyileştirme

sağlanabileceği gözükmektedir. Denklem (5.9) kullanılarak yıllık çevrim miktarı bulunmaktadır.

$$\text{Yıllık Çevrim Miktarı} = \text{Yıllık Üretim Süresi (dk.)} / \text{Çevrim Süresi (dk.)} \quad (5.9)$$

Denklem (5.9) kullanıldığında yıllık çevrim miktarı mevcut durum için 26,67 adet ve B-CONWIP içinse 48,3 adet bulunmaktadır. B-CONWIP uygulandığında yıllık 21.63 çevrim fazladan yapılabilecektir ve % 81 iyileştirme olmaktadır. Ortalama yıllık üretim miktarı Denklem (5.10) kullanılarak bulunmaktadır.

$$\text{Ortalama Yıllık Üretim} = \text{Ortalama parti büyüklüğü} * \text{Yıllık Çevrim Miktarı} \quad (5.10)$$

Denklem (5.10) kullanıldığında ortalama yıllık üretim miktarı mevcut durum için 1354 adet ve B-CONWIP içinse 1401 adet çıkmaktadır. B-CONWIP kullanıldığında yıllık 47 adet daha fazla yapılabilmektedir ve % 3,5 iyileştirme olmaktadır.

Çizelge 5.15’de mevcut durum için WIP miktarı 203 adet iken B-CONWIP kullanıldığında ise bu değer 116 adete düşmektedir ve % 43 iyileştirme olmaktadır. Ortalama WIP maliyeti ise Denklem (5.12) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Ortalama WIP Maliyeti} = \text{WIP miktarı} * \text{Ortalama Ürün Fiyatı} * \text{Merkez Bankası Yıllık Faiz Oranı} \quad (5.12)$$

Denklem (5.12) kullanıldığında ortalama yıllık WIP maliyeti mevcut durum için 3622 TL bulunurken B-CONWIP içinse 2070 TL bulunmaktadır ve %43 iyileştirme olmaktadır.

Çizelge 5.14’de WIP maliyetini ciroya oranı mevcut durumda %1,2 iken B-CONWIP kullanıldığında % 0,65’e düşmektedir ve % 46 iyileştirme olmaktadır.

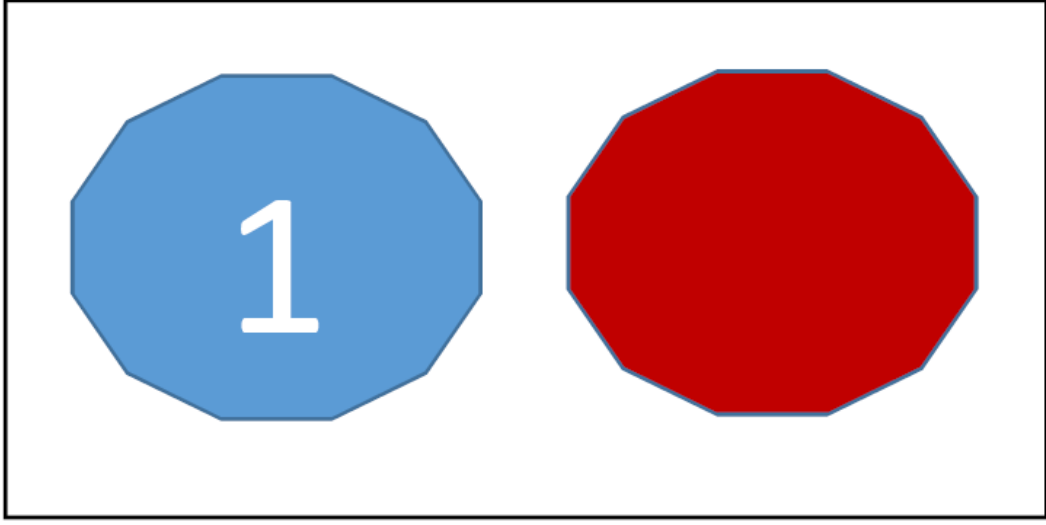
Çizelge 5.14. Mevcut durum ile B-CONWIP uygulanması sonrası durum karşılaştırması

	Mevcut Durum	B-CONWIP	İyileştirme	% İyileştirme
Çevrim Süresi (dk.)	3936	2174	1762	% 45
Yıllık Çevrim Miktarı	26,67	48,3	21,63	% 81
Ort. Yıllık Üretim (adet)	1354	1401	47	% 3,5
WIP miktarı (adet)	203	116	87	% 43
Ort. Yıllık WIP Maliyeti (TL)	3622	2070	1552	% 43
WIP maliyetinin Ciroya Oranı	% 1,2	% 0,65	% 0,55	% 46

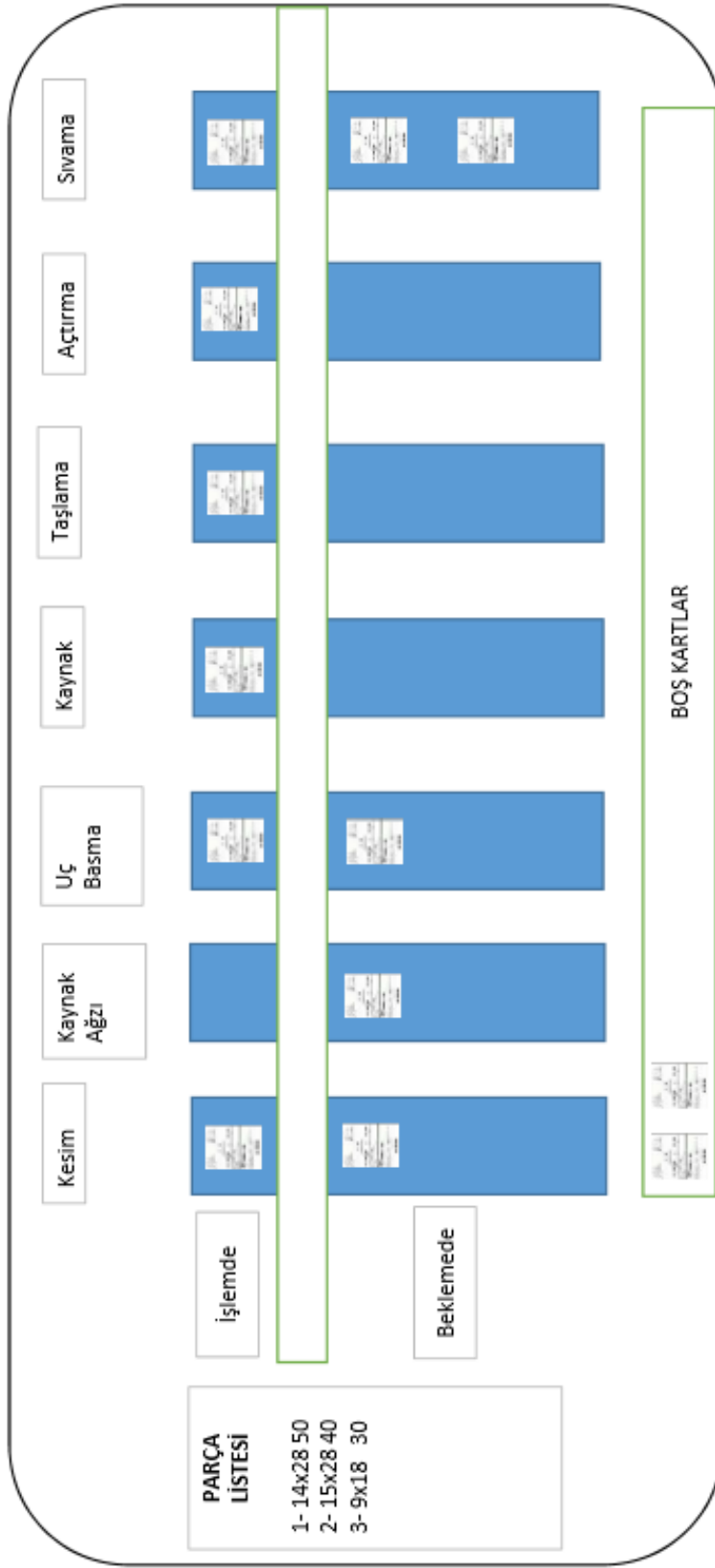
Ayrıca Çizelge 5.14’de bulunan iyileştirmeler dışında, çevrim süresinin azalması ve esnekliğin artması ile müşteri servis seviyesi artacaktır ve siparişlerde yükselme yaşanması muhtemeldir. B-CONWIP kullanılması ile kaynaklanan WIP azalması ile firmanın sürekli olarak iyileştirme çalışmalarında bulunmasını tetikleyecektir ve bu durumda üretim oranı ve kalite artacaktır.

5.3.4. Parça listesi tablosunun oluşturulması ve fiziki kartların yapısı

İşletmede yarımamül ile birlikte ilerleyen ve parça listesinde ilerleyen olmak üzere iki çeşit kart kullanılmalıdır. Parça listesindeki kartlarda ürün ile ilgili bilgiler bulunurken yarımamül ile birlikte ilerleyen kartta sadece bir numara bulunmaktadır (Şekil 5.8). Ayrıca acil işler için kırmızı kart kullanılmalıdır. Parça listesi elektronik olarak bir ekranda gösterilirse daha işlevsel olsada bir tablo ya da tahta üzerinde de kullanılabilir. Şekil 5.9’de fabrika için düşünülen parça listesi verilmektedir.



Şekil 5.4. B-CONWIP sistemi yarımamül ile birlikte ilerleyen plastik kartlar



Şekil 5.5. CONWIP sistemi için oluşturulan parça listesi

5.3.5. Acil sipariş kartları ve kartsız üretime girme durumu

Acil bir sipariş geldiği durumlarda öncelik vermek gerekmektedir. Fakat fabrika içinde karışıklığa yol açmamak için acil kartların öne geçmesi için makinalar belirlenmelidir ve sadece bu makinalarda acil işler diğer işlerin önüne geçebilmelidir. Hem parça listesinde hemde atölyede acil siparişler için farklı renkli (kırmızı olabilir) kartlar kullanılmalıdır.

Bir diğer özel durum ise B-CONWIP sisteminin kesin kuralı olan kartsız üretime girilmeme kuralının çiğnenmesidir. Kartsız üretime girme durumu sadece darboğaz tezgahın boş kalma ihtimali doğduğunda veya darboğaz tezgah sonrası duruşlar yaşandığında kullanılmalıdır.

5.3.6. Siparişlerin donmuş bölgede bekletilmesi

B-CONWIP sisteminde boş kart bulunduğu sürece siparişler üretime girilmesi için tetiklenmektedir. Fakat teslim zamanına uzun bir süre olan bir siparişin üretime girmesi erken bitirme maliyetinde artmaya ve esnekliğin kaybedilmesine neden olacaktır. Bu durumlar için donmuş bölge (frozen zone) oluşturulmalıdır. Donmuş bölgede olan siparişler parça listesine alınmayacaklardır ve bu durumda üretime girmeleri engellenecektir. Donmuş bölge sınırı tüm sistem için oluşan çevrim süresine göre belirlenebilmektedir. Örnek olarak teslim tarihine 6 haftadan fazla olan siparişler donmuş bölgede bekletilebilirler.

5.4. B-CONWIP Uygulama Sonrası Kazanımlar

Bu bölümde sipariş için üretim yapan ve darboğaz tezgahı bulunan EJS firması için neden B-CONWIP sisteminin önerildiği, sistemin nasıl entegre edileceği ve 4. bölümde oluşturduğumuz üretim sırası ve parti büyüklüğünü bulan B-CONWIP matematiksel modelinin EJS firmasından alınan veriler ve sipariş bilgileri ile nasıl bir sonuç oluşturduğu ve iyileştirmeler incelenmektedir.

B-CONWIP uygulanması sonrası EJS firmasında elde edilecek kazanımlar aşağıdaki gibidir:

- Mevcut durumda atölye düzeyi kontrol yokken, B-CONWIP ile atölye düzeyi kontrol yapılabilecektir.
- WIP seviyesinde ve WIP maliyetinde % 43'lük bir azalma yaşanacaktır.
- Çevrim süresinde % 45'lik bir azalma yaşanacaktır.
- Yıllık üretim ve cirosunda % 3,5'lik artış yaşanacaktır.
- WIP maliyetinin ciroya oranında % 46'lık azalma yaşanacaktır.
- B-CONWIP matematiksel modeli ile siparişlerin geç kalma süreleri en küçüklenecektir.
- WIP miktarının azalması ve çevrim süresinin kısılması ile üretim esnekliğinde büyük miktarda artış yaşanacaktır.
- Bir kart için gereken işlem süreleri sabitlenmeye çalışıldığından termin süresi tahminleri kolaylaşacaktır.
- Müşterilere verilen sipariş termin sürelerinde ve değişkenliğinde büyük azalmalar yaşanacaktır.
- WIP miktarından kaynaklanan atölye içi düzensizlik ortadan kalkacaktır.
- Siparişler için oluşturulan donmuş bölgeler ile erken bitirmelerin önüne geçilecektir.
- Acil siparişlere geçiş üstünlüğü sağlanarak acil durumlarda müşteri isteklerinin karşılanması sağlanacaktır.
- Basit kart akış yöntemi ile işçilerin üretilen ürünleri arama süresi ve dolayısıyla hazırlık sürelerinde azalma yaşanacaktır.
- Esnek bir üretim sistemine kavuşulması ile pazar payında ve firmanın rekabet gücü artış yaşanacaktır.
- WIP miktarının azalması ile firmanın sürekli olarak iyileştirme yapması tetiklenecektir.
- WIP miktarının azalması ile kalite kontrolü kolaylaşacak ve kalitede iyileştirme sağlanacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz rekabet ortamında ayakta kalabilmek için özellikle KOBİ'ler olmak üzere işletmeler üzerinde üretim sistemlerini yenilemek ve sürekli olarak iyileştirmeyi sağlayacak hamleler yapmak zorunda bırakılmaktadır. Ülkemizde KOBİ'ler çoğunlukla yalın üretim sistemini ve JIT gibi sistemleri benimsemiş büyük sanayi kuruluşlarının tedarikçisi olmaktadır. Bu sebeple KOBİ'ler müşteri isteklerinin tam zamanında karşılamak zorunda kalmaktadırlar. Fakat birçok KOBİ altyapı ve sermaye azlığı gibi nedenlerden dolayı büyük ceza ve müşteri kaybetme riskleri altında kalmaktadırlar. Bu sebeple üretim yönetim sisteminin seçilmesi KOBİ'ler için çok büyük önemli olmaktadır.

Literatürde birçok üretim yönetim sistemleri bulunmaktadır. Fakat hangi sistemin seçileceği büyük bir problem oluşturmaktadır ve yanlış seçimlerden dolayı firmalar uygulama ve entegre olma sorunlarıyla karşılaşmaktadırlar. Bu çalışmada, sipariş için üretim yapan ve darboğaz içeren üretim çevreleri için B-CONWIP üretim kontrol sistemi tavsiye edilmektedir. B-CONWIP sisteminin en büyük avantajı olarak ise kolay uygulanması görülmektedir. Bu sebeple KOBİ'ler için daha da önemli bir sistem haline gelecektir ki B-CONWIP sistemi değişkenlikten diğer sistemlere göre daha az etkilenmesi ve üretim esnekliği getirmesi nedeniyle önemi bir kat daha artmaktadır.

CONWIP sistemi ile ilgili literatürde yeterli sayıda çalışma olmasına rağmen yapı ve karşılaştırmalar üzerine ve genellikle benzetim çalışmaları yapılmaktadır. CONWIP ile ilgili az sayıda matematiksel model içeren çalışma bulunmaktadır ve genellikle stok için üretim çevreleri için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada ise CONWIP sisteminde sipariş için üretim yapılan ve darboğaz içeren üretim çevresi için sıralama ve parti büyüklüğü belirleyen bir matematiksel model oluşturulmaktadır. Matematiksel model dört ayrı problemde çözülmekte ve sonuçlar incelenmektedir.

B-CONWIP matematiksel modelinin örnek problemlerde çözümden, amaç fonksiyonunda bulunan üretim maliyeti ve üretim düzgünleştirme katsayılarını belirlemek için bazı çıkarımlar önerilmiştir. Fakat bu çıkarımlar her durum için geçerli olamayacaktır. Bu durumda seçimleri yapmak üretim yöneticilerine

bırakılabilmektedir. Fakat bu değerleri belirlemek için bulanık mantık, sezgisel yöntemler ve başka bir matematiksel model kullanılabilir.

B-CONWIP modelinin Eskişehir Jant Sanayi firması için uygulama adımları anlatılmaktadır. Ayrıca B-CONWIP matematiksel modelinin firmadan alınan veriler ve sipariş bilgileri ile çözümü yapılmaktadır. B-CONWIP matematiksel model ile elde edilen sonuçlar mevcut durum ile karşılaştırılmakta ve belirgin bir iyileştirme sağladı görülmektedir. Özellikle WIP'in azalması ve esnekliğin sağlanması ile firmanın rekabet gücü ve pazar payında artış yaşanacaktır. Böylelikle B-CONWIP modelinin ülkemizde bulunan KOBİ'ler için geçerli bir model olacağı öngörülmektedir.

Türkiye'de uygulanması kolay olmasına ve çoğu faydasına rağmen CONWIP sistemi ile ilgili çalışma bulunmamaktadır. Çalışma CONWIP için hem ayrıntılı bir Türkçe kaynak niteliğinde olup hem de literatür için yeni bir B-CONWIP matematiksel modeli sunmaktadır.

B-CONWIP matematiksel modeli hem sıralama hem de parti büyüklüğü belirlemesinden dolayı NP-zor bir problemdir. Bu nedenle ürün çeşitliliği fazla olan işletmeler için metasezgisel yaklaşımlara yönelmek gerekmektedir.

CONWIP sisteminde, WIP seviyesinin ya da kart sayısının belirlenmesi de bir başka çalışma konusudur. Literatürde konu ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bununla birlikte çalışmalar genellikle kuyruk modelleri ile ilgili olmasına rağmen matematiksel model ve sezgisel veya metasezgisellerle çalışmalar yapılabilir.

CONWIP sistemi için tüm üretim parametrelerini içeren yazılım çalışmaları yapılabilir ve parça listesinden itibaren MRP ile kolay bir şekilde bağlantısı kurulabilir. Özellikle WIP seviyesinin anlık olarak takip edilmesi ve dinamik olarak WIP seviyesinin belirlenmesi için yazılım programları kullanılması CONWIP sisteminin işleyişinde daha etkin bir hale gelmesi sağlanabilir. Ayrıca barkod ya da Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio-frequency identification – RFID) teknolojileri kullanarak daha etkin bir parça listesi kullanımı, anlık üretim değerleri, hedef üretim değerleri ve kalite değerleri takip edilebilir. Son olarakta Elektronik veri değişimi (Electronic data interchange

- EDI) gibi direkt olarak müşteri ile bağlantılı sistemler entegre edilerek müşteriler ile sıkı ilişkiler geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Acar, N. (2003), *Tam Zamanında Üretim*, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara.
- Altun, K., ve Göleç, A. (2011), " Üretim kontrol sistemlerini kıyaslayan bir benzetim çalışması," Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27(2), 200-207.
- American Production and Inventory Control Society (1979), *Training aid-shop floor control*, APICS Yayınları, Virginia.
- Beamon, B.M., ve Bermudo J.M. (2000), "A hybrid push/pull control algorithm for multi-stage, multi-line production systems," *Production planning and control*, 11, 349-356.
- Benton, W.C., ve Shing, H. (1998) "Manufacturing planning and control: the evolution of MRP and JIT integration," *European journal of operation research*, 110, 411-440.
- Bertrand, J.W.N. (1983), "The use of workload information to control job lateness in controlled and uncontrolled release production systems," *Int. J. and operation management*, 3 (2), 79-92.
- Bonney, M.C., Zhang, Z., Head, M.A., Tien, C.C., ve Barson, R.J. (1999), "Are push and systems really so different," *International Journal of Production Economics*, 59 (1-3), 53-64.
- Bonvik, A.M., Dallery Y., ve Gershwin S.B. (2000), "Approximate analysis of production systems operated by a CONWIP finite buffer hybrid control policy," *Int. J. of production research*, 38, 2845-2869.
- Browne, J., Harhen J., ve Shivan J. (1996), *Production Management Systems*, Addison Wesley, Singapur.
- Cao, D., ve Chen M.Y. (2005), "A mixed integer programming model for a two line CONWIP based production and assembly system," *Int. J. of production economics*, 95, 317-326.
- Celley, A.F., Clegg W.H., Smith A.W., ve Vonderembse M.A. (1986), "Implementation of JIT in United States," *Journal of purchasing and material management*, 9-15.

- Chang, T.M., ve Yin Y. (1994), “Generic kanban systems for dynamic environments,” *Int. J. of production research*, 32, 889-902.
- Di Mascolo, M.Y., Frein Y., ve Dallery Y. (1996), “An analytical method for performance evaluation of kanban controlled production systems,” *Operation research*, 44 (1), 50-64.
- Duenyas, L., ve Hopp W. J. (1992), “CONWIP assembly with deterministic processing and random outrages,” *IEE Transactions*, 24, 91-109.
- Edwards, J., N. (1983), “MRP and Kanban - American Style,” *APICS 26th Conference Proceedings*, 586-603.
- Emre, A. (1995), *Tam zamanında üretim sistemlerinin ülkemizdeki uygulamaları ve sorunları*, MPM Yayınları, Ankara.
- Esparrago Jr., R., A. (1988), “KANBAN,” *Production and Inventory Management Journal*, 29, 1.
- Framinan, J.M., Ruiz P.L., ve Usano R. (2003), “The CONWIP production control systems: review and research issue,” *Production planning and control*, 14 (3), 255-265.
- Framinan, J.M., Usano R., ve Leisten R. (2001), “Sequencing CONWIP flowshops: analysis and heuristics,” *Int. J. Prod. Res.*, 39 (12), 2735-2749.
- Glasse, C.R., ve Resende M.G.C. (1988), “A scheduling rule for release in semiconductor fabrication,” *Operation research letters*, 7, 213-217.
- Golany, B., Dar-EL E.M., ve Zeev N. (1999), “Controlling shop floor operations in a multi-family, multi-cell manufacturing environment through constant work-in-process,” *IIE Transactions*, 31, 771-781.
- Gstettner, S., ve Kuhn H. (1996), “Analysis of production control systems kanban and CONWIP,” *Int. J. of production research*, 34, 3253-3273.
- Harrod, S, ve Kanet J. (2013), “Applying work flow control in make-to-order job shops,” *Int. J. Production Economics*, 620-626.
- Herer, Y.T., ve Masin M. (1997), “Mathematical programming formulation of CONWIP based production lines,” *Int. J. Prod. Res.*, 35 (4), 1067-1076.
- Hopp, W. J., ve Spearman M. L. (1996), *Factory Physics: Foundation of Manufacturing Management*, The McGraw-Hill Companies, Inc.

- Hopp, W. L., Iravani S.M.R., Shou B., ve Lien R. (2009), "Design and control of agile automated CONWIP production lines," *Naval research logistic*, 56, 42-56.
- Hopp, W.J., ve Roof M.L. (1998), "Setting WIP levels with statistical throughput control in CONWIP production lines," *Int. J. of production research*, 36, 867-882.
- Hopp, W.J., ve Spearman M.L. (1991), "Throughput of a constant work in process manufacturing line subject to failure," *Int. J. of production research*, 29, 635-655.
- Huang, M., Wang D., ve Ip W.H. (1998), "Simulation study of CONWIP for a cold rolling plant," *Int. J. of production economics*, 54, 257-266.
- Jackson, J.R. (1963), "Jobshop-like queuing systems," *Management science*, 10, 131-142.
- Karaesmen, F., ve Dallery Y. (2000), "A performance comparison of pull type control mechanisms for multi-stage manufacturing," *Int. J. of production economics*, 68, 59-71.
- Koçak, A. (2007), *Malzeme yönetiminde MRP ve KANBAN sistemlerinin bütünleştirilmesi ve melez sistem yapısının geliştirilmesi*, Doktora tezi, Gazi üniversitesi sosyal bilimler enstitüsü işletme anabilim dalı, Ankara.
- Koh, S.G., ve Bulfin R.L. (2004), "Comparison of DBR with CONWIP in an unbalanced production line with three stations," *Int. J. of production research*, 42, 391-404.
- Krishnamurty, A., ve Suri R. (2009), "Planning and implementing POLCA: a card-based control system for high variety or custom engineered products," *Production planning and control*, 20 (7), 596-610.
- Lambrecht, M., ve Segaeert. (1990), "Buffer stock allocation and assembly type production lines," *Int. J. of Operation and production management*, 10 (2), 47-61.
- Leu, B. (2000), "Generating a backlog list for a CONWIP production line: a simulation study," *Production planning and control*, 11, 409-418.

- Luh, P.B., Zhou X., ve Tomastik R.N. (2000), “An effective method to reduce inventory in job shops,” *IEEE Transactions on robotics and automation*, 16, 420-424.
- Mehrsai, A., Karimi H.R., ve Scholz-Reiter B. (2013), “Toward learning autonomous pallets by using fuzzy rules, applied in a CONWIP system,” *Int. J. Adv. Manuf. technol*, 64, 1131-1150.
- Monden, Y. (1998), *Toyota production systems - an integrated approach to just-in-time*, Engineering and Management Press, 3. Baskı, ABD.
- Orlicky, J. (1975), *Material Requirements Planning: The New Way of Life in Production and Inventory Management*, McGraw-Hill, Newyork.
- Roderick, L.M., Toland J., ve Rodriguez F.P. (1994), “A simulation study of CONWIP versus MRP at Westinghouse,” *Computers and industrial engineering*, 26, 237-242.
- Ryan, S.M., ve Choobineh F.F. (2003), “Total WIP and WIP mix for a CONWIP controlled job shop,” *IIE Transactions*, 35, 405-418.
- Satyam, K, and Krishnamurthy A. (2008), "Performance evaluation of a multi-product system under CONWIP control," *IIE Transactions*, 252-264.
- Satyam, K., ve Krishnamurthy A. (2013), “Performance analysis of CONWIP systems with batch size constraints,” *Ann. Oper. Res.*, 209, 85-114.
- Segerstedt, A. (1996), “Formulas of MRP,” *Int. J. Production Economics*, 46-47, 127-136.
- Slomp, J., Bokhorst J.A.C., ve Germs R. (2009), “A lean production control system for high-variety/low-volume environments: a case study implementation,” *production planning and control*, 20 (7), 586-595.
- So, K.C. (1990), “The impact of buffering strategies on the performance of production line systems,” *Int. J. of production research*, 28, 2293-2307.
- Soyuer, H. (1999), “Tam zamanında üretim sistemlerinin küçük ve orta ölçekli işletmelerde uygulama koşulları,” *Gazi Üniversitesi İ.B.B.F. Dergisi*, 1 (2), 155-166.
- Spearman, M.L. (1998). *An analytic congestion model for closed production systems*, Department of industrial engineering and management sciences, Northwestern university, Technical report, ABD.

- Spearman, M.L. (1992), "Customer service in pull production systems," *Operation reseach*, 40, 53-63.
- Spearman, M.L., ve Zazanis M.A. (1992), "Push and pull production systems: issues and comparisons," *Operation research*, 40, 521-532.
- Spearman, M.L., Woodruff, D.L. ve Hopp W. J. (1990), "CONWIP: a pull alternative to kanban," *INT. J. PROD. RES.*, 879-894.
- Suri, J. (2003), *QRM and POLCA: a winning combination for manufacturing enterprises in the 21st century*, Technical report, Center for quick response manufacturing.
- Takahashi, K., Myreshka, ve Hiroteni D. (2005), "Comparing CONWIP, synchronized CONWIP, and kanban in complex supply chains," *Int. J. production economics*, 25-40.
- Tardif, V., ve Maaseiduaag L. (2001), "An adaptive approach to controlling kanban systems," *European journal of operational research*, 132, 411-424.
- Üreten, S. (1998), *Üretim işlemler yönetimi, planlama-denetim kararları karar modelleri ve iyileştirme yaklaşımları*, THK Basımevi, Ankara.
- Vandaele, N., Nieuwenhuysse I.V., Claerhout D., ve Cremmey R. (2008), "Load-Based POLCA: an integrated material control system for multiproduct, multimachine job shops," *Manufacturing and service operations management*, 10 (2), 181-197.
- Weitzman, R., ve Rabinowitz G. (2003), "Sensitivity of 'push' and 'pull' strategies to information updating rate," *Int. J. of production research*, 41, 2057-2074.
- Zhang, W., ve Chen M. (2001), "A mathematical programming model for production planning using CONWIP," *INT. J. PROD. RES.*, 2723-2734.
- Zhang, W. (2007), *Production planning in a multi-product manufacturing enviroments using constant work-in-process*, Concordia University, Doktora Tezi, Montreal.