

A comparative study and a proposal of a decision support system for the pull systems

İhsan EROZAN*

Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, 43100, KÜTAHYA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 24/12/2018

Revision :20/06/2019

Accepted:27/06/2019

Highlights

- Production control systems.
- Comparison of pull systems.
- A decision support system for control of pull systems.

Keywords

Pull systems
 Kanban
 Conwip
 Polca

Pull system is a production approach that material movement is triggered by a signal. In this study, CONWIP and POLCA pull systems that are proposed as an alternative to kanban have been analysed and a comparative study has been presented. Besides, a decision support system has been proposed to assist in selecting the most appropriate pull system.

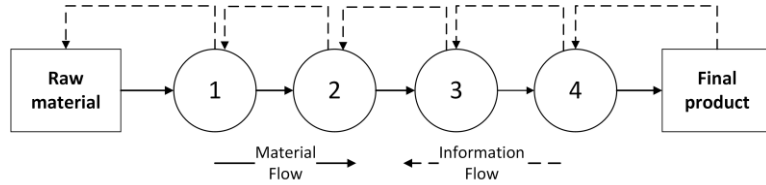


Figure A. Material and information flow in a pull system

Purpose: The purposes of this study are to analyse kanban, CONWIP, and POLCA pull systems and to propose a decision support system to assist in selecting the most appropriate pull system.

Theory and Methods: The proposed decision support system was based on the fuzzy logic and simulated using MATLAB.

Results: The experimental results have shown that the proposed decision support system can produce good results for different inputs and can be a guide for decision makers in production environment.

Conclusion: In this study, CONWIP and POLCA pull systems that are proposed as an alternative to kanban were analysed. According to the results of this analysis, a decision support system was proposed to assist in selecting the most appropriate pull system. The system was tested using a dataset that has 30 records. The results have proved that the proposed system can produce good results for different inputs.



Çekme sistemleri için karşılaştırmalı bir analiz ve bir karar destek sistemi önerisi

İhsan EROZAN*

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 43100, KÜTAHYA

Özet

Çekme sistemi, malzeme hareketinin bir sinyal aracılığı ile tetiklendiği üretim yaklaşımıdır. Çekme sistemi genelde kanban sistemi ile aynı anlamda kullanılmasına rağmen bazı üretim ortamlarında kanban sisteminin iyi çalışmadığı görülmüş ve kanbana alternatif olan CONWIP ve POLCA gibi çekme sistemleri geliştirilmiştir. Literatürdeki farklı çekme sistemlerinden dolayı üretim ortamına ve pazar şartlarına uygun çekme sisteminin seçilmesi etkili üretim sistemleri geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada kanbana alternatif olarak önerilen CONWIP ve POLCA çekme sistemleri incelenmiş ve karşılaştırılmalı bir değerlendirme sunulmuştur. Bu değerlendirmenin sonucu olarak uygun çekme sisteminin seçilmesine yardımcı olabilecek bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar bulanık mantığa dayalı olan bu karar destek sisteminin farklı girdiler için iyi sonuçlar üretebildiğini ve üretim ortamındaki uzman olmayan karar vericilere yol gösterici olabileceğini göstermiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 24/12/2018
 Düzeltilme: 20/06/2019
 Kabul: 27/06/2019

Anahtar Kelimeler

Çekme sistemleri
 Kanban
 Conwip
 Polca

Keywords

Pull systems
 Kanban
 Conwip
 Polca

A comparative study and a proposal of a decision support system for the pull systems

Abstract

Pull system is a production approach that material movement is triggered by a signal. Although the pull system is usually used as a synonym of kanban system, it has been seen that kanban does not work well in some production environments, and some pull system alternatives to kanban such as CONWIP and POLCA are developed. Due to different pull systems in the literature, selection of a pull system that is suited to the production environment and market conditions plays an important role in the development of effective production systems. In this study, CONWIP and POLCA pull systems that are proposed as an alternative to kanban have been analysed and a comparative study has been presented. As a result of the work, a decision support system has been proposed to assist in selecting the most appropriate pull system. The decision support system is based on fuzzy logic theory. The experimental results have shown that the decision support system based on the fuzzy logic can produce good results for different inputs and can be a guide for decision makers in production environment who are not expert.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

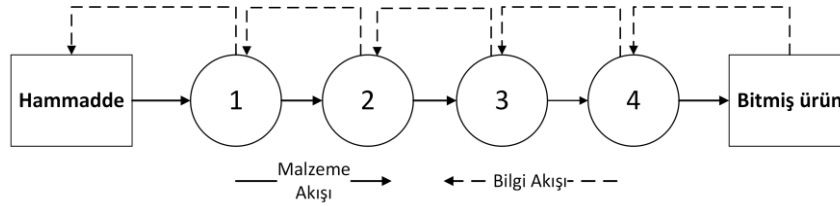
Üretim kontrol stratejileri genelde çekme ve itme sistemleri olarak iki başlıkta sınıflandırılır. Bu iki kavram arasındaki temel ayrım üretimin tetiklenmesi yani üretim emrinin verilmesi noktasında ortaya çıkmaktadır [1]. İtme sistemlerinde üretim, talep tahminine göre tetiklenirken çekme sistemlerinde üretim anlık talebe göre tetiklenir. Üretimin tetiklenmesinde kullanılan bu iki strateji; süreç içi stoku (work-in-process-WIP), hammadde stokunu ve nihai ürün stokunu yönlendirebildiği için üretim kontrolünde önemli bir yere sahiptir.

Çekme sistemi (pull system), Toyota firmasının 1955–1965 yılları arasındaki çalışmaları sonucunda ortaya çıkmış [2] ve kısa sürede Toyota üretim sisteminin ve tam zamanında üretimin önemli bir parçası haline

gelmiştir. Günümüzde tam zamanında üretimin (just-in-time-JIT) gerçekleştirilmesi için üretimde uygun bir çekme sisteminin kullanılması gerekmektedir.

Çekme sistemi günümüzün modern üretim sistemleri tarafından sıkça tercih edilen bir üretim kontrol yaklaşımıdır. Bu yaklaşımın üretimde popüler olmasının temel nedeni Toyota üretim sisteminin veya batıdaki adıyla yalın üretim sisteminin çekme sistemi ile stok ve maliyetleri azaltmadaki göz alıcı başarısıdır. Çekme sistemi bu başarıyı mevcut müşteri talebini üretim süreci boyunca sınırlı veya yeterli boyutta çekerek gerçekleştirir.

Çekme sisteminin literatürdeki en önemli örnekleri tam zamanında üretim ve süpermarket sistemidir. Tam zamanında üretimde çekme genellikle geleneksel kanban sistemi ile gerçekleştirilir. Süpermarket sistemi ise süpermarketlerdeki rafların beslenmesi yaklaşımına dayanır. Bu yaklaşımda, müşteri raftan bir ürün çektiğinde çekilen sayı kadar ürün rafa konulur. Süpermarket sistemini üretimde uygulamak için istasyonlar arasına süpermarketler kurulur. Gerek tam zamanında üretim gerekse de süpermarket sistemi çekme sisteminin bütün özelliklerine sahiptir. Bu iki sistem bütünleşik olarak kullanılabilir. Bu sistemler bilinenin aksine az da olsa bir miktar stokla çalışırlar. Ancak stok seviyesi genelde riskleri en küçükleyecek kadardır ve asla itme sistemi kadar çok değildir.

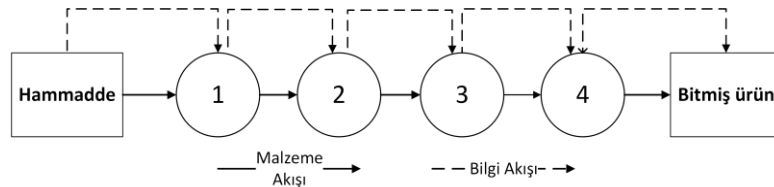


Şekil 1. Çekme sisteminde malzeme ve bilgi akışının gösterimi

Çekme sistemi müşteri talebine bağlı olarak tetiklenen bir sistemdir. Bu nedenle müşteri talebi olmadığı sürece çekme sistemi ile üretim yapılmaz [3], böylece malzeme hareketi sıkı bir şekilde kontrol edilmiş olur. Çekme sisteminde malzeme hareketi; ya müşteri siparişiyle bitmiş ürün stokundan ürün azalmasıyla (süpermarket sistemi) ya da stokta olmayan bir ürüne sipariş gelmesi ile başlar. Bu sistemde malzeme hareketinin veya üretimin başlaması için bir önceki istasyona/sürece bir sinyal (bilgi) gönderilir. Bu sinyal genellikle bir istasyon üretimde kullandığı girdileri tüketirse veya tüketimden dolayı istasyonun girdileri belirli bir seviyenin altına düşerse gönderilir [4]. Bu sinyal sistemi sayesinde hiçbir istasyon veya süreç önceden belirlenmiş bir miktarın üstünde çıktı üretmez, üretemez.

Geleneksel itme sistemleri (push system) 19. yüzyılda çeşitli sektörlerde kullanılmasına rağmen ilk kez Henry Ford tarafından modern bir sistem haline getirilip 20. yüzyılın başında tüm dünyaya tanıtılmıştır [5].

İtme sistemlerindeki istasyonlar kendilerine atanan üretim planlarını gerçekleştirip operasyon çıktılarını bir an önce bir sonraki istasyona itmeye odaklanırlar. Çekme sisteminin aksine itme sistemleri bir üretim tahminini ilk istasyondan itibaren ileri doğru iterek çalışırlar. Bu yaklaşımda, bir sonraki istasyonun ne durumda olduğu mevcut istasyonu ilgilendirmez. Amaç, üretim planını gerçekleştirmek için işlenmiş malzemeyi veya çıktıyı hızla bir sonraki istasyona itmektir. Hâlbuki bir sonraki istasyon kendine atanan işleri yetiştirememiş olabilir, hatta arıza nedeniyle istasyon çalışmaz durumda olabilir. Bunun yanında her şey sorunsuz çalışsa bile nihai ürünlerin satılma garantisi yoktur. İtme sistemlerinde müşterilerin üretilen ürünlere onaylanmış bir talebi yoktur. Bu nedenle ürünler satılmadan önce detaylı ve yoğun bir pazarlama çalışmasına ihtiyaç duyulur. Bu sırada kesin talebi olmayan bitmiş ürünler stokta bekler ve bu durum nihai ürün stokuna neden olur. Bu özellikten dolayı itme sistemleri stoka üretim yapan (make-to-stock) üretim sistemleri olarak tanımlanırlar. İstasyonlar arası iletişimsizlik ve istasyonların birbirine bağlılığının zayıf olması itme yaklaşımındaki verimsizliklerin temel nedenlerindedir.



Şekil 2. İtme sisteminde malzeme ve bilgi akışının gösterimi

Literatürde saf çekme ve saf itme sistemleri dışında çekme ve itme sistemlerinin beraber kullanıldığı karma (hibrit) sistemler de bulunmaktadır [6]. Bu sistemlere itme-çekme (push-pull) sistemleri adı verilmektedir. İtme-çekme sistemleri, çekme sistemlerinin düşük stok ve yüksek tepkisellik avantajları ile itme sistemlerinin ölçek ekonomisi avantajını bünyesinde birleştiren sistemlerdir [7]. İtme-çekme sisteminde üretim sistemindeki parçaların bir kısmı itilirken bir kısmı da çekilir [8]. İtme-çekme sistemleri, genellikle üretimin ilk safhalarında itme sistemi ile çalışır. Montaj, paketleme ve ürün gönderim işlemlerinin yapıldığı kalan safhalarda ise çekme sistemi çalışır [9, 10, 11]. Karma sistemler genelde siparişe göre montaj (assemble-to-order) ortamlarında kullanılır. Bu tip ortamlarda hammadde, itme sistemi ile üretim sisteminin ilk kısımlarında işlenerek yarı mamul haline getirilir [11], bir ürüne sipariş geldiği an bu yarı mamuller çekme sistemi ile nihai mamul haline getirilir.

Literatürde, çekme sisteminin itme sisteminden daha iyi olduğu gibi bir ortak kanı olsa da gerek saf itme sistemleri gerekse de saf çekme sistemleri belirli şartlar altında iyi çalışan sistemlerdir. Literatürde itme sistemlerinin çekme sistemlerinden daha performanslı çalıştığı durumlar da gözlenmiştir [8]. Bu nedenle bu iki yaklaşımın üstünlüklerinin şartlara göre değerlendirilmesi gerekir.

Tablo1. Çekme ve itme sistemlerinin karşılaştırılması

	Çekme Sistemi	İtme Sistemi
Üretim sinyali	İhtiyaç oluştuğu anda	İhtiyaç oluşmadan talep tahminine göre
Üretim yapısı	Çekme sistemi ile küçük lotlarla üretim	MRP'ye dayalı tahmini büyük lotlarla üretim [1, 4]
Talep yapısı	İstikrarlı talep yapısına uygun	Uzun dönemli yüksek talebe uygun
Talebe cevap verme yeteneği	Kesin ve anlık talebi karşılamaya çalışır	Tahmini talebi karşılamaya çalışır
Ürün çeşidi	Genelde orta seviyede	Genelde az sayıda
Üretim hacmi	Düşük-orta seviyede	Orta-yüksek seviyede
Planlama aralığı	Kısa dönemli	Uzun dönemli
Odak	Daha fazla kalite ve tam zamanında üretim	Daha fazla satış ve ürünü elde tutma
Nihai ürün stoku	Sıfır stoklu veya çok az stok ile çalışma	Yüksek stokla çalışma [12]
Süreç içi stok	Sinyal sistemi sayesinde süreç içi stok hem en küçüklenir hem de kontrol altında tutulur	Büyük hacimli üretimle yüksek süreç içi stokla çalışılır. Ancak dengelenmiş sistemlerde seviye düşük olabilir
İstasyonlar arası iletişim	Güçlü	Zayıf (çoğu verimsizliğin nedeni)
Maliyet stratejisi	Üretim maliyetlerini azaltmaya odaklıdır	Stoklardan dolayı ilave maliyet oluşumları gözlenebilir. Temel amaç birim maliyeti en küçükmektir
Ölçek ekonomisine uygunluk	Uygun değil veya kısmen uygun	Uygun
İsrafa bakış açısı	İsrafları önleyerek üretim maliyetlerini düşürür	İsraflı bir şekilde üretim yapılır. Satış için belirli bir seviyede israfa katlanılır
Rekabet yaklaşımı	Kaliteli ürün üretme, kişisel ürün üretebilme (kitleleşme kişiselleştirme)	Düşük maliyetli üretim, satışa hazır ürün sunma
Avantajlar	<ol style="list-style-type: none"> İtme sistemlerine göre daha az süreç içi stoka sahiptir [13] Aşırı üretimi önler Tam zamanında üretimi gerçekleştirir Stok maliyetleri düşüktür Kriz zamanlarında riski en küçükler Kalite ve müşteri tatmini yüksektir 	<ol style="list-style-type: none"> Ölçek ekonomisinden dolayı birim maliyetler oldukça düşüktür Doğru ve tutarlı tahminlerle yüksek satışlar elde edilebilir Birim maliyetler en küçüklendiği için fiyatlandırma avantajı vardır Müşteri üretim için beklemez, her zaman satılacak bir stok vardır
Riskler	<ol style="list-style-type: none"> Güvenlik stoku gerektirebilir Tam zamanında üretim ve stoksuz çalışma işgücü üzerinde baskı oluşturur Pazar şartları aşırı dalgalı ise yığılma veya boş beklemler oluşabilir 	<ol style="list-style-type: none"> Talep yetersizse stoka üretim yapılır Kriz zamanında büyük riske sahiptir Büyük stok alanlarına ihtiyaç vardır Yüksek hata oranı maliyeti artırabilir Talep belirsizliği en büyük risktir Kalite genelde düşüktür

Klasik çekme yaklaşımında istasyonlar arasındaki sinyaller kanban kartları ile yönetilir. Literatürde kanban dışında başka çekme yaklaşımları da mevcuttur. Farklı çekme yaklaşımları geliştirilmesinin en önemli nedenleri (1) kanbanın bazı durumlarda iyi çalışmaması ve (2) diğer çekme yaklaşımlarının kanban sistemine göre bazı özel avantajlara sahip olmasıdır. Ancak literatür ve uygulamalar incelendiğinde çekme sisteminin genelde kanban ile aynı anlamda kullanıldığı görülmektedir. Bu nedenle birçok uygulamada uygun olmamasına rağmen kanban sisteminin kullanıldığı ve çekme sisteminden beklenen avantajların elde

edilemediği görülmüştür. Bu durum, kanbanın ve yalın üretimin avantajlarının sorgulanmasına neden olmuştur. Bu çalışmada kanban, CONWIP ve POLCA çekme yaklaşımları ve bu yaklaşımların kullanım şartları incelenmiş ve en uygun çekme sisteminin seçilmesine yardımcı olabilecek bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

2. KANBAN SİSTEMİ (KANBAN SYSTEM)

Çekme sistemlerinin en bilineni kanbandır. Kanban görsel kontrolü sağlayan bir kart sistemidir [14]. Kanban, çekme sistemi ile aynı anlamda kullanılsa da bu iki kavramı birbirinin yerine kullanmak çok doğru değildir. Çünkü literatürde kanbanın yanı sıra başka çekme sistemleri de mevcuttur. Kanban dışında farklı çekme sistemleri geliştirilmesinin temel nedeni kanbanın bazı üretim ortamlarında iyi çalışmamasıdır. Kanban sistemi özellikle aşağıda belirtilen üretim ortamlarında iyi çalışmaz:

(a) *Üretim hacminde büyük dalgalanmalar olması*: Kanban sistemi hacim dalgalanmalarına karşı çevik bir sistem değildir. Bu nedenle kanban sisteminin uygulanabilmesi için üretim hacminin stabil olması gereklidir. Eğer üretim hacmi stabil değilse istasyonlar arasında darboğazlar oluşabilir ve darboğazları önlemek için konulan ara stoklar sistemin karmaşıklaşmasına yol açabilir.

(b) *Ürün çeşidinde dalgalanmalar olması* [15, 16]: Kanban sistemi ürün çeşidinin stabil olduğunu ve aynı ürünlerin tekrarlı olarak üretildiğini varsayar. Eğer ürün çeşidi çok sık değişiyorsa kanban sistemi ve bu sistemin tedarikçileri bu değişime uyum sağlayamayabilir. Bu nedenle kanban sistemi atölye tipi üretimden daha ziyade parti tipi üretim gibi tekrarlı üretim yapan üretim ortamlarına daha uygundur [17].

(c) *Sık sık arıza, duruş ve beklenmeyen durumlarla karşılaşan sistemler*: Kanban sisteminde sık görülen arıza, uzun duruşlar ve beklenmeyen durumlar bütün sistem üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir. Bu yüzden düşük güvenilirliğe sahip sistemler kanban sistemi için büyük bir risktir.

(d) *Tek bir ürünün kitlesel üretimini yapan sistemler*: Eğer bir üretim sistemi tek bir ürün için kitlesel üretim yapıyor ve bu ürüne de büyük bir müşteri talebi varsa kanban sistemi üretim akışında kesilmelere neden olabilir. Böyle bir üretim ortamı için itme sistemi daha uygundur.

(e) *Sık sık darboğazla karşılaşan sistemler*: Darboğazların oluşturduğu sorunlar genelde üretim akışında kesilmeye ve gecikmeye neden olur. Bir üretim sisteminde darboğaz oluşursa bu darboğaz giderilene kadar kanban sistemi çalışmaz.

(f) *Çok kısa veya çok uzun üretim süreli ürünlerin varlığı*: Eğer bir üretim sisteminde çok kısa üretim süreli ürünler varsa ve bu ürünlere talep yüksekse kanban sistemi üretim akışını yavaşlatabilir. Bununla beraber bir üretim sisteminde çok uzun üretim süreli ürünler varsa kanban sistemi hacim ve ürün değişimi üzerindeki hassasiyetini kaybedebilir (örneğin pazardaki ani değişimler gibi) ve böylece bu değişimlere hızlı cevap veremez.

(g) *Sık sık istisnai durumla karşılaşan üretim sistemleri*: Kanban sistemi; beklenmeyen arıza, ani ürün değişimi ve beklenmeyen sipariş iptali gibi durumlara karşı çevik bir yaklaşım değildir. Bu gibi durumlar tüm sistemin durmasına neden olabilir.

(i) *Uzun hazırlık(set-up) süreleri*: Eğer bir üretim hattında uzun hazırlık sürelerine sahip farklı ürünler üretiliyorsa bu hat yavaşlamaya ve etkililiğini kaybetmeye başlar. Eğer hat üzerine farklı ve uzun hazırlık sürelerine sahip ürünler sık sık giriş yapıyorsa kanban sistemi üretimde kesintiye yol açar, böylece kanban etkinliğini ve etkililiğini kaybeder.

(j) *Çevik üretim yaklaşımı gerektiren üretim sistemleri*: Bu tip üretim sistemlerinde kanban sistemini tercih etmemek daha makuldür. Çünkü kanban sistemi ürün tipi ve ürün hacmi açısından aşırı dalgalı ortamlara uygun değildir, yani kanban sistemi çevik bir yaklaşım değildir. Bu özellik kanban sisteminin en önemli dezavantajlarından biridir.

(k) *Tedarikçilerin durumu*: Kanban sistemi tam zamanında üretimi gerçekleştiren yaklaşımlardan biridir [19]. Eğer bir veya daha fazla tedarikçi tam zamanında üretim yeteneğine sahip değilse kanban sistemi uygun bir şekilde çalışmayacaktır. Bu nedenle kanban sistemi tedarikçilerin kapasitesi açısından da değerlendirilmelidir.

Kanban sisteminde istasyonlar arasındaki süreç içi stoku kontrol etmek için üretim ve çekme kanbanı gibi çeşitli kanban kartı türleri kullanılır [18]. Kanban sistemi bu kartları istasyonlar arasında çalıştırır, bu nedenle kanban kartları istasyon çiftleri dışına çıkmaz. Böylece istasyon çiftleri arasındaki süreç içi stok sıkı bir şekilde kontrol edilmiş olur. Bir kanban sistemi tek veya çift kart kanban sistemini kullanabilir. Tek kart sistemi sadece üretim kanbanını (veya çekme kanbanını) kullanırken, çift kart kanban sistemi hem üretim hem de çekme kanbanını kullanır. Orijinal Toyota üretim sistemi çift kart kanban sistemini kullanmaktadır.

Kanban sisteminin beklenen avantajları sağlayabilmesi için ya kanbanın uygulanacağı ortamın uygun şekilde tasarlanması ya da kanban sisteminin sadece uygun ortamlarda kullanılması gereklidir. Aksi takdirde kanban sistemi uygun bir şekilde çalışmaz ve aşağıda sunulan avantajları göstermez. Bu avantajlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Daha etkili süreç içi stok yönetimi ile azaltılmış süreç içi stok
- Aşırı üretimin azaltılması veya önlenmesi
- Üretim hattındaki problemlerin kolay bir şekilde belirlenmesi
- Maliyetlerin azaltılması
- İstasyonlar arasında daha iyi iletişim

Kanban sisteminin bahsedilen avantajlarına rağmen bazı durumlarda kanban sisteminin iyi çalışmadığı görülmüş ve alternatif çekme sistemleri geliştirilmiştir. Unutulmaması gereken nokta, kanbanın her üretim sistemine uygun bir üretim kontrol yaklaşımı olmadığıdır.

Bu bölümde son olarak tek kart kanban ve çift kart kanban sistemleri karşılaştırılmış ve aşağıda verilen Tablo 2'deki karşılaştırma tablosu oluşturulmuştur. Bu iki çekme yaklaşımının çalışma yapısı birbirine benzese de aralarında önemli farklar vardır. Çift kart kanban daha güçlü malzeme kontrolü yaparken tek kart kanban daha basit ve daha hızlı çalışmaktadır. Ayrıca tek kart kanban çift kart kanbana göre akışı daha az kesmekte böylece akış hızını artırmaktadır.

Tablo 2. Tek kart ve çift kart kanbanın karşılaştırılması

	Tek Kart Kanban (SC)	Çift Kart Kanban (DC)
Avantajlar	Çift kart kanbana göre daha basittir ve bilgi alışverişi daha hızlıdır.	Tek kart kanbana göre istasyonlar arasındaki WIP daha sıkı şekilde kontrol edilir
	Yarı mamul, çift kart kanbana göre daha hızlı şekilde hareket edebilir, bu nedenle üretim oranı genelde çift kart kanbana göre daha yüksektir	Güçlü stok kontrolünden dolayı problemleri görmek ve çözmek tek kart kanbana göre daha kolaydır
	Düzenli ve dengeli akış olduğunda çift kart kanbana göre daha düşük WIP [29] ve daha hızlı WIP akışı gözlenir	Genelde WIP'te tek kart kanbandaki sorunlar görülmez
Dezavantajlar	Çift kart kanbana göre daha küçük ara stok alanı ihtiyacı vardır	
	İstasyon arasındaki WIP'in kontrolü çift kart kanbana göre daha zayıftır	İyi eğitilmiş operatör gerektirir
	İstasyonlarda ve akışta dengesizlik varsa WIP artışı olabilir	Tek kart kanbana göre daha fazla ara stok alanı ihtiyacı vardır
Çalışma Koşulları	Problemlerin tespiti çift kart kanbana göre daha fazla zaman alır	Kart sisteminden dolayı kesilmeler tek kart kanbana göre daha fazladır
	Birbirine çok yakın istasyonlarda iyi çalışır	İstasyonlar arasında tek kart kanbana göre daha fazla uzaklık vardır (daha büyük ara stok alanından dolayı). Özellikle kolay taşınma imkânı olmayan malzemelerin üretimi için çok uygundur

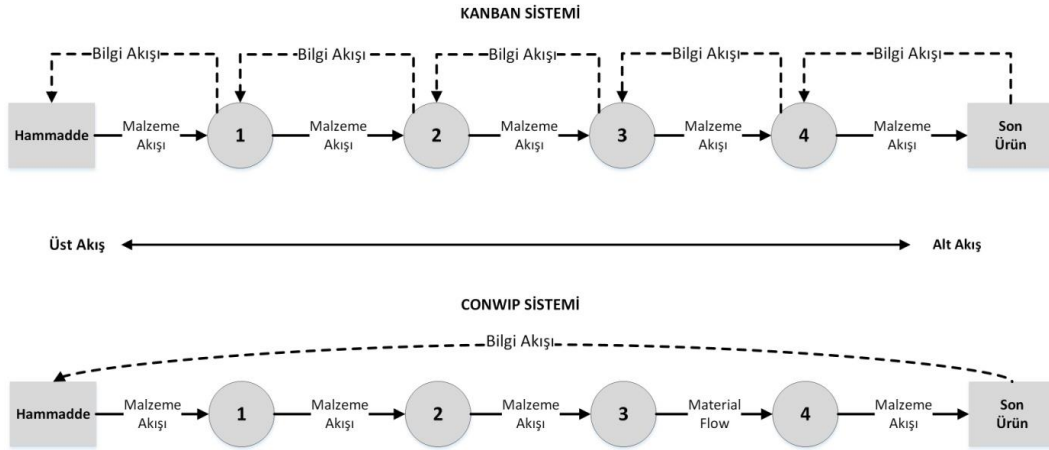
Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi çift kart kanban; WIP kontrolü çok önemli olduğunda, istasyonlar arası uzaklık nispeten fazla olduğunda ve yeterli ara stok alanının mevcut olması durumunda tercih edilmelidir. Tek kart kanban ise akışı hızlandırmak ve süreci basitleştirmek gerektiği zaman tercih edilmelidir. Genelde tek kart kanbanla üretilen ürünler çift kart kanbanla üretilene göre daha basit ürünlerdir, aksi halde karmaşık yapıdan dolayı WIP kontrolü önemli hale gelmeye başlar ve çift kart kanbana geçiş gerekli olur.

3. CONWIP SİSTEMİ (CONWIP SYSTEM)

CONWIP (Constant Work in Process), kanban gibi bir çekme sistemidir ve temel olarak süreç içi stokun kontrol edilmesine odaklanır. CONWIP, kanbanın geliştirilmiş bir formu veya çekme yaklaşımı için kanbana bir alternatif olarak düşünülebilir [17]. Kanban ve CONWIP aşağıdaki benzerliklere sahiptirler:

- İki sistem de çekme yaklaşımı ile çalışan üretim kontrol sistemidir.
- İki sistem de kart sistemlerini kullanır.
- İki sistem de süreç içi stoka odaklanır.
- İki sistem de gerçek talep tarafından tetiklenir.
- İki sistem de tam zamanında üretimde kullanılabilir.
- İki sistem de istikrarlı bir akışta iyi çalışır [18].

CONWIP sistemi, aynı kanban gibi, bir kart sistemine bağlı olarak çalışır. CONWIP ile kanban arasındaki en önemli farklılık bu kart sisteminin kullanımında ortaya çıkar. Kanban sistemi genellikle çift kart sistemini kullanırken CONWIP sadece tek kart sistemini kullanır. Ancak CONWIP ile tek kart kanban sistemi karıştırılmamalıdır. CONWIP'in tek kart sisteminde bir ürüne talep geldiğinde malzeme hattın başından sonuna kadar hattın başında ileştirilen tek kart ile hareket eder [20]. Yani CONWIP'te malzeme hattın başında ileştirilen bir kart ile son istasyona kadar bütün istasyonları ziyaret eder. CONWIP sisteminde kartlar, ürün tipine bakılmaksızın hat üzerine yeni iş veya malzeme girişini kontrol ederken kanban sisteminde kartlar belirli bir ürünün üretilmesini tetikler.

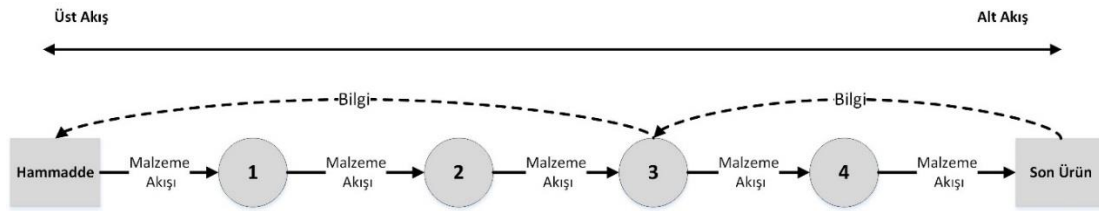


Şekil 3. CONWIP ve Kanban kart sisteminin karşılaştırılması

CONWIP'in temel özellikleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Kanban sisteminden farklı olarak tüm hat boyunca süreç içi stoku kontrol etmeye odaklanır.
- Sabit miktardaki kartın tüm süreç boyunca hareket etmesi prensibi ile çalışır. Süreç içi stok bu sabit miktarı geçemez.
- CONWIP, ilk ve son istasyon arasında bir döngü (loop) gibi çalışır. Bu döngüde sisteme giriş izni çekme yaklaşımı ile malzemenin döngü içinde ilerlemesi ise itme yaklaşımı ile gerçekleşir. Bu nedenle bazı kaynaklarda CONWIP için hibrit (karma) bir sistem gibi atıflar yapılmıştır [21].
- Bir CONWIP döngüsü boyunca süreç içi stok sabit tutulur.
- CONWIP, esnek bir sistemdir. Süreç içindeki kart sayısı duruma göre azaltılıp artırılabilir [18]. Bu nedenle hacim esnekliğini yönetebilir.
- CONWIP, özellikle sabit rotalı, benzer süreç zamanlarına sahip, düşük hazırlıklı süreli ve düzgün süreç akışına sahip sistemler için çok uygundur [22]. Bu nedenle atölye tipi üretim yapan ortamlar için çok uygun olduğu söylenemez.

Geleneksel CONWIP sistemi, ilk ve son istasyon arasındaki süreç içi stoku kontrol eden tek döngülü bir sistemdir (Single-Loop CONWIP veya SL-CONWIP). Bir CONWIP döngüsü verilen istasyonlar boyunca süreç içi stoka sınır koyan bir yapıdır. Bir CONWIP döngüsündeki istasyonlar itme sistemi şeklinde çalışırken, sisteme malzeme giriş yetkisi çekme sistemi ile verilir [12]. Bu nedenle CONWIP hem çekme hem de itme sisteminin özelliklerine sahiptir. CONWIP sisteminin ilk ve son istasyonları kapsayan tek bir döngüden oluşma zorunluluğu yoktur. Eğer bir CONWIP döngüsü iki makine ve bir ara stoktan oluşuyorsa kanban sistemi gibi çalışmaya başlar. Bazı üretim ortamlarında, üretim sistemleri birden fazla CONWIP döngüsüne sahip olabilir. Bu tip sistemlere çok döngülü CONWIP (multi-loop CONWIP veya m-CONWIP) sistemleri adı verilir. Bir m-CONWIP şu durumlarda tercih edilmelidir: (1) Sistem içinde çoklu rotalar olduğunda, (2) sistemde farklı parçalar üretildiğinde ve (3) bir CONWIP döngüsü yönetilemeyecek kadar uzun olduğunda.



Şekil 4. Çok döngülü CONWIP örneği

CONWIP'in kanban sistemi üzerindeki avantajları aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- CONWIP, yüksek hacimli üretim yapan sistemler için daha uygundur. Böylece hat üzerinde sık sık kesilmeler olmaz.
- CONWIP, ürün çeşidi bakımından kanbandan daha esnektir ve bu nedenle siparişe göre üretim ortamlarında kanbandan daha iyi çalıştığı raporlanmıştır [24]. Kanban sisteminde ürün varyasyonun büyük olması beklemeye, aç kalmaya (starving) veya bloklanmaya neden olabilir.
- Tek veya az sayıda döngüden dolayı, CONWIP'in uygulanması kanbana göre daha kolaydır [23].
- Birçok çalışmada, CONWIP'in kanbana göre daha büyük bir çıktı oranına sahip olduğu gösterilmiştir.
- Tek kart sisteminden dolayı kanbana göre daha az bilgi akışı vardır.
- Hata özgü kart sistemi ve işleri sıraya koyma özelliğinden dolayı talepteki değişime daha etkili şekilde cevap verebilir.
- Malzemelerin itme gibi hareket etmesinden dolayı seri üretim ortamlarında oldukça iyi çalışır.
- Süreç içi stok sabit olduğu için akış süresi daha kolay tahmin edilebilir [17].

CONWIP aşağıda sunulan dezavantajlara da sahiptir:

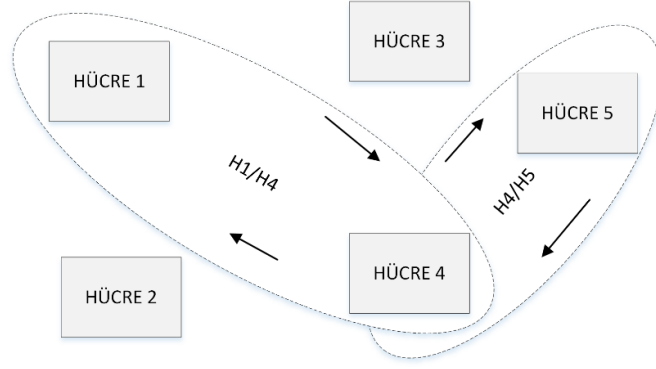
- CONWIP, hata girmeyi bekleyen malzemeler için bir öncelik planlaması yapılmasına ihtiyaç duyar. Bu nedenle kanbana göre daha fazla insan kontrolü gerektirir.
- İstasyonlar arasında kanban kadar güçlü iletişim yoktur. Bu nedenle sistem içindeki süreç içi stok seviyesi kanban kadar güçlü bir şekilde kontrol edilemez. Bu durumda itme sisteminin problemleri görülebilir.

4. POLCA SİSTEMİ (POLCA SYSTEM)

POLCA (Paired-Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization), Rajan Suri tarafından 1998 yılında geliştirilmiş kanban ve MRP'nin özelliklerini birleştiren hibrit bir çekme sistemidir [25]. POLCA sisteminde aynen kanban ve CONWIP gibi malzeme akışı bir kart sistemi ile kontrol edilir. Bu sistemde kullanılan kartlara POLCA kartı denir. POLCA kartları, istasyon, hücre veya iş merkezleri arasındaki malzeme akışının kontrolünü ve iletişimi sağlar.

POLCA sisteminde, malzemenin üretim izni MRP ile gerçekleşir. Ancak bu izin, bir sonraki istasyonun durumunu incelemeyi sürekli olarak ileri iten geleneksel MRP'deki gibi çalışmaz. POLCA'daki MRP sistemi sadece malzemenin ilgili istasyondaki işlem yetkisini verir, ancak ilgili istasyon

veya hücre sadece ilgili POLCA kartı mevcutsa bu malzeme üzerinde işlem yapabilir. Bu nedenle POLCA sisteminde üretim yetkisi itme sistemi ile üretim alanında işlem yapma yetkisi ise çekme sistemi ile gerçekleşir. Bir malzeme için üretim yetkisi verilmesine rağmen o istasyonda ilgili POLCA kartı yoksa bu malzeme ilgili POLCA kartı mevcut olana kadar üretim alanına girmeden bekler. POLCA kartı sadece iki istasyon veya bir hücre çiftine atanır ve sadece bu iki istasyon/hücre çifti arasında bir döngü oluşturur. Bir POLCA kartı başka istasyon/hücre çiftleri için kullanılmaz.



Şekil 5. POLCA kartlarının çalışma yapısı

POLCA, çok çeşitli ürünlerin üretilbildiği hızlı tepkisel üretim (Quick Response Manufacturing) ortamlarına uygun bir çekme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımla hızlı tepkisel üretimin gerçekleştirilmesi için ön gerekliliklerden biri, üretim ortamının hücresele üretime uygun hale getirilmesidir [25]. Bu nedenle POLCA ile ilgili çalışmalar incelendiğinde üretimin genelde hücrelerde yapıldığı görülür. Hücresele yapı, bant veya hat sistemlerinin aksine çok çeşitli ürün üretimine imkân verir.

POLCA, kanban ve CONWIP'le bazı benzerliklere sahip olmakla beraber sadece ona özgü olan ve diğer çekme sistemlerine göre üstünlük sağlayan bazı özelliklere de sahiptir. POLCA, süreç içi stoka bir sınırlama getirme açısından kanban ve CONWIP'e benzer. Ayrıca POLCA, aynı kanban ve CONWIP gibi iletişim ve malzeme hareketi için bir kart sistemi kullanır. POLCA'nın kart sistemi belirli bir rotaya (döngüye) özgü olması açısından CONWIP'e, iki hücre arasında dolaşması bakımından da kanbana benzer. Ancak POLCA'nın bu iki çekme yaklaşımına göre önemli farklılıkları mevcuttur. Bu farklılıklar: (1) POLCA istasyon/hücre çiftlerine atanırken, kanban ürünlere CONWIP ise bir hata veya döngüye atanır, (2) POLCA kartı iki istasyon/hücre arasında kapasite sinyali olarak çalışırken, kanban akışı ve süreç içi stoku kontrol etmek için stok ve üretim sinyali olarak çalışır, CONWIP kartları ise daha ziyade kapasite sinyali olarak çalışır [26], (3) POLCA kartları belirli iki istasyon/hücre arasında çalışırken, kanban kartları genelde bir istasyon ile bir ara stok veya süpermarket arasında, CONWIP ise bir CONWIP döngüsü boyunca çalışır, (4) POLCA kartları hücre çiftlerine (iki hücre arasındaki döngüye) özgü iken kanban kartları ürüne özgü, CONWIP ise belirli bir hata (döngüye) özgüdür.

POLCA'nın kanban ve CONWIP üzerindeki en önemli avantajı, küçük lotlarla çok çeşitli ürünler üretebilen siparişe göre üretim (make-to-order) ve siparişe göre tasarım (engineered-to-order, ETO) ortamlarında kullanılabilmesidir [27]. Kanban ve CONWIP bu tür kısa dalgalanmalara çevik bir şekilde cevap veremez. POLCA'nın diğer avantajları ise: (1) esnek rotalamaya izin verir (kanban bu konuda çok stabildir, CONWIP ise çok döngülü olduğunda uyum gösterebilir), (2) ürün çeşidindeki değişimleri yönetebilir (CONWIP kısmen uygundur), (3) tepkisel üretim ve hücresele imalat ortamlarında kullanılabilir.

POLCA sistemi bazı dezavantajlara da sahiptir. Örneğin POLCA'nın uygulanması için üretim alanında hücresele bir organizasyon kurulması gerekir ki, genelde hücrelerin kapasite kullanımı dengesiz ve düşüktür. Ayrıca hücrelerde yaşanabilecek sorunlar ve hücrelerdeki iş yüklerinin dengesiz olması süreç içi stokun ve üretim sürelerinin artmasına neden olabilir. POLCA, kanban ve CONWIP kadar hacim esnekliğine de sahip değildir. POLCA'nın yapısı ürün çeşitliliğine odaklandığı için akışta aşırı kesilmeye neden olabilir.

5. ÇEKME SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ (COMPARISON OF PULL SYSTEMS AND A PROPOSAL OF A DECISION SUPPORT SYSTEM)

Üretim ortamına ve pazar şartlarına uygun çekme sisteminin seçilmesi etkili üretim sistemleri geliştirilmesinde önemli bir rol oynar. Bu başlıkta, kanbana alternatif olarak önerilen CONWIP ve POLCA çekme sistemleri incelenerek karşılaştırılmalı bir değerlendirme yapılmış ve karar vericilere yardımcı olabilecek bir karar destek sistemi önerisi sunulmuştur.

Literatürde çekme sistemlerinin ikili karşılaştırmaları yer almakla birlikte [27,28], karşılaştırmaların çok çeşitli kriterlere göre yapılmadığı görülmüştür. Kapsamlı karşılaştırmaların bulunmaması üretim sistemlerinde yanlış çekme sistemlerinin kullanılmasına neden olmaktadır. Ayrıca deneyimsiz karar vericiler tarafından bazı kriterlerin değerlendirilmesinin güç olması bu sistemler arasındaki farkların ayırt edilmemesine ve yanlış tercihlere yol açmaktadır. Bu çalışma literatürdeki bu eksikliği kapatmayı amaçlamaktadır.

Literatürdeki en popüler çekme sistemleri olan kanban, CONWIP ve POLCA'nın çeşitli kriterler açısından karşılaştırılması Tablo 3'te sunulmuştur. Bu tablodaki çekme sistemlerine ilave olarak literatürde başka çekme sistemleri de mevcuttur. Bu çalışmada literatürde en fazla çalışılan çekme sistemlerine odaklanılmıştır.

Tablo 3. En çok çalışılan çekme sistemlerinin çeşitli kriterlere göre karşılaştırılması

Karşılaştırma Kriteri	Kanban (SC)	Kanban (DC)	CONWIP (SL)	m-CONWIP	POLCA
Genel tesis yerleşimi*	Hat	Hat	Hat	Hat	Hücresele
Ürün esnekliği**	Düşük [30]	Düşük [30]	Düşük/Orta ¹ [18]	Düşük/Orta [28]	Yüksek [25]
Ürün hacmi esnekliği***	Orta/Yüksek	Orta/Yüksek	Orta/Yüksek ² [23]	Orta/Yüksek	Düşük/Orta
Ürün dalgalanmalarına uyum yeteneği ****	Düşük	Düşük	Düşük/Orta	Düşük/Orta	Yüksek
Hacim dalgalanmasına uyum yeteneği *****	Düşük/Orta	Düşük	Düşük/Orta	Düşük/Orta	Düşük
En uygun pazar şartları	Stabil	Stabil	Stabil/Kısmen dinamik	Stabil/Kısmen dinamik	Dinamik
WIP'in kontrol bölgesi	İki istasyon arası	İki istasyon arası	Döngü boyunca	Döngü boyunca	İki hücre arasında
Sistemdeki WIP seviyesi	Düşük/Çok düşük	Çok düşük [20]	Düşük/Orta [20]	Düşük/Orta [31]	Orta/Yüksek
Akış hızı	Orta/Hızlı	Orta/Hızlı	Orta/Hızlı	Orta/Hızlı	Düşük/Orta
Farklı rota esnekliği	Zayıf	Zayıf	Zayıf/Orta	Zayıf/Orta	Yüksek
Hücresele üretime uygunluk	Montaj hücresi ve ürün odaklı hücreye uygun	Montaj hücresi ve ürün odaklı hücreye uygun	Montaj hücresi ve ürün odaklı hücreye uygun	Montaj hücresi ve ürün odaklı hücreye uygun	İmalat hücresine ve esnek üretim hücresine uygun
Çevik üretime uygunluk	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil/ Kısmen	Uygun [25]
Atölye tipi üretime uygunluk	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil/ Kısmen [17, 24]	Uygun değil/ Kısmen [17]	Uygun [27]
Parti üretimine uygunluk	Uygun [26]	Uygun [26]	Uygun [32]	Uygun	Uygun değil/Kısmen
Kartların atanma yeri	Ürün	Ürün	Döngü	Döngü	Hücre çiftleri [33]
Sinyal türü	Envanter yenileme [25]	Envanter yenileme [25]	Kapasite [26]	Kapasite	Kapasite

SC: Tek kart (single card), DC: Çift kart (dual card), SL: Tek döngü (single loop)

*: Uygulamada en çok karşılaşılan yerleşim düzeni, **: Farklı ürünler üretebilme yeteneği, ***: Değişik üretim hacimlerinde çalışabilme yeteneği, ****: Ürün tipindeki ani değişimlere uyum, *****: Ürün hacmindeki ani değişimlere uyum

¹: Koyu (bold) karakterle yazılanlar en sık görülen veya normalde beklenen durumu ifade etmektedir.

²: Eğer akış ve iş yükleri düzenli hale getirilebilirse parti tipi üretim ile yüksek hacimde ürün üretilebilir ve tek kart kanbana göre daha büyük ürün hacmi esnekliğine sahip olabilir

Yukarıda verilen karşılaştırma tablosu literatürdeki çeşitli kaynaklara dayandırılarak oluşturulmuştur. Bununla beraber bazı çalışmalarda karşılaştırmalar için çelişkili ifadelerin yer aldığı görülmüştür. Bu çelişkinin en önemli nedeni, çekme yaklaşımlarının farklı üretim sistemlerinde farklı performans değerlerine sahip olmasıdır. Örneğin, Gstettner ve Khun (1996) [35] kanbanın CONWIP'ten daha az WIP ile çalıştığını ifade ederken, Spearman ve arkadaşları (1990) [17] CONWIP'in kanbandan daha düşük WIP ile çalıştığını ifade etmiştir. Bu nedenle bu çalışmadaki karşılaştırmalarda keskin ifadeler kullanılmamıştır. Karar vericilerin kendi sistemlerine uygun çekme sistemine karar verirken bu bulanıklığı göz önünde bulundurması gerekir. Bu bulanık karar verme sürecine yardımcı olmak amacı ile bu çalışmada bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen karar destek sistemi bulanık mantık temeline dayanmış olup MATLAB ile simüle edilmiştir. Bu bulanık sistemde Mamdani çıkarım yöntemi ve ağırlıklı ortalama durulama yöntemi kullanılmıştır.

Önerilen karar destek sistemi üç girdi ve bir çıktıdan oluşmaktadır. Girdiler sıra ile ürün çeşidi (ÜÇ), saatlik çıktı sayısı (ÇS) ve pazar şartları (PŞ). Girdilerin ve çıktının ayrıntılı açıklaması Tablo 4'te verilmiştir. Sistemin çıktısı ise uygun üretim sistemi (ÜS)'dir.

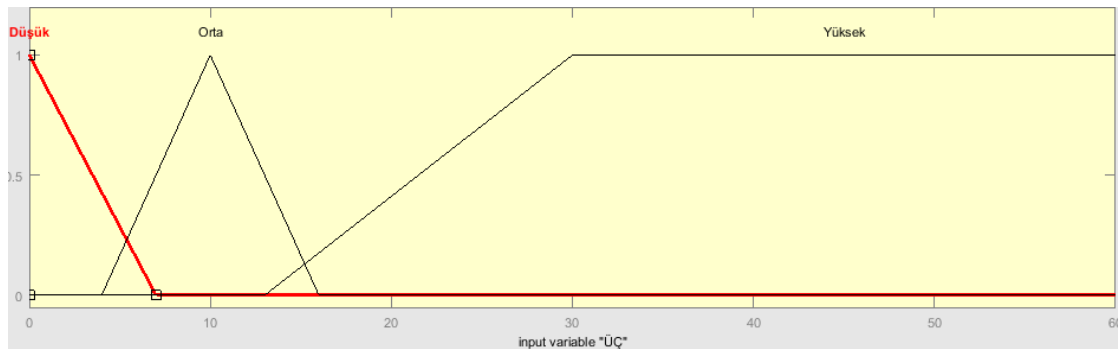
Tablo 4. Girdilerin ve çıktının tanımlanması

Girdi		Tanım
1	Ürün çeşidi (ÜÇ)	Hat/atölye/üretim yapısının kapsamlı kurulum (set-up) gerektirmeden aynı anda üretebileceği farklı ürün çeşidinin sayısı
2	Saatlik çıktı sayısı (ÇS)	Hat/atölye/üretim yapısının saatlik çıktı/ürün sayısı
3	Pazar şartları (PŞ)	Mevcut ürün çeşidi dışında aylık ilk defa üretilen ve kurulum gerektiren yeni ürün çeşidi sayısı
Çıktı		Tanım
1	Üretim sistemi (ÜS)	Üretime uygun çekme sistemi

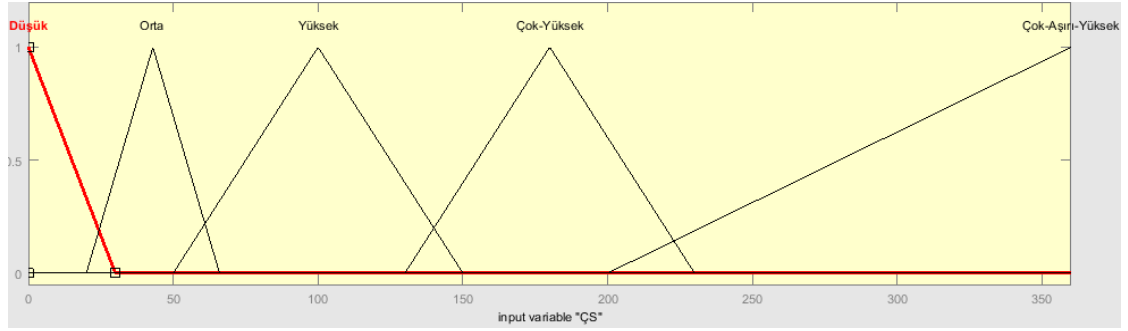
Tablo 5. Üyelik fonksiyonlarının dilsel değişkenleri

No	Girdiler			Çıktı
	ÜÇ	ÇS	PŞ	ÜS
1	Düşük	Düşük	Stabil	KANBAN
2	Orta	Orta	Orta	CONWIP-KANBAN
3	Yüksek	Yüksek	Dinamik	CONWIP
4		Çok-Yüksek	Çok-Dinamik	Diğer
5		Çok-Aşırı-Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA

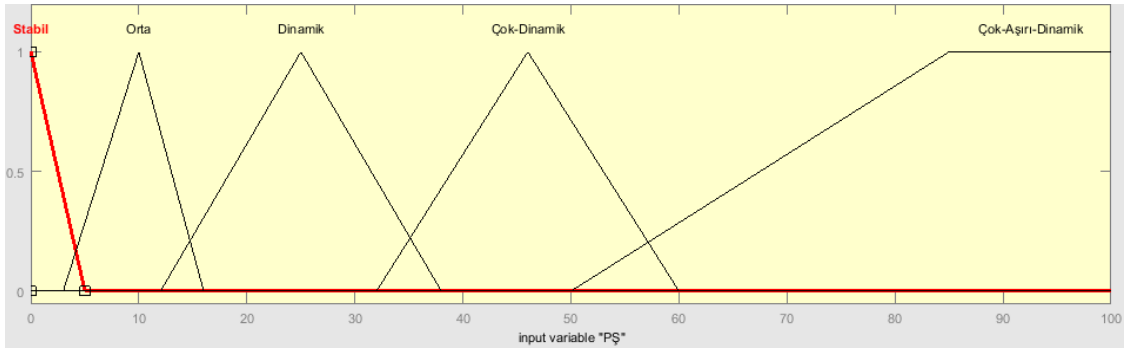
Tablo 5'te üyelik fonksiyonlarında kullanılan dilsel değişkenler sunulmuştur. Çıktı üyelik fonksiyonunda yer alan "diğer" dilsel değişkeni, üyelik fonksiyonundaki mevcut çekme sistemleri dışında başka seçeneklerin de düşünülmesi gerektiğini ifade etmektedir. Diğer seçenekler tamamen farklı çekme yaklaşımları olabilir. Girdilerin ve çıktının MATLAB ile oluşturulmuş üyelik fonksiyonları aşağıda sunulmuştur. olabileceği gibi mevcut çekme sistemlerinin hibritlenmesi veya geliştirilmesi şeklinde de



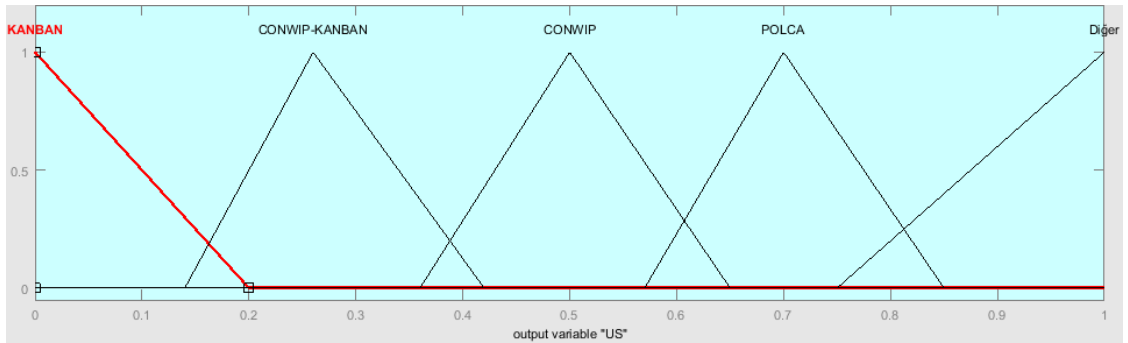
Şekil 6. Ürün çeşidi (ÜÇ) için üyelik fonksiyonu



Şekil 7. Saatlik çıktı sayısı (ÇS) için üyelik fonksiyonu



Şekil 8. Pazar şartları (PŞ) için üyelik fonksiyonu



Şekil 9. Çıktı (ÜS) için üyelik fonksiyonu

Geliştirilen bulanık sistem için 75 adet kural girilmiş olup, bu kurallar Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Geliştirilen bulanık sistemde kullanılan kurallar

No	Girdiler			Çıktı ÜS
	ÜÇ	ÇS	PŞ	
1	Düşük	Düşük	Stabil	KANBAN
2	Düşük	Düşük	Orta	CONWIP-KANBAN
3	Düşük	Düşük	Dinamik	CONWIP
4	Düşük	Düşük	Çok-Dinamik	POLCA
5	Düşük	Düşük	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA
6	Düşük	Orta	Stabil	KANBAN
7	Düşük	Orta	Orta	CONWIP-KANBAN
8	Düşük	Orta	Dinamik	POLCA
9	Düşük	Orta	Çok-Dinamik	POLCA
10	Düşük	Orta	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA
11	Düşük	Yüksek	Stabil	CONWIP-KANBAN

12	Düşük	Yüksek	Orta	CONWIP
13	Düşük	Yüksek	Dinamik	CONWIP
14	Düşük	Yüksek	Çok-Dinamik	POLCA
15	Düşük	Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA
16	Düşük	Çok-Yüksek	Stabil	CONWIP-KANBAN
17	Düşük	Çok-Yüksek	Orta	CONWIP
18	Düşük	Çok-Yüksek	Dinamik	POLCA
19	Düşük	Çok-Yüksek	Çok-Dinamik	POLCA
20	Düşük	Çok-Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer
21	Düşük	Çok-Aşırı-Yüksek	Stabil	CONWIP
22	Düşük	Çok-Aşırı-Yüksek	Orta	CONWIP
23	Düşük	Çok-Aşırı-Yüksek	Dinamik	Diğer
24	Düşük	Çok-Aşırı-Yüksek	Çok-Dinamik	Diğer
25	Düşük	Çok-Aşırı-Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer
26	Orta	Düşük	Stabil	CONWIP-KANBAN
27	Orta	Düşük	Orta	CONWIP
28	Orta	Düşük	Dinamik	POLCA
29	Orta	Düşük	Çok-Dinamik	POLCA
30	Orta	Düşük	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA
31	Orta	Orta	Stabil	CONWIP-KANBAN
32	Orta	Orta	Orta	CONWIP
33	Orta	Orta	Dinamik	POLCA
34	Orta	Orta	Çok-Dinamik	POLCA
35	Orta	Orta	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA
36	Orta	Yüksek	Stabil	CONWIP-KANBAN
37	Orta	Yüksek	Orta	CONWIP
38	Orta	Yüksek	Dinamik	POLCA
39	Orta	Yüksek	Çok-Dinamik	Diğer
40	Orta	Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer
41	Orta	Çok-Yüksek	Stabil	CONWIP-KANBAN
42	Orta	Çok-Yüksek	Orta	CONWIP
43	Orta	Çok-Yüksek	Dinamik	Diğer
44	Orta	Çok-Yüksek	Çok-Dinamik	Diğer
45	Orta	Çok-Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer
46	Orta	Çok-Aşırı-Yüksek	Stabil	CONWIP-KANBAN
47	Orta	Çok-Aşırı-Yüksek	Orta	CONWIP
48	Orta	Çok-Aşırı-Yüksek	Dinamik	Diğer
49	Orta	Çok-Aşırı-Yüksek	Çok-Dinamik	Diğer
50	Orta	Çok-Aşırı-Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer
51	Yüksek	Düşük	Stabil	POLCA
52	Yüksek	Düşük	Orta	POLCA
53	Yüksek	Düşük	Dinamik	POLCA
54	Yüksek	Düşük	Çok-Dinamik	POLCA
55	Yüksek	Düşük	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA
56	Yüksek	Orta	Stabil	POLCA
57	Yüksek	Orta	Orta	POLCA
58	Yüksek	Orta	Dinamik	POLCA
59	Yüksek	Orta	Çok-Dinamik	POLCA
60	Yüksek	Orta	Çok-Aşırı-Dinamik	POLCA
61	Yüksek	Yüksek	Stabil	POLCA
62	Yüksek	Yüksek	Orta	POLCA
63	Yüksek	Yüksek	Dinamik	POLCA
64	Yüksek	Yüksek	Çok-Dinamik	POLCA
65	Yüksek	Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer
66	Yüksek	Çok-Yüksek	Stabil	Diğer
67	Yüksek	Çok-Yüksek	Orta	Diğer
68	Yüksek	Çok-Yüksek	Dinamik	Diğer
69	Yüksek	Çok-Yüksek	Çok-Dinamik	Diğer
70	Yüksek	Çok-Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer
71	Yüksek	Çok-Aşırı-Yüksek	Stabil	Diğer
72	Yüksek	Çok-Aşırı-Yüksek	Orta	Diğer
73	Yüksek	Çok-Aşırı-Yüksek	Dinamik	Diğer
74	Yüksek	Çok-Aşırı-Yüksek	Çok-Dinamik	Diğer
75	Yüksek	Çok-Aşırı-Yüksek	Çok-Aşırı-Dinamik	Diğer

6. GELİŞTİRİLEN KARAR DESTEK SİSTEMİNİN TESTİ (TESTING OF THE DEVELOPED DECISION SYSTEM)

Bu başlıkta, geliştirilen karar destek sisteminin performansı sanal test verileri kullanılarak konu ile ilgili bir uzmanla beraber değerlendirilmiştir.

Tablo 3'e göre, dinamik bir pazarda bulunan ve çevik üretim yaklaşımı kullanan bir firmanın kanban yerine POLCA sistemine odaklanması gerekir. Yine bu tablo incelendiğinde CONWIP'in ürün ve hacim dalgalanmaları açısından kanban sistemine göre daha dirençli olduğu görülmektedir. Bununla beraber WIP kontrolü açısından en sıkı yaklaşım kanbandır. Akış hızı düşünüldüğünde kitlesel üretime yaklaşmak için en uygun çekme sistemleri tek kart kanban ve CONWIP'tir. Atölye tipi üretim yapıyorsa en uygun çekme sistemi POLCA'dır. Bununla beraber CONWIP'in kısmen de olsa atölye tipi ortamlarda çalışma yeteneğinin olduğu görülmektedir. Bu tip ortamlarda kanban uygulanması sakıncalıdır, çünkü kanban stabil pazar şartları için daha uygundur.

Sistemin testi için 30 tane özel test verisi oluşturulmuştur. Bu test verileri istisnai durumlar ve sistemin hedefleri doğrultusunda hazırlanmıştır. Girdiler önce bu konudaki bir uzmana sunulmuş ve uzmanın bu girdileri değerlendirmesi istenmiştir. Uzman kişinin bu girdilere göre cevapları Tablo 7'de "beklenen sonuç" isimli sütunda sunulmuştur. Daha sonra geliştirilen sistemin bu girdiler için oluşturduğu kesin değer "ÜS" isimli sütunda ve sistemin önerisi de "sistemin önerisi" isimli sütunda sunulmuştur.

Tablo 7. Test verileri için sonuçlar

No	ÜÇ	ÇS	PŞ	ÜS	Sistemin Önerisi	Beklenen Sonuç
1	8	60	8	0.504	CONWIP	CONWIP
2	10	120	8	0.504	CONWIP	CONWIP
3	25	120	4	0.709	POLCA	POLCA veya Diğer
4	2	30	5	0.277	CONWIP-KANBAN	CONWIP veya KANBAN
5	20	6	2	0.708	POLCA	POLCA veya CONWIP
6	25	6	25	0.707	POLCA	POLCA
7	8	45	30	0.707	POLCA	POLCA
8	3	90	2	0.275	CONWIP-KANBAN	CONWIP veya KANBAN
9	15	100	25	0.709	POLCA	POLCA
10	60	60	7	0.709	POLCA	POLCA
11	11	200	69	0.907	Diğer	POLCA veya Diğer
12	60	120	45	0.707	POLCA	POLCA
13	45	60	30	0.709	POLCA	POLCA
14	1	90	2	0.275	CONWIP-KANBAN	KANBAN
15	6	90	9	0.504	CONWIP	CONWIP
16	8	10	8	0.504	CONWIP	CONWIP
17	3	3	3	0.079	KANBAN	KANBAN
18	25	25	25	0.709	POLCA	POLCA
19	6	240	4	0.375	CONWIP-KANBAN	CONWIP
20	20	200	16	0.896	Diğer	Diğer
21	4	240	10	0.504	CONWIP	CONWIP
22	2	2	40	0.708	POLCA	POLCA
23	13	60	15	0.621	POLCA	POLCA veya CONWIP
24	3	300	30	0.909	Diğer	Diğer
25	60	190	60	0.894	Diğer	Diğer
26	1	120	1	0.275	CONWIP-KANBAN	CONWIP veya KANBAN
27	2	90	1	0.274	CONWIP-KANBAN	KANBAN
28	10	10	10	0.504	CONWIP	CONWIP
29	20	20	20	0.709	POLCA	POLCA veya CONWIP
30	7	7	7	0.504	CONWIP	CONWIP

Geliştirilen sistem 23 test verisine uzmanla tam olarak aynı cevabı üretmiş, 7 test verisinde ise uzmanın cevabına uygun alternatiflerden birini sunabilmiştir. Böylece geliştirilen sistem 30 test verisinde de bir uzman gibi davranarak kullanıcıya doğru cevaplar üretebilmiştir.

7. SONUÇ (CONCLUSION)

Kanban sistemi temel olarak stabil ortamlardaki tekrarlı üretimlere uygun bir çekme sistemi olup değişkenliği yönetmede çok zayıftır. Kanbanın bu dezavantajlarının üstesinden gelmek için CONWIP [17] ve POLCA [4] gibi çekme sistemleri önerilmiştir [34]. Bu iki çekme sistemine ilave olarak literatürde çok sayıda çekme sistemi önerilmiştir. Ancak literatür incelendiğinde kanban, CONWIP ve POLCA'nın diğer çekme sistemlerine göre daha fazla çalışıldığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, bahsedilen üç çekme sistemi literatürdeki simülasyon ve araştırma çalışmalarına bağlı olarak karşılaştırılmış ve sonuçlar bir tabloda sunulmuştur. Ayrıca literatürde bu çekme sistemlerinin yanlış kullanımı önlemek için bir bulanık sistem önerilmiştir. Önerilen sistemin performansı test verileri ile değerlendirilmiş ve istisnai durumlar ve hedef problemlere uygun çözümler ürettiği gözlemlenmiştir. Önerilen sistemin uzman bilgisini işleyebilmesi sayesinde üretim alanındaki özellikle uzman olmayan karar vericilere yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Böylece yanlış çekme sistemi için zaman ve para harcanmamış olacaktır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, geliştirilen modele yeni girdiler ve yeni çekme sistemleri eklenmesi düşünülmektedir. Özellikle talep değişkenliğinin ilave bir girdi olarak modele eklenmesi ile çalışmanın karar verme yeteneğinin artacağı düşünülmektedir. Ayrıca üretim ve hizmet sistemlerindeki aşırı bulanıklık düşünüldüğünde bulanık mantık Tip-1 yerine bulanık mantık Tip-2'nin de değerlendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] C. Karrer, Engineering Production Control Strategies: A Guide to Tailor Strategies that Unite the Merits of Push and Pull, Springer-Verlag Berlin, 2012.
- [2] T. Fujimoto, The Birth of Lean, Conversations with Taiichi Ohno, Eiji Toyoda and other figures who shaped Toyota management, Lean Enterprise Institute, USA, 2009.
- [3] A. Puchkova, J. Le Romancer, D. McFarlane, Balancing Push and Pull Strategies within the Production System. IFAC-PapersOnLine, 49: 2 (2016) 66-71.
- [4] R. Suri, Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead Times, Productivity Press, Portland, USA, 1998.
- [5] J. J. A. Leeman, Supply Chain Management: Fast, Flexible Supply Chains in Manufacturing and Retailing, Institute for Business Process Management, Germany, 2010.
- [6] D. Minnich, F. H. Maier, Responsiveness and Efficiency of Pull-Based and Push-Based Planning Systems in the High-Tech Electronics Industry, 25th International Conference of the System Dynamics Society, (2007) 3035–3067.
- [7] M. C. Bonney, A. Zhang, M. A. Head, C. C. Tien, R. J. Barson, Are push and pull system really so different?. International Journal of Production Economics, 59: 1 (1999) 53-64.
- [8] J. Teeravaraprug, S. Stapholdecha, Performance Analysis of Push, Pull, and Mixed Systems. Thammasat Int. J. Sc. Tech., 9: 4 (2004) 29–36.
- [9] P. M. Gonçalves, Demand Bubbles and Phantom Orders in Supply Chains, Doctoral Thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2003.
- [10] S. L. David, P. Kaminsky, E. Simchi-Levi, Designing and managing the supply chain: Concepts,

- strategies, and case studies, 2nd ed., New York, 2003.
- [11] O. Ghrayeb, N. Phojanamongkolkij, B. A. Tan, A hybrid push/pull system in assemble-to-order manufacturing environment. *J Intell Manuf*, 20 (2009) 379-387.
- [12] W. J. Hopp, M. L. Spearman, *Factory Physics*, 3rd edition. Long Grove, Illinois: Waveland Press Inc, USA, 2008.
- [13] W. J. Hopp, M. L. Spearman, R. D. Irwin, *Factory Physics*, Chicago, IL, USA, 1996.
- [14] J. Nicholas, *Lean Production for Competitive Advantage: A Comprehensive Guide to Lean Methodologies and Management Practices*, CRC Press, USA, 2010.
- [15] Y. Monden, *Toyota Production System: Practical Approach to Production Management*, Industrial Engineering and Management Press, Atlanta, 1983.
- [16] M. Stevenson, L. C. Hendry, B. G. Kingsman, A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. *International Journal of Production Research*, 43: 5 (2005) 869-898.
- [17] M. L. Spearman, D. L. Woodruff, W. J. Hopp, CONWIP: a pull alternative to kanban. *Int. J. Prod. Res*, 28: 5 (1990) 879-894.
- [18] R. Marek, D. Elkins, D. Smith, Understanding the fundamentals of Kanban and CONWIP pull systems using simulation, *Winter Simulation Conference Proceedings 2001*, (2001) 921-929.
- [19] T. Ohno, *Toyota Production System-beyond large-scale production*, Productivity Press, USA, 1988.
- [20] Y. K. Ghamari, A performance comparison between kanban and CONWIP controlled assembly systems. *J. Intell Manuf.*, 20 (2009) 751-760.
- [21] B. Gasterman, M. Stopper, B. Katalinic, Adapting conwip characteristics for conventional production planning. *Daam International Scientific Book*, 46 (2012) 553-564.
- [22] Y. Jaegler, P. Burlat, S. Lamouri, The ConWIP Production Control System: A Literature Review, *Information Systems Logistics and Supply Chain 6th ILS Conference*, 2016.
- [23] E. G. A., Gaury, H. Pierreval, J. P. C. Kleijnen, An Evolutionary approach to select a pull system among Kanban, Conwip and Hybrid. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 11 (2000) 157-167.
- [24] J. W. Li, Comparing kanban with CONWIP in a make-to-oder environmet supported by JIT practices. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 28 (2011) 72-88.
- [25] R. Suri, A. Krishnamurty, *How to Plan and Implement POLCA: A Material Control System for High-Variety or Custom-Engineered Products*, Technical Report, Centre for Quick Response Manufacturing, 2003.
- [26] J. Riezebos, Design of POLCA material control systems. *International Journal of Production Research*, 48: 5 (2010) 1455-1477.
- [27] T. Frazee, C. Standridge, CONWIP versus POLCA: A Comparative Analysis in a High-Mix, Low-Volume (HMLV) Manufacturing Environment with Batch Processing. *Journal of Industrial Engineering and Management JIEM*, 9: 2 (2016) 432-449.
- [28] A. Farnoush, M. Wiktorsson, Polca and Conwip performance in a divergent production line, an automotive case study. *J. Manag Control*, 24 (2013) 159-186.
- [29] C. C. Huang, A. Kusiak, Overview of Kanban systems. *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, 3 (1996) 169-189.
- [30] J. A. Pettersen, A. Segerstedt, 2009, Restricted work-in-process: A study of differences between Kanban and CONWIP. *International Journal of Production Economics*, 118 (2009) 199-207.

- [31] W. H. Ip, M. Huang, K. L. Yung, D. Wang, X. Wang, Conwip based control of a lamp assembly production line. *J. Intell Manuf*, 18 (2007) 261-271.
- [32] M. L. Spearman., M. A. Zazanis, Push and pull production systems: issues and comparisons. *Operations Research*, 40 (1992) 521–532.
- [33] A. Krishnamurty, R. Suri, Planning and implementing POLCA: a card-based control system for high variety or custom engineered products. *Production Planning & Control*, 20: 7 (2009) 596-610.
- [34] Ö. Kabadurmuş, A comparative study of POLCA and generic CONWIP production control systems in erratic demand conditions. *IIE Lean Division Lean Student Paper Competition*, 2009.
- [35] S. Gstettner, H. Khun, Analysis of production control systems kanban and CONWIP. *Int. Journal of Production Research*, 34: 11 (1996) 3253-3274.