

Bir hücreyel üretim ortamında, üretim planlama ve kontrol sistemlerinin benzetim analizi

Affan NOMAK, M. Bülent DURMUŞOĞLU*

İTÜ İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Maçka, 34357, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, gerçek bir GT üretim sisteminde, mevcut makine yerleşim düzeninde yapılan iyileştirme çabaları sonrası, hücre yönetimi için bir metodoloji önerilmiş ve beş farklı senaryo yapılandırılmıştır. Ele alınan senaryolarda, itme bazlı geleneksel üretim yönetim yaklaşımı yanı sıra, Kanban ve CONWIP bazlı çekme sistemlerine yönelik benzetim modelleri kurulmuş ve planlama aşamasında "Yük Bazlı Sipariş Yönetimi"nin etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, tanımlanan performans ölçütleri doğrultusunda karşılaştırılarak yorumlanmış ve önerilen metodolojinin başarısı tartışılmıştır. Senaryoları değerlendirmede, imalat temin süresi, çevrim süresi, makine kullanım oranı, proses içi stok seviyesi ve siparişlerin zamanında teslim yüzdeleri gibi ölçütler göz önünde bulundurulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hücre yönetimi, itme-çekme sistemleri, iş yükü bazlı imalat kontrolü, Kanban-CONWIP.

Simulation analysis of production planning and control systems in a cellular manufacturing environment

Abstract

In this study, five distinct scenarios are designed for cell planning and control in a real GT manufacturing system. In these scenarios, the effects of load-oriented order release approach are searched and simulation models including push type production system, Kanban and CONWIP based pull systems, and hybrid control policies are built. Load oriented order release is applied for the all scenarios except the first scenario, which uses traditional push system for production control. Second Scenario, which has a load oriented order release mechanism, uses push system like Scenario 1. They are both allowed to order batching to avoid long set-up times of machines. The Third Scenario is under push type control without order batching. In Scenario 4, CONWIP control policy is used. One-card Kanban model is structured in the last scenario, Scenario 5. Manufacturing lead time, cycle time, machine utilization, work-in-process and on-time deliveries are defined as performance criteria in order to evaluate scenarios. Considering simulation results, it is emphasized that whether "push" or "pull" production system is applied, using load oriented order release during the planning phase increases the system performance. In addition, pull systems have the higher throughput, shorter lead times and cycle times compared to push type systems.

Keywords: Cell management, push-pull systems, work load oriented process control, Kanban-CONWIP.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Prof. Dr. Bülent DURMUŞOĞLU. durmusuoglu@ogu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00 dahili:2666. Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İşletme Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Benzetim yardımıyla üretim planlama ve kontrol sistemlerinin analizi " adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 29.05.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 12.09.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 29.02.2004 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Parti tipi imalat sistemlerinde bir parti üretimi için gerekli temin zamanı, parçanın işleme zamanının oldukça üzerinde bir sürede gerçekleştirilmektedir. Bauer ve diğerleri (1994)'e göre, gerçek hayatta kuyrukta bekleme süreleri, toplam temin süresinin %80'ine ulaşabilmektedir. Bu anlamda verimliliği arttırmaya ve ürün teslim sürecinde değer yaratmayan faaliyetleri, diğer bir deyişle, israfları tespit ederek bunların ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalar, uzun yıllardır hem akademik çevrelerin hem de şirket yöneticilerinin ilgi odağı olmuştur.

“Muda”, Japonca’da israf demektir, özellikle hiç bir değer yaratmadan kaynakları tüketen faaliyetleri gösterir (Ohno, 1988). Müşterinin beklentilerini karşılamayan ürün ve hizmetler de bu kapsamda sayılabilmektedir. (Womack ve Jones, 1996). Yalın Düşünce kavramı mudaların ortadan kaldırılmasında en etkili yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Yalın düşüncenin kritik başlangıç noktası değerdir ve değer ancak nihai müşteri tarafından tanımlanabilir.

Müşteriye odaklanma denince akla ilk gelen *Tam Zamanında Üretim* (TZÜ) felsefesidir. Bu sisteminin uygulanma amacı, müşteri ihtiyaçlarını tam olarak karşılayacak sistem kapasitesini veren üretim ritmini dengelemektir. TZÜ çekme bazlı bir sistem olduğundan, müşteri talebi doğrudan üretim ritmini dengeler. *Kanban ve CONWIP* (Constant Work In Proses) çekme felsefesinin yaygın uygulamalarıdır.

Bu çalışmada, hücreli imalat sistemlerinde, benzetim yardımıyla üretim planlama ve kontrol sistemlerinin analizi yapılmıştır. Müşteri odaklılık bakış açısını kaybetmeden, hücre yönetimi için teorik bazlı etkin bir metodoloji araştırılmıştır. Ayrıca, gerçekleştirilen uygulama çalışması ile, gerçek bir GT üretim sisteminde, mevcut makine yerleşim düzeninde yapılan iyileştirme çabaları sonrası, hücre yönetimi için bir metodoloji önerilmiştir. Geleneksel üretim yönetim yaklaşımına alternatif olarak önerilen metodoloji, planlama aşamasında yük kontrolünü sağlayarak başlayan ve daha sonra itme ve çekme sistemlerinin birleşiminden oluşan CONWIP bazlı karma bir yapıya sahiptir. Önerilen

metodolojinin başarısını test etmek için, beş farklı senaryo yapılandırılmıştır. Ele alınan senaryolarda, itme bazlı geleneksel üretim yönetim yaklaşımı yanı sıra, Kanban ve CONWIP bazlı çekme sistemlerine yönelik benzetim modelleri kurulmuş ve planlama aşamasında “Yük Bazlı Sipariş Yönetimi” nin etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, tanımlanan performans ölçütleri doğrultusunda karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Yayın taraması

Çekme sistemi, talep ile üretimi birleştirir. Genellikle son ana montaj hattı veya darboğaz niteliğinde bir proses (veya hücre), talebe göre günlük olarak çizelgelenir. Başka bir deyişle sadece söz konusu montaj hattı veya hücre, merkezi kontrolden bilgi (iş emri) almakta, diğer hücreler iş emrini, “Kanban Bilgi Akış Sistemi” yardımıyla sağlamaktadır. İş emrinin gönderildiği hücreye, “tempo sağlayıcı hücre”, (pacemaker cell) adı verilir. Kanban yardımıyla “pacemaker” hücre, tükettiği kadar parçayı, üretildiği hücrelerden çekmektedir. Parçası çekilen hücre ise, kendisinden çekilen miktar kadar parçayı üretmek zorundadır. Bu çekme, önceki hücrelere doğru benzer şekilde gerçekleşir. Sonuç olarak bir tedarikçi-müşteri ilişkisi, üretimin yapıldığı sahada oluşmaktadır. Merkezi otoritede bulunan yetki sahaya indirilmiş, merkezi sistem ile saha arasındaki yoğun iletişim ve koordinasyon ihtiyacı yok edilerek sistem basitleştirilmiş, etkinliği artırılmıştır (Durmuşoğlu vd., 2000).

Son zamanlarda Kanban’a alternatif olarak CONWIP kavramının ağırlık kazandığı görülmektedir. CONWIP kavramının altında yatan düşünce bir iş hattı ayrılırken, yeni bir işin sisteme tanıtılmasıdır. CONWIP’de itme ve çekme beraberce kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, yeni işler, farklı parça sayıları ile belirli bir proses içi stok oluşuncaya kadar sisteme tanıtılabilirler. Bu sebepten dolayı hattaki proses içi stok seviyesi sabittir ve farklı seviyelerde ayarlanabilir.

Temelde, Conwip sistemi Kanban sisteminin özelleştirilmiş bir şeklidir. Kanban gibi,

CONWIP de bir sistemin proses içi stoğunu sınırlandırmak için kartları kullanır. Ancak Kanban'dan farklı olarak bu kartlar sadece bir tane yerine iş istasyonları sistemine atanır. Bir CONWIP sisteminde kartlar sadece ilk iş istasyonundaki partilere iliştilmektedir. Partiye iliştilen kart o parti son iş istasyonunda işlenip üretim sürecini tamamlayıp müşteriye iletmek üzere hazır hale gelinceye kadar partiye birlikte hareket etmektedir. Bu noktada serbest kalan kart, CONWIP hattının ilk iş istasyonuna geri döner ve sisteme yeni bir parti girişine izin verir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, bir parça serbest bırakıldığında, bitmiş ürün halini alıncaya kadar işlenir ve son stok alanında müşteriye gönderilmek üzere hazır hale geldiğinde, zincirde yer alan ilk iş istasyonuna diğer parçanın yüklenmesi için izin verilir. Şekilde görülen beyaz oklar parçanın hareketini ve siyah oklar da serbest bırakma yetki çevrimini göstermektedir (Bonvik, 1997).

Kettner ve Bechte (1981), bir atölyenin tüm iş merkezlerinde stokları ve akış zamanlarını kontrol etmek için bir kontrol metodu geliştirmişlerdir.

Bu amaçla, her bir sipariş için çizelgede öngörülen tahsisler gerçekleştirilmelidir. Bunun için, sipariş akışında karar faktörü siparişlerin hangi tarihte üretim için serbest bırakılacağıdır. Yöntem "İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi" (Load-Oriented Order Release) olarak anılmaktadır. İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi bir iş atölyesinde işlerin gerçek girdisini planlanan çıktıya göre dengeleyerek akış zamanlarını kontrol eden bir yöntemdir.

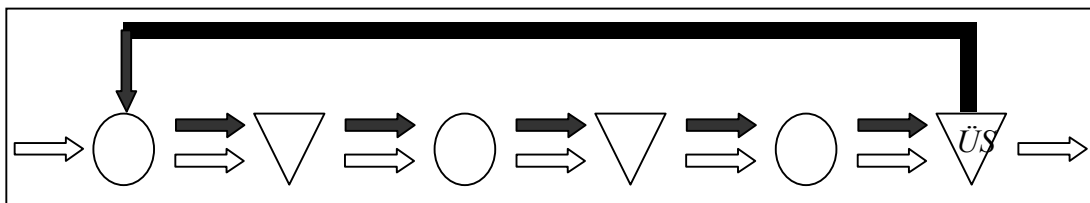
Problem sadece ilk iş istasyonunun değil, akış boyunca yer alan tüm iş istasyonlarının bir matematiksel yaklaşım kullanarak yönetilmesidir (Wiendahl, 1995).

Bechte (1980) çalışmasında, iş merkezlerinin yönetilmesinde yeni bir çözüm olarak tanımladığı İş Yüğü Bazlı İmalat Kontrolü'ne yönelik prensipleri ortaya koymuştur. Yüğü bazlı imalat kontrolünün ana mantığı, siparişlerin hızlı ve zamanında akışını sağlayacak şekilde, iş merkezlerinin kullanım oranlarını da yüksek tutmak suretiyle proses içi stoğu mümkün olduğunca sınırlamak ve dengelemektir. Bunun yanısıra, sistem temin sürelerini planlanan seviyede tutmaya çalışırken, tam anlamıyla bir termin bazlı çizelgeleme yaklaşımı sunar. Aynı zamanda, sistemdeki dar boğaz noktalar ortaya çıkarılırken, etkin bir kısa ve orta vadeli kapasite planlama yapılmış olmaktadır. Yaklaşım özellikle küçük parti büyüklüğüne sahip sistemlerde daha etkin çalışmaktadır. Atölye imalatına istatistiksel bir bakış açısı sunan yüğü bazlı imalat kontrolünün çekirdeğini yüğü bazlı sipariş yönetimi oluşturmaktadır.

Bu basit ama etkin teknik, Batı Almanya'da Hannover Üniversitesi'nde yapılan akademik araştırmalar sırasında, geliştirilmiştir (Bechte 1980, Kettner ve Bechte 1981).

Bechte'nin çalışmasından sonra, Yüğü Bazlı İmalat Kontrolü Yaklaşımı endüstriyel ortamda 20 farklı fabrikada denenmiş ve başarılı olmuştur. Bazı yazılım şirketleri, yüğü bazlı imalat kontrolüne imkan veren yazılımlar geliştirmişler ve bunları önermektedirler. Buna yönelik en son çalışma Wiendahl (1987) tarafından ortaya konmuştur.

Gupta ve diğerleri (1999), ele aldıkları çalışmada, Tam Zamanında Üretim Sistemlerinin sabit ve düzgün bir talep yapısı yanısıra, sabit işleme zamanlarına sahip deterministik üretim ortamları için tasarlandığını ifade etmişlerdir. Ancak, sistem uygulama aşamasına geçtiği zaman, önleyici



Şekil 1. Conwip Kontrolü (ÜS : Ürün Stoğu), (Bonvik, 1997)

bakım, makine arızalanmaları gibi planlanmayan duruşlar yanısıra, talep ve işleme zamanlarında değişkenlikler ve bir çok belirsizlikler ortaya çıkmaktadır. Bu belirsizlikler, üretim hacminin düşmesi, makine kullanım oranlarının azalması, sipariş tamamlanma süresinin uzaması ve fazla mesai ihtiyacı gibi olumsuzluklara sebep olmaktadır. Ele alınan çalışmada, “Esnek Kanban Sistemi (EKS)” olarak adlandırılan ve bu planlı ya da plansız belirsizliklerin üstesinden gelmesi hedeflenen yeni bir sistem tanıtılmaktadır. Çalışmada, geliştirilen EKS'nin üstünlüğü, her biri farklı belirsizlikleri içerecek şekilde yapılandırılan dört örnek olay çalışmada değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra, geleneksel Tam Zamanında Üretim Sistemi ile EKS'nin performansı karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Ele alınan dört örnek olayda da EKS'nin performansı gerçekten geleneksel Tam Zamanında Üretim Sisteminden daha başarılı çıkmıştır.

Marek vd. (2001), Arena/Siman 3.5/4.0 kullanarak, Kanban ve CONWIP bazlı çekme sistemlerinin kontrolüne yönelik benzetim modeli ortaya koymuşlardır. Çekme sistemine yönelik temel kavramların şekillerle açıklandığı çalışmada, modelleme teknikleri yanısıra, Kanban ve CONWIP çekme sistemleri için kart azaltma teknikleri sunulmuştur. Bir çekme sistemi uygulamasının temel avantajı, çevrim süresini azaltması ve mühendislik ve tasarım değişkenliklerine yönelik ekonomik esneklik kazandırmasıdır. Kanban sistemi, her bir iş istasyonunda daha az proses içi stok tutulmasına imkan verirken, CONWIP sistemi sadece bir dizi kart ile proses içi stoğun yönetimine imkan verdiğinden, uygulaması ve kontrol etmesi daha kolay bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmada, kart azaltma stratejisi tartışılmış ve üretim operasyonları için benzetimin etkin bir karar destek aracı olduğuna yönelik görüşler ortaya konmuştur. Arena ile çalışılmasının nedeni olarak da, Siman bazlı olması yanısıra, endüstride yaygın kullanım olanağı bulmuş olmasıdır.

Edwards vd. (1993), takt süresini belirlemeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Takt, müşteri talebinin hızı ile eşleştirilen üretilmesi zorunlu bir birimin süresidir. Müşteri talebinden

bağımsız olan makine çevrim süresinden ayırt edebilmek için “Taiichi Ohno” tarafından kullanılmıştır. Takt süresi, günlük işletim süresinin günlük müşteri ihtiyacına oranlanması ile hesaplanır. Günlük işletim süresi, bir gündeki mevcut toplam süreden, donanımın çalışmadığı sürenin (örneğin molalar, ekip toplantıları, temizlik süreleri, hazırlık süreleri vb.) çıkarılması ile elde edilir.

Framinan vd. (2000) çalışmalarında, stoğa üretim ortamında “CONWIP” tarafından kontrol edilen bir akış atölyesinde kullanılabilecek sıralama kuralları ve girdi kontrolü üzerinde odaklanmışlardır. CONWIP'in performansının diğer girdi kontrollerinin ve farklı sıralama kurallarının kullanılmasıyla artırılabilmesi gösterilmesine rağmen, “CONWIP” sistemi temelde tek kart-hesap kontrolüne ve İlk Giren İlk Servis görür (FCFS) sıralama kuralına dayanmaktadır.

Durmuşoğlu vd. (2000), teknik plastik parça üreten bir sistemde değer akışı haritalandırma ve Kanban sistemi uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Uygulama bazlı bu çalışmada, teknik plastik parça üretimi yapan bir sistemde jant kapağı ürün ailesi için Kanban bazlı bir çekme sistemi ortaya konmuştur. Uygulama içi, israfları gösteren mevcut durum haritası ve buradan sistemi itmeden çekmeye yönlendirecek gelecek durum haritası hazırlanmıştır. “Sinyal Kanbanı” ve “CONWIP” yapıları tasarlanarak haritaya işlenmiştir. Uygulama sonunda, ele alınan sistemin henüz çekme sistemine hazır olmadığı ve sistemin aksamaya uğramaması için, haftalık talebe eşdeğer büyük parti miktarları ile çalışabilecek çekme sisteminin düşük risk taşıyacağı ifade edilmiştir.

Steele vd. (1995), çok hücreli imalat sistemlerinin planlanması ve kontrolüne yönelik bir çalışma ortaya koymuşlardır. Çalışmada, akış hücrelerini ve montajı kapsayan çok hücreli bir imalat sisteminin planlanmasında ve kontrolünde, Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP), Kanban ve Periyodik Parti Kontrolü (PPK) alternatif yaklaşımlar olarak değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Miltenburg (1997), TZÜ; MRP ve Kısıtlar Teorisi (TOC) yaklaşımlarını karşılaştıran ve MRP'ye TOC'u entegre etmeye yönelik bir çalışma ortaya koymuştur.

Steele ve Malhotra (1997) ise; ortaya koydukları çalışmalarında, hücresele imalatta Periyodik Parti Kontrolü (PPK) sistemlerinin performansını etkileyen faktörleri araştırmışlardır. Sonuçlara göre, talep değişkenliği, hücreler arası dengelenmemiş kapasite farklılığı ve gezen parti büyüklükleri, sistem performansını etkilemektedir.

Geniş bir yayın taraması sonucunda belirli sayıda makale ele alınmış ve bu kapsamda incelenen makaleler için şu sonuçlara varılmıştır.

- İncelenen yayınlar içerisinde “Uygulama” içeren çok az sayıda yayın vardır,
- Çalışmaların büyük bölümünün “sadece itme” ya da “sadece çekme” sistemlerine yönelik çalışmalarıdır,
- İş yükü Bazlı İmalat Kontrolünün sadece itme sistemi ile analizi yapılmıştır ve bu sistemi çekme sistemi ile birlikte kullanan yayına rastlanmamıştır,
- Birbirinden farklı çok sayıda kontrol aracını / sistemini kullanan ve bunları geniş bir performans değerlendirme ölçütleri yelpazesinde karşılaştıran az sayıda yayın vardır.

Öyleyse gerçekleştirilecek çalışmamız en azından,

- “İtme” ve “Çekme Sistemlerini” aynı anda bünyesinde barındırmalı, hangisinin hangi şartlar altında daha etkin olduğuna yönelik sonuçları tartışmalı, gerekli noktalarda performans etkinliği için karma yapılar göz önüne alınabilmeli ve benzetim kullanılmasının getirdiği hız ile farklı senaryolar test edebilmelidir.
- Teorik bazlı bir metodoloji ortaya konmalı ve bir “Uygulama” ile sınanmalıdır.

Bu düşünceler paralelinde, çekme sistemi ile İş Yükü Bazlı İmalat Kontrolü'nün birlikte kullanılmasının da etkisiyle, literatüre zenginlik katılacağına inanılmıştır.

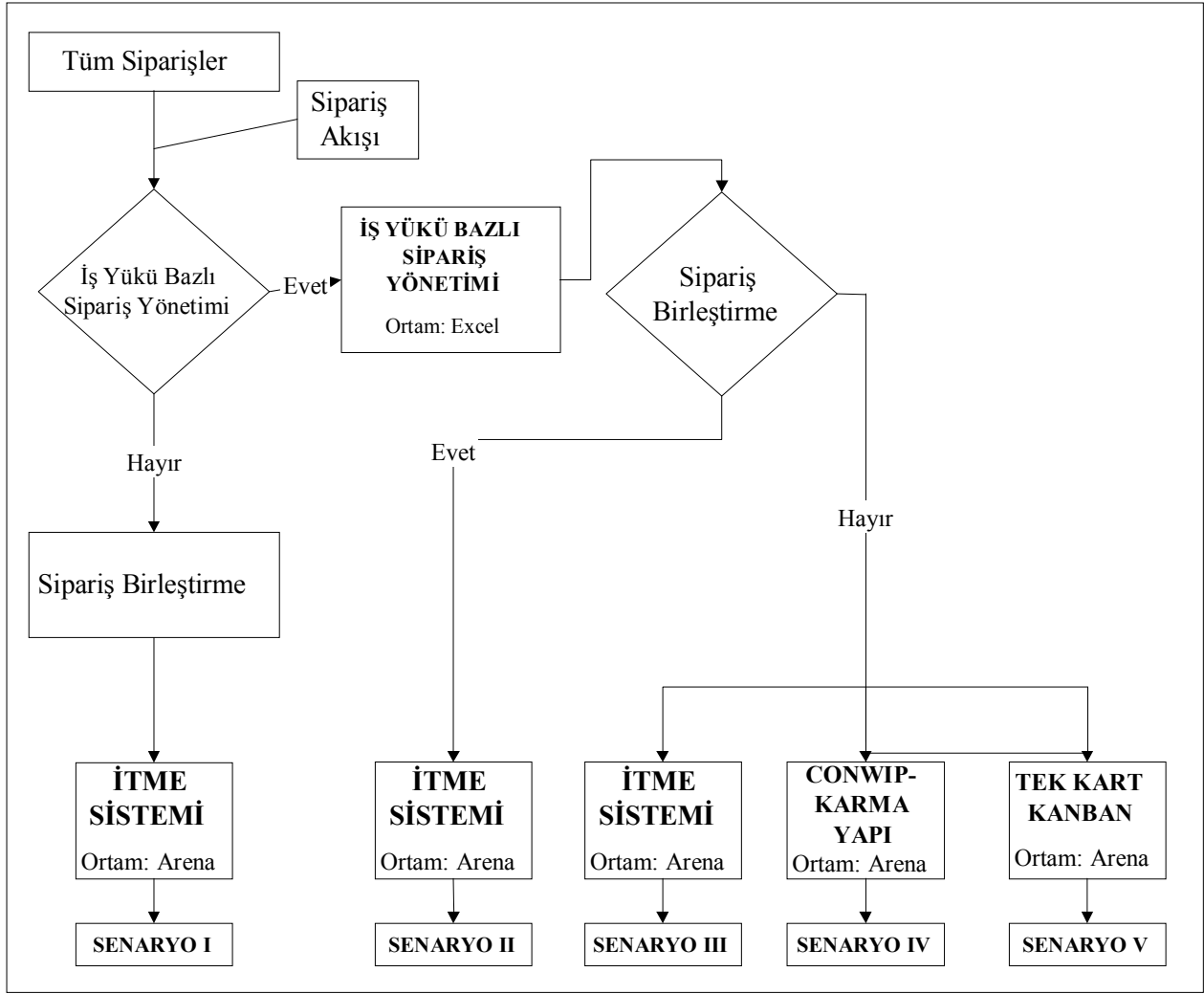
Geliştirilen senaryolar ve önerilen metodoloji

Bu çalışmada geleneksel üretim yönetim yaklaşımına alternatif olarak farklı bir metodoloji önerilmektedir. Önerilen metodoloji, planlama aşamasında yük kontrolünü sağlayarak başlayan itme ve çekme sistemlerinin birleşiminden oluşan CONWIP bazlı karma bir yapıdır. Bu yaklaşım, birbirinden farklı senaryolarla karşılaştırılarak benzetimi yapılacak ve performans sonuçları değerlendirilecektir.

Bu amaçla, Şekil 2’de görüldüğü gibi beş ayrı senaryo geliştirilmiştir. İlk senaryo hariç diğer tüm senaryolarda İş Yükü Bazlı Sipariş Yönetimi uygulanmıştır. İlk iki senaryo, itme prensibine göre yapılandırılmış olup, her iki senaryoda da makinelerin uzun hazırlık zamanlarından kaçınmak için sipariş birleştirme yoluna gidilmiştir. Böylece birim zamanda daha fazla sayıda parça üretileceği düşünülmüş olup, verimlilik ölçütü ön planda tutulmaya çalışılmıştır. Üçüncü senaryo da itme prensibine göre yapılandırılmış olmakla beraber, sipariş teslim süreleri gözönünde tutularak sipariş birleştirmeye izin verilmemiştir. Dördüncü senaryoda, ana imalat hücresi, üç alt hücreye ayrılmış ve imalat kontrolünde hücre içi itme, hücreler arası CONWIP bazlı çekme kontrol politikası ile yönetilmiştir. Bu senaryo, bu çalışmada önerilen metodolojidir. Beşinci senaryo, tamamen çekme bazlı olup, Tek-Kart Kanban modeli ile yapılandırılmıştır.

Geliştirilen senaryolar arasından en etkin imalat kontrol sisteminin seçilebilmesi için, üretilen parça sayısı, ortalama imalat temin süresi, ortalama çevrim süresi, makine başına ortalama bekleme süresi, makine başına ortalama kuyruk uzunluğu, makine kullanım oranları, proses içi stok seviyesi ve zamanında teslim gibi performans ölçütleri seçilmiş ve bu ölçütler değerlendirmede kullanılmıştır.

Tüm senaryolar Arena 3.0 benzetim yazılımında modellenerek test edilmiştir. Kıyaslama imkanını sağlamak için bütün senaryolarda iki haftalık planlama periyodu dikkate alınmıştır. Model iki hafta sonunda kesilerek sonuçlar elde edilmiş ve daha sonra model işletilmeye devam edilerek,



Şekil 2. Geliştirilen senaryolar

tüm parçaların işlenmesi tamamlanmış ve yine buna ilişkin sonuçlar toplanmıştır.

İlk senaryo dışında kalan tüm senaryolarda, İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi Microsoft Excel’de kullanıcı uyumlu olarak sıra bağımlı hazırlık sürelerini de dikkate alacak şekilde programlanmıştır. Planlama rolünü üstlenen kullanıcı mevcut siparişleri, makro kullanılarak oluşturulan yapıya girdiği takdirde, oluşturulan model, üretime göndermek üzere serbest bırakılacak sipariş listesini makine yük-kapasite dengesini dikkate alarak oluşturmaktadır. Her makine için literatürde kabul edilebilir değerlerden biri olarak geçen % 150 iş yükü limiti tespit edilmiştir (Weindahl, 1994).

Microsoft Excel’de oluşturulan bu siparişler bir dosyaya işlenmekte ve Arena kurulan yapı sayesinde sipariş miktarlarını otomatik olarak çekmekte ve girdi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, istenildiği takdirde üretim miktarlarının işlendiği “.txt” uzantılı dosyaya erişilerek üretim miktarları son derece kolay bir şekilde değiştirilebilmektedir.

Tüm benzetim modelleri aşağıdaki varsayımlar kullanılarak modellenmiştir;

- Benzetimde kullanılan makine süreleri belirlidir.
- Her bir makine için hazırlık süreleri tanımlanmış modelde dikkate alınmıştır.
- Üretim sistemindeki makinelerin, benzetim süresi boyunca arızalanmadıkları varsayılmıştır.

- Üretim için gerekli malzeme ve makine haricindeki ek donanım sınırsızdır.
- İş gören ve makine stok alan kısıtı olmadığı varsayılmıştır.
- Makinelerde işlenecek parçalar için ilk giren ilk çıkar prensibi geçerlidir.
- Hücre içi yerleşimde, makinelerin birbirlerine yakın oldukları dikkate alınarak taşıma süreleri ihmal edilmiştir.

Şekil 3'te "Senaryo 1" dışında kalan tüm senaryolar için, İş Yüklü Bazlı İmalat Kontrolü' nü sağlamak üzere kurulan yapı görülmektedir. Yapının ilk kısmı, sıra bağımlı hazırlık sürelerini de göz önüne alacak şekilde Microsoft Excel'de programlanmıştır.

Uygulama

Bu çalışmada, Türkiye'nin önde gelen bir kuruluşuna ait olan bir Cam Kalıbı Üretim Sistemi'nde hücresele üretime yönelik gerçekleştirilen bir uygulama projesi ele alınmıştır. Fabrika, cam kalıp üretiminin büyük bölümünü Şişecam bünyesindeki fabrikalara satarken, bir bölümünü de ihraç etmektedir. Üretim sisteminde, 50'si NC veya CNC tezgah olmak üzere, 100'ün üzerinde bir tezgah parkı bulunmaktadır. Kalıp parçaları teknik açıdan üretilebilirliği zor, yüksek teknoloji ve deneyim gerektiren parçalardır (Durmuşoğlu ve Nomak, 2000).

Cam kalıp parçalarından en stratejik ve önemli olanları, IS-Ebişör ve IS-Finişör parçalarıdır. Sadece IS-Ebişör ve IS-Finişör kalıp parçaları için, bu parçaların önemine dayanarak ayrı bir hücre kurulmuştur. Bu çalışma, IS-Ebişör ve IS-Finişör hücresinde gerçekleştirilmiştir.

Mevcut yapının üzerinde çeşitli yerleşim alternatifleri düşünülmüş ve "Honlama" ve "Pantograf" operasyonlarını gerçekleştiren tezgahların yerlerinin değiştirilmesinin daha uygun olacağı ve hücre içerisinde taşımaları azaltacağı tespit edilmiştir. Mevcut hücrenin büyüklüğü de gözönünde bulundurularak, sistemin kontrol edilmesini ve yönetilmesini daha kolay hale getirmek amacıyla, ana hücre alt hücrelere bölünmüştür. Farklı bölünme alternatifleri arasında yakınlık ve U-tipi yerleşime benzer olan alt hücre bölünme yapısı seçilmiş ve ana hücre üç alt hücreye ayrılmıştır.

Önerilen metodoloji (Senaryo 4), hücre içi itme, hücreler arası çekme bazlı yapıdadır.

Uygulama sonuçları ve değerlendirme

İş Yüklü Bazlı Sipariş Yönetimi sonrası, Arena'da yapılandırılan senaryolar için, benzetim uygulaması 10.800 dak. olan iki haftalık planlama periyodunda kesilmiş ve sonuçlara ilişkin değerler elde edilmiştir. (Tablo 1) Daha sonra, benzetim

Tablo 1. Planlama periyodunda üretilen parça - sipariş sayıları ve yüzdeleri

Sonuçlar		Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5
Üretilen Parça Sayısı	Ebişör	137	125	70	70	67
	Finişör	0	2	54	72	50
	Toplam	137	127	124	142	117
Karşılanan Sipariş Sayısı	Ebişör	9	8	5	5	4
	Finişör	0	0	3	4	3
	Toplam	9	8	8	9	7
Toplam Sipariş Sayısı	Ebişör	10	8	8	8	8
	Finişör	10	7	7	7	7
	Toplam	20	15	15	15	15
Karşılanan Sipariş Yüzdesi (%)	Ebişör	90%	100%	63%	63%	50%
	Finişör	0%	0%	43%	57%	43%
	Toplam	45%	53%	53%	60%	47%

modeline kaldığı yerden devam edilerek, tüm parçaların imalatının tamamlanması beklenmiş ve yine sonuçlar toplanmıştır, ancak bu makalede sadece planlama periyodunda elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Senaryo 1’de verimlilik kriteri ön plana çıkarılmak istenirken, aslında müşteri beklentileri ikinci plana itilmektedir. Bu senaryoda planlama periyodu boyunca hiç finişör parçası üretilmemiş ve belki de termini henüz gelmemiş olan ebişör siparişleri yüzünden, finişör parçalarını talep eden müşteriler geç teslim ile karşı karşıya kalmışlardır. Başlangıçta, imalat açısından mantıklı görünen bu yaklaşım gerçekte belki de müşteri kaybına yol açacaktır, bu durum günümüz koşullarında son derece yanlış bir strateji olarak değerlendirilmelidir. Senaryo 1’de olduğu gibi, yine sipariş birleştirilmesine gidilen Senaryo 2’de planlama aşamasında yük bazlı sipariş yönetimi yapıldığı için, müşteri açısından Senaryo 1’e göre kısmen daha iyi sonuçlar karşımıza çıkmaktadır.

Senaryo 3 sipariş birleştirme yapılmadan itme sistemini temsil etmektedir. Bu senaryoda toplamda Senaryo 4’e (önerilen metodoloji) göre daha az sayıda parça tamamlanırken Senaryo 5’e göre bir miktar daha fazla sayıda parça üretilmesi mümkün olmuştur. Aynı kapsamda, tamamlanan sipariş yüzdeleri karşılaştırıldığında ise, önce iş yükü bazlı sipariş yönetimi uygulanan, İtme ve çekme sistemlerinin birleşiminden oluşan karma yapıya sahip CONWIP bazlı Senaryo 4’ün ise diğer senaryolara göre daha fazla sayıda siparişe cevap verdiği görülmektedir.

Parça temin süreleri açısından senaryolar değerlendirildiğinde; Senaryo 1’de ebişör temin süresi düşük çıkarken parti birleştirme sonucu uzun bekleme sürelerinden dolayı, finişör temin süreci ile ilgili veri elde edilememiştir (Tablo 2). Senaryo 2’de parti birleştirme yoluna gidilmiş ancak planlama aşamasında yük dengelemesi yapıldığı için Senaryo 1’e göre daha iyi sonuçlar ortaya çıkmıştır. Yine de ebişör ve finişör parça temin süreleri dengesiz bir yapıdadır. Finişör parçaları imalat için ebişör siparişlerini beklediği için uzun temin süreleri karşımıza çıkmaktadır.

Çevrim süresi ise, karşılaştırma için gerçek anlamda bir performans ölçütü olarak değerlendirilmese de, imalat özelliklerine ilişkin yorum yapmak için değerlidir. Çevrim süresi, basitçe, imalat sisteminin sonunda bekleyen bir kişinin, kaç dakikada bir parçanın sistemden çıktığını kestirebilmesine yardımcı olmaktadır. Diğer bir deyişle, örneğin, ebişör parçası için Senaryo 3’te “146 dak.” olarak okunan çevrim süresi değeri, sistemden ortalama 146 dakikada bir ebişör parçası çıktığını ifade etmektedir.

Makine kullanım oranları ise, bir başka performans kriteri olarak değerlendirilebilir. Senaryo bazında makine kullanım oranlarının ortalaması, bu kriter açısından daha iyi fikir sahibi olmamıza yardımcı olacaktır. Senaryo 1 beklendiği gibi, planlama periyodu boyunca bu kriter açısından en başarılı senaryo olarak göze çarpmaktadır.

Makine bazında kuyrukta bekleyen parça sayılarında ise, ilk üç senaryoda toplam dört makine önünde kuyruk oluştuğu görülürken, çekme sistemlerinin kullanıldığı Senaryo 4 ve 5’te makine önlerinde kuyruk oluşmamıştır. İlk üç senaryoda, “Derin Delik”, “Manuel Kaynak” ve “Ramboudi CNC Freze” tezgahları darboğaz oluşturmaktadır.

Kuyrukta bekleyen parça sayılarının yüksek olması, yüksek proses içi stok demek olup, bu Bölüm 1’de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi muda (israf) anlamına gelmektedir. Bu kriter senaryoların karşılaştırılmasında önemli bir kriter olarak değerlendirilmelidir. Kuyrukta bekleyen parça sayılarının daha kolay bir şekilde yorumlanabilmesi için, senaryo bazında kuyrukta bekleyen parça sayılarının ortalaması alınarak tabloda sunulmuştur. Ortalama kuyrukta bekleyen parça sayısı sırasıyla, Senaryo 1’de “15.6”, Senaryo 3’te “12”, ve Senaryo 2’de “11.7” olarak gerçekleşmiştir. Çekme sistemini kullanan Senaryo 4 ve 5’te ortalama kuyrukta bekleyen parça sayısı “1”den küçük olarak gerçekleşmiştir.

Ramboudi CNC Freze tezgahlarında, Senaryo 1 ve 3’te toplamda 4000 dakikayı aşan kuyrukta bekleme süreleri ortaya çıkmıştır. Kuyrukta

bekleme süreleri, ortalama ise; ilk üç senaryo için 700 dakikayı aşmıştır.

Bu çalışmada; önerilen senaryo olan CONWIP bazlı karma yapıya sahip Senaryo 4'te, iş yükü bazlı sipariş yönetimi uygulanmış olup sipariş birleştirmeye izin verilmemiştir. Senaryo 4, sipariş karşılama yüzdeleri, ortalama çevrim süresi, makine başına ortalama bekleme süreleri ve makine başına ortalama kuyruk uzunluğu ölçütleri dikkate alındığında en başarılı senaryo olarak göze çarpmaktadır. Temin süresi açısından, diğer çekme sistemi Senaryo 5 ile çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Senaryo 4, temin süresinin değişkenliği en düşük senaryodur. Bu senaryo, diğer senaryolara göre dikkate alınan performans ölçütleri açısından en başarılı sonuçları veren senaryo olarak değerlendirilmelidir.

Sonuçlar ve tartışma

Bu makalede, teorik bir inceleme ve geliştirilen bir metodolojinin yanısıra, metodolojinin gerçek bir üretim sisteminde uygulaması ele alınmıştır. Çalışmadaki yaklaşımımız, müşteri odaklılık bakış açısını kaybetmeden, etkin kapasite kullanımını sağlayan ve doğru siparişi doğru zamanda teslim hazırlayan, bir üretim kontrol politikasını araştırmak yönünde olmuştur. Gerçek sisteme bütünsel bir bakış açısıyla yaklaşılmaya çalışılmış, planlama ve kontrole geçmeden önce, tasarım anlamında yapılması mümkün iyileştirmeler araştırılmıştır. Bu doğrultuda, gerçek sistemde iki tezgahın yerinin değiştirilmesi planlanmış ve diğer çalışmalar bu yeni iyileştirilmiş tasarımın üzerinde yapılandırılmıştır.

Çalışmada, etkin kapasite kullanımını sağlamaya yönelik yaklaşımlardan biri olan "İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi" öncelikli olarak düşünülmüştür. En etkin kontrol politikasının araştırıldığı senaryolarda, seçilecek yapı, ister itme ister çekme bazlı olsun, üretim öncesi planlama aşamasında bu yaklaşımı kullanmak müşteriye hızlı tepki vermeyi sağlayacaktır ve bu nedenle kullanılması önerilir.

Bu çalışma kapsamında, incelenen yayınlar içerisinde İş Yüğü Bazlı Sipariş Yönetimi'nin

sadece itme sistemleri ile birlikte kullanıldığı, bu yaklaşımın çekme sistemi ile birlikte kullanılmasının literatüre zenginlik katacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Andijani, A. (1997). Trade-off Between Maximizing Throughput Rate and Minimizing System Time in Kanban Systems, *International Journal of Operations & Production Management*, 7, 5, 429-445.
- Bauer, A., Bowden R., Brown J., Duggan J., Lyons G. (1994). Shop Floor Control Systems: From Design to Implementation, Ipswich Book Company, Suffolk.
- Bechte, W. (1980). Theory and Practice of Load-Oriented Manufacturing Control, *International Journal of Production Research*, 26, 3, 375-395.
- Bonvik A. M. (1997). Hybrid Control Policies for Manufacturing, *International Journal of Production Research*, 35, 3, 789-804.
- Durmuşoğlu, M. B., Kulak, O., Erdoğan, M. N. (2000). Teknik Plastik Parça Üreten Bir Sistemde Değer Akışı Haritalandırma ve Kanban Sistemi Uygulaması, 21.Ulusal Yöneylem Araştırması ve Endüstri Müh. Kongresi, Doğu Akdeniz Üniv., Gazimagusa.
- Durmuşoğlu, M. B., Nomak, A. (2000). Bir Cam Kalıbı Üretim Sisteminde GT Hücrelerinin Tasarımı ve Uygulanması, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 11, 2, 13-23.
- Edwards, D. K., Edgell, R. C., Richa, C. E. (1993). Standart Operations – The Key to Continuous Improvement in a Just-In-Time Manufacturing System, *Production and Inventory Management Journal*, 34, 3, 7-13.
- Frein, Y., Di-Mascolo, M., Dallery, Y. (1995). On The Design of Generalized Kanban Control Systems, *International Journal of Operations & Production Management*, 15, 9, 158-184.
- Framinan, J. M., Ruiz-Usano, R., Leisten, R. (2000). Input Control and Dispatching Rules in a Dynamic CONWIP Flow-Shop, *International Journal of Production Research*, 38, 18, 4589-4598.
- Funk, J. L. (1995). Just-In-Time Manufacturing and Lgistical Complexity: A Contingency Model, *International Journal of Operations & Production Management*, 15, 5, 60-71.
- Houghton, E. ve Portougal, V. (1995). A Planning Model for Just-In-Time Batch Manufacturing, *International Journal of Operations & Production Management*, 15, 9, 9-25.

- Gupta, S. M., Al-Turki, Y. A. Y., Perry, R. F. (1999). Flexible Kanban System, *International Journal of Operations & Production Management*, **19**, 10, 1065-1093.
- Kettner, H., Bechte, W. (1981). Neue Wege der Fertigungssteuerung durch belastungsorientierte Auftragsfreigabe, *VDI-Z*, 123, 459-466.
- Lauzon, S. C., Mills, J. K., Benhabib, B. (1997). An Implementation Methodology for the Supervisory Control of Flexible Manufacturing Cells, *Journal of Manufacturing Systems*, **16**, 2, 91-101.
- Lee, D. H., Kim, Y. D. (1996). Part-Mix Allocation in a Hybrid Manufacturing System with a Flexible Manufacturing Cell and a Conventional Jobshop, *International Journal of Production Research*, **34**, 5, 1347-1360.
- Lung, A. W. A., Love, D. M. (1991). An Algorithm for Distributed Planning and Control in A Computer-Based Manufacturing Control System, *Production Research*, 806-813.
- Marek, R. P., Elkins, D. A., Smith, D. R. (2001). Understanding the Fundamentals of Kanban and Conwip Pull Systems Using Simulation, *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, 921-929.
- Miltenburg, J. (1997). Comparing JIT, MRP and TOC, and embedding TOC into MRP, *International Journal of Production Research*, **35**, 4, 1147-1169.
- Ohno, T. (1988). *The Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Portland, Oregon: Productivity Press.
- Ohno, T. (1998). *Toyota Ruhu*, Scala Yayıncılık, İstanbul.
- Olhager, J. (1995). Technical Note: Safety Mechanisms in Just-In-Time Systems, *International Journal of Operations & Production Management*, **15**, 9, 289-292.
- Olorunniwo, F. (1996). Changes in Production Planning and Control Systems with Implementation of Cellular Manufacturing, *Production and Inventory Management Journal*, **37**, 1, 65-69.
- Rahman, S. (1998). Theory of Constraints: A Review of the Philosophy and Its Applications, *International Journal of Operations & Production Management*, **18**, 4, 336-355.
- Ravindranath, L. S., Ebeling, K. A. (1992). Distributed Control of Manufacturing Cells, *Computers and Industrial Engineering*, **23**, 1-4, sf.471-474.
- Rodrigues, L. H., Mackness, J. R. (1998). Teaching the Meaning of Manufacturing Synchronisation Using Simple Simulation Models, *International Journal of Operations & Production Management*, **18**, 3, 246-259.
- Sargent, T. A., Kay, M. G. (1995). Implementation and Utilization of a Decentralized Storage System-Costing Model, *International Journal of Operations & Production Management*, **15**, 9, 210-219.
- Steele, D. C., Berry, W. L., Chapman, S. N. (1995). Planning and Control in Multi-Cell Manufacturing, *Decision Sciences*, **26**, 1, 1-35.
- Steele, D. C., Malhotra, M. K. (1997). Factors Affecting Performance of Period Batch Control Systems in Cellular Manufacturing, *International Journal of Production Research*, **35**, 2, 421-446.
- Takahashi, K., Nakamura, N., Izumi, M. (1997). Concurrent Ordering in JIT Production Systems, *International Journal of Operations & Production Management*, **17**, 3, 367-290.
- Wiendahl, H. P. (1995). *Load Oriented Manufacturing Control*, Springer Verlag, Berlin.
- Wiendahl, H. P. (1987). *Belastungsorientierte Fertigungssteuerung*, Carl Hanser Verlag, Munich.
- Womack, J. P., Jones D. T. (1996). *Yalın Düşünce*, Sistem Yayıncılık-Kurtiş Matbaacılık, İstanbul.