



Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology
Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
 ISSN 1012-2354

Cilt (Volume) 27, Sayı (Issue) 2, Nisan/April-2011
<http://fbe.erciyes.edu.tr/>



Üretim kontrol sistemlerini kıyaslayıcı bir benzetim çalışması

Koray ALTUN, Adem GÖLEÇ*

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, KAYSERİ

Anahtar Kelimeler

İtme sistemi,
 çekme sistemi,
 senkronize üretim
 sistemi, üretim
 kontrol sistemleri

ÖZET

Bu çalışmada, beş adet iş istasyonundan oluşan hipotetik seri üretim hattı üzerinde itme, çekme ve senkronize üretim sistemlerinin performansı incelenmiştir. İtme, çekme ve senkronize üretim sistemlerinin benzetim modelleri üzerinde yapılan deneylerle süreç içi envanter, sistem çıktısı ve akış süresi değerleri üzerine belirlenen dört faktörün etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneylerde akışı maksimize edecek şekilde optimize edilen itme, çekme ve senkronize üretim sistemleri aynı sistem çıktısını farklı ortalama süreç içi envanter seviyeleri ile gerçekleştirmişlerdir. Kanban, sabit süreç içi envanter (CONWIP) ve trampet-tampon-kordon (DBR) sistemleri her durumda diğer sistemlerden daha iyi performans göstermiştir. Kanban, CONWIP ve DBR sistemleri kendi aralarında kıyaslanmış, birinin diğerlerine bariz üstünlüğü olmadığı ve üstünlük durumunun belirlenen faktörlere bağlı olduğu görülmüştür. Ortalama süreç içi envanter değerinin en düşük değere sahip olması için performans karakteristiği üzerinde etkili olduğu düşünülen faktörlerin seviyeleri Kanban, CONWIP ve DBR sistemleri için faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metodu kullanılarak belirlenmiştir.

A comparative simulation study of production control systems

ABSTRACT

In this study, performances of push, pull and synchronous production systems are investigated over a hypothetical serial line that consists of five work stations. The effects of four factors, i.e., work in process inventory level, system's output rate and flow time, on the system performance measures were tested conducting experiments via simulation models of push, pull and synchronous production systems. At the result of the experiment, optimized push, pull and synchronous production systems generated same quantity of system's output at the different level of work in process inventory. Kanban, constant work in process (CONWIP) and drum-buffer-rope (DBR) systems gave better performance than other systems' performance. Kanban, CONWIP and DBR systems were compared with each other. This comparing showed us the best production system is changing at every scenario. The performances of the systems depend on the factor levels. To determine the best factor levels combination for Kanban, CONWIP and DBR systems the method of graphical representation of factors effects was used at this study.

Keywords

Push system, pull
 system,
 synchronous
 production system,
 production control
 systems

1. Giriş

Müşterilerinin kalite, miktar ve teslim tarihleri gibi beklentilerini en düşük maliyet, en düşük envanter seviyesi ve en az hata ile karşılamak ve nihayetinde asıl amaca ulaşabilmek yani para kazanmak için firmalar üretimlerini kontrol altına almak zorundadır. Üretim planlama ve kontrolü için tasarlanmış üç önemli üretim kontrol sistemi bulunmaktadır. Bunlar; itme sistemi, çekme sistemi ve senkronize üretim sistemidir. Firmalar kendilerine en uygun sistemi uygulamaya çalıştıkları takdirde rakiplerinin önüne geçme ve rekabet edebilme fırsatı bulacaklardır.

Bilimsel yazında sistemlerin performanslarını değerlendirmeye yönelik yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Kumar ve Panneerselvam [1], Cheraghi ve diğ. [2] ve Baykoç [3] tarafından yapılan çalışmalarda özellikle çekme sistemleri konusundaki bilimsel yazın ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir. Yazarların en iyi bilgisine göre, daha önce yapılan itme ve çekme sistemlerine ilişkin benzetim çalışmalarında kanban sayısı ya bir faktör olarak yada sabit bir değer olarak göz önünde bulundurulmaktadır. Kanban sayısının sabit bir değer olarak göz önünde bulundurulduğu çalışmalarda ise faktör seviyeleri değişmesine rağmen aynı kanban sayısı kullanılmaya devam edilmektedir. Hâlbuki kanban sayısı ne bir faktör seviyesi olabilir ne de durumlar değişmesine rağmen değişmeyen sabit bir değer olabilir. Kanban sayısı her duruma özgü optimize edilmiş bir değer olmalıdır. Kanban sistemi her zaman optimum kanban seviyeleri ile çalışmalıdır. Yapılan bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak her bir faktör seviyesi değişimi durumunda sistemde bulunan kanban seviyeleri, maksimum akışı minimum kanban seviyesi ile sağlayacak şekilde optimize edilmektedir. Optimizasyon çalışmaları Arena benzetim yazılımı için geliştirilmiş OptQuest ara yüzü kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Firmaların operasyonel seviyedeki amacı; akışı artırmak, envanter seviyesini ve işletme giderlerini azaltmaktır [4,5]. Sistemdeki kanban sayıları o sistemde oluşabilecek maksimum süreç içi envanter değerini belirlemektedir. Kanbanlar süreç içi envanter seviyelerini sınırlandırmaktadır. Bu sayede maksimum akış düşük süreç içi envanter seviyeleri ile gerçekleştirilmektedir. Firmaların verimliliği amaca yaklaşma derecesiyle ölçülmelidir. Bu bakış açısıyla verimliliğin işlemsel seviyedeki göstergeleri; akış, envanter ve işletme giderleri olmalıdır [4,5]. Bu çalışmada; akış, sistem çıktısı ölçütü ile envanter ise ortalama süreç içi envanter miktarı ölçütü ile izlenmekte ve sistemler yazındaki diğer çalışmalardan farklı olarak amaca yaklaşma dereceleri ile kıyaslanmaktadır. Sistemlerin farklı durumlar altındaki performanslarının karşılaştırılması hipotetik bir seri üretim hattı benzetimi ile yapılmaktadır.

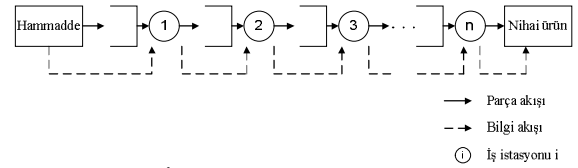
Çalışmanın organizasyonu şu şekildedir. İkinci bölümde üretim kontrol sistemlerinin çalışma mekanizmaları hakkında kısaca bilgi verilmektedir. Üçüncü bölümde üzerinde çalışma yapılan üretim hattı benzetimi ve varsayımları hakkında bilgi verilmektedir. Dördüncü bölüm sistemleri karşılaştırmak için tasarlanmış deneyleri ve bu deneylerin sonuçlarını içermektedir. Son bölümde ise çalışmanın sonuçları kısaca yorumlanmakta ve gelecek çalışmalara yer verilmektedir.

2. Üretim Kontrol Sistemleri

Üretim, ekonomistler tarafından “fayda yaratma”, mühendisler tarafından ise “fiziksel bir varlık üzerinde onun değerini artıracak bir değişiklik yaparak, hammadde veya yarı mamulleri kullanılabilir bir ürüne dönüştürme” şeklinde tanımlanmaktadır. Üretimle ihtiyaçları karşılayacak ürün veya hizmetleri gerçekleştirme amaçlanmaktadır. Üretimin gerçekleşebilmesi için üretim faktörleri belirli şartlar ve koşullar altında bir araya getirilmelidir. Bilimsel yazın incelendiğinde araştırmacılar tarafından üç önemli üretim kontrol sistemi yaklaşımı geliştirildiği gözlemlenmektedir. Bunlar; itme, çekme ve senkronize üretim kontrol sistemleri yaklaşımlarıdır.

2.1. İtme sistemi

Yarı mamul envanterine izin verilen ardışık üretim sistemlerinde, yarı mamul bir istasyonda işlendikten sonra, bir sonraki istasyona gönderilmektedir. Hat boyunca ilerleyen yarı mamulün bir sonraki istasyonun talebi beklenmeksizin gönderildiği sistemler itme sistemleri olarak adlandırılmaktadır [3]. Şekil 1’de itme sistemi ile akışın kontrol edildiği bir akış hattında parça ve bilgi akışı gösterilmektedir.



Şekil 1. İtme sisteminde parça ve bilgi akışı

Bir itme sisteminde, talebe bağlı olarak işlerin serbest bırakılma zamanları çizelgenmektedir [6]. Bir çekme sisteminde ise sistemin durumuna bağlı olarak işlerin serbest bırakılmasına izin verilmektedir [6].

2.2. Çekme sistemi

Her şeyi gerektiği zamanda ve miktarda üretmek yalın üretimin temel ilkelerinden birisidir. Bir fabrikanın kendi iç üretim akışı içerisinde de bu ilke geçerliliğini sürdürmektedir. Bu ilke ile iş istasyonlarının gereksiz üretim yapmalarının önlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaca ulaşmak için istasyonlar kendilerinden sonraki istasyonun hemen işleme geçirebileceği miktarda parçayı tam zamanında üretmesi gerekmektedir.

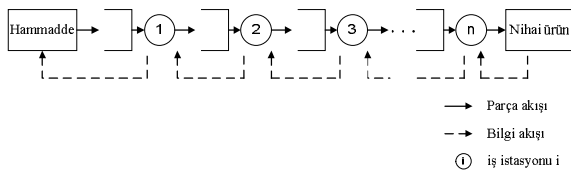
İtme sistemlerinden farklı olarak, çekme sistemlerinde parça bir önceki istasyondan bir sonraki istasyona sadece ilgili istasyonun talebi olduğunda çekilmektedir. Herhangi bir istasyon parçayı bir sonraki istasyona, söz konusu istasyonun ilgili parçayı kabul edebilecek düzeye gelmesi şartıyla gönderebilmekte ve bir önceki istasyondan yeni bir parça talebinde bulunmaktadır. İtme ve çekme sistemleri arasındaki temel fark malzemenin akışı ile ilgilidir. Çekme sisteminde malzeme, olduğunda değil sadece gerektiğinde akmaktadır. Malzeme akışı her iki sistemde de aynı doğrultuda olmasına rağmen çekme sistemlerinde bilgi akışı bakımından itme sistemlerinin tersine bir durum söz konusudur [3].

Kanban ve CONWIP sistemleri çekme felsefesinin yaygın uygulamalarıdır.

2.2.1. Kanban sistemi

Kanban sistemi, çekme sistemi içinde her bir aşamadaki üretimin zamanlamasını kontrol eden bir sistemdir. Kanban, iki üretim aşamasında bir iletişim aracı olarak kullanılan kartlara verilen isimdir. Şekil 2’de kanban sistemi ile kontrol edilen bir akış hattında parça ve bilgi akışı gösterilmektedir.

Ürüne tahsis edilmiş kanban sistemlerinde üretim talep tarafından tetiklenmektedir. Nihai ürün stok alanından bir parça ayrıldığı anda son iş istasyonuna ayrılan parçanın yerini doldurması için üretim izni verilmektedir. Son iş istasyonu üretim için kullandığı parçanın yerini doldurması için bir önceki iş istasyonuna üretim izni vermektedir. Bu süreç üst akışlarda bulunan istasyonlarda devam etmektedir.

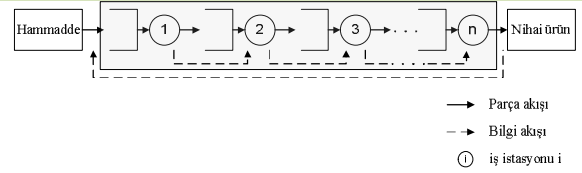


Şekil 2. Kanban sisteminde parça ve bilgi akışı

Operatörün çalışması için parçaya ve üretim izni veren kanbana ihtiyacı vardır. Ürüne tahsis edilmiş kanban sistemlerinde sipariş nihai ürün stok alanından karşılanmaktadır. Sipariş için üretim yapan firmalarda ürüne tahsisli kanban sistemi sipariş edilen ürünün özellikleri müşteriden müşteriye farklılık gösterebileceği için kullanılmamalıdır. Bu tip sistemlerde üretim talep tarafından tetiklenmemelidir. Ancak, üretim kaynağa tahsis edilebilir. Bu durumda nihai ürün stoğuna ihtiyaç olmayacaktır. Üretim sistemi içerisinde bulunan parçalar siparişlere aittir. Bu parçalar tamamlandıklarında direkt olarak akışa dönüşeceklerdir. Kaynağa tahsis edilmiş kanban sistemlerinde üretim, son iş istasyonunda işlem gören parçanın tamamlanması ile tetiklenmektedir. Ara stok alanından parça çekildiğinde oluşan boşluğu doldurmak için bir önceki iş istasyonu üretime başlamaktadır. Bu süreç, üst akışlarda bulunan istasyonlarda da devam etmektedir. Bu tip bir sistemde bulunan kanban sayıları, oluşabilecek maksimum envanter düzeyini göstermektedir. Bu sayede envanter sınırlandırılmaktadır. Kaynağa tahsis edilmiş kanban sistemi yazında “Tam iş kontrolü” ve “Jenerik kanban sistemi” adıyla yer almaktadır [bknz 7]. Bu çalışmada kullanılan ilgili sistemlerde bu yaklaşım göz önünde bulundurulmaktadır.

2.2.2. CONWIP sistemi

Spearman [6] kanban sistemine alternatif olarak CONWIP sistemini geliştirdi. CONWIP sisteminde; süreç içi envanter toplam üretim akışında sınırlandırılmakta ve kontrol altına alınmaktadır. Şekil 3’de CONWIP sistemi ile akışın kontrol edildiği bir akış hattında parça ve bilgi akışı gösterilmektedir.

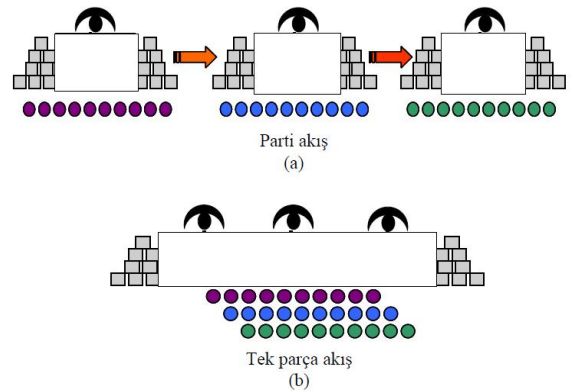


Şekil 3. CONWIP sisteminde parça ve bilgi akışı

CONWIP sistemi kanban sisteminin özelleştirilmiş bir şeklidir. Kanban gibi CONWIP sistemi de bir sistemin envanterini sınırlandırmak için kartları kullanmaktadır. Ancak, kanban sisteminden farklı olarak bu kartlar sadece ilk iş istasyonundaki partilere iliştilmektedir. Partiye iliştilen kart o parti son iş istasyonunda işlenip üretim sürecini tamamlayıp müşteriye iletilmek üzere hazır hale geldiği ana kadar partiyle birlikte hareket etmektedir. Bu aşamada serbest bırakılan kart CONWIP hattının ilk iş istasyonuna geri dönmekte ve sisteme yeni bir parti girişi izni vermektedir [8].

2.2.3. Tek parça akış sistemi

Süreç içi envanterin beklemesi envanterin bir iş istasyonundan diğerine hemen geçememesi demektir. Yalın üretimin bu zaman harcamasına bulduğu çözümlerden biri; süreç akışı doğrultusunda birbiri ardı sıra yerleştirilmiş istasyonlar ve parçaların süreç adımları arasında hiç beklemeden işlem görüp geçmesi olarak tanımlanan “tek parça akış” sistemidir. Tek parça akış sistemi; süreçler arası taşıma parti büyüklüğünün bir adete indirilmesi yolu ile kuyrukta bekleyen süreç içi envanter seviyesinin sifıra indirilmesidir. Şekil 4’de parti akış sistemi ve tek parça akış sistemi gösterilmektedir.



Şekil 4. Parti akış ve tek parça akış sistemi

Esasında, kanban sisteminde istasyonlar arasında bulunan kanban sayılarının bire indirilmesi ile kanban sistemi tek parça akış sistemine dönüşmektedir. Tek parça akışın etkin olarak çalışması aynı hattı oluşturan iş istasyonlarının işlem sürelerinin eşit olması ile mümkündür.

2.3. Senkronize üretim sistemi

Senkronize üretim Goldratt tarafından geliştirilen “kısıtlar teorisi”nin ilkelerini benimsemiş üretim sistemidir [bknz 4,5]. Goldratt’a göre, bir firmanın üretecek iş bulması, ham maddelerini tüketmesi, satışlarını artırması, pazar payını artırması, teknoloji geliştirmesi veya yüksek kaliteli ürünler üretmesi o firmanın uzun vadede ayakta kalmasını garanti

etmemektedir. Bunlar amaca ulaşmak için gereklidir. Ticari firmaların amacı para kazanmaktır.

Bir firmanın performansını yeterli bir şekilde ölçmek için finansal ve işlemsel ölçümler yapılmalıdır. Finansal açıdan bir firmanın performansını ölçmek için bakılacak değerler; net kâr, yatırım kârlılığı ve nakit akışıdır. Bir firmanın performansını finansal açıdan doğru olarak değerlendirmek için bu üç ölçüt birlikte kullanılmalıdır. Finansal ölçütler, işlemsel seviyede kullanılamazlar. Bu nedenle bizlere rehberlik edecek bir takım işlemsel ölçümlere ihtiyaç vardır. Bunlar;

- **Akış:** Ürün satışları sayesinde sistemin elde ettiği paradır.
- **Envanter:** Sistemin satış amacı ile satın aldığı malzeme yatırıldığı paradır.
- **İşletme giderleri:** Envanterin akışa dönüşmesi için sistem tarafından harcanan paradır.

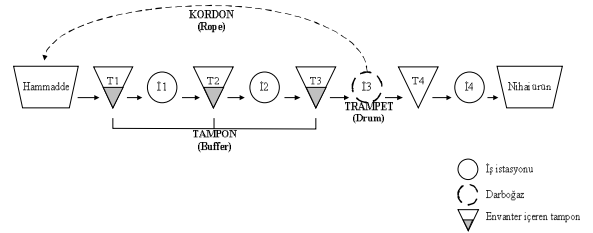
Akış, satılan nihai ürünler olarak tanımlanmaktadır. Nihai ürünün stokta beklemesi akış değildir. Bu ürün envanterdir. Akış için satış olmak zorundadır. Bu düşünce, sistemi, belki satılabilir düşüncesi ile üretim yapmaktan alı koymaktadır. Belki satılabilir düşüncesi, maliyetleri yükseltmekte, envanter oluşturmada ve nakit tükenmesine neden olmaktadır. Envanterin değeri sadece içerdiği materyalin maliyetidir. Para sadece ham maddeyi akışa dönüştürmek için harcanmalıdır. Hammaddeye değer katmak için harcanmamalıdır. İşlemsel seviyede, firmanın amacı; akışı artırmak, envanteri ve işletme giderlerini azaltmaktır. Bu bakış açısıyla işlemsel verimlilik amaçlara yaklaşma derecesiyle ölçülmelidir. Verimliliğin artışını test etmek için aşağıdaki sorulara cevap aranmalıdır.

- *Yapılan faaliyetler akışı artırdı mı?*
- *Yapılan faaliyetler neticesinde envanter azaldı mı?*
- *Yapılan faaliyetler neticesinde işletme giderleri azaldı mı?*

Sistemin gücü en zayıf halkanın gücü kadardır. Sistem ancak kısıtının üretebildiği kadar çıktı üretebilir. Üretim hattında sistemin kısıtı darboğaz kaynaklarıdır. Darboğaz kaynağa meydana gelen süre kayıpları direkt olarak akışı düşürecektir. Darboğaz olmayan bir kaynağa yapılan iyileştirme sonucu kazanılan sürenin akış üzerinde hiçbir etkisi olmayacaktır. Sadece aylak zamanı artıracaktır. Kısıtlar Teorisi'nin anahtar prensibi bu gerçekten yola çıkılarak geliştirilmiştir. Üretim sisteminin etkili bir şekilde yönetilmesi için darboğaz kaynaklara odaklanılmalıdır. Kısıtlar teorisi, süreçleri darboğaza göre yönetmek için DBR metodunu kullanmaktadır. DBR, kısıtın çizelgelenmesidir. Diğer bütün kısıt olmayan süreçler kısıta göre çalışırlar. Kaynaklar arasındaki ilişkileri belirleyerek ürünün akışının düzgün bir şekilde olmasını sağlamaya odaklanmıştır. Senkronize üretim, firmanın amacını gerçekleştirebilmesi için bütün üretim sürecinin bir harmoni içerisinde birlikte çalışmasını sağlamaktadır. Şekil 5, DBR yönteminin bir akış hattına uygulanması durumunda trampet, tampon ve kordonun sistemdeki konumunu göstermektedir.

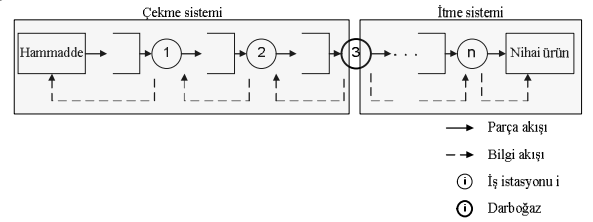
Trampet, sistem kısıtının çizelgesidir. Kısıtın çıktı vermesi, trampetin vuruşu anlamına gelmektedir. Trampet, diğer süreçler için tempoyu ayarlar. Tampon, kısıtın boş kalmasını engellemek için belirlenen bir zaman mekanizmasıdır. Yanlış gidebilecek işler için bırakılan bir paydır. Darboğaz olmayan

bir kaynak malzeme eksikliğinden dolayı çalışamaz ise akış kaybolmayacaktır. Darboğaz olmayan kaynak aylak kapasiteye sahiptir. Aylak kapasitesini kullanarak tempoya yetişebilecektir. Eğer bir darboğaz kaynak malzeme eksikliğinden dolayı çalışamaz ise sistem akış kaybedecektir. Bu nedenden dolayı darboğazın her zaman çalışır durumda olması sağlanmalıdır. Kordon, malzemelerin üretime sokulması için kısıt ile diğer kaynakların senkronizasyonunu sağlayan bir mekanizmadır. Senkronize üretimde, kordon görevini kanbanlar yerine getirebilmektedir [4,5]. Şekil 6'da senkronize üretim sisteminde parça ve bilgi akışı gösterilmektedir.



Şekil 5. DBR metodunda trampet, tampon ve kordonun konumu

Goldratt [4,5] üç çeşit kapasiteden bahsetmektedir. Bunlar; üretken kapasite, koruyucu kapasite ve fazla kapasitedir. Koruyucu kapasite ve fazla kapasite birlikte aylak kapasiteyi oluşturmaktadır.



Şekil 6. Senkronize üretim sisteminde parça ve bilgi akışı

Üretken kapasite, talebi karşılayabilmek için gerekli olan kapasitedir. Darboğaz kaynak sadece üretken kapasiteye sahiptir. Koruyucu kapasite, darboğaz kaynağın sürekli çalışmasını sağlamak için kullanılan ek kapasitedir. Koruyucu kapasite tamponun miktarının istikrarı için kullanılmaktadır. Üretken ve koruyucu kapasitenin dışındaki var olan kapasite fazla kapasitedir. Senkronize üretim sisteminde çeşitliliği ve dengesizliği yok etmek için bir çaba söz konusu değildir. Senkronize üretimde bu çeşitliliğe ve dengesizliğe uyum sağlama çabası vardır.

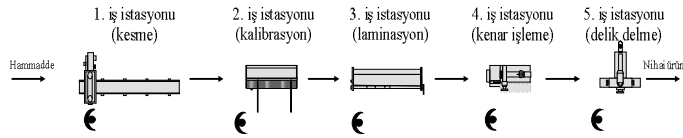
Senkronize üretim sistemi, itme ve çekme sistemlerinin melez halidir. Bir senkronize üretim sisteminde darboğaza kadar çekme sistemi, darboğazdan sonra itme sistemi kullanılmaktadır. Kıtık, darboğaz kaynağın çalışabilmesi için gerekli malzemenin olmaması durumudur. Eğer tampon envanter yok ise darboğaz kaynak çalışmayacaktır. Neticesinde sistem akış kaybedecektir. Kıtık durumunu ortadan kaldırmak için darboğaza kadar çekme sistemi uygulanmaktadır. Tıkama, akış doğrultusunda darboğazdan sonra gelen kaynaklardaki aksaklık nedeniyle darboğazın çalışmasının engellenmesidir. Gerçekleşen aksaklığın giderilmesi sürecinde darboğazın üretime devam etmesini sağlamak için bir başka deyişle tıkanmaması için darboğazdan sonra itme sistemi kullanılmaktadır. Bu sayede darboğaz

olmayan bir kaynak, aylak kapasitesini kullanarak tekrar tempoyu yakalayabilecektir. Neticesinde sistem akış kaybetmeyecektir.

3. Benzetim modelleri

3.1. Üretim hattı ve varsayımları

Üzerinde çalışma yapılan hipotetik seri üretim hattı beş adet iş istasyonundan oluşmaktadır. İş istasyonlarına panel mobilya üretim süreçleri olan; kesme, kalibrasyon, laminasyon, kenar işleme ve delik delme isimleri verilmiştir. Söz konusu sistem Şekil 7’de gösterilmektedir.



Şekil 7. Üretim hattı

Varsayımlar:

- Üretim hattı beş çeşit ürün için tahsis edilmiştir. Buna ek olarak, her bir ürün talep edilme sırasıyla ve aynı işlem süreleri ile üretileceği esas alınmıştır.
- Üretim hattındaki işler, ilk giren ilk çıkar öncelik kuralına göre sıralanmaktadır.
- Üretilen ürün çeşidi değiştiği zaman iş istasyonlarında hazırlığın söz konusu olduğu ve hazırlık süresinin her iş istasyonu için aynı ve üretilen ürünlerin sıralamasından bağımsız olduğu varsayılmıştır. Üretim için ihtiyaç duyulan ham maddelerin her zaman elde edilebilir olduğu varsayılmıştır. Sipariş için üretim yapılmaktadır. Sipariş edilen ürünlerin çeşitliliği, eşit olasılıklara sahip kesikli dağılımdır. Sipariş miktarları, eşit olasılıklara sahip kesikli dağılıma göre 12, 16, 20 birimdir.
- Her yedi saatlik sürenin sonunda bir saatlik süre boyunca üretime ara verilmektedir. Makineler, ortalama değeri bin dakika olan üstel dağılıma göre arızalanmakta ve ortalama değeri on dakika olan üstel dağılıma göre arıza giderilmektedir. Ortalama değeri bin dakika olan üstel dağılıma göre makinelere ortalama değeri on dakika olan bakım yapılmaktadır.
- Üretim hattında üçüncü sırada yer alan laminasyon istasyonu darboğazdır.
- İş istasyonları arasında yeterli stok alanının her zaman mevcut olduğu varsayılmıştır.

3.2. Sistemlerin benzetim modelleri

Çalışmaya konu olan üretim sistemlerinin modelleri Arena 9.0 benzetim yazılımı ile modellenmiştir. İtme sisteminin benzetim modelinde, talep “Create” modülü ile oluşturulmaktadır. Ürün çeşidi ve sipariş miktarı “Assign” modülü kullanılarak belirlenmektedir. “Seperate” modülü kullanılarak sipariş miktarı kadar varlık oluşturulmaktadır. “Batch” modülü ile varlıklar parti haline getirilmektedir. Her bir alt model bir iş istasyonunu temsil etmektedir. Alt modellerde bulunan “Seize” modülü ile varlık tutulmaktadır. “Delay” modülleri ile hazırlık süresi ve işlem süresi kadar varlık oyalanmaktadır. “Release” modülü kullanılarak varlık

serbest bırakılmaktadır. “Seperate” modülü ile partiler bölünmekte ve “Dispose” modülü ile varlık sistemden çıkarılmaktadır.

Kanban sisteminin benzetim modelinin oluşturulmasında yazında üç alternatif yöntem bulunmaktadır. Kanban sistemini modelleme alternatiflerinden ilki, kanbanı *varlık* olarak modellemektir. “Create” modülü kullanılarak kanbanlar sisteme varlık olarak gönderilmektedir. İşlenecek parça için ise başka bir “Create” modülü kullanılmaktadır. Kullanılan iki “Create” modüllerinin çıkışları “Match” modülünün girişine bağlanmaktadır. Bu varlığın operasyon boyunca akması sağlanmaktadır. Varlık tipine bakılarak sınıflandırmak için “Decide” modülü kullanılmaktadır. Kanbanı temsil eden varlık tekrar “Match” modülüne gönderilmektedir. Kanban modelleme alternatiflerinden ikincisi, kanbanı *kaynak* olarak modellemektir. Kaynağın kapasitesini kanban sayısı belirlemektedir. Varlık akışı boyunca, varlık ilk olarak “Seize” modülü kullanılarak kanban kaynağı tarafından tutulmaktadır. Operasyon boyunca varlığın akması sağlanmaktadır. Operasyon sonunda kanban kaynağı “Release” modülünü kullanarak varlık serbest bırakılmaktadır. Bu sayede “Seize” modülü varlık girişine izin vermektedir. Kanban modelleme alternatiflerinin üçüncüsü ise kanbanı *değişken* olarak modellemektir. Değişken değerinin kanban sayısına eşitlendiği ve kanban hareketinin değişkenin değerinin değişmesi ile kontrol edildiği bir modelleme alternatifidir [9]. Bu çalışmada, kaynak olarak modelleme yaklaşımı kullanılmaktadır. Kanban sistemi modelinde, kanban sayısının bire eşit olması durumunda sistem tek parça akış sistemi olacaktır.

CONWIP sistemi Kanban sisteminin özelleştirilmiş bir şeklidir. Kanban gibi CONWIP sisteminde de süreç içi envanteri sınırlandırmak için kartlar kullanılmaktadır. Ancak Kanban sisteminden farklı olarak bu kartlar ilk iş istasyonu ile son iş istasyonu arasındaki toplam süreç içi envanter miktarını sınırlandırmak için kullanılmaktadır.

Senkronize üretim sistemi, itme ve çekme sistemlerinin melez halidir. Darboğaza kadar çekme sistemi, darboğazdan sonra itme sistemi kullanılmaktadır.

4. Deneysel tasarımı

Bu çalışmada, dört faktör ve her bir faktörden üç seviye esas alınmıştır. Ele alınan faktörler ve seviyeleri şu şekildedir.

i. Talep belirsizlik düzeyi (TBD):

1050 dakika da bir gelen talebin geliş zamanındaki belirsizlikle ilgilidir. Seviyeler:

- Seviye 1: Constant (1050),
- Seviye 2: Norm(1050,105),
- Seviye 3: Norm(1050,210).

ii. Hazırlık süresi (HS):

Hazırlık süresinin işlem süresi cinsinden değeridir. Seviyeler:

- Seviye 1: İşlem süresinin yarısı,
- Seviye 2: İşlem süresine eşit,
- Seviye 3: İşlem süresinin iki katı.

iii. İşlem süresi ve hazırlık süresi değişim katsayısı (İSHSDK):

Normal dağılım, ortalama (μ) ve standart sapma (σ) parametreleri ile belirlenmektedir. Değişim katsayısı, $DK = \sigma/\mu$ ifadesi ile tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, ortalama sabit tutulup standart sapmaların değiştirilmesi suretiyle istenilen düzeylerde değişim katsayıları elde edilmektedir. Seviyeler:

- Seviye 1: $DK = 0$,
- Seviye 2: $DK = 0.1$,
- Seviye 3: $DK = 0.2$.

iv. Hattın dengesizlik düzeyi (HDD):

Darboğaz olan iş istasyonundaki işlem süresi ile diğer iş istasyonları arasındaki işlem süreleri arasındaki fark arttıkça hattın dengesizlik düzeyi artmaktadır.

Darboğaz iş istasyonu işlem süresi 60 dakika/parça

Seviyeler:

- Seviye 1: Diğer iş istasyonlarında işlem süresi 45 dakika/parça,
- Seviye 2: Diğer iş istasyonlarında işlem süresi 40 dakika/parça,
- Seviye 3: Diğer iş istasyonlarında işlem süresi 35 dakika/parça.

Bu çalışmada kullanılan cevap değerleri aşağıdaki gibidir.

- Süreç içi envanter miktarı (SİE)
- Sistem çıktısı (SÇ)
- Akış süresi (AS)

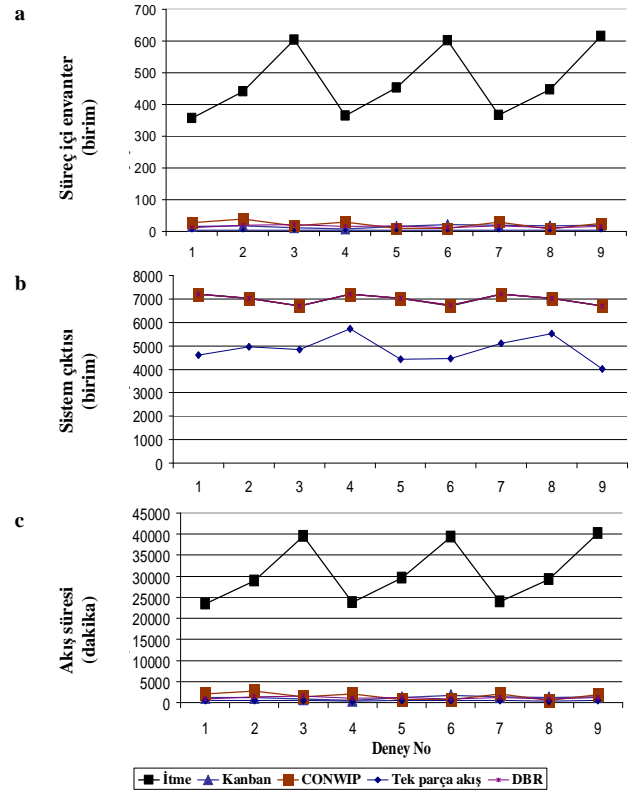
Süreçteki girdi faktörleri üzerine istenilen değişikliklerin sistematik bir şekilde yapılmasıyla cevap değerleri üzerindeki değişkenliğin gözlenmesi ve yorumlanması için deney tasarımı yöntemine başvurulmuştur. Taguchi [10] yaptığı çalışmalar sonucunda çok az deneme ile iyi neticeler alınabilmesi için ortogonal dizinleri geliştirdi. Ortogonal dizinler, deney tasarımı çalışmalarında her bir deneyde faktör seviyelerini teker teker değiştirmek yerine bu seviyeleri eş zamanlı olarak değiştirmeyi önermektedir. Bu sayede bir deneyle birden fazla sayıda faktörün ve seviyesinin etkisi ölçülebilmektedir [11]. Bu çalışmada, L9 ortogonal dizini kullanılmıştır. L9 ortogonal dizini sayesinde her bir üretim sistemi için aşağıdaki gibi 9 adet deneyin yapılması yeterli olmaktadır. Tablo 1’de L9 ortogonal dizini gösterilmektedir.

Tablo 1. L9 ortogonal dizini

Deney No	Faktör, Seviye
1	TBD,1 HS,1 İSHSDK,1 HDD,1
2	TBD,1 HS,2 İSHSDK,2 HDD,2
3	TBD,1 HS,3 İSHSDK,3 HDD,3
4	TBD,2 HS,1 İSHSDK,2 HDD,3
5	TBD,2 HS,2 İSHSDK,3 HDD,1
6	TBD,2 HS,3 İSHSDK,1 HDD,2
7	TBD,3 HS,1 İSHSDK,3 HDD,2
8	TBD,3 HS,2 İSHSDK,1 HDD,3
9	TBD,3 HS,3 İSHSDK,2 HDD,1

Şekil 8a’da beş adet sistemin tasarlanan dokuz senaryoya göre çalıştırılması sonucunda gözlenen süreç içi envanter seviyeleri gösterilmektedir. İtme sisteminde gözlenen süreç içi envanter

seviyesi diğer sistemlerden daha fazladır. Şekil 8b sistemlerin çalıştırılması sonucu gözlenen sistem çıktısı değerleri göstermektedir. Tek parça akış sisteminde diğer sistemlerden daha az sistem çıktısı gözlenmiştir. Şekil 8c’de ise sistemlerde gözlenen ortalama akış süreleri gösterilmektedir. İtme sisteminde gözlenen ortalama akış süresi diğer sistemlerden daha fazladır. Bunun nedeni bu sistemde gözlenen süreç içi envanter miktarının diğer sistemlerden daha fazla olmasıdır. Sisteme giren bir birim diğer sistemlere göre işlenmek için kuyrukta daha fazla beklemektedir.



Şekil 8. Deney sonuçları

Süreç içi envanter, akış süresi ve sistem çıktısı arasındaki ilişki “Little yasası” olarak bilinen aşağıdaki eşitlik ile gösterilmektedir. Nitekim deney sonuçları da bu bilgiyi doğrulamaktadır.

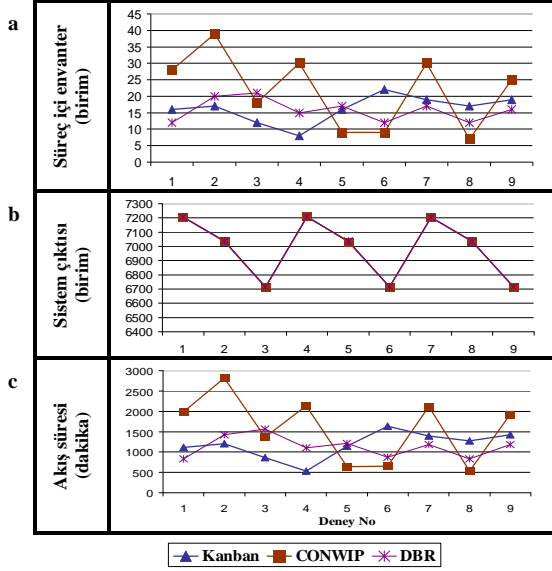
$$\text{Süreç içi envanter} = \text{Çevrim süresi} \times \text{Akış süresi}$$

Üretken kapasitesinde doyumunla ulaşmış bir üretim hattında süreç içi envanter miktarının artması, ortalama akış süresini artırmakta fakat sistem çıktısını etkilememektedir. Sistem çıktısını azaltmadan mümkün olan en az süreç içi envanter miktarı ile çalışılmalıdır. Bunu gerçekleştirmek için ise süreç içi envanter miktarı sınırlandırılmalıdır.

Tek parça akış sistemi, süreç içi envanter bulundurmadan üretimi gerçekleştirmeyi amaçlar. Hattın dengesiz olması durumunda sıfır süreç içi envanter seviyesi ile çalışmak sistem çıktısını azaltmaktadır. Bir firma operasyonel seviyede, akışı artırmak, süreç içi envanter seviyesini azaltmak ve işletme giderlerini azaltmayı amaçlamaktadır. Hattın dengesiz olduğu bir üretim biriminde tek parça akış sistemi envanter seviyesini azaltmak isterken diğer taraftan sistem akışını bir başka

ifadeyle sistem çıktısını olumsuz etkilemektedir. Tek parça akış sistemi, hattın dengeli olduğu ortamlarda etkili olacaktır.

Şekil 9a'da Kanban, CONWIP ve DBR sistemlerinin dokuz senaryoya göre çalıştırılması sonucu gözlenen süreç içi envanter miktarları gösterilmektedir. Sistemlerin performansları senaryo değişikçe farklılık göstermektedir.

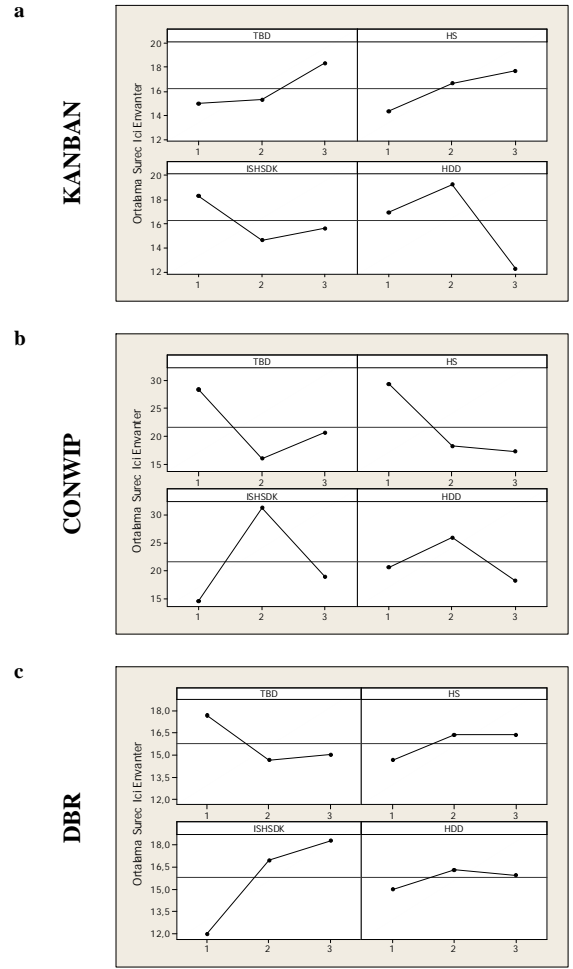


Şekil 9. Deney sonuçları

Şekil 9b'de sistemlerin çalıştırılması sonucu gözlenen sistem çıktısı değerleri gösterilmektedir. Sistem çıktı değerleri, her bir sistem için yaklaşık aynı değerleri göstermektedir. Şekil 9c'de ise sistemlerde gözlenen akış süresi değerleri gösterilmektedir. Burada gözlenen eğilim, süreç içi envanter değerlerinde gözlenen eğilim ile aynıdır.

Ortalama süreç içi envanter miktarının en düşük değere sahip olması için performans karakteristiği üzerinde etkili olduğu düşünülen girdi faktörlerinin en iyi seviyeleri bulunmalıdır. Bu çalışmada, deney sonuçlarının değerlendirilmesi için "Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi yöntemi" kullanılmıştır.

Şekil 10a'da Kanban sistemi için faktör etkilerinin grafiksel gösterimi verilmektedir. Kanban sisteminde talep belirsizlik düzeyi faktörünün birinci seviyesi, hazırlık süresi faktörünün birinci seviyesi, işlem süresi ve hazırlık süresi değişim katsayısı faktörünün ikinci seviyesi ve hat dengesizlik düzeyi faktörünün üçüncü seviyesi ortalama süreç içi envanter miktarını minimize etmektedir. Şekil 10b'de CONWIP sistemi için faktör etkilerinin grafiksel gösterimi verilmektedir. CONWIP sisteminde talep belirsizlik düzeyi faktörünün ikinci seviyesi, hazırlık süresi faktörünün üçüncü seviyesi, işlem süresi ve hazırlık süresi değişim katsayısı faktörünün birinci seviyesi ve hat dengesizlik düzeyi faktörünün üçüncü seviyesi ortalama süreç içi envanter miktarını minimize etmektedir. Şekil 10c'de DBR sistemi için faktör etkilerinin grafiksel gösterimi verilmektedir. DBR sisteminde talep belirsizlik düzeyi faktörünün ikinci seviyesi, hazırlık süresi faktörünün birinci seviyesi, işlem süresi ve hazırlık süresi değişim katsayısı faktörünün birinci seviyesi ve hat dengesizlik düzeyi faktörünün birinci seviyesi ortalama süreç içi envanter miktarını minimize etmektedir.



Şekil 10. Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi

5. Sonuç

İşlemsel verimliliğin artışı, akışın artırılması, envanterin azaltılması ve işletme giderlerinin azaltılması yani amaca yaklaşma ile mümkündür. İşlemsel verimliliği etkileyen önemli faktör uygulanan üretim sistemidir. Kendilerine en uygun üretim sistemini seçip uygulamaya çalışan firmalar rakiplerinden daha avantajlı olacaklardır. En uygun üretim sistemini belirleyebilmek için her bir sistemin güçlü ve zayıf yönleri bilinmeli ve yine her bir sistem için hangi faktörlerin sistem üzerinde nasıl bir etki yarattığı bilinmelidir. Sistemlerin güçlü ve zayıf yönlerinin analizi ve faktörlerin sistemler üzerindeki etkilerinin anlaşılabilmesi için sistemlerin benzetim modellerinin kurulup üzerlerinde deneyler yapılması en akılcı yöntemdir. Nitekim bu çalışmada, üretim planlama ve kontrolü için geliştirilmiş olan üç önemli üretim sistemi olan itme, çekme ve senkronize üretim sistemlerinin performansları hipotetik bir akış hattında sistemlerin benzetim modelleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışmada yapılan deneylerde en iyi performansı çekme sistemleri olan Kanban ve CONWIP sistemleri ile senkronize üretim sisteminin uygulaması olan DBR sistemi göstermiştir.

Sistemin akış kaybetmemesi için süreç içi envanter ile çalışılması gereklidir. Fakat belirli bir seviyeden sonra süreç içi envanterin artması akışı değiştirmemektedir. Bu nedenden dolayı süreç içi envanter seviyesi sınırlandırılmalıdır. Yapılan çalışmada en iyi performansı gösteren Kanban, CONWIP ve

DBR sistemlerinin diğer sistemlerden farkı süreç içi envanter seviyelerini sınırlandırmalarıdır. Farklı durumlar için maksimum akışı sağlayacak en düşük envanter seviyelerine göre optimize edilmiş bu sistemler, optimum koşullarda aynı akış miktarını sağlayabilmektedir. Ancak aynı akış miktarını envanter sınırlandırma yöntemlerinden kaynaklanan farklı yaklaşımlardan dolayı değişik süreç içi envanter seviyeleri ile gerçekleştirmektedir. En düşük süreç içi envanter seviyesiyle, diğer sistemlerle aynı akışı gerçekleştiren sistem durumdan duruma değişmektedir. Bir sistemin diğerlerine göre bariz üstünlüğü bulunmamaktadır. En iyi sistemi, ilgili faktörlerin seviyeleri belirlemektedir. Firmalar Kanban, CONWIP ve DBR sistemlerinden hangisinin kendilerine en uygun olduğunu belirlemek için bilinen girdi faktörleri seviyeleri ile sistemlerin benzetim modellerini optimize edip karşılaştırılmalıdır.

Üretim sistemlerinde makine sayısı arttıkça sistemler kaotik davranış gösterecektir. Faktöriyel deney tasarımı yaklaşımı ile sistemler için faktör etkilerinin değerlerinin tahmini ile ilgili bir genelleme yapmak doğru olmayacaktır. Çünkü bu yaklaşımın temelinde sistemlerin monotonik davrandığı varsayımı yapılmaktadır. İleriki çalışmalarda rassal deneyler yapılarak sistemlerin kaotik davranışlarının tanımlanması üzerine çalışılabilir.

Kaynaklar

1. Kumar, C.S., Panneerselvam, R., Literature review of JIT-KANBAN system, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 32, 393-408, 2007.
2. Cheraghi, S.H., Dadashzadeh, M., Soppin, M., Comparative analysis of production control systems through simulation, Journal of Business & Economics Research, 6 (5), 87-103, 2008.
3. Baykoç, Ö., Bir JIT Üretim Sisteminin Simülasyon Modeli ve Analizi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1995.
4. Goldratt, E., The Haystack Syndrome: Sifting Information out of the Data Ocean. North River Press, 1990.
5. Goldratt, E., The Goal: A Process of Ongoing Improvement, North River Press, 1986.
6. Spearman, M., CONWIP: A Pull Alternative to Kanban, International Journal of Production Research, 28 (5), 879-894, 1990.
7. Chang, T.M., Yih, Y., Generic Kanban Systems for Dynamic Environments, International Journal of Production Research, 32(4), 889-902, 1994.
8. Durmuşoğlu, B., Nomak, A., Bir Hücreli Üretim Ortamında, Üretim Planlama ve Kontrol Sistemlerinin Benzetim Analizi, İtÜDergisi, 2 (5), 43-52, 2003.
9. Treadwell, M., Herrmann, J., A Kanban Module for Simulating Pull Production in Arena, Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, 2005.
10. Taguchi, G., Elsayed, A., Hsiang, T., Quality Engineering in Production Systems, McGraw-Hill, New York, 1989.
11. Şanyılmaz, M., Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2006.