

AKSİYOMLARLA TASARIM İLKELERİNİ KULLANARAK ÇEKME/KANBAN ÜRETİM SİSTEMLERİNİN TASARIMI⁺

Özgür KABADURMUŞ ve M. Bülent DURMUŞOĞLU*

İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bir üretim sisteminin tasarımı ve işleyiş şekli, müşteriye verdiği hizmetin kalitesini belirler. Çekme üretim sistemlerinin tasarımı, bu amaç için önemli bir araçtır. Mevcut üretim sistemini çekme üretim sistemi olarak uyarlamak, önemli bir tasarım sorunu olarak ele alınmalıdır. Bu çalışmada, aksiyomlarla tasarım ilkeleri uygulanarak çekme üretim sistemlerinin tasarımı için bir yol haritası oluşturulmuştur. Adım adım ayrıntıya inilen bu tasarım, iki ayrı gerçek uygulamayla hayata geçirilmiş ve geliştirilmiştir. Gerek yol haritası ve gerekse uygulamalar, çalışmada derinlemesine açıklanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Çekme/Kanban Sistemleri Tasarımı, Aksiyomlarla Tasarım, Yol Haritası

DESIGN OF PULL/KANBAN PRODUCTION CONTROL SYSTEMS USING AXIOMATIC DESIGN PRINCIPLES

ABSTRACT

Lean production has become more important than ever. The main component of lean production is pull/kanban production control systems, which are also designed and implemented for adapting to available manufacturing systems. Adaptation efforts require extensive knowledge of design. In this study, a road map is developed for the design of pull/kanban systems using axiomatic design principles. Depending on the available manufacturing system characteristics, the design methodology denotes what kinds of kanbans are needed to use in regard to design parameters. The design methodology is tested in two real life manufacturing systems for validity and findings are provided.

Keywords: Pull/Kanban Systems Design, Axiomatic Design and Road Map

* İletişim yazarı

⁺ 25-27 Kasım 2005 tarihleri arasında İstanbul Ticaret Üniversitesince düzenlenen 5. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu'nda bildiri olarak sunulmuştur.

1. GİRİŞ

Günümüzün giderek daha rekabetçi hale gelen piyasa koşulları, üretim sistemlerinin müşteri beklentilerini dikkate alarak tasarlanmalarını ve bu tasarımların da sürekli gözden geçirilmesini gerektirmektedir. Yeni tasarımlar ile müşteri ihtiyaçlarına yönelik esneklik, maliyet, kalite ve teslimat performanslarının eş zamanlı olarak geliştirilmesine çalışılır. Kilit tasarım geliştirme çalışmalarından biri de, üretim sistemlerini itme yapısından çekme yapısına geçirmektir. Çekme sistemleri ile sistem içindeki israfların azaltılması ve müşteri beklentilerinin karşılanması amaçlanır. Bu çalışmada, çekme üretim sistemine dönüştürülmek istenen üretim sistemleri için kılavuz niteliğinde bütünsel bir yol haritası geliştirilmiştir.

İtme esasına göre çalıştırılan bir üretim sisteminde işlerin üretim sistemine girişleri talebe bağlı olarak çizelgelenir. Çekme üretim kontrol sisteminde ise, işlerin girişleri ve sistem içerisinde ilerleyişleri, sistemin durumuna göre gerçekleştirilir. Çekme sistemi, itmenin tersine, sistemin çıktısını değil, üretim içi stokunu kontrol eder (Hopp ve Spearman, 2001). Çekme yapısına dönüştürme çalışmaları sistematik bir yolla yapılmayan gerçek sistemlerde, genel anlamda bir itme yapısı mevcuttur. Ayrıca bu gerçek sistemlerde talebe göre üretim yapma çabaları sonucu, sistematik olmayan çekme sistemleri uygulamalarına da sıkça rastlanılmaktadır. Sistematik yaklaşım, iki önemli soruya cevap arayacak şekilde gerçekleştirilmelidir:

1. Çekme üretim kontrol sistemi ne zaman kurulmalıdır?
2. Çekme üretim kontrol sisteminin etkin tasarımı, hangi adımlardan oluşmalıdır?

Bu çalışma daha ziyade ikinci soruya cevap vermek amacıyla hazırlanmıştır. Bu soruya aranan cevap ise kendi içinde üç ana başlıkta toplanabilir: “üretim sistemine uygun çekme türünün seçimi”, “kanbanın tasarımı” ve “çekme sisteminin işletilmesi ve operasyonel özellikleri”.

Çalışma sırasında çekme sistemleri ve kanban

türleri ile ilgili literatürde yer alan zengin birikimden faydalanılmıştır. Üretim sisteminin yapısına uygun çekme türünün araştırılması ve seçilmesiyle ilgili literatürde yer alan ve bu çalışmada faydalanılan bazı çalışmalar şu şekilde özetlenebilir. Spearman ve diğerleri (1990), kanbana alternatif olacak bir karma çekme (çekmeyle birlikte itmenin bulunması) türü olan CONWIP sistemini önermişlerdir. CONWIP üzerine literatürde çok farklı boyutlarda inceleme ve ayrıntılı analizler yapılmıştır. Suri (1998), POLCA adı altında yeni bir karma çekme sistemi geliştirmiştir. Çeşitlilik ve talep değişkenliği fazla olan ve tekrarlı olmayan mühendislik ürünlerine sahip sistemlerde bu karma sisteminin hücreler arasında çalışmaya uygun olduğu belirtilmiştir. Geregthy ve Heavey (2004), yaptıkları çalışmada benzetim yöntemini kullanarak karma çekme sistemleri ile CONWIP sistemini farklı koşullar altında karşılaştırmıştır. Gaury ve diğerleri (2000), kanban, CONWIP ve karma sistemler arasından uygun bir çekme sistemi geliştirmek üzere bir model kurmuşlardır. Yöntem olarak genetik algoritma ve benzetim kullanılmıştır. Bonvik ve diğerleri (1997), kanban, CONWIP, stok bazı (*basestock*), karma kanban-CONWIP ve diğer bazı sistemleri farklı senaryolar altında karşılaştırmış ve en iyi performans veren sistemi araştırmışlardır. Muckstadt ve Tayur (1995), üretim sistemindeki değişkenliklerin performans üzerindeki etkilerini gözlemek ve belirli koşullar altında hangi sistemin daha iyi olduğunu bulmak üzere benzetim yöntemini kullanmışlardır. Farklı senaryolar aracılığıyla ve farklı amaçlar gözetilerek klasik kanban ve CONWIP sistemlerini karşılaştırmışlardır. Krishnamurty ve diğerleri (2004), kanban ve MRP (itme) sistemlerini karşılaştırmak için bir dizi farklı senaryo altında benzetim çalışması yapmıştır. Huang ve Kusiak (1996), çeşitli kanban türlerini tanımlamış ve bu kanban türlerinin etkin bir şekilde çalışabilecekleri ortam koşullarını araştırmışlardır. Özellikle, bu çalışmada yer alan üç kanban türünün karşılaştırılması fikri, çalışmamızda kanban seçimi amacına uygun olarak uyarlanmış ve diğer çekme türlerini de kapsayacak şekilde genişletilerek yol haritası için bir temel oluşturulmuştur.

Kanban türünün seçiminden sonra ikinci aşama, daha önce de belirtildiği gibi, kanbanın tasarımıdır. Bunun için faydalı bir kaynak olarak "Productivity Press" geliştirme takımı tarafından yayınlanan "Atölye için kanban" isimli kitap gösterilebilir (Productivity Press Development Team, 2002). Üçüncü aşama, kısaca Çekme/kanban sisteminin operasyonel özellikleridir. Buna yönelik Erhun ve diğerleri (2003), çok ürünlü, çok aşamalı ve çok periyotlu bir kanban sisteminde kanban sayılarının, kanban parti büyüklüklerinin ve kanban çekme aralıklarının analizini yapmışlardır. Hemamalini ve Rajendran (2000), bir kanban sisteminde kap sayısı ve büyüklüğünü saptamak, çekme ve üretim kanbanlarının sayısını belirlemek ve kapları çizelgelemek üzere bir çalışma yapmışlardır.

Bu çalışmada, söz konusu üç aşamayı da içeren, Çekme/kanban sistemi tasarımı için geliştirilen yol haritasına yönelik aksiyomlarla tasarım yaklaşımı kullanılmıştır. Aksiyomlarla tasarım ilk kez Suh (1990) tarafından ortaya atılmış bilimsel bir ilkeler bütünüdür. Aksiyomlarla tasarım yardımıyla tasarım amaçları, gerekli tüm bilgileri kapsayacak biçimde hiyerarşik bir yapıda formüle edilir. Bu yaklaşım ürün tasarımından, ürün iyileştirmeye; süreç tasarımından, süreçlerin iyileştirilmesine kadar çok farklı alanlarda kullanılmaktadır.

Aksiyomlarla tasarım, ilk olarak ürün tasarımıyla ilgili konularda incelenmiştir (Suh,1990). Ancak, aksiyomlarla tasarımın artık güncel çalışmalarda sistem tasarımında da kullanıldığı görülmektedir. Cotoia ve Johnson (2001) gerçek bir iş sürecini iyileştirmek üzere aksiyomlarla tasarım ilkelerini kullanmışlardır. Çalışmada, sistem içerisinde sorun yaratan bir süreç ele alınmış ve bu süreç aksiyomlarla tasarım ilkelerinden yararlanılarak etkinleştirilmiştir. Baxter ve diğerleri (2002), aksiyomlarla tasarım ilkelerini kullanarak tedarik zincirinin performansını değerlendirmek üzere bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, bir tedarik zincirinin çeşitli ürünlerde yer alan parçaların maliyetleri ve temin sürelerine göre değerlendirilmesinde aksiyomlarla tasarım ilkeleri uygulanmıştır.

Kim (2004), yeni bir ürün geliştirilmesi sırasında karşılaşılan problemleri gidermek için ürün tasarımı ve üretim sistemi tasarımını birleştirmeye yönelik aksiyomlarla tasarım ilkelerini kullanarak yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Çalışmanın amacı, yeni ürün geliştirilmesi sürecini zora sokan, yeni ürünün üretim sistemine uygun olarak yeniden tasarlanması veya üretilmesine yönelik üretim sisteminde değişikliklerin yapılması gibi sorunları tasarımın ilk evresinde ortadan kaldırarak yeni ürün tasarımındaki zahmetli aşamaları azaltmak ve önlemektir. Cochran ve diğerleri (2000), organizasyonel yapılanmada yalın yönetim ve değişim yönetimi ilkelerini kullanarak, aksiyomlarla tasarım yöntemiyle üretim birimlerinin segmentasyonunu tasarlayarak üretim sisteminde ufak, esnek ve dağıtılmış üretim birimleri oluşturmak üzere bir çalışma yapmışlardır. Cochran ve Reynal (1996), imalat sistemlerini aksiyomlarla tasarlamışlardır. Bu çalışmada, genel olarak Toyota üretim sistemi ve yalın üretim mantığı üzerinde durulmuş ve çalışmada üretilen iki fonksiyonel ihtiyaç, dört farklı üretim sisteminin performansını analiz etmek için kullanılmıştır. Yalın üretime ilişkin bir başka çalışmada Houshmand ve Jamshidnezhad (2002) aksiyomlarla tasarım tekniğini kullanarak yalın üretim sistemini tasarlamışlardır. Bu çalışmada en üst amaç, karı en büyükmektir. Fakat fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametrelerinin seçimi daha çok kavramsal düzeyde kalmış ve ayrıntıya inilmemiştir. Yazarlar, uygun çekme sistemi seçimi ve çekme sistemi tasarımı ile ilgili geniş bir açıklamaya da yer vermemişlerdir. Ancak, üretim sisteminin seçimine ilişkin ayrıntıları ihmal etmesine rağmen çalışmanın, yalın üretim uygulamalarına farklı bir bakış getirdiği belirtilmelidir. Durmuşoğlu ve Kulak (2004) ofis hücrelerinin tasarımı için aksiyomlarla tasarım ilkelerini kullanarak bir yol haritası oluşturmuşlardır. Yine, Kulak ve diğerleri (2005), aksiyomlarla tasarım ilkelerini kullanarak hücresel üretim sistemi kurulumu için bütünsel bir yol haritası tasarlamışlardır.

Çekme/kanban sisteminin etkin tasarımı; 5S, SMED (Shingo, 1985) ve hücresel üretim gibi yalın üretim yöntemlerinin daha önceden sistemde uygula-

maya sokulmasına bağlıdır. Bu nedenle çalışma, Kulak ve diğerleri (2005) makalesinde kurulan hücresel üretim sistemi tasarımının bir devamı niteliğinde kabul edilebilir. Başka bir deyişle çekme/kanban sistemi tasarımı için hâlihazırda elverişli bir ortamın var olduğu düşünülmektedir. Bu noktada “mevcut tasarıma uygun çekme/kanban sistemi nasıl tasarlanmalıdır?” sorusuna cevap aranacaktır.

Literatür incelendiğinde çekme/kanban sisteminin tasarımına odaklı bütünsel bir yaklaşım bulunmadığı görülmektedir. kanban seçimi ile ilgili yapılan çalışmalar, genellikle belirli koşulları dikkate almakta ve hangi kanban türünün hangi koşullarda kullanılması gerektiği ile ilgili ayrıntıları vermeyerek operasyonel düzeyde kararlar üzerinde durmaktadır. Bu çalışmada, bu alandaki boşluğu dolduracak şekilde bir yöntem-bilim geliştirilmiştir. Oluşturulan tasarım sonucunda, çekme/kanban sistemine geçmek isteyen bir üretim sistemi için aksiyomlarla tasarım ilkeleri kullanılarak bir yol haritası elde edilmiştir.

Çalışma, gerçek üretim sistemlerinin çekme yapılarına dönüştürme projelerinde yazarların geçmişte yaşadıkları zorlukları yenmek amacıyla yol gösterici bütünsel sistematik bir yaklaşıma duyulan gereksinim sonucu ortaya çıkmıştır. Oluşturulan ilk yol haritası zaman içerisinde gerçek üretim sistemlerinde yapılan çalışmalarda uygulanmaya başlanmıştır. Bu aşamada, gerçek hayat gereksinimlerinden ve bu alandaki son literatür çalışmalarından gelen geri bildirimlerle bütünsel tasarım geliştirilmiş ve bu makalede sunulan şekline getirilmiştir. Ortaya çıkan yol haritasının uygulama süreci, çalışmanın uygulama bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Çalışma şu şekilde düzenlenmiştir; bundan sonraki ilk bölümde aksiyomlarla tasarım yönteminin ilkeleri ve özellikleri açıklanacak, ardından çekme/kanban sisteminin aksiyomlarla tasarımı ayrıntılı şekilde sunulacak, sonraki bölümde ise tasarım sonucu elde edilen yol haritasının uygulaması gösterilecektir. Son bölümde ise, çalışmada elde edilen sonuçlar belirtilerek gelecek çalışmalar hakkında bilgi verilecektir.

2. AKSİYOMLARLA TASARIM İLKELERİ

Aksiyomlarla tasarım konusunda bilgi vermeden önce tasarım kelimesi üzerinde durmak faydalı olacaktır. Tasarım Suh (2001)'a göre yapılması gereken ile bunun nasıl yapılacağıının belirlenmesidir. Bu nedenle tasarım konusunda öncelikle “Ne başarmak isteniyor?” sorusunun cevabı olan “Hedefe nasıl ulaşılacağı” araştırılmalıdır.

Aksiyomlarla tasarım konusunda bir önemli nokta tasarımcının aşağıda listelenen konuları yerine getirmesidir (Suh, 2001):

- Müşteri ihtiyaçlarını anlamak
- İhtiyaçları karşılama konusundaki problemleri çözmek üzere tanımlamak
- Sentez yoluyla çözümleri oluşturmak
- Çözümü eniyilemek için analiz yöntemini kullanmak
- Sonuçta ortaya çıkan tasarım çözümünün gerçekteki müşteri ihtiyaçlarını karşılayıp karşılamadığını kontrol etmek

Aksiyomlarla tasarım var olabilecek tasarım seçeneklerinden, en uygun olanı seçmek için sistematik bir yaklaşım ortaya koyar. Sistematik çalışma sonucu daha az kaynak harcanarak tasarım sonucunda ortaya çıkabilecek hatalı veya eksik durumlar sürecin başından itibaren en aza indirilerek en uygun tasarım elde edilmiş veya en uygun tasarıma yaklaşılmış olunur.

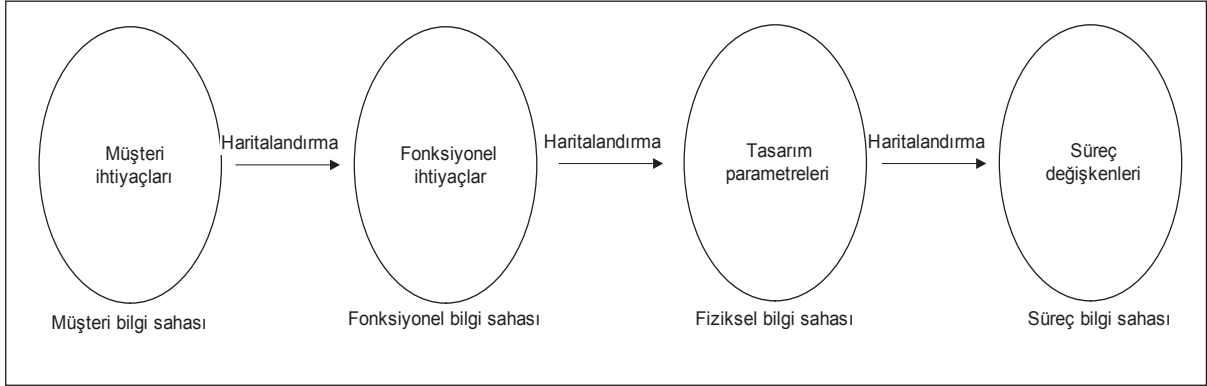
Aksiyomlarla tasarım ilkelerinde iki aksiyom mevcuttur. Bunlardan ilki bağımsızlık aksiyomu, diğeri ise bilgi aksiyomudur.

Aksiyom 1. Bağımsızlık Aksiyomu: Fonksiyonel ihtiyaçlar arasında bağımsızlığı sağla.

Aksiyom 2. Bilgi Aksiyomu: Tasarımın bilgi içeriğini en aza indir.

Bu çalışmada, birinci aksiyom olan bağımsızlık aksiyomu kullanılmıştır. Burada belirtilmek istenen, genel olarak tasarımın gerçekleştirilmesi sırasında, ihtiyaçlar arasında bağıllığın olmamasıdır. Tasarımda bağıllık kavramı ileride açıklanacaktır.

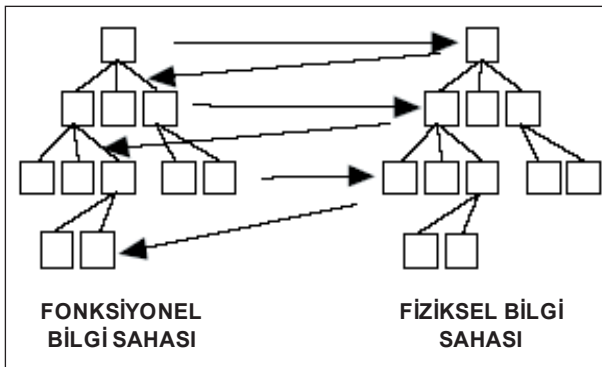
Tasarım dünyası dört alandan oluşur. Bunlar: müşteri bilgi sahası, fonksiyonel bilgi sahası, fiziksel bilgi sahası ve süreç bilgi sahasıdır. Şekil 1, bu sahaları göstermektedir ve şekil üzerinde diğer bilgi sahalarına göre sol tarafta kalanlar “ne”, sağ tarafta kalanlar ise “nasıl” sorularının yanıtlarıdır.



Şekil 1: Aksiyomlarla tasarımda bilgi sahaları (Suh, 2001)

Tasarım sürecinde bilgi sahaları arasında yapılan zikzaklar, haritalandırma sürecini oluşturur. Bu süreçte, tasarımı yapan kişi fonksiyonel ihtiyacı belirledikten sonra (ne yapılacak) fiziksel bilgi sahasına geçip fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen bir çözüm üretmelidir (nasıl yapılacak). Bu nedenle süreç zikzak çizmektedir. Süreç fiziksel bilgi sahasındaki, bu ayrıştırma sonucu tasarım parametrelerinin anlaşılır ve (veya) uygulanabilir olmasına kadar devam etmek durumundadır.

Aşağıda sunulan Şekil 2 bu durumu göstermektedir:



Şekil 2: Tasarımın zikzak ile ayrıştırılması (Lindholm, 1999)

Bu çalışmada fonksiyonel ihtiyaçlar (functional requirements: FR) ile tasarım parametreleri (design parameters: DP) ve süreç değişkenleri (process variables: PV) için parantez içerisinde belirtilen kısaltmalar kullanılmıştır.

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişki matematiksel olarak aşağıda gösterildiği gibi belirtilmiştir (Suh, 1990):

$$\{FR\} = [A] \{DP\} \quad [1]$$

Burada,

- {FR} : Fonksiyonel ihtiyaçlar vektörü,
- {DP} : Tasarım parametreleri vektörü ve
- [A] : Tasarımı belirleyen matris,

[A] matrisindeki her A_{ij} , FR vektörünün i'inci elemanı ile DP vektörünün j'inci elemanı arasındaki ilişkiyi gösterir.

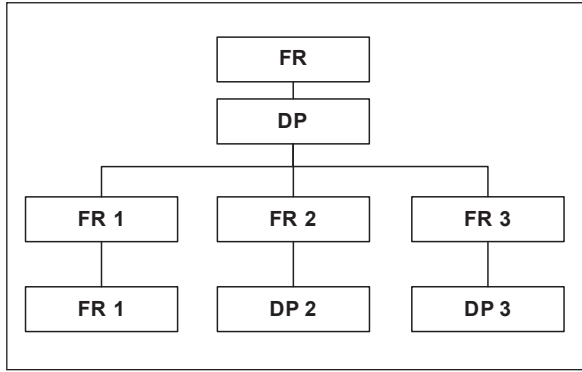
A matrisinin yapısı tasarımın çeşidini belirler. Bağlı tasarım, ayrılmış tasarım ve ayrık tasarım olmak üzere üç çeşit tasarım bulunmaktadır.

A matrisinin elemanlarının sadece matrisin ana köşegeninde olduğu durum ayrık tasarımdır. Ayrık tasarım, bağımsızlık aksiyomu açısından ideal tasarımdır ve bu tür bir tasarımı elde etmek çok zordur. Fakat her tasarım konusu için bu tür bir tasarım mevcuttur, önemli olan bunların ortaya çıkarılmasıdır. Ancak, ortam koşullarından veya kısıtlarından dolayı bu tür

tasarımların oluşturulması mümkün olmayabilir. Bu tasarıma ait örnek bir tasarım matrisi aşağıdaki gibi verilebilir.

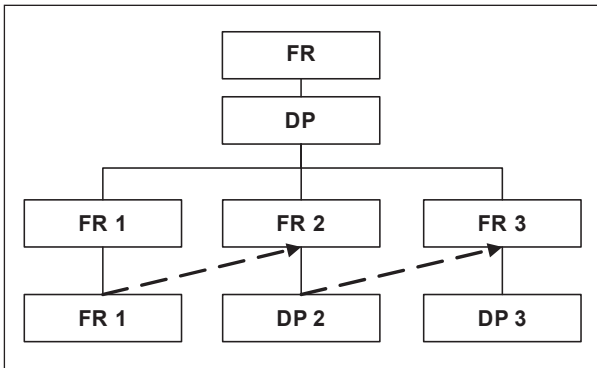
$$\begin{bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ & X & \\ & & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{bmatrix} \quad [2]$$

Matristeki FR ve DP'ler arasındaki kuvvetli ilişki "X" harfi ile işaretlenmektedir. Ayrık tasarımın şekil yardımıyla gösterilmesi ise, Şekil 3'te yer almaktadır.



Şekil 3: Ayrık tasarım

Ayrık tasarımın elde edilemediği durumlarda, ayrılmış tasarımın bulunmasına çalışılmalıdır. Ayrılmış tasarım, A matrisinde yer alan elemanların köşegen ve köşegenin altında bulunmasıyla elde edilir.



Şekil 4: Ayrılmış tasarım

$$\begin{bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{bmatrix} \quad [3]$$

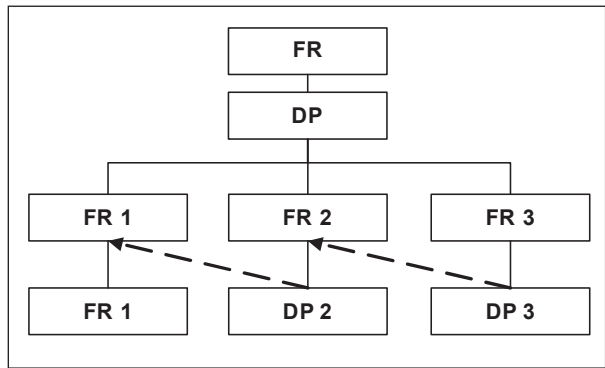
Yukarıdaki matrisle tanımlanan ayrılmış tasarım aşağıda yer alan Şekil 4'te gösterilmiştir:

Bağlı tasarım ise, A matrisindeki elemanları köşegen ve köşegenin üstünde yer aldığı durumda tanımlanır. Bu tasarım istenmeyen bir tasarımdır ve bağımsızlık aksiyomunu sağlamaz. Bağlı tasarım, karmaşık bir yapı oluşturur. Bu karmaşıklık, tekrarlı işlere ve etkin olmaktan uzak bir uygulamaya yol açar. Aşağıda, bir bağlı tasarım örneği gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X & X \\ & X & X \\ & & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{bmatrix} \quad [4]$$

Bağlı tasarım istenmeyen bir tasarım türü olduğundan bu tür tasarımlar ayrık tasarıma, eğer ayrık hale getirilmesi mümkün değilse ayrılmış tasarım şekline getirilmelidir. Şekil 5, örnek bir bağlı tasarımı göstermektedir.

Bağımsızlık aksiyomunu sağlayan tasarım türü, ayrık ve ayrılmış tasarımlardır. Tasarımın kabul edilebilir olması için en azından ayrılmış olması gerekmektedir. Bağlı tasarımlar, etkin olmamaları ve aynı süreçlerin tekrar uygulanmasına neden olmaları nedeniyle tercih edilmemelidir.



Şekil 5: Bağlı tasarım

3. ÇEKME/KANBAN ÜRETİM SİSTEMİNİN AKSİYOMLARLA TASARIM İLKELERİ İLE TASARIMI

Bu bölümde, AD ilkeleri yardımıyla çekme/kanban sisteminin tasarımına yönelik bütünsel bir yol haritasının oluşturulması açıklanmaktadır. Yol haritası yedi aşamadan oluşmaktadır.

Aşama 1. Müşteri Sesinin Dinlenmesi: Ne yapılacağına karar verilmeden önce, değişimin neden gerekli olduğu iyice anlaşılmalıdır. Günümüzde rekabet, üreticilerin alışkanlıklarını ve iş yapma şekillerini müşteriden gelen direkt baskı ile değiştirmeye zorlamaktadır. Müşteriler ürün veya hizmetleri daha düşük fiyatlarla, düşük temin süreleriyle, belirlenen spesifikasyonlarla ve esnek bir şekilde talep etmektedirler. Bu nedenle, mevcudiyetlerine devam etmek isteyen üreticiler bu yeni müşteri gereksinimlerine uyum sağlamak zorundadır.

Aşama 2. Fonksiyonel Bilgi Sahası İçin Fonksiyonel İhtiyaçların Belirlenmesi: Müşterinin ihtiyaçlarının bilinmesinden sonraki adım, bu ihtiyaca karşılık gelen en üst düzey hiyerarşik fonksiyonel ihtiyacın belirlenmesidir. Aksiyomlarla tasarım bakış açısından bakıldığında, aynı konu ile ilgili olarak çok farklı şekilde yapılmış tasarımlar olabilir. En üst düzey hiyerarşide seçilen fonksiyonel ihtiyaç tasarımcıyı farklı tasarımlara götürebilir. Bu nedenle en üst düzey fonksiyonel ihtiyaç çok dikkatli ve mantıklı bir şekilde seçilmelidir. Ele alınan tasarımda seçilen FR aşağıda verilmiştir:

FR = Müşteri talebine dayalı üretimi sağla

Burada vurgulanması gereken önemli bir nokta, müşteri kavramının iki yönlü olmasıdır: iç ve dış müşteri. Oluşturulan sistemde, müşteri talebine dayalı üretimi sağlamak için dış müşteri kadar iç müşterilerin yapısı ve özellikleri de dikkate alınmalıdır. Sadece ve sadece dış müşteri dikkate alınarak müşteri talebine dayalı üretim fonksiyonel ihtiyacı karşılamaz. Üretim sistemi müşteri taleplerini karşılayacak ve müşteri tatminini beklentilerin ötesine taşıyacak şekilde esnek ve hızlı olmalıdır.

Aşama 3. Haritalandırma ile Fonksiyonel İhtiyaçtan Tasarım Parametresinin Oluşturulması: Fonksiyonel bilgi sahası ve fiziksel bilgi sahası arasında yapılacak olan haritalandırma süreci ile birlikte fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri belirlenir. Tasarım sürecinde fonksiyonel ihtiyaçlara doğru tasarım parametreleri ile cevap vermek, doğru fonksiyonel ihtiyaçları tanımlamak kadar önemlidir. En üst düzey fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen tasarım parametresi aşağıdaki gibi seçilmiştir:

DP = Çekme/kanban üretim sistemi tasarımı

Müşteri ihtiyaçlarına yanıt vermede, çekme yaklaşımı üretim sistemleri açısından önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Örneğin, çekme üretim sistemi aracılığıyla, ürünler daha düşük temin sürelerinde, daha yüksek kalite özelliklerinde ve daha az Muda (Japonca'da israf anlamına gelmektedir) yaratarak, yani daha az maliyetle üretilebilmektedir.

Aşama 4. Fonksiyonel Bilgi Sahasının Ayrıntılı Analizi – Fonksiyonel İhtiyaçların Zikzak ile Ayrıştırılması: Suh (1990), eğer seçilen tasarım parametreleri tamamen anlaşılması veya uygulanması için yeterince açık değilse, tasarımcının fonksiyonel bilgi sahasına geri dönerek tasarımı ayrıştırmaya devam etmesi gerektiğini belirtir. Bu nedenle ilk ayrıştırma aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

FR 1 = Çekme (kanban) bilincini yerleştir

FR 2 = Etkin bilgi akışını sağla

Aşama 5. Haritalandırma ile Her Bir Fonksiyonel İhtiyacın Karşılığında Tasarım Parametresinin Bulunması: Aşama 4'te açıklanan FR 1 ve FR 2'leri karşılamak için fiziksel bilgi sahasına geri dönülerek uygun tasarım parametreleri seçilmelidir.

Üretim sistemine uygun çekme sistemini kurup uygulamaya başlamadan önce, ilk olarak, eğer mevcutsa çalışanların çekme/kanban üretim sistemi ile ilgili önyargılı ve gelişimi olumsuz etkileyebilecek tutumlarının değiştirilmesi gerekmektedir veya çalışanların çekme üretim sistemi hakkında hiç fikirleri yoksa çalışanlara çekme bilinci aşılanmalıdır. Her düzeydeki hiyerarşi-

de görev yapan çalışanlar arasında çekme bilincinin yerleştirilmesi ve çekme fikrinin aralarında yayılması gerekmektedir. Bu şekilde, çekme sisteminin gelişimi için ortam hazırlanır. Bu eğitim süreci içerisinde, çekme sisteminin aslında temelde tedarikçi – müşteri ilişkisi üzerine kurulu olduğunun ve sistemin sağlıklı işleyebilmesi için iç müşteri kavramının çok önemli bir nokta olduğu vurgulanmalıdır. Ayrıca çekme üretim sisteminin kurulması yardımıyla sürekli gelişim ortamı yaratılabilir. Bu nedenle verilecek eğitimler, çekme üretim sisteminin sürekli gelişimini de sağlayacak şekilde olmalı ve bu bilinç çalışanlara aktarılmalıdır. Böylece sürekli gelişim yaklaşımı, organizasyonel kültürün bir parçası haline getirilmiş olur. Eğitimin başarısı, çekme üretim sistemine geçişin başarısını direkt olarak etkileyecektir (FR 1 – DP 1).

Bu aşamadan sonra, uygun çekme sisteminin seçilmesi aşaması büyük önem taşımaktadır. Burada çekme sistemi olarak sadece uygun kanban türünün veya karma çekme yapısının seçilmesi değil, sistemi destekleyecek diğer unsurların da etkin tasarlanması

amaçlanmaktadır. Açıklanan bu ayrıştırma olan (FR 2 – DP 2), Şekil 6’da özetlenmiştir.

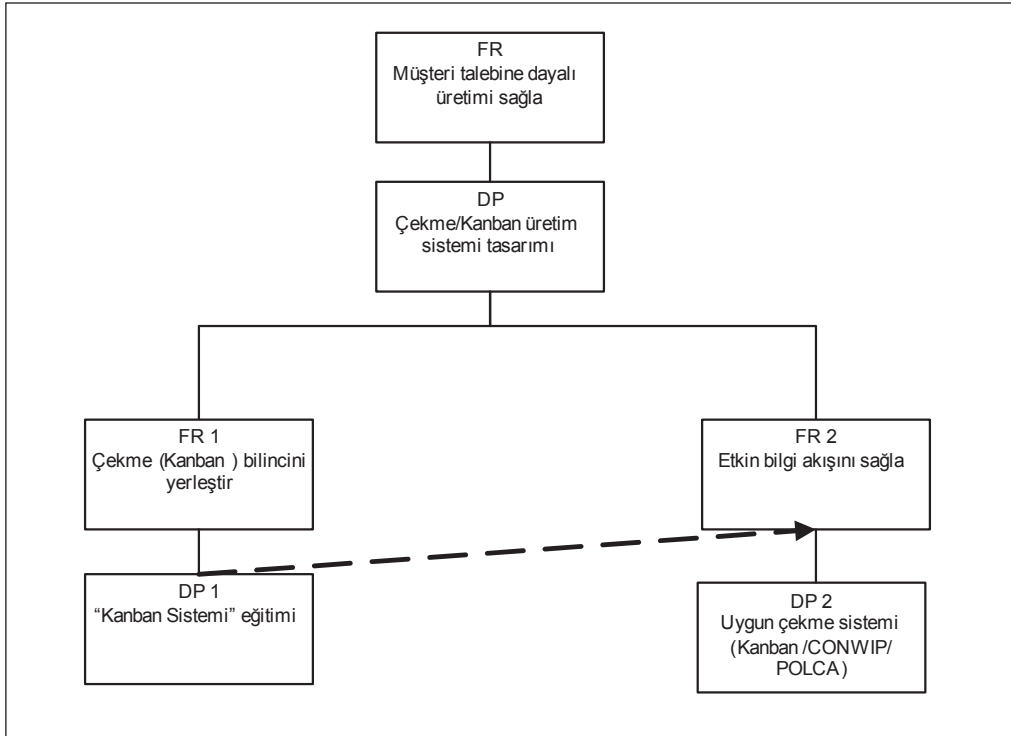
Seçilen tasarım parametreleri aşağıdaki gibidir:

DP 1 = “Kanban Sistemi” eğitimi

DP 2 = Uygun çekme sistemi (kanban/CONWIP/POLCA)

Aşama 6. Tasarım Matrisinin Oluşturulması: Daha önce de vurgulandığı gibi, aksiyomlarla tasarım yönteminde tasarımcının uyması gereken aksiyomlar mevcuttur. Öncelikle, bağımsızlık aksiyomu fonksiyonel ihtiyaçlar arasındaki bağımsızlığın sağlanmasını gerektirmektedir. Bunun anlamı, tasarım matrisinin ayrık olması, ya da en azından ayrılmış tasarım olmasıdır. İlk ayrıştırma ile sunulan tasarımın, tasarım matrisi aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$\begin{bmatrix} FR1 \\ FR2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP1 \\ DP2 \end{bmatrix} \quad [5]$$



Şekil 6: Tasarımın ilk ayrıştırması

Matristen görüldüğü gibi, sunulan tasarım bir ayrılmış tasarım çeşididir ve bağımsızlık aksiyomuna uymaktadır.

Aşama 7. FR 1 ve FR 2'nin fonksiyonel bilgi sahası ve fiziksel bilgi sahası arasındaki zikzak ile ileri ayrıştırılması: Ayrıştırma işlemi tasarım parametrelerinin uygulama için yeterince açık olmasına kadar devam etmek zorundadır.

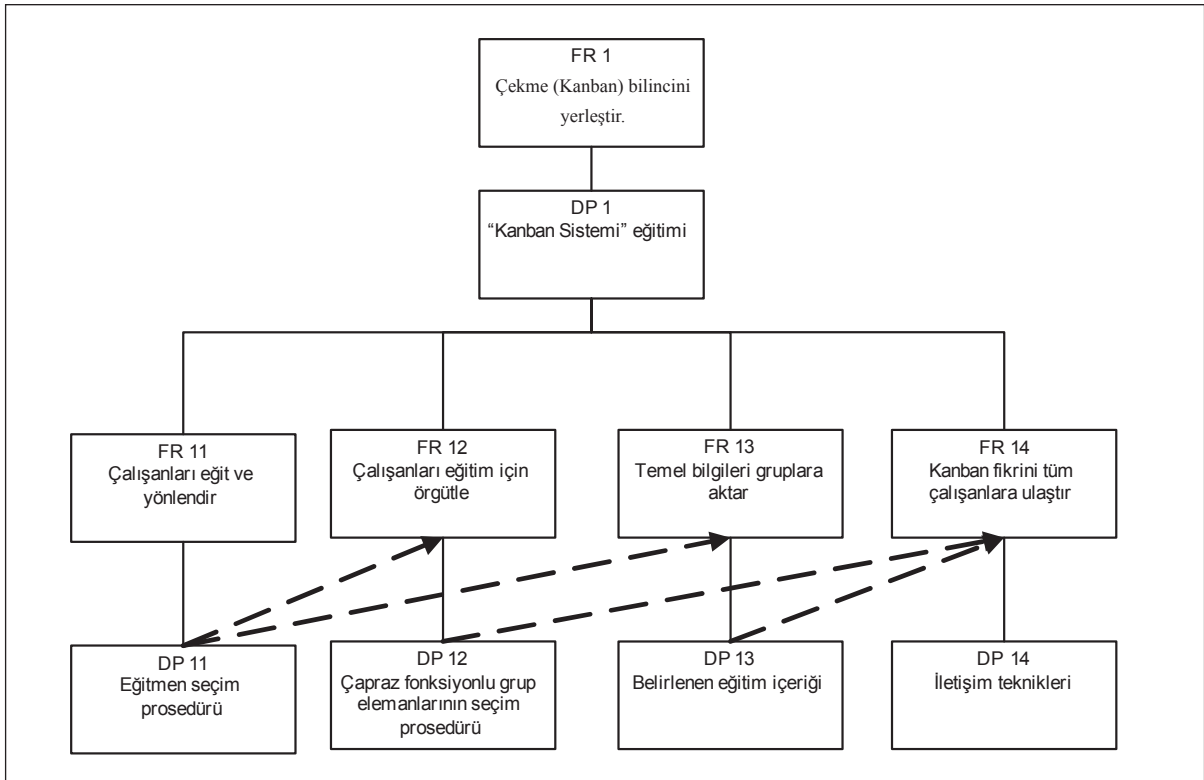
3.1. Kanban bilincini yerleştir dalı

Önceki bölümde verilecek eğitimin çekme için genel bir bilinçlendirme amacıyla hazırlanacağı ve yürütüleceği açıklanmıştı. Bu eğitimlerin verilmeye başlanabilmesi için kanban gruplarının oluşturulması gerekmektedir. Bu eğitimlerde öncelikle yapılması gereken eğitimi kimin vereceğinin kararlaştırılmasıdır. Eğitimi verecek olan kişi çekme üretim sistemlerinin kurulumu ve yürütülmesi konusunda deneyim sahibi, şirket içinden veya dışından bir eğitmen olabilir. Daha sonra eğitimlerin kimlere verileceği önem

kazanmaktadır. Burada önemli olan eğitimi alacak olan kişilerin, çapraz fonksiyonlarda ve organizasyonel hiyerarşinin tüm basamaklarını içerecek şekilde seçilmesidir. Bu yapılanma, çalışmalarda hedeflenen kabullenmeyi artıracak gibi çapraz fonksiyonlu grup olma özelliği ile de farklı bakış açılarıyla zenginleştirilecek ve ayrıca iç iletişimi de iyileştirecektir. Grupların oluşturulmasından sonraki adım ise, çekme mantığı ile ilgili temel noktaların gruplara aktarılmasıdır. Bu da verilecek olan eğitimin içeriğinin grup elemanlarına ve grup eğitmenine bağlı olarak oluşturulmasını gerektirmektedir. Eğitim sonucu elde edilen fikir ve görüşlerin şirket içi yerel ağ, şirket dergisi, panolar gibi iletişim teknikleri kullanılarak yayılması sağlanmalıdır. Açıklanan bu ayrıştırma Şekil 7'de sunulmaktadır (FR 11 - 14 – DP 11 - 14).

Sözü edilen fonksiyonel ihtiyaçlar aşağıdaki şekilde toplanmıştır:

FR 11 = Çalışanları eğit ve yönlendir



Şekil 7: FR 1'in ayrıştırılması

- FR 12 = Çalışanları eğitim için örgütle
 FR 13 = Temel bilgileri gruplara aktar
 FR 14 = Kanban fikrini tüm çalışanlara ulaştır

Yukarıdaki fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri ise şöyledir:

- DP 11 = Eğitmen seçim prosedürü
 DP 12 = Çapraz fonksiyonlu grup elemanlarının seçim prosedürü
 DP 13 = Belirlenen eğitim içeriği
 DP 14 = İletişim teknikleri

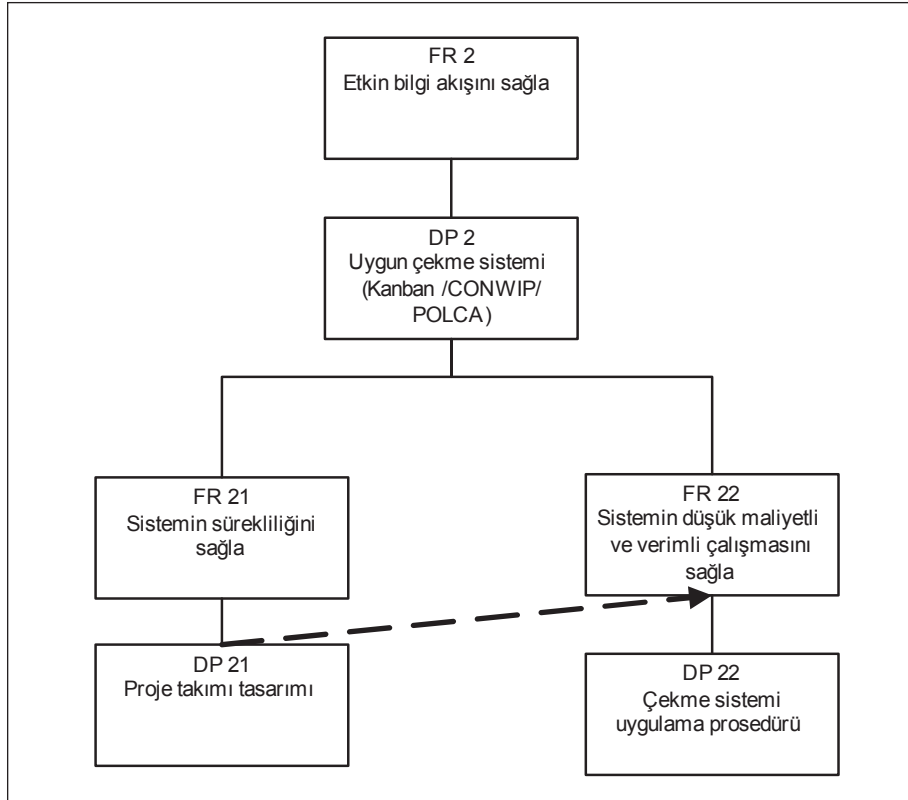
Elde edilen ayrıştırma için tasarım matrisi aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\begin{bmatrix} FR11 \\ FR12 \\ FR13 \\ FR14 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ X & X \\ X & & X \\ X & X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP11 \\ DP12 \\ DP13 \\ DP14 \end{bmatrix} \quad [6]$$

Görüldüğü gibi, tasarım matrisi ayrılmış bir tasarımı göstermektedir.

3.2. Etkin bilgi akışını sağla dalı

Sistemde etkin bilgi akışının sağlanabilmesi için, üretim sistemine uygun çekme sistemi bileşenlerinin tasarlanması gerekmektedir. Bu noktada iki ana başlık önem kazanmaktadır. Bunlar, projenin hayata geçirilmesinde kimler görev alacak ve proje nasıl hayata geçirilecek konularındır. İlk aşamada, önceki dalda çekme konusunda bilinçlenenler arasından, projeyi sahiplenecek ve diğer çalışanlara da benimsetebilecek özellikte yaratıcı ve hevesli kişiler seçilip bir takım kurulmalıdır. Seçilen takımın yaptığı proje çalışmaları sonucunda, öngördüğü ve tasarladığı şekilde çekme sistemi planlanmalı ve hedeflenen plan yürürlüğe konarak çekme sistemi hayata geçirilmelidir. Açıklanan bu ayrıştırma Şekil 8’de sunulmaktadır (FR 21 - 22 – DP 21 - 22).



Şekil 8: FR 2'nin ayrıştırılması

Sözü edilen fonksiyonel ihtiyaçlar aşağıdaki şekilde yazılabilir:

FR 21 = Sistemin sürekliliğini sağla

FR 22 = Sistemin düşük maliyetli ve etkin çalışmasını sağla

Aşağıdaki tasarım parametreleri FR 21 ve FR 22'yi karşılamak üzere seçilmiştir:

DP 21 = Proje takımı tasarımı

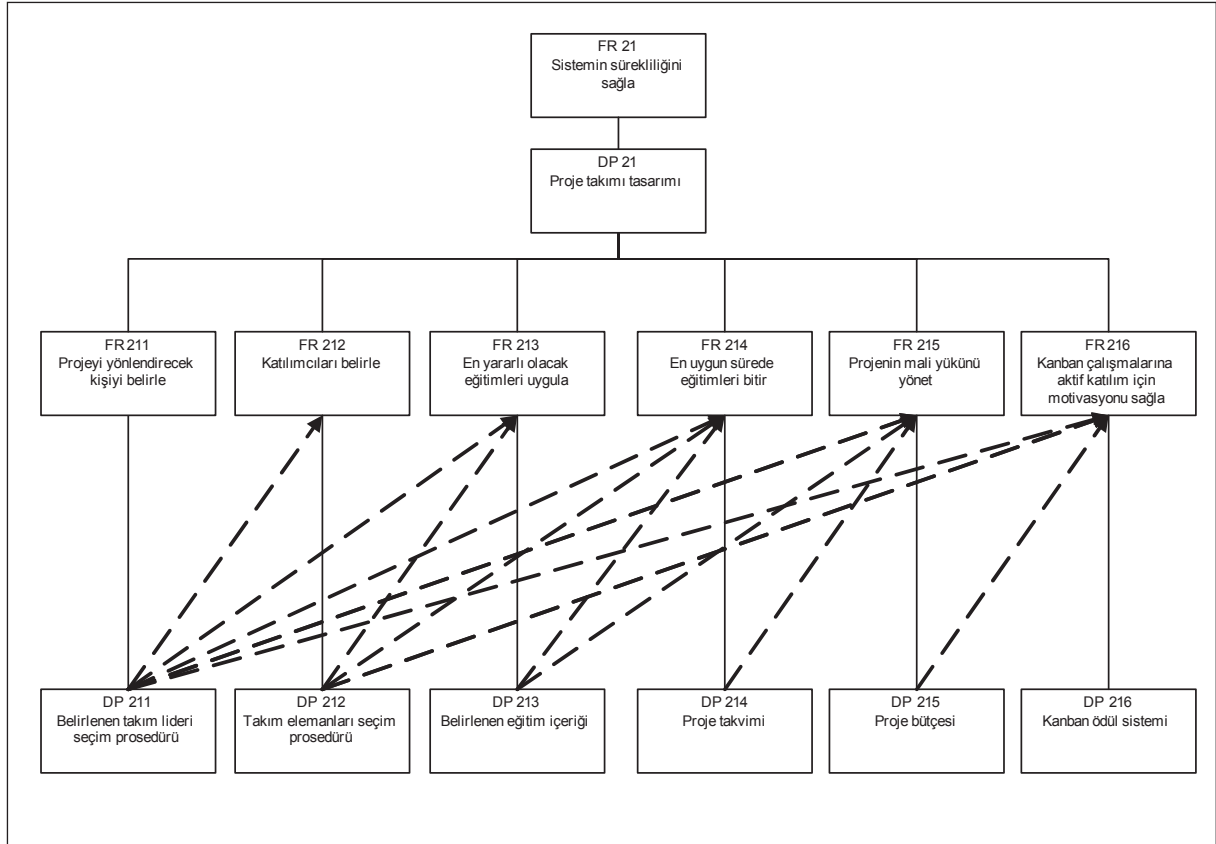
DP 22 = Çekme sistemi uygulama prosedürü

Elde edilen ayrılmış tasarım aşağıdaki tasarım matrisinde gösterilebilir:

$$\begin{bmatrix} FR21 \\ FR22 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP21 \\ DP22 \end{bmatrix} \quad [7]$$

3.2.1. Sistemin sürekliliğini sağla dalı

Daha önce de üzerinde durulduğu gibi bir sistemi kuran ve yürüten, ele alınan sistem her ne olursa olsun, çalışanlar yani insanlardır. Bu nedenle, çekme sisteminin tasarlanmasında da çalışanlara büyük rol düşmektedir. Bu takım, daha önce çekme sistemini çalışanlara benimsetmek üzere oluşturulan kanban gruplarından farklı düzenlenmiş bir gruptur. Misyonu, çekme sisteminin kurulumu ve uygulanmasıdır. Başka bir deyişle kurulacak çekme sistemi, proje takımı tarafından tasarlanmalı, yürütülmeli ve denetlenmelidir. Bu noktada, projeyi yönlendirecek ve gerektiğinde üst yönetime karşı sorumluluğu üzerine alarak çalışanları koordine edecek bir proje liderine gereksinim vardır. Proje takımı ise; yeni durumu tasarlayabilecek, konuyu benimsemiş ve diğer çalışanları da ikna ederek uygulamada başrolü oynayacak kişilerden seçilme-



Şekil 9: FR 21'in ayrıştırılması

lidir. Bu aşamada, takımın belirlenmesiyle beraber hangi eğitimlerin verileceği ve konuların ne olacağı önem kazanmaktadır. Bu eğitimler çoğunlukla işbaşı eğitim şeklinde sahada verilecektir. Proje takımının verdiği bu saha eğitimleri ile birlikte çekme uygulaması hızlanacak ve tüm fabrikaya yayılacaktır. Eğitim içeriğinin belirlenmesiyle birlikte proje takvimi ve proje bütçesi de projenin kısa zamanda, istenen sonuçta ve uygun bir maliyette olmasını sağlayacak şekilde tamamlanması çok önemlidir. Eğitimin verilmesiyle beraber, proje takımı çekme/kanban sisteminin tasarlanması için çalışmaya devam edecektir. Bu noktada, diğer çalışanların da projeyi desteklemeleri ve proje içerisinde yer almaya hevesli olmalarını sağlamak için kanban ödül sistemi gerekmektedir. Bu ödül, çekme/kanban uygulamalarının başarısı, çalışanların istekliliği gibi konularda olumlu etkiler yaratacaktır. (Şekil 9; FR 211 - 216 – DP 211 - 216).

Sözü edilen fonksiyonel ihtiyaçlar aşağıdaki şekilde toplanabilir:

FR 211 = Projeyi yönlendirecek kişiyi belirle

FR 212 = Katılımcıları belirle

FR 213 = En yararlı olacak eğitimleri uygula

FR 214 = En uygun sürede eğitimleri bitir

FR 215 = Projenin mali yükünü yönet

FR 216 = Kanban çalışmalarına aktif katılım için motivasyonu sağla

Yukarıdaki fonksiyonel ihtiyaçları sağlamak üzere aşağıdaki tasarım parametreleri seçilmiştir:

DP 211 = Belirlenen takım lideri seçim prosedürü

DP 212 = Takım elemanları seçim prosedürü

DP 213 = Belirlenen eğitim içeriği

DP 214 = Proje takvimi

DP 215 = Proje bütçesi

DP 216 = Kanban ödül sistemi

Yukarıdaki FR ve DP'ler aşağıdaki tasarım matrisinde gösterilmiştir ve görülmektedir ki yine ayrılmış tasarım elde edilmiştir ve tasarım bağımsızlık aksiyonuna uymaktadır.

$$\begin{bmatrix} FR211 \\ FR212 \\ FR213 \\ FR214 \\ FR215 \\ FR216 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & & & \\ X & X & & & & \\ X & X & X & & & \\ X & X & X & X & & \\ X & & X & X & X & \\ X & X & & & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP211 \\ DP212 \\ DP213 \\ DP214 \\ DP215 \\ DP216 \end{bmatrix} \quad [8]$$

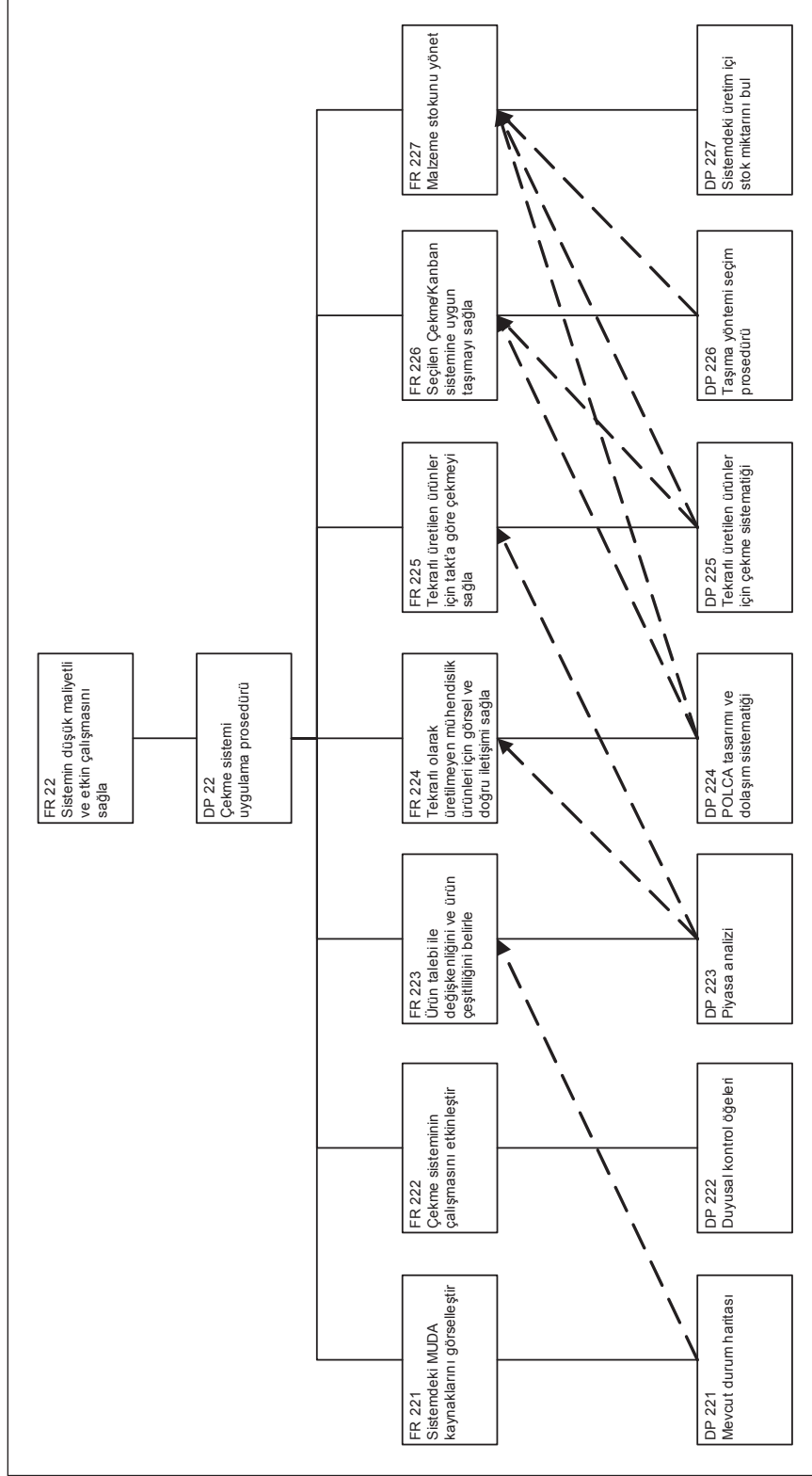
3.2.2. Sistemin düşük maliyetli ve etkin çalışmasını sağla dalı

Kanban proje takımının oluşturulması ve kanban eğitimlerinin verilmeye başlanması ile çekme sisteminin uygulanmaya geçiş için temel sağlanmış demektir. Bu aşamadan sonra, çekme üretim sisteminin seçilmesi ve bununla beraber çekme üretim sistemi elemanlarının tasarlanması konusu önem kazanmaktadır. Çekme uygulaması önce bir pilot ürün veya ürün ailesi seçimi ile başlamalı ve daha sonra tüm ürünlere yaygınlaştırılmalıdır. Pilot ürün ailesi seçimi, pareto analizi yardımıyla da gerçekleştirilebilir. Pilot ürün ailesine ait sistemin analizi için uygulanması gereken teknik, sistemin mevcut durumda nasıl işlediğini ortaya koymak adına değer akışı haritalandırma ile mevcut durum haritasını çıkarmaktır. Bu yöntem, geliştirilecek sistem için eski yapıya ilk bakışı oluşturacak olup, bilgi ve malzeme akışını gösterecek, ayrıca sistemin anlık bir fotoğrafını çekerek Mudaların ve Muda kaynaklarının görselleştirilmesini sağlayacaktır (Şekil 10; FR 221– DP 221).

Çekme sisteminin kurulmasından önce, sistemin çalışmasını etkinleştirmek üzere duyuşsal kontrol öğeleri kullanılmalıdır. Bunlar, sahada yani üretimin yapıldığı noktada, işlemlerin sürekliliği ve çalışmaların kolaylaştırılması için son derece önemlidir (Şekil 10; FR 222– DP 222).

Değer akışının görselleştirilmesinin ardından, çekme sisteminin tasarımı gerçekleştirilecektir. Tasarım için ele alınan ölçütler aşağıda belirtilmiştir (Tablo 1):

- Tekrarlı/Tekrarlı Olmayan Üretim Sistemleri
- Dışsal Hazırlık Süresi
- İmalat Süreçleri Arasındaki Mesafe



Şekil 10: FR 22 - DP 22'nin ayrıştırılması

Tablo 1: Çekme sistemi seçiminde karşılaştırma ölçütleri

ÖLÇÜTLER		Dışsal Hazırlık Süresi (Kısa, Uzun)	İmalat Süreçleri Arasındaki Mesafe (Yakın, Uzak)	Ürün Çeşitliliği (Düşük, Yüksek)	Ürün Talebi Değişkenliği (Düşük, Yüksek)	
TEKRARLI ÜRETİME UYGUN SİSTEMLER	KANBAN SİSTEMLERİ	<i>Tek Kanban</i>	Kısa	Yakın	Düşük	Düşük
		<i>Çift Kanban</i>	Kısa	Uzak	Düşük	Düşük
		<i>Kısmi Çift Kanban</i>	Kısa	Uzak	Düşük	Düşük
		<i>Çift Kutu</i>	Kısa	Uzak	Düşük	Düşük
		<i>Sinyal Kanbanı</i>	Uzun	Yakın/ Uzak	Düşük	Düşük
		<i>Üçgen Kanban</i>	Uzun	Yakın/ Uzak	Düşük	Düşük
		<i>Tedarikçi Kanbanı</i>	Uygulanamaz	Uzak	Düşük	Düşük
		<i>Elektronik Kanban</i>	Kısa	Uzak	Düşük	Düşük
		<i>Sıralı Çekme</i>	Kısa	Yakın	Düşük	Düşük
		<i>Tünel Kanbanı</i>	Kısa	Yakın	Düşük	Düşük
		<i>Ekspres Kanban</i>	Uygulanamaz	Yakın/ Uzak	Düşük	Yüksek
		<i>Acil İhtiyaç Kanbanı</i>	Uygulanamaz	Yakın/ Uzak	Düşük	Yüksek
		<i>Otluk Sistemi</i>	Kısa	Yakın	Düşük	Düşük
		<i>Kanban Karesi</i>	Kısa	Yakın	Düşük	Düşük
	CONWIP	<i>Ürüne Tahsisli Olan</i>	Kısa/Uzun	Uzak	Yüksek	Düşük
		<i>Ürüne Tahsisli Olmayan</i>	Kısa/Uzun	Uzak	Yüksek	Yüksek
	BİRLEŞTİRİLMİŞ SİSTEMLER	<i>CONWIP+ Üçgen-Tahsisli</i>	Uzun	Uzak	Yüksek	Düşük
<i>CONWIP+ Üçgen-Tahsisli Olmayan</i>		Uzun	Uzak	Yüksek	Yüksek	
TEKRARLI ÜRETİME UYGUN OLMAYAN SİSTEMLER	POLCA	<i>POLCA</i>	Kısa/Uzun	Uzak	Yüksek	Yüksek

d) Ürün Çeşitliliği

e) Ürün Talebi Değişkenliği

Çekme sistemleri, uygulamada tekrarlı üretim ve tekrarlı olmayan üretim olarak farklılık gösterir. Tekrarlı olmayan üretimde aynı teknik özelliğe sahip ürünler bir daha üretilmez veya aynı ürünün bir kez daha ne zaman üretileceği belirsizdir. Dışsal hazırlık süresi ise, kısa ve uzun olarak iki düzeyde ele alınmıştır. Dışsal hazırlık sürelerinin uzun olması, kullanılan çekme/birleştirilmiş çekme sisteminde sinyal ve üçgen kanban kullanımını gerektirir. Diğer ölçüt olan imalat süreçleri arasındaki mesafe, çekme türü seçimini etkilemektedir. Ürün çeşitliliğinin yüksek olması durumunda itme sistemlerini de içeren karma çekme sistemleri de tercih edilebilir. Buna örnek olarak, CONWIP sistemi verilebilir. Son olarak ürün talebi değişkenliği ölçütü de çekme türü seçiminde önemli rol oynar. Genellikle değişkenliğin yüksek olması, ürüne tahsisli olmayan çekme türlerini gündeme getirir. Tüm bu ölçütler Tablo 1’de çekme türleri ile birlikte özetlenmiştir.

Tablo 1’e dayanarak bu aşamada, pilot ürün/ürün ailesinin talebi ile talep değişkenliği ve pilot ürünlerin çeşitliliği belirlenmelidir. Bunun için piyasa analizi kullanılır. Analiz sonucunda elde edilen bulgular, çekme türü seçimine ışık tutacaktır.

Tekrarlı olarak üretilmeyen mühendislik ürünleri için kurulacak olan sistem, bir karma çekme yapısı olan POLCA’ dır. Bu sistemin en önemli özelliği yüksek ürün çeşitliliği ve yüksek talep değişkenliğinin tekrarlı üretime izin vermediği, takt süresinin bu nedenle saptanamadığı, terzi tipi üretim şeklinde adlandırılacak durumlarda kullanılıyor olmasıdır. POLCA’ da ürünlerin bu yüksek talep değişkenliği ve yüksek ürün çeşitliliği nedeniyle süpermarket kullanılması mümkün olamamaktadır. Süpermarket, bitmiş ürün veya yarı mamulü depolamak ve iç/dış müşteri siparişlerini karşılamak üzere çekilen miktarı yerine koymak amacıyla kullanılan görsel bir sistemdir (Tapping ve diğerleri, 2002). Bu aşamada POLCA kartlarının şekli, malzemesi ve üzerinde belirtilecek bilgilerin ne olacağına karar verilmektedir. Dolaşım sistematığının sağlanması ile de kartların döngülerinin nasıl olacağı, kimlerin sorumlu olacağı, pano, posta kutusu gibi di-

ğer görsel iletişim konuları dikkate alınmaktadır. (Şekil 10; FR 223 - 224 – DP 223 - 224). Malzeme taşıma yöntemleri, kart sayısı ve kartın taşıyacağı miktar yol haritasında ileriki aşamalarda yer alacaktır (Şekil 10; FR 226 - 227 – DP 226 - 227).

Bu süreç sonunda ulaşılan POLCA kartının tasarımı gibi diğer kanban tasarımları yol haritamızda ayrıca ayırtırmaya tabi tutulmamıştır. Başka bir deyişle, yol haritası kanban türünü ve diğer önemli parametreleri (kart sayısı, süpermarket kararları, taşıma yöntemi gibi) bulmada yol göstermektedir.

Eğer sistem tekrarlı üretime müsaitse, yani takt süresine göre üretim yapılabiliriyorsa, tekrarlı üretim için bir çekme sistemi kurulması gerekmektedir. Bu da kendi içinde adımları olan bir sistematik yaklaşım ile sağlanır (Şekil 10; FR 225 – DP 225).

Çekme/kanban sisteminin tasarlanmasıyla birlikte sıra, kanban sistemine uyumlu taşıma yönteminin tasarlanmasına gelecektir. Taşıma yönteminin seçimi kendi içinde bir prosedürdür ve seçilecek olan taşıma yöntemi sistemin performansını doğrudan etkileyecektir. Bir sonraki adım ise, üretim içi stok miktarına karar vermektir. Bu karar ile sistemdeki malzeme stokunun yönetilmesi mümkün olacaktır. (Şekil 10; FR 226 - 227 – DP 226 - 227).

Tüm ayrışım yapısı aşağıdaki şekilde toplanabilir:

FR 221 = Sistemdeki Muda kaynaklarını görselleştir

FR 222 = Çekme sisteminin çalışmasını etkinleştir

FR 223 = Ürün talebinin ve çeşitliliğinin değişkenliğini belirle

FR 224 = Tekrarlı olarak üretilmeyen mühendislik ürünleri için görsel ve doğru iletişimi sağla

FR 225 = Tekrarlı üretilen ürünler için takta göre çekmeyi sağla

FR 226 = Seçilen Çekme/kanban sistemine uygun taşımayı sağla

FR 227 = Malzeme stokunu yönet

Bir üst hiyerarşideki fonksiyonel ihtiyacın ayrıştırılmasıyla elde edilen yukarıdaki fonksiyonel ihtiyaçlara

karşılık gelen tasarım parametreleri aşağıdaki gibi seçilmiştir:

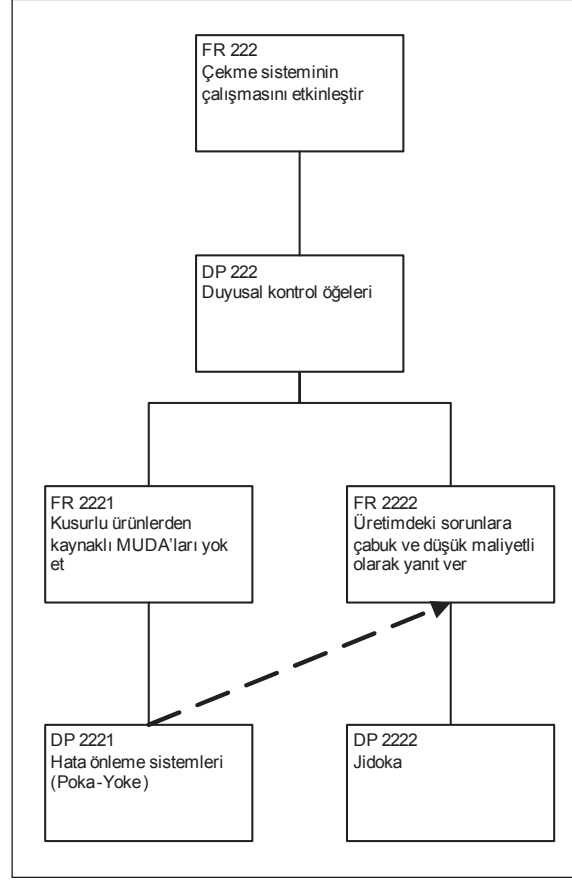
- DP 221 = Mevcut durum haritası
- DP 222 = Duyusal kontrol öğeleri
- DP 223 = Piyasa analizi
- DP 224 = POLCA tasarımı ve dolaşım sistematığı
- DP 225 = Tekrarlı üretilen ürünler için çekme sistematığı
- DP 226 = Taşıma yöntemi seçim prosedürü
- DP 227 = Sistemdeki üretim içi stok miktarını bul

Tasarımın matris halinde gösterimi aşağıdaki gibidir ve bağımsızlık aksiyomuna uygun ayrılmış bir tasarım elde edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR221 \\ FR222 \\ FR223 \\ FR224 \\ FR225 \\ FR226 \\ FR227 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & & & & \\ & X & & & & & \\ X & & X & & & & \\ & & & X & X & & \\ X & & & X & X & X & \\ & & & & X & X & X \\ & & & & & X & X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP221 \\ DP222 \\ DP223 \\ DP224 \\ DP225 \\ DP226 \\ DP227 \end{bmatrix} \quad [9]$$

3.2.2.1. Çekme Sisteminin Çalışmasını Etkinleştirir

Çekme sisteminin son aşaması olarak sistemin çalışmasını etkinleştirmek üzere duyusal kontrol öğeleri düzenlenmelidir. Duyusal kontrol öğeleri ile kastedilen beş duyu organına hitap edebilecek sistemlerdir. Bu da aşama aşama yapılması gereken bir süreçtir. İlk olarak insan hatasıyla oluşabilecek kusurlu ürünleri, oluşmadan önleyen (Poka-Yoke) sistemlerin kurulması gerekir. Burada “insanlar hata yapabilir” gerçeği kabul edilerek hatayı önleyici mekanizmaların geliştirilmesinin önemi vurgulanmaktadır. Üretim sırasında sahadaki sorunlara çabuk ve düşük maliyetli şekilde yanıt verebilmek için “jidoka” yani makinalara yetenek kazandırmak gereklidir. Bunun için ışıklı göstergeler olan “andon” sistemleri kullanılabilir. Bu şekilde, planlı ve plansız makine duruşları gibi üretimi aksatan sorunlara karşı hızlı yanıt verilebilir (Şekil 11; FR 2221 - 2223 – DP 2221 - 2223).



Şekil 11: FR 223 - DP 223' nin ayrıştırılması

Ayrıştırmadaki fonksiyonel ihtiyaçlar aşağıda gösterilmektedir:

- FR 2221 = Kusurlu ürünlerden kaynaklı Muda'ları yok et
- FR 2222 = Üretimdeki sorunlara çabuk ve düşük maliyetli olarak yanıt ver

Yukarıdaki fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık tasarım parametreleri aşağıda verilmiştir:

- DP 2221 = Hata önleme sistemleri (Poka-Yoke)
- DP 2222 = Jidoka

Bu ayrıştırma ile ilgili tasarım matrisi aşağıda gösterilmiştir:

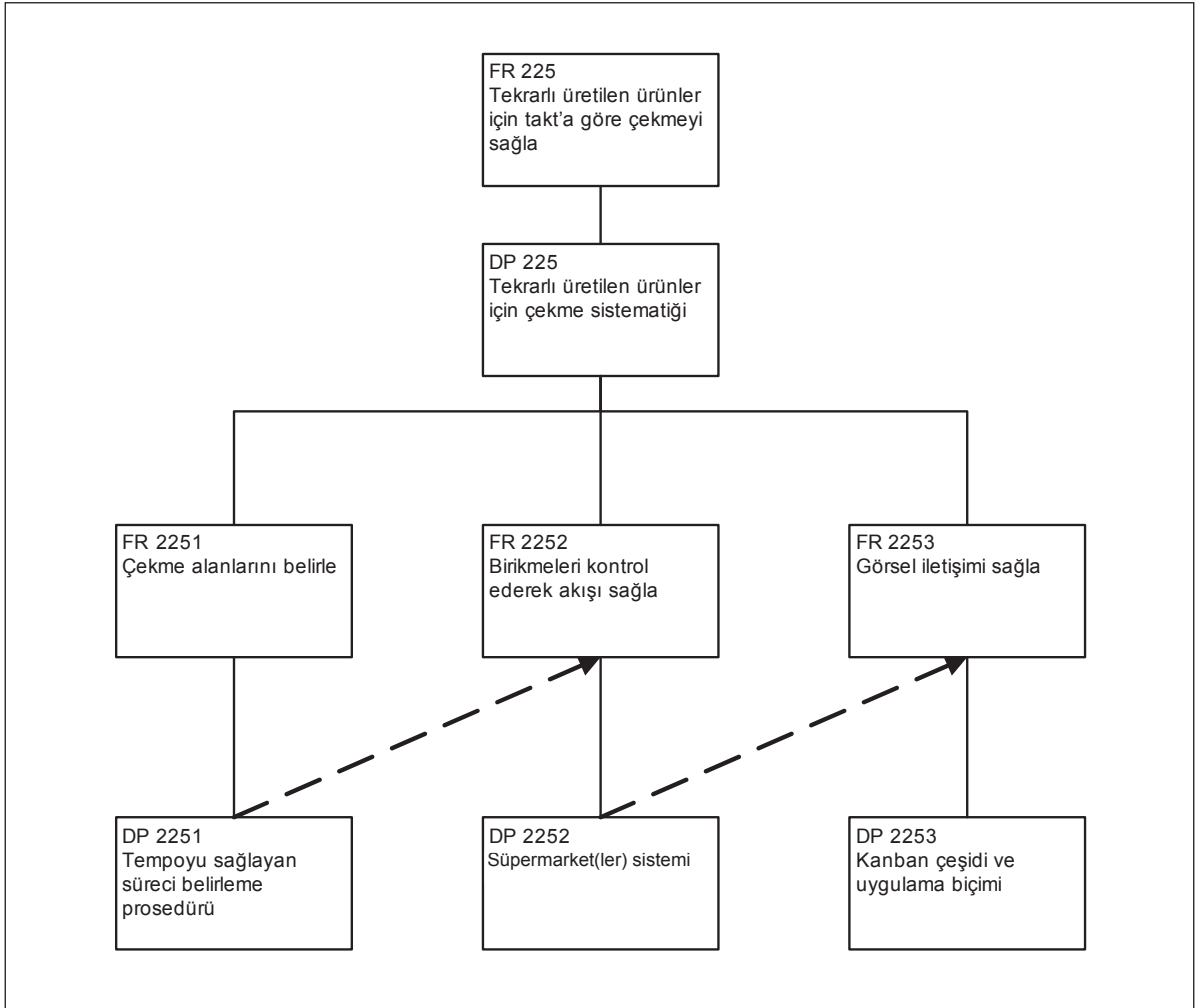
$$\begin{bmatrix} FR2221 \\ FR2222 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP2221 \\ DP2222 \end{bmatrix} \quad [10]$$

Tasarım matrisi, yine ayrılmış tasarım türünü göstermektedir.

3.2.2.2. Takta göre çekmeyi sağla dalı

Ele alınan sistem, tekrarlı üretime müsaitse, bir sonraki adım takta göre üretim sağlamak üzere görsel iletişime dayalı uygun çekme sistemini kurmak olacaktır. İlk olarak, hangi alanlarda çekme üretim sisteminin kurulacağı, ya da tersi olarak hangi bölgelerde çekme olamayacağı belirlenmelidir. Tempoyu sağlayan sürecin belirlenmesi ile birlikte çekme alanları saptanacak ve süpermarket noktalarının hangi alanda kurulması gerektiği kabaca ortaya çıkmış olacaktır. Tempoyu

sağlayan süreçten sonraki süreçlerde itme mümkün olduğundan bu alanlarda süpermarket kurulumuna gerek olmayacaktır. Buna karşılık, tempoyu sağlayan sürecin öncesindeki alanlarda süpermarketler kurulabilir. Tempoyu sağlayan süreç seçiminde öncelikle darboğaz süreçler tercih edilir. Ancak sistemin darboğazlardan kurtarılarak iyileştirilmesi durumunda, çekme montajdan geriye doğru yapılacağından tempoyu montaj sağlamış olur (Eğer montaj yoksa son işlem noktası/son iç müşteri de aynı işlevi görür). Kurulacak süpermarketlerle sistemdeki malzemelerin akışı kontrol edilir. İtmeyle ortaya çıkabilecek kontrolsüz birikimler önlenir. Belirlenen çekme noktalarında



Şekil 12: FR 225 - DP 225'nin ayrıştırılması

da bölgesel olarak itme tercih edilebilir. Çünkü ürün çeşitliliğinin yüksek olduğu durumlarda, bazı imalat süreçleri veya hücreler arasında süpermarket kurmak süreç içi stokları artırır. Son aşama ise, görsel iletişimin sağlanması için çekme/kanban türünün seçilmesidir. Bu seçim, farklı ölçütler açısından var olan sistemin yapısı içinde en uygun çekme sisteminin kurulmasını sağlayacak şekilde olmalıdır (Şekil 12; FR 2251 - 2253 – DP 2251 - 2253).

Buna göre fonksiyonel ihtiyaçlar aşağıdaki şekilde toplanabilir:

- FR 2251 = Çekme alanlarını belirle
- FR 2252 = Birikmeleri kontrol ederek akışı sağla
- FR 2253 = Görsel iletişimi sağla

Bu üç fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen tasarım parametreleri ise şunlardır:

- DP 2251 = Tempoyu sağlayan süreci belirleme prosedürü
- DP 2252 = Süpermarket(ler) sistemi
- DP 2253 = Kanban çeşidi ve uygulama biçimi

Tekrarlı üretilen ürünler için takta göre çekmeyi sağla dalının tasarım matrisi aşağıdaki gibi gösterilir.

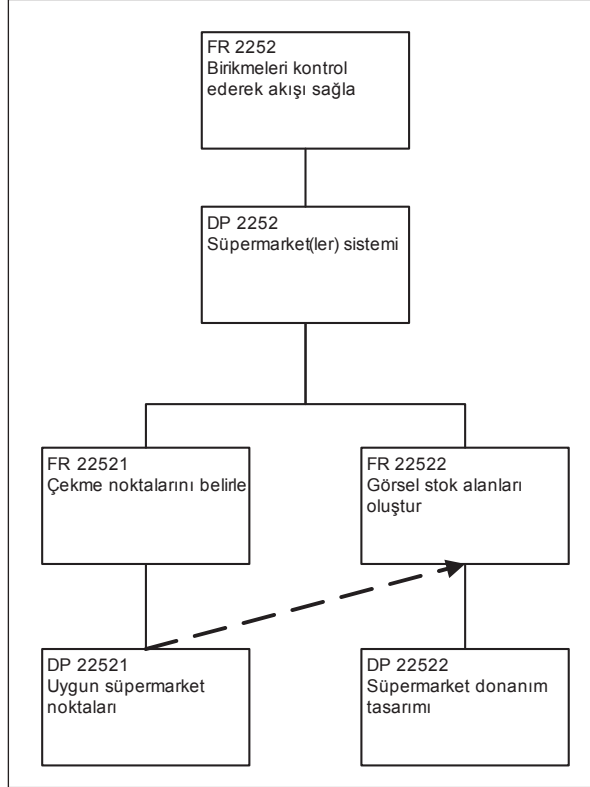
$$\begin{bmatrix} FR2251 \\ FR2252 \\ FR2253 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP2251 \\ DP2252 \\ DP2253 \end{bmatrix} \quad [11]$$

Matristen de görüldüğü gibi ayrıştırma bağımsızlık aksiyomuna uymaktadır.

3.2.2.2.1. Birikmeleri kontrol ederek akışı sağla dalı

Tempoyu sağlayan sürecin belirlenmesiyle birlikte, hangi alanlarda süpermarket kurulabileceği bir önceki hiyerarşide belirlenmişti. Bundan sonraki aşama, saptanan çekme alanları içerisinde hangi noktalarda süpermarket(ler)in kurulacağını belirlemesidir. Akışın kesildiği ve itmenin istenmediği noktalarda süpermarketler tercih edilir. Bu uygun süpermarket noktalarına karar verildikten sonra, süpermarketin donanımına karar verilmesi gerekmektedir. Bu da raf olup olmayacağı, olacaksa rafların yapısı, mal-

zemelerin nasıl yerleştirileceğinin belirlenmesi gibi uygulamaya dönük kararlardır (Şekil 13; FR 22521 - 22522 – DP 22521 - 22522).



Şekil 13: FR 2252 - DP 2252'nin ayrıştırılması

Buna göre fonksiyonel ihtiyaçlar:

- FR 22521 = Çekme noktalarını belirle
- FR 22522 = Görsel stok alanları oluştur

Aşağıdaki DP'ler haritalandırma sürecinin ardından FR'lerin karşılığı olarak elde edilmiştir:

- DP 22521 = Uygun süpermarket noktaları
- DP 22522 = Süpermarket donanım tasarımı

Bu ayrıştırılmış tasarımın matrisi aşağıda verilmiştir:

$$\begin{bmatrix} FR22521 \\ FR22522 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP22521 \\ DP22522 \end{bmatrix} \quad [12]$$

Buradan görülmektedir ki, birikmeleri kontrol ederek akışı sağla ayrıştırması, bağımsızlık aksiyonunu sağlamaktadır.

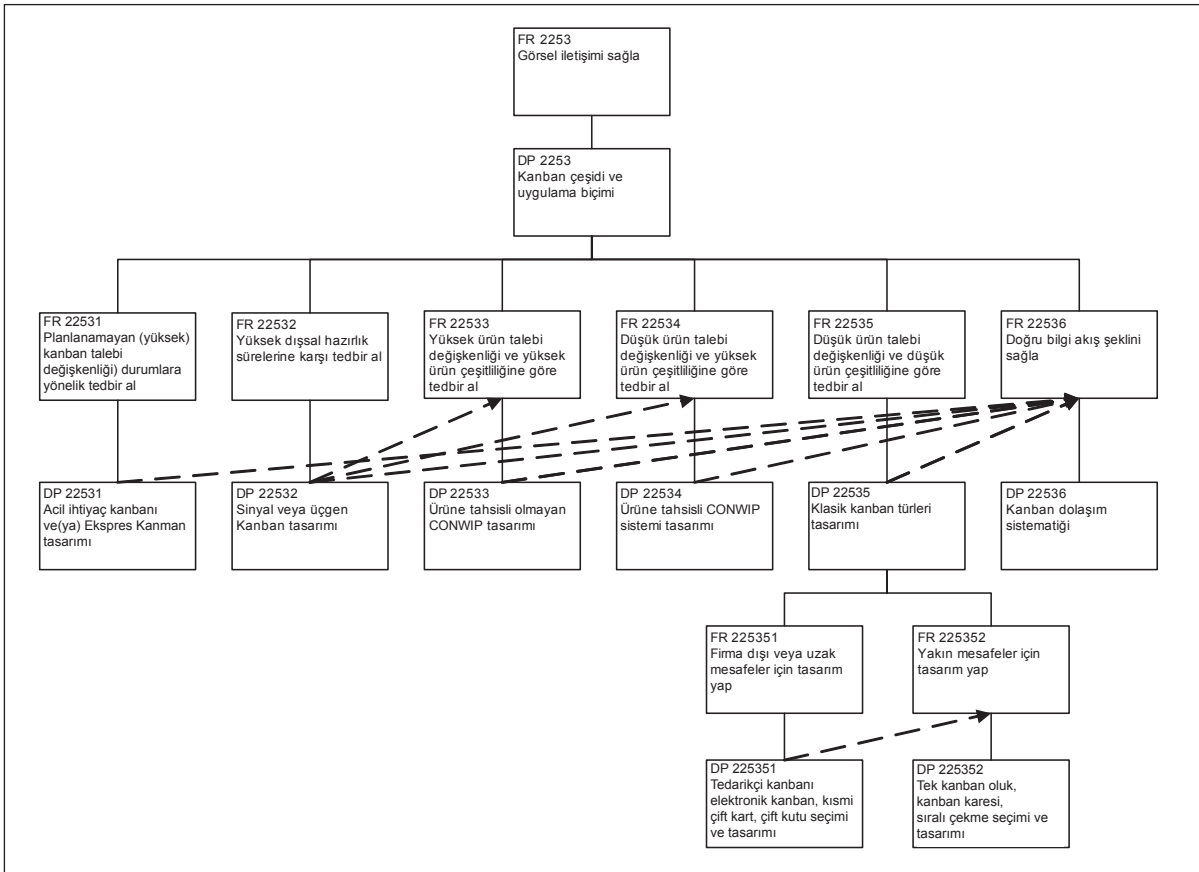
3.2.2.2. Görsel iletişimi sağla dahil

Piyasa analizinden sonra ele alınan üretim sisteminin tekrarlı üretime izin veren yapıda olduğunun belirlenmesiyle birlikte bu yapıya uygun görsel iletişimin sağlanması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bunun için üretim sisteminin yapısına uygun kanban türünün seçilmesinin ve uygulama biçiminin belirlenmesi gerekmektedir. İlk yapılması gereken, hangi kanban türünün seçileceğine karar verilmeden önce sistemin karşı karşıya kalabileceği olumsuz durumlar için baştan tedbir alınmasıdır. Acil ihtiyaç veya ekspres kanban türleri planlanmamış olumsuz durumlarda kullanılmak üzere tasarlanmalıdır (Monden, 1993).

Acil ihtiyaç kanbanı; makina arızaları, hatalı ürünler, kısa süreli talep ihtiyaçları durumlarında ihtiyacı karşılamak için kullanılır. Ekspres kanban ise, bir parçanın yokluğunda kullanılır ve acil ihtiyaç kanbanında olduğu gibi, bu karta olan ihtiyaç ortadan kalktığında kart toplatılır (Şekil 14; FR 22531 – DP 22531).

İş istasyonlarında yüksek dışsal hazırlık süreleri söz konusu ise, sinyal/üçgen kanban kullanmak gerekmektedir. Bu aşamada, sinyal kanbanının malzemesi, biçimi ve içerdiği bilgiler tasarlanmalıdır (Şekil 14; FR 22532 – DP 22532).

POLCA gibi yüksek ürün talebi değişkenliği olan tekrarlı üretimlerde genellikle ürüne tahsisli olmayan kart kullanılır. Ürün çeşitliliğinin de yüksek olması durumunda daha önce de belirtildiği gibi bazı imalat süreçleri veya hücreler arasında itme tercih edilir.



Şekil 14: FR 2253 - DP 2253'ün ayrıştırılması

Çekme yapısı altında itmenin beraberce kullanımı ürüne tahsisli olmayan CONWIP sistemini gündeme getirir. Bu şekilde, süpermarket kullanılmasının yerine CONWIP kullanılmasıyla, daha önce belirtildiği gibi süreç içindeki stoklar düşürülür (Şekil 14; FR 22533 – DP 22533). Yüksek ürün talebi değişkenliği olmadığı durumlarda, ürüne tahsisli olmayan kart kullanımına gerek kalmaz. Bu şartlar altında, ürüne tahsisli olan CONWIP kullanılır (Şekil 14; FR 22534 – DP 22534).

Gerek ürün talebi değişkenliğinin ve gerekse ürün çeşitliliğinin düşük olduğu durumlarda klasik kanban türlerinin kullanılması uygun olacaktır. Klasik türler arasından seçimi, iki imalat süreci veya hücre arasındaki mesafe tayin edecektir (Bakınız Tablo 1). Eğer bu mesafe uzaksa, kullanılacak olan kanban çeşitleri; Tedarikçi, elektronik, kısmi çift kart, çift kutu olabilir. Mesafeler yakın ise, seçilebilecek kanban türleri; tek kanban, oluk sistemi, kanban karesi, sıralı çekme sistemidir. kanban türü seçiminden sonra, kartların hangi malzemeden yapılacağı, şeklinin nasıl olacağı, üzerindeki bilgilerin içeriğinin belirlenmesi kanban tasarımının konusu içerisinde (Şekil 14; FR 22535 – DP 22535).

Kanban sisteminin seçilmesinden sonra, kanbanın dolaşımı için gerekli kurallar tanımlanmalıdır. Kanban dolaşım sistemi için kanban posta kutuları, kanbanın akışını sağlayan örümcek insanlar ve dolaşım sıklıkları, görsel kanban panoları gibi konular yer alır (Şekil 14; FR 22536 – DP 22536).

Yukarıda ayrıntılı olarak betimlenen bu ayrıştırılmaya ait fonksiyonel ihtiyaçlar aşağıda toplu olarak gösterilmiştir:

FR 22531 = Planlanamayan (yüksek kanban talebi değişkenliği) durumlara yönelik tedbir al

FR 22532 = Yüksek dışsal hazırlık sürelerine karşı tedbir al

FR 22533 = Yüksek ürün talebi değişkenliği ve yüksek ürün çeşitliliğine göre tedbir al

FR 22534 = Düşük ürün talebi değişkenliği ve yüksek ürün çeşitliliğine göre tedbir al

FR 22535 = Düşük ürün talebi değişkenliği ve düşük ürün çeşitliliğine göre tedbir al

FR 22536 = Doğru bilgi akışı şeklini sağla

Yukarıdaki fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri aşağıda sıralanmıştır:

DP 22531 = Acil ihtiyaç kanbanı ve(ya) Ekspres kanban tasarımı

DP 22532 = Sinyal veya üçgen kanban tasarımı

DP 22533 = Ürüne tahsisli olmayan CONWIP tasarımı

DP 22534 = Ürüne tahsisli CONWIP sistemi tasarımı

DP 22535 = Klasik kanban türleri tasarımı

DP 22536 = Kanban dolaşım sistematiği

Yukarıda açıklanan fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri arasındaki ilişki aşağıdaki matriste gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR22531 \\ FR22532 \\ FR22533 \\ FR22534 \\ FR22535 \\ FR22536 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & & & \\ & X & & & & \\ & & X & X & & \\ & & & X & X & \\ & & & & X & \\ X & X & X & X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP22531 \\ DP22532 \\ DP22533 \\ DP22534 \\ DP22535 \\ DP22536 \end{bmatrix} \quad [13]$$

Klasik kanban türleri tasarımı konusunda sözü edilen açıklamalar aşağıdaki fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri ile özetlenebilir:

FR 225351 = Firma dışı veya uzak mesafeler için tasarım yap

FR 225351 = Yakın mesafeler için tasarım yap

DP 225351 = Tedarikçi kanbanı, elektronik kanban, kısmi çift kart, çift kutu seçimi ve tasarımı

DP 225352 = Tek kanban, oluk, kanban karesi, sıralı çekme seçimi ve tasarımı

Bu tasarıma karşılık gelen tasarım matrisi aşağıdaki gibidir:

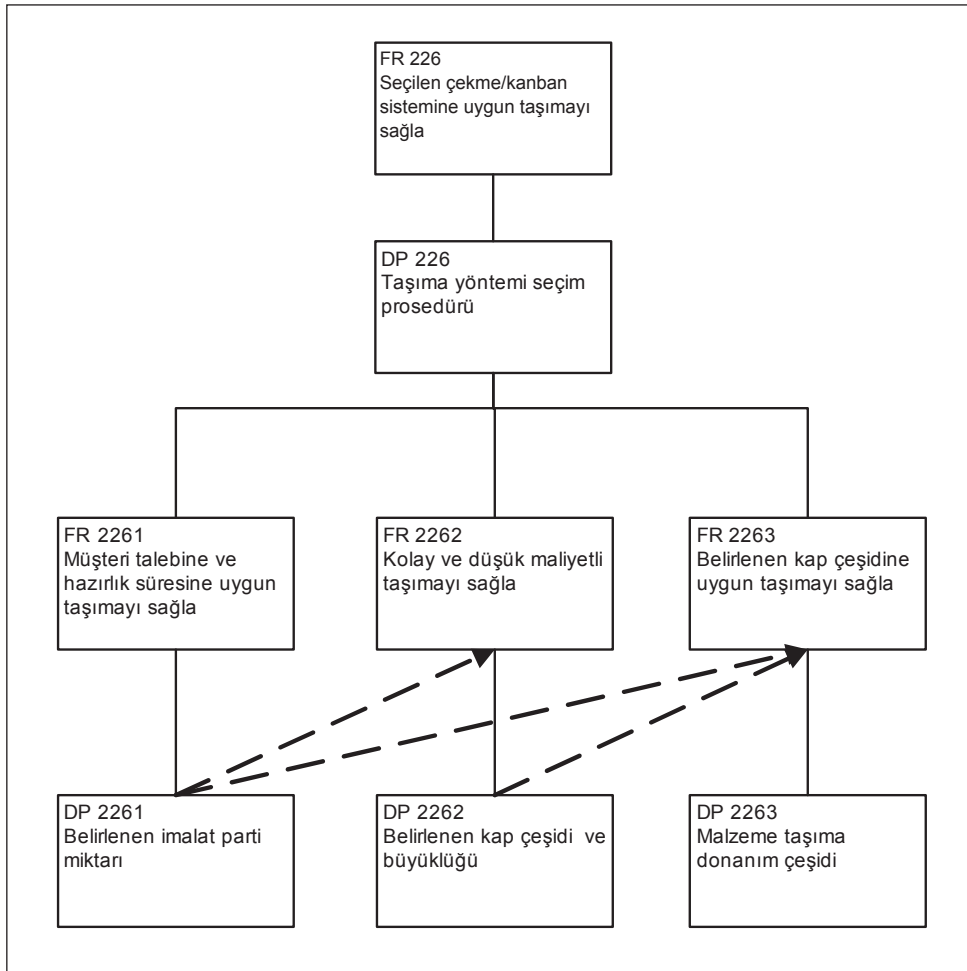
$$\begin{bmatrix} FR225351 \\ FR225352 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP225351 \\ DP225352 \end{bmatrix} \quad [14]$$

Matrislerden görüldüğü gibi tasarım türü, ayrılmış tasarım çeşidine girmektedir.

3.2.2.3. Seçilen kanban türüne uygun taşımayı sağla dalı

Önceki adımlarda üretim sistemine uygun çekme türünün belirlenmesinin ardından sıra, seçilen çekme sistemini destekleyecek diğer konuların uygulanmasına gelmiştir. Bunlardan ilki, seçilen çekme türüne uygun olarak taşımayı sağlamak üzere, taşıma yönteminin seçimidir. Bu süreç kendi içinde bir prosedürdür ve ilk adımı müşteri talebine ve hazırlık sürelerine uygun taşımanın sağlanmasıdır. Bu da imalat parti büyüklüğünün belirlenmesiyle mümkün olabilir. İmalat parti büyüklüğü, üretilecek ürünlerin kaçarlık sayılarla

üretime girmesi gerektiğinin belirlenmesidir. Ancak, imalat partileri taşıma parti büyüklüklerinden çeşitli nedenlerle farklı olabilirler. Bu nokta, çalışmadaki uygulamada örnek olarak ayrıca anlatılmaktadır. İmalat parti büyüklüğünün saptanmasından sonra, kolay ve düşük maliyetli taşımayı sağlamak için kap büyüklüğü ve kap çeşidinin belirlenmesi gerekir. Burada kap çeşidinin belirlenmesi taşımanın kolaylıkla yapılabilmesine yardımcı olurken, kabın büyüklüğü taşımanın düşük maliyette yürütülmesini sağlamaktadır. Ayrıca, kap büyüklüğünün belirlenmesiyle birlikte aslında, taşıma parti büyüklükleri de belirlenmiş olmaktadır. Kap çeşidi ise, kanbanla uygunluk açısından son derece önemlidir. Çeşidi ve büyüklüğü belirlenen bu kaplar, imalat süreçleri veya hücreler arası taşımada



Şekil 15: FR 226 - DP 226'nın ayrıştırılması

malzeme akışını sağlarlar. Hücre içi taşıma ise, farklı şekillerde yapılabilir. Örneğin hücrelerde tek parça akışı uygulanabilir. Taşıma yöntemi seçim prosedüründe son aşama ise, belirlenen kap çeşidine uygun olarak taşımayı sağlamak üzere hangi malzeme taşıma donanım çeşidinin kullanılacağına belirlenmesidir. Sistemin özelliğine göre, konveyör, forklift, transpalet, kısa tren gibi birçok taşıma seçeneği içerisinde uygun olan bir yöntem seçilmelidir (Şekil 15; FR 2261 - 2263 – DP 2261 - 2263).

Sözü edilen fonksiyonel ihtiyaçlar aşağıda toplu olarak gösterilmektedir:

FR 2261 = Müşteri talebine ve hazırlık süresine uygun taşımayı sağla

FR 2262 = Kolay ve düşük maliyetli taşımayı sağla

FR 2263 = Belirlenen kap çeşidine uygun taşımayı sağla

Aşağıdaki tasarım parametreleri ise, listelenen fonksiyonel ihtiyaçları sağlamak üzere saptanmıştır:

DP 2261 = Belirlenen imalat parti miktarı

DP 2262 = Belirlenen kap çeşidi ve büyüklüğü

DP 2263 = Malzeme taşıma donanım çeşidi

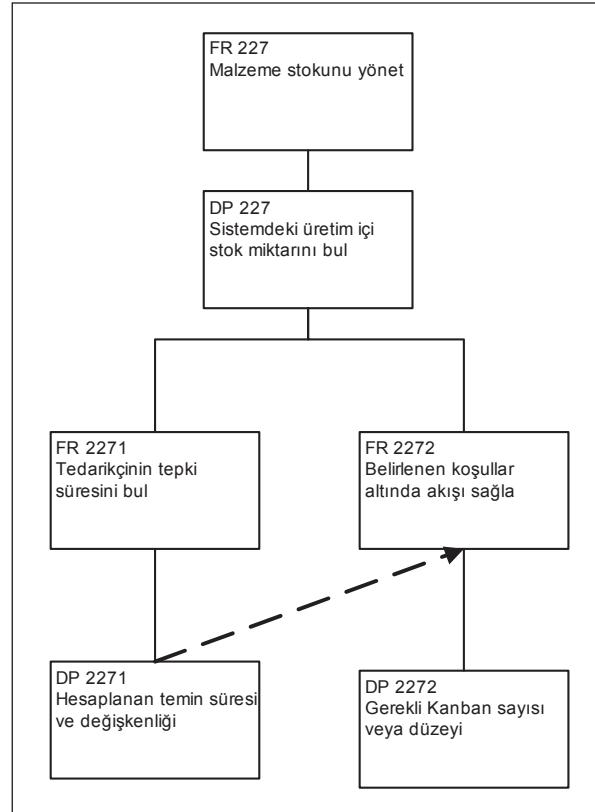
Elde edilen ayrılmış tasarım matrisi aşağıda gösterilmiştir:

$$\begin{bmatrix} FR2261 \\ FR2262 \\ FR2263 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP2261 \\ DP2262 \\ DP2263 \end{bmatrix} \quad [15]$$

3.2.2.4. Malzeme stokunu yönet dala

Bir çekme sisteminin düşük maliyette ve etkin çalışması için malzeme stokunun yönetilmesi gerekmektedir. Bu da, sistemdeki üretim içi stok miktarının belirlenmesiyle mümkün olabilir. Stok miktarı için, öncelikle temin süresi (kanban çevrim süresi) ve değişkenliğinin belirlenmesi gerekir. Böylece tedarikçinin, müşteriye tepki verme süresi saptanır. Daha önceden piyasa analizi ile belirlenen müşteri talebi ve değişkenliği de göz önüne alınarak gerekli kanban sayısı hesaplanır. Belirlenen kanban sayısı, gerçekte

odaklanılan bölgede dolaşacak üretim içi stok miktarını ortaya koyacaktır. kanban sayısı ile belirtilmek istenen yalnızca kart sayısı değil, çekme türüne göre yeniden sipariş noktası düzeyi veya sinyal/üçgen kanban için sinyal düzeyi olabilir. (Şekil 16; FR 2271 - 2272 – DP 2271 - 2272).



Şekil 16: FR 227 - DP 227'nin ayrıştırılması

Ayrıştırımadaki fonksiyonel ihtiyaçlar toplu olarak aşağıdaki şekilde toplanabilir:

FR 2271 = Tedarikçinin tepki süresini bul

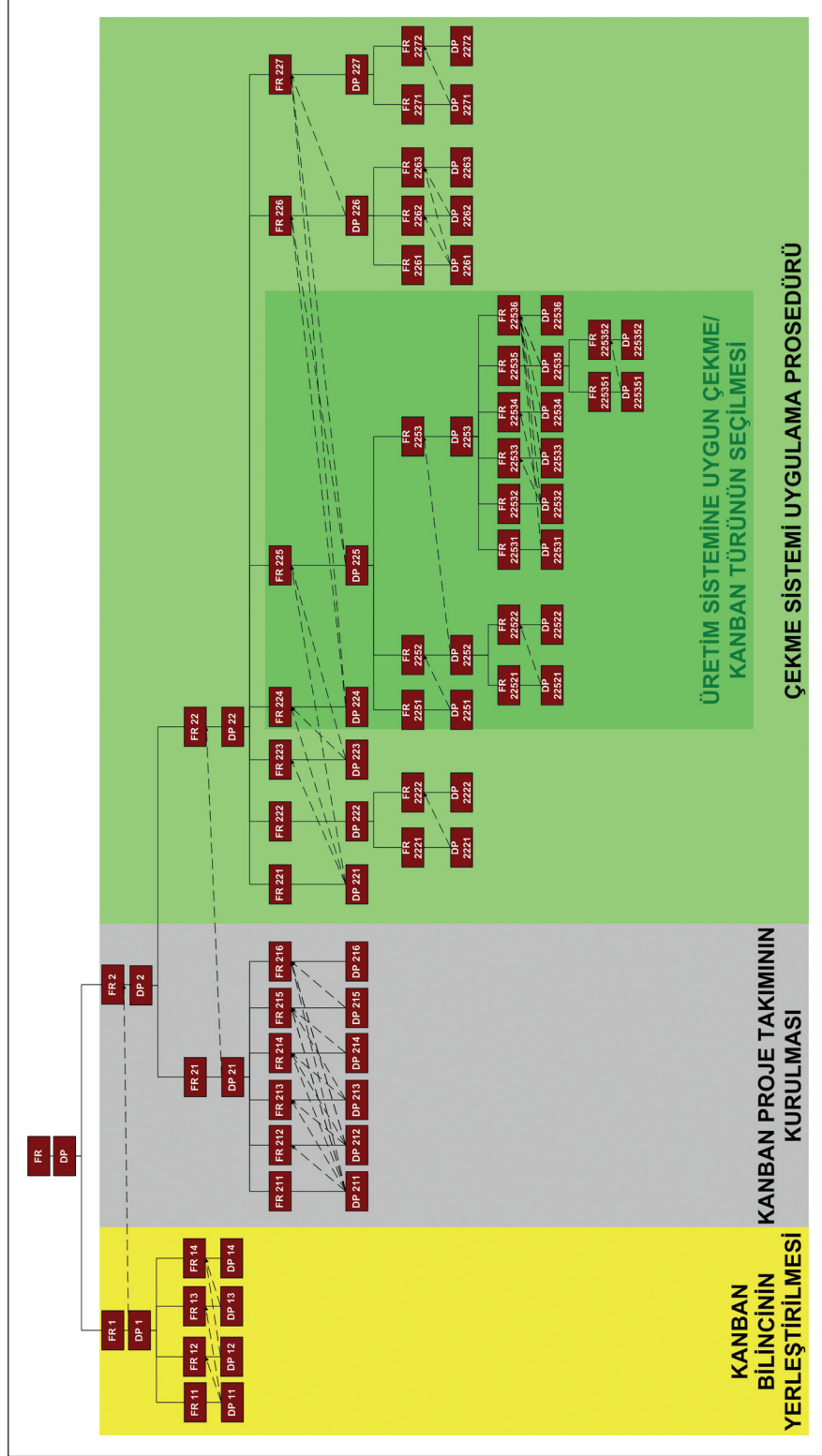
FR 2272 = Belirlenen koşullar altında akışı sağla

Yukarıdaki fonksiyonel ihtiyaçları sağlamak üzere aşağıdaki tasarım parametreleri seçilmiştir:

DP 2271 = Hesaplanan temin süresi ve değişkenliği

DP 2272 = Gerekli kanban sayısı veya düzeyi

Aşağıda tasarım matrisi malzeme stokunu yönet dalındaki ayrıştırmayı göstermektedir:



Şekil 17: Elde edilen bütünsel yol haritası

$$\begin{bmatrix} FR2271 \\ FR2272 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP2271 \\ DP2272 \end{bmatrix} \quad [16]$$

Elde edilen tasarım, bağımsızlık aksiyomunu sağlamaktadır.

Elde edilen tasarımın bütünsel görünümü ise, Şekil 17'de özetlenmiştir.

4. UYGULAMA ÖRNEKLERİ

4.1. Çekme/kanban Yol Haritasının Bir Cam Kalıbı Üretim Sisteminde Uygulaması

İlk uygulama örneği olarak verilecek olan işletme bir cam kalıbı üreticisidir. İşletme mevcut geleneksel itme yaklaşımı yerine müşterilerine daha iyi hizmet verebileceği yeni bir üretim sistemi arayışına girmiştir. Üretim sisteminin iç özellikleri ve rekabet halinde olduğu piyasa koşulları dikkate alınarak müşteri ihtiyaçlarına istenen şekilde yanıt verebilmek üzere, sistemde itme sistemi yerine çekme sistemine geçiş önerilmiş ve uygulama adım adım hayata geçirilmiştir.

4.1.1. Çekme Bilincinin Yerleştirilmesi (FR 1 – DP 1)

İlk olarak, yol haritası hiyerarşisinde de ilk sırada bulunan çekme üretim sistemi için temel olacak bir eğitim gerçekleştirilmiştir. Bu eğitimde, önce çalışanlar grup haline getirilmiş, eğitimlerin içeriği belirlenmiş ve uygulanmıştır. Çekme sisteminin ne olduğu, mantığının neleri gerektirdiği, iç ve dış müşteri kavramlarının önemi gibi konularda her kademedeki çalışanlar bilinçlendirilmiş ve gelecek çalışmalar için bir temel sağlanmıştır. Bu süreç, çalışmanın başarısı için hayati öneme sahiptir ve çekme sisteminin üretim sahasından yönetim kademesine kadar tüm çalışanlar arasında benimsenmesi için kabul görmesini sağlamıştır.

4.1.2. Etkin bilgi akışının sağlanması (FR 2 – DP 2)

Üretim sisteminin yapısına uygun çekme türünü ve uygulama yöntemlerini seçmeye başlamadan önce, çalışanlar bir araya getirilerek bir kanban proje takımı oluşturulmuştur. Bu takımla birlikte, projeyi

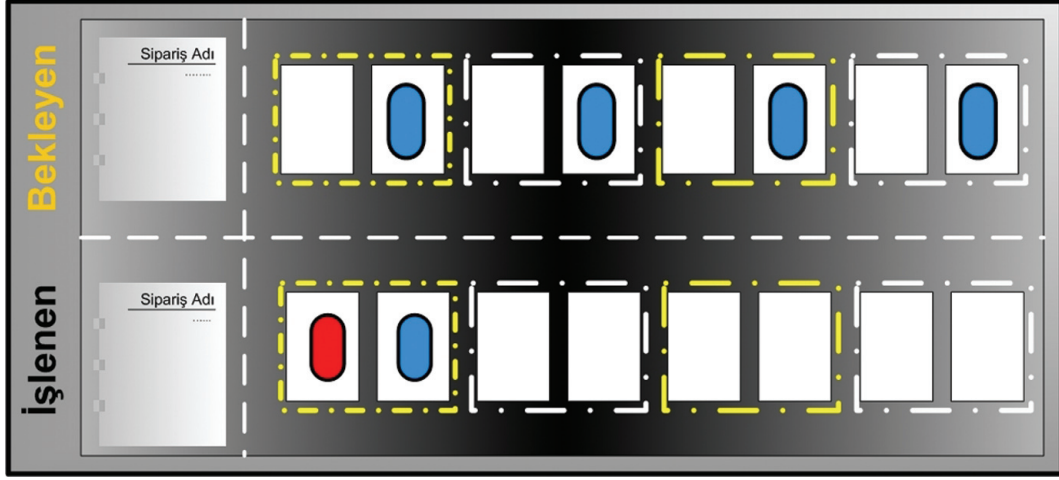
yönlendirecek, yürütecek ve yayacak bir çekirdek ekip oluşturulmuştur. Proje takımının çalışmaları ile birlikte, diğer çalışanlar proje takımı tarafından iş başında eğitilerek kanban çalışmaları uygulamaya alınmaya başlanmıştır (FR 21 – DP 21).

Proje takımının oluşturulması ve çalışmaya başlamasından sonra, çekme sistemine geçiş için altyapı tamamlanmış olmaktadır. Bu aşamadan sonra, çekme sisteminin seçimi ve uygulama prosedürü belirlenmeye başlanmıştır (FR 22 – DP 22).

Bunun için öncelikle üretim sisteminin içinde bulunduğu piyasa koşulları ve müşteri davranışları analiz edilmiştir. Seçilen pilot ürün ailesi için yapılan piyasa analizi sonucu ürün çeşitliliğinin ve ürün talebi değişkenliğinin yüksek düzeyde olduğu saptanmıştır. Ayrıca incelenen ürünler, mühendislik tipi ürünler olup tekrarlı olmayan bir tarzda üretilmektedir. Tüm bunlar, sistemin geleneksel çekme türlerinden farklı bir üretim kontrol sistemine ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bir karma çekme sistemi türü olan POLCA sistemi bu nedenle seçilmiştir. Bu sistemin en önemli özelliği takt süresinin belirlenememesi nedeniyle takta göre üretim yapılamaması ve yüksek ürün çeşitliliği olmasıyla da sistemin süpermarket kullanımına uygun olmayışıdır (FR 224 – DP 224).

POLCA kartı tasarımı biraz daha ayrıntı ile kısaca şöyle özetlenebilir. Kartlar iki farklı hücre arasında çalışacak şekilde kullanılmış ve kartın yapısı ile üzerindeki bilgiler üretim sisteminin özelliklerine göre hazırlanmıştır. Ayrıca, kartlar için bir pano hazırlanmıştır (Şekil 18) ve panoda işlem gören parçalar ve bekleyen parçalar günlük olarak hazırlanan bir sipariş listesiyle (Şekil 19) birleştirilerek görsel kontrol sağlanmıştır.

POLCA sisteminin seçilmesinden sonra sıra, bu sisteme uygun malzeme taşıma yapılmasına gelmiştir. 24'lü imalat parti büyüklükleri düşünülmüş ve hücreler arası taşıma parti büyüklüğü olarak da 6'lı parti olarak alınmıştır. Müşteri cam kalıbı taleplerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi neticesinde talebin %75'inin 24'lü siparişler şeklinde geldiği saptandığından imalat parti büyüklüğü 24 seçilmiştir. İmalat süreci içinde dolgu kaynağı öncesi fırınlama işlemi en çok 6'lık partiler halinde gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle hücreler arası taşıma parti miktarı 6 olarak seçilmiştir.



Şekil 18: POLCA Panosu

SİPARİŞ LİSTESİ											
TARİH				PARTİ NO							
	İŞİN ADI	ÜRETİLECEK MİKTAR	PARTİ SAYISI	1	2	3	4	5	6	7	8
		28	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
		15	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					
		40	7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		35	6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		12	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Şekil 19: POLCA sisteminde önerilen sipariş listesi

tir. İmalat hücreleri içerisinde ise taşıma parti miktarı birdir. Burada, sistemin ihtiyaçlarına göre imalat parti büyüklüğü ile taşıma parti büyüklüğünün farklı değerler aldığına dikkat edilmesinde fayda vardır (FR 226 – DP 226).

Daha sonra malzeme stokunu yönetmek üzere, temin sürelerinin ve değişkenliklerinin hesabı yapılmıştır. Ardından talep miktarı ve değişkenliği, piyasa analizi sonucu önceden bilindiğinden bu iki ölçüte göre, kanban sayısı (POLCA kartı sayısı) hesaplanmıştır (FR 227 – DP 227).

POLCA kartı sayısı hesabı için aşağıdaki formül kullanılabilir (Suri, 1998):

A/B Hücreleri arasındaki POLCA kartı sayısı =

$$\left[\frac{[LT(A) + LT(B)] * NUM(A, B) * \alpha}{D} \right]^+ \quad (17)$$

LT (A) = A hücresinin temin süresi

LT (B) = B hücresinin temin süresi

NUM (A, B) = Planlama ufkunda A hücresinden

B hücresine giden iş miktarı

D = Planlama ufkunun iş günü sayısı

α = Güvenlik katsayısı

POLCA ile ilgili yukarıda bahsedilen parametreler hesaplanırken, çoklukla bilgisayar benzetimi tekniklerinden yararlanılmış ve farklı senaryolar altında sistemin davranışı test edilmiştir. Sonuç olarak görülmüştür ki, önerilen sistem temin süreleri, ortalama üretim için stok miktarları açısından en iyi sonuçları vermektedir.

POLCA sistemi ile ilgili uygulama çalışmaları, bu makalenin yapıldığı dönemde de devam etmektedir.

4.2. Çekme/kanban Yol Haritasının Bir Otomobil Jantı Üretim Sisteminde Uygulaması

Aksiyomlarla tasarım ilkeleri oluşturulan Çekme/kanban yol haritası otomobil jantı üreten bir işletmeye uygulanmıştır. Bu projede, yol haritasında bulunan tüm aşamalar belirlenen sıra ile gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Çekme Bilincinin Yerleştirilmesi (FR 1 – DP 1)

Başlangıç noktası olarak, çalışanlar çekme bilincinin oluşturulması ve yerleştirilmesi için eğitilmelidir. Bu aşamada çekme kavramları alt kademe çalışanlarına olduğu kadar üst kademe yöneticilerine de aktarılmıştır.

4.2.2. Etkin bilgi akışının sağlanması (FR 2 – DP 2)

Uygulamanın başlaması için ilk önemli adım pilot ürün ailesinin seçimi olmuştur. Toplam gelirden aldığı büyük pay nedeniyle Tofaş jant kapağı ürün ailesi projenin pilot uygulama noktası seçilmiştir. Jant kapağı üretimi iki ana süreçten oluşmaktadır: enjeksiyon ve boyama. Çekme bilincinin yerleştirilmesinden sonra kanban takımı kurulmuş ve ardından süreçler incelenmeye ve proje uygulanmaya başlanmıştır.

Uygun çekme sisteminin seçilmesinden önce bazı temel çalışmalar yapılmıştır. İlk iş olarak, değer akışı haritalandırma yöntemiyle bir mevcut durum haritası çıkarılmıştır. (FR 221 – DP 221). Yapılan inceleme sonunda, enjeksiyon ve boyama arasında kapasite dengeleme çalışmasının gerekli olduğu görülmüştür. Daha sonra ise, ürün talebinin ve çeşitliliğinin belirlenmesine yönelik piyasa analizi yapılmıştır (FR 223 – DP 223).

Piyasa analizi sonucunda, üretilen ürünlerin tekrarlı üretime uygun olduğu belirlendiğinden takt süresine göre bir çekme sistemi kurulması için çalışmalara başlanmıştır. Sistemde tempoyu sağlayan süreç olarak son işlem noktası olan boyama süreci seçilmiştir. Böylece tüm sistem çekme kontrolü altına alınmıştır. Hammadde ve mamul depolarda birikmeleri önlemek ve akışı sağlamak için, her iki nokta da süpermarket sistemi kurulmuştur. Daha sonra, uygun çekme sistemi seçilmesine geçilmiştir.

Jant kapağı üretimi için üretim kanbanı ve sinyal kanbanın beraber kullanılmasına karar verilmiştir. Sinyal kanbanın kullanılmasının nedeni, farklı jant kapaklarına geçişteki enjeksiyon preslerdeki uzun dışsal hazırlık süreleridir. Ayrıca enjeksiyon ile boyama süreçleri arasında yüksek jant kapağı çeşitliliği nedeniyle süpermarket kurulmasının üretim içi stokları arttıracığı düşünüldüğünden bu iki süreç arasında, itme sistemi kullanılmasına karar verilmiştir. Böylece sistemde ürüne tahsisli CONWIP tercihi yapılmıştır. Ek olarak, sisteme girecek jant kapağı hammaddeleri için de tedarikçi kanbanı sistemi tasarlanmıştır (FR 225 – DP 225).

Daha sonraki aşamada, enjeksiyon ve boyama işlemi arasındaki akışı etkin bir şekilde sağlamak üzere bir malzeme taşıma sistemi olarak konveyör seçilmiştir. Böylece seçilen CONWIP' e uygun olacak bir taşıma sistemi tasarımı yapılmış olmaktadır. (FR 226 – DP 226).

Son olarak sistemdeki malzeme stokunu yönetmek amacıyla kanban sayısının ve sinyal kanbanları düzeyinin hesaplamaları yapılmıştır. (FR 227 – DP 227). Steudel ve Desruelle (1992), bu hesaplamaları ayrıntılı şekilde göstermişlerdir.

Ayrıntıları ile aşamaları anlatılan kanban sistemi, işletmede uygulamaya alınmıştır. Ortalama üç haftalık talebe yetecek stoklarla çalışan işletme, kanban sistemi uygulaması sonucunda, ortalama stok düzeyini bir haftaya düşürmüştür. Böylece gerek teslim sözlerini yerine getirmede ve gerekse işletme maliyetlerini düşürmede önemli bir aşama kaydedilmiştir.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Üretim sistemlerinin tasarımı rekabetin hızla geliştiği günümüzde önemli bir konu haline gelmiştir. Bu noktada piyasa talebine daha etkili yanıt verebilmek ve rekabetçi pazarda tutunabilmeyi sağlayabilmek için çekme üretim sisteminin kurulması ve hayata geçirilmesi çok etkili bir seçenektir. Ancak çekme/kanban sistemi, mevcut üretim sistemi koşullarına ve parametrelerine uygun olarak tasarlanmalıdır. Aksi takdirde, Mudaları ortadan kaldırmak ve müşteriye daha yakın bir üretim sistemi kurmak üzere tasarlanan çekme/kanban sisteminin kendisinin işletilmesi Muda haline gelebilir.

Çalışma sonucunda çekme/kanban sistemlerinin tasarımında bütünsel bir yaklaşım oluşturulmuştur. Elde edilen tasarım, aksiyomlarla tasarım ilkelerinden bağımsızlık aksiyomunu sağlamaktadır. Bu yol haritası, bir üretim sisteminin itmeden çekmeye geçişi sırasında yapılması gereken çalışmaları bir bütünlük içerisinde ortaya koymaktadır. Çalışma çekme üretim sistemlerinin tasarımını literatürde daha önce ele alınmayan bir yönüyle, bütünsel tasarım açısından incelemiştir.

Ortaya konan yol haritası, gerçek üretim sistemlerinde sınanmış, elde edilen değerlendirmeler çalışma kapsamında sunulmuştur. Uygulama neticesinde oluşturulan çekme sistemi tasarımı üretim sisteminin istenen şekilde değiştirilmesine yönelik ihtiyaçları karşılayacak düzeyde olduğu görülmüştür. Ayrıca elde edilen tasarım, gelecekte yapılacak uygulamalarla genişletilecek ve geliştirilecektir. Örneğin, CONWIP ve POLCA sistemlerinin AD ilkeleri yardımıyla ayrıntılı olarak tasarımının yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

1. BAXTER, J.E., MCKAY, A., AGOURIDAS, V. ve PENNINGTON, A., 2002, Supply Chain Design: An Application Of Axiomatic Design, Proceeding of Second International Conference on Axiomatic Design, June 10 – 11, 2002, Cambridge.
2. BONVIK, A.M., COUCH, C.E. ve GERSHWIN S.B., 1997, A Comparison of Production-Line Control Mechanisms, International Journal of Production Research, 35, 3, 789-804.
3. COCHRAN, D.S., EVERSHEIM, W., KUBIN, G. ve SESTERHENN, M., 2000, The Application of Axiomatic Design and Lean Management Principles in the Scope of Production System Segmentation, 38, 6, 1377-1396.
4. COCHRAN, D.S. ve REYNAL, V.A., 1996, Axiomatic Design of Manufacturing Systems, The Lean Aircraft Initiative Report Series, #RP96-05-14.
5. COTOIA, M. ve JOHNSON S., 2001, Applying the Axiomatic Approach to Business Process Redesign, Business Process Management Journal, 7, 4, 304 – 322.
6. DURMUSOGLU, M.B. ve KULAK, O., 2004, Aksiyomlarla Tasarım İlkelerine Göre Takım Çalışması Esaslı Ofis Hücrelerinin Planlanması ve Uygulanması, Endüstri Mühendisliği Dergisi, 15, 1, 16-34.
7. ERHUN F., AKTURK M.S. ve TURKCAN, A., 2003, Interaction of Design and Operational Parameters in Periodic Review kanban Systems, International Journal of Production Research, 42, 14, 3315-3338.
8. GAURY, E.G.A., PIERREVAL, H. ve KLEIJNEN, P.C., 2000, An evolutionary approach to select a pull system among kanban, CONWIP and Hybrid, Journal of Intelligent Manufacturing, 11, 157-167.
9. GERAGHTY, J. ve HEAVEY C., 2004, A Comparison of Hybrid Push/Pull and CONWIP/Pull Production Inventory Control Policies, International Journal of Production Economics, 91, 75-90.
10. HEMAMALINI, B. ve RAJENDRAN, C., 2000, Determination of the number of containers, production Kanbans and withdrawal Kanbans, and scheduling in kanban flowshops-Part 2, International Journal of Production Research, 38, 11, 2549-2572.
11. HOUSHMAND, M. ve JAMSHIDNEZHAD, B., 2002, Conceptual Design of Lean Production Systems Through an Axiomatic Approach, Proceeding of Second International Conference on Axiomatic Design, June 10 – 11, 2002, Cambridge.
12. HUANG, C. ve KUSIAK, A., 1996, Overview of kanban Systems, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 9, 3, 169 – 189
13. KIM, Y., 2004, A Decomposition Based Approach To Integrate Product Design And Manufacturing System Design, Proceeding of Third International Conference on Axiomatic Design, June 11 – 24, 2004, Seoul.
14. KRISHNAMURTY, A., SURI, R. ve VERNON M., 2004, Re-Examining the Performance of MRP and kanban Material Control Strategies for Multi-Product Flexible Manufacturing Systems, The International Journal of Flexible Manufacturing System, 16, 123-150.
15. KULAK, O., DURMUSOGLU, B. ve TUFEKCI, I., 2005, A complete cellular manufacturing system design methodology based on axiomatic design principles, Computers & Industrial Engineering, Vol. 48, No. 4, 765–787.
16. LINDHOLM, D., TATE, D. VE HARUTUNIAN, V., 1999, Consequences of Design Decisions in Axiomatic Design. Society for Design and Process Science, Vol. 3 No. 4, 1-12.
17. MONDEN, Y., 1993, Toyota Production System: an integrated approach to just-in-time, Industrial Engineering and Management Press, 2nd Edition.
18. MUCKSTADT, J.A. ve TAYUR S.R., 1995, A Comparison of Alternative kanban Control Mechanisms. II. Experimental Results, IEE Transactions, 27, 2, 151-161.
19. PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM, 2002, kanban for the Shopfloor, Productivity Press, Portland, Oregon.
20. SHINGO, S., 1985, A Revolution in Manufacturing: the SMED System, Productivity Press.
21. SPEARMAN, M L; WOODRUFF, D L ve HOPP, W J, 1990, CONWIP: A Pull Alternative to kanban, International Journal of Production Research, 28, 5, 879-894.
22. STEUDEL, H.J. ve DESRUELLE, P, 1992, Manufacturing in the Nineties: How to Become a Mean, Lean, World-Class Competitor, Van Nostrand Reinhold: New York.
23. SUH, N.P., 1990, The Principles of Design. Oxford University Press , New York.
24. SURI R., 1998, Quick Response Manufacturing: A Company-wide Approach to Reducing Lead Times, Productivity Press: Portland.
25. TAPPING, D., LUYSTER, T. ve SHUKER, T., 2002, Value Stream Management: Eight Steps to Planning, Mapping, and Sustaining Lean Improvement, Productivity Press, New York.