

Hücreyel üretim sistemleri tasarımı için aksiyomlarla tasarım prensiplerine dayalı bütünsel bir yöntem

Osman KULAK*, **M. Bülent DURMUŞOĞLU**

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

Özet

Bu makale, fonksiyonel olarak yerleştirilmiş üretim sistemini hücrelerden oluşan üretim sistemine dönüştürmek isteyen tasarımcılar için aksiyomlarla tasarım (AD) prensiplerine göre hazırlanmış bütünsel bir yöntemi sunmaktadır. Bağımsızlık aksiyomuna göre geliştirilen bu yöntem, hücreyel üretim sistemi dönüşüm sürecindeki tüm adımları sistematik bir biçimde sağlar. Ayrıca belirlenen performans ölçütlerine göre hücreyel üretim sisteminin değerlendirilmesini ve geliştirilmesini sağlayan geri besleme sistemini de içermektedir. Yöntem alüminyum esaslı merdiven, rampa ve köprü ürünleri üreten bir firmada uygulamaya alınmıştır. Uygulama sonucunda elde edilen gelişmeler yine çalışma kapsamında gösterilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Aksiyomlarla tasarım, hücreyel üretim, uygulama rehberi.*

A complete cellular manufacturing system design methodology based on axiomatic design principles

Abstract

Worldwide manufacturing companies should pay attention to the design of the manufacturing systems as well as the design of the products. If the manufacturing systems are not designed properly at the beginning, the target performance can not be achieved in spite of the effort during the planning and controlling. The condition of rivalry nowadays forces that an effective manufacturing system should be formed by cells. When the issues on the design of the cellular manufacturing systems are searched, it is seen that there is not any scientific guiding work about the whole design of the cellular manufacturing systems and their relations in themselves. This paper provides a framework and a road map for people who are ready to transform their traditional production system from process orientation to cellular orientation, based on Axiomatic Design (AD) principles. This guide, which are developed, based on the Independence Axiom, provide necessary steps in transforming an existing process oriented system into a cellular manufacturing systems. A feedback mechanism for continuous improvement is also suggested for evaluating and improving the cellular design against pre-selected performance criteria. A complete implementation of the proposed methodology at a local manufacturing company and resulting performance improvements are also provided.

Keywords: *Axiomatic design, cellular manufacturing, implementation guide.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Osman KULAK. okulak@itu.edu.tr, Tel: (212) 293 13 00 dahili: 2746.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İşletme Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Hücreyel Üretim Sistemleri Tasarımı için Aksiyomlarla Tasarım Prensiplerine Dayalı Bütünsel Bir Yöntem" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 11.06.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 14.07.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.05.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Günümüzde değişen müşteri istekleri ile birlikte yalın düşüncenin temellerinden birisi olan hücresele üretim sistemlerinin önemi artmıştır. Bu nedenle, son yıllarda hücresele üretim sistemlerinin tasarlanması ve geliştirilmesi için bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar, makine-parça ailelerinin düzenlenmesi (Hyer ve Wemmerlöv, 2002), gruplama etkinliğinin değerlendirilmesi (Sarher ve Mondal, 1999), üretim sistemi çizelgelemesi (Wemmerlöv, 1992), hücre içinde makinelerin yerleştirilmesi (Aneke ve Carrie, 1986) ve hücrelerde kapasite planlama (Sule, 1991) ile ilgili alanlardaki problemleri çözmek için geliştirilmiştir. Hatta bunlar arasında makine-parça ailelerinin oluşturulması için görsel analizler (Burbidge, 1978), kodlama ve sınıflandırma yöntemleri (Hyer ve Wemmerlöv, 1987), kümelenme algoritmaları (Sing ve Rajamani, 1996), matematiksel yöntemler (Sofianopoulou, 1999) ve yapay zeka yaklaşımları (Venugopal ve Narendran, 1993) ile ilgili olarak da bir çok çalışma mevcuttur. Geliştirilen bu çeşit bölgesel çözümler hücresele üretim sistemleri için kısmi gelişmeler sağlamaktadır. Bu çalışmaların aksine tüm bu yöntemleri kapsayan ve kısmi gelişmeleri bütünsel gelişme haline dönüştüren entegre hücresele üretim tasarım yöntemi oldukça azdır. Bu kapsamda yapılan bir çalışma Silveira (1999) tarafından sunulmuştur. Geliştirdiği yöntemle hücresele üretim ile ilgili düşünceleri, yöntemleri ve önerileri tek bir mantık süreci içinde birleştirmeyi amaçlamıştır. Ancak, geliştirilen yöntem geçmiş tecrübelerle bağlı bir çalışma olup, tasarım geliştirme süreci zor olan bir yöntemdir.

Son yıllarda ürünleri, sistemleri, organizasyonları ve yazılımları AD prensiplerine göre tasarlayan bir çok çalışma yapılmıştır. Aksiyomlarla tasarım teorisi ve prensipleri ilk defa Suh (1990) tarafından oluşturulmuştur. Suh ve diğerleri (1998), müşteri istekleri doğrultusunda ideal bir üretim sistemi tasarlamak için, yalın prensipleri içeren bir yöntemi AD yaklaşımı kullanarak geliştirmiştir. Babic (1999), esnek üretim sistemlerinin tasarımında Aksiyomlarla tasarım yöntemini ve yine esnek üretim sistemlerinin tasarımı için geliştirilen bir zeki sistemi (FLEXY) içeren bir çalışma

yapmıştır. Cochran ve diğerleri (2000a), etkin bir üretim sistemi tasarımı elde etmek için, üretim sistemini küçük, esnek ve merkezi olmayan üretim birimlerine yani üretim kısımlarına dönüştüren bir yöntem geliştirmiştir. Cochran ve diğerleri (2000b), üretim sistemi tasarımı ile performans ölçümü arasındaki sebep/sonuç ilişkilerini sistem tasarımı bakış açısıyla açıklayan bir çalışma yapmıştır. Chen ve diğerleri (2000), üretim hücrelerinin performansını artırmak için simülasyon yöntemini de kullanan bilgi tabanlı bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Karar verme sürecini sağlayan hiyerarşik bir bilgi tabanlı yapıyı oluşturmak için AD yöntemi rehber olarak kullanılmıştır. Bu çalışmalar endüstriyel sorunların çözümünde AD yönteminin uygulanabilirliğini ve katkısını açık bir şekilde göstermektedir.

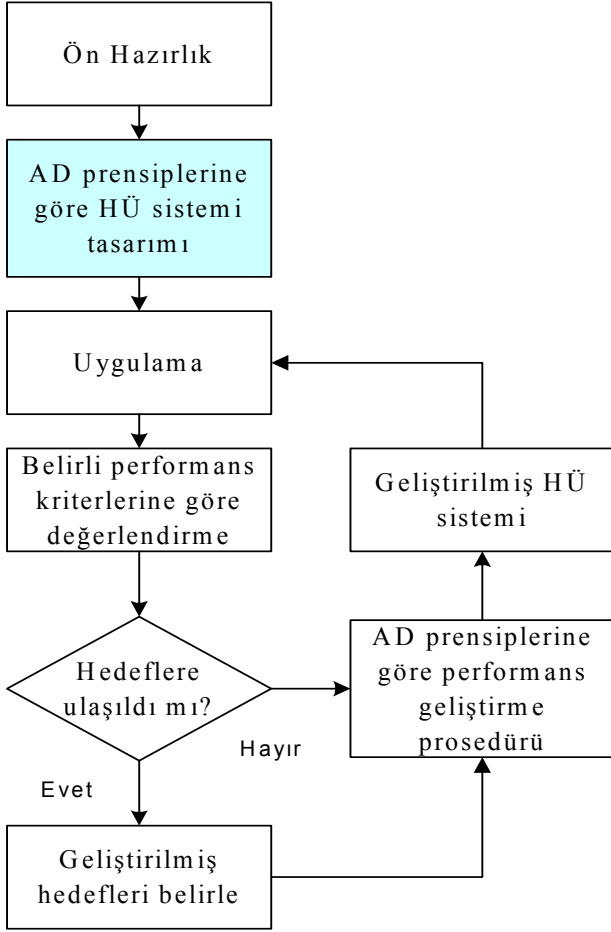
Üretim sistemleri tasarımı ile ilgili yayınlar incelendiğinde, hücresele üretim sisteminin baştan sona bütünlüklü tasarımı konusunda bilimsel temellere dayalı, yol gösterici bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma ile hücresele üretim sistemi tasarımına AD prensipleri uygulanarak bu eksiklik giderilmeye çalışılmıştır.

Önerilen yöntem

Önerilen yöntemde proje takımının seçilmesi, firma çapında katılımın sağlanması, mevcut sistemin analizi ve dönüşüm stratejisine karar verilmesi, hücresele üretim (HÜ) sistemine dönüşümün ilk adımını oluşturur. İlk adıma bağlı olarak, hücresele üretim sistemi tasarımı için Aksiyomlarla tasarım prensiplerine göre hazırlanan ve tasarım takımına sistematik çözümler sunan bir rehber kullanılır (Bkz. Şekil 1'de koyulaştırılmış kısım). Geliştirilen rehber, hücresele üretim sistemi sürecindeki tüm adımları içerir ve süreçteki adımların bağımsızlık aksiyomuna uygun olarak gerçekleştirilmesini sağlar.

Dönüşüm süreci HÜ tasarım adımlarının başarılı bir şekilde tamamlanması ile sonlanır. Bu noktadan itibaren üretim HÜ sisteminde gerçekleştirilir. Üretim sırasında, belirlenen performans ölçütlerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması için gerekli veriler toplanır. Üretim sisteminin hedef performans ölçütlerini başarabilmesi için sistem düzenlemelerini içeren sürekli gelişim prosedürü

oluşturulmuştur. Sürekli gelişim prosedürü, Aksiyomlarla tasarım prensipleri doğrultusunda en uygun sistem düzenlemesi için sistematik çözümler üretir.



Şekil1. Geri beslemeli HÜ sistemi tasarımı

Bu makale, Aksiyomlarla tasarım prensiplerine göre HÜ sistemi için fonksiyonel ihtiyaçlar-tasarım parametreleri (FR-DP) hiyerarşisini göstermektedir.

Bu bölümü takip eden kısımda Aksiyomlarla Tasarım Prensipleri ile ilgili bilgi verilmektedir. Dördüncü kısımda geliştirilen yönteme ait FR-DP hiyerarşisi sunulmaktadır. Beşinci kısımda, alüminyum esaslı ürünler üreten bir üretim sisteminin önerilen yöntem ile HÜ sistemine dönüştürülmesi gösterilmektedir. En son kısımda ise çalışmayla ilgili sonuçlar belirtilmektedir.

Aksiyomlarla tasarım prensipleri

Aksiyomlarla tasarım içinde en önemli kavram tasarım aksiyomlarının varlığıdır. Bu aksiyomlardan ilki Bağımsızlık aksiyomu, ikincisi ise Bilgi aksiyomu olarak bilinir. Bunlar (Suh, 1990);

Aksiyom-1: “Fonksiyonel ihtiyaçlar arasında bağımsızlığı sağla”.

Aksiyom-2: “Bilgi içeriğini en az yap”.

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişki matematiksel olarak aşağıda gösterildiği gibi belirtilmiştir:

$$\{FR\} = |A| \{DP\}$$

Burada, $\{FR\}$, Fonksiyonel ihtiyaçlar vektörü; $\{DP\}$, Tasarım parametreleri vektörü ve $|A|$, tasarımı belirleyen matris olmak üzere; A matrisindeki her a_{ij} , i . FR ile j . DP arasındaki ilişkiyi gösterir.

Göz önünde bulundurulmuş tasarımın türü $|A|$ matrisinin yapısı ile tanımlanır. $|A|$ matrisinin bütün köşegen olmayan elemanlarının sıfır olduğu durum *ayrık* tasarım matrisini sağlar. Gerçek hayatta bu tasarımı sağlamak çok zordur. $|A|$ matrisinin üçgensel olduğu yani köşegen elemanları ve altında kalan tüm elemanların sıfırdan farklı olduğu durum *ayrılmış* tasarım matrisini sağlar. Gerçek hayatta en çok karşılaşılan tasarım durumudur. $|A|$ matrisinin özel bir yapısının olmadığı yani köşegen üzerinde sıfırdan farklı elemanların bulunduğu durum bağlı tasarım matrisini sağlar. Bir tasarımın bağımsızlık aksiyomunu tatmin etmesi için $|A|$ matrisinin ayrık veya ayrılmış tasarım olması gerekir.

Aksiyomlarla tasarım prensipleri yardımı ile HÜ sistemi tasarımı

Bu bölümde, HÜ sistemi tasarımı için belirlenen fonksiyonel ihtiyaçlar-tasarım parametreleri hiyerarşisi ve ilgili tasarım matrisleri birlikte gösterilmektedir.

Adım 1: Fonksiyonel bilgi sahasındaki fonksiyonel ihtiyaçlarının seçilmesi – HÜ sistemi tasarımının ilk adımı, fonksiyonel bilgi sahasında sistemin en üst düzeyindeki fonksiyonel ihtiyaçlarının (FR) tanımlanmasıdır. Bu çalışmada aşağıda

belirtilen fonksiyonel ihtiyaç en üst düzeydeki fonksiyonel ihtiyaç olarak seçilmiştir:

- FR = “Müşteri isteklerini karşılayan ısmarlama seri üretimi sağla”.

Daha fazla ürün çeşitliliği, küçük parti miktarları, yüksek kalite düzeyi, kısa aralıklarla yapılan teslimler ve düşük ürün maliyeti günümüzdeki müşteri ihtiyaçlarını özetlemektedir (Steudel ve Desruelle, 1992). Bu ihtiyaçlar firmaları mevcut klasik üretim sistemlerini daha esnek yapmaları yönünde zorlamaktadır. Bir üretim sisteminin esnekliği, sistemin hızı ve değişen müşteri ihtiyaçlarına cevap verebilme yeteneği ile ölçülebilmektedir.

Adım 2. Fiziksel bilgi sahasında fonksiyonel ihtiyaçların haritalandırılması – Fonksiyonel bilgi sahası ile fiziksel bilgi sahası arasında gerçekleştirilen haritalandırma yardımı ile bir önceki adımda belirlenen fonksiyonel ihtiyaçları karşılayan tasarım parametreleri seçilir. Aşağıda oluşturulan tasarım parametresi yukarıda belirlenen fonksiyonel ihtiyacı karşılaması için seçilmiştir:

- DP= “Hüresel Üretim sistemi tasarımı”

Artan müşteri isteklerini; israfların azaltılması, temin sürelerinin düşürülmesi ve kalite düzeyinin artırılması yaklaşımları ile en etkin şekilde karşılayan üretim sistemi, yalın üretim prensiplerine göre tasarlanan hüresel üretim sistemidir.

Adım 3. Fonksiyonel bilgi sahasında FR'nin ayrıştırılması-Bilgi sahaları arasında zikzak – İlk adımda belirlenen fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen tasarım parametresi, daha ileri düzeyde açıklık getirilmeden uygulanamıyorsa, fonksiyonel sahaya dönülüp ilgili fonksiyonel ihtiyacın daha alt düzeyde fonksiyonel ihtiyaçlar kümesine (FRs) ayrıştırılması, aksiyomlarla tasarım prensipleri tarafından önerilmektedir (Suh, 2001). Aşağıda belirtilen alt seviyedeki fonksiyonel ihtiyaçlar ilk adımda belirtilen fonksiyonel ihtiyacın ayrıştırılması için tanımlanmışlardır:

- FR1 = “Basit malzeme akışı için ürünleri/ parçaları sınıflandır ve grupta.”
- FR2 = “Ürün özelliklerine göre kaynakların yeteneklerini geliştir.”

- FR3 = “İsrafları azaltacak fiziksel yerleşim düzenlemesini sağla.”
- FR4 = “Müşteriden gelen talebe göre üretimi sağla.”

Adım 4. FRx'lerin haritalandırılması ile fiziksel bilgi sahasında FR'leri karşılayan DP'lerin bulunması – En üst seviyede belirlenen fonksiyonel ihtiyacın ayrıştırılması için belirlenen alt seviyedeki fonksiyonel ihtiyaçların her birine karşılık gelen tasarım parametreleri bu adımda belirlenir. Fonksiyonel sahadan fiziksel sahaya geçilerek elde edilen tasarım parametreleri aşağıda belirtilmişlerdir:

- DP1 = “Ürün ailelerini belirleme prosedürü”
- DP2 = “Üretim kaynakları yetenek geliştirme prosedürü”
- DP3 = “Ürün odaklı /grup yerleşim düzeni”
- DP4 = “Çekme esaslı üretim kontrol sistemi”

Adım 5. Tasarım matrisinin belirlenmesi – Adım 3 ve 4’de FR-DP kümeleri belirlendikten sonra, fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkileri gösteren tasarım matrisi belirlenir. Oluşturulan tasarım matrisinin, Bağımsızlık aksiyomunu sağlaması oldukça önemlidir. Yukarıda belirtilen FR-DP kümeleri için tasarım matrisi ve tasarım denklemi aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \\ FR4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & \\ X & X & & \\ X & X & X & \\ X & X & X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \\ DP4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Bu tasarım ayrılmış bir tasarımdır ve bağımsızlık aksiyomunu sağlar. Tasarım matrisinde kullanılan X sembolü, FR-DP çifti arasındaki kuvvetli ilişkiyi gösterir.

Adım 6. Fiziksel sahadan fonksiyonel sahaya yeniden giderek FR1, FR2, FR3 ve FR4’ü ayrıştırılması ve bunlara karşılık gelen DP’lerin belirlenmesi

Ürün/Parçaların sınıflanması ve gruplanması
“Basit malzeme akışı için ürünleri/parçaları sınıflandır ve grupta” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR1) ile bu fonksiyonel

ihtiyaca karşılık gelen DP1 (Ürün ailelerini belirleme prosedürü) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır.

- FR11 = “Sınıflandırmak için üretim miktarı yüksek olan parçaları belirle.”
- FR12 = “Ürünleri/parçaları üretecek makineleri ve işlemleri belirle”
- FR13 = “İşlem benzerliğine sahip parçaları bir kümede toplama.”
- FR14 = “Nihai makine gruplarını belirle.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP11 = “Ürün-Miktar Pareto analizi”
- DP12 = “Makine-Parça ilişki matrisi”
- DP13 = “Seçilen en uygun gruplama yöntemi”
- DP14 = “Maliyet analizi ve ekonomik uygunluk”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılar.

$$\begin{bmatrix} FR11 \\ FR12 \\ FR13 \\ FR14 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & \\ X & X & & \\ X & X & X & \\ X & X & X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP11 \\ DP12 \\ DP13 \\ DP14 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Üretim miktarı yüksek parçaların ürün-miktar pareto analizi ile belirlenmesi ilk adımdır (Irani, 1999). Daha sonra parçaların/ ürünlerin ihtiyaç duyduğu işlemlere göre makine-parça ilişki matrisi oluşturulur. İşlem benzerliğine sahip ürünleri/parçaları aynı ürün ailesinde toplamak için geliştirilen yöntemlerin çoğu makine-parça ilişki matrisini içermektedir. Bu matrisi kullanarak oluşturulan ürün/parça gruplarına bağlı olarak potansiyel hücreler belirlenir. Daha sonra da maliyet analizi ve ekonomik uygunluk prensiplerine göre nihai hücre sayıları belirlenir.

“Nihai makine gruplarını belirle” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR14) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen DP14 (Maliyet analizi ve ekonomik uygunluk) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR141 = “Hücre etkinliğini artırıcı düzenlemeyi yap.”

- FR142 = “Hücre performansının uygunluğunu ekonomik olarak ispatla.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP141 = “Hücre boyut analizi”
- DP142 = “Fayda/Maliyet analizi”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılamaktadır.

$$\begin{bmatrix} FR141 \\ FR142 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP141 \\ DP142 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Bu aşamaya kadar yapılan çalışmalarda her hücrede üretilen ürünler ve ilgili makineler ayrıntısız olarak belirlenmiştir. Hücre boyut analizi ile hücre etkinliği artırılmaya çalışılır. Daha sonra her bir hücre için fayda/maliyet analizi yapılır. Her aday hücre için temin süresi, verimlilik ve karlılık yatırımın geri dönüşüm oranı da dikkate alınarak hesaplanır. Değerlendirmede kabul edilebilir olan hücrelerin oluşturulmasına karar verilir.

“Hücre etkinliğini geliştirecek düzenlemeyi yap” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR141) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen “Hücre boyut analizi” (DP141) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR1411 = “Yanlış ürün/iş parçası atamasını yok et.”
- FR1412 = “Uygun olmayan makine atamasını ortadan kaldır.”
- FR1413 = “Darboğaz makinelerin yetenek artırımını sağla.”
- FR1414 = “İstisnai parçaların hücre içinde üretimini sağlayacak tasarım değişikliği yap.”
- FR1415 = “Sistemi karıştıran istisnai parçaları ortadan kaldır.”
- FR1416 = “Darboğaz makine ihtiyacını yok et.”
- FR1417 = “Yüksek düzeyde ortak makine kullanımını ortadan kaldır.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP1411 = “Uygun hücreye atanmış doğru iş parçası”
- DP1412 = “Hücreler arası makine transferi”
- DP1413 = “Metot Mühendisliği”
- DP1414 = “Yeniden tasarlanan ürün”
- DP1415 = “Hücreler sistemi dışına taşınmış parça”
- DP1416 = “Takt süresine uygun yeni makine alımı”
- DP1417 = “Birleştirilmiş hücreler”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılamaktadır.

$$\begin{bmatrix} FR1411 \\ FR1412 \\ FR1413 \\ FR1414 \\ FR1415 \\ FR1416 \\ FR1417 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ X & X \\ X & X & X \\ X & X & X & X \\ X & X & X & X & X \\ X & X & X & X & X & X \\ X & X & X & X & X & X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP1411 \\ DP1412 \\ DP1413 \\ DP1414 \\ DP1415 \\ DP1416 \\ DP1417 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Ataması yapılmış parçaların farklı hücrelere atanması durumu değerlendirilir ve özellikle istisnai eleman oluşturmayacak veya daha az hücreler arası hareket oluşturacakları hücreye atanması için çalışmalar bu adımda yapılır. Tüm hücreler sistemine bakarak söz konusu ürün tasarımı ve iş akışında oluşabilecek değişikliklerin performans üzerindeki olumsuz etkisi hücreler arasında makine kaydırma ile yok edilebilir. Yine hücre içindeki darboğaz makinelerin yeteneklerinin artırılıp artırılmayacağı araştırılır ve mümkünse yetenekleri geliştirilerek darboğaz ortadan kaldırılmaya çalışılır. Bu aşamaya kadar hala farklı hücrelerde işlem gören iş parçası/ürün varsa, hücreler arası hareketi yok edebilecek veya azaltabilecek ürün tasarım değişikliği için ürün tasarımcıları ile birlikte eş zamanlı mühendislik analizleri yapılır. Çok hücreye ihtiyaç duyan parçalar hala mevcut ise bu parçaları sistemin dışına alma seçeneği düşünülebilir. Takt süresi analizleri sonucunda hücre içinde ilave bir makine ihtiyacı saptanırsa, hücre için takt süresine uygun ilave bir makine alım kararına gidilebilir. Tüm yapılan performans geliştirme çalışmalarına rağmen bu çeşit ortak makineler

sistemde mevcutsa en çok paylaşılan makinelere sahip hücrelerin birleştirilmesi düşünülebilir.

Kaynak yeteneklerini geliştirme

Ürünleri israfları en aza indiren kaynaklarla yapmak için sürecin yalınlaştırılması, kaynakların takt süresine uygun olarak düzenlenmesi, işgörenin eğitim ihtiyaçlarının tespiti ve motivasyonun sağlanması bu kısımda belirlenir.

“Ürün özelliklerine göre kaynakların yeteneklerini geliştir” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR2) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen DP2 (Üretim kaynakları yetenek geliştirme prosedürü) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR21 = “Ana süreci geliştir.”
- FR22 = “En uygun süreç bileşenlerini seç.”
- FR23 = “Gerekli eğitim ihtiyaçlarını belirle.”
- FR24 = “Çalışanların katılımı için motivasyonu sağla.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP21 = “Yalınlaştırılmış ana süreç”
- DP22 = “Üretim kaynakları seçim prosedürü”
- DP23 = “Çok amaçlı eğitim programları”
- DP24 = “Kazanç paylaşım programı”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılamaktadır.

$$\begin{bmatrix} FR21 \\ FR22 \\ FR23 \\ FR24 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ X & X \\ X & X & X \\ X & X & X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP21 \\ DP22 \\ DP23 \\ DP24 \end{bmatrix} \quad (5)$$

“En uygun süreç bileşenlerini seç” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR22) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen DP22 (Üretim kaynakları seçim prosedürü) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR221 = “Müşteri isteklerine göre üretimi zamanla.”
- FR222 = “Uygun makineleri ata.”

- FR223 = “Etkin bir malzeme taşıma sistemi belirle.”
- FR224 = “Hücrede işgören esnekliğini sağla.”
- FR225 = “Dolaylı işgören ihtiyacını en aza indir.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP221 = “Ürün ailesi için belirlenmiş takt süresi”
- DP222 = “Bilgi aksiyomuna göre makine seçimi”
- DP223 = MTS prensiplerine uygun sistem
- DP224 = Hücreye atanan çok yönlü işgören
- DP225 = Kendi kendini yöneten takımlara dayalı organizasyon

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılamaktadır.

$$\begin{bmatrix} FR221 \\ FR222 \\ FR223 \\ FR224 \\ FR225 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & & \\ X & X & & & \\ X & X & X & & \\ X & X & 0 & X & \\ 0 & 0 & X & X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP221 \\ DP222 \\ DP223 \\ DP224 \\ DP225 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Ana süreci yalınlaştırma çalışmaları tamamlandıktan sonra ürün özelliklerine uygun kaynaklar belirlenir. Tasarlanan hücreler ihtiyaç fazlası mamul ve süreç içi stoğu üretmeksizin müşterinin istediği miktarda ürünü üretmelidirler. Bunu başarmak için Takt süresine göre üretim yapılmalıdır. Bu nedenle hesaplanan Takt süresine bağlı olarak üretim kaynaklarının yeterlilikleri etkin üretim için araştırılır. Çok yönlü işgören ihtiyacı tespiti de bu adımda yapılır.

“Gerekli eğitim ihtiyaçlarını belirle” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR23), ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen “Çok amaçlı eğitim programları” (DP23) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR231 = “İşgörenlerde israfları önleyici üretim düşüncesini oluşturun.”
- FR232 = “İşgörenlerin birden fazla operasyonu yapabilme yeteneklerini geliştir.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP231 = “Yalın düşünce ve üretim eğitimi programı”
- DP232 = “Çok yetenekli işgören eğitim programı”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılamaktadır.

$$\begin{bmatrix} FR231 \\ FR232 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP231 \\ DP232 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Üretime uygun süreç bileşenlerinin belirlenmesinden sonra, işgörenler için gerekli eğitim ihtiyaçları tespit edilir. Bu ihtiyaçları karşılamak için çok amaçlı eğitim programları hazırlanır. İşgörenlerin hazırlanan tüm programlara katılmalarını sağlamak için kazanç paylaşım programı da hazırlanmalıdır.

“İşgören katılımları için motivasyonu sağla” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR24) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen “Kazanc paylaşım programı” (DP24) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR241 = “5S faaliyetleri için işgören katılımı sağla.”
- FR242 = “Diğer sürekli gelişim faaliyetleri için işgören katılımlarını sağla.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP241= “5S ödül sistemi”
- DP242= “Kaizen takımları ödül sistemi”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılar.

$$\begin{bmatrix} FR241 \\ FR242 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP241 \\ DP242 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Yalın üretim yolculuklarında başarısızlığın ana nedenlerinden birisi 5S faaliyetlerine gerekli önemin gösterilmemesidir. 5S tüm gelişmelerin

başlangıcı olup bu konuda başarılı bir uygulama için işgören katılımlarının sağlanması gerekir. Hazırlanan 5S puan sistemine göre yüksek puana sahip işgörenler veya takımlar ilave kazançla ödüllendirilirler. Yine sürekli gelişim faaliyetlerine katılımın sağlanması için kaizen takımları ödül sistemi hazırlanır.

Kaynakların yerleştirilmesi

Tasarım yalın üretim prensiplerine göre gerçekleştirildiği için yerleşim sırasında israfların azaltılması odak noktası olmuştur. Üretim kaynaklarının yerleşim düzenlemesine bağlı olarak, malzemenin taşınması, işgören hareketleri ve kaynaklar arası dengesizlikten kaynaklanan bir çok israf en aza indirilebilir. Hücreden beklenen performansın gerçekleştirilmesinde, bu adımda yapılan düzenlemelerin önemi büyüktür.

“İsrafları azaltacak fiziksel yerleşim düzenlemesini sağla” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR3) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen “Ürün Odaklı /Grup yerleşim düzeni” (DP3) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR31 = “Malzeme taşımalarını azaltıcı düzenlemeyi yap.”
- FR32 = “İşgören hareketlerini azaltıcı düzenlemeyi yap.”
- FR33 = “Hat dengesizliğinden kaynaklanan kayıpları azaltıcı düzenlemeyi yap.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP31 = “Malzeme akış bazlı yerleşim”
- DP32 = “İşgörenin görevlerini kolaylaştıran iş istasyonu/alan düzeni”
- DP33 = “Takt süresine göre dengelenmiş kaynaklar”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılar.

$$\begin{bmatrix} FR31 \\ FR32 \\ FR33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP31 \\ DP32 \\ DP33 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Toplam üretim maliyetleri içinde malzeme taşıma maliyetlerinin oranı %30 ile %75 arasında değişmektedir (Sule, 1994). Malzemenin fazla taşınması taşıma israflarını ortaya çıkaracak ve sonuçta da taşıma maliyetlerini artıracaktır. Malzeme taşıma israflarını önleyerek malzeme taşıma maliyetlerini düşürmek için makine ve/veya iş istasyonlarının malzeme akış bazlı olarak yerleştirilmeleri gerekir. Makine ve/veya iş istasyonlarının yerleri, ardışık hareketleri en fazla makine sırasını elde eden bir yöntem uygulanarak elde edilir (Aneke ve Carrie,1986).

“Malzeme taşımalarını azaltıcı düzenlemeyi yap” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR31) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen “Malzeme akış bazlı yerleşim” (DP31) birlikte değerlendirilerek aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR311 = “Stok noktası konumlandırması nedeniyle oluşan taşımaları azalt.”
- FR312 = “Makine konumlandırması nedeniyle oluşan taşımaları azalt.”
- FR313 = “Malzeme taşıma sisteminden kaynaklanan taşımaları azalt.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP311=Uygun stok yerleri
- DP312=Ardışık hareketleri maksimum yapan makine konumları
- DP313=Uygun malzeme taşıma sistemi

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılar.

$$\begin{bmatrix} FR311 \\ FR312 \\ FR313 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP311 \\ DP312 \\ DP313 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Hücre içinde işgören israf zamanlarını azaltacak biçimde kaynakların yerleştirilmesi oldukça önemlidir. Uygun bir yerleşim düzeni ile işgörenlerin istasyonlar arasındaki hareketleri, iş hazırlığı sırasındaki zamanları en aza indirilebilir (Suh vd.,1998).

“İşgören hareketlerini azaltıcı düzenlemeyi yap” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR32) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen DP32 (İş görenin görevlerini kolaylaştıran iş istasyonu/ alan düzeni) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR321 = “İşgörenlerin istasyonlar arasındaki hareketlerini en aza indir.”
- FR322 = “İşgörenlerin makine-iş istasyonu hazırlığı sırasındaki hareketlerini en aza indir.”
- FR323 = “İşgörenlerin iş yapma sırasındaki hareketlerini en aza indir.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP321 = “Takt süresini aşmayan ve yürüme mesafelerini azaltan işgören ataması”
- DP322 = “Her bir hücre/iş istasyonu için standart takım ve donanım”
- DP323 = “İşgören/makine arasındaki ergonomik tasarım”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrık bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılar.

$$\begin{bmatrix} FR321 \\ FR322 \\ FR323 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ 0 & X & \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP321 \\ DP322 \\ DP323 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Takt süresine göre dengelenmiş kaynaklar, hat dengesizliğinin ortaya çıkardığı kayıpların azaltılmasını sağlar. Bunu başarmak isteyen tasarımcı makine çevrim süresi, işgören çevrim süresi gibi kaynaklara ait sürelerin Takt süresine yakın olmasını sağlamalıdır.

“Hat dengesizliğinden kaynaklanan kayıpları azaltıcı düzenlemeyi yap” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR33) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen “Takt süresine göre dengelenmiş kaynaklar” (DP33) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR331 = “Hücredeki en uzun makine çevrim süresinin Takt süresinden küçük olmasını yada en azından aşmamasını sağla.”

- FR332 = “İşgörenlerin çevrim sürelerini mümkünse Takt süresine eşitle yada küçük olmasını sağla.”
- FR333 = “Otomatik malzeme taşıma sistemi hızının Takt süresini aşmamasını sağla.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP331 = “Her makine için atanmış işlerin uygunluk kontrolü”
- DP332 = “Her işgören için atanmış görevlerin uygunluk kontrolü”
- DP333 = “Malzeme taşıma sisteminde hız kontrolü”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrık bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılar.

$$\begin{bmatrix} FR331 \\ FR332 \\ FR333 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ 0 & X & \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP331 \\ DP332 \\ DP333 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Üretim kontrolü

İstenilen zaman ve miktardaki müşteri talepleri çekme esaslı kontrol sistemi ile kolaylıkla başarılabilir (Hopp ve Spearman, 2000). Düzenli çalışan bir üretim kontrol sistemi sağlamak için, montaj hattında üretimin sabit ve düzgün hale getirilmesi gerekir.

“Müşteriden gelen talebe göre üretimi sağla” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR4) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen “Çekme esaslı üretim kontrol sistemi” (DP4) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR41 = “Montaj hattında üretimin sabit ve düzgün olmasını sağla.”
- FR42 = “Bilgi/malzeme akışının sürekliliğini sağla.”
- FR43 = “Geri besleyici bilgi akışını sürekli olarak sağla.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP41 = “Düzenleştirilmiş/karma üretim”
- DP42 = “Kanban sistemi”

- DP43 = “Raporlama sistemi ve görsel yönetim araçları”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılar.

$$\begin{bmatrix} FR41 \\ FR42 \\ FR43 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP41 \\ DP42 \\ DP43 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Etkin bir üretim planı müşterilerden elde edilen talep bilgisi ile sağlanabilir. Talep durumuna bağlı olarak sistemin Takt süresi güncellenir. Yine talep yapısına bağlı olarak sistemde üretilen ürün çeşidi de belirlenmiş olur. Sistemde üretilen ürün çeşidinin artması hazırlık sayısı ve sürelerinin artmasına neden olur. Bu da günlük talebin karşılanmasını zorlaştırır. Tek parça akışlı üretimi gerçekleştirmek için hazırlık sürelerinin düşürülmesi (SMED) gerekir. Hazırlık süreleri düşürülmüş bir sistemde müşteri isteklerini karşılayan düzgünleştirilmiş/karma çizelge hazırlanabilir (Miltenburg ve Sinnemon, 1989).

“Montaj hattında üretimin sabit ve düzgün olmasını sağla” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR41) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen “Düzenleştirilmiş/karma üretim” (DP41) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR411 = “Talep edilen ürün karması ve miktarı bilgisini sağla.”
- FR412 = “Küçük parti üretimini sağla.”
- FR413 = “Düzenleştirilmiş ve karma ürünün montaj hattı çizelgesini oluştur.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP411 = “Müşterilerden sürekli bilgi akışı”
- DP412 = “Düşürülmüş hazırlık süreleri(SMED)”
- DP413 = “Montaj hattı çizelgesi için seçilen en uygun yöntem”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılar.

$$\begin{bmatrix} FR411 \\ FR412 \\ FR413 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP411 \\ DP412 \\ DP413 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Günümüzdeki rekabet şartları hücreli üretim sistemlerinde çekme esaslı kontrol sistemlerinin kurulmasını gerektirmektedir. Bu kontrol sisteminde malzeme müşteriden başlayarak tedarikçiye kadar devam eden bir sistemde çekilir. Bu nedenle montaj hücresi ile imalat hücreleri arasında, hücre içinde ve ana firma ile tedarikçiler arasında malzeme akışının sağlandığı bir çekme sistemi oluşturulur. Üretilen parçalar ve sürece bağlı olarak farklı çekme sistemleri kullanılabilir.

“Bilgi/malzeme akışının sürekliliğini sağla” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR42) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen “Kanban sistemi (DP42) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR421 = “İmalat hücreleri arasında ve imalatla montaj hücresi arasında bilgi/malzeme akışının sürekliliğini sağla.”
- FR422 = “Her hücrenin içinde bilgi/malzeme akışının sürekliliğini sağla.”
- FR423 = “Ana firma ile tedarikçiler arasında bilgi/malzeme akışının sürekliliğini sağla.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP421 = “Taşıma amaçlı kart sistemi (Fabrika içi çekme Kanbanı)”
- DP422 = “Üretim amaçlı kart sistemi (Üretim Kanbanı)”
- DP423 = “Taşıma amaçlı kart sistemi (Tedarikçi Kanbanı)”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılar.

$$\begin{bmatrix} FR421 \\ FR422 \\ FR423 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP421 \\ DP422 \\ DP423 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Üretim sisteminde üretimin düzgünleştirilmesi için gerekli düzgünleştirilmiş/karma üretim çizelgesi son montaj hücresinde hazırlanır. Bu çizelgeye göre ihtiyaç duyulan parçaların istenilen zamanda ve istenilen miktarda son montaj hücresinde olabilmesi için hücreyi besleyen tedarikçi hücrelerden temini gerekmektedir. Bunu başarabilmek için hücreler arasında standart kaplar belirlenmeli ve fabrika içi çekme Kanban sistemi kurulmalıdır.

“İmalat hücreleri arasında ve imalatla montaj hücresi arasında bilgi/malzeme akışının sürekliliğini sağla” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR421) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen “Taşıma amaçlı kart sistemi-Fabrika içi çekme kanbanı” (DP421) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR4211 = “Hücreler arası malzemeyi tutarlı miktarlarda taşı.”
- FR4212 = “Malzemenin zamanında teslimini sağla.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP4211 = “Hücreler arasında standart kaplar”
- DP4212 = “Uygun sayıda fabrika içi çekme Kanbanı”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılar.

$$\begin{bmatrix} FR4211 \\ FR4212 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP4211 \\ DP4212 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Müşteri taleplerini zamanında karşılayabilmek için hücre içinde gerekli malzeme ve bilgi akışını sağlayan bir Kanban sistemi tasarlanmalıdır. Üretim Kanbanı hücrede üretimi başlatan iş emridir. Ancak çekme Kanbanı tarafından tetiklenir. Hücre içinde Kanbanın görevini, ayırıcılar, oluk sistemi, konveyör, kanban karesi veya insanın kendisi yapabilir. Bunların arasından hücreye en uygun olanı seçilmelidir. Bunların seçimi için kullanılacak ölçütler basitlik ve düşük maliyet olarak belirlenebilir.

“Her hücrenin içinde bilgi/malzeme akışının sürekliliğini sağla” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR422) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen “Üretim amaçlı kart sistemi-üretim Kanbanı (DP422) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR4221 = “Malzemeyi hücre içinde tutarlı miktarlarda taşı.”
- FR4222 = “Malzemenin beklemeden, en az hareketle ve kusursuz olarak teslimini sağla.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP4221 = “Hücre içi tek parça akışı veya standart kaplar”
- DP4222 = “En uygun hücre içi Kanban düzeni”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılar.

$$\begin{bmatrix} FR4221 \\ FR4222 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP4221 \\ DP4222 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Yalın üretim prensipleri tedarikçi güvenilirliğine önem verilmesini önermektedir. Çekme esaslı kontrol sisteminin uygulandığı bir üretim sisteminde tedarikçilerden istenilen miktarda ve zamanda malzeme tedariği sistemin performansı açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle ana firma ile tedarikçi arasında malzeme akışını sağlamak için tedarikçi Kanban sistemi kurulur.

“Ana firma ile tedarikçiler arasında bilgi/malzeme akışının sürekliliğini sağla” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR423) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen “Taşıma amaçlı kart sistemi-Tedarikçi Kanbanı” (DP423) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR4231 = “Malzemeyi tedarikçiden tutarlı miktarlarda taşı.”
- FR4232 = “Malzemenin zamanında teslimini sağla.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP4231 = “Üretici ile tedarikçi arasında dolaşan standart kaplar”
- DP4232 = “En uygun sayıdaki tedarikçi Kanbanı”

Tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir. Tasarım ayrılmış bir tasarım olup, bağımsızlık aksiyomunu karşılar.

$$\begin{bmatrix} FR4231 \\ FR4232 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP4231 \\ DP4232 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Görsel yönetim araçları HÜ sisteminin başarılı olmasında önemli bir paya sahiptir. Kurulacak güçlü bir görsel yönetim ve geri besleme sistemi ile hücrelerin işletilmesi ve geliştirilmesi kolaylaştırılabilir. Hücrelerin işletilmeye başlaması ile birlikte gerek üretim sapmaları gerekse ürün kalitesi ile ilgili sapmalar oluşacaktır. Bunlar gibi, sistemin geliştirilmesi için gerekli bir çok verinin elde edilmesine yönelik bir sistem bu aşamada kurulur.

“Geri besleyici bilgi akışını sürekli olarak sağla” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR43) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen Raporlama sistemi ve görsel yönetim araçları (DP43) birlikte değerlendirilmiş ve aşağıda belirtildiği gibi ayrıştırılmıştır:

- FR431 = “Sistemin gelişmesi için gerekli verileri belirle.”
- FR432 = “Verilerin güncellenmesini sağla.”

Fonksiyonel ihtiyaçlara karşılık gelen tasarım parametreleri de aşağıdaki gibi belirlenebilirler:

- DP431 = “Veri sistemi”
- DP432 = “Veri güncelleme çizelgesi”

$$\begin{bmatrix} FR431 \\ FR432 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} DP431 \\ DP432 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Uygulama ve sonuçları

Hücresel üretim sistemi için önerilen tasarım yöntemi, alüminyum esaslı merdivenler, rampalar ve köprüler üreten ve hücresel üretime geçmek isteyen Florida-ABD’deki bir firmada uygulamaya alınmıştır. Üretim sisteminde üretilen ürünlerin alüminyum esaslı ve kolay taşınabilir olması,

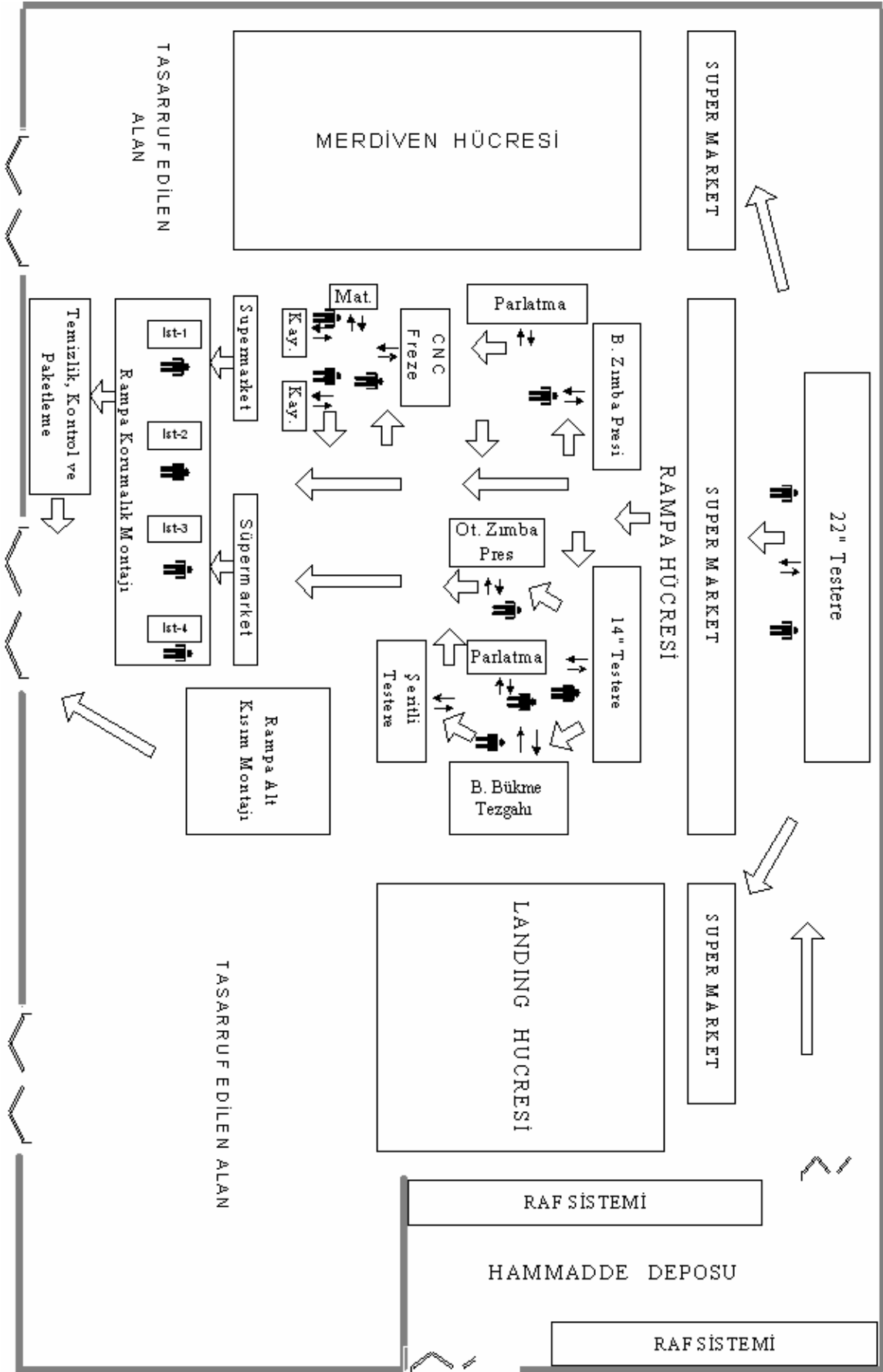
özellikle ABD okullarının bu ürünlere olan ilgisini zamanla artırmaktadır. Bu durum mevcut üretim sistemi kapasitesinin talebi karşılama konusunda yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Zamanla müşteriye tepki verme süreleri ile ilgili sorunlar artmaya başlamıştır. Mevcut sistem üzerinde yapılan iyileştirme çalışmaları da istenilen gelişmeleri sağlamayınca, mevcut üretim sistemi tasarımında köklü değişikliklerin yapılması gerektiği tespit edilmiştir.

Hücresel üretim projesine başlamadan önceki üretim sisteminde üretim kaynakları, fonksiyonlarına göre yerleştirilmiştir. Üretim kaynakları, testere, bükme, zımba, freze, matkap, temizleme ve parlatma, montaj ve paketleme bölümü gibi bölümlerde fonksiyonlarına göre düzenlenmiştir. Aksiyomlarla tasarım prensiplerine dayalı hücresel üretim sistemi tasarım yönteminde önerdiğimiz tüm faaliyetlerin gerçekleştirilmesi sonucunda Şekil 2’de gösterilen yerleşim düzenlemesine karar verilmiştir. Yeni yerleşim düzenlemesi ile parçaların taşınma mesafelerinde hedeflenen %50’lik gelişme yaklaşık olarak sağlanmıştır

Hücresel üretim sistemi proje çalışması Mayıs 2000 tarihinde başlatılmıştı. Hücresel üretim proje planlama aşamaları Ocak ayı (2001) sonuna kadar tamamlandı ve hücrelerin fiziksel olarak kurulması Şubat 2001 tarihinde gerçekleştirildi. Aralık 2001 tarihine kadar hücresel üretim ile ilgili ortaya çıkmış olan sorunların giderilmesi ile sistem dengeye ulaştı. Aralık 2001 tarihi itibarıyla hücresel üretim sonrası elde edilen performans gelişmeleri saptandı. Farklı ölçütlere göre ortalama performans değerlerinin karşılaştırılması Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo1. Farklı ölçütlere göre ortalama performans değerlerinin karşılaştırılması

Performans ölçütü	HÜ	HÜ
	öncesi	sonrası
Hammadde stoku	11	3.5
Temin süresi (gün)	18	7
Iskarta oranı (%)	3	1.6
Çıktı miktarı (çift adet)	50	70
Fazla mesai (saat/hafta)	300	60
WIP (yeterli olduğu gün sayısı)	6	2.5
Malzeme dolaşım mesafesi (m)	67	31



Şekil 2. Hücresel üretim sonrası şekil düzenlemesi

Sonuçlar

HÜ sistemi tasarımcıları için geçmişte gerçekleştirilen tasarımlara göre anlaşılabilirliği ve uygulanabilirliği daha kolay olan rehber niteliğinde bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem, tasarım sürecindeki fonksiyonel ihtiyaçlar arasında bağımsızlığı sağlayarak sürecin etkin, hızlı ve sonuç alıcı (müşteri ihtiyaçlarına yönelik) bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır.

Kaynaklar

- Aneke, N.A.G. ve Carrie, A.S., (1986). A Design Technique for the Layout of Multi-product Flowlines. *International Journal of Production Research*, **24**, 3, 471-481.
- Babic, B., (1999). Axiomatic Design of Flexible Manufacturing Systems, *International Journal of Production Research*, **37**, 5, 1159-1173.
- Burbidge, J.L., (1978). *The Principles of Production Control*, McDonald and Evans Limited.
- Chen S.J. Chen, L.C., ve Lin, L., (2001). Knowledge-based Support for Simulation Analysis of Manufacturing Cells. *Computers in Industry*, **44**, 33-49.
- Cochran D.S., Eversheim, W., Kubin, G., ve Sesterhenn, M.L., (2000a). The Application of AD and Lean Management Principles in the Scope of Production System Segmentation. *International Journal of Production Research*, **38**, 6, 1159-1173.
- Cochran, D.S. Kim, Y.S., ve Kim, J., (2000b). The Alignment of Performance Measurement with the Manufacturing System Design. *Proceedings of ICAD2002, First International Conference on Axiomatic Design*, Cambridge, MA., 115-122.
- Hopp, W.J., ve Spearman M.L., (2000). *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*, McGraw-Hill, New York.
- Hyer, N. L. ve Wemmerlöw, U., (1987). Group Technology Oriented Coding Systems: Structures, Applications, and Implementation, Capabilities of Group Technology, *The Computer and Automated Systems Association of SME*, 67-84.
- Hyer, N. L. ve Wemmerlöw, U., (2002). *Reorganizing The Factory: Competing through Cellular Manufacturing*, Productivity press, Portland.
- Irani, S.A., (1999). *Handbook of Cellular Manufacturing Systems*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Miltenburg, J. ve Sinnemon, G., (1989). Scheduling Mixed-model Multi-level just-in-time Production Systems, *International Journal of production research*, **27**, 9, 1487-1509.
- Sarher, B. R. ve Mondal, S., (1999). Grouping Efficiency Measures in Cellular Manufacturing: A Survey and Critical Review. *International Journal of Production Research*, **37**, 2, 285-314.
- Silveira, G. (1999). A Methodology of Implementation of Cellular Manufacturing, *International Journal of Production Research*, **37**, 2, 467-479.
- Singh, N. ve Rajamani, D., (1996). *Cellular Manufacturing Systems: Design, Planning and Control*, Chapman & Hall.
- Sofianopoulou, S. (1999). Manufacturing Cells Design with Alternative Process Plans and/or Replicate Machines. *International Journal of Production Research*, **37**, 3, 707-720.
- Stuedel, H. J., ve Desruelle, P., (1992). *Manufacturing in The Nineties: How to Become a Lean, World-Class Competitor*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Suh, N.P., (1990). *The Principles of Design*, Oxford University Press, New York.
- Suh, N.P., Cochran, D.S. ve Paulo C. L., (1998). Manufacturing System Design, *Annals of the CIRP*, **47**, 2, 627-639.
- Suh, N.P., (2001). *Axiomatic Design: Advances and Applications*, Oxford University Press, New York.
- Sule, D.R., (1991). Machine Capacity Planning in Group Technology, *International Journal of Production Research*, **29**, 9, 1904-2147.
- Sule, D.R., (1994). *Manufacturing Facilities: Locations, Planning and Design*, PWS Publishing Company, Boston.
- Venugopal, V. ve Narendran, T.T., (1993). A Genetic Algorithm Approach to the Machine-Component Grouping Problem with Multiple Objectives, *Computers&Industrial Engineering*, **22**, 4, 469-480.
- Wemmerlöw, U., (1992). Fundamental Insights into Part Family Scheduling: The Single Machine Case, *Decision sciences*, **23**, 565-595.