

**HÜCRESEL ÜRETİME DÖNÜŞÜM VE
TÜRK ENDÜSTRİSİNİN DURUMU**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
EDİTÖRLÜK MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. H. Hakan BALCI
507991401**

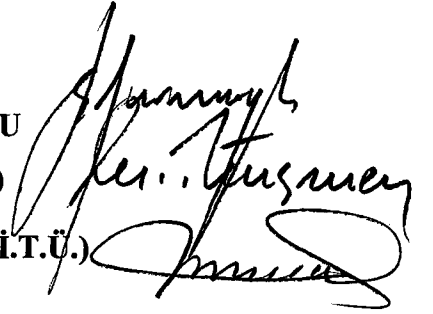
101491

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Haziran 2001**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Murat DİNÇMEN (İ.T.Ü.)

Doç.Dr. Semra BİRGÜN BARLA (İ.T.Ü.)



HAZİRAN 2001

ÖNSÖZ

Yalın Düşünce, üretim sistemlerinin tasarımında ve işletilmesinde vazgeçilmez bir felsefe olarak etkisini hissettirmektedir. Küreselleşmenin de sonucu olarak beraberinde getirdiği yaklaşımlar ile Türk Endüstrisini etkilemektedir.

Bu yüksek lisans tezinde bir Yalın Düşünce kavramı olarak üretim firmalarında büyük kabul gören Hücreli Üretimin Türk endüstrisindeki uygulamaları incelenmiş, akademisyenlere ve firmalara yararlı olacağını düşündüğümüz bir metodoloji önerilmiştir.

Böyle ilgi çekici ve güncel bir konuya beni yönlendiren ve tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen sayın Prof.Dr.M.Bülent DURMUŞOĞLU'na, yoğun ilgileri ile saha analizlerinin gerçekleştirilmesine imkan tanıyan Türk endüstrisinin öncü şirketlerine ve eğitim hayatım boyunca beni destekleyen aileme teşekkür ederim.

Haziran 11, 2001

H.Hakan BALCI

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	V
TABLO LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Hücresel Üretime Dönüşüm	10
1.2. Sosyal, Kültürel ve Organizasyonel Dönüşüm	12
1.3. Teknik Dönüşüm	18
1.3.1 Varsayım Bölgesi	23
1.3.2. Model Karakteristiği	25
1.4. Performans Kriterleri	36
1.4.1. Dönüşümü Etkileyen Değişkenler	38
1.4.2. Hücre Tasarımının Boyutları ve Çıktıları	39
1.4.3. Tasarıma ve Tasarım Sonuçlarına Değişkenlerin Etkisi	40
1.4.4. Sonuç	43
2. TÜRKİYE’DE HÜCRESEL ÜRETİMİN DURUMU	45
2.1. Hücresel Üretim Projesi Öncesi Değerlendirme	47
2.1.1. Hedef Belirleme	49
2.2. Hücresel Üretim Proje Organizasyonu	50
2.2.1. Projenin Hücre Tasarımı ve Fiziksel Yerleşiminde Katılım	51
2.2.2. Firmaların Proje Takımları Hakkındaki Görüşleri	53
2.3. Hücresel Üretim Tasarım Süreci	54
2.3.1 Yaklaşımlar	54
2.3.2. Hücre Oluşturmada Bilgisayar Desteği	55
2.3.3. Hücrenin Tasarımı İşletilmesi İçin İlgili Teknikler Hakkında Kullanıcı Bilgileri	55
2.3.4. Dönüşüm Hedefi Ve Stratejisi	56
2.4. Hücre Tasarımı Sürecinde Düşünülenler	57
2.5. Tasarım Aşamasında Performans Değerlendirme	58
2.6. Tasarım Sonuçları	58
2.6.1. İmal Edilen Ürün Çeşitleri	59

2.6.2. Hücre Başına İşlenen Parça/Ürün Sayısı	59
2.6.3. Hücrelerde Gerçekleştirilen Operasyon Türleri	60
2.6.4. Hücredeki Ekipman/Makine ve İşgören Sayısı	61
2.6.5. Parça Ürün Tasarımlarında, Rotalandırma ve İşleme Ekipmanlarında Değişiklikler	62
2.6.6. Hücre Bağımsızlığı	63
2.6.7. Hücreleştirme Oranı	63
2.7. Sonuç	63
3. METODOLOJILER	65
3.1. Hücresel Üretim Uygulama Metodolojisi	65
3.1.1. Aşama 1 – Hazırlık	65
3.1.2. Aşama 2 – Tanımlama	67
3.1.3. Aşama 3 – Kuruluş	69
3.1.4. Sonuçlar ve Öneriler	69
3.2. Hücre Sentez Algoritması(HSA)	71
3.2.1. Aşama 1 – Sürecin Analizi	74
3.2.2. Aşama 2 – Elemanların Belirlenmesi	80
3.2.3. Aşama 3 – Uygulama	90
3.2.4. Sonuç	90
3.3. Tüm Sistem Yaklaşımı	91
4. ELEŞTİRİSEL BAKIŞ VE METOT ÖNERİSİ	95
4.1. Metodoloji	96
5. SONUÇLAR	107
KAYNAKLAR	109
ÖZGEÇMİŞ	138

KISALTMALAR

HÜ	: Hücresel Üretim(Cellular Manufacturing)
YD	: Yalın Düşünce(Lean Thinking)
GT	: Grup Teknolojisi(Group Technology)
TZÜ	: Tam Zamanında Üretim(JIT-Just-In-Time Manufacturing)
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım(CAD-Computer Aided Design)
MİP	: Malzeme Gereksinimi Planlama(Materials Requirement Planning)
ÜAA	: Üretim Akış Analizi(Production Flow Analysis)
HSA	: Hücre Sentez Algoritması
DSİ	: Dünya Sınıfında İmalatçı(World Class Manufacturing)
KSA	: Parça Kodlama ve Sınıflandırma Analizi

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1.	İmalat Sistemlerinin Değişen Yapısı.[3]	2
Tablo 1.2.	Farklı Modellerin Özellikleri[18]	31
Tablo 1.2.	Farklı Modellerin Özellikleri (Devamı)	32
Tablo 1.2.	Farklı Modellerin Özellikleri (Devamı)	33
Tablo 1.2.	Farklı Modellerin Özellikleri (Devamı)	34
Tablo 1.2.	Farklı Modellerin Özellikleri (Devamı)	35
Tablo 1.3.	Değişkenler ve Etkiledikleri Tasarım Boyutları	41
Tablo 2.1.	Türkiye’de Şirketlerin HÜ Projelerini Başlatma Nedenleri.	48
Tablo 2.2.	Türkiye’de HÜ Projelerini Başlatma Nedenleri	50
Tablo 2.3.	Liderlerin Pozisyonları ve Pozisyonların Tüm Firmalar İçindeki Payı(%)	51
Tablo 2.4.	Tüm Firmalarda Pozisyonların Takıma Katılım Sayısı	51
Tablo 2.5.	Hücre Tasarım ve Fiziksel Yerleşim Aşamalarında Çalışan Personelin Unvanlarının Tüm Şirketler İçinde Takıma Katılma Yüzdesi.	52
Tablo 2.6.	Bilinen ve Uygulanan Teknikler	56
Tablo 2.7.	Hücre Tasarımı Sırasında Dikkate Alınan Kriterlerin Ortalama Önemi.	58
Tablo 2.8.	Firmalarda Üretilen Ürünler	59
Tablo 2.9.	Hücrelerde İmal Edilen Ürün Tip Sayısına Ait Frekanslar	60
Tablo 2.10.	Hücrelerde Mevcut Olan Operasyonlar	60
Tablo 3.1.	Durum Analizinde Dikkate Alınan Teknik ve Organizasyonel Özellikler	67
Tablo 3.2.	Hücre Oluşturma Metot Seçim Parametreleri	68
Tablo 3.3.	Hücre Elemanlarının Uyumluluğu	76

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: Ürünlerin Değişimine Göre Kullanılan Üretim Sistemi [1].....	7
Şekil 1.2	: Bir Fonksiyonel Üretim Sistemi ve Bu Sistemin Hücresel Üretime Dönüştürülmesi.	8
Şekil 1.3	: Grup Teknolojisi İçin Taksonomik Bakış Çerçevesi	21
Şekil 3.1	: HÜ Uygulama Metodolojisi [14]	66
Şekil 3.2	: U-tipi Hücre	88
Şekil 3.3	: Ters U-tipi Hücre	88
Şekil 3.4	: Doğrusal Hücre	89
Şekil 3.5	: Serpantin Hücre	89



ÖZET

HÜCRESEL ÜRETİME DÖNÜŞÜM VE TÜRK ENDÜSTRİSİNİN DURUMU

Gerek akademik çevrelerde ve gerekse imalat firmalarında Hücresel Üretim (HÜ) giderek artan bir şekilde ilgi odağı olmaktadır.

Bu denli önemli bir konuda Türkiye'nin ulaştığı durumu belirlemek, dünyada yapılan diğer uygulamalarla karşılaştırmak ve HÜ'ye dönüşümde akademisyenlere ve endüstriye kılavuzluk edecek metodolojiyi oluşturmak amacıyla saha analizi çalışması gerçekleştirilmiştir. Saha analizinde Türkiye'nin öncü ve çoğunluğunun uluslar arası nitelikte olduğu 16 imalat firması ve bu firmalardaki toplam 163 imalat hücresi incelenmiştir. İnceleme sahada görüşmeler ve gözlemlere dayalı olarak, önceden hazırlanmış araştırma anketinin doldurulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk kısmı, incelenen firmaların HÜ tasarım öncesi çalışmaları ve projenin organizasyonu, HÜ tasarım süreci ve HÜ tasarım uygulama sonuçları hakkında bilgilerin derlenip ortaya çıkarılması ve yorumlanmasını kapsamaktadır.

HÜ'ye dönüşüm metodolojisini geliştirmek amacıyla öncelikle literatür araştırması yapılmış ve mevcut metodolojiler değerlendirilmiştir. Mevcut metodolojilerin kuvvetli yanlarından yararlanılarak ve Türk endüstrisinde yapılan HÜ uygulamalarında görülen eksikleri göz önüne alarak yeni bir metodoloji önerisi yapılmış ve geliştirilen metodolojinin aşamaları açıklanmıştır. Metodoloji HÜ'ye dönüşümün sosyal ve teknik boyutlarını içermektedir.

SUMMARY

CONVERSION TO CELLULAR MANUFACTURING AND THE SITUATION OF TURKISH INDUSTRY

Both the academicians and the manufacturing industries focus on Cellular Manufacturing (CM) with a growing interest. The field analyses have been performed to determine the situation of Turkish industrial firms on CM implementations, to compare it with the other implementations throughout the world and to assist both the academicians and the industrial practitioners in converting their production systems to CM. 16 manufacturing firms which are the leaders in their sectors in Turkey and which have international qualifications and totally 163 manufacturing cells in these firms have been studied in the field analysis. The study has been realized by means of filling the investigation questionnaire that has been prepared beforehand based on negotiations and observations on the shop floor. First stage of the study contains the collection and interpretation of the information related to the period before the CM project and its organization, CM design process and CM implementation results.

To develop a conversion methodology to CM, initially the academic studies were examined and the current methodologies were evaluated. With taking the advantage of the strong aspects of the current methodologies and the deficiencies of the implementations in the Turkish industry, a proposed methodology is developed and the stages of the methodology are explained. The social and the technical aspects of the CM conversion are taken into consideration in this methodology.

1. GİRİŞ

Dünya III. Endüstriyel Evrimi geçirerek yeni bir çağa girmektedir. Makinelerin icat edilmesi ve fabrikaların kurulması ile gerçekleşen I. Evrimden ve 1900'lerde montaj hatlarının kurulması ve kütleli üretimin gerçekleştirilmesi sonucu başlayan ve otomasyonun adapte edilmesiyle gerçekleşen II. Evrimden sonra yeniden organizasyon zamanı gelmiştir. Bu yeni çağ, başlangıçta özellikle Japon şirketleri tarafından sağlanan çok çeşitli ve yüksek kaliteli ürünlerin dünya pazarlarındaki rekabete verdiği yeni boyut ve bunu gerçekleştirmek üzere geliştirilen yeni imalat yöntemleri ile şekillenmektedir. Günümüzde ürün çeşitliliğinin ve müşteri beklentilerinin artması neticesinde otomasyondaki büyük gelişmeye rağmen imal edilen ürünlerin kalitesi ve miktarı hakkında daha fazla bilgi ve daha etkin iletişim, makinelerin ve işgörenlerin yeniden organizasyonu ve yetkinliklerinin artırılması gerekmektedir.[1]

Mevcut ekipman/makineleri etkin olarak kullanmak gereklidir. Daha az yer, zaman, işgücü ve malzeme gereksinimi ile daha yüksek kalite elde edilirken, hacmin büyümesi ve küçülmesi halinde yada tasarımların değişmesi durumunda talebi karşılayacak kadar esnek olunmalıdır. Yalınlaşmak, çevik olmak, eş zamanlı mühendislik çalışmaları yapmak üretim sistemini çözüme yaklaştırır.[2]

Özellikle yabancı rekabetin baskısıyla firmalar teknolojilerinde ve teknolojiyi çevreleyen iş organizasyonunda önemli değişiklikler yapmaktadırlar ve yapmaya devam edeceklerdir. Değişim baskısı büyüktür. Globalleşen dünya ekonomisinin artan etkisi, yeni teknolojik imkanlar ve bu teknolojileri organize etmenin yeni yolları neticesinde firmalar ürün kalitesini artırma, teslimat sürelerini geliştirme, ürün çeşitliliğini artırma ve bunu rekabetçi ortamda yapmak zorundadırlar.

Rekabetçi pozisyonunu korumak isteyen ve ürettiği ürünlerle pazar avantajı elde etmek isteyen firmalar oluşturduğu "iş grupları" ile hizmet ve ürünlere odaklanmış bir işletme yapısını alır. Tablo 1.1'de de görüldüğü gibi çevik olmak firmanın çeşitli

Tablo 1.1.İmalat Sistemlerinin Değişen Yapısı.[3]

	İngiliz Sistemi (1800-1850)	Amerikan Sistemi (1850-1900)	Taylor'un Bilimsel Yönetimi (1900-1950)	Dinamik Dünya (1950-)	Sayısal Kontrol (1970-)	BBÜ (1980-)	Çevik İşletme
Makine. Tipi	3	50	150	150	50	30	Sistemler sayılır, makineleer değil
Verimlilik İçin En Az İşgören Sayısı	40	150	300	300	100	30	Takımdaki işgören sayılır
Yönetici/Çalışan Oranı	0:40	20:30	60:240	100:200	50:50	20:10	~40:10
Bir Önceki Devire Göre Verimlilik Artışı	4:1	3:1	3:1	3:2	3:1	3:1	~3:1?
Yeniden İşlemenin Toplam İş İçindeki Oranı	0.8	0.5	0.25	0.08	0.02	0.005	~0.002
Mühendislik Kavramı	Mekanik	İmalat	Endüstriyel	Kalite	Sistem	Anlama	Sistemi kavrama
Süreç Odağı	Hız	Tekrar edilebilirlik	Yeniden üretilebilirlik	Değişmezlik	Uyum sağlama	Çok yönlülük	Çevik olma

büyükölükte ufak işletmelere bölünmesini ve ürün hakkında uzmanlaşmasını/ yetkinleşmesini gerektirmektedir.[3]

Kilit özellikleri ürün tasarımındaki ve talepteki dalgalanmalara uyum sağlayabilecek esneklik, kalite, üretim, stok ve sürecin bütünleşmesi ile kontrol edilebilirlik, iç imalat teknolojisinin uygun rekabet avantajı sağlayacak şekilde oluşturulmasıyla özgün olan bu sistem grup teknolojisinin(GT) uygulandığı hücresele üretimle elde edilebilir.

Bu stratejide önce esnek, kontrol edilebilir, etkin ve özel imalat sistemi tasarlanır. Sonra kritik kontrol fonksiyonları entegre edilir. Bu sistemde üretilebilecek ürünler tasarlanır ve adapte edilir. Bu ana basamaklarda iç ve dış müşteriler, hazırlık süresini düşürmek, kalite kontrolün entegrasyonu, önleyici bakımın entegrasyonu, malzeme akışını dengelemek ve düzgünleştirmek, imalat hücrelerini birbirine bağlamak, stoku azaltmak, satıcıları entegre etmek, çekme sistemine otomasyon eklemek ve müşteri ihtiyaçlarıyla tasarlanacak yeni ürünler göz önüne alınır.

İmalat teknolojisi ürüne katma değer sağlarken metodoloji, teknolojileri birbirine bağlar ve ürüne değer katmaz. Bu sebeple imalat sisteminin yeniden tasarımı için metotlar sürekli olarak geliştirilmelidir. İmalatın atan kalbini değiştirmek Dünya Sınıfında İmalatçı(DSI) olmayı sağlar.[2]

Günümüzde kalite, maliyet ve teslimat performansını eş zamanlı olarak artırmanın en geçerli çaresi Yalın Düşünce ve Yalın Üretim olarak görölmektedir.[4] Yalın üretimin olmazsa olmaz aşamalarından biri Hücresele Üretimdir. Hücresele Üretim(HÜ), bir sistemi mümkün olduğunca bağımsız alt sistemlere ayıran ve alt sistemlerin hızlı ve etkin çalışma yeteneğini tüm sisteme yansıtmayı amaçlayan bir yaklaşımdır.

ABD Savunma Bakanlığı ve Lehigh Üniversitesi'nin desteğiyle yapılan bir çalışmada firmaların çevik olmak için önlerinde 2006'ya kadar zamanları vardır. Aşağıda listelenen 18 maddenin elde edilmesi firmanın çevik olmasını sağlayacaktır. Hücresele üretim de bu maddelerin çoğunluğunda önemli yararlar sağlamasıyla dikkat çekicidir. Yapılan çalışmaya göre bunların elde edilmesiyle en geç 2006'da, çoğu yazara göre ise daha da erken hayatta kalacak firmalar belirlenecektir.[2,3] Firmaların hayatta kalması için gerekli olan özellikler şunlardır:[2]

- Eşzamanlı mühendislik çalışmaları
- Sürekli eğitim
- Müşteriye duyarlı olma ve hızlı cevap verebilme
- Dinamik çoklu-girişimlerde bulunma
- Çalışanların kıymetini bilme
- Takımlarda işgörenleri görevlendirme
- Çevreye duyarlı
- Esnek (yeniden-) yapılanabilme
- Verilerin erişilebilir ve kullanılabilir olması
- Yetkin işgörenlerin olması
- Serbest mimari yapıda olma
- İlk tasarımla optimumu elde etme
- Ürün ömrünün üzerinde kaliteye sahip olma
- Kısa çevrim süreli olma
- Teknoloji önderliğine sahip olma
- Teknolojiye duyarlı olma
- Tüm işletmeyi bütünleştirme
- İleriyi gören yönetime sahip olma

Bu özelliklere sahip olmak kolay değildir. Uygun teknik ve sosyal yapılanma gerektirir. Firmanın organizasyonel ve donanımsal olarak bu özelliklere odaklanması gereklidir. Genel olarak bunu sağlayacak üretim sisteminin kritik destek fonksiyonları sağlaması ve onlarla bütünleşmesi gerekir. Kritik destek fonksiyonları şunlardır:

1. Kalite kontrol (Hatasız malzeme, parça ve ürün)
2. Üretim kontrol (Ne zaman, nerede ve ne kadar?)
3. Stok kontrol (Ne kadar ham madde, yarı mamul?)
4. Ekipman/makine güvenilirliği (Kusursuz malzeme akışı sağlayacak donanım)

Temelde ekipman/makine yerleşimi ve bu yerleşime uygun organizasyonel yapılanma ile üretim sistemi tasarlanır. Beş farklı üretim sistemi tanımlanabilir:[1] Sipariş tipi atölye, akış tipi atölye, hücreli üretim, proje tipi atölye ve sürekli proses.

Sürekli proses ayırık parça/ürünlerden daha çok sıvılar, tozlar ve gazlarla ilgilidir. Sipariş tipi atölye(Fonksiyonel düzenleme) çok çeşitli ürünler üreten bir firmada aynı fonksiyona sahip ekipman/makinenin gruplandığı ve parçaların firma içinde çeşitli makinelerden belli miktarlarda geçmek üzere rotalandığı üretim şeklidir. Bu durumda sisteme giren farklı siparişler, alternatif makinelerden boş olanlarda veya boş makine yoksa, makineler arkasında kuyruğa sokulmak suretiyle üretime alınır. Kısaca parça/ürünlerin çok büyük bir kısmı makinelere atanmamışlardır. Makineler için söz konusu olan bu operasyon esnekliği, yüksek makine kullanım oranlarına çıkılmasını sağlar. Ancak bu üretim şekli iş akışının karmaşık olmasına sebep olmaktadır. Karmaşık iş akışı ise uzun imalat sürelerine, büyük süreç içi stoklara, kayıp siparişlere ve düşük kaliteye sebep olmaktadır. Sonuç olarak sipariş tipi atölyede(fonksiyonel düzenleme) karşılaşılan problemleri şu şekilde sıralanabilir:

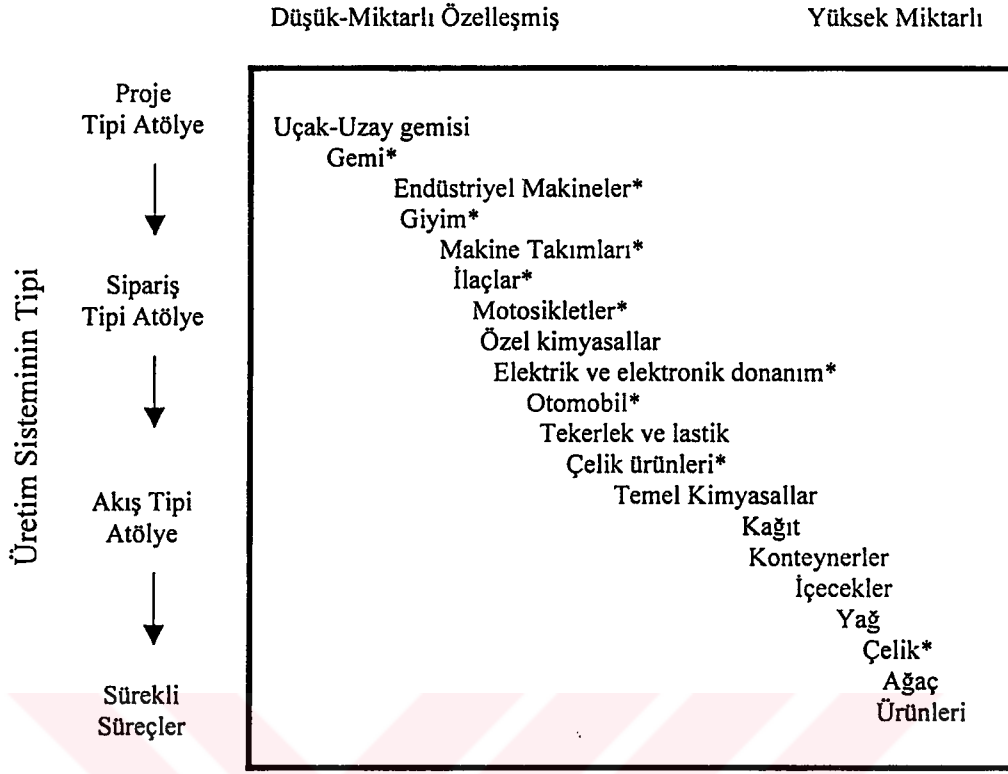
1. Parçaların çoğu gerekli operasyonları tamamlamak için işletme içinde birden fazla bölüme uğramak zorundadır. Böylece her bir bölüm kendi başına bütün parçanın üretiminden sorumlu olmamaktadır. Bu da düşük kalite ve daha uzun imalat sürelerine sebep olur.
2. Atölyede belli bir anda çeşitli parçalar ele alındığından, bir önceki operasyonu bitmiş bir parça, bir sonraki operasyonu için bitişik bir makineye derhal yüklenememektedir. Bu durumda parça için bekleme süreleri ortaya çıkar.

3. Parçaları imalatın çeşitli aşamalarında tanımlamak zor olduğundan, parçaları operasyonlar arasında belirli ara depolarda stoklanır. İlave bir malzeme taşıma maliyeti gelir.
4. Çok sayıdaki parçanın fonksiyonel esasa göre sıralanmış makineye rotalandırılması, pratik olarak etkin bir üretim planlama ve kontrol sistemi kurulmasını engeller. Bu durum daha büyük süreç içi stoka ve teslimatta gecikmelere sebep olur.
5. Bir makinenin çok çeşitli işler için yüklenmesi toplam hazırlık sürelerinin artmasına sebep olur.
6. Uzun hazırlık süreleri parçaların daha büyük parti miktarlarında atölyede hareketini gerektirir. Bu ise daha büyük süreç içi stok meydana getirir.
7. İşgörenler de çok çeşitli parçaları işlemek zorunda kaldıkları için verimlilikleri düşer.

Akış tipi atölye büyük parti miktarlarıyla, özel amaçlı makinelerle düşük çeşitlilikte ve daha fazla mekanizasyona sahip bir üretim ortamı sağlar. Bir motor bloku üreten akış hattı iyi bir örnektir. Proje tip atölyenin en büyük özelliği üretilen nesnenin hareketsiz olmasıdır. İşgörenler, makineler ve malzeme taşınarak üretim alanına getirilir. Köprü, yol, uçak ve gemi üretimi proje tipi atölyeye iyi bir örnektir. Üretim hacmi düşüktür, fakat ürün tipine göre bileşenlerin sayısı ve parti miktarı çok çeşitlilik gösterir. Genelde bir sipariş tipi atölye, proje tipi atölyenin malzeme tedarikini sağlar. Şekil 1.1’de üretilen ürünlere göre üretim sisteminin genel olarak nasıl değiştiği gösterilmektedir.

Hücresel üretim sistemleri temel birimi, benzer parça/ürün ailelerini üretmek üzere bir araya toplanmış makinelerden oluşan, hücre olan ürün-odaklı sistemlerdir. GT parça/ürün ailelerini bulmakta kullanılır ve benzer boyut ve şekle sahip ürünlerin benzer ekipman/makine gruplarında üretilebileceği düşünülür.[5]

Ürünlere Göre Endüstriler

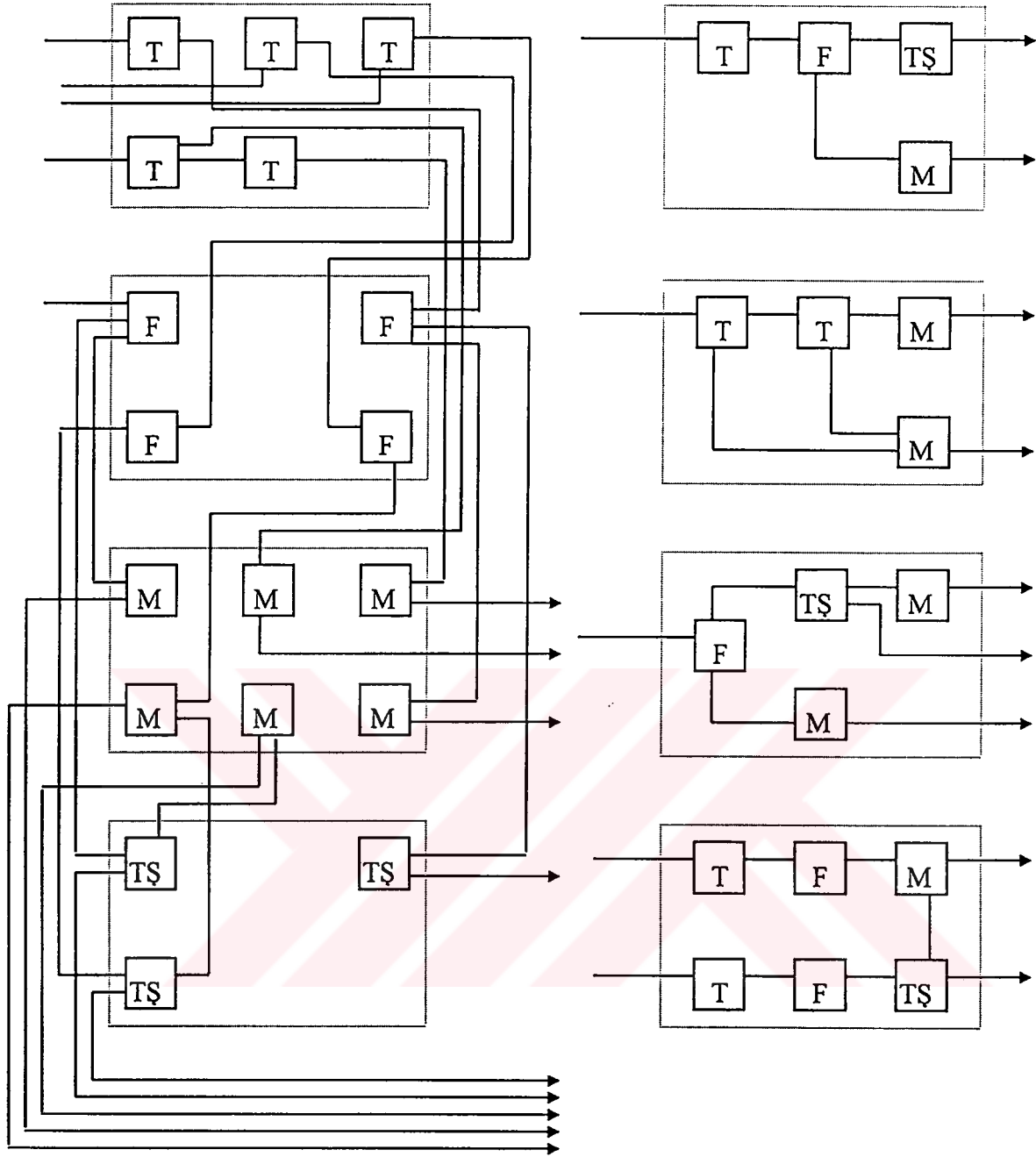


Şekil 1.1. Ürünlerin Değişimine Göre Kullanılan Üretim Sistemi [1]

Böylece GT ile sipariş tipi atölye üretim sistemleri HÜ'ye dönüştürülebilirler. Yeni üretim sistemine geçiş gruplamanın yapılmasının ardından ekipman/makine yerleşiminin değiştirilmesi ile organizasyonel değişimi kapsamaktadır. Dönüşümün başarılı sonuçlar vermesi teknik dönüşümün yanında sosyal/organizasyonel dönüşümün de gerçekleşmesine bağlıdır. Teknik dönüşüm çeşitli aşamalarda birçok teknik, yöntem ve uzmanlık gerektirir. Genelde yöneticilerin hücreli üretim olarak algıladıkları makine/donanım yerleşiminin değiştirilmesidir.(Şekil 1.2)

Özellikle ABD'de, İngiltere'de ve Japonya'da 1970'li yıllardan itibaren kabul görmüş ve bir çok uygulaması yapılmış olan HÜ Türk endüstrisinde de 1990'lı yılların başından itibaren tanınmaya başlamıştır. Türk firmalarının yeni üretim tarzını tanımları ve uygulamaya çalışmaları, ilginçtir ki dünya çapında firmalarla rekabet etmeye başladıkları zamanlara denk gelmiştir.

Akademik çalışmalardan çeşitli sektörlerde HÜ uygulamaları yapıldığı bilinmesine rağmen, Türk endüstrisinin genel durumu daha önce ortaya konmamıştır. Bu çalışma ile geçmişten gelen bu deneyim ve çalışmaların sonucunun fotoğrafı çekilmeye



Fonksiyonel Yerleşim Düzeni

Grup (Hücre) Yerleşim Düzeni

T=Torna Tezg., F=Freze Tezg., M =Matkap Tezg., TŞ=Taşlama Tezg.

Şekil 1.2. Bir Fonksiyonel Üretim Sistemi ve Bu Sistemin Hücresel Üretime Dönüştürülmesi.

alışılmıştır. Hazırlanan anket formunun da yardımıyla firmalara gidilip saha analizleri yapılarak HÜ'nün Türk endüstrisindeki durumu belirlenmeye çalışılmıştır. Geçmişte HÜ projelerinde görev almış personel ve mevcut işğörenler, denetçiler ve firma yönetimlerinden yetkililerle bire bir görüşmeler yapılmıştır.

Saha analizlerinin birbirleriyle karşılaştırılabilir ve eksiksiz olması için çalışmanın belli bir metot takip edilerek yapılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla önce literatür araştırması yapılmış ve dünyada yapılan HÜ uygulamalarının nasıl incelendiğİ değerlendirildiğİ ortaya konmuştur. Özellikle ABD'de yapılan çalışmalarla HÜ uygulamalarının incelendiğİ ve endüstri özelliklerinin ortaya konduğİ görülmüştür.[6,7,8,9,10,11,12] Sadece bir çalışmada Almanya'da yapılmış HÜ uygulamaları da incelenmiş ve ABD'deki uygulamalarla karşılaştırılmıştır.[10] Bu alışmalardaki HÜ uygulamalarını incelemek üzere iki ana yöntem kullanılmıştır:Posta yolu ile anket gönderilip alınması ve saha analizi. Bu çalışmalarda dikkat edilen hususlar da göz önüne alınarak çeşitli sorular hazırlanmış ve HÜ Araştırma Anketi şeklinde derlenmiştir.

Bu çalışmanın birinci bölümünde HÜ'ye dönüşüm sebepleri ve dönüşümün kapsamı üzerinde durulmaktadır. Gerekli olan sosyal/organizasyonel dönüşüm ve teknik dönüşüm hakkında bilgi verilmektedir. Teknik dönüşümün yapılması için kullanılan teknikler konusunda yapılmış literatürde bulunan çalışmalar derlenmiştir.

İkinci bölümde Türk endüstrisinde HÜ uygulamalarının durumunu belirlemek üzere gerçekleştirilen Saha Analizi'ne yer verilmektedir. HÜ uygulamaları şirket içİ gelişim aşamalarına uygun bir sırada incelemeye alınmış ve tüm firmalarda elde edilen sonuçlar beraberce değerlendirilmiştir.

Üçüncü bölümde HÜ uygulamalarının geniş kapsamlı ve planlı çalışma gerektirmelerinden dolayı ortaya çıkan metodolojiler hakkında yapılmış literatür araştırmasını içermektedir. Bir metodoloji takip edilerek uygulamanın gerçekleştirilmesi projeyi başarıya götüren yolda atılmış önemli bir adımdır. Doğal olarak her firmada bulunabilecek farklı şartlar için bir tek metodolojinin geçerli olması veya herhangi bir metodolojiye sıkı sıkıya bağı kalınması doğru olmayacaktır.

Dördüncü bölümde firmalarda gerçekleştirilen saha analizlerinde görülen metotsuz çalışmaların eksikliklerini gidermek için ve kapsamlı bir HÜ metodolojisi geliştirme çabası ürünü olarak gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki metotların incelenmesi sonucu gerek endüstriye ve gerekse bilimsel çalışmalara HÜ uygulamasında katkı sağlayacak bir metot önerilmektedir.

1.1. Hücresel Üretime Dönüşüm

Hücre, belli bir parça ailesini üretmek üzere dizilmiş makinelerden oluşur. Daha geniş kapsamda HÜ'nün hedefi imalat operasyonlarının etkinliğini geliştirmektir (süreç içi stoku azaltmak, üretim kalitesi, ekipman/makine kullanım oranı ve üretim esnekliğini artırmak). Dolayısıyla hücre EİS'yi oluşturan bloklardan birisidir. Hücreler birbirlerine entegre edilip yönetilmelidir. HÜ'nün şu yararları vardır:[6]

1. Sistem aşamalı olarak kurulabilir.
2. İlk ve ikinci oluşturulan hücreler hemen oluşturulup sonra sistem genişletilebilir.
3. Hücre mimarisi imalat sistemini oluşturmada kolaylık ve esneklik sağlar.
4. Dinamik olarak yeniden tasarlanabilen hücrelerin performansı elverişli ekipmanın daha iyi organizasyonu ile geliştirilebilir.
5. Yerel bilgisayar ağları da bu yapıya kolay uyum sağlar.

HÜ süreç içi stok, malzeme akış süresi ve hazırlık sürelerini düşürmektedir. Bu da daha küçük parti miktarlı üretime olanak verir ve imalatçılara değişen çevreye uyum sağlamalarında etkili ve etkin şekilde yardımcı olur.[13] Süreç içi stokun azalması TZÜ'nün uygulanmasını sağlar. Black'in vurguladığı gibi malzeme, toplam imalat süresinin %5'ini operasyon bölgesinde geçirmektedir. Bu sürenin %1,5-2'sini işleme sırasında geçirirken yaklaşık %3'lük kısmını makine üzerinde işleme dışındaki işlemler sırasında geçirmektedir.[1] Kalan %95'lik süre parçanın atölyede hareketi ve diğer operasyonları beklemesi içindir. Atölyeden atölyeye çeşitli varyasyonlar olsa da bunun yerleşimden kaynaklandığı bilinmektedir.

Fonksiyonel yerleşim benzer makinelerin gruplanmasından oluşan klasik yaklaşımdır. Uzun temin süresi, yüksek süreç içi stok, uzun malzeme hareket mesafesi ve malzeme hareket sıklığı ana problemlerdir. Düşük çeşitlilikte ve yüksek talep hacmi olan ürün grupları için uygulanır.(Tablo 1.1)

Güvenlik, makine kapasitesi, hücre büyüklüğü, parça karışımı ve sosyal etki çok düşünülmeyen pratikte karşılaşılan kısıtlardır.[14]

Üretim değişkenlik sebepleri parça karmasının değiştirilmesi, parti miktarı değişiklikleri, teslim tarihi değişiklikleri ve hazırlık gereksinimleridir.

Hücre seviyesinde çizelgeleme gereklidir. Süreç içi stok, temin süresi, planların gerçekleştirme oranı, kalite performansı, hücredeki makine sayısı ve hazırlık süresi üzerine özel olarak eğilmek gerekir.

Başarılı HÜ uygulamaları için ana faktörler:

1. Bütün seviyelerde katılım ve sahiplenme.
2. Takımın eğitimi/esnekliği
3. Açıkça belirlenmiş sorumluluklar/yükümlülükler
4. Detaylı planlama
5. Hücrenin müşteri/tedarikçi olarak rolünün anlaşılması
6. Hedeflerin iletişimi ve ortak zeminde olması
7. Basit performans hedefleri
8. Hücrenin toplam olanağının belirlenmesi
9. Alt seviyede yeterli kontrol

En başarılı %10'luk dilimde bulunan şirketler 1, 2 ve 6'ya yoğunlaşmıştır. Bu şirketler yatırımlarının %40'ını insana yapmışlardır. Bir çok firma pilot uygulama yapmıştır. Ayrıca sorunları hücrenin çözmesini beklemektense daha iyi makine ve bakım desteği ile artırılacak danışmanlık ve iletişim çok etkilidir.

Uygun olarak tasarlanmış bir HÜ sistemi bir firmaya genel olarak şu yararları sağlar:

- Verimliliği artırır.
- Kaliteyi geliştirir.
- Dolaylı işgücünü azaltır veya kaldırır.
- Malzeme akışını basitleştirir.
- Daha az yönetim gerektirir.
- Çalışanların kendine güvenini artırır.
- Birikerek gelen düzensizlikleri en az indirir.
- Karar-verici takımlara olanak tanır.
- Firmada diğer sistemlerle bütünleşebilen bir modül yaratır.

Dönüşüm iki ana kısımda incelenebilir:

1. Sosyal, Kültürel ve Organizasyonel Dönüşüm
2. Teknik Dönüşüm

1.2. Sosyal, Kültürel ve Organizasyonel Dönüşüm

Hücrel Üretim konusunda yapılan araştırmalar fonksiyonel yapının hücrelere dönüşümü ile ilgili teknik konulara odaklanmıştır. Bu teknik sorunlar sınıflandırma metotları, fiziksel yerleşim, hazırlık süresinin azaltımı metotları, malzeme akışı tasarımı gibi konulardadır. Özellikle hücrel üretimin insanî ve sosyal yanı hakkında araştırmalar çok azdır.[15]

Bu konuda Fazakerley (1974, 1976), Brown ve Mitchell (1991), Huber ve Hyer (1985), Huber ve Brown (1991), Wemmerlöv ve Hyer (1987) çalışmalar yapmışlardır.[15] Sosyo-teknik sistem teorilerine göre HÜ uygulamalarının optimizasyonu için teknik ve sosyal sistemlerin tamamlayıcı olması gerekir. Sosyal sistemin değişimini teknolojik gelişmeler organizasyonun insan kaynakları sistemi

aracılığıyla etkilemektedir. Planlama, iş analizi, seçim, eğitim, ödüllendirme yapıları, çalışan ilişkileri uygulamaları HÜ dönüşümünün başarısında ve işgören davranışlarında, hatta iş hayatı kalitesinde etkilidir.

Bu insan kaynakları uygulamaları 9 sosyo-teknik sistem prensibini –uygunluk, minimum kritik özellik, sosyo-teknik kriter, bilgi akışı, çok fonksiyonluluk prensibi, sınırların belirlenmesi, destek uygunluğu, insani ve tasarım değerleri ve eksiklik– elde etmeye destek olur.[15]

Bir organizasyonun sosyal sistemi, organizasyonda ve aralarındaki belli ilişkiler aracılığıyla çalışan insanlardan oluşur. Daha geniş bir ifadeyle sosyal sistem organizasyonel üyelerin organizasyonda çalışma sebeplerini, organizasyondaki davranışlarını, ondan beklentilerini, yönetici-çalışan ilişkilerini, işgörenlerin yetenek seviyelerini ve insan alt gruplarının yapısını içerir.[15]

Bir organizasyonun teknik alt sistemi, organizasyondaki görevleri yerine getirmek üzere üyelerin kullandığı teknikler, prosedürler, yetenekler, bilgi ve cihazlardan oluşur. Teknolojik yapı sosyal sistemin davranışlarıyla yerine getireceği işler düşünülerek organizasyon tasarımcıları tarafından seçilir ve oluşturulur. Sosyal sistem üyeleri için sağlanan çeşitlilik, bilgilendirme, kontrol, karar verme ve bütünleşme seviyesi teknoloji düzenleyen bir etkidir.

Bu iki tanım beraber ele alındığında görülecektir ki bir sistemin teknik yerleşimini veya düzenlemesini değiştirmekle aynı zamanda çalışanların ve onların yöneticilerin sosyal etkileşim yapısını da değiştirmiş oluruz. Bu sosyal değişiklikler özen gerektirir, çünkü işgören davranışlarını motivasyonu ve katılım derecelerini etkilerler.

Shafer et al (1995) yaptığı çalışmada hücrel üretimde ve fonksiyonel düzenlemeye sahip sipariş tipi atölyelerde işgören davranışları üzerindeki etkisini araştıran bir çalışma yapmıştır. HÜ'nün olumlu etkileri, iş yapısını değiştirmesinden dolayı, iş memnuniyeti ve organizasyonel katılım/üstlenmedir.[16]

Bu HÜ ile değişken davranışların ve karmaşık ilişkilerin önerilmesi demektir. HÜ işgörene daha fazla işyükü yüklemekte ve bazı işgörenler uyum sağlamakta güçlük çekmektedirler.[16]

Fazakerley (1974) 5 farklı kategoride personel problemlerini sunmuştur:[16]

1. Belirsizlik ve güvensizlik,
2. Yönetim tarafından GT prensiplerinin eksik anlaşılması,
3. Hücrelerde grup ruhunun eksikliği,
4. Daha çok tamamlayıcı ve daha az yaratıcı olma eğilimi,
5. Maaş sistemi ile ilgili problemler.

Firmalar teknolojik organizasyonu sağlamak açısından parça/ürün ailesini ve bunları üretecek makine gruplarını belirledikten sonra fonksiyonel yerleşimlerini hücresel yapılar haline getirirler. Son aşama bu hücrelere işgören atamalarının gerçekleştirilmesidir. Genelde tek makinede çalışan işgörenler artık hücre operatörleri olarak çoklu-işlerden sorumlu farklı kabiliyetlere sahip kişilerdir.

Ürünlerin mümkün olan en kısa zamanda üretilmesi gereği nasıl parça/ürün aileleri oluşturuluyorsa, yeteneklerine göre işgörenler de gruplanırlar. Teknolojik reorganizasyonun organizasyonel olarak desteklenmediği sürece başarılı olamayacağı veya tüm faydalarını sağlayamayacağı açıktır.[17]

Hücrelerin organizasyonunda iki faktör etkilidir:[17]

1. Grup çalışması: Yüksek yetenekli ve hücredeki tüm operasyonlardan sorumlu tutulabilecek şekilde dönerek çalışan işgörenler.
2. Kalite kontrol, programlama ve planlama gibi dolaylı fonksiyonlar hücre içinde gerçekleşmektedir.

Sonuç olarak otorite desentralize olmuş ve işgörenler daha fazla görev yerine getirmek, hatta farklı makineleri kullanmak üzere eğitilmiş olmalıdır. Farklı ürün/parça bileşenlerinin hücrede işlenmesi sonucu sahip olduğu bu farklı yetenekleri seyrek olarak kullanmaktadır.

Sosyo-teknik Sistem

Firmalar kavramsal olarak iki ayrı seviyede düşünülebilirler:

1. Donanımlar ve süreçler aracılığıyla girdilerin çıktılara dönüştürüldüğü ‘fiziksel yapılar’ ve
2. Teknik sistemi yönetmek ve işletmek için gerekli bireysel ve grup yetenekler, rutinler, bilgilerden oluşan sosyo-teknik sistem.

‘Ortak optimizasyon’ için sosyal ve teknik değişiklikler tamamlayıcıdır. Sosyo-teknik sistemin kuruluşu şu aşamalardan oluşmaktadır:

1. Hücrelerin fiziksel yapılandırılması gerçekleştirilir.
2. Hücrede çalışacak personel sayısı belirlenir.
3. Organizasyonel durum belirlenir (hücre yönetim tipi). İdeal olan hücrelerin kendi içinden yönetilmesidir.
4. Uygun ödeme yapısı oluşturulmalıdır.

İşgörenin bölümüne ve ödeme yapısına bağlı olarak işgörenlerin yetenek seviyesi ve eğitim ölçüleri. Böylece işgörenlerin mevcut ve planlanan seviyeleri hakkında bilgi sahibi olunur.

Hyer ve Wemmerlöv’ün (1989) çalışmasında Amerika’da hücre uygulamaları esnekliğini artırmaktansa verimliliği artırma hedeflidir. Çalışmaya göre ABD’de “esnek kitle üretimi” uygulanmaktadır, fakat hücre yapısından gelen (temin süresi düşmesi ve dolaylı olarak çalışan sayısının azalması, farklı makineler) esneklik kendisini göstermektedir. Yüksek parti miktarlarında, sabit talep ve düşük çeşitlilikte üretim yapılmaktadır.

Almanya’da ise temin süresini kısaltmak hedeflenmiştir. Düşük parti miktarlarında, sabit değişim ve yüksek çeşitlilik ortamında farklılaşmış kalitede üretim yapılır. Esneklik hedeftir. Tüm parçanın bir hücrede işlenmesi genelde “ısıt işlem” sebebiyle iki ülkede de pek yaygın değildir

Organizasyonel faktörlerin iki yönü vardır:

1. Yönetim seviyesi
2. Yürütülen görevler

Kendisini yöneten takımlar istense de pratikte uygulanamadığı görülmüştür. ‘Çalışan Katılımı’nı grup kararlarının verilmesinde sağlamak için çalışmalar yapılmasına rağmen bilinen etkisi çok az sendikanın desteklediği şeklinde olmuştur. Sendikalar atölyede oluşturdukları bölünmezlik ile istemez bir duruma gelmişlerdir. Kendisini yöneten veya yöneticisiz hücre hedefinden uzak olmasına rağmen, bazı firma yöneticileri otoriteyi atölyeye dağıtmaya (desentralizasyon) başlamıştır. Bu düşünceyle “dolaylı çalışanların sayısı ve statüsünde bir azalma olmuştur. Hatta bazı firmalar yönetim seviyelerini kaldırmışlar, bazıları da mühendislerin, ofislerin atölyeye taşınmasını teşvik ederek işgörenlere yakın olmalarını sağlamışlardır. Kendisini yöneten takımların başarısı, işgörenlerin hücre teknolojisini artan bir şekilde kabul etmelerine bakılırsa uzak değildir.[17]

Almanya’da ürün çeşitliliği ve kalitesi çok daha fazla önde olduğundan yüksek yetenekli ve organizasyonel olarak da gruplandırılmışlardır. Hatta hazırlık ve operasyon için farklı işgörenler çalışmaktadır. Bir yönetici ve bir formen tarafından yönetilirler.

Amerika’da 2-3 hücreyi bir yönetici yönetirken, yönetici hücre içine pek fazla girmeyerek işgörenlerde sahiplik duygusu yerleştirilmeye çalışılır. Zamanla hücre operatörleri hücre sahipliğinden ve onlara getirdiği daha büyük sorumluluktan gururla bahsederler. Bazen işgörenler fazla sorumluluktan şikayetçi olurken, genelde işgörenler hücrede çeşitli işleri gerçekleştirmekten duydukları mutluluktan bahsederler. Hücrelere başlangıçta olan direnç zamanla azalmakta ve bu direnç reforma imkan tanıyan desteğe dönüşmektedir. Sendikalar da buna benzer şekilde işgören yönetimi programlarına destek olmaya başlamışlardır.

Amerika’da işgörenler işerin kalitesinin artmasından çok sayısının artmasıyla karşılaşmışlardır. Çoklu-işler çoklu kabiliyetlere sahip olmak değildir. Sendikalar özel olarak yetenek eksikliği üzerinde durmuşlar ve firmanın üretim hacmi arttıkça hücrelerin hız arttırma aracı olarak görüldüğünü belirtmişlerdir. Bu durum, makine

ve işgören sayısını artırmakla ya da fazla mesai ile karşılanabilir. Fazla mesai (hücrede fazla sayıda makine olması veya basitçe fazla mesai) tartışılacak bir konudur.[17]

İşgörenlerin katılımını sağlamak imalat sistemin başarıya götürür, çünkü hücre bağımsız bir birimdir. Bunu sağlamak için kalite çemberi iyi bir araçtır. Motivasyon ve katılımı en düşük maliyetle artırmayı sağlar.[20]

Hücrede iş delegasyonu sürekli ve yakından izlenerek grubun çalışması iyileştirilmelidir. Çin'de yapılan bir araştırmada, firmaların işgörelere düşük kalitede ürün üretmenin sonuçlarını zor anlatabildiği ve bu bölgede sendikal faaliyetlerin zayıflığı nedeniyle dönüşüm projelerinin önünde direnişin az olduğu ortaya konmuştur.[20]

İşgörenlerin artan yetenek gereksinimleri üzerinde etkileyici sözler söyledikten sonra, aslında bir gerçektir ki yüksek yetenek gerektiren işler hücre dışında yapılmaktadır. İşgörelere daha fazla yetenek beklenen Almanya'daki işgörelere parça program gibi işleri yapmamaktadır. İşgörelere daha fazla yetenek beklenen Almanya'da işgörelere parça programı gibi işleri yapmamaktadır. İşgörelere yüksek parça maliyeti sebebiyle yapabilecekleri işleri yapmayıp üst yönetime bırakmaktadırlar. Sosyal ve politik olarak işgörelere eğitmek ve yetenekleri geliştirmek düşünülmektedir. İşgörelere yeteneklerini tam olarak kullanmaları yönünde motive edilmesi de önemli bir adımdır.[17]

Braverman (1974), Kelley (1989) vb. birçok araştırmacının işgörelere, in atölye programı yapmasını yeteneksizlik olarak görmesi dar bir görüştür. Programlama işgörelere görevlerinden sadece bir tanesidir ve ortalama bir işgörelere için zor bir görevdir. İş rotasyonu ile bu sorun çözülebilir. İşgörelere hücre içi veya hücreler arası çok fazla dolaşım yapmazlar, ödeme sistemleri veya eğitim esnekliğinden kaynaklanan şekilde, aslında hep dolaşım yapmayı da sevmezler. Hücrede farklı ara yüzlere sahip farklı makinelerin kalması da dolaşımı zorlaştırır. Farklı ülkelerdeki firmalar işgörelere, ortalama olarak en fazla 3-4 makine arasında rotasyon yapacak şekilde eğitilebildiklerini belirtmişlerdir. Buna rağmen bilgisayarlaşan teknoloji ile artan sorumluluklara özel dikkat göstererek işin tümüne bakmak gerekir. Bir işgörelere gerçekleştirdiği yeteneklere/görelere ve bunların zamanla nasıl değiştiğine

odaklanmak, parça programlama gibi kısmi işlere odaklanmaktan daha doğru olacaktır.

Teşvik edici ödeme sistemleri hücre uygulamalarında birçok problemle karşılaşmaktadırlar. Bu durum çeşitli şekillerde kendisini gösterir. İlk olarak dolaylı görevleri işgörenin görevi haline getirmek zordur. İkincisi, önceden de belirtildiği gibi, teşvik sistemi diğer ödemelerle birleştirilebilirse doğru çözümler üretebilir.

Yeni birleştirici uygulamaların merkezinde işgöreni ürettiği ürünün kalitesinden sorumlu tutabilme ve dolaylı maliyetlerin bu görevleri işgörenin omuzlarına yükleyerek azaltılabilmektedir. Uygulamada, hala kaliteye daha az önem vererek işgörenler verimliliğin artması üzerinde çalıştırılırlar.

Amerika'da firmalar 'kazanç paylaşımı' gibi yeni ödeme şekilleri denemektedirler. Çok konuşulmasına rağmen 'bilgiye ödeme' rastlanan bir durum değildir. Almanya'da böyle yeni veya yok. Sebebi Amerika'da hızlı Almanya'da yavaş değişim isteği. Yine de firmalarda mavi ve beyaz yakalıların maaşlarını yakınlaştırmak için yeni ödeme şekilleriyle DSİ çalışmaları vardır.[17]

En bariz şekilde global rekabetten kaynaklanan, benzer değişim baskılarına, farklı kültürel tepkilere rağmen, farklı ülkelerde benzer şekilde cevap verilmekte ve hücreli üretim tercih edilmektedir.

Sendikalar da artık değişimi kabul etmişlerdir. Bu yönetim stratejileriyle birleştiğinde şirketin pazarda rekabet gücü ve iş güvenilirliği artmaktadır. Fakat uygulamada, yapısal eksiklikler sonucu ekonomik krizle karşılaştığında kolay bozguna uğrayabilir. Almanya'da ise sağlam temellere oturan yavaş değişim uzun gelecek vaatmektedir.

1.3. Teknik Dönüşüm

Bu bölümün başlangıcında teknik dönüşüm için kullanılan tekniklere kısaca değinildikten sonra detaylı bir şekilde literatürde olan tekniklerin odak noktalarını incelenecek ve karşılaştırmalı tablolara yer verilecektir.[18]

Parça/ürün ailesi belirlemede kullanılan çeşitli teknikler vardır: 1.Görsel inceleme 2.Sınıflandırma ve kodlama teknikleri 3.Üretim akışı analizi 4.Küme teorisi algoritmaları 5.Matematiksel programlama 6.Maliyet tabanlı algoritmalar 7. Genetik alg. 8.Yapay zeka.[7, 13, 19]

Görsel inceleme en ucuz tekniktir. Bir insan incelemeleri ve tecrübeleri neticesinde ürün/parça ailesini ve ilgili makineleri belirler. En kötü sonucu veren yöntem olarak düşünülse de çok başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Kodlama ve sınıflandırma sistemleri tasarım temelli olup üretimle entegre hale gelememiş olabilirler. Karmaşıktırlar ve zaman alırlar. Dolayısıyla parça ailesini tanımlamakta yetersiz kalır. Üretim Akış Analizi(ÜAA) işletmedeki malzeme işleme ağı için temel veriyi oluşturur. İki çeşit permutasyon kullanır:1.Matris manipulasyon algoritmaları 2. Benzerlik katsayısını temel alan algoritmalar. ÜAA parça ailelerini ve makine gruplarını belirlerken bağ enerjisi, gruplama etkinliği, gruplama etkililiği, gruplanabilirlik endeksi ve kalite endeksi gibi modellerle gruplamanın etkinliği belirlenir. Her nasılsa, işleme süreleri, hazırlık süreleri, ürün çıkış süreleri, parça miktarları ve makine kapasitelerini sistematik olarak dikkate alan bir metot yoktur. Parça-makine matrisi sağlam bir ilişki verse de makine yerleşimi, parçaların hücreye giriş özellikleri dikkate alınmadan düşünülmemelidir.[18]

Hücreyel imalat için parça makine gruplama tekniklerine ait üç ana sınıf tanımlanmıştır(Şekil 1.3):[18]

- Görsel muayene
- Parça sınıflandırma ve kodlama
- Üretim proseslerinin analizi

Sonuncu yaklaşımla ilgili olarak varsayımlar, karakteristikler, ana özellik ve sonuçlara göre sınıflandırma yapılmıştır. Çeşitli modellerin kapsamlı bir taraması ve tartışmaları yapılmıştır. Model varsayımları ve karakteristikleri tablo olarak özetlenmiştir. Gelecek araştırmalar için yönler verilmiştir.

Görsel muayene esaslı metot

Parça geometrilerine göre parça ailelerini kurar ve parçaları aileler olarak düzenler. Analist, parçaları kolayca gözden geçirir (deneyimlerine dayanarak) ve uygun grupları belirler. Her ne kadar nispeten ucuzsa da bu yaklaşım, kullanıcının deneyimlerine ve uzmanlığına bağlı kaldığı için hataya müsaittir ve pratikte, küçük

sayılı parçalar hariç, nadiren kullanılır. Burbidge (1971) bu metodun 2000 elemanlı büyük makine parça gruplama probleminin çözümünde kullanıldığını rapor etmiştir, fakat bu iddia oldukça optimisttir.[5]

Parça karakteristiğine dayalı sistemler

Bu metot, parça ailelerini belirlemek için parça karakteristiklerini kullanır. Bilindiği gibi Parça Kodlama ve Sınıflandırma Analizi (KSA), parça karakteristiklerine sayısal ağırlıklar atamak için bir kodlama sistemi kullanır ve parça ailelerini bazı sınıflandırma şemaları kullanarak tanımlar. Bu sistemler GT ve HÜ literatüründe fazla bilinmezler.

Kaparthi ve Suresh (1991), KSA sistemlerinin popüler olmayışını işgücü yoğunluğuna bağlamakta ve otomatik olarak tahmin edilmesini öne sürmektedir.

Kusiak (1987), bu inancı şöyle tekrarlamıştır: problem kodları ve sınıflandırma sistemlerinin uygulamasında karşılaşılan zorluk ve maliyet nedeniyle çıkmaktadır.

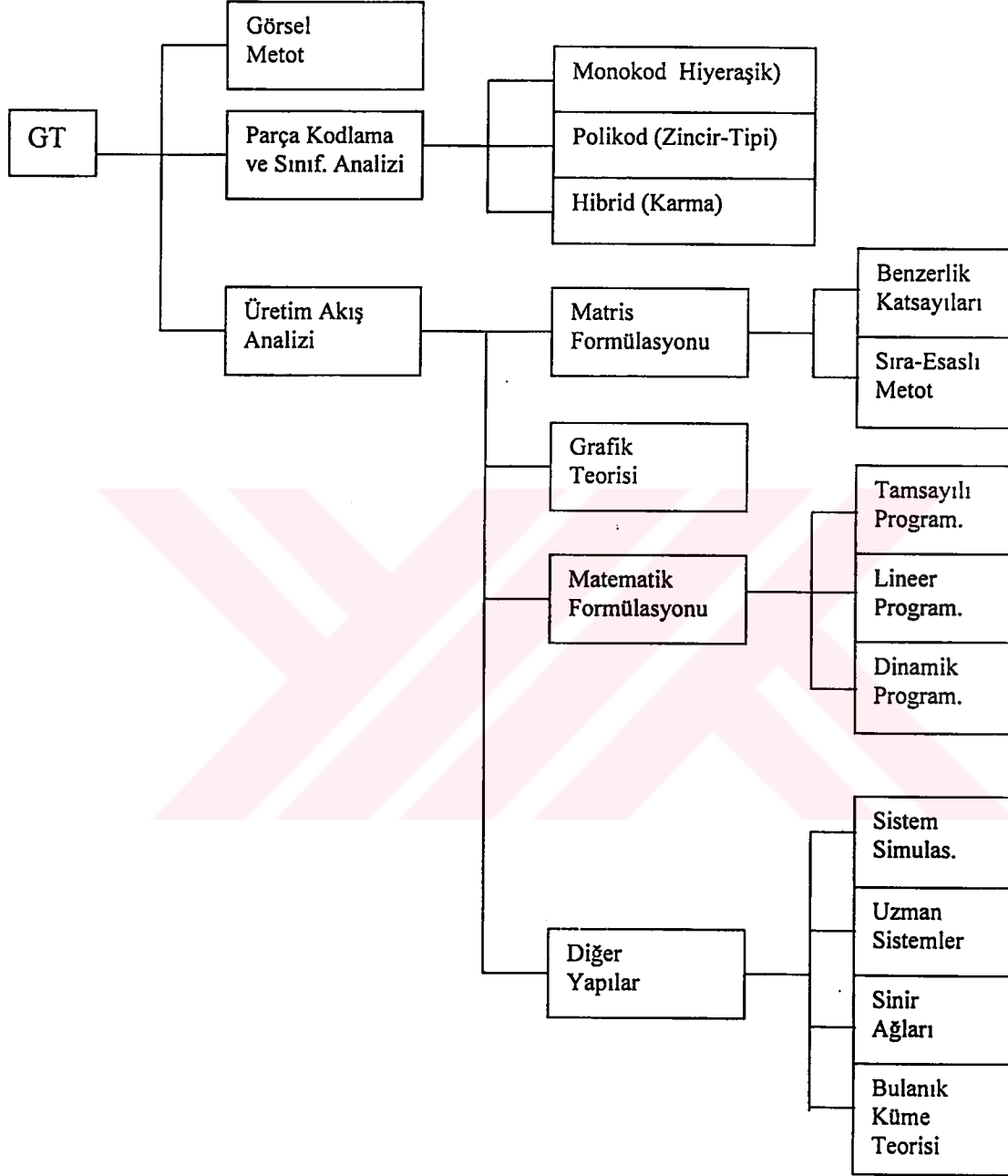
Hyer ve Wemmerlöv (1989) ve Levuhis (1978) aksini iddia etmektedir. Örneğin, Hyer ve Wemmerlöv (1989), araştırdıkları firmaların % 62' sinin KSA kullandığını rapor etmiş, ayrıca KSA'nın ağırlıklı kodları ile grupları bulmanın probleminin KSA'ya dayalı sistemleri kullanan gruplama algoritmalarının yavaş gelişimi için olası sebeplerden biri olabileceğidir.

Offodile, KSA'ya ait ağırlıklı kodları, benzerlik ölçüsüne dönüştürmek için bir çerçeve önermiştir.[18]

KSA'yı esas alan sistemler, geleneksel olarak tasarıma yönelik veya şekle dayalıdır. Ve eleman çeşitliliğini azaltmak için idealdir. Bazı KSA sistemleri, örneğin Opitz (1970), üretim esaslı kodları ilave (bütünleyici) kodlar olarak dahil eder ve üretim planlaması için kullanılabilir. GT'de ilk parça karakteristiğine dayalı sistemler 1960'lar ve 70'lerdedir.

Parça karakteristiğini esas alan sistemler, parça ailelerini, parça tasarım özelliklerine göre, örneğin şekil, boyut ve toleranslarına göre, kodlayarak oluştururlar. Pek çok kodlar sistemi geliştirilmiştir. Tasarım özelliklerine göre kodlama kavramı Mitrofanov (1966) tarafından tanıtılmıştır. Opitz, Eversheim ve Wiendhal (1969), Opitz ve Wiendhal (1971) daha sonra bu fikri üretim hücreleri için genişletmişlerdir.

Opitz (1970), iş parçaları için kapsamlı bir kodlama ve sınıflandırma sistemi geliştirmiştir. Parça gruplama için diğer teknikler: SAGT ve MICLASS' tır. KSA dayalı sistemler üç gruba ayrılır: monokod, polikod veya hibrid. Hyer ve Wemmerlöv(1989), Gallagher, Southern ve Knight (1973) bu konuda çalışmışlardır.



Şekil 1.3. Grup Teknolojisi İçin Taksonomik Bakış Çerçevesi

Üretim Prosesi Esaslı Sistemler

Amaç, parçaları ortak proses ihtiyaçlarına göre tanımlamak ve gruplamaktır. Üretime yönelik sistemlerin çoğu ve ürün akış analizi sistemleri (ÜAA) parça ve işlendikleri makineler arasındaki ilişkileri kaydetmek için rota föyleri kullanır. Bu metot,

kurucusu Burbidge (1971) ile popüler olmuştur ve ilk veri toplama aşamasından sonra aşağıdaki üç sırasal prosedürü içerir:

1. Paketlerin Hazırlanması: Analiz edilen bütün parçalar gerektirdikleri prosesleri belirlemek için ayıklanırlar ve her birine paket numarası verilir. İleri uygulamalarda bu aşama yapılmaz ve parçalar ÜAA şeması yaratmak için kullanılabilir.
2. Üretim Akış Analizi Şeması: Parçaların imal sıralarını ve makinelerin iş yüklerini inceleyerek bir parça-makine ilişki matrisi belirlenir. Parça makineden geçiyorsa 1, aksi takdirde 0 alınır.
3. Analiz: ÜAA şeması, makine ve parça gruplarını belirlemek için yeniden düzenlenir. Bu proses öznel ve zordur, özellikle de büyük matrisler için. Ayrıca, grupların mükemmelliğini değerlendirecek bir esas sağlamaz, fakat gruplama prosesinin en can alıcı kısmıdır. Bu problemi yumuşatmak için bazı sistematik metotlar geliştirilmiştir (benzerlik katsayısı vb.).

Literatürde yapılmış parça/makine gruplama metotlarını inceleyen dört çalışma bulunmaktadır: King ve Nakornchai (1982), Mosier ve Taube (1985), Wemmerlöv ve Hyer (1986), Chu (1989). King ve Nakornchai (1982), var olan makine eleman grup formasyonu literatürünün kapsamlı bir gözden geçirmesini yapmıştır. Derece Sırası Sınıflandırma (ROC) algoritmasını, depolama ve hesaplama karmaşıklığı problemi ile ilgilenerken genişletmişlerdir. Mosier ve Taube (1985), literatürü dört araştırma grubuna ayırmışlardır: parça kodlama ve sınıflandırma, makine-parça gruplama, GT ortamında çizelgeleme, GT uygulama. Wemmerlöv ve Hyer (1986), hücreyel imalatla parça-makine ailesi oluşturma problemine ait etkili bir bibliyografya sunmuşlardır. Tamamı, 70' den fazla GT ile ilgili çalışmaya atıfta bulunmuş ve makine ve/veya parça ailelerinin nasıl oluşturulduğuna göre kısımlara ayırmışlardır.

Chu, HÜ için kapsamlı bibliyografi sunmuş literatürü tasarım ve üretime yönelik olarak kısımlandırmıştır. Üretim yönelik olanı ayrıca sırasal, hiyerarşik olmayan, matematiksel, graf-teorik ve sezgisel yaklaşımlar olarak kısımlandırmıştır. Ayrıca yazar, sınıflandırma kriterlerini ve performans ölçüsünü dikkate alarak bir sınıflandırma yapmıştır.

Ne King ve Nakornchai (1982), ne de Mosier ve Taube (1985) yaygın ve kesin bir taksonomik inceleme çerçevesi sunmuştur. Wemmerlöv ve Hyer (1986), Chu (1989) bir taksonomik çerçeve sunmuşlar, fakat hiçbirisi üç kademeli yaklaşım sunmamışlardır. Son olarak geçmiş on yılda literatürde hızlı bir gelişme, daha kapsamlı bir inceleme ihtiyacı olduğunu ileri sürmektedir.

Her ne kadar bütün incelemeler taksonominin bazı elemanlarına sahip olsalar da vakitlilik veya yaygınlık bakımından eksiktirler. Chu'nun (1989) incelemesi zamanlıdır, fakat taksonomik çerçevede listelediği yayınların her birinin geniş bir incelemesi yoktur. King ve Nakornchai (1982), atıfta bulundukları her makalenin geniş bir incelemesini yapmışlar, fakat çalışmaları, araştırma miktarı açısından yeterli değildir.

1.3.1 Varsayım Bölgesi

5-seviyeli çatının birinci seviyesi çatının gerçekçiliği veya analistin çözülecek problemi algılamasıdır. Bu algılama, analisti, problemi formüle etmesi ve çözmesi için kullanacağı varsayımlara yönelir. Bazı varsayımlar geneldir, bazıları ise özel. Genelde, varsayımlar, modellerin yapısal çizelgeleri boyunca bölünürler. Örneğin, matematiksel modeller sık sık gruplanacak parça ve makinelerin sayısının ve oluşturulacak grup sayısının bilindiği ve mevcut olduklarını varsayarlar. Burada, tartışmayı kolaylaştıracak varsayımlar listelenmiştir. Uygun görülürse varsayımlar, alt bölümlere ayrılabilir:

1. Yerleşim Tipi: Düz hat, Dikdörtgen, Kare, Daire, Rastsal
2. Hazırlık Süresi:
 - 2.1. Mevcut değil
 - 2.2. Mevcut: Sıra bağımlı veya Sıra bağımsız.
3. Makine sınıflandırma İhtiyaçları:
 - 3.1. Karşılıklı Ayrılabilir
 - 3.2. Kısmen Ayrılabilir: Makine artırma(duplication), Parça fason üretimi, Her ikisi

4. Talep Yapısı: Bilinen (Zamandan bağımsız), Bilinmeyen (Zaman bağımlı)
5. Planlama Ufku: Sonlu, Sonsuz
6. Parti Miktarı: Hücre Başına Sabit ve Eşit, Değişken
7. Üretim Akış Politikası: Geri İzlemeye izin Verilen, Verilmeyen
8. Makine Tipi Başına Makine Sayısı: Bir, Birden Fazla
9. İşleme Süreleri: Belirli, Olasılıksal

Bir GT hücresinde makine düzenlemesinin genellikle dairesel olduğu düşünülür, fakat hat, dikdörtgen, kare, rastsal gibi diğer yerleşim durumları da belirtilmektedir. Dairesel yerleşimin avantajları; makineler arası yürüme mesafelerinin çok kısa olması işgücünün daha fazla makineyi nezaret etmesi olarak sayılabilir. Fazakerley (1976), Şu faydaları saymıştır: işgören esnekliği, sosyal grubun önemi, azalan hayal kırıklığı, gelişen statü ve iş güvenliği.

Burada gözden geçirilen modellerin çoğu, bir üretim ailesi için uygun makine-parça gruplarını bulma problemi ile ilgilidir ve gerçek imalar proses faaliyetlerini (çizelgeleme, parti miktarı gibi) dikkate almamaktadır. Sonuç olarak, hazırlık süreleri modellerin sadece birkaçında vardır. Hazırlık süreleri sıra bağımlı veya sıra bağımsız olabilir. Sıra bağımlıda parçanın proses sırası önemlidir., diğerinde değildir.

Makine-parça sınıfları karşılıklı ayrılabilir olduğunda, bir makine/parça, sadece ve sadece bir makine/parça ailesine aittir, kısmen ayrılabilirlikte birden fazla aileye ait olabilir. Kısmen ayrılabilirlik(istisnai elemanlar), hücresel imalat sisteminde etkin olmayan operasyonla sonuçlanır ve hücre etkinliğini arttırmak için makineler ya artırılır edilir ya da parçalar fason üretilir veya her ikisi uygulanır. Bir makine üzerinde büyük sayıda parçalar işlenmesi gerektiğinde veya parçalar birden fazla hücrede işlenmeyi gerektirdiğinde istisnai elemanlar ortaya çıkar. Büyük miktarda parçanın bir makineyi gerektirmesi durumunda kapasite kısıtlıdır ve tıkanıklığı gidermek için darboğaz makinelerin artırılması sağlanır. Bazı modeller ya istisnai elemanların fason üretilmesi ile ya da var olan bir gruba ait olmalarını zorlayarak sınıflarda homojenliğe ulaşırlar, fakat, belli bir gruba dahil etmeye zorlama hücrelerde etkin olmayan operasyonlara neden olur.

Makine-parça gruplama problemlerinin pek çoğu, eleman talebinin bilindiği ve planlama dönemi için sabit olduğunu varsayan durumlarla ilgilidir. Bu varsayımın bir istisnası, Seifoddini (1990) tarafından sunulan olasılıksal modeldir.

Çizelgeler, makine gruplarının üretim ihtiyaçlarının belirlenmesinde ele alındığında, bir planlama ufku dönemi kabul edilir ve kesikli veya sonsuz olabilir (çizelgenin tekrarlanılabilir olup olmadığına göre).

Üretim parti miktarı ya tüm hücrelere karşı sabit olabilir ya da elemanların teknolojik ihtiyaçlarına göre değişken olabilir. İlk varsayım, ikinciye göre daha sık kullanılır ve tam zamanında üretim ortamında benimsenen bir politikadır.

Bir parça bir hücreyi terk ettiğinde, bu hücreye geri dönme şansı ya hiç yoktur ya da çok azdır. Fakat çeşitli hücreler içinde, özellikle hücre içi malzeme iletim maliyetleri ihmal edilecek kadar olduğunda, parçaların işleme sırası kendi çizelgelerini belirler.

Genellikle gruplama problemi $m (\geq 2)$ makineyi içerir ki bu makinelerin makine tipi başına bir veya daha fazla kopyası vardır. Her bir parça üzerinde her bir operasyon için her makinenin işleme zamanında bilindiği veya olasılığa dayanarak değiştiği varsayılır.

1.3.2. Model Karakteristiği

Model çerçevesi (seviye 3) modellerin yapıları, özellikleri, amaçları ve kısıtları gibi karakteristikleri ile ilgilidir. Burada, metodolojinin formülasyonu, problem veri yapıları, gruplama problemleri, çözüm yaklaşımları, karar değişkenleri, amaç fonksiyonları ve hücresel üretimdeki parça-makine gruplama kısıtlarını sunmak için bu çerçeve kullanılmıştır. Her karakteristiğe ait kısaltma karakteristiğin yanında tanımlanmış ve Tablo 1.2'de bütün karakteristikler belirtilen kısaltmalarıyla ifade edilmiştir. Bu ortam aşağıdaki gibi karşılaştırılmıştır:

1. Model Yapısı: Matris Formülasyonu: Benzerlik Katsayısına Dayalı (S), Sıra (Sınıf) Esaslı (A)

Matematik Programlama: Tamsayı Programlama (I), Doğrusal Programlama (L), Dinamik Programlama (D)

- Grafik Teori: İki Kısımlı (B), Diğer (O)
- Diğerleri: Simülasyon (M), Uzman Sistemler (E), Sinir Ağları(N), Bulanık Kümeler (F)
2. Problem Veri Yapısı: Çift Değişkenli (B), Ağırlıklı (W), İki Birden (E), Kesirli (F)
 3. Gruplama Problemi: Parça (P), Makine (M), Grupların Eşzamanlı Oluşumu (C)
 4. Çözüm Yaklaşımı:
 - 4.1.Sezgisel
 - 4.2.Hiyerarşik: Tek Bağlantı (S), Ortalama Bağlantı (A), Tam Bağlantı (C), Yoğunluk Araştırma (D), İki Metottan Fazla(M)
 - 4.3.Hiyerarşik Olmayan
 - 4.4.Sıra Esaslı: Derece Sıralama (R), Doğrudan Gruplama (D), Bağ Enerjisi (B), Sınıf Tanımlama (C), İşgücü Değeri (O)
 - 4.5.Atama Modeli
 - 4.6.Diğerleri: Lineer Programlama (L), Hedef Programlama (G), Grafik Kısımlandırma (P), Benzetim Tavlaması(S), Bulanık Matematik(c-ortalama) (F), Uzaman Sistemler (E), Sinir Ağları (N)
 5. Kenar değişkenleri:
 - 5.1.Bir hücreye atanacak belli bir tip makine sayıları
 - 5.2.Bir hücreye atanacak parça (P) veya makine sayısı (M)
 - 5.3.Gruptaki parça başına operasyon (O) veya takım kopyalarının sayısı (T)
 - 5.4.Parti miktarı

6. Amaçlar

- 6.1.Hücreler arası dolaşımın minimizasyonu
- 6.2.Hücre içi dolaşımın minimizasyonu
- 6.3.Hazırlık süresinin minimizasyonu (S) veya makine çizelgeleme esnekliğinin maksimizasyonu (F)
- 6.4.Benzerliğin maksimizasyonu (S) (Farklılığın minimizasyonu (D)) veya uyumluluk ölçüsü (C)
- 6.5.Toplam üretim maliyetinin minimizasyonu
- 6.6.İstisnai eleman maliyetinin minimizasyonu (Fason (S), makine artırma (D) veya her ikisi (B))
- 6.7.Aylak zamanın minimizasyonu
- 6.8.Makine kullanım oranının maksimizasyonu

7. Kısıtlar

- 7.1.Grup sayısı (hücre veya parça aileleri)
- 7.2.Grup başına parça sayısı
- 7.3.Grup başına makine sayısı
- 7.4.Makine kapasitesi
- 7.5.Bir parça ailesi veya makinesi grubuna ait her bir parça (P), makine (M) veya her ikisi (B)
- 7.6.Yıllık İşletme Bütçesi
- 7.7.Parçaların takım (T) veya işlenme ihtiyaçları (P)

Model Yapısı

Gruplama probleminin yapısı matris, matematiksel programlama veya grafik-teori formülasyonları ile tanımlanır. Benzerlik tipine ait bir matris formülasyonunda,

makine-parça ilişki matrisi makine/parça benzerlikleri tablosuna dönüştürülür ve makine/parça aileleri bir sınıf-analitik algoritma ile belirlenir. Alternatif olarak orijinal makine-parça sınıflarını belirlemek için kullanılır. Amaç, genellikle aynı grup içindeki makineler/parçalar arasındaki benzerliği modifiye etmektir. Jaccard benzerlik ölçüsü sıklıkla kullanılmaktadır. Bu ölçü, McAuley (1972) tarafından iki makine problemi için aşağıdaki gibi formüle edilmiştir:

$$S_{m_1 m_2} = \frac{B_{M_1 M_2}}{B_{M_1 M_2} + B_{M_1 m_2} + B_{m_1 M_2}}$$

$S_{m_1 m_2}$: m_1 ve m_2 makineleri arasındaki benzerlik ölçüsü

$B_{M_1 M_2}$: m_1 ve m_2 makinelerinde işlenen parça sayısı

$B_{M_1 m_2}$: sadece m_1 makinesinde işlenen parça sayısı

$B_{m_1 M_2}$: sadece m_2 makinesinde işlenen parça sayısı

Benzerlik 0 ila 1 arasındadır. $0 \leq S_{m_1 m_2} \leq 1$ (0, minimum benzerlik; 1, maksimum benzerlik). Sonuç, herhangi bir makine/parça çifti arasındaki benzerlik ölçülerinin en üst veya en alt üçgen matrisidir. Sonra, tek bağlantılı, ortalama bağlantılı, direkt bağlantılı gibi bir gruplama algoritması kullanarak uygun makine/parça grupları oluşturulur. I parçaları/makineleri için sonuç grup, herhangi bir grup $i \neq j$ ve G_i elemanları $\not\subset G_j$ iken $G_i \subseteq I$ ve $G_j \subseteq I$ ise karşılıklı ayrılabilir, aksi takdirde kısmi ayrılabilir. Çoğu gerçek hayattaki problemlerin karşılıklı ayrılabilmesi mümkün değildir, darboğaz makineler veya istisnai elemanlarla sonuçlanır.

Sıra-esaslı metotlar, parça ve makineleri benzerlik ölçüsünün faydası olmadan gruplar. İlişki matrisinin satır ve sütunları, bir diyagonal karşılıklı veya kısmi ayrılabilir sınıflar olana kadar yeniden düzenlenir. Tüm sıra-esaslı metotlar 0-1 parça- makine ilişki matrisini girdi olarak kullanır. GT için özellikle tasarlanmış bilinen ilk sıra esaslı algoritma King (1980) tarafından geliştirilen derece kümelenendirme (ROC) algoritmasıdır. Sonradan King ve Nakornchai (1982) diğer modeller, temel modele bazı modifikasyonlar getiren Chandrasekharan ve Rajagopalan (1986), Chan ve Milner (1982), Kusiak (1985), Kusiak ve Chow (1987) tarafından geliştirilmiştir.

Matematik programlama içinde en çok 0-1 tamsayı programlama kullanılmaktadır. Bazı yazarlar grafik ve şebeke teorisinden yararlanarak parça-makine problemini çözmektedir. Bazı problemler de sezgisel yöntemler kullanılarak çözülmektedir. Rajagopalan ve Batra (1975), Vannelli ve Kumar (1986), Kumar-Kusiak ve Vannelli (1986), iyi bilinen sezgisel modelleri grupta problemi çözmede kullanmışlardır. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle birlikte simülasyon, uzman sistemler, sinir ağları ve bulanık küme teorisi parça-makine grupta problemi kullanılmaktadır. Bunlar, taksonomide “diğer” grup içinde sınıflandırılmıştır.

Problem Veri Yapısı

İkili parça makine ilişki matrisi genellikle kalitatif ve bir makine üzerindeki bir parçanın durumunu göstermek için kullanılır. Parça, makinede işlem görüyorsa 1, görmüyorsa 0 ile ifade edilir. Ağırlıklı matrisler, hem parçanın durumunu hem de durumun şiddetini ölçer. Örnek; üretilecek parça hacmi, hazırlık süresi ihtiyaçları, ... Ayrıca, herhangi bir pozitif değer veya 0 varsayılabilir. Ağırlıklı matris kullanan bir model Offodile (1991) tarafından sunulmuştur.[18] Bazı modeller geneldir, fakat ikili veya ağırlıklı matrisler için kullanılabilirler. Bulanık kümelere dayanan bir kesirsel matris Chu ve Hayya (1991) tarafından önerilmiştir.

Gruplama Problemi

Bazı modeller sadece parça ailesi, bazıları da sadece hücre oluşturma ile ilgili iken diğerleri de parça aileleri ve hücreleri eşzamanlı olarak oluşturur. Parça/makine ailesi problemi çözüldüğünde, işlem yapacak parçaları/makineleri tanımlamak ve uygun parça/makine ailesine bunları atamak kolaydır.

Çözüm yaklaşımı

Problemin çözümü sezgisel (özellikle 0-1 tamsayı programlı formülasyonlar için), hiyerarşik veya hiyerarşik olmayan, sıra-esaslı, optimizasyon veya diğer metotlarla yapılabilir. Hiyerarşik metotlarda tekli, ortalama ve tam bağlantı yöntemleri uygulanır. Fakat, bazen bu metotla maksimum benzerliğin aranması durumunda makinelerin ortalama benzerliklerine ters bir şekilde benzerliği olmayan ailelere girmesine de izin verebilir. Ayrıca, bazı modeller sınıf-analitik algoritmaları (ROC) veya iyi bilinen matematik yöntemlerinden biri ile (atama, lineer programlama gibi) çözülmektedir.

Karar değişkenleri

Faaliyet veya politika kararlarını gösterir. Bu, herhangi bir gruba atanacak makine tipi sayısı, bir gruba atanacak parça veya makineler ve aile başına parça sayısını içerir.

Amaçlar

Ballakur ve Steudal (1987) dokuz amaç sıralamıştır. Bunlardan en çok bilinenleri, hücreler arası malzeme taşıma maliyetlerinin minimizasyonudur. Bu, hücrelerin oluşturulmasında etkin olmayan sonuç verir. Parçalar birden fazla hücreye aittir (istisnai parçalar). Diğer amaçlardan bazıları şunlardır: hazırlık süresi minimizasyonu, benzerlik (benzersizlik) lüsünün maksimizasyonu (minimizasyonu), toplam üretim maliyetinin minimizasyonu, istisnai elemanların maliyeti, makine aylak süresinin minimizasyonu, makine kullanım oranının maksimizasyonu. Kusiak (1985), Seifoddini ve Wolfe (1987), hücreler arası dolaşımı minimize eden bir model formüle etmişlerdir. Gunasingh ve Lashkari (1989) ise bütün parça ve makineler arasında indeksini maksimize eden bir model sunmuşlardır.

Pek ok GT modeli, sonuç çözümün mkemmeliliğini değerlendirme aracı sağlamaz. Grup etkinliğinin bir lüsü Chandrasekharan ve Rajagopalan (1986) tarafından sağlanmıştır. Problem, düşük ayırım gücüdür. Kumar ve Chandrasekharan (1990) gruplama etkinliğini sunmuştur.

Kısıtlar

Arzu edilen hücre sayısıdır. Genellikle problem parametresi olarak alınır. Makine kapasitesi ve lojistik kısıtlar bir gruba ait olabilecek (fiziksel olarak) parça veya makine sayısını kısıtlayabilir. Bt kısıtları ve işlem ihtiyaçları da gruplamayı kısıtlayabilir. Bazı problemlerde hücreler arası hareketlere izin verilmez, bu gibi durumlarda parçaları tek bir küme içine dahil etmeyi zorlamak için ilave kısıtlar gerekebilir. Tablo 1.2, bu karakteristiklerin bir özetini vermektedir (28 yayın taranmış, kronolojik bir sıraya göre verilmiştir)

Tablo 1.2. Farklı Modellerin Özellikleri[18]

		McAlley	McCormick, Schweitzer, White	Purchase	Purchase	Rajagopalalan ve Batra	De Wittee	King	Chan ve Milner	Chakravarty ve Shtub	Waghodekar ve Sahu	Kusiak	Mosier ve Taube
Yıl		72	72	74a	75	75	80	80a	82	84	84	85	85a
Model Yapısı		S	A	O	L	B	S	A	A,B	B	S	I	S
Problem Veri Yapısı		B	E	E	W	E	E	B	B	B	B	B	W
Sınıf Problemi		M	C	C	C	C	M	C	C	C	M	P	M
Çözüm Yaklaşımı	Sezgisel	X	X						X	X	X		X
	Hiyerarşik	S											S
	Hiyerarşik Olmayan												
	Sıra Esaslı		B					R	D				
	Atama Modeli									X			
Karar değişken	L, G, P, S, F, E, N			P	L	P	P						
	Miktar/Makine Tipi				X	X					X		
	Atanan Parça/Makine				P							P	
	Operasyon/Takım												
Amaç	Parti Miktarı									X			
	Hücre içi dolaşım min.	X			X	X					X	X	X
	Hücre arası dolaşım min.	X			X								
	Hazırlık min/Esnek. Maks			F									
	Benzerlik/Uyumluluk mal	S	S	S	S	S	S				S		S
	Üretim Maliyeti min.									X			
	Fason/Artır Maliyeti min.							S,D	S,D		S,D		
	Aylak Zaman min.												
Kısıtlar	Makine Kullanım maks.				X								
	Grup Sayısı						X					X	X
	Parça Sayısı/Grup												
	Makine Sayısı/Grup					X							
	Makine Kapasitesi				X	X							
	1 Gruptaki Parça/Makine						P					P	
	Bütçe												
	Takım/İşlem İhtiyacı				P								

Tablo 1.2. Farklı Modellerin Özellikleri (Devamı)

	Selvan-Balsubrama	Stanfel	Chandrasekharan ve Rajagopalan	Chan. ve Rajag.	Dutta, Lashkari, Nadoli ve Riva	Han ve Han	Kuma, Kusieck ve Vanelli	Robinson-Duck.	Seffoddini-Wolfe	Vanelli-Kumar	Askin-Subramanian	Ballakur-Studel
Yıl	85	85	86a	86b	86	86	86	86	86	86	87	87
Model Yapısı	I	A	A	B	S	I	I	O,B	S	B	A	
Problem Veri Yapısı	W	B	B	B	W	W	E	B	B	B	B	B
Sınıf Problemi	P	C	C	C	P	P	C	C	M	C	C	C
Çözüm Yaklaşımı	Sezgisel	X	X		X		X		X	X	X	X
	Hiyerarşik			S	A				A			
	Hiyerarşik Olmayan				X							
	Sıra Esaslı			R							R	
	Atama Modeli											
	L, G, P, S, F, E, N				P		G	L,P	P		P	
Karar değişken.	Miktar/Makine Tipi			X								
	Atanan Parça/Makine		M				P					
	Operasyon/Takım											O
	Parti Miktarı											
Amaç	Hücre içi dolaşım min.	X	X	X	X			X		X	X	X
	Hücre arası dolaşım min.		X								X	
	Hazırlık min/Esnek. Maks										S	
	Benzerlik/Uyumluluk mal	S		S		D	D		S	S	S,C	S
	Üretim Maliyeti min.										X	
	Fason/Artır Maliyeti min.											
	Aylak Zaman min.	X	X									X
	Makine Kullanım maks.				X						X	
Kısıtlar	Grup Sayısı	X	X	X	X	X				X		
	Parça Sayısı/Grup						X					
	Makine Sayısı/Grup		X				X			X		X
	Makine Kapasitesi										X	
	1 Gruptaki Parça/Makine	P				P	P,M					
	Bütçe											
	Takım/İşlem İhtiyacı	P				P						

Tablo 1.2. Farklı Modellerin Özellikleri (Devamı)

		Khator-Irani	Kusiak	Kusiak-Chow	Seifoddini - Wolfe	Steudel - Ballakur	Choobineh	Co ve Araar	Kusiak	Chu ve Lee	Gunasingh ve Lashkari	Mosier	Seifoddini
Yıl		87	87	87a	87	87	88	88	88	89	89	89	89a
Model Yapısı		A	I	A	S	D	I	I,A	E	I	I	S	S
Problem Veri Yapısı		B	B	B	B	W	W	B	W	B	W	W	S
Sınıf Problemi		C	C	C	M	M	C	C	C	P	C	M	M
Çözüm Yaklaşımı	Sezgisel	X	P	X	X	X			X			X	X
	Hiyerarşik				A							S,C	S,A
	Hiyerarşik Olmayan												
	Sıra Esaslı	O		C				R					
	Atama Modeli							X					
	L, G, P, S, F, E, N								E				
Karar değişken	Miktar/Makine Tipi						X						
	Atanan Parça/Makine		P				P,M	P		P	M		
	Operasyon/Takım	O					O						
	Parti Miktarı												
Amaç	Hücre içi dolaşım min.				X			X	X		X	X	X
	Hücre arası dolaşım min.				X							X	
	Hazırlık min/Esnek. Maks												
	Benzerlik/Uyumluluk maks		S			S	S	S		S	C	S	S
	Üretim Maliyeti min.						X						
	Fason/Artır Maliyeti min.	S,D		S							D		
	Aylak Zaman min.		X										
	Makine Kullanım maks.							X					
Kısıtlar	Grup Sayısı		X										
	Parça Sayısı/Grup	X											
	Makine Sayısı/Grup	X		X		X		X			X		
	Makine Kapasitesi						X	X	X			X	
	1 Gruptaki Parça/Makine		P	P			P			P			
	Bütçe						X						
	Takım/İşlem İhtiyacı		P			P					T	T	

Tablo 1.2. Farklı Modellerin Özellikleri (Devamı)

	Seifoddini	Stanfel	Vakharia, Askin, ve Sen	Wei ve Ken	Harkanis, Nagi ve Proth	Seifoddini	Seifoddini	Srinivasan, NarendranMahede	Tam	Morris - Tersine	Vakharia- Wemmerloy	Boctor
Yıl	89b	89	89	89	90	90a	90b	90	90	90	90	91
Model Yapısı	S	I	I	S	I,S	S	S	I	S	M	S	I
Problem Veri Yapısı	B	W		B	W	E	B	B	E	W	W	B
Sınıf Problemi	M	P	M	M	M	M	M	M	P	C	P	C
Çözüm Yaklaşımı	Sezgisel	X	X	X	X	X	X		X	X	X	
	Hiyerarşik	A		S	S	A	S		D		S	
	Hiyerarşik Olmayan											
	Sıra Esaslı											
	Atama Modeli				X			X				
Karar değişken	L, G, P, S, F, E, N	L										S
	Miktar/Makine Tipi	X	X									
	Atanan Parça/Makine	P,M	M		M	P						P,M
	Operasyon/Takım		O									
Amaç	Parti Miktarı	X										
	Hücre içi dolaşım min.	X	X	X	X	X						
	Hücre arası dolaşım min.	X										
	Hazırlık min/Esnek. Maks											
	Benzerlik/Uyumluluk maks	S		C		S	S	S	D		S	
	Üretim Maliyeti min.											
	Fason/Artır.Maliyeti min.	D										S,D
	Aylak Zaman min.											
Kısıtlar	Makine Kullanım maks.											
	Grup Sayısı			X								X
	Parça Sayısı/Grup											
	Makine Sayısı/Grup		X	X	X							X
	Makine Kapasitesi	X										
	1 Gruptaki Parça/Makine		P	P								P
	Bütçe											
	Takım/İşlem İhtiyacı											

Tablo 1.2. Farklı Modellerin Özellikleri (Devamı)

		Chu ve Hayya	Gu	Gupta	Jain, Kasilingam ve Bhole	Kaparthi ve Suresh	Kusiak	Logendran	Maimin ve Shtub	Srinivasan ve Narendran	Taboun, Sankaran-Bhole
Yıl		91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
Model Yapısı		F	S	S	I	N	A	I	I	I,S	S
Problem Veri Yapısı		F	B	B	W	W	B	B	B	B	B
Sınıf Problemi		C	P	C	C	P	C	M	C	C	P
Çözüm Yaklaşımı	Sezgisel		X	X		X	X	X	X		X
	Hiyerarşik			M							S
	Hiyerarşik Olmayan										
	Sıra Esaslı						C		R		
	Atama Modeli									X	
	L, G, P, S, F, E, N	F				N					
Karar değişken	Miktar/Makine Tipi				X						
	Atanan Parça/Makine				P				P		
	Operasyon/Takım				T						
	Parti Miktarı										
Amaç	Hücre içi dolaşım min.						X	X		X	
	Hücre arası dolaşım min.							X			
	Hazırlık min/Esnek. Maks								S		S
	Benzerlik/Uyumluluk maks		S	S		S				S	
	Üretim Maliyeti min.				X						
	Fason/Artır.Maliyeti min.						S,P			S,P	
	Aylak Zaman min.									X	
	Makine Kullanım maks.							X			
Kısıtlar	Grup Sayısı		X								
	Parça Sayısı/Grup		X		X		X				X
	Makine Sayısı/Grup						X				X
	Makine Kapasitesi				X			X	X		
	1 Gruptaki Parça/Makine				P			P,M			
	Bütçe										
	Takım/İşlem İhtiyacı				T,P			P			T,P

1.4. Performans Kriterleri

HÜ' ye dönüşüm süreci birçok stratejik, yönetsel ve teknik değişkenlerin sebep-sonuç ilişkileriyle etkileşimleri sonucu oluşur. Başarılı bir dönüşüm yönetimin bu etkileşen değişkenleri ve aralarındaki etkileşimleri anlamasıyla gerçekleşir.[7] Bu değişkenlere ve kısıtlara bağlı olarak firma belli hedeflere yönelmelidir. HÜ'nün getirdikleri:

1. Hazırlık süresi azaltımı
2. Parti miktarı azaltımı
3. Kuyruk süreleri azaltımı
4. Ürün çıkış süreleri azaltımı
5. Süreç içi stok azaltımı
6. Mamul stok azaltımı
7. Artan çıktı
8. İşgören maliyeti azaltımı
9. Gelişmiş kalite kontrol
10. Malzeme taşımının azaltımı
11. Gelişmiş alan kullanımı
12. İş memnuniyeti, moral ve iletişimin gelişmesi
13. Üretim kontrolün gelişmesi
14. Takım tertibatın azalması
15. Hatalı ürün ve yeniden işlemlerin azalması
16. Süreç planlamanın basitleşmesi

2-9 doğrudan “Hazırlık süresi azaltımı” ile ilgilidir. Bu sebeple hazırlık süresi azaltımı hücre oluşumu ve çizelgelemenin ana hedefi olarak algılanabilir. Bu hedeflerden firma için önemli ve seçilebilir olanlar belirlenmeli ve önceliklendirilmelidir. Belirlenen kriterler performans kriterleri olarak takip edilmeli ve uygulama sırasında elde edilen değerleriyle hedef değerleriyle karşılaştırılmalıdır. [21,22] Parçaları benzer operasyonlara göre sıralamak çok etkilidir(sıraya bağımlı hazırlık). Çoklu hedeflere ulaşma isteği sonucu benzer operasyonlara sahip parçalar farklı hücrelere atanmış olabilir. Operasyon benzerliklerine göre parça/ürünleri gruplayıp hücreleri oluşturmak yeterli değildir.benzer operasyonlar hazırlık süresini azaltma anlamına gelmeyebilir. Hatta hücre içi çizelgelemenin de sıraya-bağımlı hazırlıkları dikkate alması gerekir. Çoğu kullanılan çizelgeleme metotları hazırlık sürelerini ya yok saymakta ya da parça sırasından bağımsız görmektedir. Bütün parça/ürünler için sıraya bağımlı hazırlık süresi dikkate alınmalıdır. Hitomi, Foo ve Wager bunu sağlayacak matrisler oluşturmuşlardır. Bu metotla her makine için çizelgeleme yapılır.[23]

Başarılı HÜ uygulaması için sıraya-bağımlı hazırlıkları da dikkate alarak hazırlık süresi azaltımı dikkate alınmalıdır. Bu takip eden parçanın sahip olduğu hazırlık işlemlerinin biri veya hepsine sahip olan parçalarla sağlanabilir.[23]

Oluşturulabilecek en iyi hücrede, bir ürün ailesinin üretimiyle ilgili tüm ekipman/makinelerin bulunduğu ve bunlar mümkün olan en yakın durumda yerleştirildiği düşünülebilir.[7] Pratikte, bu prensipler çatışmakta ve diğer faydalar göz önüne alınabilmektedir. Örneğin, hücreler arası hareket ile hücre bağımsızlığı arasında bir ödünleşme vardır. Hücreler arası hareket ekipman/makine kullanım oranını arttırmak için tercih edilir, bu durumda hücre bağımsızlığı azalır. İş kuyrukları uzarken ve hücreler arası malzeme akışı artarken hazırlık süresi ve malzeme taşıma maliyeti artar.[36,38] Sonuç olarak, performans kriterleri birbirine bağımlıdır.

Önemli olan, hücre tasarım sorunları üzerinde bakışı genişletmektir. Fabrikanın HÜ’ye dönüşüm stratejisi imalatın karmaşıklığına, tesislerin özelliklerine, problemli bölgelerin sayısına ve elverişli kaynaklara bağlıdır. Bu sebeple yönetimin üretim sisteminin tamamen anlaması ve uygun stratejilerle ulaşılacak açık hedefler

belirlemesiyle başarılı dönüşüm sağlanır. Yönetim durumlar, hareketler ve kullanılacak teknikler ile çıktıların ilişkisini anlamalıdır.[7]

1.4.1. Dönüşümü Etkileyen Değişkenler

Vakharia (1986), Dale ve Willey (1979) ürün, rotalama, tesisler, işgören ve bilgi özelliklerinin hücre tasarım sürecini ve çıktıları etkileyebileceğini söylemişlerdir. Spesifik olarak değişkenler, ürün çeşitliliği, üretim hacmi, parti miktarı, işgören yetkinliği, rotalama karmaşıklığı, makine sayısı ve tipi, planlama bilgisinin kalitesi ve elverişliliğidir.[26,36] Bu değişkenler dört grupta toplanabilir:[7]

1. Organizasyonel kısıtlar
2. Ürün özellikleri
3. Rotalama karakteristikleri
4. Süreç teknolojisi/Tesis özellikleri

Ayrıca, yönetim hedefleri, pazarlama/operasyon stratejisi ve sipariş alma kriterleri gibi stratejik karar değişkenleri söz konusudur.

Firmanın dönüşüm kapsamı (FDK): Firmanın hangi aşamaya kadar dönüşeceği. Firmalar, kapsama bağlı olarak, bir parça/ürün ailesi için tek bir hücre kurabilirken, tüm işletme için birçok hücre kurabilmektedirler. Kapsam, firmaların ürün ailelerinin ne kadarlık bir kısmını hücrede ürettikleri ile bağlantılıdır.

Organizasyonel kısıtlar

1. Finansal kaynak kısıdı (FKK): Yeni makine satın alımı konusunda karşılaşılan kısıttır.
2. Makine kullanım oranı kısıdı (MKK)
3. En az getiri/yatırım oranı (MGY)

Makine kullanım oranı kısıdı arttıkça ve finansal kaynak kısıdı düştükçe makinelerin hücreler arası paylaşımı artar.

Ürün karakteristikleri

1. Ürün çeşitliliği (ÜÇ)
2. Yeni üretim hattı/bileşen sayısı (YÜS)

Rotalama karakteristikleri: Rotalama karmaşıklığını belirlerler.

1. İşlem çeşitliliği (İÇ)
2. Darboğaz operasyonlarının varlığı (DOV): Birçok parça/ürün ailesi tarafından ortak kullanılan kilit makinelerdir.
3. Özel operasyonların varlığı (ÖOV): Boyut, ağırlık, özel emniyet şartları, kuruluş gereksinimi ve teknik kısıtlara bağlı olarak diğer operasyonların yanına yerleştirilemeyen operasyonlardır. Dolayısıyla, tek bir parça/ürün ailesi bu operasyonlara atanamaz.

Süreç teknolojisi/Tesis özellikleri: Makine tiplerine (MT) bağlıdır.

1. Basit ve tek amaçlı makineler
2. Karmaşık, programlanabilir ve çok amaçlı makineler

1.4.2. Hücre Tasarımının Boyutları ve Çıktıları

Hücre tasarımının üç boyutu vardır:

1. Organizasyonel süreçler
2. Analitik süreçler
3. Hücre tasarım sonuçları

Tasarımın organizasyonel süreçleri:

1. HÜ' ye dönüşüm için oluşturulan proje organizasyon tipleri ve rolleri (OS1)
2. HÜ' ye dönüşüm projesine katılan personelin unvanları ve projedeki rolleri (OS2)

Tasarımın analitik süreçleri:

1. Hücre tasarım aşamaları/hareketleri (AS1): Veri toplama/düzeltilme, ön analiz, veri kodlama, pilot uygulama, ürün karması değişimi ve ekipman yer değişimi vb.
2. Kullanılan analitik teknikler (AS2): Parçaların görsel sıralanması, dolaşım diyagramları, operasyonların gerçekleşme frekansı, gruplama tekniklerinin, GT sınıflandırma ve kodlama sistemleri, ürün akış analizi ve bilgisayar simülasyonu vb.
3. Hücre planlamada kullanılan bilgiler (AS3): Üretim hattı/bileşen adı, bileşen fonksiyonu ve bileşen şekli/boyutu vb.

Tasarım Sonuçları

1. Hücre bağımsızlık seviyesi (HTS1): Hücre bağımsızlığı arttıkça firma içi iş akışı ve üretim kontrol basitleşir.
2. Hücre yerleşim yapısı (HTS2): Mevcut yapı, doğrusal, U-tipi, ters U-tipi, dairesel veya serpantin yapıya dönüşür.
3. Malzeme akışı yapısı (HTS3): Ürün tek bir hücrede tamamlanabiliyorsa hücreler arası malzeme akışı düşer.

Tablo 1.3'de, HÜ tasarım sürecini ve tasarım sonuçlarını etkileyen değişkenler ve etkiledikleri boyutlar özet olarak verilmiştir. Değişkenlerle boyutlar arasında 41 adet ilişki vardır.[7]

1.4.3. Tasarıma ve Tasarım Sonuçlarına Değişkenlerin Etkisi

Firma dönüşüm kapsamının etkisi

FDK ne olursa olsun proje organizasyonu (OS1) yapılmaktadır. Kapsam büyüdükçe firma içinde alt seviyelerden katılım artmaktadır.

FDK arttıkça firmalar HÜ' nün yanında TZÜ, MİP, araç gereç düzenlemesi, yeni iş sınıflandırma gibi diğer geliştirme programlarını uygulamakta ve HÜ'yü firma

çapında bir dönüşümün parçası olarak görmektedirler (AS1). FDK'nın değişmesiyle hücre tasarımında kullanılan analitik teknikler (AS2) de değişmektedir. FDK arttıkça görsel karar verme, manuel rotalandırma ve dolaşım diyagramlarının kullanımı azalmakta ve sınıflandırma ve kodlama sistemlerinin kullanımı artmaktadır. FDK'nın artması ile hücre planlamada kullanılan bilgiler (AS3) arasında kesin bir ilişki tespit edilememiştir.

Tablo 1.3. Değişkenler ve Etkiledikleri Tasarım Boyutları

Değişkenler	Hücre tasarım boyutları
FDK	OS1, OS2, AS1, AS2, AS3, HTS1, HTS2, HTS3
FKK	HTS1, HTS2, HTS3
MKK	HTS1, HTS2, HTS3
MGY	HTS1, HTS2, HTS3
ÜÇ	AS1, AS2, AS3, HTS1, HTS2, HTS3
YÜS	HTS1, HTS2, HTS3
İÇ	AS1, AS2, AS3, HTS1, HTS2, HTS3
DOV	HTS1, HTS2, HTS3
ÖOV	HTS1, HTS2, HTS3
MT	HTS1, HTS2, HTS3

FDK: Firmanın Dönüşüm Kapsamı
FKK: Finansal Kaynak Kısıdı
MKK: Makine Kullanım Oranı Kısıdı
MGY: Minimum Getiri/Yatırım Oranı
ÜÇ: Ürün Çeşitliliği
YÜS: Yeni Ürün/Bileşen Sayısı
İÇ: İşlem Çeşitliliği
DOV: Darboğaz Operasyonların Varlığı
ÖOV: Özel Operasyonların Varlığı,

MT: Makine Tipleri
OS1: Proje Organizasyonu
OS2: Katılan Personelin Unvanları
AS1: Hücre Tasarım İşlemleri
AS2: Kullanılan Analitik Teknikler
AS3: Planlamada Kullanılan Bilgiler
HTS1: Hücre Bağımsızlık Seviyesi
HTS2: Hücre Yerleşim Yapısı
HTS3: Malzeme Akış Yapısı

FDK'nın artmasıyla genelde hücre bağımsızlık seviyesi (HTS1) düşmekte, doğrusal yapıda hücre kullanımı (HTS2) artmakta ve malzeme akışı (HTS3) düzensizleşmektedir.

Organizasyonel kısıtların etkisi

Finansal kaynak kısıdının etkisi: FKK'nın azalması ile hücre bağımsızlık seviyesi (HTS1) düşer. FKK'nın artmasıyla dairesel hücre tipinin ve azalmasıyla U tipi ve doğrusal hücre tiplerinin yaygınlaştığı görülmektedir (HTS2). FKK'nın azalması ile malzeme akışı (HTS3) düzensizleşir.

Makine kullanım oranı kısıdının etkisi: MKK'nın artması durumunda makine yatırımı daha az yapılmıştır. MKK'nın azalması sonucunda hücre bağımsızlığı (HTS1) artar. MKK'nın hücre tipi (HTS2) üzerinde belirgin bir etkisi bulunmamakla beraber firmalarda makine kullanım oranı kısıdı arttıkça doğrusal hücre tipinin kullanılması kanısı mevcuttur. MKK'nın önemsiz olduğu işletmelerde malzeme akışı (HTS3) düzenlidir. Daha fazla sayıda makine atayıp düzgün malzeme artışı istendiğinde makine kullanım oranının düşeceği açıktır.

Minimum getiri/yatırım oranı: MGY arttıkça HTS1 düşer, U-tipi hatların kullanımı artar ve malzeme akışı düzensizleşir. Choi'nin (1996) 52 firmayı incelediği çalışmada, genel olarak bu düşünceye ters olarak MGY arttıkça doğrusal hatların kullanımının ve sıralı malzeme akışının arttığı görülmektedir.[7]

Ürün karakteristiklerinin etkisi

Ürün çeşitliliğinin etkisi: ÜÇ arttıkça hücre tasarım aşamaları karmaşıklaşır (AS1) ve bilgisayar kullanımı (AS2) artar. ÜÇ arttıkça AS3 daha da önemli hale gelir, ürün hattı, bileşen ve talep tahmini bilgilerinin kullanımı artar. ÜÇ'nin artması ile HTS1 düşer, düzensiz malzeme akışı (HTS3) artar. ÜÇ'nin azalmasıyla doğrusal hücre tipinin kullanımı artar.

Yeni üretim hattı/bileşen sayısının etkisi: YÜS arttıkça hücre bağımsızlığı (HTS1) ve U-tipi hücre kullanımı düşer, düzensiz malzeme akışı (HTS3) artar.

Rotalama karakteristiklerinin etkisi

İşlem çeşitliliğinin etkisi: İÇ arttıkça pilot hücre yaklaşımının kullanımı (AS1) artar. Doğal olarak, firmalar İÇ'nin artmasıyla HÜ' ye karar vermeden önce sistemi öğrenmek ve daha detaylı planlı yapmak istemektedirler. İÇ arttıkça kullanılan bütün analitik tekniklerin (AS2) kullanımı artar. İÇ'nin artmasıyla hücre bağımsızlığı (HTS1) azalır, malzeme akışı (HTS3) düzensizleşir.

Darboğaz operasyonların varlığının etkisi: DOV azaldıkça hücre bağımsızlığı (HTS1) artar, doğrusal hücre tipinin kullanımı (HTS2) artar ve malzeme akışı daha düzenli hale gelir (HTS3).

Özel operasyonların varlığının etkisi: ÖOV azaldıkça hücre bağımsızlığı (HTS1) ve doğrusal hücre tipinin kullanımı (HTS2) artar. ÖOV'nin artmasıyla makine paylaşımı gereksiniminin artması sebebiyle U-tipi hücre kullanımı (HTS2) artar ve malzeme akışı (HTS3) düzensizleşir.

Süreç teknolojisi/Tesis özelliklerinin etkisi

Basit ve tek amaçlı makinelerin kullanım oranı arttıkça doğrusal hücre tipinin kullanımı artar .Karmaşık, programlanabilir ve çok amaçlı makinelerin kullanım oranı arttıkça hücre bağımsızlığı (HTS1) ve U-tipi hücre kullanımı (HTS2) artar, malzeme akışı (HTS3) düzensizleşir.

1.4.4. Sonuç

Dönüşüm kapsamının, organizasyonel kısıtların, ürün karakteristiklerinin, rotalama karakteristiklerinin ve süreç teknolojisi/tesis özelliklerinin hücre tasarımını ve tasarım sonuçlarını nasıl etkiledikleri bu bölümde anlatılmaya çalışılmıştır. Aşağıda akademik çalışmalarda elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Firmalarda dönüşüm kapsamı değiştikçe farklı departmanlardan katılım artmaktadır. Çok disiplinli bir takımın kurulması ve üst yönetime rapor vermesi etkili bir yaklaşımdır (Hautzeel ve Brown. 1982).[7]

Choi'nin (1996) yaptığı çalışmada, firmaların büyük bir kısmı fizibilite çalışması (%93) yapmakta ve dönüşümü planlamaya (%75) çalışmaktadır.[7] Bu sonuç, araştırma yapılan firmaların yeni ve formal bir üretim sistemini planladıklarını gösterir. Planlama verisinin elverişli olması dönüşümü başarıya götürür (Lewis, 1973, Wemmerlöv ve Hyer, 1986). Bilginin kalitesizliği ve eksikliği hücre tasarımını içinden çıkılmaz bir hale sokar.

Dönüşüm kapsamı üç değişkenle ilişkilidir; hücre bağımsızlığı, yerleşim yapısı ve malzeme akışı yapısı. Dönüşüm kapsamı küçük tutulan projelerde firmalar hazırlık süresi azaltımı konusunda daha başarılı iken kapsam büyüdüğünde yarı mamul stoku kaynak verimliliği ve üretim planlama kontrol konularında daha iyi sonuçlar alınmaktadır.[39]

Finansal kısıtlar, makine kullanım oranı ve getiri/yatırım oranı kısıtlarının etkisi arttıkça uygulama daha zor optimuma ulaşır, malzeme akışı daha düzensiz hale gelir. Tasarım öncesinde yeni makine alınıp alınamayacağı kararı mutlaka verilmeli ve tasarımda dikkate alınmalıdır .[36]

Ürün çeşitliliği ile yerleşim yapısı ve malzeme akışı yapısı arasında önemli bir ilişki vardır. Lewis (1973) ve Kinney ve McGinnis (1978) ürün karmasının değişmemesinin hücre tasarımını başarılı kıldığını söylemişlerdir. Benzer bir şekilde, Morris ve Tersine (1990) hücrelerin değişken ürün karması durumunda HÜ' nün başarısız olacağını söylemişlerdir.[39]

Dale ve Willey'e (1979) göre imal edilecek ürünler basitleştikçe parça ürün ailelerinin ve makine gruplarını belirlemek kolaylaşmaktadır. Bu durum tüm sistem dönüşümüne de olanak verir.

Malzeme akışı, hücre bağımsızlığı ve yerleşim yapısı, dönüşüm kapsamı, organizasyonel şartlar, ürün, süreç/tesis özelliklerinden etkilenmektedir. Fakat, yerleşim özellikleri malzeme akışından çok seyrek etkilenmemektedir. Çünkü hücreler bağımsız birimler olarak tasarlanmıştır. Yerleşim özellikleri rotalama ve ekipman/makine kısıtlarından etkilenmeleri sebebiyle malzeme akışıyla bağlantılıdır. Genelde yerleşim ve malzeme akışı rotalama karmaşıklığıyla ilgilidir.

Firmalar ekipman/makine yer değişiminde darboğaz ve özel operasyonlar sebebiyle zorluklarla karşılaşır.[21,22,24] Sadece darboğaz operasyonların hazırlık işlemlerini analiz edip geliştirmek hücre performansını belirgin ölçüde iyileştirmektedir.[36]

Beklenildiği gibi makine tipi ve sayısı hücre tasarım çıktılarını etkilemektedirler. Operasyon bağımsızlığı, yerleşim yapısı ve malzeme akış yapısı, makine tipi ve sayısından etkilenmektedir.(De Beer et al.76, De Beer ve De witte, 1978, Hedge, 1979) Pahalı ve esnek makineye sahip olan firmalarda ana hedef makine kullanım oranının yükseltilmesi doğrultusunda olduğundan, hücre bağımsızlığı ve optimum yerleşime çok dikkat edilmemektedir. Kinney ve McGinnis, (1978)' ye göre basit ve ucuz makinelerin bu darboğaz makinelerin yanına yerleştirmek hücreler arası hareket gereksinimini azaltacak ve hücre bağımsızlığını arttıracaktır.

2. TÜRKİYE'DE HÜCRESEL ÜRETİMİN DURUMU

Hücreyel Üretim alanında Türkiye'nin ulaştığı durumu belirlemek, dünyada yapılan diğer uygulamalarla karşılaştırmak ve hücreyel üretime dönüşümde endüstriye kılavuzluk edecek metodolojiyi oluşturmak amacıyla saha analizi çalışması gerçekleştirilmiştir. Saha analizinde Türkiye'nin öncü ve çoğunluğunun uluslar arası nitelikte olduğu 16 imalat firması ve bu firmalardaki toplam 163 imalat hücresi incelenmiştir.

İnceleme yapılan firmalar Turkish Aerospace Industries(TAI), Tusaş Engine Industries(TEI), Tofaş, Renault, Uzel, Anadolu Motor, Makine Takım Endüstrisi, Komsa, Camış Makine Kalıp San., Türk Traktör, Çok Amaçlı Motor İşletmesi-Arçelik, Mako, Valeo, Major SKT ve Nursan Elektrik Donanım'dır. Firmaların ortalama kuruluş yılı 1973'tür. En eski kurulan firma 1953 yılında kurulmuştur. Firmaların toplam kapalı alanı 1.2 milyon m² ve açık alanı 4.16 milyon m²'dir. Firmalarda toplam 3772 beyaz yakalı ve 14176 mavi yakalı personel çalışmaktadır. Firmalarda toplam 5392 tezgah bulunmaktadır ve %47'si hücreyel üretim alanı içinde yer almaktadır. Firmalar ISO 9001, ISO 9002, ISO 14000, ISO 140001,AQAP 4, AQAP 110, AQAP 120, QS 9000, UTAQ, MILI 45208 ve MILQ 9858 gibi kalite belgelerine sahiptir. Sadece bir firmada kalite belgesi bulunmamaktadır.

İnceleme sahada görüşmeler ve gözlemlere dayalı olarak önceden hazırlanmış araştırma anketinin doldurulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma, HÜ proje öncesi ve projenin organizasyonu, HÜ tasarım süreci ve HÜ uygulama sonuçları hakkında bilgilerin derlenip ortaya çıkarılması ve yorumlanmasını kapsamaktadır.

Şirketlerdeki HÜ uygulamalarını incelemek ve sonuçlarını irdelemek, kullanılabilir ve etkin metodolojilerin oluşturulması için çok yararlıdır. Özellikle ABD'de yapılan anketler ve saha analizleri ile HÜ uygulamalarının yapısı anlaşılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar HÜ konusunda yapılacak akademik çalışmalara yön vermekte ve akademik çalışmaların uygulanabilirliğini artırmaktadır.

HÜ Türkiye’de de 1990’lı yıllardan beri imalat şirketlerinin ilgi odağı olmuş ve uygulamada kendine yer bulmuştur. Fakat çalışmaların hangi boyutta olduğu ve elde edilen sonuçlar akademik yayınlarda geniş kapsamlı olarak incelenmemiştir. HÜ’nün Türk şirketlerinde nasıl anlaşıldığı ve ne tür sonuçlara götürdüğünü incelemek amacıyla alanlarında bu uygulamayı yapan 16 şirkette saha analizi yapılmıştır. Ayrıca elde edilen bilgiler ışığında bir metodoloji geliştirmenin de daha yararlı olacağı düşünülmüştür.

Türkiye Asya ve Avrupa arasında yer alan gelişmekte olan bir ülkedir. Globalleşen dünyada kısıtlı kaynaklarıyla rekabet etmek zorundadır. Ayrıca imalat endüstrisinin kullandığı kredilerin maliyeti diğer ülkelerle karşılaştırıldığında çok yüksektir. Bu durum firmaları düşük maliyeti, yüksek kaliteyi ve hızlı teslimatı sağlamak yönünde daha da zorlamaktadır. Bu yönüyle bakıldığında Yalın Üretim ve HÜ çalışmaları özellikle finans yükünü azaltacağından Türkiye’de daha büyük öneme sahiptir.

Böylesi önemli bir konuda literatürde özellikle hücre tasarımına yönelik teorik anlamda oldukça fazla sayıda çalışma bulunmaktadır.[25] Buna karşılık uygulamaya ve mevcut uygulamaların etüt ve analizine yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır.[9] Bu çalışma, Türkiye’de HÜ uygulamalarının durumunu ortaya çıkartmak, yayınlanmış ABD’deki HÜ uygulamalarıyla karşılaştırmak ve uygulamadaki sorunları analiz ederek geleceğe yönelik HÜ stratejilerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Daha detaylı ve güvenilir analiz yapmak için saha analizi tercih edilmiş ve bu detaydaki çalışmayı kabul eden firmalara gidilmiştir. Ziyaret edilen firmaları HÜ açısından değerlendirmek için önceden detaylı olarak hazırlanmış anket formu kullanılmıştır. Anket formu, uygulamaların yerinde görülmesi ve ilgili tartışmaların yapılması sonucu titizlikle doldurulmuştur.

Saha analizi çeşitli ölçeklerdeki 16 firma ve toplam 163 hücreyi kapsamaktadır. Firmalar binek araçları ana ve yan sanayii, savunma sanayii, makine sanayii, elektrik ve elektronik sanayii ve tarım makineleri sanayiindendir. Bu çalışmanın odak noktası söz konusu firmalarda yapılmış saha analizlerinin değerlendirilmesidir.

HÜ uygulamalarının değerlendirilmesi ile ilgili yayınların özellikle ABD’deki firmaları kapsadığı görülmektedir. Wemmerlöv ve Hyer(1989), Choi(1996),

Olorunniwo ve Udo(1996), Wemmerlöv ve Johnson'ın(1997) çalışmaları başta olmak üzere ABD'de yapılan çalışmaların çoğunda izlenen yöntem hazırlanan anket formlarının firmalara gönderilip cevapların değerlendirilmesi şeklindedir.[6-9] Bu çalışmalarda incelenen firma sayısı 28 ila 57 arasında değişmektedir.

Bazı araştırmacılar da anket göndermek yerine saha analizi yapmayı tercih etmişlerdir. Bunlar arasında Harvey(1993), Marsh, Meredith ve McCutcheon(1998), Hyer ve Brown'ın(1999) çalışmaları bulunmaktadır.[10-12] Saha analizleriyle gerçekleştirilen çalışmalarda şirket sayısı 11 ila 15 arasında değişmektedir. Yapılan çalışma saha analizi temelli olmasıyla ikinci gruba dahil edilebilir.

Analizde kullanılan anket 36 sorudan ibaret olup HÜ projesi öncesi süreç, Hücre Tasarım süreci ve Fiziksel Yerleşim süreciyle ilgilidir. Anket formu birden fazla seçim yapılabilen sorular, evet/hayır seçenekli sorular, Likert skalası(5'li) kullanılan sorular ve açık uçlu sorulardan oluşan karma bir yapıdadır.

Çalışma HÜ proje öncesi değerlendirme ve proje organizasyonu, HÜ tasarım süreci ve HÜ uygulama sonuçları şeklinde 3 ana grupta organize edilmiştir.

2.1. Hücresel Üretim Projesi Öncesi Değerlendirme

Türkiye'de firmaların ortalama %50'si, firma çalışanlarının önerisi sonucu HÜ projelerine başladıklarını belirtmişlerdir. Buna karşılık sadece her dört firmadan biri böyle bir projeye geçmede danışmanların rolünün de bulunduğunu söylemişlerdir. Bu durum, Türkiye'nin henüz yaygın olarak danışman kullanma kültürüne sahip olmadığı şeklinde yorumlanabilir.

Araştırma yapılan firmaların yaklaşık yarısı HÜ projesine, ayrıntılı analizler sonucu karar verdiklerini, diğerleri, projeyi herhangi bir üretim sistemi verim artırma projesi gibi düşündüklerini belirtmişlerdir. Bu durumun, HÜ 'nün firma kültürünü baştan aşağı değiştirmeye yönelik bir yönetim felsefesi olarak değil de, sadece bir yerleşim düzenlemesi çalışması olarak görülmesi anlamını taşıması mümkündür.

İlk aşamalarda HÜ projesine üst yönetim ve genel müdür haricinde her hiyerarşi kademesinden (müdürler, şefler, amirler ve işgörenler) karşı çıkanlar olduğu görülmüştür. Bu da değişime karşı sıkça rastlanan doğal bir dirençtir. Ayrıca bir

firma, çalışanlarının bağlı olduğu sendikanın da bu tip bir projeye karşı çıktığını belirtmiştir. Direncin her kesimden, fazla sayıda olmasını ise, üstte bahsedilen ayrıntılı analizi yapmayarak hemen projeyi başlatan firma oranının %50 civarında olmasına ve çevreye proje hakkında eksik ve yetersiz bilgilendirme yapılmasına bağlamak mümkündür. Böylesine bir projenin üst yönetim desteği görmeden uygulanması söz konusu olamayacağı düşünülürse, genel müdür dahil üst yönetimin direncinden bahsetmek zaten olası değildir.

Tablo 2.1.Türkiye’de Şirketlerin HÜ Projelerini Başlatma Nedenleri.

Nedenler	Ortalama Önem
Temin süresini düşürmek	4.94
Müşterilere tepki verme süresini kısaltmak	4.50
Taşıma mesafelerini/sürelerini kısaltmak	4.30
Ürün maliyetlerini düşürmek	4.24
Hazırlık sürelerini düşürmek	4.20
Yarı mamul stokları düşürmek	3.94
İşgörenin etkinliğini arttırmak	3.90
Üretim planlama ve kontrolü basitleştirmek	3.82
Üretim miktarını arttırmak	3.76
Parça/ürün kusurlu oranını azaltmak	3.50
Üretim esnekliğini arttırmak	3.10
Çalışanların katılımını sağlamak	3.00
İşgören sayısını düşürmek	2.90
İşgörenlerin iş tatminini sağlamak	2.60
Ham madde stoklarını düşürmek	2.53
Mamul stoklarını düşürmek	2.24

Değerlendirme Ölçeği: 5=Çok önemli, 4=Önemli, 3=Orta derecede önemli, 2=Düşük derecede önemli ve 1=Dikkate alınmadı.

Firmalara HÜ projelerini başlatma nedenleri sorularak alınan cevapların ortalamaları Tablo 2.1’de gösterilmektedir. Tablo 2.1 incelendiğinde, temin süresini düşürme amacı (5 üzerinden ortalama 4.94), HÜ projelerini başlatma nedenlerinin başında gelmektedir. Bunun dışında diğer önemli nedenler arasında, beklenildiği gibi, sırasıyla müşterilere tepki verme süresini kısaltmak, taşıma mesafelerini/sürelerini kısaltmak, ürün maliyetlerini düşürmek ve hazırlık sürelerini düşürmek gelmektedir. Üretim miktarını artırma nedeni ile ilgili puanın “3.76” olması, bu nedenin de HÜ ’ye geçmede önemli olduğunu göstermektedir. En düşük önemin ise, ham madde ve mamul stoklarını düşürmeye ve işgörenlerin iş tatminini sağlamaya verildiği bulunmuştur. Projeleri başlatma nedenleri arasında, üretimi artırma isteğinin fazla

olmasına karşın, hammadde ve mamul stoklarını düşürme amacına düşük önem verilmesi, “Tam Zamanında Üretim”(TZÜ) ve çekme sistemi projeleri ile HÜ projelerinin bir bütünün parçaları olarak düşünülmediğine işaret etmektedir. Şirketin ham madde ve mamul stokları düşürecek aşamaya gelmesi için HÜ 'de belli bir aşamaya gelmesi gerekmektedir. Görüşmeler sırasında bazı katılımcıların mamul stoklarla HÜ arasında hiç bir bağlantı görmediklerini söylemesi HÜ kavramının tam olarak anlaşılmadığını göstermektedir.

İşgörenlerin iş tatminini sağlama nedenine düşük önem verilmesi ise, yine yukarıda belirtildiği gibi, HÜ 'nün sonuç olarak firma kültürünü baştan aşağı değiştirmeye yönelik bir yönetim felsefesi olarak değil de, sadece bir yerleşim düzenlemesi çalışması olarak görülmesi anlamını taşımaktadır. Fakat aynı şirketler “işgörennin etkinliğini artırma”nın önemli(ortalama 3.90) olduğunu belirtmişlerdir.

2.1.1. Hedef Belirleme

HÜ projesine başlarken sayısal performans hedefi koymayan firmaların, toplam içinde oranı sadece %13 bulunmuştur (Tablo 2.2). Bu oranın Wemmerlöv ve Johnson(2000)'ın ABD firmalarında yaptıkları çalışmada %30'lar düzeyinde (sayısal olmayan hedefler de dahil) olması, Türkiye'nin hedef belirleme açısından daha duyarlı olduğunu göstermektedir. Hedef belirleyen firmaların %81'i temin süresi konusunda sayısal değer belirlemişlerdir. Temin süresinin HÜ 'yü başlatma nedenleri arasında en önemli kriter olarak hesaplanması, bu kriter konusunda hedef belirleyen firma sayısının da artması sonucunu doğurmaktadır. ABD firmaları [13], bu kriterin ortalama %62.6 oranında düşeceği konusunda hedef belirlemişken, bu oran Türk firmalarında ortalama %31'e düşmektedir. Türk firmaları tarafından en fazla yarı mamul stokunun, ortalama %53 düşürüleceği konusunda hedef konulmuştur.

Genellikle konulan hedefler, ABD firmalarındaki gibi büyük hedefler değildir. Bu da projelerin başarısı konusundaki inanç eksikliğine veya ayrıntılı analiz yapmayan firma sayılarının toplam içinde %50 olmasına dayanabilir.

Ürün maliyeti, talep karşılama oranı, müşteriye tepki süresi ve alan kazanımı hakkında sadece birer firmanın hedef belirlemiş olması da, HÜ'de bu kriterlere yeteri

kadar önem verilmediği sonucunu gösterebilir. Daha ziyade temin süresi, hazırlık süresi, yarı mamul miktarı ve üretim miktarı için hedef belirlenmiştir.

Tablo 2.2.Türkiye’de HÜ Projelerini Başlatma Nedenleri

Gelişme Alanı	Firma Sayısı		Hedef Belirleyenlerin Ortalama Gelişme Hedefi (%)	Gelişmeyi Ölçen Firma Sayısı	Ölçülen Gelişme Değeri (%)
	Hedef Belirl.	Sayısal Hedef Belirleyen			
Temin Süresi	13	10	31	9	23.8
Hazırlık Süresi	9	7	29	7	24.4
Yarı Mamul Stoku	7	5	53	5	36
Üretim Miktarı	6	4	48	4	41.8
Talep Karşılama Oranı	1	1	100	1	60
Alan Kazanımı	1	1	40	1	45
Müşteriye Tepki Süresi	1	1	50	1	40

Dale ve Willey’in (1980) yaptığı çalışmaya göre firmalar benzer ürünleri üreten şirketlerdeki GT uygulamalarını görerek uygulama yapıp yapmama hakkında en doğru karar verebilirler. Farklı ürünlerin üretildiği şirketlerin karşılaştırılmasının önemli ölçüde değeri yoktur.[26] Sadece hücrel üretimin çeşitli performans kriterlerinde sebep olduğu iyileşme yüzdeleri hakkında fikir verir. Örneğin teslimat performansı %50 olan şirketlerin performansı %72 artarak %86’ya ulaşmıştır. Firmaların 42 farklı kriterde gösterdiği ortalama gelişme değeri ve hedeflerinin incelenmesi sonucu yapılan tahminlerdeki ortalama hatanın %13,7 düşük tahmin yönünde olduğu görülmüştür. Bu da firmaların genelde elde edilecek iyileşmeden daha düşük bir iyileşme beklentisi içinde olduğunu göstermektedir.

2.2. Hücrel Üretim Proje Organizasyonu

HÜ projesini başarıya ulaştırmak için lider ve iyi takım oyuncularının seçilmesi son derece önemlidir. Firmalara gerçekleştirdikleri HÜ projesi için bir lider seçip seçmedikleri sorulmuştur. Firmaların %88’i bir lider seçerek bu projeye verdikleri önemi göstermişlerdir. Liderlerin pozisyonlarına göre dağılımı Tablo 2.3’teki gibidir.

Tablo 2.3'te görüldüğü gibi liderlerin büyük bir çoğunluğu (%71) müdür ve genel müdür seviyesindedir. Bu oranın yüksek olması Türk endüstrisinde HÜ Projelerine önem verildiğini göstermektedir.

Tablo 2.3.Liderlerin Pozisyonları ve Pozisyonların Tüm Firmalar İçindeki Payı(%)

Liderin Pozisyonu	Toplam İçindeki Payı(%)
Genel Müdür	7
Müdür (Üretim, Teknoloji, Malzeme ve ÜP, Fabrika)	64
Mühendis (Metot Sorumlusu, İmalat Takım Lideri, Yalın Üretim Rehberi, Endüstri Müh.)	29

Tablo 2.4.Tüm Firmalarda Pozisyonların Takıma Katılım Sayısı

Pozisyon	Bütün Firmalarda Takıma Seçilme Sayısı
Üst Yönetim	3
Genel Müdür	4
Genel Müdür Yardımcısı	6
Müdür	15
Şef	14
Mühendis	14
Teknisyen	11
İşgören	7

Firmalara proje takımında hangi pozisyonlardaki personelin çalıştığı sorulmuştur (Tablo 2.4). HÜ projesinde çalışanların pozisyonları göstermektedir ki teknisyen, mühendis, şef ve müdür seviyesinde yüksek bir katılım vardır(%72.9). Yaklaşık her iki firmadan birinde (%43) operatörler proje takımına girmektedir. Türkiye’de operatör katılımı ABD’deki imalat firmaları için gerçekleşen %73 operatör katılımına göre düşük olmasına rağmen, 90’lı yılların başından itibaren uygulamaya çalışılan bir yöntem için bu oran yine de sevindiricidir.

Firmalara proje takımının belirlenmesinde danışmanların bir etkisi olup olmadığı sorulduğunda %31’i olumlu cevap vermiştir.

2.2.1. Projenin Hücre Tasarımı ve Fiziksel Yerleşiminde Katılım

Projenin farklı aşamalarında genellikle proje takımının yapısı değişmektedir. Bir çekirdek kadroya farklı aşamalarda destek veren görevliler söz konusudur. Bu değişikliklerin planlanması lider tarafından yapılmaktadır. Firmalara Hücre Tasarım

ve Fiziksel Yerleşim aşamalarında çalışan personelin unvanları sorulmuştur. Sonuçlar Tablo 2.5'te gösterilmiştir.

Tablo 2.5.Hücre Tasarım ve Fiziksel Yerleşim Aşamalarında Çalışan Personelin Unvanlarının Tüm Şirketler İçinde Takıma Katılma Yüzdesi.

Bölüm veya Personel Grubu	Tasarım Takımına Katılma Sayısı	Fiziksel Yerleşim Takımına Katılma Sayısı
Proses Mühendisliği	56	50
Atölye Yöneticileri (Posta başı ve formen)	68	62
İmalat Müdürü	81	62
İmalat Şefi	81	68
İmalat Mühendisi	75	68
Elektrik Bakım	43	81
Makine Bakım	43	75
Ar-Ge Mühendisi	37	25
Endüstri Mühendisi	31	31
Üretim Planlama ve Kontrol	25	37
Operatörler	37	81
Kalite Kontrol/Güvence Departmanı	31	12
Tasarım Mühendisi	12	-
Satın Alma	18	6
Muhasebe ve Finans	6	-
İnsan Kaynakları	6	6
Bilgi İşlem ve Enformatik	25	6
Danışman	37	12

Beklenildiği gibi firmalarda hücre tasarım aşamasında yoğun bir şekilde imalat ve proses mühendisi, imalat şefi ve imalat müdürü katılımı olduğu, diğer departmanlardan kısıtlı oranlarda katılım olduğu görülmektedir.

Firmalar söz konusu değişimin imalat departmanını çok büyük ölçüde etkilediğini, diğer departmanları ise daha az ölçüde etkilediğini düşünmektedirler ki imalat mühendisi, imalat şefi ve imalat müdürü sırasıyla %75, %81 ve %81 oranlarında proje takımlarında yer alırken insan kaynakları(%6), muhasebe ve finans(%6) ve tasarım mühendisi(%12) daha düşük oranlarda yer almıştır. Bu durum, Türk firmalarında bu departmanlardan genellikle bir katılım beklenilmediğini göstermektedir. HÜ 'nün firma kültürünü toptan değiştireceği düşünüldüğünde bu yaklaşımın doğru olmadığı söylenebilir. Doğrudan imalatta çalışanların(Proses mühendisi, atölye yöneticileri, imalat şefi, imalat mühendisi ve operatörler) hücre tasarım takımlarında çalışan pozisyonlar içindeki oranı %41.8' dir.

Firmaların %44'ü hücre tasarım aşamasında danışmanlardan yararlanmışlardır. Akademik danışman katılımı toplam danışman katılımının %71'idir. Tüm firmalar bazında %31'lik Akademik danışman katılım oranı üniversite endüstri ilişkilerinin HÜ konusunda yeterli düzeyde olmadığını göstermektedir.

Firmaların %37'si, operatörlere yeni sistemi tasarlama aşamasına katılım fırsatı vermiştir. HÜ 'yü başlatma nedenleri arasında "işgörenlerin iş tatminin sağlama" hedefinin son sıralarda(ortalama 2.6) yer alması ile firmaların hücre tasarım aşamasında işgörenlere yeterli katılım olanağı vermemesi arasında paralellik olması göze çarpmaktadır. Firmalar işgören katılımını sağlayarak işgören tatminini artıracaklarını ve böylece işgörenlerin daha etkin çalışacaklarını dikkate almamaktadırlar. Fakat aynı firmalar işgören etkinliğini artırmayı 3.9 ile ilk sıralarda düşünmektedir.

Hücre tasarım ve fiziksel yerleşim aşamaları karşılaştırıldığında operatör kullanımı oranı %37'den %81'e çıkmıştır. Mevcut üretim sisteminden HÜ'ye geçiş imalat sisteminde büyük değişiklikler gerektirdiğinden, Makine bakım ve elektrik bakım kullanımı da sırasıyla %43'ten %75'e ve yine %43'ten %81'e çıkmıştır.

Kalite kontrol ve güvence departmanının katılımı ise hücre tasarım aşamasında %37 iken, hücre fiziksel yerleşim aşamasında %12'ye düşmektedir. Bilgi işlem ve enformatik bölümü, imalat şirketlerinde daha çok veri işleme üzerinde çalıştığından tasarım aşamasına(%31) göre katılım fiziksel yerleşim aşamasında(%6) daha azdır.

2.2.2. Firmaların Proje Takımları Hakkındaki Görüşleri

Firmalara yaşadıkları deneyimlerden de faydalanarak HÜ projelerinde görev alacak personelin seçimi konusunda önerileri sorulmuştur. Yöneticilerin bu konuda söyledikleri aynen şu şekildedir:

- Ürün ve süreç yeniliğine açık, üst yönetimin desteğini alan kişilerden oluşan proje takımları kurulmalı.
- Proje takımı 1/3 oranında üretimle ilgili beyaz yakalı, 1/3 oranında üretim mavi yakalı ve 1/3 oranında üretim hattını tanımayan teknik görevlilerden oluşmalı.

- Hücre kavramını bilen üretim sistemini tanıyan kişilerden oluşmuş bir takım kurulmalı. Bu takımdakiler firmadaki diğer kişileri motive etmeli ve onların katılımını sağlamalı.
- Hücre oluşumunda çalışacak kişiler sabırlı olmalı , farklı departmanlardan yardım almalı. Teknik bilgisi ve iletişim gücü sayesinde insanları değişime ikna etmeli.

Katılımcılar özellikle dünyadaki trendleri takip edebilme ve yeniliğe açık olma üzerinde durmuşlardır. Farklı departmanlardan ve mesleklerden katılımın sağlanması projenin başarılı olma ihtimalini artırdığı gibi fabrika içinde değişime karşı olabilecek direnci de azaltmaktadır. Dönüşüm kapsamı değiştikçe firmalarda farklı departmanlardan katılım artmaktadır.[7] Bu tip çalışmalarda elde edilecek başarının firma içinde farklı departmanlarda katılım olmasına ve projeye olan inancın büyüklüğüne bağlı olduğu göz ardı edilemez.

2.3. Hücresel Üretim Tasarım Süreci

2.3.1 Yaklaşımlar

Bir hücreyi ortaya çıkarmak için iki temel yaklaşım mevcuttur:

1. Parça/ürün ailesi belirlenir. Daha sonra bunların üretimi için gerekli ekipman ve işgören belirlenir.
2. Önce önemli bir ekipman seçilir. İlgili ekipmanlar bu ekipmanın yanına getirilir. Daha sonra bu ekipmanların üretebileceği parça/ürün ailesi belirlenir.

Araştırmanın yapıldığı firmaların %94'ü parça/ürün ailesini önce belirleyip daha sonra gerekli ekipman ve işgöreni belirlemişlerdir. Parça/ürün ailelerini belirlemede kullanılan yaklaşımlar incelendiğinde, firmaların %81'i rotalama sistemini kullanırken, kodlama sistemini kullananların oranı %6 olarak gerçekleşmiştir. Tecrübeye göre parça/ürün ailesi belirlenmesi ise %94 olarak tespit edilmiştir. Rotalama ve kodlama sistemlerinden hareketle yapılacak analizler uzun süreli ve zahmetli çalışmaları gerektirdiğinden, firmalar çoğunlukla deneyim ile

parça/ürün ailesini belirlemeyi tercih etmektedir. Bu yöntemlerin yanında firmaların %12.5'i pareto analizinden de yararlanarak parça/ürün ailelerini belirlemişlerdir.

2.3.2. Hücre Oluşturmada Bilgisayar Desteği

Bilgisayarların günümüzdeki önemi düşünülerek, hücre oluşturma sürecinin belirli aşamalarında bilgisayar kullanıp kullanmadıkları sorulmuştur. Araştırma sonuçlarına göre veri toplama aşamasında %88, yöntemin uygulanması aşamasında %50 oranında bilgisayar kullanımı ortaya çıkmıştır. Yöntemin uygulama aşamasında bilgisayar kullanım oranının düşmesi, konu ile ilgili uygun araç ve yazılımların bilinmemesi veya temin edilememesine bağlanabilir.

Bu çalışmada, bilgisayar verisi kullanmayı gerek görmeyenlerin oranı %12.5 olarak gerçekleşmiştir. Bilgisayar verisi kullanmama gerekçeleri sorulduğunda “sistemlerin bilgisayar kullanacak kadar karmaşık olmadığını” söylemişlerdir. Bilgisayar verisi kullanmayan şirketler incelendiğinde, bunlardan bir tanesinin tüm çalışanlar sahada kaizen çalışmalarına katılmaktadırlar. Bu firmada çok hücre olmasına rağmen çalışanlara göre sistem karmaşık olarak algılanmamaktadır. Yine bilgisayar verisi kullanmayan diğer bir firma, 109 işgörenin bulunduğu küçük ölçekli bir firma olup, işgören katılımına önem verdiği için sistem karmaşık görülmemektedir. Bu firmada, işgörenlerin tavsiyesi sonucunda oluşturulan hücrelerde performans ölçütleri gelişmiş ve böylece tam zamanında teslimat yapılmaktadır.

Yine bu araştırma sonucunda, firmaların büyük bir çoğunluğunun (%81) parça operasyon bilgilerini bilgisayar ortamında tuttuğu, ürün ağacı, MİP parça kayıt verisi, sınıflandırılmış ve kodlanmış veri ve BDT verilerinin %50'ler civarında bilgisayar ortamında tutulduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, üretim ile ilgili sorunların çözümünde firmaların bilgisayardan yararlanma düzeyinin henüz yeterli düzeye ulaşmadığı sonucunu çıkarabiliriz. MİP verisi firmaların %44'ünde kullanılırken sınıflandırılmış ve kodlanmış GT verisi firmaların %31'inde kullanılmaktadır.

2.3.3. Hücresinin Tasarımı İşletilmesi İçin İlgili Teknikler Hakkında Kullanıcı Bilgileri

Bu çalışmada firmadaki ilgili kişilerin bilgilerini belirlemek için “Hücresinin tasarımı veya işletilmesi için kullanılan ticari veya akademik olarak yayınlanmış tekniklerin

herhangi birini biliyor musunuz? Uyguladıklarınızı belirtiniz” şeklinde bir soru sorulmuştur. Soruya verilen cevaplar ile ilgili oranlar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 2.6.Bilinen ve Uygulanan Teknikler.

Konu	Biliyorum(%)	Uygulandı(%)
Parça/Ürün Ailesi Belirleme	50	44
Ekipman Seçimi	56	50
Kapasite Dengeleme ve Ürün Akışı	62	50
Hazırlık Süresi Azaltımı	62	50
Ürün ve Proses Tasarım Kararları	50	50
Operatör Gereksinimi	44	44
Diğerleri	25	25

Tablo 2.6’da elde edilen oranlar incelendiğinde, firmalardaki ilgili kişilerin, hücre işletilmesi hakkındaki teknikleri hücrenin oluşturulması ile ilgili tekniklerden daha fazla oranda bildiklerini göstermektedir. Bu sonuç, daha önce yapılan çalışmalarda çıkan “hücreler için parça/ürün ailelerini belirlemek firmalarda kritik problem olarak görülmüyor” sonucunu destekler niteliktedir.[13] Ayrıca, “hücre oluşum aşamasında fazla zaman ayırmayan firmalar hücrenin etkin çalışması için daha ileri aşamalarda daha çok zaman ayırırlar” hipotezinin gerek Tablo 2.6’dan ve gerekse saha analizlerinden desteklendiği tespit edilmiştir.

Bu verilerden elde edilen diğer bir sonuç ise şudur; Hücrenin işletilmesi ile ilgili tekniklerin uygulamaları daha zordur. Bu nedenle bazı teknikler bilinmesine rağmen uygulanamamıştır. Bilinen tekniklerin uygulanmaması acil görülen günlük işlerden dolayı zaman ayırlamamasından da kaynaklanmaktadır.

Firmadaki ilgili kişilerin bilimsel çalışmalar hakkında bilgi sahibi olma yüzdesinin yüksek çıkması, Türkiye de bu konuda uygulama yapan firmaların yüksek oranda uluslar arası düzeyde ortaklıklara sahip olması ile doğru orantılıdır.

2.3.4. Dönüşüm Hedefi Ve Stratejisi

Hücre oluşumu hakkında akademisyenler genelde problemi fabrikanın bir analizi ile bir çok hücrenin kurulması olarak görürken, gerçekte olan endüstrideki çoğu hücrenin zamanla oluşturulduğu ve uygulandığıdır.[13]

Bu çalışmada, firmalara “önceki üretim sisteminden HÜ sistemine geçiş nasıl gerçekleşti” şeklinde bir soru sorulmuştur. Firmaların %62’si “Başlangıç aşamasında bir pilot hücre oluşturuldu. Daha sonra diğer hücreler oluşturuldu” cevabını vermişlerdir. Yine firmaların %19’u “Başlangıç aşamasında birden fazla pilot hücre oluşturuldu. Daha sonra diğer hücreler oluşturuldu” cevabını vermişlerdir. Geriye kalan %19’luk kısım ise “Tüm sistem aynı anda HÜ sistemine dönüştürüldü” cevabını vermişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde, firmaların %81’i başlangıç aşamasında pilot hücre ve/veya hücreler kurduktan sonra diğer hücreleri adım adım kurmaktadır. Firma görevlilerinin söyledikleri ve sahadaki izlenimler sonucu bu yaklaşımın üç ana nedenden kaynaklandığı görülmüştür:

- Yaparak Öğrenme
- Pilot hücrede elde edilecek sonuçlara göre strateji geliştirme düşüncesi.
- Motivasyon ve katılımı sağlamak.

2.4. Hücre Tasarımı Sürecinde Düşünülenler

Firmalarımızda, hücre tasarımı sırasında en çok göz önüne alınan kriter, Tablo 2.3’de görüldüğü gibi, ürünlerin veya parçaların tamamen hücrede tamamlanması konusudur. Başka bir deyişle hücre tasarımında, hücrenin mümkün olduğu kadar iş akışı yönünden bağımsız olmasına önem verilmektedir. Firmalarımızda, bir ürünü veya parçayı birden fazla hücrede işleyebilme (dışsal rotalama) esnekliği konusu ise, düşük önem verilen konular arasındadır. Bu durum tasarım sırasında, bağımsızlığa fazla önem vermenin sonucu olarak dışsal rotalama esnekliğinden fedakarlık edilmekte olduğuna işaret edebilir. Hücrelerde yetki göçertmesinin, önemli (ortalama 3.31) konular arasında yer alması ise, tasarımın etkinliği açısından sevindirici bir durumdur.

Hücre tasarımı sırasında, firmaların %81’i ürün çeşitliliği ve belirli makinelerin hücreye alınamaması gibi, çeşitli ürün ve proses kısıtları ile karşı karşıya gelmektedir. Ayrıca firmaların %69’u yeni makine satın alınamaması kısıdı ile karşılaşmaktadır. Tüm söz konusu kısıtlar, doğal olarak tasarım çalışmalarını zorlaştırmaktadır.

Tablo 2.7.Hücre Tasarımı Sırasında Dikkate Alınan Kriterlerin Ortalama Önemi.

Hücre Tasarımı Sırasında Dikkate Alınan Kriterler	Ortalama Değerlendirme
Parçalar/ürünler tamamen hücrede tamamlanmalı	4.6
Hücrede dengelenmiş makine kullanım oranı	4.1
Tek yönlü (geriye dönüşsüz) malzeme akışı	4.1
Yüksek işgören kullanımı	3.9
İşgöreni birden fazla makinede kullanma	3.9
Daha az işgörenle iş yapılması	3.7
Hücrelere yetki göçertmesinin yapılması	3.5
Mevcut pahalı makinelerin kullanım oranının yüksek tutulması	3.3
Hücre işgören sayısı	3.2
Hücreye atanan parça/ürün sayısı	2.9
Yeni parçayı/ürünü hücrenin kabul edebilme esnekliği	2.4
Hücre içinde bir işlemin alternatif makinelerde işlenebilme esnekliği	2.4
Hücredeki iş istasyonu/makine sayısı	2.2
Bir parçayı /ürünü birden fazla hücrede işleyebilme esnekliği	1.5

Değerlendirme Ölçeği: 5=Çok önemli, 4=Önemli, 3=Orta derecede önemli, 2=Düşük derecede önemli ve 1=Dikkate alınmadı.

2.5. Tasarım Aşamasında Performans Değerlendirme

Bir firma dışında tüm firmalar (%94) tasarıma aşamasında performans değerlendirme yapmışlardır. Değerlendirme yapan firmalara kullandıkları yöntemler sorulmuştur. Tüm firmalar analitik yöntemler kullandıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca %73'lük bir kısmı da Bilgisayar Simulasyonu kullanmaktadır. Hiçbir firma Fiziksel Simulasyon, Yapay Zeka, Bulanık Mantık vb. yöntemleri HÜ çalışmalarında dikkate almamışlardır.

Hücre tasarımı aşamasında ekipman ve operatör ihtiyacını belirlemeden hücre fiziksel yerleşimine başlayan iki firma bulunmaktadır(%12.5). Bu firmalardan biri, aynı zamanda hücre performansını da değerlendirmeyen firmadır.

2.6. Tasarım Sonuçları

Çalışmanın yapıldığı 16 firmada değerlendirmeye alınan 163 hücreye ait veriler bu kısımda yorumlanarak açıklanmıştır.

Türkiye’de ilk hücre uygulaması 1992 yılında gerçekleşmiştir. Tüm hücrelerin ortalama kuruluş tarihi 1997 olarak belirlenmiştir. Bu değerler Türkiye’de HÜ’nün uygulama olarak başlangıç aşamasında olduğunu göstermektedir. Uygulama sonuçlarıyla birlikte değerlendirildiğinde görülecektir ki, HÜ Türkiye’de belli bir aşama kat etmiş olmasına rağmen, öğretici ve geliştirici çalışmalara ihtiyaç duymaktadır. İncelenen hücrelerde bulunan operasyonlar, üretilen ürün tipleri, hücrenin uygulama sürecinde geçirdiği değişim ve kapatılan hücreler hakkında elde edilen bilgiler ve yapılan değerlendirmeler Türkiye’de yapılan uygulamaların sonuçlarını ortaya koymaktadır.

2.6.1. İmal Edilen Ürün Çeşitleri

İncelenen 163 hücrede üretilen parça/ürün aileleri genel itibariyle Tablo 2.8’de gösterilmiştir.

Tablo 2.8. Firmalarda Üretilen Ürünler.

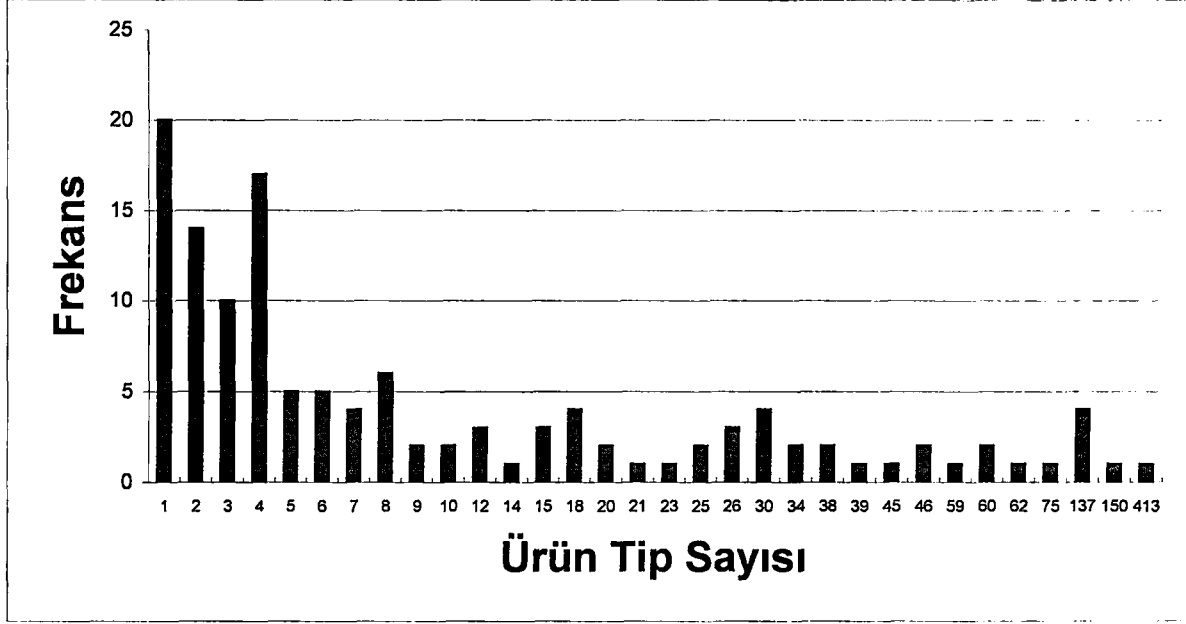
1.Elektrik/Elektronik ürünler ve Ana parçaları : Elektrik motorları, kabloları, kablo takımları, marş motoru, regülatör, cam silecek motoru, radyatör motoru, farlar
2.Makine ve meknik parçalar: Dişli çarklar, aks, diferansiyel dişli kutusu, balata ve fren pedalı, otomobil suspansiyon, helikopter pervane toz tutucusu, jet motoru par.
3.Metal levha ürünler: Traktör, otomobil, helikopter ve uçakların metal levhaları, metal kabin ve çekmeceler, eksoz boruları.
4.Plastik/Metal kalıp/Döküm ürünleri: Camürün kalıpları, plastik kalıplar, metal kalıplı motor parçaları
5.Motorlar: Motorlar, uçak motoru, jet motoru, türbinler
6.Takımlar: Matkap uçları, kılavuzlar
7. Sınıflandırılmayan ürünler ve parçalar: Klima parçaları, araç koltukları

2.6.2. Hücre Başına İşlenen Parça/Ürün Sayısı

Her bir hücrede işlenen parça/ürün sayısı değerlendirildiğinde, bu çalışmada aşağıda gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Veriler incelendiğinde, tek tip parça/ürün işleyen hücrelerin oranı %15.7’dir. Hücrelerde 25 tip veya daha az sayıda parça/ürün işleyenlerin oranı %80.3, 50 tip veya daha az sayıda parça/ürün işleyenlerin oranı %82.1, 100 tip veya daha az sayıda parça/ürün işleyenlerin oranı %95.3 olarak gerçekleşmiştir. Veriler topluca değerlendirildiğinde, hücrelerde işlenen parça/ürün tipi sayısının 1 ila 8 civarlarında yoğunlaştığı görülmektedir.

Tablo 2.9.Hücrelerde İmal Edilen Ürün Tip Sayısına Ait Frekanslar



2.6.3. Hücrelerde Gerçekleştirilen Operasyon Türleri

163 hücrede, parça/ürün ailelerinin işlenmesi için gerekli operasyon türleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.10'de gösterilmiştir.

Veriler değerlendirildiğinde, hücrelerde en fazla görülen operasyon türleri sırasıyla, test işlemi, talaşlı imalat işlemleri ve montaj işlemleridir. Hücrelerin %5'inde kaplama, boyama gibi operasyon türleri vardır. Oranın düşük olması normal bir sonuçtur. Çevreye etkisi, yatırım maliyetinin yüksek olması gibi nedenlerden dolayı bu tür operasyonlar, işletmelerde hücre dışında ortak tesis olarak kullanılmaktadır.

Tablo 2.10.Hücrelerde Mevcut Olan Operasyonlar.

Operasyon Türü	Tüm Hücreler İçindeki Yüzdesi
Test	70
Talaşlı İmalat	63
Montaj	42
Son Yıkama	25
Kaynak	24
Plastik Şekil Verme	13
Paketleme	9
Isıl İşlemler	8
Diğerleri (Kaplama, Boyama, vs)	5
Döküm	2

Veriler ayrıntılı analiz edildiğinde, 163 hücreden tek operasyon türüne sahip hücreler toplamı 5 tir. Bunlardan 4'ünde sadece talaşlı imalat, 1'inde sadece döküm operasyonu mevcuttur. Geri kalan hücrelerin tamamı birden fazla operasyon türünü içinde barındırmaktadır. Bu da HÜ'den istenen bir özelliktir. Hücre tasarımı sırasında işin bir hücrede tamamlanması hedefinin en yüksek değer olan 4.63 olması, kurulan hücrelere de bir sonuç olarak yansımıştır.

2.6.4. Hücredeki Ekipman/Makine ve İşgören Sayısı

Daha önceki çalışmalar incelendiğinde, “Kaynakların daha yüksek etkinlikte ve verimlilikte kullanımı için ekipman veya işlemlerden daha az sayıda işgörenin hücrelerde görevlendirilmesi” ortak görüştür.[13] Bu görüş ancak ve ancak birden fazla makineyi kullanabilme yeteneğine sahip eğitilmiş operatörler ile uygulanabilir. Araştırma yapılan firmalarda da “işgörenin birden fazla makinede kullanılması”, derecesi 3.8 olan önemli bir kriter olduğu görülmektedir. Bu kriter diğer kriterlerle karşılaştırıldığında 3. sırada yer almaktadır. Ayrıca, HÜ projelerinin başlatma nedenleri arasında “işgörenin etkinliğini arttırmak” 3.9 önem derecesine sahip olup önemli bir kriter olduğu burada da ortaya çıkmıştır.

Çalışma kapsamındaki HÜ uygulamalarında, vardiya başına çalışan sayısı ve hücrede kullanılan ekipman/makine sayısı ile ilgili veriler de toplanmıştır. Bu verilere göre, vardiya başına çalışan sayısı ortalama 7.6 kişi olarak gerçekleşmiştir. Çalışan sayısı ile ilgili standart sapma, minimum değer ve maksimum değer sırasıyla 10, 1 ve 60 olarak belirlenmiştir. Hücrelerin %19.6 'sı tek bir operatörle, %44.1 'i 3 veya daha az sayıda operatörle, %51.5 'i 5 veya daha az operatörle çalışmaktadır. Tek operatör kullanılan hücreler talaşlı üretim+montaj yada kaynak+montaj işlemlerinin olduğu hücrelerdir. 10 veya daha fazla operatörün kullanıldığı hücreler ise montaj ve test işlemlerinin yapıldığı hücrelerdir.

Hücrelerde kullanılan ekipman/makine sayısı ortalama 10.82 adet tespit edilmiştir. Makine sayısı ile ilgili standart sapma, minimum değer ve maksimum değer sırasıyla 8.7, 1 ve 50 olarak tespit edilmiştir. Beklenildiği gibi çalışan sayısı ortalaması(7.6 kişi) makine/tesis sayısı ortalamasından (10.82) düşük çıkmıştır.

Tüm hücrelerdeki makine sayıları ve işgören sayılarının hesaplanan değişkenlik katsayıları sırasıyla 0.81 ve 1.3 bulunmuştur. Değişkenlik katsayılarının 1'e yakın veya 1'den büyük olması, hücrelerin çok farklı işgören ve makine sayısına sahip olduğunu göstermektedir.

2.6.5. Parça Ürün Tasarımlarında, Rotalandırma ve İşleme Ekipmanlarında Değişiklikler

Bir hücrenin tasarımı sırasında, tasarımcıların en çok dikkate aldığı kriterlerden bir tanesi operasyon sıralarıdır. Tasarım sırasında operasyon sırasını göz önüne alan firmaların oranı %81 olarak tespit edilmişti. Aynı parçanın üretiminde tek bir rota olmayıp, farklı makine ve işlem sıralarının kullanımı ile değişik rotalar belirlenebilir. Bu çalışmada HÜ'ye geçildikten sonra parça rotalarında değişiklik olup olmadığı araştırılmıştır. 163 hücreden 52 tanesi parça rotalarında değişiklik yapmıştır. Bu değişikliği yapan 52 hücreden sadece 13 tanesi operasyon sırası değişim yüzdesini verebilmiştir. Verilen hücrelerin ortalama değişim oranı %43.1'dir. Bu bir anlamda hücre kurulması aşamasında operasyon sıralarının önemli oranda değişebildiğini göstermektedir.

HÜ'ye geçme ile beraber parça tasarımında değişiklik yapılan hücre oranı %2.5 dur. Böylesi düşük orana karşılık ABD deki imalat hücrelerinde bu oranın %45 olduğu görülmektedir.[13] Bu durum, ürün geliştirme faaliyetleri ile imalat süreçlerinin beraberce düşünülmesi yaklaşımı olan eş zamanlı mühendislik çalışmalarının Türkiye firmalarında yeterli düzeyde uygulanmadığını göstermektedir.

Hücrelerin %48'inde hücre kurulması sırasında ekipman/makine değişimi yapılmıştır. Bu hücrelerdeki değiştirilen ekipman/makine oranı ise %33 tür. Başka bir deyişle, üç hücreden bir tanesi değişmiştir. İncelenen 163 hücrenin sadece 7 tanesinde %100 ekipman değişimi gerçekleşmiştir.

Buradaki ekipman değişikliğinin temel nedeni, ürün tasarım değişikliği değil, rotaların değiştirilmesi ihtiyacıdır. ABD deki çalışmada gerek ürün tasarım değişikliği ve gerekse rota değişikliğinin beraberce kuvvetli etkisi ekipman değişiklik oranının %70 olmasına neden olmaktadır.[13]

2.6.6. Hücre Bağımsızlığı

İş parçalarının %33'ü aynı hücrede tamamlanamamakta ve sistemde birden fazla hücreye uğramaktadır. Bu oran Wemmerlöv ve Johnson 'un (2000) elde ettiği oranın hemen hemen aynısıdır. Burada ilginç bir benzerlik bulunmaktadır. Hücre içine alınamayan makineler nedeniyle iş parçasının hücreler arası hareketine neden olan hücre sayısı 59'dur. Başka bir deyişle tüm hücrelerin %36'sıdır. Elde edilen hücre bağımsızlığı ile hücre oluşumunda birinci derecede önemli olan “ürünlerin tamamen hücrede tamamlanması” nedeni ile doğrudan ilgilidir. Firmaların en çok önem verdikleri kriterde %33'lük bir seviyeye gelebilmeleri maddi kısıtların HÜ uygulamalarında önemli rol oynamasından ve çeşitli sebeplerle hücrelere yerleştirilemeyen ekipman/makinelerin sayısının çokluğundan kaynaklanmaktadır.

2.6.7. Hücreleştirme Oranı

Tüm firmalarımızda hücreleştirme oranı ortalaması %47'dir. Başka bir deyişle yaklaşık ortalama imalat sisteminin yarısı hücreler halinde düzenlenmiştir. İmalat sisteminin tamamını hücreler haline getiren bir firma bulunmamaktadır. Karma sistemler, firmalarımızda genellikle tercih edilen bir yaklaşımdır.

2.7. Sonuç

Toyota ve Yalın Üretimle gelen akımların Türkiye'ye girmesiyle 1990'lı yılların başından itibaren imalat şirketlerini uygulama yönünde etkilemeye başlamıştır. Uluslar arası şirketlerin bu yıllarda artan bir şekilde yatırım yapmaları da bu yaklaşımların Türkiye'de yaygınlaşmasına etkisi olmuştur. Ancak firmaların sistemin gerektirdiği değişimi sağlayacak projeleri bir bütün olarak görmemeleri, istenilen performansa ulaşmalarını zorlaştırmaktadır. Türkiye'de HÜ projeleri genellikle firma çalışanlarının önerisiyle ve sadece bölgesel bir yerleşim düzenlemesi çalışması olarak görüldüğünden detaylı bir analiz yapılmadan gerçekleştirilmektedir. Belki bu haliyle büyük kapsamlı değil de sahada Kaizen çalışması olarak ele alınmaktadır. Bu şekilde bir yaklaşım, ilk aşamada hızlı ve bölgesel olarak sonuç verici olması nedeniyle tercih edilebilir. Ancak buna karşılık devam eden aşamalar üzerinde çalışılmadığı takdirde tüm sistem için istenen performansa ulaşmak zorlaşmaktadır.

Firmaların proje öncesi düşük performans hedefleri koymaları da HÜ ile meydana gelecek bizce yetersiz olan değişim beklentilerini ortaya koymaktadır.

Özellikle İnsan Kaynakları ile Muhasebe ve Finans departmanlarının üretimle ilgili bu tip projelere katkısının yetersiz olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum imalatla diğer üretim fonksiyonlarının bütünleşik ve ahenkli bir şekilde çalışmadığını göstermektedir. Sonuç olarak, HÜ ile beklenen hedeflerin tutturulması zorlaşmaktadır.

Sahada yapılan görüşmeler ve saptamalar sonucunda proje takım elemanlarının Yalın Üretim ve bileşenleri konusunda bilgili ve yetkin olduklarını gözlemledik. Ancak, HÜ projelerinin etkin bir şekilde uygulanmamasında, her ne kadar üst yönetimin projeyi desteklediği ve takıma yetki verdiği anket sonuçlarından elde edilse de, takım elemanlarının firma çapında bir dönüşüm yapmak için üst yönetimden istenilen düzeyde destek alamadıkları saha analizleri sonucu önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır.

Genel olarak incelenen tüm hücrelerde tasarım sırasında hücrenin bağımsızlığına esnekliğe göre daha fazla önem verildiği görülmektedir. Bu da hücre ömürlerinin kısa olmasına sebep olabilir. Türkiye’de hücreler son yıllarda kurulduğundan bu yönde istatistiksel bir sonuç alınamamıştır. Hücre oluşturmada esnekliği dikkate alan stratejiler oluşturmak göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir.

Hücresel üretime dönüşüm çalışması kapsamlı bir projedir. Farklı aşamalarda gerekli olan farklı tekniklerin/sistemlerin etkin ve yerinde kullanımı için uygulanabilir bir metodoloji oluşturmak faydalı olacaktır.

3. METODOLOJİLER

HÜ birçok imalatçı firma tarafından bütünleşik üretim sistemlerinin bir parçası olarak görülmektedir. TZÜ'nün ve Dünya Sınıfında İmalatçı olmanın önemli bir aşamasını oluşturur.[15] Geçmiş üretim sistemleriyle karşılaştırıldığında verimlilikte, kalitede ve tepki süresinde büyük gelişmeler sağlayabilir. Ama başarıyı elde etmek zor ve karmaşıktır.

Hücreler basit görünürler, ama karmaşık sosyo-bio-teknik sistemlerdir. Kusursuz çalışması insanlar ve makineler arasındaki güç algılanan etkileşimlere bağlıdır. Her bileşen diğerleriyle fonksiyonel olarak, düzeltici olarak ve geliştirici olarak uyum içinde olmalıdır. Hücreler bir veya birkaç ekipman/makineden oluşmuş tasarımları gereği işgören takımlarına sahip iş üniteleridir. Yararlarının birçoğu tasarımının “sosyal” yanlarından elde edilmektedir.

3.1. Hücresel Üretim Uygulama Metodolojisi

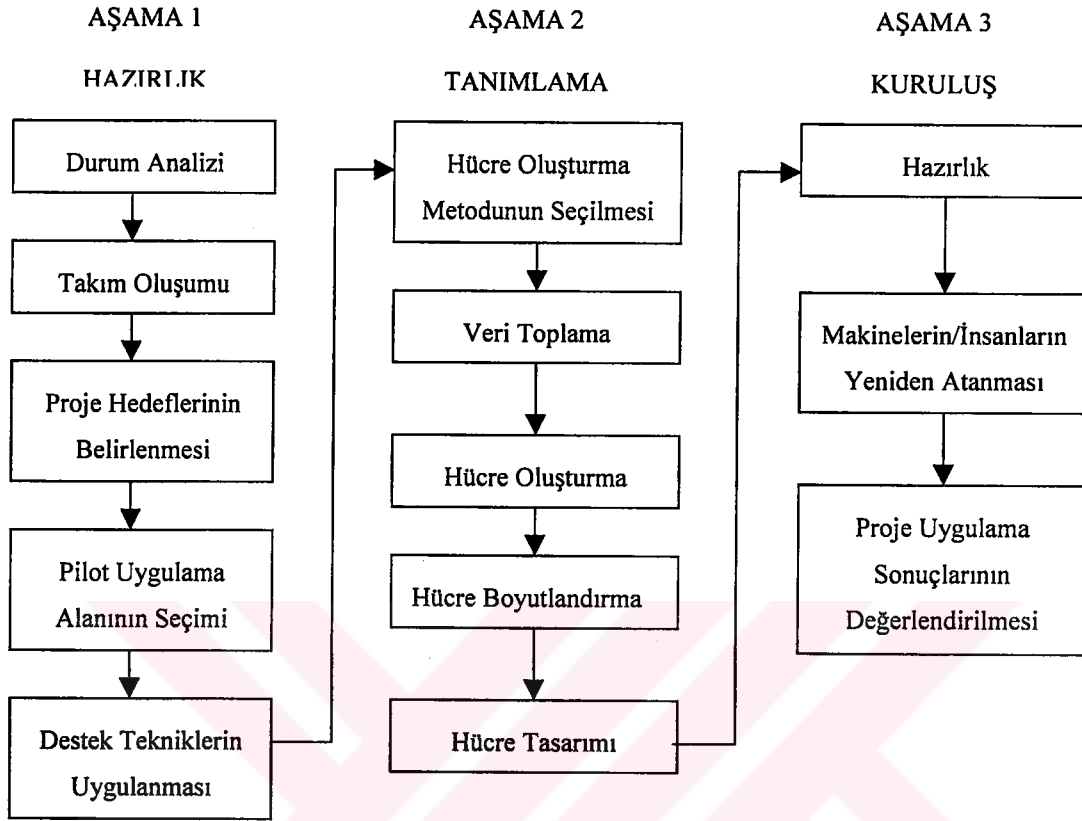
HÜ uygulaması için Da Silveria(1999) tarafından önerilen metot makine-parça ailesi oluşturma yöntemleri, uygulamada karşılaşılan teknik, organizasyonel ve kültürel problemlerin çözümü, sistemin performansının değerlendirilmesi hakkındaki fikirler, teknikler ve öngörüler mantıksal bir sırayla bütünleştiren bir yaklaşım sergilemektedir(Şekil 3.1).

Metodoloji üç aşamadan oluşmaktadır.[14] Aşama 1 sistemin analizi ve yeni yerleşime hazırlanmasıdır. Aşama 2 yeni yerleşimin belirlenmesidir. Aşama 3 yeni yerleşimin ve yönetim sisteminin fiziksel uygulanmasıdır.

3.1.1. Aşama 1 – Hazırlık

Proje mevcut üretim sisteminin hücresel imalat uygulaması için uygun olup olmadığının belirlenmesi için yapılan analizler ve sistemin yeni yerleşime

hazırlanması ile başlamaktadır. Böylece işletmeyi yeni yerleşime hazır hale getirmesi için projenin ana gereksinimleri ve amaçları tanımlanmış olur. Hazırlık aşaması beş adımdan oluşmuştur:



Şekil 3.1.HÜ Uygulama Metodolojisi [14]

1.Durum Analizi: Hücre oluşumuna temel teşkil edecek ilk verileri kapsar. Bu, tasarımda, uygulamada ve hücrelerin performansında büyük etkisi olan sistemin teknik ve organizasyonel özelliklerinin tanımlanmasıdır(Tablo 3.1).

2.Takım Oluşumu: Proje ile ilgili olan üç insan grubunu bilgilendirme, geliştirme ve ilişkilendirmeyi hedefler. Bu gruplar (i)projeye destek verecek yönetim,(ii)hedefleri anlayıp destekleyecek ve yetersiz kabiliyetlerine göre eğitilecek olan işgörenler ve (iii)imalat hücrelerini tasarlama metotları ve tekniklerini öğrenmesi gereken projeyi gerçekleştirecek olanlar.

3.Proje Hedeflerinin Belirlenmesi: HÜ ile elde edilecek ana hedeflerin belirlenmesini amaçlar. İmalat hücreleri kalite, maliyet, esneklik ve hız konularında büyük yararlar sağlayabilir. Hedeflerden operasyon stratejisi ve tüm performans üzerinde en büyük etkisi olan belirlenmelidir.

Tablo 3.1.Durum Analizinde Dikkate Alınan Teknik ve Organizasyonel Özellikler.

Teknik Özellikler	Organizasyonel Özellikler
• Parça/ürünlerin tip ve özellik çeşitliliği. • Ürün akışları ve ürün ağaçları. • Üretim hacimleri, parça ve makineler arasında çeşitlilik ve benzerlik seviyesi. • Üretim zamanları, stok seviyeleri, işgören ve atölye boyutları. • Kurulan makineler, tesisler ve bütünleşme düzeyleri. • Kullanılan üretim planlama ve kontrol metotları ve diğer üretim teknolojileri.	• İnsanların projeye katılımı ve üstlenmesi. • İnsanların bilgi seviyesi, hiyerarşiler, maaşlar ve eğitim seviyeleri. • Sendikanın katılımı, işgören hareketleri ve grevler. • Öncelikli atölye geliştirme programı hedefleriyle ilgili kazançlar ve problemler. • Hücresel üretim hedeflerinden ve metotlarından insanların anladığı.

4.Pilot Uygulama Alanının Seçilmesi: Pilot uygulama alanının seçilmesi süreçte meydana gelebilecek hataların etkisini en aza indirmeyi ve öğrenme evresinden geçmeyi sağlar.

5.Destek Tekniklerin Uygulanması: HÜ 'nün uygulanabilirliğini ve getirilmesini artırmayı amaçlar. Başlıca destek teknikler hazırlık süresi [27], takım çalışması, parça standardizasyonu ve önleyici bakımdır.

3.1.2. Aşama 2 – Tanımlama

Bu aşama HÜ yerleşiminin tasarlandığı projenin en “teknik” aşamasıdır. Hücre tasarımında kullanılacak tekniklerin seçilmesi ve uygulanmasını içerir. Hücre tasarımı Aşama 1’de belirlenmiş amaçları, kriterleri ve kısıtları yansıtmalıdır. Tanımlama aşaması 5 adımdan oluşmuştur:

1.Hücre Oluşum Metotlarının Seçimi: Literatür çok çeşitli hücre oluşum metotları sunmaktadır.[16, 18, 28-30, 36] Parça/makine çeşitliliği, gruplama kapsamı(ürünler, makineler veya iki grubu da), elverişli kaynak ve zaman, gerekli kişisel kararların seviyesi gibi çeşitli bakışlara sahip bu metotlar arasından seçim yapmak gereklidir. 5 ana metodoloji mevcuttur: Görsel analiz,sınıflandırma ve kodlama sistemleri, benzerlik katsayıları, gruplama algoritmaları ve matematiksel programlama. Tablo 3.2 bu 5 ana metotta parametrelerin durumunu göstermektedir.

2. Veri Toplama: Bu veriler hücre oluşturma tekniklerinin kullanımı sırasında gerekli olan verilerdir. Bu verilerin bir kısmı Aşama 1’de toplanmış olabilir. Aşama 1’de seçilen metoda, hedeflere ve kriterlere göre toplanacak veriler değişir. Bu veriler parça/ürün listelerini, ekipman/makine listelerini, ürün rotalarını, işleme ve hazırlık sürelerini, makine sabit ve değişken maliyetlerini, üretim hacimlerini ve parça özelliklerini içerebilir. Bu verilerin yanlışlığı yeni yerleşimin verimsiz olmasına sebep olur.

3. Hücre Oluşumu: Seçilen metodun uygulanmasıdır. Bazı metotlar (Makine/parça ailelerini belirlemek ve hücre dışı makineler/parçalar gibi bilinen problemleri çözmek için) uygulamadan önce hücre sayısı ve hücrelerin boyutu hakkında veriye ihtiyaç duyarlar. Diğer metotlar, bu durumu göz ardı eden sonuçlar üretebilirler. Gruplama etkinliği katsayısı kullanımı, alternatif gruplamaların karşılaştırılması açısından kullanışlıdır.

Tablo 3.2. Hücre Oluşturma Metot Seçim Parametreleri

Parametre	Seviye	Görsel Analiz	Kodlama Sistemleri	Benzerlik Katsayıları	Gruplama Algorit.	Matematik Prog.
Parça/Mkn. Çeşitliliği	Düşük	x		x		x
	Yüksek		x		x	
Nesneleri Gruplama	Parça	x	x	x		x
	Makine		x	x		x
	İkisi de				x	x
Maliyet	Yüksek	x		x	x	
	Düşük	x				x
Zaman (analiz)	Kısa		x	x	x	x
	Uzun	x				
Kişisel Karar	Düşük		x	x	x	x
	Yüksek	x				

4. Hücre Boyutlandırma: Her hücrede bulunacak makine sayısını ve üretim hacimlerini tanımlar. İki kısımda toplanabilir: Kapasite planlama, hat dengeleme.

5. Hücrelerin Tasarımı: Hücre gereksinimlerini ve özelliklerini atölyeye aktarır. Makine/parça ailelerinin yanında parça özellikleri, alternatif rotalar, takım/tertibat ve hücrenin atölyeye yerleştirilmesi gibi diğer bilgilerin de dikkate alınmasını gerektirir.

Hücre içi en iyi makine sırasının belirlenmesi için ürün akış tasarımı metotlarının uygulanmasına da uygun bir adımdır.

3.1.3. Aşama 3 – Kuruluş

Bu aşama yeni yerleşimin fiziksel oluşumu ile ilgilenir. Yerleşimin özelliklerine göre yeni hücrelerin hazırlanması ile üretim planlama, yönetim ve kontrol aktivitelerinin yeniden tanımlanmasını içerir. Üç adımdan oluşmuştur:

1.Hazırlık: İnsanların yeni yerleşimde (sorumluluk almasını)üstlenmesini sağlamayı, tasarımı geliştirmeyi ve son yaklaşımları açıklığa kavuşturmayı hedefler. Hücrelerin fiziksel yerleşim projelerinin çizelgelenmesi[31] için bir PERT diyagramı oluşturulabilir. PERT vb. proje yönetim tekniklerinin kullanılması bir çok yazar tarafından tavsiye edilmektedir. Makinelerin ve insanların fiziksel olarak yeni yerleşime atanması, Aşama 2'nin 3. adımında gerçekleştirilen makinelerin, parçaların ve insanların mantıksal atamalarından farklıdır.

2.Makine ve İnsanların Yeniden Atanması: Makinelerin, takım/tertibatın, tesislerin ve insanların yeni yerleşime asıl hareketini içerir. Bu aşamada üretim duraksamalarını ve bölünmelerini en aza indirmek ve iş güvenliğini sağlamak için gerekli çaba gösterilmelidir.

3.Hücre Yönetimi ve Proje Geribildirimi: Proje üretim planlama, yönetim ve kontrol sistemlerinin yeniden düzenlenmesi ve hücre performanslarının analizi ile sona erer. Öncelikli geliştirme alanlarının belirlenmesi için elde edilen performans değerleri geçmiş yerleşimle ve projeye başlarken belirlenen hedeflerle karşılaştırılmalıdır.

3.1.4. Sonuçlar ve Öneriler

Önerilen metodoloji ile HÜ uygulaması yapılmasının şirket organizasyonu, rekabetçiliği ve performansı üzerinde bir çok olumlu etkileri vardır. En önemli etkisi, yeni tesisler kurulmasına gerek kalmadan sistemin büyük çeşitlilikteki parçaları/ürünleri işleme kabiliyetini artırması veya sınırları bu doğrultuda genişletmesidir. Bu çoğunlukla ürün karması esnekliğini artırmasıyla, süreç içi stok miktarını, parti miktarlarını ve taşıma sürelerini azaltmasıyla sağlanır. HÜ ile fonksiyonel yerleşimin performansları karşılaştırıldığında hücre oluşturulması

sırasında belirlenen hedeflere kısa sürede ulaşıldığı görülmektedir(tablo). Bunun yanında, hücre yerleşimi iş sağlığı ve güvenliği koşullarını geliştirmekte, üretim takımlarının özerkliğini artırmakta ve yetkin işgörenleri işten çıkarma riskini azaltmaktadır.

Performansı geliştirme etkisi yanında metodolojiyi uygulamanın şu avantajları vardır:

- 1.İmalat hücresi tasarımı ve uygulaması konusunda bir çok tekniğin, fikrin ve metodun doğru zamanda ve etkin olarak uygulanmasına olanak tanır.
- 2.Katılan insanların tüm süreci başından sonuna kadar görselleştirmeleri ve izlemelerine olanak tanır.
- 3.Proje takımına her aşamadaki hedefleri ve farklı aşamalar arası hedefler arasındaki ilişkileri[7] anlamalarında ve özel olarak eğitmeleri gereken personeli belirlemelerinde yardımcı olur.
- 4.Proje sırasında gerçekleştirilecek farklı faaliyetler ve bu faaliyetlerin kontrolü için gerekli kaynakları(zaman, insan ve sermaye) bütçelemeyi kolaylaştırır.
- 5.Proje süresince yönetimin ve işgörenlerin projeye katılımı ile takım çalışmasını benimsetir.

Bu kazançların çoğu proje yönetimi geliştirme çalışmalarında kilit başarı faktörleri olarak görülmektedirler.[Schultz-Wild ve Kohler,85, Beatty 92, Levi et al 92, Kotter 95] Ayrıca bu metodolojinin uygulanmasının firmanın öğrenme kabiliyetleri üzerinde büyük etkileri vardır. İlk olarak, insanların süreç geliştirmede “teorik yaklaşımlar” olarak gördükleri çalışmalar hakkındaki fikirleri değişir. Alınan sonuçlar, teorik metotların ve çalışmaların iyi uygulandığında organizasyonda ve performansta büyük gelişmeler sağlanabileceğini göstermektedir. İkincisi, “Nasıl yapacağım?”ı öğrenmek insanların HÜ’yü firmada yaygınlaştırmalarına olanak tanır ve iş organizasyonu, sağlık, güvenlik ve üretim planlama ve kontrol alanlarında ileri çalışmalar yapmalarına bir başlangıç teşkil eder.[7]

3.2. Hücre Sentez Algoritması(HSA)

HSA (EK – 2) optimum hücre tasarımında tasarımcıya yardımcı olmak için bir mantık sırasında gerekli şartların dikkate alındığı bir metodolojidir.[32] Bilimsel olarak ideal bir HÜ sisteminin kurulması belli prensiplerin kullanıldığı bir mühendislik çalışmasını gerektirir. Metot olarak da hücre mühendisliği, temel prensiplerin uygun kombinasyonunu ve uygulamalarının belirlenmesini gerektirir. Her hücre tasarımcının tanımlaması gereken birçok elemandan oluşmuştur(donanım ve yazılım). Dolayısıyla bütün elemanların hedeflerine uygun ve birbirlerine göre tutarlı olması gerekir. Çok sık olarak gerçekleşen, bazı elemanlara, örneğin yerleşime, büyük önem verilmesi ve diğer elemanların tesadüfen ortaya çıkmasıdır. Her hücrenin tasarımında şu temel elemanlara önem verilmesi gereklidir:

Donanımla ilgili elemanlar:

- Ürün gruplandırma
- Süreç/işlem seçimi
- Konteyner
- Malzeme taşıma metotları
- Yerleşim düzeni

Yazılımla ilgili elemanlar:

- İşgörenlerin seçimi/eğitilmesi
- Parti miktarı belirleme
- Üretim kontrolü
- Ekipman/makine dengelemesi
- İşgücü dengeleme
- Görev atama

- Kalite güvence

HSA 5 ana kısımdan oluşmaktadır:[32] Sürecin analizi, elemanların tanımlanması, seçeneklerin tasarlanması , bir seçeneğin seçimi ve uygulama. Tasarım sürecini yapılandırır ve yukarıda belirtilen önemli elemanların tanımlanmasını sağlar. HSA şu elemanlardan oluşmaktadır:

- Mantıksal Akış Diyagramı
- Uyumluluk Tablosu
- Formlar
- Kontrol Listeleri
- Rehber

Mantıksal Akış Diyagramı kullanıcıyı birçok analizi kullanmaya ve kararı vermeye iter. Kullanıcılar hücre tasarımını adım adım tanımlar ve oluşturur. Hücre tasarımcılarının düşündükleri süreçleri yapılandırmalarına yardımcı olur. Tasarımcılar genelde az deneyimle yüksek performanslı kurma hedeflerine yönelirler ve çoğunlukla GT ve ÜAA konularına yabancıdırlar. Teknik konularda iyi derecede bilgili olan kişiler de sosyo-teknik sistemler hakkında nadiren bilgi sahibidirler. Bir takımın yönetim metotlarını ve uyumunu sağlamak için sosyo-teknik prensipleri öğrenmeleri gerekmektedir.

Birçok hücre elemanını ilişkilendirmek hücre tasarım sürecini karmaşılaştırır. Belli bir elemanın seçimi diğer elemanların seçimini kısıtlayabilir veya zorunlu kılabilir. Örneğin orta ölçekte ÜPM belirlemek büyük boyutlu dış konteynerlerin kullanımını imkansızlaştırır. Deneyim eksikliği ve yetersiz malzeme bilgisi ile daha da artan karmaşıklık yapılanmış tasarım sürecinin önemini daha da artırır.

HSA 'da bulunan formlar ve prosedürler de tasarım sürecine yardımcı olmak amacıyla. Algoritma tamamlandığında, tasarımcı bir yerleşime, yöntem kartlarına, standart sürelerle ve işlem tanımlarına sahiptir. Bu çoğunlukla uygulama için yeterlidir.

Bir hücredeki her tasarım elemanı için çeşitli seçenekler vardır. Fakat bu seçenekler tamamen bağımsız değildir. Örneğin büyük parti miktarı seçimiyle konteyner, malzeme taşıma sistemleri ve görev atama seçeneklerini kısıtlanır. HSA uyumluluk tablosu elementlerin uyumlu olup olmadıkları konusunda tasarımcıya yardımcı olmaktadır.(Tablo 3.3)

Tablo 3.3'ün sol kısmında hücre tasarım elemanları görünmektedir. Uyumluluk tablosu ayrıca her eleman için söz konusu seçenekleri de bulundurmaktadır. Herhangi bir eleman için diyagonal hat üzerindeki noktalar diğer elemanlarla olan uyumluluğu gösterir. Uyumluluk tablosu çoğu durum için doğru sonuçlar vermektedir, ama yanılmaz veya deneyimin yerini alan bir tablo olduğu düşünülmemelidir. Daha çok konuya uzak kimseler için veya geçici başvuru için dikkatle kullanılması gereken bir rehberdir.

Örneğin Kanban Dışsal Üretim Kontrolü için beş seçenekten birisidir. Tablo 3.3'te Kanbanın sağ tarafında yukarı doğru olan sütuna bakıldığında Üretim Parti Miktarlarından orta ve küçük olanların elverişli olduğu görülmektedir. Bu şekilde diyagonaller aşağı ve yukarı yönde takip edilerek kullanıcıya Kanban sisteminin seçimi ile diğer elemanlar arasında nasıl bir etkileşim olduğu gösterilmektedir.

Mantıksal Akış Diyagramı ve Uyumluluk Tablosuna ek olarak algoritma çeşitli formlar, rehberler ve kontrol listeleri bütün ihtimallerin gözden geçirilmesine olanak tanır.

HSA parti miktarını ve konteyner büyüklüğünü küçük, orta ve büyük olarak ele alır. Yarım saat ve daha az sürede normal üretimle üretilebilecek miktar “küçük”, dört ila yarım saat arası normal üretim miktarı “orta” ve dört saatten fazla sürede yapılan normal üretim miktarı “büyük” olarak kabul edilir.

HSA'nın çıktısı ekipman/makine listesi, yerleşim planı ve hücre operasyon planıdır. Hücre Operasyon Planı hücrenin her elemanını, görev ve insan atamalarını tanımlar. Ekipman/makine listesi mevcut donanımın sayısı ve tipi hakkında bilgi verir. Yerleşim ile hücrenin fiziksel oluşumu tanımlanır.

HSA'nın kullanımı eksiksiz ve bütünleşik bir tasarımı en kısa sürede gerçekleştirmeye yardım eder. HSA ile, deneyimsiz tasarımcılar kullanışlı hücre tasarımları yapabilirler.

Metodun uygulaması akış diyagramının en başından başlar(EK- 2). Diyagramdaki şekiller bilgi girişini, işlemleri, kararları ve çıktıları gösterir. Diyagramdaki her sembol tasarım sürecinde bir adım gösterir(1'den 40'a).

Metot 5 ana kısımdan oluşmaktadır:[32]

1. Sürecin analizi,
2. Elemanların tanımlanması,
3. Farklı hücre seçeneklerinin tasarımı,
4. Bir seçeneğin seçilmesi,
5. Uygulama.

3.2.1. Aşama 1 – Sürecin Analizi

1-14. adımlar arası olan bu aşama bilgi girişiyle başlar. Sonra ürünler ve süreçler incelenir ve ürün çeşitliliği, işlemler ve kaynak gereksinimleri hakkında başlangıç tasarım kararları verilir.

İlk veri girişi başlangıçta hücre veya hücrelerde üretilmesi olası bütün ürünler hakkındadır. Ayrıca bu aşama her ürün için mevcut ve tahmin edilen satış hacimlerini de içerir. Eğer bu ürünler (veya benzerleri) halen üretimdeyse, ilk veri girişi metotları ve mevcut üretim metotları hakkında bilgileri de içerir.

En az bilgi olduğu durumda, mevcut işlem süreleri ve mevcut satış hacminin bilindiği ürün listesini içerir.

Ek bilgi çoğunlukla yardımcıdır, ürün çizimlerini, yöntem kartlarını, mevcut parti miktarlarını, maliyet bilgisini, tedarikçi listesini, firma yerleşim düzenini, mevcut parti miktarlarını, fotoğrafları, ürün örneklerini, GT kodlarını, mevcut konteyner bilgisini ve alternatif işler bilgisini içerebilir.

Bilgi gereksinimlerini belirlemede en iyi rehber deneyimdir. Çok fazla bilgi gereksiz çabaya ve karmaşıklığa sebep olabilirken, çok az bilgi de tasarımı alt optimum tasarımlara götürebilmektedir.

Başlangıçta hücre için bir ürün veya uygun bir ürün grubu seçilir. Çeşitlilik düşük olduğunda hücre daha iyi işler. Dolayısıyla daha düşük ürün çeşitliliği olan daha fazla sayıda hücre kurulmaya çalışılır. Bu karar ekipman kullanımı ve yer gereksinimi düşük çeşitliliğe göre daha ağır basıncaya kadar uygundur.

Çeşitlilik imalat hücresinde çok önemli olabilir veya olmayabilir. Pazarlama terimlerinden çeşitliliğin (önünde diğer renk ve küçük seçenekler) üretim üzerinde bir etkisi yoktur.

Hücre için ürünlerin seçiminde GT yardımcıdır. ÜAA, kodlama ve sınıflandırma, mamul sınıflandırma ve görsel sınıflandırma hepsi etkin gruplama metotlarıdır.

Başlangıç veri girişi bütün ürünler, hücre veya hücrelere dahil edilebileceği düşünülen ürünler için yapılır. Bu aşama her ürün için mevcut ve tahmin edilen satış hacminin de belirlendiği aşamadır. Eğer ürünler (veya benzerleri) halen üretiliyorsa başlangıç veri girişi rotaları ve mevcut üretim yöntemleriyle ilgili bilgileri de içerir.

Bilgiler en azından mevcut satışlara, mevcut işlemlere ve işlem sürelerine göre ürün listeleri halindedirler. Ek bilgi çoğu zaman yardımcıdır.

Akış diyagramı başından sonuna kadar adım adım takip edilerek anlatılacaktır. Adım 1’de firma ürün profili ve satış hacim tahminlerini ortaya koymaktadır. Adım 2 bir kenar noktasıdır. Ürün sayısının 20’den az olup olmaması durumuna göre Adım 3 veya Adım 4’e geçilecektir:Adım 4’te ürün sayısının 100’den az olup olmadığı sorgulanmaktadır. Eğer ürün sayısı 100’den fazla ise Adım 7’ye geçilmekte ve Kodlama ve Sınıflandırma ile analiz önerilmektedir. Eğer ürün sayısı 100’den az ise Adım 5’te benzer rotaların sayısının 20’den az olup olmadığına bakılmaktadır. Eğer benzer rota sayısı 20’den az ise her ürün için Adım 3’te yöntem kartının(süreç akış diyagramı) hazırlanması önerilmektedir. Adım 5’e geldiğimizde benzer rota sayısının 20’den fazla olduğu görülmekte ise, Adım 6’ya geçilir ve ÜAA uygulanır. Tabii ki bu kararların verilmesinde mevcut/önerilen rotalar ve ürünler hakkındaki bilgilerden yararlanılır.

Tablo 3.3.Hücre Elemanlarının Uyumluluğu.

Üretim Parti Miktarı	Küçük	
	Orta	
	Büyük	
Dışsal Üretim Kontrol	Fiziksel bağlantı	
	Broadcast	
	Kanban	
	İtme çizelgesi	
	Yeniden Sipariş Noktası	
Dışsal Konteynerler	Küçük	
	Orta	
	Büyük	
Dışsal Malzeme Taşıma	Küçük ölçekli	
	Orta ölçekli	
	Büyük ölçekli	
İçsel Üretim Kontrol	Doğrudan bağlantılı	
	Dolaşım	
	Kanban	
	İtme çizelgesi	
Transfer Parti Miktarı	Küçük	
	Orta	
	Büyük	
Ekipman Dengeleme	Kuyruk	
	Doğal	
	Belirsiz	
İşgören Deng. /İş Atama	Kuyruk	
	Dolaşım	
	Değişken	
	Doğal	
	Belirsiz	
İçsel Konteynerler	Yok	
	Küçük	
	Orta	
Kalite Güvence	Büyük	
	Incele ve reddet	
	İstatist.Proses.Kont/TKY	
	Doğal	

ÜAA mevcut veya önerilen rotaları kullanarak parçaları/ürünleri benzer aileler halinde gruplar. Her aile bir hücrenin tasarımı için çekirdek teşkil eder. Oluşturulan bir parça/makine matrisinde sütun ve sıraların yeniden düzenlenmesiyle aileler oluşturulur. Genelde bir ürün ailesi ortak bir iş akışı içerir. İş sırasındaki küçük farklılıkların bir önemi yoktur. Parça/ürün ailelerini oluşturmada diğer bir yöntem de sınıflandırma ve kodlamadır. Eğer parça sayısı 100'den veya rota sayısı 20'den daha fazla ise önerilmektedir. Parça/ürünlerin sahip olduğu her özellik seçeneği yeni bir kod ile belirtilir. Burada şirket kendi ürün yelpazesine göre bir kod yapılandırması seçebilir.

Kodlama sistemi her parçanın ve ilgili kodunun bulunduğu bir veri tabanı kullanılır. Veri tabanı ayrıca işlemler, hacimler, parti miktarları, konteynerler ve maliyetler hakkında da veriler içerir. Çeşitli özelliklere göre sıralama ve aralarından seçim yapma ürün/parça ailesi oluşturmada en çok kullanılan yöntemdir. Bilgisayar destekli veri tabanı yöneticileri tarafından kolaylıkla uygulanır ya da büyük ve karmaşık durumları çözmek için uzman yazılımlardan yararlanılır.

Karmaşık durumlar için Adım 7 önerilmekteyken basit durumlarda 'içgüdüsel' kararlar ile de gruptamanın yapılabileceği düşünülmektedir. Yazılı bilgiler veya parça örnekleri gruptama için temel teşkil edebilirler. Böylece Adım 3 uygulanarak da başlangıç ürün/parça aileleri oluşturulmuş olur.

Adım 3'ten Adım 6'ya veya Adım 7'den Adım 8'e geçilir. Adım 8'de başlangıç ürün/parça aileleri seçilir. Sonra Adım 9'da analizciler bu parça/ürün ailesi için süreç yöntemine karar verirler. Bu seçim, kurulacak hücrenin hedefini belirler:GT, ürün, fonksiyonel ve proje.

GT Hücreleri: Benzer parça/ürün ailelerini işlerler. Genelde birden fazla operasyon veya makineye sahiptirler. Yüksek-üstün- takım çalışması gerektirir. Bu takım çalışması katılımcı/danışman tarzı bir organizasyon gerektirir. Hücre tasarımına bağlı olarak işgörenler bir veya birden fazla işi götürebilecek durumda olmalıdırlar. Yüksek derecede ürüne odaklı olması durumunda "tahsisli hücre" olarak adlandırılırlar ve ürün için gerekli tüm süreçleri içerirler. En uç halinde bir ürün veya çok az farklılık gösteren birkaç ürün üretirler.

Ürün: Benzer ürünler ailesini üretirler. Genelde birden fazla makine ve süreç içerirler. Yeni ürünleri veya ürün karmalarını üretebilme esnekliğine sahiptirler. Bu esneklikle fonksiyonel hücrelerden daha avantajlı hale gelir.

Fonksiyonel: Bir tek süreç veya fonksiyon içerir. Birçok ürün için gerekli operasyon sırası paralellik gösterir. Hücre daha büyük fonksiyonel bir tesisin parçası gibidir ya da farklı hücrelere uzmanlaşmış bir hücre olarak hizmet eder. Ürün hücrelerinde uygun olmayan şekilde büyük ölçekli işlemler içerirler. Takım çalışması genelde gereksizdir. Fonksiyonel organizasyon yapısına sahiptirler. Çeşitli ürünlere hizmet veren özel bir operasyona (ısıtma işlemi, fırınlama, boya, kimyasal işlem vs.) odaklanmışlardır. Avantajlarını gölgeleyen birçok dezavantaja sahiptirler.

Koordinasyon zorluklarını ve stok ihtiyacını artırırılar. Takım çalışması ve işgören katılımı yaklaşımlarına uymazlar ve TK yaklaşımını da engellerler.

Proje: Bir proje hücresi aynı anda bir ürün tamamlar. Her ürün özel bir tasarıma sahiptir ve hücre içindeki süreçlerden birkaçını gerektirir. Ufak bir atölye proje tipi hücreye örnektir. Birden fazla işgören ile bu hücrelerde yüksek seviyede takım çalışması vardır. Hücre içi yönetim, katılımcı danışman tarzını gerektirir. Nasılsa, daha büyük işletmelerde benzer hücreler daha bürokratik bir yapıya sahiptirler.

Görüldüğü gibi, süreç seçimi ürün seçimiyle yakından ilgilidir. Geniş ürün yelpazesi daha esnek, karmaşık ve pahalı süreçler gerektirir. Büyük ölçekli süreçler büyük parti miktarları, ve daha büyük talep hacmi gerektirir. Dolayısıyla fonksiyonel üretimde mevcut olan büyük ölçekli işlemler hücrenel üretime kolay bir şekilde dönüşürken, hücrelere adapte edilemezler.

Adım 10'da başlangıç süreç ve ekipman/makine seçiminden sonra, tasarımcılar süreci gözden geçirmeli ve iyileştirmelidirler. Süreci iyileştirmek için sürecin her yaklaşımına “iş basitleştirme” amaçlı şu sorular sorulur: Yönetim katındaki her elemana “Ne?, neden? nerede? ne zaman? kim ve nasıl?” soruları sorulur. Bu şekilde irdelenen süreçlerde ve sürelerde indirime gidilir.

Adım 11'den Adım 14'e kadar yapılan zaman ve iş etüdü çalışmalarıyla hazırlık süreleri, operasyon süreleri, işgören süreleri ve ekipman süreleri değerlendirilir.

Adım 14 ile “Sürecin Analizi” aşaması sona erer. Çeşitli üretim süreçlerini tamamlamak için gerekli zaman ile şu değerler belirlenir:

- Gerekli ekipman/makine sayısı,
- Gerekli insan sayısı,
- Parti miktarı,
- Üretim çeşidi.

Bu zamanları tahmin et, sentezini yap ve ölç. Yüksek derecede doğruluk çeşitli sebeplerden dolayı önemli değildir.

- Bir hücrede birçok mekanizma sapmalarına sebep olur.

- İyi bir takım sabit bir şekilde verimliliğini geliştirir ve belirlenmiş standart zamanları geçersiz, eski kılar.
- İnsanların kabiliyetleri ve hızları çok çeşitlilik gösterir.

HSA metodu hücredeki her ürün ve her operasyon için 4 zaman kullanmaktadır:

1. Hazırlık Süresi: Belli bir ürünü üretmek için makineleri, donanımı, takım/tertibatı ve insanları hazırlamak için tahmin edilen süredir.
2. İşgören Süresi: İşgörenin bir birim için gerekli operasyonlarının tamamlanması için gerekli süredir. Sadece işgörenin çalıştığı süreyi kapsar. İşgörenin makineyi beklerken geçirdiği süre çıkarılır.
3. Makine Süresi: Bir ekipman/makinenin bir birim ürün üretmek için gereken süredir. Bu süre ekipmanın diğer ürünleri üretmek için uygun olmadığı yükleme ve boşaltma sürelerini de kapsar.
4. İşleme Süresi: Bir birim ürünün bir operasyonu tamamlaması için gerekli süredir. Genelde “çevrim süresi” olarak adlandırılır.

Sürekli bir şekilde işgörenin makineyi kontrol etmesi gereken durumlarda işgören süresi, makine süresi ve işleme süresi eşittir. Bu zamanlar çeşitli yöntemlerle elde edilebilir.

- Kronometraj,
- Önceden belirlenen zamanlar (MTM),
- Bilgisayar tabanlı standart sistemler (EASE),
- Video kayıt,
- NC kasetleri,
- Deneyim,
- Tarihsel veri ve
- Ekipman/makine özellikleri.

ÜAA'daki her parça ismi için süreler formlara yazılır. Ayrıca ÜPM, günlük üretim miktarı ve günlük hazırlık sayısı da belirlenir. Bu, deneme amaçlıdır, son parti miktarı olmayacaktır. Sonra işleme süresini günlük üretimle çarparak her parça için gerekli süre elde edilir. Parti miktarının tek parça olacağı ve durum düşünülerek deneme olarak her birime hazırlık süreleri eklenir.

3.2.2. Aşama 2 – Elemanların Belirlenmesi

Adım 15'te önceden hesaplanan sürelerle göre hücre için gerekli işgören ve makine sayısı hesaplanır. Adım 16'da başlangıç ÜPM seçilmelidir. ÜPM belirli bir ürün için bir defa çalıştırma veya bir hazırlık işleminden veya bir takım değişiminden sonra üretilen miktardır.

Küçük parti miktarları düşük süreç içi stok gerektirirken üretimi dengeler ve kaliteyi artırır. Uygun ÜPM bir birim veya müşteri sipariş miktarıdır. Uygun parti miktarını belirlemede çeşitli faktörler etkilidir. Bunlardan bazıları:

- Yüksek hazırlık maliyeti
- Büyük konteynerler
- Büyük ölçekli malzeme taşıma sistemleri
- Büyük ölçekli/büyük hacimli süreçler
- Parti kontrolü
- Uyumluluk planları

Parti miktarı analizi için aşağıdakiler yapılmalıdır:

1. Çok çeşitli ürün üreten bir hücre için ürünleri temsil edecek en küçük ürün yelpazesi seçilir.
2. “Parça maliyeti” hesaplanır. Bu her birim veya parça üretim için geçerlidir. Direk işgücü, malzeme, genel giderler, ve parti miktarıyla değişmeyen maliyetleri içerir. Hazırlık veya elde bulundurma maliyetini içermez.

3. “Hazırlık maliyeti” hesaplanır. Tek bir hazırlıkla ilgili tüm maliyetleri içerir. İşgücü ve hazırlık malzemeleri de dahildir. Ekipman/makine yüksek kullanıma sahip olduğunda ve hazırlık süresi çıktıyı azalttığında kaybedilen üretimden kaynaklanan kayıp kazanç da eklenir.
4. “Elde bulundurma maliyeti” hesaplanır. Bir yılda mamul veya yarı mamul stokla ilgili katlanılan tüm maliyetleri içerir. Örneğin sigorta, bina maliyeti, yatırım faizi ödemeleri ve fabrikada stok takibi yapan işgücünün maliyetini içerir. Ayrıca ürünün üretilmesi için gerekli sermaye maliyeti de dahildir. Bu mevcut faiz oranı ile birim maliyetin çarpılması sonucu elde edilebilir. Bahsedilen maliyet kalemlerinin izlenmesi zor olduğundan tahmini değerler kullanılabilir.
5. Yıllık elde bulundurma maliyeti hesaplandıktan sonra birim başına düşen miktar hesaplanır.
6. Parça maliyeti, hazırlık maliyeti ve elde bulundurma maliyetinden “Ekonomik Parti Miktarı”(EPM) hesaplanır.

$$EPM = (2 \cdot HM \cdot \text{Üretim Miktarı} / DM)^{1/2}$$

7. Çeşitli parti miktarları için toplam maliyet hesaplanır. Bu parti miktarı EPM’nin 1 ila 2 katı arasında değişebilir.

$$\text{Parça başına HM} = \text{Toplam HM} / \text{Parti Miktarı}$$

$$\text{Parça başına DM} = (\text{Parça başına yıllık depolama maliyeti} \cdot \text{Parti miktarı}) / (2 \cdot \text{Yıllık Hacim})$$

$$\text{Parça başına TM} = \text{Parça Maliyeti} + \text{Parça başına HM} + \text{Parça başına DM}$$

8. Her parçanın toplam maliyeti hesaplanır. Uygun parti miktarları belirlenir. Bu farklı miktarlar arası %10 toplam maliyet değişimi olması iyidir.
9. Uygun parti miktarlarının en küçüğü başlangıç ÜPM olarak seçilir.

Böylece başlangıç ÜPM seçimi yapılmış olur. Konteyner büyüklükleri, malzeme taşıma metotları ve diğer faktörler bu sayıyı değiştirebilir. Metodolojide EPM’nin

kullanılmasıyla ilgili değerlendirme bu metodolojinin açıklanmasından sonra yapılacaktır.

Adım 17 ve Adım 18 tasarım sürecini kontrol eden ve bu noktaya kadar verilen kararları onaylayan karar noktalarıdır. Adım 18 mevcut tasarımı tasarım kriterlerine göre kontrol eder. Örneğin hücre tasarım kriterleri şunlar olabilir:

- 1-7 iřęren(En fazla 12)
- 2-12 ekipman/makine
- İřęren ve operasyon değişimi.
- Yüksek maliyetli donanımın en az %70-90 verimle alışması.
- Düşük maliyetli donanımın en az %10-60 verimle alışması.
- Yetenek dağılımının yönetilmesi
- Süreçlerin ve elemanların uyumluluğu

Süregelen tasarım kontrol edilen kriterlere uymuyorsa tasarımcı süreci veya seçtiği ürünü gözden geçirmelidir. Hücre çok fazla sayıda iřęren ve tekrar eden makineler içeriyorsa seçilen ürün ailesinin dağılımı çok geniştir. Hücrede ekipman kullanımı düşükse ürün ailesinin dağılımı çok dardır. nce alternatif işlemler düşünülmeli, sonra gerekliyse ürün ailesi değiştirilmelidir.

Tasarım kriterlerine uygunluk söz konusu ise Adım 19'a geçilir ve Dışsal Konteynerler(DK) seçilir. DK ürünün hücreye ve hücrenin dışına taşır. DK hücre içi taşımada kullanılmaz. DK PM'den küçük veya PM'ye eşit olmalıdır.

En çok üretilen ürünler çeşitli tiplerin bulunduğu konteynerlerde taşınırlar. Konteynerler şu amaçlarla kullanılırlar:

- İçindekileri korumak
- Otomatik taşıma için yükleri standartlaştırmak.
- Düzensiz rnler veya diğer malzemelerin taşıma özelliklerini iyileştirmek.

- Kanban işareti olarak yardımcı olmak.
- Bir çok üniteyi daha büyük bir yük olarak birleştirirler.

Konteynerler tip ve boyut olarak çeşitlilik gösterirler. Konteyner seçmemek de olasıdır. Hücre tasarımı için konteynerler küçük, orta ve büyük boylarda düşünülmelidir. Küçük konteynerler yarım saatten ve orta konteynerler 4 saatten daha az sürede yapılan üretimi taşıyabilirler. Büyük konteynerler 4 saatten daha fazla sürede yapılan üretimi taşıyabilirler.

DK ÜPM'den küçük veya eşit olabilirken İK özellikle transfer ve üretim parti miktarları farklı olduğunda DK'dan farklıdır.

Adım 20 Dışsal Malzeme Taşımanın(DMT) seçildiği adımdır. Bu seçim rota yapısını ve gerekli ekipmanları da içerir. Adım 21'de Dışsal Üretim Kontrol(DÜK) yöntemi seçilir. Üretim kontrol çok aşamalı, genelde de çok ürünlü süreçlerin koordinasyonu sorununa çözüm bulur. Bazı kişiler üretim kontrol için çizelgeleme yazılımlarının en iyi çözüm olduğunu düşünürler. Daha kapsamlı bir bakışla üretim kontrol çok aşamalı süreçlerin nasıl koordine edileceğini seçerken bilgisayarlı çizelgeleme çözümlerden sadece biridir.

Süreçlerin fiziksel bağının kurulması koordinasyon açısından otomatik bir transfer hattı oluşturulması şeklindedir. Burada süreçteki her parça senkronize olarak hareket etmektedir. Süreç içi stok yoktur. Fiziksel bağlantı tüm işlemlerin aynı parti miktarına sahip olmasını gerektirir. Ayrıca süreçlerin yerleri de değişebilir.

Eğer işlemlerin yerleri değişmeden aynı parti miktarı ile “merkezi bilgi gönderimi”(MBG) sistemi iyi işleyebilir. MBG 'de ilgili operasyonlar son montaj çizelgesine göre bir MBG alırlar. Son montaj çizelgelemeyle kendine yer bulur. Ön montaj ve tedarik işlemleri “hattaki sıraya göre”yerini alır. Burada taşıma için küçük bir zaman harcanır.

Kanban sistemleri süreç adımları arasında parti miktarı değiştiğinde, dengesiz süreçlerde kullanışlıdır. Ayrıca uzaklıklar sebebiyle gecikme veya zamanda varyasyon olduğunda da kullanılır. Kanban sisteminde süreçler arası küçük stoklar mevcuttur. Sonraki işlem bu stoktan gereği kadarını alır. Her azalmada üreticiye bir uyarı gelir. Uyarı üreticiye yerinden alınan stokun yerinin doldurulması yetkisini

verir. Bu stok ve uyarı sistemi, süreçlerin bağımsız çalışmasına olanak tanımak için süreçler arası küçük bir ayırıcı olur.

Malzeme İhtiyaç Planlama(MİP) sistemleri ürün ağacı, rotalar ve tahminler üzerinde çalışır. Her ürün montaj, ön montaj ve malzeme için üretim sürecinin her aşamasını planlar.

Her iş merkezi ve zaman aralığı için üretim ihtiyaçlarını belirler. MİP peş peşe gelen bağımsız operasyonlara olanak tanır. Sonuçta çeşitli üretim aşamalarına ait temin süreleri de toplanır.(Örneğin Gantt şeması kullanımı) MİP ayrıık iş merkezleri, pazarlar ve tedarikçiler ile etkin bir çizelgeleme yapmayı sağlar.

Ayrıık üretim sistemini bağlayabilmek çok masraflıdır. Yönetim maliyetleri çok yüksektir. Temin süreleri uzun ve stok devir hızları düşüktür. Kurulu MİP sistemlerinin %50'sinden fazlası kullanıcıların beklentilerini karşılayamamaktadır.

Yeniden Sipariş Noktası (YSN) sistemleri her gerekli parça ve talepte olan bir sonraki iş merkezi hakkında bilgiye sahiptir. Kanban sistemi gibidir. YSN yeniden tedarik uyarısını sadece stok belli kritik bir seviyeye gelince verir. Çoğu zaman bu sistemler büyük yeniden sipariş miktarı kullanırlar. Çok basittirler ve özel durumlarda etkin olabilirler. Sabit ve tahmin edilebilir eksilme oranı ve tahmin edilebilir yenileme süresi gerektirirler. Maalesef bu duruma çok seyrek rastlanır ve YSN sistemleri yüksek stok seviyeleri ile çalışırlar. Sık sık yetersiz malzeme durumuyla karşılaşılır.

Akış hattı, MBG, Kanban, MİP, YSN sistemleri DÜK için bir hiyerarşi teşkil etmektedir. MİP ve YSN en son tercih edilen metotlar olmalıdır ki zaten bu sistemler Dünya Sınıfında İmalat stratejileriyle en az uyumlu olan sistemlerdir.

Adım 22 seçimlerin uyumluluğunu kontrol eder. Adım 23'te tasarımcı İçsel Üretim Kontrol (İÜK)yöntemini belirler. Burada hücre içi operasyonların nasıl koordine edileceğine karar verilmektedir. Bu metotlar işlemlerin süresini ve sıralamasını kontrol eder. Ayrıca insanların zamanlaması ve aranması üzerinde de durulur.

İÜK şu seçeneklere sahiptir: Kanban ve doğrudan bağlantı. MBG, YSN ve MİP uygulanabilir değildir. Hücre içinde operatörlerin dönmesi uygulanabilir bir yöntemdir. Dönme yöntemi hareketli işgörenler gerektirir. Bu operatörler fiziksel

olarak iş parçasını veya ürün grubunu bir dizi işlem süresince taşır veya izlerler. Birden fazla işgören gerekiyorsa hücre içinde birbirlerini takip ederler. Dönme bir İÜK metodundan daha ötedir. Ayrıca insan gücünü de dengeler. Her işgören bütün işleri yaptığından iş yükü hep dengededir.

Adım 24 Transfer Parti Miktarını (TPM) belirler. TPM işlemler arası beraber hareket eden ürün miktarıdır İçsel Parti Miktarı olarak da adlandırılabilir. ÜPM’de olduğu gibi en küçük miktar tercih edilir. Kısıtlar hareket süresi, çevrim süresi ve ekipman/makinedir. Operasyonlar arası hareket için gerekli süre operasyon süresine yakınsa, TPM büyük olmalıdır. Kısa işlem süreleri veya çok uzun hareket süreleri de buna sebep olur.

Ekipman/makine bir parçadan fazla parça işleyebilir. Ekipman dengeleme işi çeşitli makinelere dağıtır ve bazı makineler aşırı yüklüyken diğerlerinin boş olmasını sağlar. Bu seçim TPM ve hatta İçsel Malzeme Taşımaya(İMT) bağlıdır.

Bir yaklaşıma göre daha fazla sayıda makine/iş merkezi kullanarak sorun çözülebilir. Finans bölümleri bu isteğe karşı çıkarken, çoğu zamanda uygulanır. Fazla kapasite, ekipmanın ucuz olduğu yerlerde çizelgeleme ve dengeleme metotlarını basitleştirdiği için tercih edilir. Genelde hücrede bir veya iki yüksek maliyetli ekipman ve birçok pahalı olmayan yardımcı parçalar vardır. Böyle durumlarda “kilit makineler” hücre kapasitesini belirler ve ikincil operasyonlar fazla kapasiteye sahiptir. Bu yaklaşım belirsiz talepler yoğunlaştığında cevap verme hızını artırır(Quick Response Manufacturing).

Sıralamak bir ekipman/makine için dengeleme metodudur. Operasyonlar arası küçük ürün kuyrukları birikir. Bu işlem süresinde kısa vadeli varyasyonlara sebep olur. Fakat birkaç makinedeki kapasite açıklarını gideremez. Bu metot kısa işlem süreleri ve sabit görev atamaları için iyidir. Konveyör bantlı mekanize taşıma sistemleri için uygundur.

Belirli süreçlere,hazırlık sürelerine ve düşük varyasyona sahip operasyonlar doğal olarak dengelidir. Bu, süreç senkronizasyonuna olanak tanır.

Diğer bir uyumluluk kontrolü de Adım 29'dadır. Adım30'da hücredeki insanlar üzerindeki toplam iş yükünün nasıl dengeleneceğine karar verilir. Doğrudan görev verme, atama metoduyla ilişkilidir.

“Doğal denge” sabit görev ve ekipman atanmasında kullanılır. Her işgörene aynı miktarda iş atandığı geleneksel yöntemdir.

“Sıralama metodu” hücre içinde ürünlerin belli noktalarda birikmesine olanak tanır. Kuyruk dolu olduğunda, yeni atanan işlerle yeni atanan işlerle azaltılır. Alternatif olarak işgörenler kuyrukların bir seviyeye gelmesine müsaade ederek öncelikli ve ikinci derecedeki işler arasında hareket ederler.

“Dolaşım metodu” ile işgörenler ürünü süreç boyunca takip ederler ve çeşitli operasyonlar gerçekleştirirler. Hücrede aynı anda çalışan bir kaç kişi olabilir. Bu metotla işgücü ve görev ataması dengelenir. Hem operasyonlar arası doğal denge sağlanır, hem de bazı operasyonlardaki artık kapasite azalır.

Kalite Güvence üç kriteri dikkate alır: Metotları, sorumlulukları ve davranışları. Metotların altında, temel kararlar “incele-reddet”e karşın süreç kontrolüdür. Ek olarak tasarımcı belli aparatlar ve teknikler belirtmelidir. İşgörenler, yöneticiler veya ayrı bir departmanın öncelikli sorumluluğu olabilir. Davranışlar yaklaşıma yön vermelidir. Adım 30'da bu tip KG sorunlarına çözüm aranır. Sonra uyumluluk kontrolü yapılır.

Görev atama problemi işgücü dengeleme, ekipman dengeleme ve üretim kontrol ile ilgilidir. “Kim neyi, nerede, ne zaman yapacak?” sorusuna cevap arar. Bir yönetici görevleri atayabilir. Kendinden-yönetilen(kendini yöneten) imalat takımı kendi içinde görev ataması yapılabilir. Kanban gibi bir uyarı metodu görev atamaya yardımcı olabilir.

Adım 32 insanların bir veya daha fazla sayıda göreve ataması yapılır. Hücre operasyon planında önce hücrede gerekli olan yetenekler listelenir. Öncelikli özelliklere göre işgörenler belirli makinelerle atanırlar. İkinci derecede gelen işlere atama daha sonra yapılır.

Yönetim bir problemdir. Hücreyi yönetmenin iyi bir yolu yönetmemektir. Takım karar verir ve sorumluluğu alır. Denetçiler ve müdürler söylemekten ve emretmekten

çok tavsiye ederler, danışmanlık yaparlar ve yardımcı olurlar. Gdsel, kendini geliştiren iş takımları bir kaç denetçi gerektirir. Denetiyi seçerken yaşlı ve olgun bir kimse tercih edilmelidir. Kendini kanıtlaması gereken genç ve acemi kişilerin seçilmesi uygun değildir.

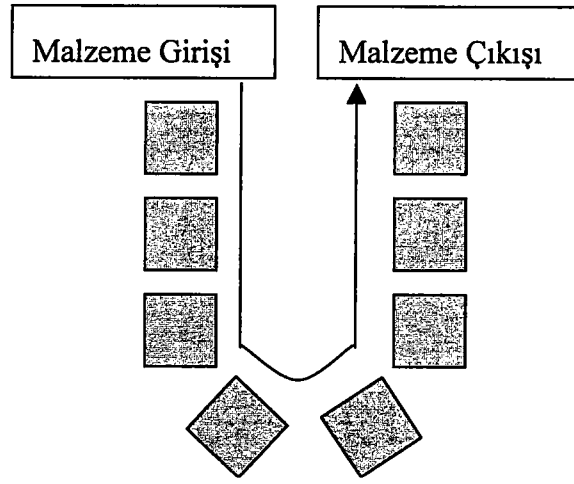
Adım 33 denetim metodunu belirler. “Emret ve kontrol et.” tarzı denetim sabit görev atamalarında ve uzun çevrim süreleri olması durumunda işe yarayabilir. İçsel Kanban sistemi bazı denetleme ve kontrol işlerinin yerini alabilir. Kendi kendine karar veren(Gdsel) takımlar uygun bir şekilde uygulandığında çok başarılı olabilirler. Bunlar yönetim tarzına çok duyarlıdırlar, deneyimli ve eğitimli olmalıdırlar. Adım 34 hücredeki operasyonlara hakkındaki tasarımı kararlarını listeler.

TASARLANAN HÜCRE SEÇENEKLERİ

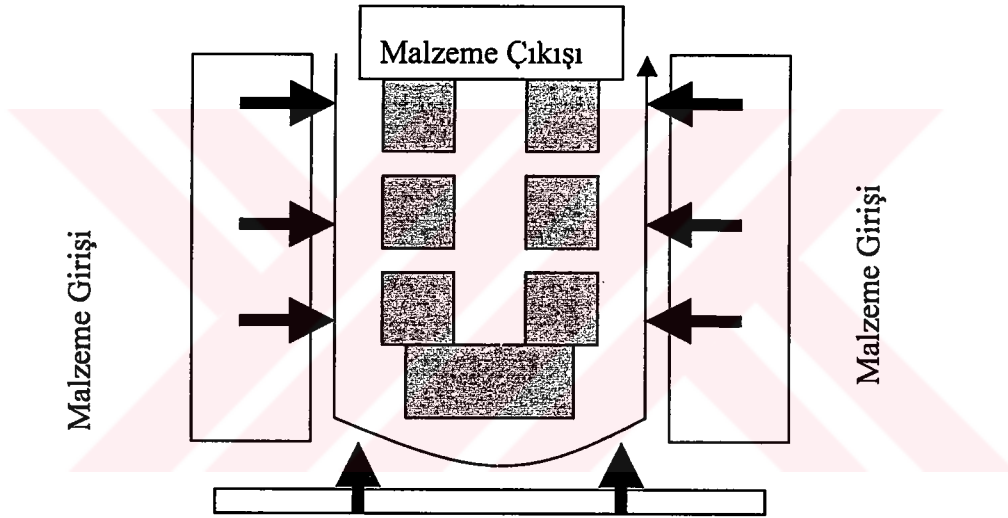
Hücre yerleşimi detaylıdır ve her iş merkezinin tasarımı ile uygun olmalıdır. Basit hücreler için deneyimli bir tasarımcı süreç diyagramından, ekipmanların yerleşimine ve iş merkezi sırasına kadar pek çok görev gerçekleştirir. Detaylı yerleşim süreci daha zorludur. Hücrelerin yerleşim şekli de önemlidir. U-tipi hücre üzerinde çok durulsa da etkin hücreler bir çok şekilde olabilirler. Hücrenin çalışmasında şekil önemlidir, ama birçok faktörden sadece bir tanesidir.

şekil hücre tasarımıdaki diğer elemanlarla uyulmalı ve bütünleşmelidir. U-tipi hücre belki en çok yönlü olanıdır(şekil 3.2). Çeşitli retim hacimlerinde ve hacim değişikliklerinde üretim yapılabilir ve insanların öncelikli ve ikincil işler arasında kolayca hareket etmesine olanak tanır. Dolaşımı metodu uygulanabilir ve üretim hacmi arttığında sabit görevlere geçilebilir. İnsanlar arası iletişim ve malzeme akışı iyidir. Üretim için etrafında malzemelerin depolanması kolaydır.

Ters U-tipi geleneksel U-tipi gibi bir çok avantaja sahiptir (şekil3.3). İnsanların hareket etmesi ve kendilerini dengelemeleri daha zordur. Fakat insanları birbirlerinin yüzlerine baktıkları için iletişim daha iyidir. Aynı şekilde etrafında parça ve malzeme depolamaya olanak tanır. Ayrıca karmaşık montaj işlemleri için de uygundur.



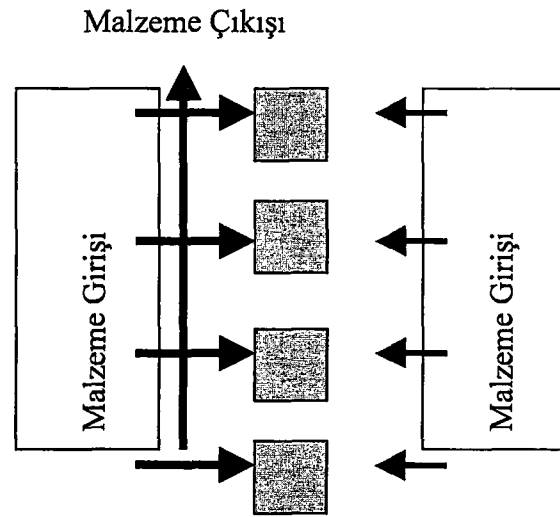
Şekil 3.2.U-tipi Hücre



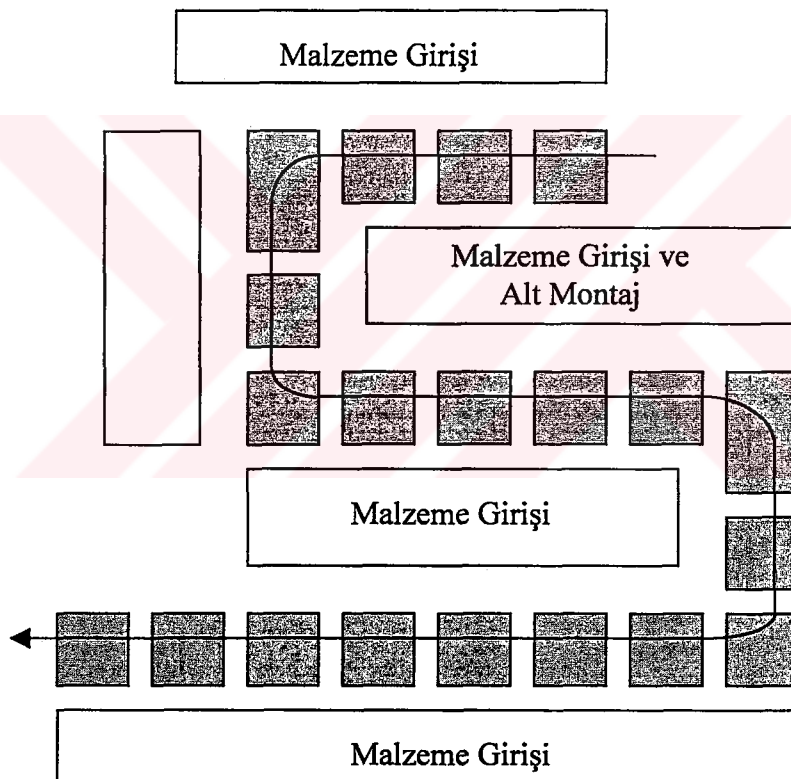
Şekil 3.3.Ters U-tipi Hücre

Doğrusal hücrelerde iyi malzeme akışı vardır ve yeni gelen parça ve malzemelere ayrılmış çok fazla yer vardır(Şekil3.4). Doğrusal hücreleri dengelemek zordur, esneklik düşüktür ve iletişim genelde zayıftır. Çok uzun ve ince olursa makro bir yerleşim içine yerleştirmek zordur.

Serpantin hücreler geleneksel montaj hattının kıvrılmış halidir. Karmaşık düzenlemeler mümkündür. Geleneksel montaj hattının bazı dezavantajlarının üstesinden gelmektedir.



Şekil 3.4.Doğrusal Hücre



Şekil 3.5.Serpantin Hücre

Adım 37’de Mantıksal Akış Diyagramı farklı bir iterasyon getirmelidir. Bu iterasyonlar 2 ila 5 farklı tasarım seçeneği sunmalıdır. Adım 38’de birden fazla seçeneğin arasında uygun atölye tasarımı seçilir. İş merkezi tasarımı atölye(işletme) tasarımının en alt seviyesidir. Ergonomik boyutlar dikkate alınarak tasarım gerçekleştirilir.

3.2.3. Aşama 3 – Uygulama

Daha önce hücrelerin sosyo-bio-teknik sistemler olduğu söylenmişti. İnsanlar hücre tasarımının bütünleşmiş parçasıdır. Hücreler beklenen performansa ulaşmadığı zaman yetersiz bütünleşme çok rastlanan bir durumdur. Yanlış yönetim ayrı bir sebeptir. Hücre için insan seçiminde kilit kriter kişilerin takım ortamında çalışıp çalışamayacaklarıdır. Fonksiyonel sistemde başarılı olan birçok işgören hücre verimliliğini ters yönde etkileyebilir. Fonksiyonel sistemde vasat görünen kişiler de hücre performansında kilit rol oynayabilirler.

Hücre performansı için eğitim temeldir, ama geleneksel bilgelik burada başarısızdır. Belli görevler hakkında özel eğitim vermek en az öneme sahiptir. Hücre çalışmaları bunu kendileri yapabilirler. Önemli eğitim takım çalışması, problem çözme ve istatistiksel üretim kontrolü hakkındadır.

3.2.4. Sonuç

İmalat hücreleri TZÜ ve DSI'nin önemli bir parçasıdır ve büyük yararlar sağlarlar. Sosyal etkileri de ekonomik, sosyal ve hatta jeopolitik sonuçları getirir. Hücreler ve güdüsel takımlar Henry Ford'un oluşturduğu hareketli montaj hattından beri gerçekleşen en büyük değişimdir. Kitleli üretim görevlerini de başarıyla yerine getirebileceklerdir. Hücreli üretim ile işgörenlerin kişisel, sosyal ve finansal ihtiyaçları karşılanır. Aynı zamanda bu kavramla üretimin rekabetçiliği artar.

EPM, minimum maliyeti veren parti miktarını tam olarak gösterdiğini iddia eder. Parti miktarı yanında Transfer Parti Miktarı, Hazırlık Parti Miktarı, İşleme Parti Miktarı, Sipariş Miktarı da önemlidir. Maliyetle sadece stok yatırımının ilişkilendirilmesi yetersiz bir yaklaşımdır.[33]

Bu açıdan düşünülürse her yeni ürün için yeni hazırlık yapmaktansa bir ürün ailesi için kullanılabilen tasarım takımları geliştirildiğinde hazırlıktan gelen maliyet çok azalacaktır. Ön hazırlık, program kontrollü makine, hazırlıkları sıralamak, özel amaçlı makineler kullanmak gibi teknikler de benzer sonuçlar verecektir. Dolayısıyla “Hazırlık Maliyeti” makine ve araç tasarımı ile sabit maliyet haline gelir.[33]

Transfer Parti Miktarı da mesafeler azaltıldığında makine dizilimleri ayarlandığında taşıma maliyetleri de miktardan bağımsız hale gelir.

Parti miktarının değişkenleri olan “İşleme” ve “Transfer” miktarları çeşitli tekniklerle azaldığında yapılacak yatırım büyük oranda değişir. Dolayısıyla formülde gelen sadece stoklara yatırım yapma fikrinin önemli bir alternatifi olur: Metotlara yatırım

Ayrıca parti miktarı bütün malzemelerin farklı çevrim sürelerinde üretildiğini varsayar. Oysa benzer aralıklarla üretilen ürünler için “tek çevrim”li malzeme akışı söz konusudur. Bu durumda, standartlaşan hazırlıklarla üretim kontrol basitleşir, maliyet düşürülür. Temin süreleri düşer, stoka bağlı maliyetler düşer. Hammadde paylaşımı düzene girer, telef azalır. Her malzeme aynı anda kesilir. Zamanı geçmiş malzeme miktarı azalır.

Hedef “İşleme Miktarı” arttıkça “Transfer Miktarı” azalır ve temin süresi artar. Bu da üretim planlama ve yerleşimin değişmesiyle sağlanır. Parçalar aileler halinde sınıflanır. Bu, “kitlesel üretim”den farklı olarak tek parça işlemektense aileleri işleyen hücreli üretimdir.

3.3. Tüm Sistem Yaklaşımı

Malik, Connoly ve Sabberwal’a (1973) göre HÜ’nün bir çok yararı bilinmesine rağmen çok başarılı bir şekilde firmalarda uygulanamamaktadır.[34] Çünkü vurgulanan hep bir bölgenin analizi neticesi elde edilen parça sınıflandırılması ve toplam makine hattının darlaştırılmasıdır. Mevcut metotlar dar kapsamlı, yüksek maliyetli ve uzun süreli gereksinimleri karşılamada yetersizdir. Makine hattının durumu ve diğer tesislerle ilişkisi firmadan firmaya, üründen ürüne değişiklik gösterir.

HÜ için parça sınıflandırma ve kodlama bir ön şart olarak görülmektedir. Sınıflandırma ile atölyedeki bütün bileşenlerin işleme amaçlarına göre gruplanabileceği ve (1)oluşturulan son kullanımlarının benzer olduğu ve (2)peş peşe gelen işlemlere göre parçaların gruplandırılabilmesi düşünülmüştür.

Bu durumda fabrika içindeki toplam akışa az önem verilmiş olur. Tüm firmanın ekonomisi, yönetimi ve sistemlerini yok sayan bir meşguliyet içine girilir. Zimmerman 30 haneli bir kodlama sistemi oluşturmuştur. Kodun uzunluğu derleme ve anlama işini imkansız kılar. Kodlama ve sınıflandırma kendileri bir şey üretmediği gibi çok bilgi ve analiz gerektirdiğinden Üretim Akış Analizi üzerinde çalışmıştır.

Üretim akış analizi :

1. Fabrika akış analizi
2. Grup analizi
3. Hat analizi

Parçalara göre bir gruplamanın yapılması toplam sonuca ulaşılmasını engeller. Simülasyon ile bütün gerekli bilgiler elverişli ve geri akışa izin vermeme gibi uygulanabilirliği şüpheli olan varsayımlar altında kağıt üstünde HÜ'nün kazançları belirlenmeye çalışılabilir.

Başarılı bir HÜ dönüşümü için Tüm Sistem Yaklaşımı gereklidir. Tüm Sistem Yaklaşımı şu özelliklere sahiptir:

1. Her üretim bölümü için tedarikçiyi bire indirmeye çalışır (ideal durum).
2. Üretimi, malzeme(işleme yönelik endüstrilerde) veya ürün(montaja yönelik endüstrilerde) gruplarına ayırmaya çalışır.
3. Rapor yapısı, kontrol, fiziksel yerleşim, taşıma, ekonomik ve teknolojik kısıtlar altında, mümkün olduğu kadar fazla grup özerkliği sağlamaya çalışır.
4. En az bölümden geçirerek en fazla miktarda iş tamamlamaya, böylece çıktı noktalarını minimum yapmaya çalışır.
5. Fiziksel olarak uygun olan sıkı ve bütünleşik tasarımı yapmaya çalışır.

İşleri bölümlere ekstra makine yatırımının üstesinden gelerek basit/karmaşık işler olarak dağıtmak ve imalat esnekliğini sağlamak.

Bunlara dikkat ederek üretim bölümlere, hücrelere ayrılabilir. Ürün/parça karışımının detaylarını oluşturmak için girdi(verilen siparişler) ve çıktı(elde edilen üretim)örnekleri ve hacmi belirlemek için satış tahminlerine ihtiyaç vardır. Ne olup bittiğine dair kayıtların detaylandırılmasının daha iyi sonuç vereceği düşünülse de gereksiz karmaşıklıklaştırma, çıktıyı tahmin etmeye yönelik yapılan analizin güvenilirliğini artırmayacaktır.

Tüm Sistem Yaklaşımı tüm sistemi optimize etmeye çalışmaktadır. HÜ sadece parçalara ve donanımlarla ile değil, ÜPK ile de ilgilenen bir uygulamadır. Bir üretim sistemini incelerken veri toplama ve analizler ana hedef olmadan belli bir optimuma ulaşmamızı sağlar. Veri toplama ilk hedef olduğunda bu verilerin temel kararları vermede yardımcı olacağı düşünülür-öyle değildir. Fakat çoğu zaman ürün/parça grupları ideal gruplara kolayca ve otomatik olarak ayrılırlar. Çabucak ürün/parça gruplarını elde etmek analiz etmeyi kolaylaştırır ve Tüm Sistem Yaklaşımı metodolojisine uygun bir şekilde her bölüm için girdi azalır.

Böyle bir sistemi yönetecek organizasyon yapısı da şu şekildedir. Otonomi grup çabalarının daha yaygın bir şekilde mikro düzeye inmesini sağlar. Toplam üretim alanı ürün gruplarına göre ayrılır. Böylece:

1. Bölümler arası basitleştirilmiş akış,
2. Yönetim hedeflerine göre sıkı ve bütünleşik yerleşim planı sağlanır.

Bina şartları ve makine taşıma masrafları göz önünde bulundurulmalıdır. Veriler toplanıp analiz edildiğinde en iyi akışın yeni makine satın alınmasıyla gerçekleşeceği düşünülür. Basit/karmaşık makine gruplamaları yapılarak yeni makine satın alınması ertelenebilir. Basit: birden fazla sayıda olan makineler bir kenara ayrılır ve bunların üreteceği iş parçaları da belirlenir. Geri kalanlar karmaşıktır. Elde edilen gruplar esnek, kontrol edilebilir ve pazara cevap verebilir bir haldedir.

Sonuç olarak Tüm Sistem Yaklaşımı tüm imalat sistemi için anlamlı olan sonuçlar üretir. Hücreleşme basit ve etkilidir. Basit/karmaşık makine dizilimi yeni makine yatırımlarını azaltırken üretim kapasitesini ve esnekliğini değiştirmez. Malzeme veya ürünlere göre yapılan gruplama daha sonraki analizleri basitleştirir. ÜPK basitler ve yönetim üretimle entegre olduğundan sorumluluk/mesuliyet tesis edilir. Formal

sınıflandırma yapılmadığı açıktır. Fakat bu yaklaşım çok daha basit ve uygulanabilirdir.



4. ELEŞTİRİSEL BAKIŞ VE METOT ÖNERİSİ

Hücrel üretim metodolojisi gerektirdiği teknikler ve odaklandığı hedefler sebebiyle planlı ve bütünsel bir süreç olmalıdır. Akademik çalışmalarla ortaya konmuş metodolojilerin belli konulara odaklandığı, hücrel üretime dönüşüm çalışmalarının özellikle “gruplama yöntemleriyle hücre oluşumu” olarak görüldüğü bilinmektedir.[19] Oysa hücrel üretim hedeflerinin kapsamı ve çeşitliliği çalışmanın başarıya ulaşması, metodolojik bir yöntem gerektirmektedir.

Firmanın hücrel üretimle elde edeceği kazançları öngörebilmesi ve firma vizyonu ile bütünleştirebilmesi çok önemlidir. Ayrıca firma içinde yapılan bütün çalışmaların senkronizasyonu, uygulama açısından daha zor ve karmaşık görünse de, firma içinde toplam katılımın sağlanması ve bu çalışmaların bir bütün halinde görülüp bütçelendirilmesi için çalışmanın başarıyla tamamlanması için çok önemlidir.

Bu amaçla şirkette çalışmaya başlanmadan önce gerekli bilgilendirme ve eğitim çalışmaları yapılmalı, gerekli katılım ve motivasyon sağlanmalıdır.

Üretim sistemleri teknik, insani, sosyal ve ekonomik özelliklere sahiptir. Bu sebeple modellemek ve anlamak zordur. Hızlı değişirler. İnsanlar bilgisayar destekli sistemleri yönetirler. Ama CAM genelde insani ve organizasyonel özellikleri yok saymaktadır.[35]

Önerilecek metodolojilerin amacı, insan ve organizasyonu üretim sistemlerinin modellenmesi ve değerlendirilmesi ile bütünleştirmek olmalıdır. Esneklik ve insani açıları unutulmamalıdır. Son zamanlarda yüksek esneklik ve verimlilik üretim mühendislerinin sloganı haline gelmiştir. İmalatın esnekliği sistemin iç ve dış değişikliklere uyum sağlayabilme kabiliyetidir. EİS insan ve bilgisayar kontrolünde, çeşitlenmiş ürünleri daha yüksek verimlilikle üretebilen sistemdir. Üretim sistemlerinin geliştirilmesinde sistemin sadece teknik değil, insani, organizasyonel, sosyal ve kültürel yanları olduğu da bilinmelidir. İnsani ve organizasyonel sorunları

çözmek üzerine insan davranışları üzerinde bir model geliştirilebilir. Operatör ve bilgisayar arası iş paylaşımı ve yardımlaşma içinde karar destek sistemlerinin tasarımı bu model kullanılabilir. Çok seviyeli değerlendirme yapılmalıdır.

Yönetim sisteminin çeşitli karar seviyelerinden oluştuğu unutulmamalıdır. Bu kararlarda sezgisel değerlendirme önemli bir paya sahiptir. Sezgisel değerlendirme ile fiziksel sistem makine gruplarından oluşan alt sistemlere bölünebilir ve insan grupları belirlenebilir. İnsan makine çiftlerinin etkileşimi ve performansı değerlendirilir. Bu yapı belli değişiklikler olduğunda güncellenmelidir (yeni işgören, yeni makine, insan faktörlerinde değişim vb.). İnsan ve makine özellikleri çoğu zaman belirsiz ve sembolik olmasına rağmen bir fonksiyonda gösterilmeye çalışılarak sayısal değerlendirme yapılır. Belli işlerin(yükleme/boşaltma, düzeltme, ayarlama, devam ettirme, test, programlama) birbirlerine göre değerleri belirlenip operatör atanır. Sonuçlar fiziksel simulasyon, bilgisayar simulasyonu ile değerlendirilir.

4.1. Metodoloji

Oluşturulan metodoloji ile teknik ve organizasyonel dönüşümün birbirleriyle eşzamanlı olarak yürütülmesi düşünülmüş ve proje yürütücülerine firmayı dönüştürmede kılavuzluk edecek bir metodoloji önerilmiştir.(EK-3) Teknik ve organizasyonel dönüşüm ile ilgili metodolojilerin ayrı ayrı verilmesiyle hedeflenen yöneticilerin bu iki kısma eşit önem vermeleri gerektiğini vurgulamak ve teknik dönüşümle uğraşırken, sosyal ve insani değişimleri unutmalarını veya göz ardı etmelerini engellemektir.

Firmanın genel hedefleriyle uyuşması ve uygulamanın yapılması süresince bu hedeflerden sapılmamasına dikkat edilmiştir. Önerilen ara kontroller ile proje yürütücülerini kendi uygulamalarını değerlendirmekte ve elde edilen sonuca göre çalışmaya devam etmektedirler.

Akademik çalışmaları destekler şekilde yapılan saha analizleri sonucunda da HÜ projelerinin üç ana aşamadan oluştuğu gözlemlenmiştir: **Tasarım öncesi hazırlık, tasarım, uygulama.** Bu üç aşama ile HÜ'nün firma içindeki varlığı söz konusu olmaya başlarken firma çalışanlarının da HÜ'ye ve dönüşüm projesine bakışları

değişmektedir. HÜ hakkındaki bilgiler, ön yargılar, tepkiler, katılım seviyeleri sürekli olarak değişmektedir. Aynı şekilde kullanılan teknikler, bilinmesi gereken bilgisayar yazılımları veya uygulamalar ve dolayısıyla proje takımı da bu aşamalarda değişkenlik göstermektedir. Önerilen metodoloji de bu üç aşamayı birbirini takip edip bütünleyen farklı çalışmalar olarak ele almıştır. Önemli olan bu süreç içinde yapılan çalışmaların bütünleşik olacak şekilde etkileşmesi ve ortak hedeflere yönlendirilmesidir.

Metodolojide sistem hakkındaki bilgiler, kararlar ve uygulamalarda aşamalı olarak detaylandırmaya gidilmiştir. Bu yaklaşım HÜ'yü anlamadan kararların yanlış ve eksik olmasını önlediği gibi, mevcut sistemi anlamak için harcanabilecek uzun süreler sebebiyle projenin aksamasını ve hedeflerinden sapmasını önler. Böylece projenin daha kısa sürede tamamlanmasını sağlar. HÜ hakkında bilgi ve deneyim arttıkça oluşabilecek fikirlerin ve katılımın da artacağı bir gerçektir. Dolayısıyla böyle kapsamlı bir projenin başarıya ulaşması için “incele-karar ver-uygula” şeklindeki bir yaklaşımdansa “bilgilen-dene-öğren-karar ver-uygula” yaklaşımı tercih edilebilir. Projenin ileri adımlarında, başlangıçta belirlenen hedeflerin ve verilen kararların geçersiz veya eksik olduğu da görülebilir. Bu durumda gerekli güncellemeler yapılmalıdır.

METODOLOJİNİN TEKNİK BOYUTU

TASARIM ÖNCESİ HAZIRLIK AŞAMASI

1. Mevcut Durum Analizi ve Firma Vizyonunun Tanımlanması:

Dört farklı unsurun detaylı analizi gerekmektedir:

- a. Pazar: Yapılacak pazar araştırması ile pazarın durumunun belirlenmesi ve geleceğe yönelik tahminlerin yapılması.
- b. Teknik: Firmanın sahip olduğu ürün ve makine yelpazesinin belirlenmesi.
- c. Organizasyonel: Mevcut organizasyon yapısının yetenekleri ve zaafı tespit edilmelidir.

- d. Finansal: Firmanın finansal yapısı ortaya konmalıdır. Firmada yürütülecek bir projeye aktarılabilecek finansal destek belirlenmelidir. Firmanın ödeme sistemi, finansal yükümlülükleri ve uzun vadeli finansal tahminleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu sayede firmanın mevcut durumunu bilerek firma vizyonu tanımlanır.

2. Genel Hedeflerin ve Firma Stratejisinin Güncellenmesi:

Firmanın teknik ve organizasyonel hedefi belirlenir. Bu hedeflere ulaşmak için tercih edilen strateji açık olarak ortaya konur.

3. HÜ Projesinin Firma Hedefleri İçindeki Yerinin Belirlenmesi ve Projenin Tanımlanması:

HÜ fikrinin firmaya ne tip etkileri olabileceği düşünülür. Yararlı ve zararlı etkileri düşünülmeli firma hedefleri içindeki yeri belirlenmelidir. Projeye aktarılabilecek finansal ve sosyal kaynaklar genel olarak belirlenir. Bu konumlandırma neticesinde HÜ uygulama projesi tanımlanır.

4. Proje Tanımı Çerçevesinde Proje Liderinin Belirlenmesi ve Proje Organizasyonunun Kurulması:

Proje lideri belirlenir. Böylece projenin firma içinde sahiplenilmesi için ilk adım atılmış olur. Firma içi bilgilendirme çalışmaları ve katılımın sağlanması bu adımda başlamalıdır. Organizasyon yapısı da genel olarak belirlenir. Örneğin matris yapı ve fonksiyonel yapı tercih edilebilir. Ayrıca dinamik bir ortamda bulunan firmalarda proje organizasyonunun da dinamik olması kaçınılmazdır. Önemli olan değişim yapılması gereken zamanlarda bunun tespit edilip değişimin gerçekleştirilmesidir.

5. Ön Proje Takımının Oluşturulması:

Lider ön proje takımını belirler. Bu takımın belirlenmesi projenin gerçek başarılı dönüşümü sağlayabilmesi açısından çok önemlidir. Ön takım daha sonraki proje takımlarının ve firmanın hücreleşme hamlesinin çekirdeğini teşkil eder. Farklı departmanlardan ve seviyelerden çalışanların bulunması firma içi katılımı ve sahiplenmeyi olumlu etkiler. Ayrıca elde edilecek sinerji ile projenin başarılı

sonuçlara ulaşma ihtimali artar. Fakat proje ilerleyişini yavaşlatacak veya durduracak kadar büyük takımların kurulmasından kaçınılmalıdır.

6. Ön Proje Takımının Yalın Düşünce(YD) ve HÜ Hakkında Eğitilmesi:

Firmada proje uygulamasını başlatan ve uygulamayı sürekli kontrol edecek olan takımın YD ve HÜ kavramları hakkında bilgilendirilmesi gerekir. Kurulacak sistem hakkında bilgi sahibi olmayan kişilerin sistemin potansiyel getirilerini farketmeleri ve başarılı dönüşümü gerçekleştirmeleri düşünülmemelidir. Akademik veya ticari danışmanlardan eğitim alınabileceği gibi, HÜ uygulamaları yapmış firmaların yerinde görülmesi ve örneklerin incelenmesi de söz konusu olabilir.

7. Beyin Fırtınası Yapılması:

Farklı iki strateji olan Kaizen ve Detaylı Analizlerin Yapılmasının Ardından Hedefler Belirlenip Uygulama bir arada veya ayrı ayrı düşünülebilirler. Beyin fırtınasına ön proje takımı ve firma içinden diğer seçilmiş kişiler katılmalıdır. Kaizen uygulaması yapılacaksa Adım 8'e geçilir, yapılmayacaksa doğrudan Adım 9'a geçilir.

8. Kaizen Uygulaması:

Firma içinde belli bir ekipman/makine veya ürün grubu seçerek HÜ uygulamasına bir hafta içinde başlanır.

9. Ön Proje Takımının HÜ Uygulaması ile Elde Edilecek Teknik ve Organizasyonel Hedefleri Belirlenmesi ve Ana Kriterlerin Saptanıp Performans Hedeflerinin Konulması:

Proje netleşen finansal kısıtlar ve elde edilen tahminler çerçevesinde ön proje takımı teknik ve organizasyonel hedefleri belirler. Bu hedeflere ulaşmada tüm firma kapsamında bir çok farklı kriterin rol oynadığı açıktır. Operasyonel, taktik veya yönetsel seviyede organizasyonu, bir iş merkezinden tüm atölyeye kadar tüm donanımı etkileyen bu değişimde bütün kriterlerin göz önüne alınıp projenin uygulanması çok zordur. Ama burada firma için önemli olan ana kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlerin etkisiyle ulaşılması istenen ve birbiriyle çelişmeyen hedeflerin belirlenmesi çok önemlidir. Dönüşüm başladığında farklı hedeflerin

birbirleriyle çeliştiği gözden kaçmayacaktır. Bu durum YD'nin toplam iyileşmeyi hedeflemesinden kaynaklanmaktadır. Çözüm olarak felsefeye bağlı kalıp en etkin kriterle en önemli hedefe yönelmek uygulamanın tıkanmaması açısından gereklidir. Performans kriterlerinin birbirleriyle etkileşimi konusunda Bölüm 1'de açıklama yapılmıştır.

10. Hücresel Üretim Uygulama Stratejisinin Belirlenmesi:

Gerekli bilgilerin elde edilmesiyle HÜ uygulama stratejisi belirlenir. Firma içinde ilk aşamada HÜ'ye dönüşümün gerçekleşeceği yerler belirlenir. Ön hedef olarak ilk sene içinde firmada hüreselleştirilecek kısmın büyüklüğü belirlenir(%15 veya %60 gibi). Ayrıca uygulama stratejisi olarak bir pilot hücre oluşumu, birkaç pilot hücre oluşum veya toplam dönüşüm alternatiflerinden hangisinin seçileceğine karar verilir.

11. Uyumluluk Kontrolü:

HÜ uygulama stratejisi ile Adım 2'de belirlenen firma genel hedef ve stratejilerinin uyumlu olup olmadığına bakılır.

12. HÜ Kapsamının Belirlenmesi ve Diğer Yalın Üretim Tekniklerinin Değerlendirilmesi:

HÜ kapsamının belirlenmesi için ekipman/makine yerleşimi, organizasyon, operasyonlar, üretim kontrolü, yetki devri, maliyetlendirme, tedarik zinciri ,tedarikçi yönetimi gibi konuların açıklığa kavuşturulması gerekmektedir. Hazırlık süresi azaltımı, parça standartlaştırma, poka yoke, hoshin kanri, toplam önleyici bakım, esnek üretim gibi YD'nin diğer kavramlarının firma içindeki mevcut ve hedeflenen durumlarını da göz önüne almak gerekir.

13. Proje Ön Takımının Desteği ve Fikirleriyle Hücre Tasarım Takımının Oluşturulması ve Ön Takımın Danışman Takım Haline Getirilmesi:

Hücre tasarım aşamasına geçmeden önce ön proje takımının fikirleriyle tasarım takımı oluşturulur. Ön proje takımından çalışanlar da tasarım takımında yer alabilirler. Tasarım takımı daha sonra kurulacak olan uygulama takımından daha büyük bir takımdır. Tasarım takımında uygulama takımından daha fazla bir şekilde, farklı bölümlerde çalışan personelin katılımını gerektirir. İşgörenlerin katılımının

gerekliliği kesinlikle göz ardı edilmemelidir. İşgörenlerin yeni bir sistem hakkında bilgilerinin az olacağı ve projeye destek sağlamayacakları genel kanı olsa da uygulamayı yapacak ve dönüşümden sonra hücre üretim takımlarında aktif olarak çalışacak kişilerin katılımını ve fikrini almak önemli ve gereklidir. Farklı departmanlardan kısa süreli de olsa mümkün olduğu kadar fazla kişinin takım içinde bulundurulması yararlı olacaktır.

14. Tasarımın Çizelgelenmesi ve Bütçelenmesi:

TASARIM AŞAMASI

15. Daha Önce Belirlenmiş Ürün/Makine Grubunun Analizi ve Gerekiyorsa Değiştirilmesi:

İlk önce Adım 10'da belirlenen ekipman/makine grubu ele alınarak değerlendirilir ve tasarımın başlayacağı alan netleştirilir. HÜ uygulama projelerinde firma içinde hemen ve ya belli bir süre sonra toplam dönüşümün gerçekleştirileceği düşünülmemelidir. Aksine karma bir yapının da firmanın toplam ihtiyaçlarına cevap vermesi de söz konusudur. Hatta kurulacak hücrelerin planlı veya plansız bir şekilde daha sonra kapanması da olasıdır. Bu çerçevede hücreleştirilecek hedef bölge belirlenip analizine başlanır. Analizlerde ürün özellikleri(talep yapısı, tasarım, ürün ağacı, kod bilgileri, malzemeler), donanım özellikleri(takım/tertibat, ekipman /makine, operasyon sırası, iş merkezi tanımları), işgücü özellikleri(yetkinlik, sayı ve organizasyon) ve süreler(takt süresi, taşıma süresi, hazırlık süresi, operasyon süresi, işgören süresi) belirlenmelidir.

16. Hücre Performans Kriterlerinin Analizi ve Ağırlıklandırılması:

Ağırlıklandırılma yapılırken hedefler göz önüne alınmalıdır.

17. Performans Kriterlerinin Mevcut Değerlerinin Saptanması

18. Hücre Performans Kriterlerinin Hedeflerinin Belirlenmesi:

Diğer firmalarla karşılaştırma yaparak veya HÜ hakkında bilgili kişilerin fikirleri alınarak performans kriterlerinin hedefleri belirlenir.

19. Hücre Oluşturma Yönteminin Seçilmesi:

Tasarım takımı görsel karar, sınıflandırma/kodlama, gruplandırma algoritmaları, matematik programlama veya yapay zeka kullanarak makine/ürün ailelerini belirleyebilir. Seçilecek yöntem konusunda da uzman sistemlerden veya bir uzmandan yararlanılabilir. Bölüm 1’de bahsedildiği gibi literatürde gruplama teknikleri hakkında yapılmış bir çok çalışma vardır. Önemli olan kullanılan tekniğin proje hedeflerine uygun kararlar alması, rahat kullanılabilir ve anlaşılabilir olmasıdır. Birden fazla sayıda teknik kullanılabilir.

20. Farklı Yöntemlerle Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi:

Farklı yöntemlerle farklı sonuçlar elde etmek yararlıdır. Elde edilecek farklı alternatifler uygulama sonuçlarını değiştireceğinden farklı yöntemlerle farklı sonuçlar elde edilmekten kaçınılmamalıdır.

21. Üretme, Satın Alma ve Yatırım Kararlarının Verilmesi:

Elde edilen sonuçlara göre üretme, satın alma ve yatırım kararları verilir.

22. Uygunluk Kontrolü:

Elde edilen çözüm uygun bulunmamışsa performans kriterleri veya grupta kullanılan yöntem değiştirilmelidir.

23. Uygunluk Kontrolü:

Çözümün uygun bulunmaması durumunda ikinci bir kontrol de Adım 23’te, performans kriterlerini gözden geçirmeye gerek olup olmadığını öğrenmek için yapılır. Çünkü kriterlerin gözden geçirilmesi daha temel bir çalışmaya geri dönüş olacak ve daha fazla zaman alacaktır. Performans kriterlerinin gözden geçirilmesine gerek yoksa Adım19’e gidilir ve hücre oluşturmada kullanılan yöntem değiştirilir. Aksi halde Adım 16’ya gidilerek performans kriterlerinin belirlenmesi ve ağırlıklandırılması tekrar yapılır.

24. Mevcut Yatırım Planlamasını HÜ Projesine Uygun Hale Getirmek:

Uygunluk kontrolü yapıldıktan sonra mevcut yatırım planlaması HÜ projesine uygun hale getirilir.

25. Ürün Aileleri ve Makine Gruplarının Seçilmesi:

Üretme, satın alma ve yatırım kararlarının alınması ve yapılan gruplamadan sonra mevcut yatırım planlamasının da projeye uygun olarak güncellenmesi ile hücre boyutlandırılması yapılır. Ürün aileleri ve makine grupları seçilir.

26. Hücre yerleşim planlamada Kaizen uygulanması yapılması

27. Hücrelerin Yerleşimi ve Hücre İçi Yerleşim Düzenlemesinin Yapılması ile Hücre Tipinin ve Malzeme Akış Modellerinin ve İşgören Yörüngesinin Belirlenmesi:

Mevcut yerleşim planı hakkında gerekli bilgiler toplanır. Üretim alanı kısıtlarına ve parça/makine gruplamalarına göre yerleşim yapılır. Doğrusal, U-tipi, ters U-tipi veya serpantin hücre tiplerini temel alarak ve yerleşim planını göz önünde bulundurarak hücre tipleri belirlenir. Hücre içi malzeme akışı modellenir. Daha sonra işgören yörüngesi belirlenir.

28. Hücresel Yerleşim Makine, İşçilik, Hazırlık ve Taşıma Sürelerinin Belirlenmesi ve Hücre Çevrim Sürelerinin Hesaplanması:

Yeni yerleşim için makine, işgören, hazırlık ve taşıma süreleri belirlenir. Hücrelerdeki çevrim süreleri hesaplanır.

29. Üretim Hızı Esnekliğinin Ölçülmesi

30. Ölçülen Üretim Hızı Esnekliğinin Yeterli Olup Olmadığına Karar Verilmesi:

Ölçülen üretim hızı esnekliği yetersiz ise Adım 21'e gidilerek üretme, satın alma ve yatırım kararları gözden geçirilir. Yeterli bulunmuşsa Adım 31'ten devam edilir.

31. Kalite Spesifikasyonlarının Belirlenmesi

32. Test/Kalite Kontrolün Hücre İçine Adapte Edilmesi

33. İmalat Parti Miktarının Belirlenmesi

34. Transfer Parti Miktarının Belirlenmesi

35. Dış Ve İç Malzeme Taşıma Sistemlerinin Belirlenmesi:

Robot, AGV, transpalet, forklift, vinç, el arabası veya insan gücü seçeneklerinden gerekli yerler için tercihler yapılır. İmalat ve transfer parti miktarlarında hücre içinde ve dışında taşınacak parçalar/ürünler için taşıma yöntemi belirlenir.

36. Hücre Dışı Üretim Kontrol Sisteminin Kurulması:

Kanban, MİP, Periyodik Parti Kontrolü, Sabit Yarı Mamul (CONWIP), Merkezi Bilgi Gönderimi, Optimize Üretim Teknolojisi gibi yöntemler arasında tercih yapılarak hücre dışı üretim kontrol sistemi kurulur.

37. Hücre İçi Üretim Kontrol Sisteminin Kurulması:

Makine dengeleme, işgücü planlaması, işgören yetkinliği, sayısı ve yörüngeleri belirlenir. Kanban, itme sistemi vb. yöntemler arasında karar verilir.

38. Kaizen Yapılıp Yapılmayacağına Karar Verilmesi:

Simülasyon veya diğer yöntemlerle analize gerek olup olmadığı sorgulanır. Analize gerek yoksa Kaizen çalışması yapılarak Adım 40'tan devam edilir. Burada paralel uygulama yapmak da tercih edilebilir. Zamanla projenin yeterli analizi arasında ödünleşme söz konusudur. Katılım, bütçe, motivasyon, moral, sistemi tanıma gibi faktörlere bağlı olarak sistemi analize devam edilebilir veya analizler yeterli görülüp uygulamaya geçilebilir.

39. Simülasyon veya Sezgisel Yöntemlerle Tüm Sistemin Analizi:

Darboğaz olan kısmın, bir hücrenin, birkaç hücrenin veya tüm sistemin zaman ve işgücü açısından analiz edilmesidir.

40. Performans Kriterleri Hedefleriyle Sistem Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması:

Belirlenen performans kriterleri hedefleriyle sistem analiz sonuçları karşılaştırılır.

41. Farklı Uygulama Önerisine İhtiyaç Olup Olmadığının Sorgulanması:

Elde edilen analiz sonuçları ve performans kriter hedeflerinden yararlanılarak ve projenin firma içinde geldiği durum göz önüne alınarak farklı uygulama önerisine ihtiyaç olup olmadığına karar verilir. Eğer farklı uygulama önerisine ihtiyaç olduğu düşünülüyorsa Adım 19'a gidilir. Farklı uygulama önerisine ihtiyaç duyulmuyorsa Adım 42'ye geçilir.

42. Düzeltmelere Gerek Olup Olmadığına Karar Verilmesi:

Elde bulunan alternatiflerde bazı düzeltmelere ihtiyaç olup olmadığı sorgulanır. Düzeltmelere ihtiyaç varsa Adım 43'e geçilir. Düzeltmelere ihtiyaç yoksa Adım 44'e geçilir.

43. Düzeltmelerin yapılması

44. Uygulama Önerisinin Saptanması

45. Uygulama Alternatiflerinden Birinin Seçilmesi:

Eldeki alternatif uygulama önerilerinin arasından hangi düzenlemenin ve sistemin uygulanacağına karar verilir. Sonuçlar geniş katılımlı bir toplantı ile bütün firma çalışanlarına anlatılır.

46. Uygulama Takımının Belirlenmesi

47. Uygulamanın Çizelgelenmesi ve Bütçelendirilmesi

48. Uygulama İçin İşgücü Atanması

UYGULAMA

49. Uygulamanın Yapılması

METODOLOJİNİN SOSYAL VE ORGANİZASYONEL BOYUTU

Sosyal ve organizasyonel olarak dönüşümün gerçekleşmesi teknik dönüşümle aynı zamanda başlar. Sosyal ve organizasyonel dönüşüm, teknik dönüşüm başlamadan başlatılmış olmalıdır ve teknik dönüşümde tasarım süreci bitinceye kadar

tamamlanmalıdır. Zamanlamada yapılacak yanlışlıklar teknik dönüşümü eksik ve sonuçsuz kılar. HÜ uygulamasının da başarısızlığına sebep olur.

Eşzamanlı olarak gerçekleştirilmesi gereken bu iki dönüşümün sosyal ve organizasyonel boyutunun aşamaları aşağıda sıralanmıştır:

1. HÜ ve YD hakkında şirket çapında bilgilendirme ve eğitim
2. Gerekli işgören yetkinliklerinin saptanması
3. Eğitim ihtiyaçlarının belirlenmesi
4. Eğitim planının yapılması ve uygulanması
5. Bireysel ve takım öneri sisteminin planlanması ve kurulması
6. Hücresel personel organizasyonunun oluşturulması:

Hücre takımları belirlenir. Pazarlama, üretim planlama, lojistik, bakım, satın alma ve mühendislik gibi destek birimleri, hücrelerle ilişkilendirilir ve bütünleştirilir. Bu aşamada bakım, planlama,metot, lojistik vb. gibi fonksiyonel bölümler mümkün olduğunca kaldırılıp fonksiyonları hücrelere dağıtılmalıdır. Böylece hücre takımlarından söz edilmesi mümkün olur.

5. SONUÇLAR

HÜ tasarım ve uygulaması alanındaki çalışmaları çoğu kesin-tanımlanmış problemlerin çözümü için reçetelere ve belirli metotlara odaklanmıştır.[14] Bu çalışma ile bu şekilde ortaya çıkmış birçok metodun mantıksal bir sıra ile bütünleştirilmesi sonucu bir sürece dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Bunun pratik uygulamalarla uyum içinde olması ve uygulanabilir bir metodoloji elde edilmesi amacıyla Türk endüstrisindeki öncü kuruluşlarda kapsamlı bir saha analizi yapılmıştır. Hücrelerin yerinde görülmesi ve projelerin daha iyi anlaşılması amacıyla birebir sahada görüşme yapma yolu tercih edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- 1.Belirli bir sırada bir seri metodun uygulanabilirliğini ve anlaşılabilirliğini artırmakla HÜ'nün performansını en yüksek dereceye çıkarmaktadır.
- 2.İnsanların sürece katılımını ve süreçten faydalanmalarını artırmaktadır.
- 3.Proje süresince gerçekleşen kaynak ayrımlarını bütçelendirmeyi ve kontrol etmeyi kolaylaştırır.
- 4.İnsanların sürekli geliştirme alanlarını keşfetmelerini ve uygulamalarını sağlar.

Proje yönetimi açısından metodolojinin üç temel etkisi vardır. Birincisi, proje yöneticileri sadece içeriğini anlayarak yeni teknolojileri ve metodolojileri uygulamakla uğraşmazlar, bir süreç içinde aralarındaki etkileşimleri de belirleyebilmek isterler. İkincisi, uygulama süreci işgörenlerin katılımını sağlayabilir ve sağlamalıdır. Üçüncüsü, organizasyon ve performans üzerindeki faydalarının yanında böyle bir proje insanlara değişen bir ortamda dahi sistemleri nasıl sürekli değerlendireceklerini ve geliştireceklerini öğretmesi açısından çok önemlidir.

Ayrıca dinamik bir ortamda bulunan firmalarda proje organizasyonunun da dinamik olması kaçınılmazdır. Önemli olan değişim yapılması gereken zamanlarda bunun tespit edilip değişimin gerçekleştirilmesidir.

Şirket vizyonunda yalın üretimin yerini belirleyip şirketi vizyona götürecek şekilde yalın üretimle ilgili tüm projelere bir bütün olarak bakmanın son derece önemli olduğu düşünmekteyiz. Dolayısıyla gerek yerleşim düzenlenmesi, gerek organizasyon yapısının hücresel bir yapıya kavuşturulması ve gerekse HÜ ile birlikte firma kültürünün baştan aşağı değiştirilmesi yönünde bu çalışmaların yapılmasını sağlamamız gerekmektedir.

Yalın üretimle ilgili yapılacak uygulama planının da şirketler için bir proje olarak görülüp bu çerçevede HÜ' nün önceliğinin ve etkisinin doğru olarak saptanması ve diğer projelerle iletişiminin ve koordinasyonun sağlanması uygun olacaktır. Akademik çalışmaların da firmalara HÜ uygulamalarına destek olacak konularda yapılan çalışmalarla zenginleştirilmesi yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Black, J.T.**, 1991. The Design of The Factory With A Future, McGraw-Hill,Inc., Singapore.
- [2] **Black, J.T.**, 1993. Leaning into Industrial Revolution III, *Manufacturing Engineering*, April, 120.
- [3] **Nyman, L.R.**, 1992. Making Manufacturing Cells Work, McGraw-Hill,Inc., Michigan.
- [4] **Womack, J.P. ve Jones, D.T.**, 1996. Lean Thinking: Banish Waste And Create Wealth In Your Corporation. New York: Simon & Schuster.
- [5] **Burbidge, J.L.**, 1979. Group Technology In The Engineering Industry, Mechanical Engineering Publications Ltd., London.
- [6] **Hyer, N.L. ve Wemmerlöv, U.**, 1989. Cellular Manufacturing In The US Industry: A Survey Of Current Practices, *International Journal of Production Research*, **27**(8), 1287-1304.
- [7] **Choi, M.J.**, 1996. An Exploratory Study Of Contingency Variables That Affect The Conversion To Cellular Manufacturing Systems, *International Journal of Production Research*, **34**(6), 1475-1496.
- [8] **Olorunniwo, F.O. ve Udo, G.J.**, 1996. Cell Design Practices In Us Manufacturing Firms, *Production and Inventory Management*, **37**, 27-33.
- [9] **Wemmerlöv, U. ve Johnson D.J.**, 1997. Cellular Manufacturing At 46 User Plants:Implementation Experiences And Performance Improvements, *International Journal of Production Research*, **35**(1), 29-49.

- [10] **Harvey, N.**, 1993. The Socio-Technical Implementation Of Cellular Manufacturing In American And German Metal Working Firms, *PhD Thesis*, University of Wisconsin-Madison.
- [11] **Marsh, R.F., Meredith, J.R. ve McCutcheon, D.M.**, 1998. The Life Cycle Of Manufacturing Cells, *International Journal of Operations and Production Management*, 17, 1167-1182.
- [12] **Hyer, N.L. ve Brown, K.A.**, 1999. The Discipline Of Real Cells, *Journal of Operations Management*, 17(5), 557-574.
- [13] **Wemmerlöv, U. ve Johnson, D.J.**, 2000. Empirical Findings On Manufacturing Cell Design, *International Journal of Production Research*, 38(3), 481-507.
- [14] **Da Silveria, G.**, 1999. A Methodology Of Implementation Of Cellular Manufacturing, *International Journal of Production Research*, 37(2), 467-479.
- [15] **Huber, V.L. ve Brown, K.A.**, 1991. Human Resource Issues In Cellular Manufacturing: A Sociotechnical Analysis, *Journal of Operations Management*, 10(1), 138-159.
- [16] **Shafer, M.S., Bennett, J.T., Meredith, J.R. ve Marsh, R.**, 1995. Comparing The Effects of Cellular Manufacturing on Employees' Perceptions and Attitudes, *Journal of Operations Management*, 12, 63-74.
- [17] **Harvey, N.**, 1994. Socio-Technical Organization Of The Cell Manufacturing And Production Islands In The Metal Manufacturing Industry In Germany And The USA, *International Journal of Production Research*, 32(11), 2669-2681.
- [18] **Offodile, O.F., Mehrez, A. ve Grznar, J.**, 1994. Cellular Manufacturing: A Taxonomic Review Framework, *Journal of Manufacturing Systems*, 13(3), 196-220.

- [19] **Singh, N., Rajamani, D.,** 1996. Cellular Manufacturing Systems, Chapman & Hall.
- [20] **Chan, C.-Y., Lam, F.-W. ve Lee, C.-P.,** 1999. Considerations For Using Cellular Manufacturing, *Journal of Materials Processing Technology*, **96**, 182-187.
- [21] **Guerrero, H.H.,** 1987. Group Technology: I-The Essential Concepts, *Production and Inventory Management*, 1st Quarter, 62-70.
- [22] **Guerrero, H.H.,** 1987. Group Technology: II-The Implementation Process, *Production and Inventory Management*, 2nd Quarter, 1-9.
- [23] **Jordan, P.C. ve Fraizer G.V.,** 1993. Is The Full Potential Of Cellular Manufacturing Being Achieved?, *Production and Inventory Management Journal*, **34**(2), 70-72.
- [24] **Fry, T.D., Wilson, M.G. ve Breen, M.,** 1987. A Successful Implementation of Group Technology and Cellular Manufacturing, *Production and Inventory Management*, 3rd Quarter, 4-6.
- [25] **Heragu, S.S.,** 1994. Group Technology And Cellular Manufacturing, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **24**(2), 203-215.
- [26] **Dale, B. and Willey, P.,** 1980. How To Predict The Benefits Of Group Technology, *The Production Engineer*, **59**(2), 51-54.
- [27] **Durmuşoğlu, M.B.,** 1993. Analysis Of The Conversion From A Job Shop System To A Cellular Manufacturing System, *International Journal of Production Economics*, **30-31**, 427-436.
- [28] **De Beer, C., Van Gerwin, R. ve De Witte, J.,** 1976. Analysis of Engineering Production Systems As A Base for Product-Oriented Reconstruction, *Annals of CIRP*, **25**, 439-441.
- [29] **King, J.R. ve Nakornchai, V.,** 1982. Machine-Component Group Formation In Group Technology: Review and Extensions, *International Journal of Production Research*, **20**(2), 117-133.

- [30] **Gupta, T.**, 1991. Clustering Algorithms for the Design of A Cellular Manufacturing System-An Analysis of Their Performance, *Computers and Industrial Engineering*, **20**(4), 461-468.
- [31] **Durmuşoğlu, M.B.**, 1996. Hücresel Üretim Projelerinin Yönetimi, Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XVIII. Ulusal Kongresi.
- [32] **Lee Q.**, 1994. Workcell Design For World Class Manufacturing, in *Handbook of Commercial and Industrial Facilities Management*, 201-240, Eds. Wrennal W. ve Lee Q.
- [33] **Burbidge, J.L.**, 1964. The Case Against The Economic Batch Quantity, Reprinted from *The Manager, January*, The Chapel River Press Ltd., Great Britain.
- [34] **Malik, M.Y., Connoly, R. ve Sabberwal A.J.P.**, 1973. Considerations For The Formation Of Cells In Group Manufacture, *Proceedings of the 14th International Machine Tool Design and Research Conference*.
- [35] **El Mhamedi, A., Binder, Z. ve Bodin, R.P.**, 1992. Qualitative Evolution Of Production Systems, *International Journal of Systems Science*, **23**(7), 1131-1139.
- [36] **Vakharia, A.J.**, 1986. Methods of Cell Formation On Group Technology: A Freamework for Evaluation, *Journal of Operations Management*, **6**(3), 257-271.
- [37] **Gallagher, C.C., Grayson, T.J. ve Phillips, A.**, 1971. A Review of The Development and Applications of GT at The University of Birmingham, *International Journal of Production Research*, **9**, 229.
- [38] **Flynn, B.B. ve Jacobs, J.R.**, 1986. A Simulation Comparison Of Group Technology With Traditional Job Shop Manufacturing, *International Journal of Production Research*, **24**(5), 1171-1192.

- [39] **Morris, J.S. ve Tersine, R.J.**, 1990. A Simulation Analysis of Factors Influencing the Attractiveness of Group Technology Cellular Layouts, *Management Science*, **36**(12), 1567-1578.



EK – 1 HÜCRESEL ÜRETİM ARAŞTIRMA ANKETİ

Firma Adı:		
Kuruluş Yılı:		
Adres:		
Telefon:		
Web Adresi:		
Ürettiği Ürünler:		
Çalışan Sayısı: Beyaz Yakalı:	Mavi Yakalı:	
Hücre Sayısı: Kapanmış:	Mevcut:	Planlanan:
Kalite Belgeleri:		
Kapalı Alan (m ²):	Açık Alan (m ²):	
Anketi Dolduran Kişi:		

BÖLÜM 1.

1. Hücresel üretimi hangi nedenle araştırmaya başladınız ?

- ☐ Danışmanların önermesi sonucu
- ☐ Diğer üretim şirketlerinin kıyaslanması sonucu
- ☐ Firma çalışanlarının önermesi sonucu
- ☐ Yukarıdakilerden hiçbiri.

Lütfen Belirtiniz.....

EK – 1 Hücresel Üretim İnceleme Anketi

2. Hücresel üretimi uygulama projesine karar vermede ayrıntılı bir analiz

yaptınız mı?

- ☐ Hayır. Danışmanların önerisi ile hemen uygulama projesine başlandı.
- ☐ Hayır. Bu proje de diğer üretim sistemi verim artırma projeleri gibi düşünüldü.
- ☐ Evet. Üst yönetime projeyi benimsetebilmek amacıyla ayrıntılı analizler yapıldı.

3. İlk aşamalarda hücresel üretim projesine karşı çıkan gruplar var mıydı ?

- ☐ Hayır
- ☐ Evet. Karşı olan grupların karşısına “x” koyarak mümkünse müdür ve alt kadro için görevleriniz belirtiniz.

Gruplar		Mesleği
Üst Yönetim		
Genel Müdür		
Genel Müdür Yardımcıları		
Müdürler		
Şefler		
Amirler, Denetçiler		
Mühendisler		
Teknisyenler		
İşgörenler		
Diğer		

4. Hücreyel üretim projesini başlatma nedenleriniz nelerdir? Bu nedenlere 1-5 arasında önem derecesi veriniz. Hiç düşünülmemiş nedenler varsa, “sıfır” değerini işaretleyiniz.

Nedenler	Değerlendirme				
	1	2	3	4	5
Temin süresini düşürmek					
Hazırlık sürelerini düşürmek					
Müşterilere tepki verme süresini kısaltmak					
Taşıma mesafelerini/sürelerini kısaltmak					
Üretim esnekliğini arttırmak					
Parça/ürün kusurlu oranını azaltmak					
İşgören sayısını düşürmek					
İşgörenin etkinliğini arttırmak					
İşgörenlerin iş tatminini sağlamak					
Ürün maliyetlerini düşürmek					
Üretim miktarını arttırmak					
Yarı mamul stokları düşürmek					
Ham madde stoklarını düşürmek					
Mamul stoklarını düşürmek					
Çalışanların katılımını sağlamak					
Üretim planlama ve kontrolü basitleştirmek					
Diğer (Belirtiniz) :					
Diğer (Belirtiniz) :					

Değerlendirme Ölçeği :

5	4	3	2	1
Çok Önemli	Önemli	Orta Önemde	Düşük Önemde	Dikkate hiç alınmadı

5. Hücreyel üretim projesine başlarken, hedeflenen sayısal performans değerleri var mıydı ?

☐

Hayır

☐

Evet. Lütfen Belirtiniz

EK – 1 Hücresel Üretim İnceleme Anketi

Gelişme Alanı	Hedef Belirlendi	Sayısal Hedef Belirlendiyse Gelişme Hedefi (%)	Ölçülen Gelişme Değeri (%)
Temin Süresi			
Hazırlık Süresi			
Yarı Mamul Stoku			
Üretim Miktarı			
Ürün Maliyeti			
.....			
.....			
.....			
.....			

BÖLÜM 2.

1. Projenin uygulamaya alınmasında kimler görev yaptı?

Gruplar		Görevi
Üst Yönetim		
Genel Müdür		
Genel Müdür Yardımcıları		
Müdürler		
Şefler		
Amirler, Denetçiler		
Mühendisler		
Teknisyenler		
İşgörenler		
Diğer		

2. Proje için lider seçtiniz mi?

☐

Hayır

☐

Evet. Lütfen liderin pozisyonunu ve unvanını belirtiniz.

.....

3. Hücree dizaynında(makine, ekipman ve ürün seçimi) hangi grup ve pozisyonlardaki kişiler çalıştı?

Bölüm veya Personel Grubu	Çalışan personeli işaretleyiniz
Proses Mühendisliği	
Atölye Yöneticileri (Postabaşı ve formen)	
İmalat Müdürü	
İmalat Şefi	
İmalat Mühendisi	
Elektrik Bakım	
Makine Bakım	
Ar-Ge Mühendisi	
Endüstri Mühendisi	
Üretim Planlama ve Kontrol	
Operatörler	
Kalite Kontrol/Güvence Departmanı	
Tasarım Mühendisi	
Satın Alma	
Muhasebe ve Finans	
İnsan Kaynakları	
Bilgi İşlem ve Enformatik	
Danışman	

Danışman şikkını işaretlediyseniz lütfen niteliğini belirtiniz.

- ☐ Akademik
- ☐ Yurtdışı Danışmanlık Firması
- ☐ Yurtiçi Danışmanlık Firması
- ☐ Uygulama Yaptmış Deneyimli Firma
- ☐ Diğer. Lütfen belirtiniz.....

4. Hücresel fiziksel yerleşiminde hangi grup ve pozisyondaki kişiler çalıştı?

Bölüm veya Personel Grubu	Çalışan personeli işaretleyiniz
Proses Mühendisliği	
Atölye Yöneticileri (Postabaşı ve formen)	
İmalat Müdürü	
İmalat Şefi	
İmalat Mühendisi	
Elektrik Bakım	
Makine Bakım	
Ar-Ge Mühendisi	
Endüstri Mühendisi	
Üretim Planlama ve Kontrol	
Operatörler	
Kalite Kontrol/Güvence Departmanı	
Tasarım Mühendisi	
Satın Alma	
Muhasebe ve Finans	
İnsan Kaynakları	
Bilgi İşlem ve Enformatik	
Danışman	

Danışman şikkını işaretlediyseniz lütfen niteliğini belirtiniz.

- ☐ Akademik
- ☐ Yurtdışı Danışmanlık Firması
- ☐ Yurtiçi Danışmanlık Firması
- ☐ Uygulama Yapmış Deneyimli Firma
- ☐ Diğer. Lütfen belirtiniz.....

5. Proje takımının belirlenmesinde danışmanların bir etkisi oldu mu?

- ☐ Evet
- ☐ Hayır

6. Hücre tasarımında çalışacak personelin seçimi için önerileriniz nelerdir?

.....

.....

BÖLÜM 3. Hücre Dizayn Yaklaşımı

1. Dizayn çalışmasına nasıl başladınız?

- ☐ Önce ürün/parça ailesi belirlendi. Daha sonra bunların üretimi için gerekli ekipman ve işgören belirlendi.
- ☐ Önce önemli bir ekipman(makine) seçildi. İlgili ekipman yanına getirildi. Daha sonra bu ekipmanın üretebileceği ürün/parça ailesi seçildi.
- ☐ Diğer. Lütfen belirtiniz.....

2. Hangi aşamalarda bilgisayar yazılımlarından faydalandınız.

- ☐ Veri toplama
- ☐ Yöntemin uygulanması

3.Parça / ürün ailesini belirlemede kullandığınız yaklaşım nedir?

- ☐ Göz ile (tecrübe)
- ☐ Rotalama
- ☐ Kodlama
- ☐ Kompozit parça
- ☐ Hiçbiri. Lütfen belirtiniz.....

4.Hücre dizaynı sırasında kullandığınız (veya kullanmayı düşündüğünüz) bilgisayar verileri nelerdir?

- ☐ Ürün Ağacı
- ☐ Parça operasyon bilgileri
- ☐ MRP parça kayıt verisi
- ☐ Sınıflandırılmış ve kodlanmış GT verisi
- ☐ Bilgisayar destekli tasarım verisi
- ☐ Bilgisayar verisi kullanılmadı. Eğer cevabınız kullanılmadı ise
sebebini işaretleyiniz.
- ☐ Sistem bilgisayar kullanacak kadar karmaşık değil
- ☐ Bilgisayar insan yaratıcılığını önüyor
- ☐ Tecrübe daha önemli
- ☐ Diğer. Lütfen belirtiniz.

5. Hücresel tasarımı veya işletilmesi için kullanılan ticari veya akademik olarak yayınlanmış tekniklerin herhangi birini biliyor musunuz? Lütfen hatırladığınız kadarı ile ismini veriniz. Uyguladıklarınızı belirtiniz.

	Bildiğiniz		Uygulandı	
	Biliyorum	Bilmiyorum	Teknik	Evet Hayır
Parça/ Ürün Ailesini Belirlemek	☐	☐		☐ ☐
Ekipman (makine) Seçimi	☐	☐		☐ ☐
Kapasite Dengeleme ve Ürün Akışı	☐	☐		☐ ☐
Hazırlık Süresi Azaltımı	☐	☐		☐ ☐
Ürün ve Proses Tasarım Kararları	☐	☐		☐ ☐
Operatör Gereksinimi	☐	☐		☐ ☐
Diğer				

6. Önceki üretim sisteminden hücresel üretim sistemine geçiş nasıl gerçekleşti?

- ☐ Başlangıç aşamasında bir pilot hücre oluşturuldu. Daha sonra diğer hücreler oluşturuldu.
- ☐ Başlangıç aşamasında birden fazla pilot hücre oluşturuldu. Daha sonra diğer hücreler oluşturuldu.
- ☐ Tüm sistem aynı anda hücresel üretim sistemine dönüştürüldü.

7. Hücresel üretim sistemine geçişte kullandığınız yaklaşımı niçin tercih ettiniz? Niçin diğer yaklaşımları uygulamadınız?

.....

.....

8. Firmanızda kurduğunuz hücrelerin kurulma tarihlerini ve faaliyete geçme sürelerini belirtiniz.

Hücre Sayısı Kurulma Tarihi Üretimin Durma Süresi Kapanma Tarihi Nedeni

.....

BÖLÜM 4.Hücre Dizaynı (Oluşturulması) Sırasında Düşündükleriniz.

Düşüncelerinize 1-5 arasında önem derecesi veriniz. Hiç düşünmediğiniz bir konu varsa, “sıfır” değerini işaretleyiniz.

Hücre Dizaynı Sırasında Düşünülen Konular	Değerlendirme				
	1	2	3	4	5
Parçalar (ürünler) tamamen hücrede tamamlanmalı					
Yüksek işgören (operatör) kullanımı					
İşgöreni birden fazla makinede kullanma					
Hücrede dengelenmiş makine kullanım oranı					
Hücreye atanan parça/ürün sayısı					
Tek yönlü (geriye dönüşsüz) malzeme akışı					
Hücre işgören (operatör) sayısı					
Mevcut pahalı makinelerin kullanım oranının yüksek tutulması					
Hücredeki iş istasyonu/makine sayısı					
Yeni ürünü (parçayı) hücrenin kabul edebilme esnekliği					
Bir ürünü (parçayı) birden fazla hücrede işleyebilme esnekliği					
Hücre içinde bir işlemin alternatif makinelerde işlenebilme esnekliği					
Hücrelere yetki göçertmesinin yapılması					
Daha az işgörenle iş yapılması					
Diğer (Belirtiniz) :					
Diğer (Belirtiniz) :					

Değerlendirme Ölçeği :

5	4	3	2	1	0
Çok Önemli	Önemli	Orta Önemde	Düşük Önemde	Çok Düşük Önemde	Dikkate hiç alınmadı

Hücre Dizaynı (Oluşturulması) Sırasında Karşılaştığınız Kısıtlar

- ☐ Finans Kısıdı
- ☐ Yeni makine satın alınmaması
- ☐ Atölye alan kısıdı
- ☐ Üretim hacmi kısıdı
- ☐ Parçaların tüm işlemlerinin bir hücrede tamamlanması kısıdı
- ☐ İş gücü kısıdı : her bir hücredeki işgören sayısı, mevcut işgörenleri kullanma, tek işgörenli bir işlemde hücre hazırlığı, işgörenlerin hücre oluşturma çalışmalarına katılmaları gereği.
- ☐ Ürün/proses kısıdı : tek parça akışı, makine önünde iş kuyruğu oluşturmama, dengeli iş akışına izin verme, işlem sırasının değiştirilmemesi, hücrede benzer ürünlerin (parçaların) üretilebilme yeteneği, belirli makinelerin hücre dışında tutulması.
- ☐ Diğer (Belirtiniz)

BÖLÜM 5. Hücre Dizayn (Tasarım)Aşamasında Performans Değerlendirme

1. Hücreyi tasarlarken(uygulama öncesi) kurulacak hücrenin performansını değerlendirdiniz mi?

☐

Hayır

☐

Evet. Lütfen kullandığınız yöntemi belirtiniz.

☐

Analitik yöntemler

☐

Fiziksel Simülasyon

☐

Bilgisayar Simülasyonu

☐

Yapay Zeka

☐

Bulanık Mantık

☐

Diğer.....

2.Hücreler kurulmadan önce ekipman ve operatör ihtiyacını belirlemek için iş yükü hesaplandı mı?

☐

Hayır

☐

Evet. Lütfen sonuçları kısaca belirtiniz.

BÖLÜM 6. DİZAYN SONUÇLARI

1.Hücrenizde üretilmekte olan ürünler nelerdir?

.....

2.Hücrede üretilen parça/ürün tipleri hakkında aşağıdakilerden hangisi sizin hücrenize daha uygundur?

- ☐ Tek bir parça/ürün tipi işlenir
- ☐ 1 ila 25 parça/ürün tipi işlenir
- ☐ 25 ila 50 parça/ürün tipi işlenir
- ☐ 50 ila 100 parça/ürün tipi işlenir
- ☐ 100 parça/ürün veya daha fazla sayıda tip işlenir

3. Parça/ürün ailelerinin işlenmesi için hücrede mevcut olan operasyon türleri nelerdir?

- ☐ Talaşlı imalat
- ☐ Döküm
- ☐ Montaj
- ☐ Isıl işlemler
- ☐ Plastik şekil verme
- ☐ Paketleme
- ☐ Test
- ☐ Son yıkama
- ☐ Diğerleri.

4. Vardiya başına hücrede işgören sayısı nedir? Hücrede gerçekleştirilen yıllık üretim miktarı ne kadardır?

Üretim Miktarı:.....(adet/yıl)

Çalışan Sayısı :.....

Makine(Tesis) Sayısı :.....

5. Hücresel üretime geçildikten sonra parça rotalarında bir değişiklik yapıldı mı?

☐

Hayır

☐

Evet. Lütfen değişikliğin %'sini belirtiniz. %

Bu değişiklikler nasıl sağlandı?

6. Hücreler içinde ekipman değişimi yaptınız mı?

☐

Hayır

☐

Evet. Lütfen ekipman değişimi yapılan hücre sayısını ve ekipman değişim yüzdesini belirtiniz.

Değiştirilen Hücre Sayısı

Değiştirilen Ekipman Yüzdesi

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. Hücresel üretime geçince (Rotaya bağlı olarak veya olmadan) parça tasarımlarında bir değişiklik yapıldı mı?

☐ Hayır

☐ Evet

8. Hücre bağımsızlığını belirlemek açısından parçaların kaçı birden fazla(2 veya 3 hücrede vb.) hücrede işlem görmektedirler?

.....

9. İşletme içinde büyük hacme sahip olma , toksik olma , yüksek maliyetli olma veya büyük parti hacimlerinde işlem yapabilme gibi özelliklerinden dolayı kısıtlı sayıda olan makineler var mıdır? Başka bir deyişle bir hücreye yerleştiremediğimiz makine var mı?

☐ Hayır

☐ Evet. Lütfen türünü ve sayısını belirtiniz.

Makine Türü	Makine Sayısı
.....	
.....	
.....	

10. Hücreleştirilen kısmın işletmenizdeki makinelerin(tesislerin) içinde yüzdesi nedir?

%.....

BÖLÜM 7.

1. Hücreleri bugün kursaydınız aynı şekilde mi kurardınız?

☐

Evet

☐

Hayır. Lütfen düşüncelerinizi belirtiniz.

.....

.....

.....

.....

.....

2. Hücre oluşturulurken eskiden kullanıp da hücresel üretimle kullanımı ortadan kalkan operasyonlar oldu mu?

☐

Hayır

☐

Evet. Lütfen belirtiniz.

.....

.....

.....

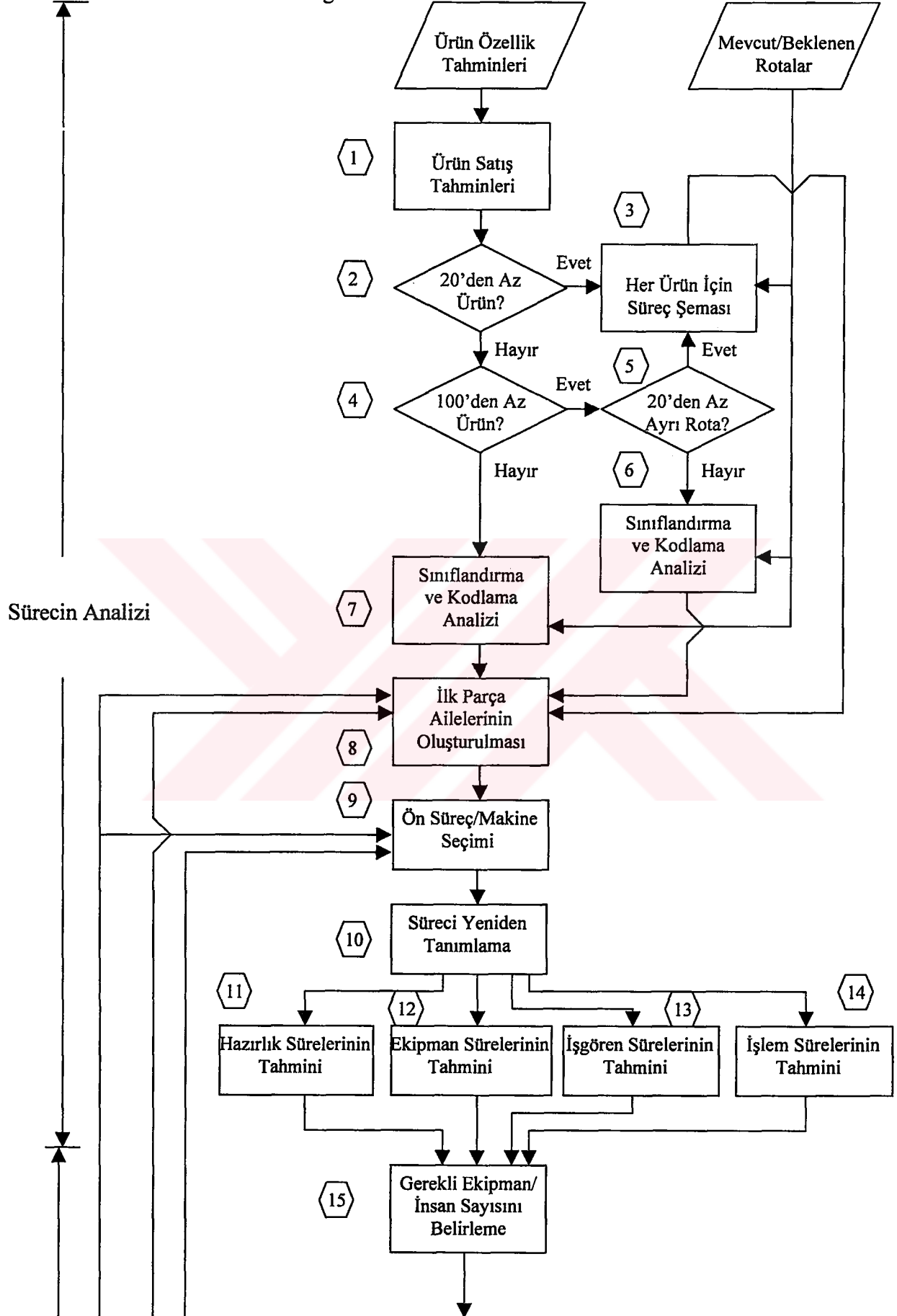
.....

3. Yalnız üretim size neyi anımsatıyor? Lütfen belirtiniz.

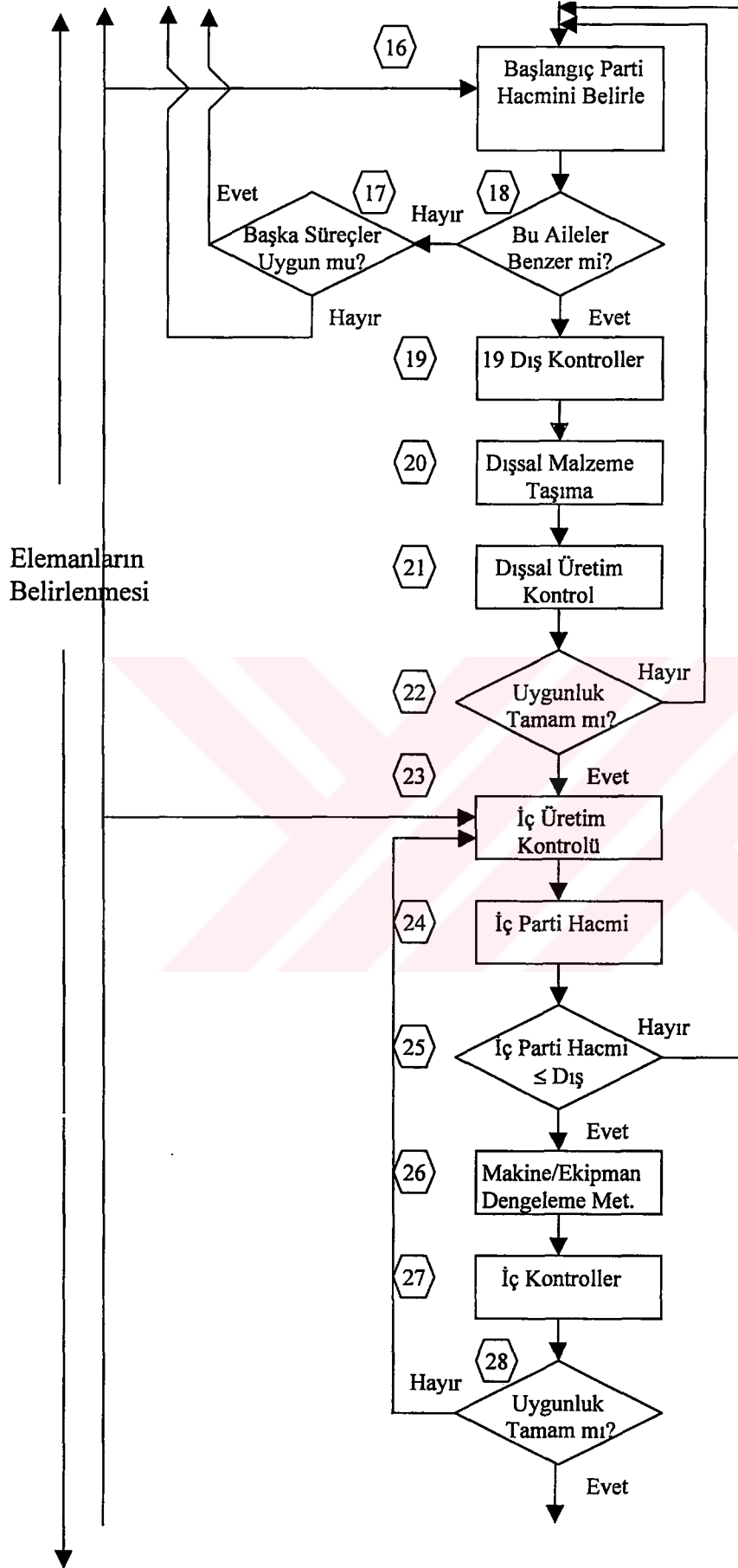
.....

.....

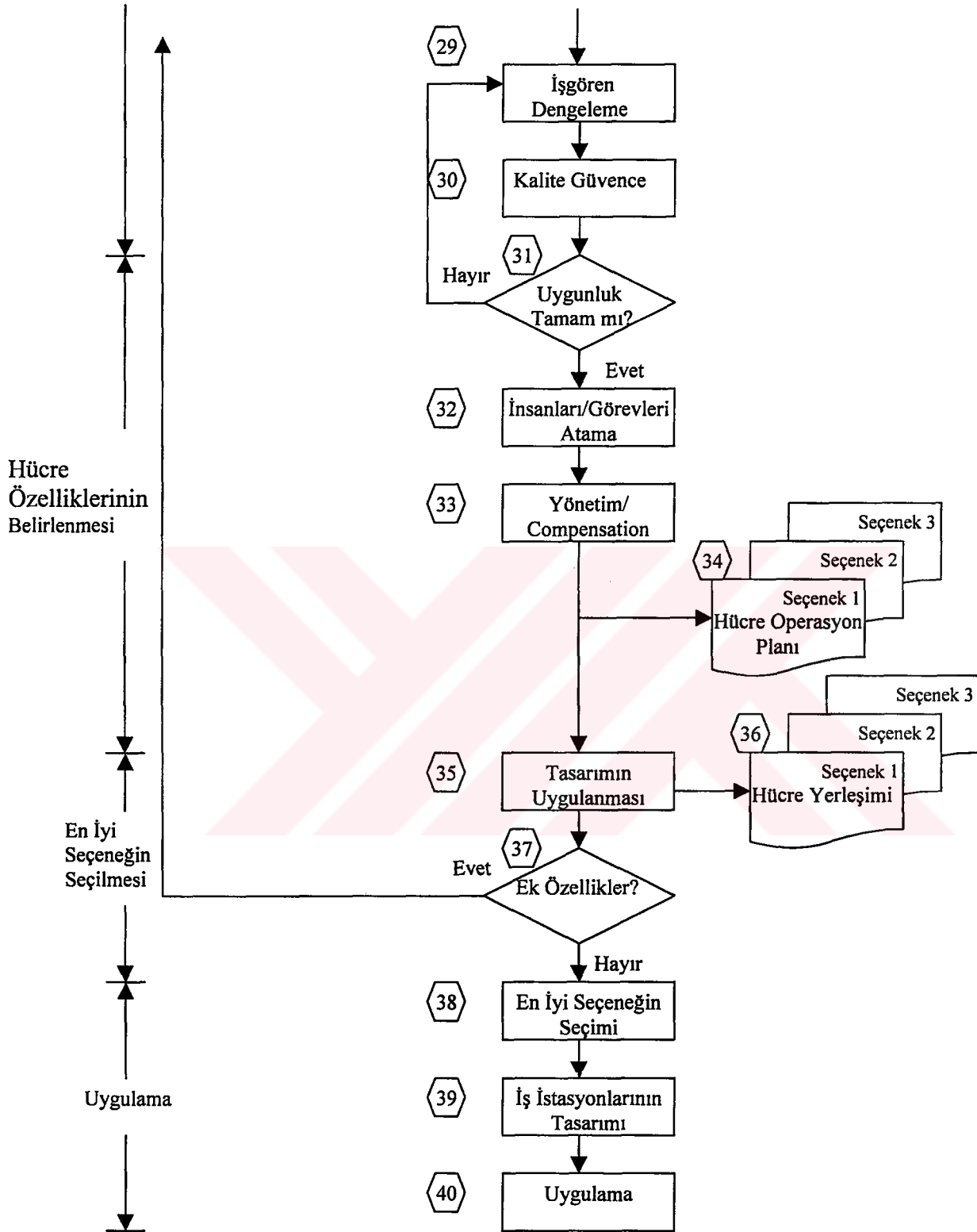
EK – 2 Hücre Sentez Algoritması



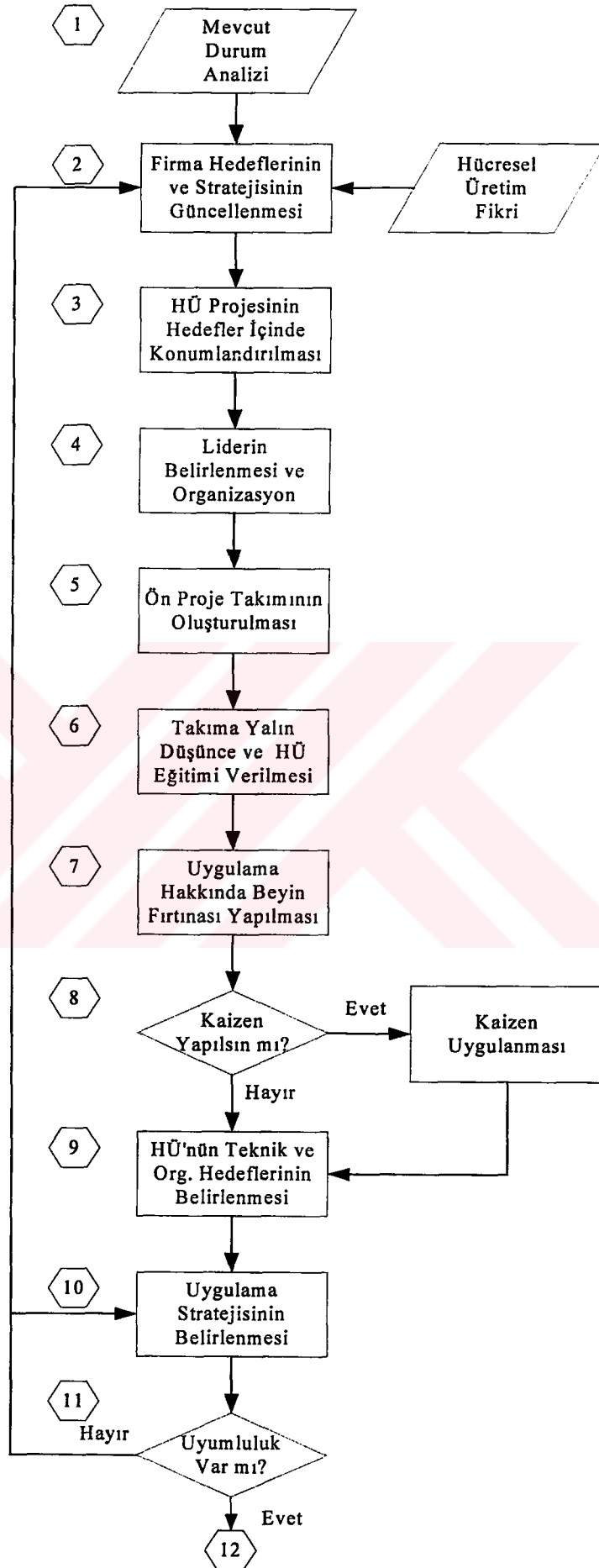
EK – 2 HÜCRE SENTEZ ALGORİTMASI



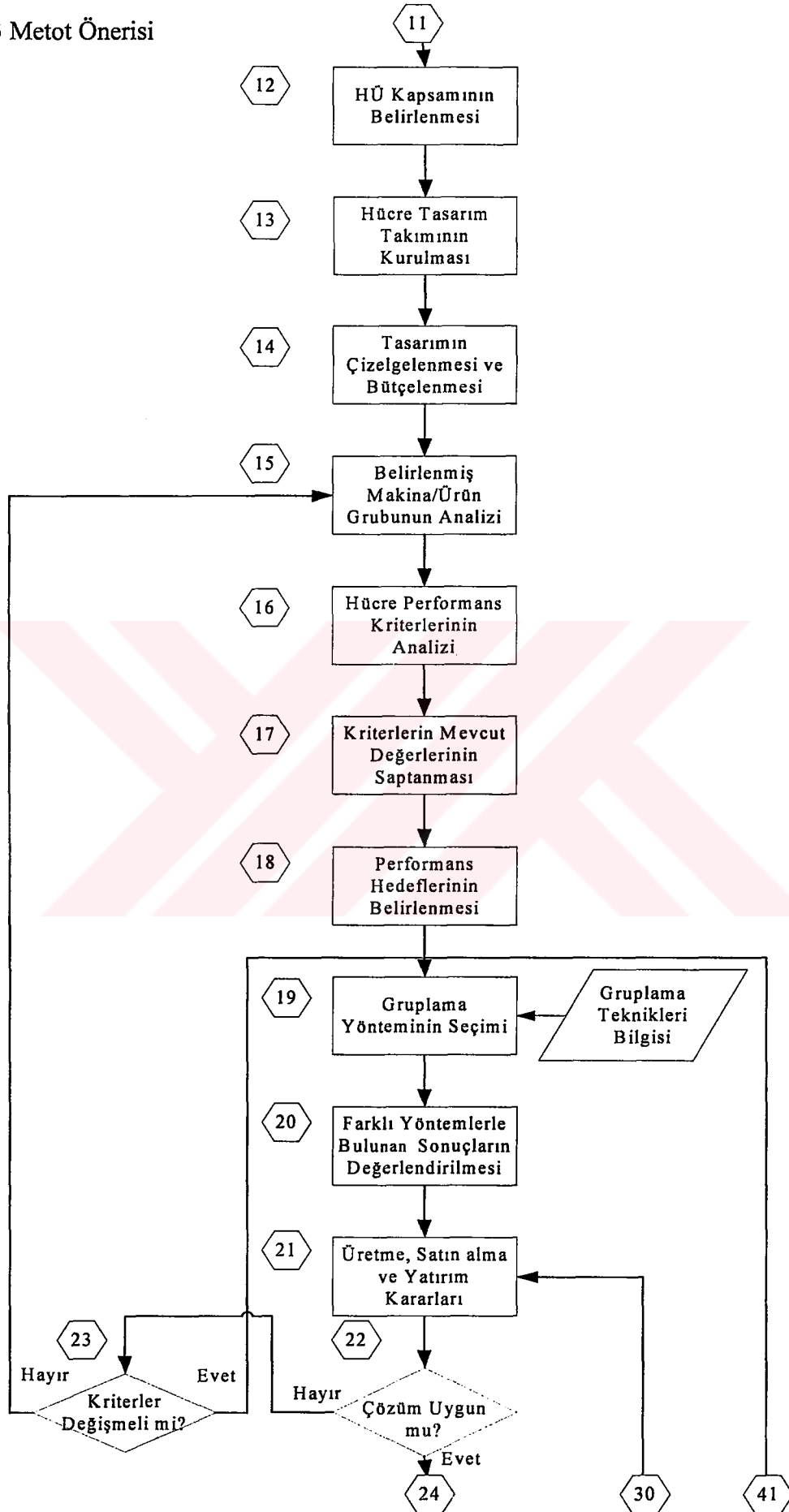
EK – 2 Hücre Sentez Algoritması



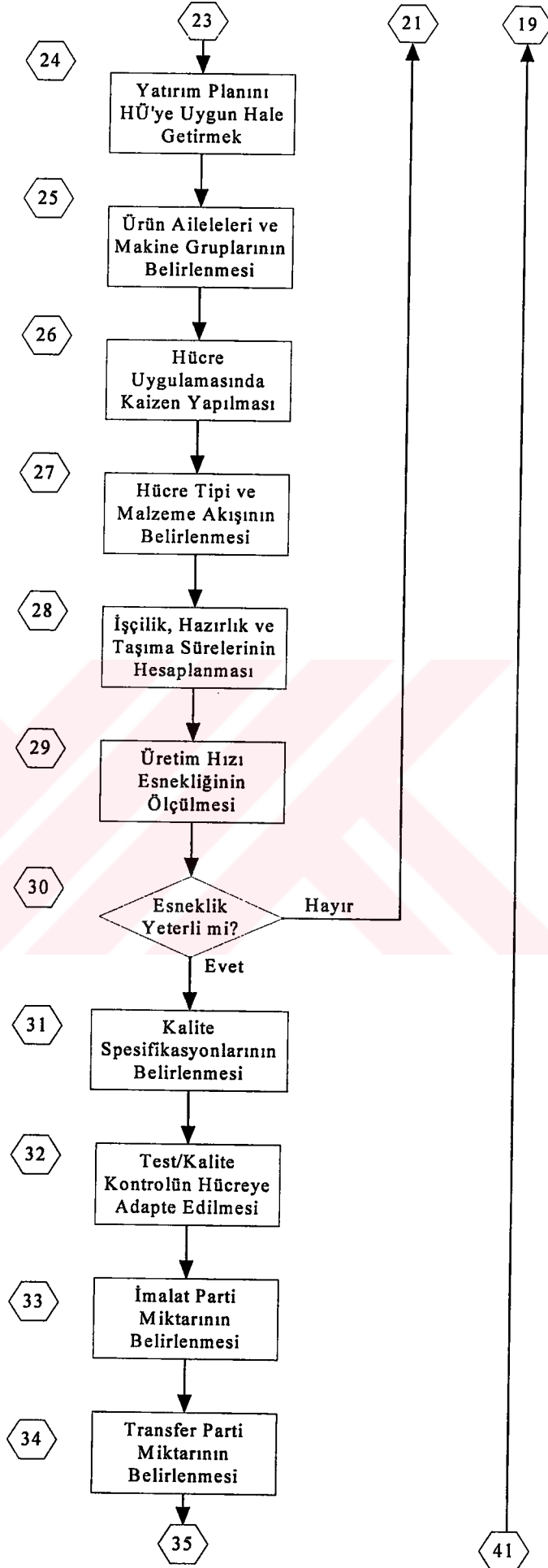
EK-3 Metot Önerisi



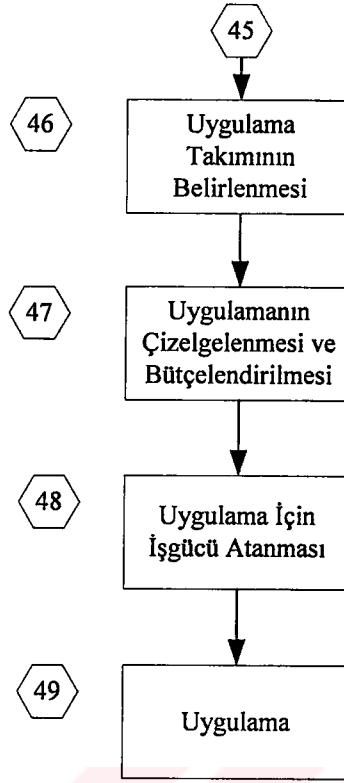
EK-3 Metot Önerisi



EK-3 Metot Önerisi



EK-3 Metot Önerisi



ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Isparta doğumlu olan Hüseyin Hakan BALCI ilk, orta ve lise eğitimini Isparta'da tamamladı. 1995 yılında Isparta Anadolu Lisesi'nden mezun oldu.

1995-1999 yılları arasında İ.T.Ü. Tekstil Mühendisliği bölümüne devam etti ve 1999 yılında mezun oldu. 1999 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği programında yüksek lisans eğitimine başladı.

2000 yılında İ.T.Ü. İşletme Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünde başladığı Araştırma Görevliliğine halen devam etmektedir.

