

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**GRUP TEKNOLOJİSİNDE PARÇA AİLESİ VE  
İMALAT HÜCRESİ OLUŞTURMA:  
BİR ÖRNEK İNCELEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Erhan BABALI**

**Enstitü Anabilim Dalı : İşletme  
Enstitü Bilim Dalı : Üretim Yönetimi ve Pazarlama**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Murat AYANOĞLU**

**OCAK – 2007**

## BEYAN

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

**Erhan BABALI**

**26 / 02 / 2007**

## ÖNSÖZ

Rekabetin kıyasıya yaşandığı ve tüketici istek ve ihtiyaçlarının sürekli değişim gösterdiği günümüz şartlarında, imalat sistemlerine esneklik ve verimlilik kazandırmak üzere geliştirilen grup teknolojisi ve bu teknolojinin imalat alanındaki en ileri uygulaması olan hücreli imalat ile hücreli imalata geçişin ilk ve en önemli safhası olan parça ailesi ve imalat hücresi oluşturma bu tezin konusunu oluşturmaktadır. Bu çalışmanın hazırlanmasında kıymetli bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Murat AYANOĞLU' na en içten duygularıyla hürmet ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca bu günlere ulaşmamda en büyük pay sahibi olan aileme minnetlerimi ve yetişmemde katkıları bulunan tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

**Erhan BABALI**

**26 / 02 / 2007**

## İÇİNDEKİLER

<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>vi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>vii</b>
<b>GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>BÖLÜM 1: GRUP TEKNOLOJİSİ VE HÜCRESEL İMALAT</b> .....	<b>7</b>
1.1. Grup Teknolojisi Felsefesi ve Grup Teknolojisi Üretim Sistemi .....	7
1.2. Grup Teknolojisinin Avantajları.....	9
1.3. Grup Teknolojisinin Dezavantajları.....	11
1.4. Bir Grup Teknolojisi Uygulaması Olarak Hücresel İmalat Sistemi ve Geleneksel İmalat Sistemleri.....	13
<b>BÖLÜM 2: GRUP TEKNOLOJİSİNDE KÜMELENDİRME</b> .....	<b>17</b>
2.1. Grup Teknolojisinde Parça Ailesi ve İmalat Hücresi Oluşturma Sorunu .....	17
2.2. Grup Teknolojisinde Kümelendirme Teknikleri.....	18
2.2.1. Sınıflandırma Teknikleri.....	18
2.2.1.1. Görsel Sınıflandırma Tekniği .....	19
2.2.1.2. Kodlayarak Sınıflandırma Tekniği.....	20
2.2.1.2.1. Opitz Kodlama Sistemi.....	24
2.2.1.2.2. Miclass Kodlama Sistemi .....	25
2.2.1.2.3. KK-3 Kodlama Sistemi.....	27
2.2.2. Hücre Oluşturma Teknikleri .....	29
2.2.2.1. Dizi Tabanlı Kümelendirme Teknikleri .....	32
2.2.2.1.1. Üretim Akış Analizi Tekniği.....	32
2.2.2.1.2. Derece Sırası Kümelendirme Tekniği .....	36
2.2.2.1.3. Direkt Kümelendirme Tekniği .....	40
2.2.2.1.4. Bağ Enerji Algoritması.....	41
2.2.2.1.5. Küme Tanımlama Algoritması.....	42

2.2.2.1.6. Değiştirilmiş Derece Sırası Kümelenendirme Tekniği .....	43
2.2.2.2. Hiyerarşik Kümelenendirme Teknikleri .....	45
2.2.2.2.1. Tek Bağlantılı Kümelenendirme Tekniği.....	45
2.2.2.2.2. Ortalama Bağlantılı Kümelenendirme Tekniği .....	50
2.2.2.3. Hiyerarşik Olmayan Kümelenendirme Teknikleri .....	57
2.2.2.3.1. İdeal Çekirdek Algoritması.....	58
2.2.2.3.2. GRAFICS Tekniği.....	58
2.2.2.4. Matematiksel Programlama Teknikleri .....	59
2.2.2.4.1. P – Medyan Tekniği .....	60
2.2.2.4.2. Amaç Programlama Tekniği .....	61
2.2.2.4.3. Dinamik Programlama Tekniği.....	61
2.2.2.4.4. Atama Tekniği.....	61
2.2.2.4.5. Dörtlü Programlama Tekniği .....	62
2.2.2.5. Grafik Teori Teknikleri .....	66
2.2.2.5. Yapay Zeka Teknikleri .....	69
2.2.2.5.1. Yapay Sinir Ağları.....	70
2.2.2.5.2. Bulanık Mantık.....	77
2.2.2.5.3. Uzman Sistemler .....	79
2.2.2.5.4. Genetik Algoritmalar .....	82
2.2.2.6. Diğer Teknikler .....	84

### **BÖLÜM 3: GRUP TEKNOLOJİSİNDE PARÇA AİLESİ VE İMALAT HÜCRESİ OLUŞTURMA: BİR ÖRNEK İNCELEME .....**

3.1. Derece Sırası Kümelenendirme ( ROC ) Tekniği.....	88
3.2. Örnek İncelemenin Seçimi .....	92
3.3. İncelemenin Derece Sırası Kümelenendirme ( ROC ) Algoritması ile Çözümü .....	95

### **SONUÇ VE ÖNERİLER.....**

### **KAYNAKLAR.....**

### **ÖZGEÇMİŞ.....**

## KISALTMALAR

- GT** : Group Technology ( Grup Teknolojisi )  
**ROC** : Rank Order Clustering ( Derece Sırası Kümelenendirme )

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 1:</b> İşlem ya da makineleri belirten olası kod numaraları .....	34
<b>Tablo 2:</b> Makine - parça matrisi ( düzenleme öncesi ).....	34
<b>Tablo 3:</b> Makine - parça matrisi ( düzenleme sonrası ).....	35
<b>Tablo 4:</b> Makine - parça matrisi ( düzenleme öncesi ).....	38
<b>Tablo 5:</b> Makine - parça matrisi ( düzenleme sonrası ).....	39
<b>Tablo 6:</b> Parça aileleri ve makine grupları .....	40
<b>Tablo 7:</b> Makine - parça matrisi.....	47
<b>Tablo 8:</b> Benzerlik katsayıları.....	48
<b>Tablo 9:</b> Makine - parça matrisi.....	51
<b>Tablo 10:</b> Benzerlik matrisi .....	52
<b>Tablo 11:</b> Benzerlik matrisi .....	52
<b>Tablo 12:</b> Benzerlik matrisi .....	53
<b>Tablo 13:</b> Derece sırası kümelendirme algoritması 1. adım örneği.....	91
<b>Tablo 14:</b> Derece sırası kümelendirme algoritması 2. adım örneği.....	92
<b>Tablo 15:</b> Makine -parça matrisi.....	94
<b>Tablo 16:</b> Başlangıç makine - parça matrisi .....	96
<b>Tablo 17:</b> Makine -parça matrisi ( adım 1 ).....	97
<b>Tablo 18:</b> Makine - parça matrisi ( adım 2 ).....	97
<b>Tablo 19:</b> Makine - parça matrisi ( adım 3 ).....	98
<b>Tablo 20:</b> Makine - parça matrisi ( adım 4 ).....	98
<b>Tablo 21:</b> Makine - parça matrisi ( adım 5 ).....	99
<b>Tablo 22:</b> Makine - parça matrisi ( adım 6 - sonuç matrisi ).....	99
<b>Tablo 23:</b> Parça aileleri ve makine grupları .....	100
<b>Tablo 24:</b> İstisnai parçalar ve darboğaz makineler .....	100

## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil 1:</b> Atölye tipi ( fonksiyonel ) makine yerleşimi .....	14
<b>Şekil 2:</b> Hücresel makine yerleşimi.....	15
<b>Şekil 3:</b> Tasarım özellikleri benzer, imalat özellikleri farklı iki parça.....	18
<b>Şekil 4:</b> İmalat özellikleri benzer, tasarım özellikleri farklı parçalar.....	19
<b>Şekil 5:</b> Örnek bir monokod yapısı .....	21
<b>Şekil 6:</b> Örnek bir polikod yapısı .....	23
<b>Şekil 7:</b> Örnek bir parçanın karar ağacı kod yapısıyla sınıflandırılması .....	23
<b>Şekil 8:</b> Opitz kodlama sisteminin temel yapısı.....	25
<b>Şekil 9:</b> Miclass kodlama sisteminin temel yapısı .....	26
<b>Şekil 10:</b> KK-3 kodlama sisteminin temel yapısı.....	27
<b>Şekil 11:</b> Örnek bir esnek imalat hücresi.....	31
<b>Şekil 12:</b> Örnekteki verilere ait dendrogram.....	49
<b>Şekil 13:</b> Dişli pompa fabrikasında mevcut makinelere ait eski yerleşim planı .....	93
<b>Şekil 14:</b> Dişli pompa fabrikasında makinelere ait yeni yerleşim planı.....	102



<b>Tezin Başlığı:</b> Grup Teknolojisi'nde Parça Ailesi ve İmalat Hücresi Oluşturma: Bir Örnek İnceleme	
<b>Tezin Yazarı:</b> Erhan BABALI	<b>Danışman:</b> Yrd. Doç. Dr. Murat AYANOĞLU
<b>Kabul Tarihi:</b> 27 Ocak 2007	<b>Sayfa Sayısı:</b> VII (ön kısım) + 88 ( tez )
<b>Anabilimdalı:</b> İşletme	<b>Bilimdalı:</b> Üretim Yönetimi ve Pazarlama
<p>Grup teknolojisi felsefesinin özünde, tekrarlanan işlerdeki benzerlikleri bir araya getirerek üretim çevriminin hemen hemen her şamasında verimliliği maksimize etme amacı yer alır. Grup teknolojisinin imalat alanındaki uygulaması olarak tanımlanan hücresel imalat ise, benzer imalat özelliklerine göre parçaların parça aileleri, bu aileleri işleyecek makinelerin de makine grupları halinde gruplandırılmasıdır. Hücresel imalatın imalat ortamlarına sağladığı en önemli katkı, büyük, karmaşık ve kontrolü zor olan imalat sistemlerini, daha küçük ve kontrolü kolay alt sistemlere ayrıştırmasıdır.</p> <p>Bu çalışmanın araştırma problemi, mevcut imalat sistemlerini grup teknolojisi ve hücresel imalat ile tanıştırmak isteyen firmaların bu değişimden ne tür faydalar sağlayacaklarını ve bu değişimin kendilerine yükleyeceği yükümlülükleri ortaya koymak olarak ifade edilebilir. Bu bağlamda bu çalışmanın amaçları şu şekilde sıralanabilir:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>İmalat sistemlerinde mevcut esneklik ve verimlilik problemleri, nedenleri ve bu problemlerin çözümü için geliştirilen yöntem ve yaklaşımlar nelerdir? Bu yöntem ve yaklaşımlar problemin çözümü için ne gibi katkılar sağlamaktadır?</li><li>Hücresel imalata geçişin ilk ve en önemli aşaması olan imalat hücreleri oluşturmanın, fabrikanın mevcut yerleşim planında meydana getireceği değişimler ve bu değişimlerin firmaya verimlilik ve esneklik bakımından sağlayacağı katkılar nelerdir?</li></ol> <p>Bu sorulara yanıt ararken yapılan literatür incelemesine ek olarak, literatürden temin edilen, geleneksel bir üretim sistemi kullanan bir dişli pompa fabrikası örnek inceleme olarak seçilmiş ve fabrikaya ait yerleşim planı hücresel imalata göre yeniden düzenlenmiştir. Örnek incelemeye ait yeni yerleşim planında yer alan imalat hücrelerinin oluşturulmasında kümelenme yöntemi olarak Derece Sırası Kümelenme Yöntemi kullanılmış ve yöntemine ait algoritma fabrikada mevcut makineler ve işlem gören parçalar üzerinde Excel paket programı desteğiyle uygulanmıştır.</p> <p>Bu çerçevede yapılan çalışma sonucunda, parçaların işlem gereksinimlerine göre oluşturulan imalat hücrelerinin, atölye tipi bir üretim sistemi kullanan bir fabrikada mevcut karmaşık iş akışı, yüksek seviyede proses içi stok, uzun üretim süreleri, düşük makine kullanım ve üretim oranları ve kalite seviyeleri, yüksek üretim maliyetleri vb. olumsuzlukların üstesinden gelerek fabrikaya esneklik ve verimlilik kazandıracak koşulları tesis edebileceği bulguları elde edilmiştir. Bu bakımdan yapılan çalışmanın, rekabet stratejilerini zaman ve maliyet bazlı yapan işletmeler için örnek teşkil edebileceği söylenebilir.</p>	
<b>Anahtar Kelimeler:</b> Grup Teknolojisi, Hücresel İmalat, Kümelenme, İmalat Hücresi	

<b>Title of the Thesis:</b> Part Family and Manufacturing Cell Formation in Group Technology: An Example Study	
<b>Author:</b> Erhan BABALI	<b>Supervisor:</b> Asist. Prof. Murat AYANOĞLU
<b>Date:</b> 27 January 2007	<b>Nu. of pages:</b> VII ( pre. text ) + 88 ( main body )
<b>Department:</b> Business	<b>Subfield:</b> Production Man. and Marketing
<p>In the essence of group technology philosophy, aim of maximizing the productivity takes part nearly in every phase of production process by gathering the similarities of operations that are repeated. Cellular manufacturing, which is described as an application of GT in manufacturing is, grouping parts as part families according to similar manufacturing features and grouping machines as machine groups which operate these part families. The primary contribution of cellular manufacturing is, decomposing the manufacturing systems which are large, complex and difficult to control to subsystems that are smaller and easier to control.</p> <p>The research problem of this study considers what sort of benefits and responsibilities the firms which want to introduce their existing manufacturing systems to group technology and cellular manufacturing, will get from the change. In this respect the objectives of this study can be arranged as:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>What are the flexibility and productivity problems and their reasons that exist in the manufacturing systems and which methods and approaches were developed to solve these problems? What sort of contributions do these methods and approaches provide for the solution of the problem?</li> <li>What kind of changes will forming manufacturing cells, that is the first and the most important phase of transition to cellular manufacturing, produce on existing layout of the factory? And what are the contributions of these changes to the firm from the point of view of productivity and flexibility?</li> </ol> <p>In order to answer these questions, in addition to a literature research a gear pump factory that used a traditional manufacturing system was chosen as an example study from the literature and layout of the factory was rearranged according to cellular manufacturing. As a clustering method, Rank Order Clustering method was used to form manufacturing cells which were located in the new layout of example study; and algorithm of the method was applied on existing machines and parts that were operated in the factory with support of Excel package program.</p> <p>Within this framework, findings have been gotten at the end of the study show that, manufacturing cells which were formed according to operation requirements of the parts will be able to overcome negativensses of the workshop type manufacturing system like complex work-flow, high level work-in-process inventory, long throughout time, low machine utilization, production rate and quality, high production costs etc. and will be able to found conditions that provide flexibility and productivity to the factory. In this respect, it can be said that the study has been done will be able to constitute as an example for the firms which determine competition strategies based on time and cost.</p>	
<b>Keywords:</b> Group Technology, Cellular Manufacturing, Clustering, Manufacturing Cell	

## GİRİŞ

İçerisinde bulunduğumuz çağın bir değişim çağı olduğu kuşku götürmez bir gerçektir. Bu değişimden üzerine düşen payı alan tüketici istek, ihtiyaç, tüketim ve değer yargıları, imalat endüstrisinde rekabetin gün geçtikçe yoğunlaşmasına neden olmuş, bu gelişmeler neticesinde de günümüz işletmeleri ayakta kalabilmek ve artan rekabet koşullarında söz sahibi olabilmek için gerekli ürünleri zaman, maliyet, kalite ve miktar bakımından optimize ederek tüketicilerin beğenisine sunabilecek esneklik ve verimliliğe sahip üretim sistemlerini kullanmak zorunda kalmışlardır.

Geleneksel üretim sistemlerinden atölye tipi üretim sistemi, kullanılan genel amaçlı tezgahlar sayesinde çok çeşitli ürünleri üretebilme esnekliğine sahiptir. Fakat tezgahların fabrika içerisinde fonksiyonel gruplar halinde fabrikanın farklı yerlerinde konuşlandırılması sonucu, sınırlı alanlar ( makine grupları ) içerisinde sadece belirli işlemler gerçekleştirilebilmekte, bir parçanın tüm işlemlerinin tamamlanabilmesi için fabrika içerisinde önemli mesafeler katetmesi gerekebilmektedir. Bu da genellikle uzun çıkış süreleri, yüksek proses içi stok ve düşük üretim oranlarıyla sonuçlanmaktadır. Ayrıca imalat işlem sıralarının hemen hemen her aşamasında birbirine benzer tezgahların yer alması, parçalara ait işlem rotalarının planlanmasını son derece zor hale getirmekte; bunun yanı sıra çizelgeleme ve kontrol bakımından sistem içerisinde çok sayıda alternatifin bulunması da sözkonusu faaliyetleri güçleştirmektedir. Kısaca sistemde kullanılan tezgahların çeşit, sayı ve konumları itibarıyla sistem verimsizleşmektedir. Yine geleneksel bir imalat sistemi olan akış tipi üretim sistemi ise, atölye tipi üretim sistemine göre verimliliği oldukça fazla, fakat farklı tipte ürünleri üretebilme esnekliğinden yoksundur. Üretimin yüklü miktarlarda gerçekleştirildiği bu sistemde ölçek ekonomisinin sonucu olarak üretim maliyetleri oldukça düşük, üretim oranları ise yüksektir. Ancak kullanılan tezgahların ürüne özel olması sistemi tüketici istek ve ihtiyaçlarındaki değişime cevap verebilecek esneklikten yoksun bırakmaktadır.

İşte grup teknolojisi, geleneksel imalat sistemlerine ihtiyaç duydukları esneklik ve verimliliği kazandırmak üzere geliştirilen, atölye ve akış tipi üretim sistemlerinin bileşimi hibrit bir imalat teknolojisidir. Grup teknolojisi felsefesinin özünde, tekrarlanan işlerdeki benzerlikleri bir araya toplayıp tasarımdan imalata, pazarlamadan satın almaya

kadar üretim çevriminin her aşamasında bu benzerliklerden faydalar edinme amacı yatar.

Grup teknolojisi için genel bir tanım yapmak kolay olmamakla birlikte grup teknolojisi basitçe, benzerliklerden yararlanma ve benzer problemleri gruplandırarak verimlilik sağlama felsefesidir. Sözkonusu benzerliklerin saptanmasındaki ön koşul ise, bir sınıflandırma sisteminin oluşturulmasıdır. Nasıl ki bir kütüphanede mevcut kitapların belirli bir düzene sokulması suretiyle sınıflandırılarak aranan kaynakların bulunmasında kolaylık sağlanıyorsa, imalat endüstrisinde de grup teknolojisi kullanılarak sınıflandırmalar yapmak ve bunlardan faydalar edinmek mümkündür. Örneğin, bir ürün çok sayıda parçadan meydana gelebilmektedir. Her parçanın farklı birer şekli, boyutu ve işlevi sözkonusudur. Fakat bu parçalara daha yakından bakıldığında parçalar arasında birtakım benzerlikler olduğu gözlemlenebilmektedir. Örneğin, bir çivi ile bir mil görünüm bakımından benzer olarak nitelendirilebilir fakat, fonksiyonları bakımından apayrı görevleri yerine getirirler. Yine farklı boyuttaki dişli çarklar aynı imalat işlemlerinden geçirilirler ve fonksiyonel olarak aynı görevleri üstlenirler fakat, ayrıldıkları tek nokta boyutlarıdır. Onun için imalata konu olan parçalar, tıpkı biyolojik ailelerde ve kütüphane sınıflandırmalarında olduğu gibi aileler içerisinde sınıflandırılabilirlerdir.

Grup teknolojisi kavramı, ilk olarak 1920' lerde Ruslar tarafından yapılan araştırmalarda ortaya atılmıştır. Oldukça eskiye ait olan bu çalışmalar, endüstriyel sınıflandırmanın önemini vurgulamaktadır. Sözkonusu çalışmalar, savaş yıllarında Mitrofanov tarafında küçük çaplı yığın üretimler üzerinde devam etmiştir. Mitrofanov ayrıca, parçaları belirli özelliklerine göre bir aile içerisinde toplayıp, bu parçaları işleyecek makinenin her bir parça için ayrı ayrı takım hazırlamak yerine tüm parça ailesi için bir kez takım hazırlamak suretiyle işlem yapması gerektiğini ileri sürmüştür. 1960' ların başlarında Alman araştırmacı H. Opitz, üretime konu olacak parçalar üzerinde yaptığı araştırmalar ışığında, işletmelerin her ne kadar değişik türde ürün üretseler de kullanılan parçaların çoğunun birbirinin benzeri olduğunu ileri sürmüştür. Bu bulgular neticesinde Opitz, parçaları sahip oldukları geometrik benzerliklere göre kodlayan bir sınıflandırma sistemi oluşturmuştur. Gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde ise, bugün Boeing, General Motors, Caterpillar vb. çok sayıda firma imalatta kullandığı binlerce

hatta milyonlarca parçanın sınıflandırılması ve dizayn edilmesinde karşılaştıkları problemlerle uğraşabilmeyi becermişlerdir.

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere grup teknolojisi, benzer olarak tanımlanan parçaları parça aileleri şeklinde gruplayarak, sözkonusu parçaların tasarım ve imalat benzerliklerinden avantajlar elde etmeyi amaçlayan bir imalat felsefesidir. Grup teknolojisinin üretim alanındaki uygulaması olarak tanımlanan hücresel imalat ise, benzer imalat gereksinimlerine göre parçaların parça aileleri, bu parça ailelerinin imalat operasyonlarını gerçekleştirecek makinelerin de makine hücreleri içerisinde gruplandırılmasıdır. Bu sürece ise hücre oluşturma süreci denir.

Grup teknolojisini üretime uygulaması imalat hücrelerinin oluşturulmasıyla başlar. Hücre oluşturma problemindeki temel amaç ise, parça ailelerinin işlem görmek üzere atandıkları hücreden başka bir hücreye gitmek zorunda kalmayacakları yani tüm işlemlerinin atandıkları hücrelerde tamamlanacağı birbirinden bağımsız hücre oluşumlarının sağlanmasıdır. Bugüne kadar imalat sistemlerine optimal hücre oluşumlarını sağlamak üzere çok sayıda model ve yaklaşım geliştirilmiştir. Büyük bir çoğunluğu kavramasal seviyede olan bu modeller genellikle talep seviyeleri, makine kapasiteleri, üretim hacimleri, işlem süreleri, işlem sıraları vb. çoğu imalat faktörünü görmezlikten gelerek sadece parçalar ve parçaların işlem gördüğü tezgah bilgilerini hesaba katmakta ve hücre oluşumlarını buna göre tasarlamaktadır. Zira hücre oluşturma, çok kriterli ele alınması gereken bir problemdir.

Geleneksel imalat sistemlerinde hücresel imalata geçişte ilk adım için tek kriterli hücre oluşumları, elde edilebilecek faydaların işletme tarafından görülmesi bakımından oldukça yerindedir. Fakat hücresel imalatın yerleşmiş ve uygulanır olduğu üretim işletmeleri için hücre düzenlemelerinin daha fazla kriter gözetilerek yapılması, grup teknolojisinden üst düzeyde faydalar edinmek bakımından faydalı olacağı kuşkusuzdur.

Hücresel imalatın imalat çevrelerince bilinen en temel avantajı; büyük, karmaşık ve kontrolü zor olan imalat sistemlerini küçük ve kontrolü kolay alt sistemlere ayırmasıdır. İşte bu alt sistemler imalat hücreleridir.

Ürünlerini gruplandırarak tasarım, planlama ve üretim faaliyetlerini bu gruplara göre yönlendirmek, işletmelere zaman ve maliyet açısından önemli tasarruflar sağlayacaktır.

Bu bakımdan hücreyel imalat, rekabet stratejilerini zaman ve / veya maliyet bazlı yapan işletmeler için mantıksal bir seçimi ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, grup teknolojisinden en üst düzeyde faydalanmanın tek yolu, yalnızca imalatı değil üretim kontrol, planlama, ücret sistemleri, raporlama vb. çoğu üretim fonksiyonunun grup teknolojisi anlayışına uyumlaştırılmasından geçmektedir. Bu sebepten dolayı grup teknolojisi bir teknik olmaktan çok üretim organizasyonu felsefesidir.

### **Çalışmanın Konusu**

Bu çalışmada, tasarım ve imalat karakteristikleri bakımından benzer olarak tanımlanan parçaları gruplayarak üretim çevriminin her aşamasında bu benzerliklerden faydalar edinmeyi amaçlayan grup teknolojisinde parça ailesi ve imalat hücresi oluşturma problemi ve bu problemi çözümlenmek üzere geliştirilen teknik ve yaklaşımlar üzerinde durulmuştur. Çalışma sonunda da geleneksel bir imalat sistemi kullanan bir fabrika örneği üzerinde imalat hücreleri oluşturulduğu vakit sözkonusu değişimin fabrikaya sağlayacağı katkılardan bahsedilmiştir.

### **Çalışmanın Önemi**

Mevcut imalat sistemlerini grup teknolojisi ve hücreyel imalat ile tanıştırmak sistemlerine esneklik ve verimlilik kazandırmak isteyen üretim işletmelerine organizasyon ve yeniden yapılanmalarında örnek teşkil edebilecek bu çalışmada, sözkonusu değişim için yapılması gerekenler ve değişimin işletmelere sağlayacağı faydalar net olarak ortaya konulmaktadır. Ayrıca, atölye tipi üretim sistemi kullanan bir fabrika örneği üzerinde kullanımı oldukça kolay ve yaygın bir teknik olan derece sırası kümelenendirme tekniği ile imalat hücreleri oluşturularak, bu oluşumların işletmeye sağlayacağı faydalar üzerinde durulmaktadır. Kümelenendirme kriteri olarak parçalar ve parçaların işlem gördükleri tezgah bilgilerini kısaca makine – parça matrisini kullanan yaklaşımların optimal hücre oluşumlarının eldesi için yetersiz olduğu açıktır. Fakat imalat sistemlerini ilk olarak grup teknolojisi ve hücreyel imalat ile tanıştıracak olan ve elde edecekleri faydaları kolaylıkla anlayıp yorumlayabilmek isteyen işletmeler için bu tip yöntem ve yaklaşımlar ilk ve en önemli adımı teşkil eder. Fabrika içerisinde parçaların imalat gereksinimlerine göre oluşturulan imalat hücreleri, daha sonraki

aşamalarda makine kapasiteleri, talep seviyeleri, işlem süreleri vb. daha fazla kriter göz önünde bulundurularak yeniden düzenlenebilmekte; ayrıca hücre etkinliği ve esnekliğinin artırılması istendiği vakit tam otomatize edilmiş yani esnek imalat hücrelerine dönüşümü sağlanabilmektedir. Bu bakımdan üzerinde durulan örnek çalışma, daha sonra yapılabilecek düzenleme ve çalışmalar için temel teşkil edebilecek niteliktedir.

### **Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmanın amacı, imalat sistemlerinde sistemin temel bileşenleri olan makine ve parçaların sistematik olmamasından, yani makine yerleşimlerinin düzensiz, sayılarının yetersiz ya da fazla ve üretilen parçaların işlem sıralarının karmaşık olmasından kaynaklanan esneklik ve verimlilik problemlerinin ve bu problemlerin çözümü için geliştirilen yöntem ve yaklaşımların neler olduğunun ve çözüm için ne gibi katkılar sağladığının ve ayrıca geleneksel bir imalat sistemi kullanan bir üretim işletmesinde hücresel imalata geçişin ilk ve en önemli adımı olan imalat hücreleri oluşumunun işletmenin mevcut yerleşim planında meydana getireceği değişimler ve bu değişimlerin işletmeye verimlilik ve esneklik anlamında sağlayacağı katkılar, gerçek bir imalat ortamı örneği üzerinde kullanımı oldukça yaygın ve ürettiği sonuçlar kolaylıkla anlaşılıp yorumlanabilir bir yöntem ile ortaya koyulması amaçlanmıştır.

### **Çalışmanın Yöntemi**

Çalışmanın amaçlarına uygun nitelikte seçilen örnek bir üretim işletmesinde düzensiz bir yerleşime sahip olan makinelerin ve bu makinelerde işlem gören parçaların temel veri olarak kullanıldığı makine – parça matrisi, önce görsel olarak incelenmiş ve 4 makine ve 3 parçadan oluşan bir imalat hücresi oluşturularak matris 21 makine ve 19 parçadan oluşan daha küçük bir matrise dönüştürülmüştür. Sözkonusu başlangıç matrisine, derece sırası kümelenendirme yöntemine ait algortima Excel paket programı desteğiyle uygulanmış ve 6. adımda elde edilen sonuç matrisine göre 6 adet daha imalat hücresi oluşturulmuştur. Daha sonra, oluşturulan imalat hücrelerinin üretim işletmesine sağlayacağı katkılar kümelenendirme öncesine ve kümelenendirme sonrasına ait makine yerleşim planları eşliğinde ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

## **Tezin İçeriği**

Yukarıda verilen bilgiler çerçevesinde hazırlanan bu tez çalışması,  bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, grup teknolojsi felsefesi ve üretim sisteminden, grup teknolojsinin işletmenin değişik fonksiyonlarına yaptığı katkılardan ve grup teknolojsinin dezavantajlarından ve grup teknolojsinin imalat ortamlarındaki uygulaması hücresel imalat ile geleneksel imalat sistemlerinden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde, imalat ortamlarında grup teknolojsine geçişin ilk ve en önemli aşaması ve de problemi olan parça ailesi ve imalat hücresi oluşturma problemi ve bu problemi farklı bakış açılarıyla ele alarak çözümlenmek üzere bugüne kadar geliştirilen sınıflandırma ve kümelendirme teknikleri ve yaklaşımları ve bu teknik ve yaklaşımların sözkonusu problemin çözümü için sağladığı katkılar üzerinde odaklanılmıştır.

Grup teknolojsi ve hücresel imalat ve grup teknolojsinde kümelendirme konuları detaylı bir biçimde ele alındıktan sonra çalışmanın üçüncü bölümünde, örnek inceleme üzerinde kullanılacak derece sırası kümelendirme yöntemi ve algoritması, örnek incelemenin seçiminde gözetilen koşullar ve örneğin derece sırası kümelendirme algoritması ile çözümü ele alınmıştır. Ayrıca, rnek incelemenin çözümü kapsamında kullanılan ROC algoritması, Excel paket programı desteğiyle uygulanmış ve çözüm sonunda elde edilen kümelendirme sonuçlarına yer verilmiştir.



# BÖLÜM 1: GRUP TEKNOLOJİSİ VE HÜCRESEL İMALAT

## 1.1. Grup Teknolojisi Felsefesi ve Grup Teknolojisi Üretim Sistemi

Endüstride rekabetin artması, sürekli değişim gösteren müşteri istek ve ihtiyaçlarına cevap verecek esnekliğe ve duyarlılığa sahip imalat ortamlarına gereksinimi daha belirgin hale getirmiştir. İşte grup teknolojisi, sürekli değişim gösteren müşteri istek ve ihtiyaçlarına paralel olarak ortaya çıkan küçük hacimli, çok ürünlü ve sürekli ürün değişikliklerine maruz kalan üretim sistemlerine esneklik ve verimlilik kazandırmak üzere ortaya çıkan bir felsefedir.

V .B. Solaja grup teknolojisini, çoğu problemin benzer olduğunun farkına varılarak, bu problemleri gruplayıp söz konusu grup için tek bir çözümün bulunması ve böylece zaman ve çabadan tasarruf edilmesi olarak tanımlamıştır ( Chang ve diğ. , 1998 ).

Burbidge ' e göre ise grup teknolojisi, örgütsel üretim birimlerinin nispeten bağımsız gruplar olduğu ve bu grupların her birinin kendilerine atanan parça ailelerinin üretiminden sorumlu olduğu bir iş optimizasyonu yaklaşımıdır ( Gonçaves ve Resende, 2004 ).

Grup teknolojisi felsefesinin özünde, tekrarlanan işlerdeki benzerliklerin şu 3 yolla bir araya toplanması yer alır ( Top, 1986 ) :

1. Benzer faaliyetleri bir araya toplayarak yapmak, böylece bağımsız faaliyetler arasındaki geçişlerde oluşan zaman kaybının önlenmesi,
2. Birbirleriyle yakın ilişkili faaliyetlerin standartlaştırılması, böylece sadece belirli farklılıklar üzerinde dikkatleri yoğunlaştırarak gereksiz tekrarların önlenmesi,
3. Tekrarlanan problemlere ilişkin bilgilerin verimli bir şekilde toplanıp depolanması, böylece bilgi arama zamanının azaltılması ve aynı problemin tekrar çözülmesi zahmetinden kurtulunması.

1959'da Sovyetler Birliği'nde araştırmacı S. P. Mitrofanov tarafından ' Grup Teknolojisinin Bilimsel Prensipleri' adı altında hazırlanan eser, bugün tasarımdan satın almaya, imalattan pazarlamaya kadar üretim çevriminin her safhasında uygulanabilen grup teknolojisi felsefesinin temel taşı kabul edilmektedir. Mitrofanov tarafından

başlatılan bu akım daha sonraları İngiltere’de Burbidge, Almanya’da H. Opitz tarafından geliştirilmiş, 1970’lerin ortalarında da Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya ’da yerleşmeye başlamış ve şimdilerde John Deere, Caterpillar, Lockheed, Toyota, General Electric, Black & Decker ve Cincinnati Milacron gibi birçok büyük şirket tarafından yönetim felsefesi haline almıştır ( Bedworth ve diğ. , 1991; Chang ve diğ. , 1998; Geyik, 2003 ) .

Küçük parti ve çok çeşit durumunun mevcut olduğu her endüstride kullanılabilen bir yöntem olarak da tanımlanabilen grup teknolojisi, akış hattı üretim sisteminin sahip olduğu yüksek verimlilik ile atölye tipi üretim sisteminin sahip olduğu esnekliği birleştirmeye çalışan bir anlayıştır.

Bilindiği üzere atölye tipi üretim sistemi, çok çeşitli ürünlerin üretilebilme esnekliğinin yanında uzun üretim süreleri, yüksek seviyede proses içi stok, yüksek üretim maliyetleri ve düşük üretim oranları gibi dezavantajlara da sahiptir. Öte yandan üretim maliyetlerinin düşüklüğü ve üretim hacminin yüksekliği gibi avantajlar sağlayan akış tipi üretim sistemi ise farklı ürünleri üretebilme yeteneğine sahip değildir. Zira akış tipi üretimde kullanılan tezgahlar ürüne özel tezgahlardır.

İşte grup teknolojisi, geleneksel üretim sistemleri olan atölye tipi ve akış tipi üretim sistemlerini birleştirerek üretim ortamlarına esneklik ve verimlilik kazandırma anlayışı üzerine kurulmuştur.

Günümüzde, grup teknolojisini uygulamak üzere kullanılan sınıflandırma ve kodlama sistemleri bilgisayarla bütünleşik hale getirilerek grup teknolojisinin avantajlarından en üst düzeyde faydalanma yoluna gidilmiştir. Mesela kendisinden yeni bir parça tasarlaması istenilen bir tasarım mühendisi, işletmeye ait parçaların tasarım ve imalat özellikleri, işlevleri vb. verilerden oluşan veri tabanı sayesinde kimi zaman ihtiyaç duyulan parça ile benzer geometrik ve fonksiyonel özelliklere sahip parçalara ulaşabilmekte, kimi zaman da mevcut parçalar üzerinde küçük değişimler uygulayarak yeni parçayı tasarlayabilmektedir. Bu da işletme açısından zaman ve maliyetten tasarruf anlamına gelmektedir. Aynı şekilde imalat mühendisliğinde de söz konusu veri tabanının kullanılmasıyla birlikte üretime konu olacak parçaların imalat işlemlerindeki benzerliklere göre parça ailelerine ayrılması ve imalat sürecinin söz konusu benzerliklere göre uygulanması, parça ve makine hazırlık ve parça yükleme süreleri,

proses içi stok miktarı, malzeme taşıma miktar ve süresi vb. maliyet kalemlerinde azalmalara zemin hazırlayacaktır.

İşte tasarım ve / veya imalat özellikleri bakımından benzer olarak tanımlanan ve birlikte gruplanan parçaların söz konusu benzerliklerinden faydalar edinmeyi amaçlayan grup teknolojisi uygulamalarının üretim işletmelere sağladığı temel avantaj, büyük, karmaşık ve kontrolü zor olan imalat sistemlerini, işletmelerin hemen hemen tüm fonksiyonel bölümlerinde esneklik ve verimlilik artışı sağlayacak, daha küçük ve kontrolü kolay alt sistemlere dönüştürmesidir.

Üretime konu olacak parçalara ait tasarım, imalat, işlev vb. verilerin ortak bir veri tabanında toplanmasını diğerk bir anlamda günümüz teknolojisi yardımıyla CAD ( Bilgisayar Destekli Tasarım ) / CAM ( Bilgisayar Destekli İmalat ) entegrasyonunu ve işletmelerin tasarım, planlama, imalat, satın alma ve hatta müşteri hizmetleri gibi fonksiyonlarına ait faaliyetlerin oluşturulan ortak veri tabanına göre yönlendirilmesini sağlayan grup teknolojisi sayesinde zaman ve maliyet açısından oldukça önemli tasarruflar sağlanmakta, bu sayede de günümüz yoğun rekabet koşullarında işletmeler üstün avantajlar elde etmektedirler.

## **1.2. Grup Teknolojisinin Avantajları**

Grup teknolojisi; tasarımdan planlamaya, kalite kontrolden pazarlamaya kadar bir işletmenin tüm fonksiyonlarında benzer çabaların sürekli olarak tekrarlanmasından kaynaklanan zaman ve maliyet kayıplarını azaltmayı ve işletmeye esneklik kazandırmayı amaçlayan bir yönetim felsefesidir. Bu bağlamda grup teknolojisinin işletmelere sağlayacağı maddi ve manevi avantajları işletmenin fonksiyonel bölümlerine yaptığı katkılar bakımından şu şekilde sıralayabiliriz ( Luggen, 1991; Singh, 1996 ):

### **Mühendislik Tasarımı**

- Tasarım standardizasyonu ve fazlalıklardan kaçınma
- Mevcut tasarımlara ulaşmada etkinlik
- Yeni ve benzer parçaların tasarımında azalma
- İkame parçaları tanıma

- Parçaların taslak ve detay çizim çabalarında azalma

### **İmalat**

- Parça ve makine hazırlık süre ve maliyetlerinde azalma
- Makine takım ihtiyaçlarının daha iyi tespit edilmesi
- Fabrika alanının daha verimli kullanımı
- Malzeme taşıma ve transfer sürelerinde azalma
- Darboğaz makinelerin ve istisnai parçaların tespit ve atanmasında iyileşme
- İmalat araç – gereç planlamada etkinlik
- İmalat hücrelerinin ve genel amaçlı ( üniversal ) üretim ekipmanlarının kullanımında artma
- Üretim maliyetlerinin kontrolünde ve tahmininde iyileşme
- Üretim maliyetlerinde azalma
- İletişim ve kalitede iyileşme
- Ürün çıkış sürelerinde azalma

### **İmalat Mühendisliği**

- Proses plan sayılarında ve proses planlama sürelerinde azalma
- NC ( Nümerik Kontrol ) program sayılarında ve NC programlama sürelerinde azalma
- İmal edilebilirlik analizlerinde azalma
- Kullanılan teçhizat sayısında azalma
- Rotaların standardizasyonu
- Takım tasarım ve temininde azalma
- Ortak takım kullanımında artma

## **Üretim Kontrol**

- Proses içi ( ara ) stoklarda azalma
- Malzeme hareketlerinde ve stok depolamada azalma
- Üretim güçlüklerinin daha kolay teşhis edilmesi
- Ekipman kontrol ve programlamasında iyileşme
- Daha dar ve gelişmiş bir atölye programlama
- Daha iyi kapasite planlama ve raporlama

## **Kalite Kontrol**

- Kaliteyi kaynağında kontrol etme olanaklarında artma
- Örnekleme, kontrol ve hata tespit sürelerinde azalma
- Kusurlu ürün miktarında azalma
- Ürün kalitesinde iyileşme

## **Satın Alma**

- Parçaların gruplanması yolu ile toplu satın alımlardaki fiyat avantajından yararlanma
- Standartlaştırılmış malzeme listesine göre satın alma

## **Müşteri Hizmetleri**

- Ücret tahminlerinde hızlılık ve kusursuzluk
- Yedek parça yönetiminde iyileşme

### **1.3. Grup Teknolojisinin Dezavantajları**

Grup teknolojisinin yukarıda değinilen avantajlarının yanında bir takım dezavantajları da söz konusudur. Grup teknolojisi kullanan 20 Amerikan imalat işletmesi üzerinde yapılan bir araştırmada, grup teknolojisi problemlerinin parçaların sınıflandırılması ve

kodlanması, imalat hücresi kavramının planlanması ve uygulanması ve organizasyon değişikliği ve buna bağlı insanların direnci olmak üzere üç ana başlık altında toplandığı sonucuna ulaşılmıştır ( Top, 1986 ).

Grup teknolojisinin dezavantajlarını genel hatlarıyla şu şekilde sıralayabiliriz ( Top, 1986; Bedworth ve diğ. , 1991 ):

- Tüm parçaların sınıflandırılması ve kodlanması uzun zaman, yoğun çaba ve yüksek maliyet gerektiren bir iştir.
- Çok çeşitli ve çok sayıda parçanın uygun parça ailelerine, bu parça ailelerinin de uygun imalat hücrelerine atanması oldukça zordur.
- Parçalar, imalat hücrelerinde işlem akışına yönelik bir rota izleyeceklerinden hücrelerde yer alan makinelerin bakımlarına oldukça fazla önem verilmesi gerekmektedir.
- İmalat hücreleri tasarımında en önemli amaç, hücredeki bütün makinelere yüksek ve dengeli bir kullanım oranı verebilmektir. Fakat makinelerin farklı üretim kapasitelerine sahip olmaları bir ya da daha fazla makinenin darboğaz oluşturmasına, diğerlerinin de kapasite altı çalışmalarına yol açabilmektedir.
- İmalat hücrelerinde yapılan işçi kaydırmaları, farklı işleri yerine getirebilecek nitelikli işgücünü zorunlu hale getirmektedir.
- İmalat hücreleri ve parça aileleri oluşturulduktan ve parça aileleri de uygun imalat hücrelerine atandıktan sonra, kimi parçaların bazı işlemlerinin kapasite boşluğu olan hücrelere kaydırılması ve hatta üretim planlarının bu şekilde yapılması sistemin bütünlüğüne zarar vermekte, korunmasını güçleştirmekte ve tekrar eski imalat yöntemlerine dönülmesine yol açabilmektedir.
- Grup teknolojisinin genel kabul gören belli standartlara sahip olmadığından, grup teknolojisi uygulamalarında kullanılan ortak bir yaklaşım söz konusu değildir.
- Grup teknolojisi uygulamaları işletmede mevcut çalışma koşullarında bir takım değişiklikler gerektirdiğinden, işletme bünyesinde yapılacak değişimlerde çalışanların direnciyle karşılaşılabilir.

- İşletme bünyesinde yapılacak köklü organizasyon değişikliği; personelin grup teknolojisi anlayışı hakkında geniş çaplı eğitimini gerektirdiği gibi personel politikası, ücret sistemi, eğitim sistemi gibi yapıların da değişime uydurulmasını zorunlu kılmaktadır.
- İşletmede tepe yönetiminin yoğun desteği olmadan girişilecek grup teknolojisi uygulamaları oldukça güç olacaktır.

#### **1.4. Bir Grup Teknolojisi Uygulaması Olarak Hücrel İmalat Sistemi ve Geleneksel İmalat Sistemleri**

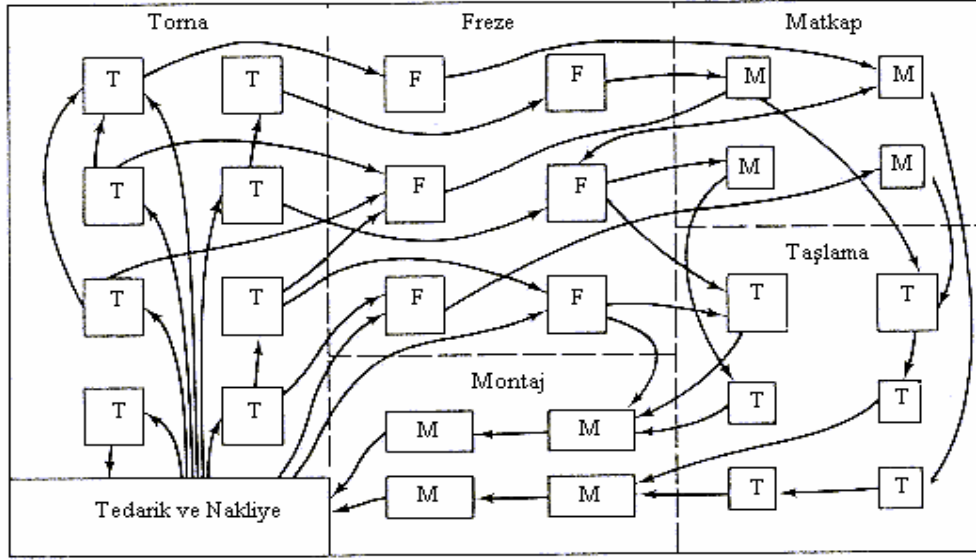
Hücrel imalat, üretimde kaliteyi maksimum düzeye çıkarma, maliyeti ise minimum düzeye indirme yolunda; gerekli ürünleri, gerekli zamanlarda, gerekli yerlerde, gerektiği kadar üreterek bu ürünleri müşterilerin beğenisine sunmak amacıyla tasarlanan, teknoloji seçimi ve kullanımı, imalat planlama ve kontrol, üretim maliyetleri, ürün kalitesi, zamanında ürün teslimi gibi konulara oldukça etkin çözümler getiren bir yaklaşımdır ( Çöl, 2003 ).

Hücrel imalat sisteminin faydaları üzerine yapılan bir tanımın ardından biraz da söz konusu üretim sisteminin geleneksel üretim sistemleriyle olan ilişkilerinden bahsedelim:

Hücrel imalat; çok çeşitli ürünlerin üretildiği atölye tipi üretim sistemiyle, genellikle tek tip ürün için ayrılmış kitle tipi üretimin yapıldığı akış tipi üretim sisteminin karışımı olan, melez bir üretim sistemidir.

Atölye tipi üretim sistemleri, küçük hacimli ve çok çeşitli ürünlerin üretilmesine olanak tanıyacak esneklikte tasarlanır. Makineler atölye içinde imalat işlemlerinin özelliklerine göre fonksiyonel bir biçimde gruplandırılır. Örneğin matkaplar atölyenin bir bölümünde, frezeler ayrı bir bölümünde gruplar halinde konuşlandırılır.

**Şekil 1. Atölye tipi ( fonksiyonel ) makine yerleşimi**



**Kaynak :** Chang ve diğ. ( 1998 : 497 )

Atölye tipi üretim sistemlerinde, imalata dahil edilen birbirinden farklı parçalar farklı işlem rotalarına sahip olduklarından, her parçanın işlem süresi de farklılık arz etmektedir. İşlemi biten bir parçanın başka bir işleme tabi tutulması için uzun bir yol katetmesi gerekebilmekte, bu sürecin de daha ekonomik hale getirilmesi için parçaların taşınımı yığınlar halinde yapılmaktadır. Taşınan bir yığındaki her parça bir sonraki işleme taşınmadan önce, içinde bulunduğu yığındaki diğer parçaların işlemleri bitene kadar beklemek zorundadır. Bu da üretim sürelerinin uzamasına, proses içi stok seviyesinin yükselmesine dolayısıyla da yüksek üretim maliyetlerine ve düşük üretim oranlarına neden olmaktadır.

Akış tipi üretim sistemlerinde ise, yüksek hacimli ve tek tip ürün üretimi söz konusu olduğundan makineler söz konusu ürünün eldesi için gerekli olan işlem sırasına göre düzenlenmektedir. Makineler, imalatı yapılacak ürüne özel olduklarından oldukça pahalıdır. Zira bu makinelerin yatırım maliyetlerinin amorti edilebilmesi için yüksek miktarlarda ürün üretilmesi kaçınılmazdır.



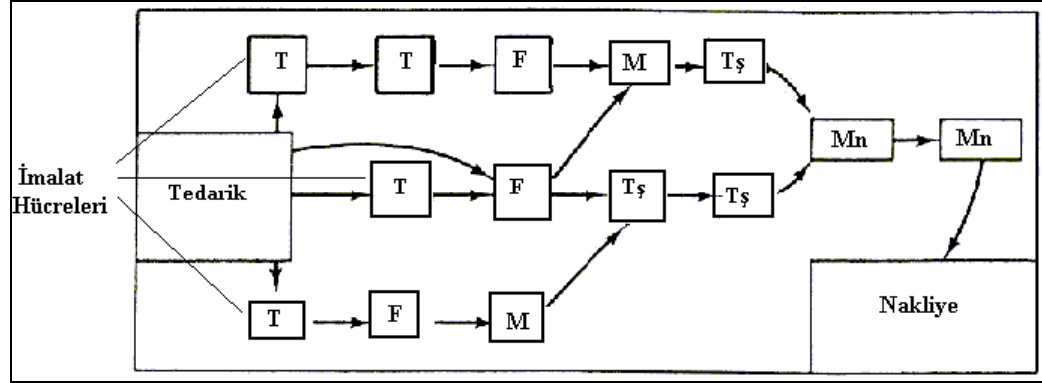
Akış tipi üretimde üretim miktarının yüksekliği maliyet avantajını da beraberinde getirmekte, tezgahların ise ürüne özel olması üretim sisteminin farklı tipte ürünleri üretme esnekliğinden yoksun olmasına neden olmaktadır.

İşte hücresele imalat sistemi, yukarıda bahsedilen geleneksel üretim sistemlerinin kısıtları olan esneklik ve verimlilik sorunlarına alternatif çözümler getiren, grup teknolojisi anlayışının bir ürünüdür.

Tasarım ve imalat sürecinin hemen hemen her aşamasında parçalar arasındaki benzerlikten faydalanan ve parçaları söz konusu benzer tasarım ve imalat özelliklerine göre parça ailelerine ayıran grup teknolojisinin üretim alanındaki en ileri uygulaması olarak da tanımlanan hücresele imalat, aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere makine hücreleri oluşturularak parça ailelerinin bu hücrelerde üretilmesini amaçlamaktadır ( Binark, 1996; Degarmo ve diğ. , 1999 ).

## Şekil 2. Hücresele makine yerleşimi

( T: Torna, F: Freze, M: Matkap, Tş: Taşlama, Mn: Montaj )



**Kaynak :** Groover ( 1987 : 436 )

Hücresele imalatta makineler; parçaların işlem rotalarına uygun, iş akışını kolaylaştıracak, taşıma mesafelerini, hazırlık ve işlem sürelerini ve süreç içi stokları azaltacak biçimde gruplandırılmakta ve oluşturulan bu gruplara da imalat hücresi adı verilmektedir.

İmalat hücreleri genellikle bir ya da birkaç parça ailesini işlemek üzere genel amaçlı tezgahlardan oluşan, yeni ürün tasarımlarını ve ürün taleplerini karşılayacak gerekli tezgah ayar işlemlerinin düşük maliyet ve kısa sürelerde yapılabildiği imalat ortamlarıdır ( Geyik, 2003 ).

Geleneksel imalat sistemlerinin, ekonomik durgunluk, enerji ve malzeme kaynaklarının kısıtlı olması, çevresel faktörler, nitelikli işgücü azlığı ve teknik buluş ve teknik değişimlerde yetersizlik gibi olumsuz koşullara uyum sağlayamama problemi söz konusudur. İşte hücreli imalat, grup teknolojisi ve esnek imalat sistemleri gibi imalat sistem ve felsefeleri söz konusu olumsuzlukların üstesinden gelmek üzere geliştirilen birer alternatif sistem seçeneğidir ( Torkul ve diğ. , 2004 ).

Yapılan araştırmalara göre hücreli imalat, geleneksel atölye tipi üretim sistemlerinin sahip olduğu yüksek hazırlık zamanları, aşırı süreç içi stoklar, uzun çıkış süreleri, karmaşık planlama ve kontrol gibi problemlerin üstesinden gelmekte ve Tam Zamanında Üretim ve Esnek Üretim gibi imalat teknolojilerinin kullanımına olanak tanımaktadır.

Hücreli imalat sisteminin yukarıda sayılan avantajlarından yararlanabilmek için parça ailelerinin ve bu ailelerin atanacağı makine gruplarının oldukça iyi seçilmesi, oluşturulacak imalat hücrelerinin mümkün olduğunca esnekliğe olanak tanınması, grup ve otomasyon teknolojilerinin oluşturulan hücrelerde yoğun olarak kullanılması ve tabii ki hücrelere atanan parça gruplarının tüm işlemlerinin aynı hücre içerisinde tamamlanması gerekmektedir.

## **BÖLÜM 2: GRUP TEKNOLOJİSİNDE KÜMELENDİRME**

### **2.1. Grup Teknolojisinde Parça Ailesi ve İmalat Hücresi Oluşturma Sorunu**

Rekabetin kıyasıya yaşandığı, müşteri istek ve ihtiyaçlarının sürekli değişim gösterdiği ve % 100 müşteri memnuniyetinin sağlanması gerektiği günümüz şartlarında imalat endüstrisi imalatın hızlı, esnek, ucuz ve kaliteli olmasını gerektirmektedir. İşte tüm bu gerekçelere en uygun cevabı vermek üzere geliştirilen imalat yöntemi olan hücresele imalatın temel prensibi, imalat hücreleri oluşturarak imalata konu olacak parçaların gruplar halinde bu hücrelerde üretilmesini sağlamaktır.

Hücre oluşturmadan maksat; boyut, şekil vb. tasarım özellikleri ve / veya işlem rotası, hazırlık ve işlem süresi, parti büyüklüğü vb. imalat özellikleri bilinen parçalardan uygun parça aileleri, kapasiteleri, sayıları, tipleri ve standartları belli olan makinelerden de uygun makine grupları oluşturarak, oluşturulan parça ailelerinin arzulan performans ölçütlerini en iyi şekilde sağlayacak biçimde oluşturulan makine gruplarına atanmasıdır.

Hücresele imalat sistemlerinin temel sorunu, imalat sistemlerinin karmaşık olmasıdır. Bu karmaşıklığın temelinde ise sistemin bileşenleri olan makine ve parçaların sistematik olmayışı yani makine yerleşimlerinin düzensiz olması, makine sayılarının yetersiz ya da fazla olması ve üretilen parçaların işlem sıralarının karmaşıklığı yatar. Üretim sistemlerindeki bu karmaşıklığı gidermek üzere yapılan çalışmaların hemen hepsi kümelendirme tekniklerinin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır ( Çöl, 2003 ).

Geliştirilen kümelendirme tekniklerindeki ortak hedef, parça ailelerinin imalat sürecinin başından sonuna kadar aynı hücre içerisinde işlem görmesini sağlayacak bir hücre düzenlemesi meydana getirmektir. Bu amaçla söz konusu teknikler hücre oluşturma problemini:

- Parça ailelerinin belirlenmesi,
- Makine hücrelerinin oluşturulması,
- Parça ailelerinin hücrelere atanması

şeklinde üç temel adıma indirgemişlerdir (Geyik, 2003). Bu adımlar kimi kümelendirme tekniklerinde eş zamanlı olarak, kimilerinde ise farklı sıralar halinde yerine getirilmektedir.

## 2.2. Grup Teknolojisinde Kümelendirme Teknikleri

Grup teknolojisinde parça ailelerini ve tezgah hücrelerini belirlemek üzere literatürde yer alan kümelendirme tekniklerini iki ana başlık altında toplayabiliriz:

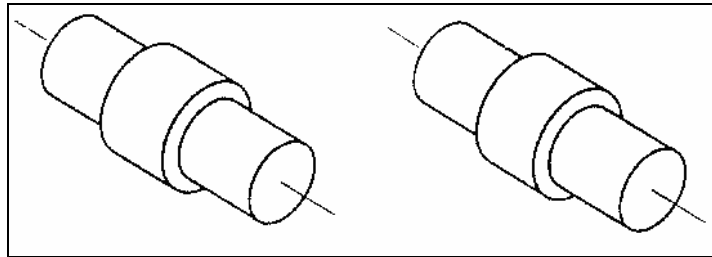
- Sınıflandırma teknikleri
- Hücre oluşturma teknikleri

### 2.2.1. Sınıflandırma Teknikleri

Sınıflandırma tekniklerinde imalata konu olacak parçalar; boyut, şekil, malzeme çeşidi, hammadde çeşidi gibi tasarım ve / veya işlem sıraları, ana işlemler, alt operasyonlar, işlem süreleri gibi imalat özelliklerine göre parça ailelerine ayrılırlar.

Parça aileleri, benzer geometrik şekil, boyut ve malzeme ya da imalat işlemlerinde benzer sıra ve / veya sürelerle sahip olan parçalardan oluşan gruplardır. Bir parça ailesi içinde yer alan parçalar birbirlerinden farklıdırlar, fakat parçalar arasındaki yakın benzerlikler söz konusu parçaların aynı ailenin üyeleri olmaları için yeterlidir ( Groover, 2001 ).

**Şekil 3. Tasarım özellikleri benzer, imalat özellikleri farklı iki parça**

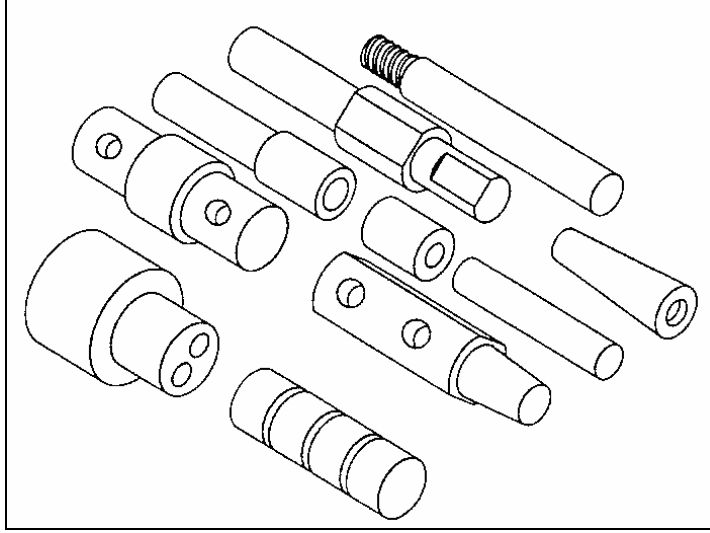


**Kaynak :** Groover ( 2001 : 885 )

Yukarıdaki şekilde yer alan iki parça geometrik tasarım bakımından oldukça benzerdir. Söz konusu parçalar her ne kadar toleransları, üretim miktarları ve yapıldıkları

malzemeler bakımından farklı olsalar da sahip oldukları geometrik tasarım benzerliği bu parçaların aynı parça ailesi içinde yer almaları için yeterli olmaktadır.

#### Şekil 4. İmalat özellikleri benzer, tasarım özellikleri farklı parçalar



**Kaynak :** Groover ( 2001 : 885 )

Yine yukarıdaki şekilde 10 adet parçadan oluşan bir parça ailesi yer almaktadır. Söz konusu parçalar gördükleri imalat işlemleri ( tornalama, frezeleme, delme vb. ) bakımından oldukça benzerdirler. Aynı ailenin üyesi olan bu parçalar tasarım bakımından ise oldukça farklı özelliklere sahiptirler.

Grup teknolojisinde sınıflandırma teknikleri olarak bahsedilen iki temel teknik söz konusudur. Bu teknikler görsel sınıflandırma tekniği ve kodlayarak sınıflandırma teknikleridir. Şimdi de parçaların gruplandırılmasında kullanılan bu teknikleri detaylı olarak inceleyelim.

##### 2.2.1.1. Görsel Sınıflandırma Tekniği

Görsel sınıflandırma yönteminde parçalar, fiziksel karakteristiklerine ( geometri, malzeme vb. ) görsel olarak bakılarak kabaca parça ailelerine atanırlar. Örneğin X malzemesinden yapılan 30 mm çaplı parçalar, 3 kg' a kadar olan demir dökümler gibi. Yöntemin başarısı, gruplamayı yapan kişinin teknik bilgi ve tecrübesine bağlıdır. Söz

konusu yöntem hızlı, basit ve ucuz olmasına karşılık, hataya açık özellikle de çok sayıda parçanın söz konusu olduğu durumlarda etkisiz kalan bir yöntemdir.

### **2.2.1.2. Kodlayarak Sınıflandırma Tekniği**

Kodlayarak sınıflandırma tekniğinde parçalar, iç ve dış şekil ve ölçüleri, görünüş oranları ( en / boy oranı, boy / çap oranı gibi. ) , ölçü toleransları, malzeme çeşitleri, yüzey işleme, işlevleri vb. tasarım özellikleri ve ana işlemleri, ikincil ve son işlemleri, işlem sıraları, üretim miktarları vb. imalat özelliklerine göre kimliklendirilerek parça ailelerine ayrılırlar.

Parçaların kimliklendirilmesi, parçalara bir takım semboller atanmasını ifade eder. Bu semboller, parçaların tasarım ve / veya imalat özelliklerini temsil etmektedir. Söz konusu semboller ya nümerik ( 0, 1, 2, 3 gibi ) ya alfabetik ( A, B, C, D gibi ) ya da alfanümerik (hem nümerik hem de alfabetik ) karakterlerden oluşmaktadır. İşte parçaları tasarım ve / veya imalat açısından tarifleyen bu karakterlerin bütününe kod adı verilir. Yapılan işleme de kodlama denir.

Kodlama işleminin yapılması için öncelikle kodlanacak tüm parçaların tasarım ve / veya imalat özelliklerinin analiz edilmesi gerekir. Bu analiz kimi zaman görsel kimi zaman da bilgisayar eşliğinde yapılır ( Groover, 2001 ).

Görsel olarak yapılan analizlerde analistler tanımlanmış tasarım ve /veya imalat özelliklerinin yer aldığı çizelgelere bakarak kodlanacak parçaların karakteristiklerini saptarlar ve kodlama bu saptamaya dayalı olarak manuel ( elle ) yapılır.

Bilgisayar eşliğinde yapılan analizlerde ise kullanıcı, bilgisayarın kendisine kodlanmak istenen parçaya ilişkin yönelttiği sorulara yanıtlar verir. Verilen yanıtlara göre bilgisayar söz konusu parçaya bir kod atar ( Groover, 2001 ).

Bilgisayar eşliğinde yapılan kodlama, görsel kodlamaya göre daha tutarlı bir kimliklendirme sağladığından, parça kodlarından oluşturulan veri tabanı günümüz endüstrisinde yoğun olarak kullanılan bilgisayar destekli tasarım ( CAD ) ve bilgisayar destekli imalat ( CAM ) teknolojilerinin optimum ( en iyi ) entegrasyonunda ve bununla birlikte de imalat çevriminin başından sonuna kadar tasarım ve imalat

standardizasyonunda ve kalite ve verimlilik artışında en önemli rolü üstlenmektedir ( Allegri, 1989 ).

İster görsel ister bilgisayar eşliğinde yapılsın, grup teknolojisinin temel taşı sayılan kodlayarak sınıflandırma yöntemi, günümüz işletmelerinin tasarım ve imalat fonksiyonları arasındaki en etkin iletişimi kurma özelliği ile literatürdeki yerini oldukça sağlamlaştırmıştır.

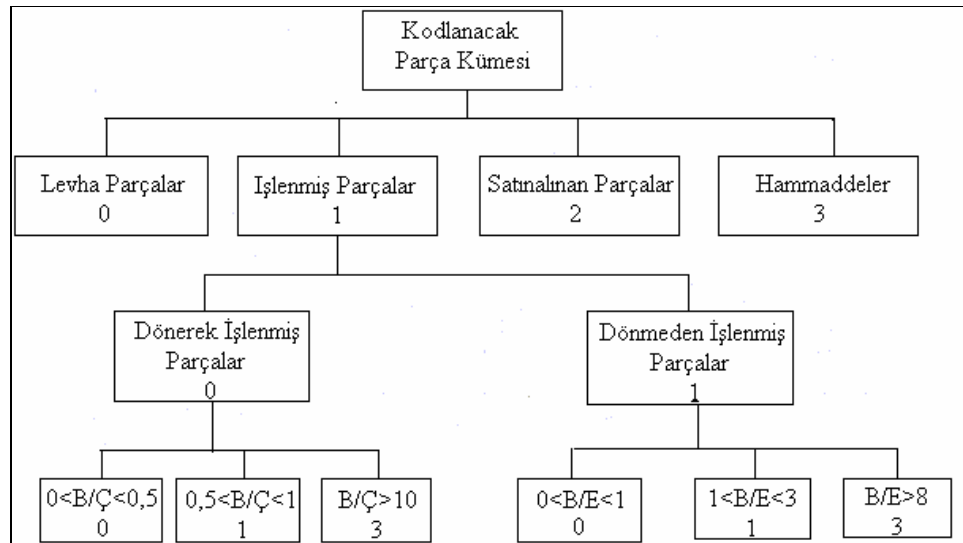
Parçaların kimliklendirilmesinde kullanılan kodlar yapıları itibariyle üçe ayrılırlar:

- **Monokodlar**

Hiyerarşik kod olarak da adlandırılan monokodlar ilk olarak 1700' lerde Linnaeus tarafından biyolojik sınıflandırma amacıyla geliştirilmiştir. Monokodların yapılarında yer alan her sembol kendisinden bir önce gelen sembolün ifade ettiği anlama dayalı bir anlam içermektedir. Yani her sembol kendisinden bir önceki sembolün içerdiği bilgiyi genişletmektedir. Bu sebepten dolayı monokodlarda yer alan hiçbir sembol diğer sembollerden bağımsız bir açıklamaya sahip değildir ( Bedworth ve diğ. , 1991 ).

### Şekil 5. Örnek bir monokod yapısı

( B: Boy, Ç: Çap, E: En )



**Kaynak :** Singh ( 1996 : 481 )

Yukarıdaki şekilde örnek bir monokod yapısı gösterilmektedir. Görüldüğü üzere yapının en üzerinde kodlanacak tüm parçalar yer almakta ve yapı üzerinde aşağılara doğru inildikçe söz konusu parçalar çeşitli grup ve alt gruplara ayrılmaktadır. Örnekte yer alan kodun ilk basamağında, kodlanacak parçalar levha parçalar, işlenmiş parçalar, satın alınan parçalar ve hammaddeler olmak üzere dört ana gruba, ikinci ve üçüncü basamaklarında ise daha spesifik özelliklere göre alt gruplara ayrılmaktadır. Şekle göre monokod yapısında 110 koduna sahip olan parçalar, dönerek işlenmiş ve en / boy oranı 1' den küçük olan parçalardır.

Nispeten kısa kodlar halinde oldukça yüklü bilgiler taşıyabilen monokodlar, yapıları itibarıyla şekil, malzeme ve boyut gibi tasarımla ilgili bilgilerin kodlanması, düzenlenmesi ve saklanması açısından oldukça kullanışlı olduğundan işletmelerin tasarım departmanları tarafından yoğun olarak kullanılmaktadır. İmalat işlemleri ile ilgili bilgilerin hiyerarşik bir biçimde sınıflandırılması zor olduğundan monokodlar parçaların imalat özelliklerine göre kimliklendirilmesinde yetersiz kalmaktadır. Monokodların diğer bir kısıtı da oluşturulmalarının ve açıklanmalarının zorluğudur (Bedworth ve diğ. , 1991; Binark, 1996 ).

- **Polikodlar**

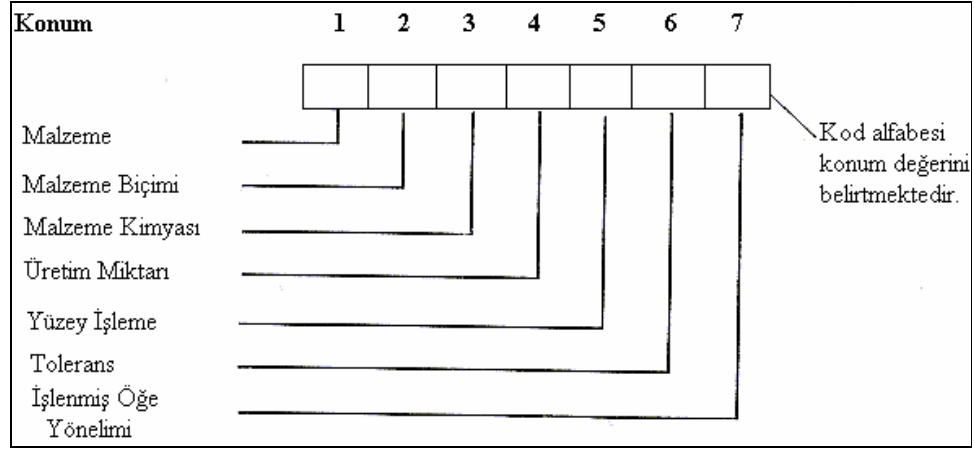
Zincir tipi kod olarak da bilinen polikodların yapılarında yer alan her karakter monokodlardan farklı olarak diğer karakterlerden bağımsızdır. Yani her karakter diğerlerinden bağımsız olarak parçaya ait ayrı bir özelliği simgelemektedir.

Kodlanacak parçaya ait her özelliğin ayrı bir basamakta kodlanması polikodların uzunluğunu arttırmakta, bu sorunun üstesinden ise kodun yapısının uyumlu olduğu bilgisayar destekli uygulamalarla gelinmektedir ( Kalpakjian ve Schmid, 2003 ).

Polikodların oluşturulması ve açıklanması ise oldukça kolaydır. Genellikle parçaların üretim karakteristikleri gibi değişken niteliğe sahip özelliklerin kodlanmasında kullanılan polikodlar imalat organizasyonları için bir hayli kullanışlıdır ( Bedworth ve diğ. , 1991 ).



**Şekil 6. Örnek bir polikod yapısı**

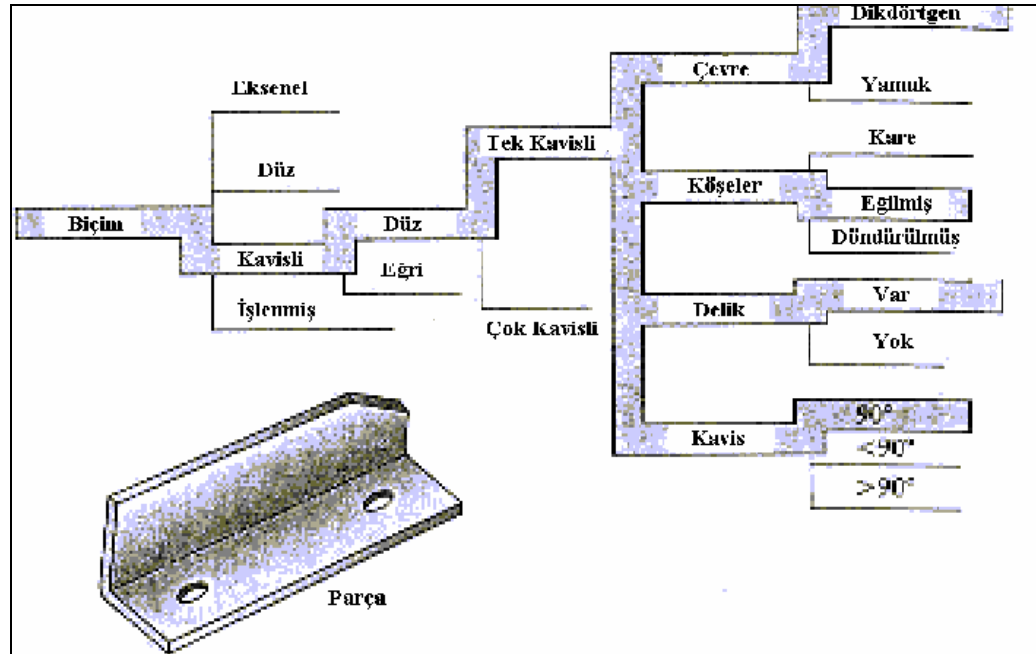


**Kaynak :** Singh ( 1996 : 481 )

- **Melez ( Hibrit ) Kodlar**

Hibrid kod ve karar ağacı kodu olarak da adlandırılan melez kodlar, monokodların ve polikodların dezavantajlarını gidermek amacıyla geliştirilen bileşke bir kod yapısına sahiptir. Melez kodlar, parçaların tasarım ve imalat karakteristiklerinin birlikte kodlanmasında kullanılmakta ve çoğu kodlama sistemi tarafından tercih edilmektedir.

**Şekil 7. Örnek bir parçanın karar ağacı kod yapısıyla sınıflandırılması**



**Kaynak :** Kalpakjian ve Schmid ( 2003 : 870 )

Bugüne kadar geliştirilen ve günümüz endüstrisinde de yoğun olarak kullanılan çok sayıda kodlama sistemi söz konusudur. Şimdi de bu kodlama sistemlerinden geniş kullanım alanlarına sahip olan Opitz, Miclass ve KK-3 kodlama sistemlerini tanıyalım.

#### **2.2.1.2.1 Opitz Kodlama Sistemi**

Almanya’ da Aachen Teknik Üniversitesi’ nde H. Opitz tarafından fabrikasyon parçaların kodlanması için geliştirilen Opitz kodlama sistemi, grup teknolojisine öncülük eden çabalardan biri olmakla birlikte parça sınıflandırma ve kodlama sistemleri arasında en iyi bilinenidir ( Groover, 2001 ).

Opitz kodlama sisteminin yapısı:

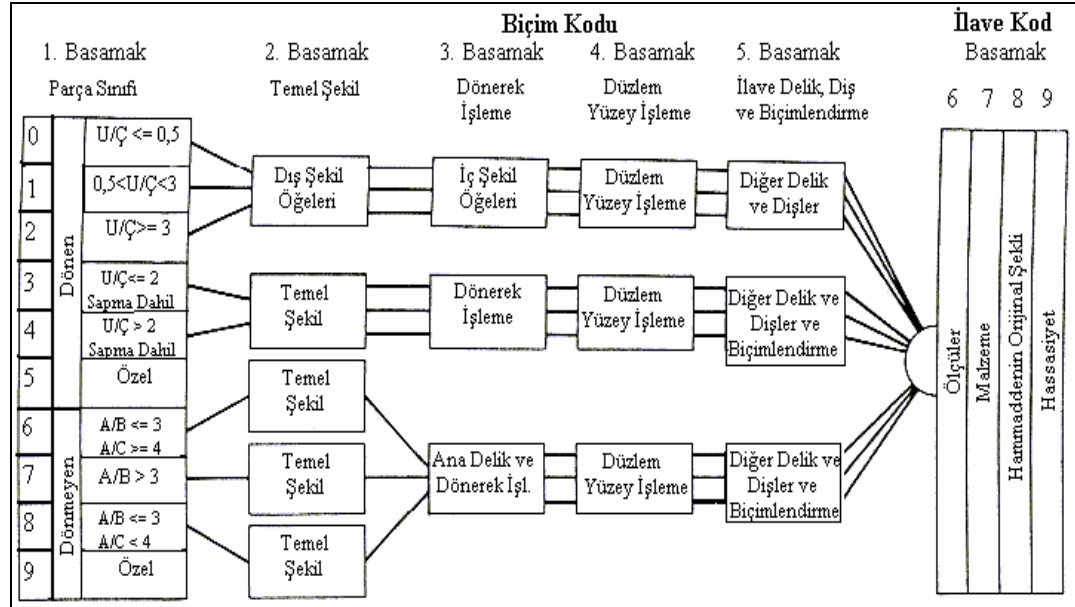
**1 2 3 4 5    6 7 8 9    ABCD**                    şeklindedir.

Opitz sisteminde temel kod, parçanın tasarım ve imalat verilerini simgeleyen nümerik ( 0, 1, 2, 3, ....9 gibi ) karakterlerin yer aldığı 9 basamaktan oluşmaktadır. Sistemin yapısında yer alan ve ikincil kod olarak adlandırılan, genellikle parçaya ait üretim işlemlerinin tipinin ve sıralamasının simgelendiği alfabetik ( A, B, C, D gibi ) karakterlerden oluşan sonraki 4 basamak ise ihtiyaç olması halinde kodlama sistemini kullanan işletmenin parçayla ilgili, işletmeye özel tanımlamaları için de kullanılabilir.

İlk 9 basamaktan oluşan temel kod, sırasıyla 5 basamaktan oluşan biçim kodu ve 4 basamaktan oluşan ilave kod olmak üzere iki bölüme ayrılır. İlk 5 basamaktan oluşan ve melez bir yapıya sahip olan biçim kodda yer alan karakterler parçanın dış şekil, iç şekil gibi tasarım özelliklerini ve delik, diş, yiv gibi biçimlendirme özelliklerini simgelemektedir. Sonraki 4 basamaktan oluşan ve zincir bir kod yapısına sahip olan ilave kodda yer alan karakterler ise parçaya ait ölçüler, malzeme çeşidi gibi imalat karakteristiklerini temsil etmektedir.

## Şekil 8. Opitz kodlama sisteminin temel yapısı

( U: Uzunluk, Ç: Çap, A,B ve C: Boyutlar )



Kaynak : Groover ( 1987 : 440 )

Opitz kodlama sisteminin; kullanımının kolay olması, kodlanacak parçaların tasarım ve imalat verilerinin her ikisini birden temsil eden melez bir kod yapısına sahip olması, sınıflandırma ve kodlama sürecini anlaşılabilir kılabilecek kadar kısa ve öz olması ve çoğu işletmenin kendi kodlama sistemlerine uyarlayabileceği bir yapıda olması gibi üstün özelliklerinin yanında benzer imalat özelliklerine sahip parçalara farklı kodlar ya da farklı biçimlere sahip olan parçalara aynı kodlar verilebilmesi gibi mahzurları da söz konusudur ( Singh, 1996; Chang ve diğ. , 1998; Kalpakjian ve Schmid, 2003 ).

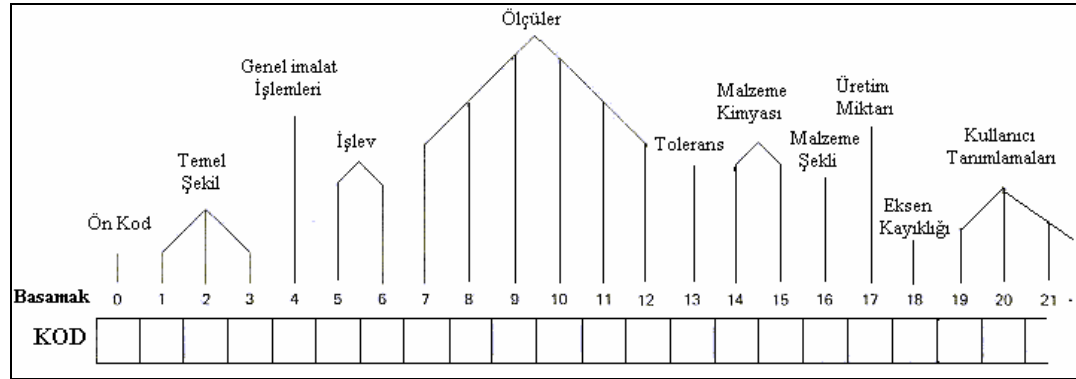
### 2.2.1.2.2. Miclass Kodlama Sistemi

Metal Enstitüsü Sınıflandırma Sistemi anlamına gelen MICLASS, bir kodlama ve sınıflandırma sistemi olarak Hollanda Uygulamalı Bilimsel Araştırma Örgütü tarafından işletmelerde otomasyonu ve standardizasyonu sağlanmış çeşitli tasarım, üretim ve yönetim fonksiyonlarına yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiştir ( Kalpakjian ve Schmid, 2003 ).

Miclass sisteminde kod yapısı, toplamda 30 basamağa kadar çıkabilen sırasıyla 18 ve 12 basamaktan oluşan iki esas bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde parçaya ait temel şekil,

şekil öğeleri ( delik, diş, yiv gibi ), parçanın işlevi, temel ölçüler, ölçü oranları, ilave ölçüler, toleranslar, malzeme cinsi, üretim miktarı gibi çeşitli standart tasarım ve imalat karakteristiklerinin simgelandığı 18 basamaklı bir kod yer alır. Basamak sayısı 12' ye kadar çıkabilen ve parçaya ait gizli üretim bilgileri, parti büyüklükleri, maliyetler, satıcılar gibi sistemi kullanan işletmeye özel bilgilerin simgelandığı kodun yer aldığı opsiyonel bölüm ise farklı endüstrilere uygulanabilirlik açısından Miclass sistemine esneklik kazandıran bölümdür.

### Şekil 9. Miclass kodlama sisteminin temel yapısı



Kaynak : Groover ( 1987 : 444 )

Miclass sisteminde kodlama, kullanıcı ile bilgisayar arasında interaktif bir ortamda gerçekleştirilir. Sistemde bilgisayar, kullanıcıya kodlanacak parçanın özellikleri hakkında çeşitli sorular yöneltmekte ve kullanıcının verdiği her cevaba karşılık olarak parçaya atanacak kodu oluşturmaktadır. Oluşturulan kodlar ise Miclass veri tabanında saklanmaktadır.

Miclass sisteminde kodlamanın bilgisayar eşliğinde yapılması olası kodlama hatalarını azaltmakta, zaman ve maliyet açısından da çeşitli tasarruflar sağlamaktadır. Ayrıca Miclass sisteminde yer alan MULTIPLAN, MULTICAP vb. programlar, veri tabanında saklanan kodlama ve sınıflandırma bilgilerinin analizinde kullanıcıya yardımcı olmakta ve işletmeler için tasarım sınıflandırma, tasarım düzenleme, imalat standardizasyonu, kontrol geliştirme, malzeme akışını hızlandırma, alet ve malzeme satın alım ve kullanımında optimizasyon gibi faydaların üretiminde de kullanılabilir ( Chang ve diğ. , 1998; Bedworth ve diğ. , 1991 ).

### 2.2.1.2.3. KK-3 Kodlama Sistemi

KK-3 sistemi fabrikasyon parçaların kodlanması için Japonlar tarafından geliştirilen genel amaçlı bir sınıflandırma ve kodlama sistemidir.

KK-3 sisteminde parçaları kodlamak üzere 21 basamaktan oluşan ondalıklı bir kod yapısı kullanılmaktadır. Sistemin kod yapısının Opitz sistemine kıyasla daha uzun olması daha ayrıntılı bir kodlama yapıldığı anlamını taşımaktadır ( Chang ve diğ. , 1998).

KK-3 kodunun ilk 2 basamağında parçanın fonksiyonel olarak ismi simgelenmektedir. Sözkonusu 2 basamak sayesinde KK-3 sistemi, 100 adete kadar parça ismini sınıflandırabilmektedir. 3. ve 4. basamaklar ise kodlanan parçanın malzemesine ilişkin bilgileri simgelemektedir. Sonraki 3 basamakta parçaya ait ölçü ve ölçü oranları sınıflandırılmakta, kodun geriye kalan kısmında ise parçaya ait şekil ve proses detayları işaret edilmektedir.

**Şekil 10. KK-3 kodlama sisteminin temel yapısı**

Basamak	Ayrıntılar	( Döner Parçalar )	
1	Parça Adı	Genel Sınıflandırma	
2		Detaylı Sınıflandırma	
3	Malzeme	Genel Sınıflandırma	
4		Detaylı Sınıflandırma	
5	Temel Ölçüler	Uzunluk	
6		Çap	
7	Temel Şekiller ve Ölçü Oranları		
8	Şekil Detayları ve İşlem Çeşitleri	Dış Yüzey ve Dış Temel Şekil	
9		Eş Merkezli Vida Açılmış Parçalar	
10		Fonksiyonel Kesici Parçalar	
11		Özel Biçimlendirilmiş Parçalar	
12		Biçimlendirme	
13		Silindirik Yüzey	
14		İç Yüzey	İç Temel Şekil
15			İç Eğri Yüzey
16			İç Düz Yüzey ve İç Silindirik Yüzey
17		Uç Yüzey	
18	Ayrı Merkezli Delikler	Düzenli Yerleştirilmiş Delikler	
19		Özel Delikler	
20	Kesimsiz İşleme		
21	Hassasiyet		

**Kaynak:** Zhang ve Alting ( 1994 : 91 )

Günümüzde çoğu işletme kullanacakları kodlama sistemlerini dışarıdan satın almakta ve daha sonra sözkonusu sistemi kendi özel ihtiyaçlarına göre modifiye ( yenileme ) etmektedir. Bugüne kadar oldukça fazla kodlama sisteminin geliştirilmiş olması, işletmelerin kendilerinin özel amaç ve ihtiyaçlarına uygun olan sistemi seçmelerini oldukça zor ve zaman alıcı bir hale getirmiştir.

İşletmelerin kendilerine uygun kodlama sistemlerini seçerken göz önünde bulundurmaları gereken faktörleri şöyle sıralayabiliriz ( Bedworth ve diğ. , 1991 ):

- **Amaç**

Sistemin kurulma amacı kullanıcıdan kullanıcıya farklılık gösterebilmektedir. Mesela sistemin mühendislik amaçlı kullanımı;

- Benzer parçalar için etkin bir düzenleme sistemi sağlamak,
- İşletmenin imalat yeteneğinin ve üretkenliğinin tespiti, gibi amaçlar güderken sistemin imalat amaçlı kullanımı;
- Başarılı proses planları oluşturmak,
- Parça aileleri için makine gruplarını veya hücrelerini başarılı bir şekilde oluşturmak, amaçlarını güdebilmektedir.

- **Esneklik**

Sistemdeki kod yapısının, gelecekte parça özelliklerinde meydana gelebilecek değişimlere cevap verebilecek esneklik ve kolaylığa sahip olması gerekir.

- **Otomasyon**

Günümüzde çoğu sınıflandırma ve kodlama sistemi bilgisayar destekli olarak kullanılmaktadır. Bu sebeple potansiyel bir kodlama sistemi değerlendirilirken sistemin otomasyona ne derece uyumlu olduğu oldukça iyi analiz edilmelidir.

- **Yeterlilik**

Sistemin kod yapısının, kodlanacak parçaların özelliklerini simgelemek üzere yeterli sayıda basamak içerip içermediği, içermiyorsa basamak sayısının artırılıp arttırılmayacağı değerlendirilmelidir.

- **Maliyet**

Söz konusu sistemin maliyetinin; sistemin temin maliyeti, sistemin işletmeye özel ihtiyaçlar için değişim maliyeti, sistemin işletmenin mevcut bilgisayar sistemleri ile entegrasyon maliyeti, sistemin kullanım maliyeti gibi farklı açılardan değerlendirilmesi gerekir.

- **Kolaylık**

Sistemi kullanmak zorunda olan çoğu kişi bilgisayar sistemlerine aşina olmayabilir. Bundan dolayı, kullanıcının sistemi kabulü, eğitim bedeli, kullanım maliyeti gibi faktörler açısından sistemin kullanım kolaylığı oldukça önemlidir.

Yukarıda bahsedilen faktörler kodlama sistemini kullanmayı düşünen işletmeye göre daha da artabilmektedir. Sonuç olarak, kullanılacak sistem seçilmeden önce eksiksiz bir değerlendirme yapılması ve son karar verilmeden önce sistemi kullanan diğer işletmelerin de önerilerinin göz önünde bulundurulması işletme açısından faydalı olacaktır.

## **2.2.2. Hücre Oluşturma Teknikleri**

Hücre oluşturma tekniklerinde temel amaç, imalata konu olacak parçaların rota kartlarındaki imalat bilgilerinin kullanılarak parça gruplarının ve bu parça gruplarını işleyecek makine hücrelerinin oluşturulmasıdır.

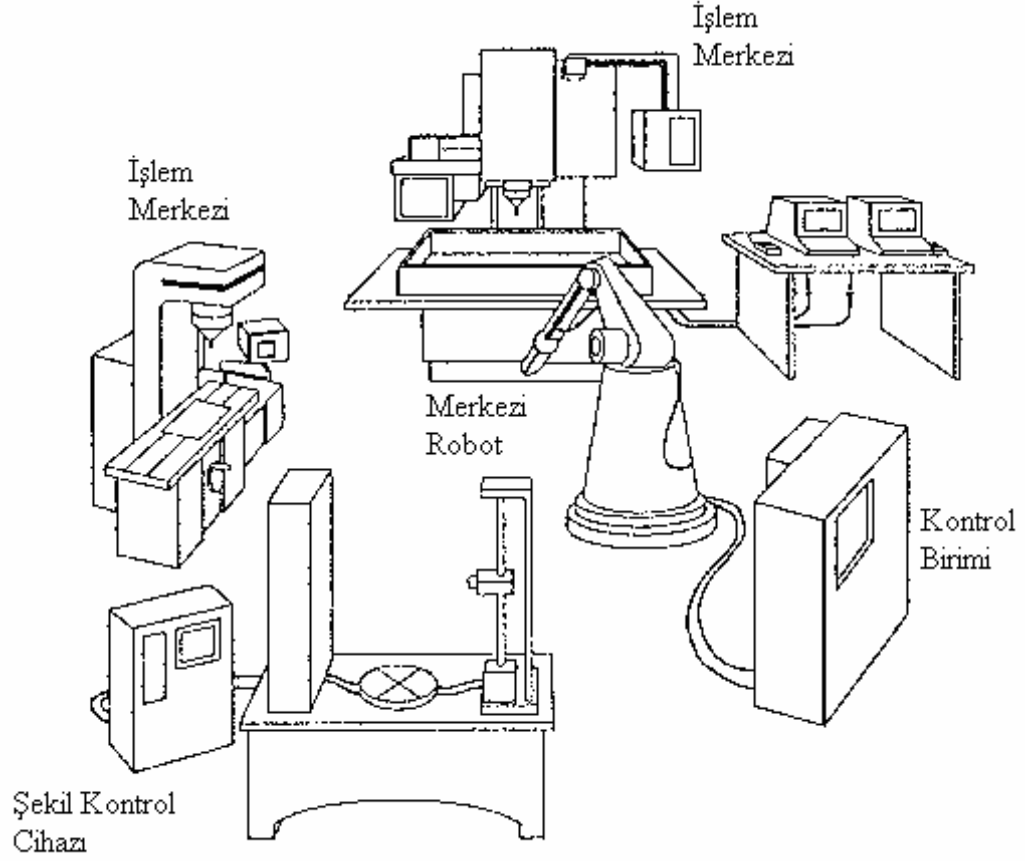
Makine hücreleri ya da diğer bir deyişle imalat hücreleri, bir ya da birkaç parça ailesini işlemek üzere gerekli makinelerin ( torna, freze, matkap, CNC vb. ) bir araya getirildiği ve ilgili işlem ekipmanlarının ve malzemelerinin manuel yani çalışanlar vasıtasıyla ya da otomatik yani robotlar, konveyörler vb. taşıma sistemleriyle taşıyıp işleme hazır hale getirildiği imalat ortamlarıdır.

Makine hücrelerine yönelik yapılan yukarıdaki tanımdan yola çıkarak makine hücrelerini, içerisinde yer alan makine sayısına ve malzeme akışının sağlanma şekline göre dört ayrı biçimde sınıflandırabiliriz ( Groover, 2001 ).

- **Tek Makine Hücreleri :** Adından da anlaşılacağı üzere tek bir makine ve bu makineye yardımcı ekipmanlardan oluşan hücreleridir. Tek makine hücreleri genellikle delme, tornalama, taşlama vb. tek bir tip işlem gerektiren parçaları işlemek üzere oluşturulurlar.
- **Taşımının Elle Yapıldığı Grup Makine Hücreleri :** Bu hücreler, bir ya da birkaç parça ailesini işlemek üzere birden fazla makinenin bir araya getirildiği ve makineler arası malzeme taşınımının çalışanlar tarafından gerçekleştirildiği imalat ortamlarıdır.
- **Taşımının Yarı Entegre Yapıldığı Grup Makine Hücreleri :** Söz konusu makine hücrelerinde makineler arası malzeme taşınımı konveyör vb. otomatik taşıma sistemleri vasıtasıyla yapılmakta; hücreye malzeme girişi, malzemenin makineye taşınımı, hücreden parça çıkışı vb. diğer taşınımlar ise çalışanlar tarafından gerçekleştirilmektedir.
- **Esnek İmalat Hücreleri :** Esnek imalat hücreleri ise, son derece otomatize edilmiş grup teknolojisi imalat hücreleridir. Söz konusu hücrelerde, malzeme taşıma ve depolamanın konveyör, robot vb. taşıma sistemleri tarafından yapıldığı, parçalara ait işlemlerin genellikle CNC vb. otomatize edilmiş makinelerin yer aldığı işlem istasyonlarında gerçekleştirildiği ve kontrolün ise tüm bu sisteme entegre bir bilgisayar vasıtasıyla yapıldığı bir işleyiş mevcuttur.



**Şekil 11. Örnek bir esnek imalat hücresi**



**Kaynak :** Kalpakjian ve Schmid ( 2003 : 873 )

Hücre oluşturma tekniklerinde, sınıflandırma tekniklerinde olduğu gibi çeşitli kodlama sistemlerinin ve parça tasarım bilgilerinin kullanılmasına lüzum yoktur. Zira bu tekniklerde parçalar ve makineler, parçaların üretim süreçlerindeki benzerliklere göre gruplandırılmaktadır.

Bugüne kadar geliştirilen ve literatürde yerini alan pek çok hücre oluşturma tekniği söz konusudur. Şimdi de sırasıyla bu teknikleri detaylı olarak inceleyelim.

### **2.2.2.1. Dizi Tabanlı Kümelenendirme Teknikleri**

Makine – parça grup analizi teknikleri olarak da bilinen dizi tabanlı kümelenendirme teknikleri genel anlamda, hücre oluşturma üzerine yapılan ilk çalışma olan ve Burbidge tarafından geliştirilen ‘ Üretim Akış Analizi ’ tekniği üzerine kuruludur ( Singh, 1996 ).

Dizi tabanlı kümelenendirme tekniklerinde parçalara ait rota kartlarındaki bilgiler, 0 – 1 matrisi de denilen makine – parça matrisine dönüştürülmektedir. Söz konusu matriste, kusursuz bir köşegenel yapı yani birbirlerinden ayrılabilir kümeler elde etmek üzere matrisin satır ve sütunları yeniden düzenlenmektedir.

Dizi tabanlı kümelenendirme teknikleri, makine ve parça gruplarının eş zamanlı oluşumlarını sağlamak üzere bir dizi satır ve sütun düzenlemesini içerir ( Gonçaves ve Resende, 2004 ).

Genel olarak dizi tabanlı kümelenendirme teknikleri, yalnızca makine –parça ilişki matrisi üzerinde çalışırlar. Söz konusu teknikler, oluşturulacak hücrelere ait boyut sınırları, makinelerin işlem süreleri vb. imalat verilerini kullanmazlar. Ayrıca dizi tabanlı kümeleme tekniklerinde, makine ve parça gruplarına ait çözümler görsel olarak değerlendirilmekte ve söz konusu çözümler istisnai parça ve darboğaz makinelerin varlığından oldukça etkilenmektedirler.

Dizi tabanlı kümelenendirme tekniklerine yönelik yapılan genel tariflerden sonra, şimdi de bugüne kadar geliştirilen teknikleri detaylı olarak inceleyelim.

#### **2.2.2.1.1. Üretim Akış Analizi Tekniği**

Üretim Akış Analizi tekniği, imalat hücrelerinin tasarımında aile oluşturma problemini çözmek üzere J. L. Burbidge tarafından geliştirilmiştir ( Burbidge, 1971 ).

Üretim akış analizi, parça ailelerini ve makine gruplarını tanımlamada parçaların çizimleri yerine üretim rota kartlarındaki bilgileri kullanan bir yöntemdir. Grup teknolojisi ve hücresel imalatla uyumlu ve bugüne kadar geliştirilmiş en kapsamlı yöntem olan üretim akış analizinde parçalar birbirleriyle aynı ya da birbirlerine benzer işlem rotalarına göre parça ailelerine ayrılmaktadır. Yöntemde oluşturulan parça ailelerini işleyecek makine grupları da söz konusu ailelerin gereksinim duydukları işlem sıralarına göre hücre şeklinde biçimlendirilmektedir.

Üretim akış analizi yönteminin parçaların tasarım verileri yerine imalat verilerini kullanması; tasarımları benzer olmakla birlikte farklı işlem rotalarına sahip olan parçaların aynı parça aileleri, tasarımları tamamen farklı olmakla beraber benzer ya da aynı işlem rotalarına sahip olan parçaların ise farklı parça aileleri içerisinde yer alması gibi olası anormal durumların oluşmasını engellemektedir ( Groover, 2001 ).

Üretim akış analizi yöntemini uygulamaya geçmeden önce analizi yapılacak parça miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Fabrikadaki tüm parçalar mı, yoksa seçilen temsili bir grup parça mı analiz edilecek ? buna karar verilmesi gerekmektedir. Bu karar verildikten sonra yöntemin uygulama aşamalarını şöyle sıralayabiliriz:

### **1) Veri Toplama**

Akış analizine tabi tutulacak parçalar belirlendikten sonra, söz konusu parçalara ait, analiz için asgari veriler olan parça numaraları ve işlem sıraları gibi veriler parçaların rota kartlarından temin edilir. Hücre içerisinde genellikle her işlem ayrı bir makine gerektirdiğinden, parçaların işlem sıraları aynı zamanda hücredeki makine sıralamasını da belirlemektedir.

Parçaların işlem sıraları ve parça numaralarına ek olarak üretim hacmi, zaman standartları, yıllık talep gibi veriler de işletmenin gereksinim duyulan üretim kapasitesine göre makine yerleşiminin saptanmasında kullanılacak diğer verilerdir.

### **2) İşlem Sıralarının Düzenlenmesi**

İkinci aşamada parçalar işlem sıralarındaki benzerliklere göre gruplara ayrılırlar. Bu adımı kolaylaştırmak için atölyedeki tüm işlemlere ya da makinelere aşağıdaki örnek tabloda olduğu gibi birer kod numarası verilir.

**Tablo 1. İşlem ya da makineleri belirten olası kod numaraları**

İşlem ya da Makine	Kod Numarası
Kesme	01
Torna	02
Freze	03
Matkap	04
Taşılama	05

**Kaynak :** Groover ( 2001 : 432 )

Analizi yapılan her parça için söz konusu parçanın gördüğü işlemler liste halinde sıralanmalıdır. Daha sonra parçalar aynı ya da benzer operasyonel sıralarına göre paket adı verilen gruplar halinde tasnif edilir. Parça sayısının ve işlem ya da makine sayısının fazla olduğu durumlarda bilgilerin derlemesinin bilgisayar desteği ile yapılması analizi yapan kişiye kolaylık sağlayacaktır.

### 3) Üretim Akış Analizi Grafiğinin Hazırlanması

Bu aşamada operasyonel sıralarına göre paketlere ayrılan parçalar ile işlem görecekleri makineler arasındaki bağıntıları gösteren ilişki ( 0 – 1 ) matrisleri oluşturulmaktadır. Söz konusu matriste satırlar makineleri, sütunlar ise parçaları temsil etmektedir. Matristeki 1 rakamı parçanın o makinede işlem gördüğünü, 0 rakamı ( veya boş hücre ) ise parçanın o makinede işlem görmediğini ifade etmektedir.

**Tablo 2. Makine - parça matrisi ( düzenleme öncesi )**

	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>
M <sub>a</sub>	1	1	0	0	0	0
M <sub>b</sub>	0	0	1	0	1	0
M <sub>c</sub>	1	1	0	1	0	0
M <sub>d</sub>	0	0	1	0	1	1
M <sub>e</sub>	1	1	0	1	0	0

**Kaynak :** Binark ( 1996 : 10 )

Örneğin yukarıdaki A matrisinde a, b, c, d, e makineleri ile 1, 2, 3, 4, 5, 6 parçaları arasındaki ilişkiler gösterilmektedir. Matrise bakıldığında parça 1' in a, c ve e makinelerinde işlem gördüğü, b ve d makinelerine ise işlem için uğramadığı görülmektedir.

#### 4) Küme Analizi

Yöntemin en önemli aşamasıdır. Bu aşamada amaç, benzer ya da aynı işlem sıralarına sahip parça paketlerini bir araya getirmektir. Bu sebeple matris, parça grupları ve bu parça gruplarının işlem gördüğü makine gruplarından oluşan bağımsız bloklara ayrılmaktadır. Bu bloklar aynı zamanda oluşturulması düşünülen olası imalat hücreleridir.

Yöntemde kimi zaman, arzulandığı gibi hücreler arası taşınımı ortadan kaldıracak, birbirinden tamamen bağımsız imalat hücreleri ( bloklar ) oluşturulamamakta, istisnai tezgah ve / veya parçalar bulunabilmektedir. Mesela yukarıda bahsedilen A matrisi düzenlendiğinde iki imalat hücresi oluşturulabilmektedir.

**Tablo 3. Makine - parça matrisi ( düzenleme sonrası )**

	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>
M <sub>c</sub>	1	1	1	0	0	0
M <sub>e</sub>	1	1	1	0	0	0
M <sub>a</sub>	1	1	0	1	0	0
M <sub>d</sub>	0	0	0	1	1	1
M <sub>b</sub>	0	0	0	1	1	0

**Kaynak :** Binark ( 1996 : 10 )

İlk hücrede parça ailesi olarak 1, 2 ve 4 parçaları, makine grubu olarak da a, c ve e makineleri bulunmaktadır. Diğer hücrede ise 3,5 ve 6 parçaları parça ailesini oluştururken, b ve d makineleri de makine grubunu oluşturmaktadır.

Dikkat edilirse oluşturulan bu iki imalat hücresi, birbirinden tamamen bağımsız hücreler değildir. İkinci hücrede yer alan 3 no' lu parça b ve d makinelerinden ayrı olarak a makinesinde de işlem görmektedir. İşte söz konusu 3 no' lu parça istisnai bir parçadır ve

bu parçanın hücrelerarası taşınımı gerekmektedir. Hücresel imalat sistemlerinde her bir parça ailesinin tüm üyelerine ait bütün işlemlerin aynı hücre içerisinde tamamlanması oldukça önemli olduğundan 3 no' lu parçanın durumu pek arzulanmayan bir durumdur.

Üretim akış analizi yönteminin en önemli zaafı, yöntemde kullanılan verilerin işletmedeki mevcut üretim rota kartlarından elde edilmesidir. Çünkü bu rota kartları büyük bir ihtimalle farklı proses planlamacılar tarafından hazırlanmakta, dolayısıyla da bu kartlar optimal olmayan, gereksiz ve hatta mantıksız işlemler içerebilmektedir. Sonuç olarak da, analizin sonunda oluşturulan hücreler optimal olmayabilmektedir. Bu eksikliğe rağmen üretim akış analizi yönteminin sınıflandırma yöntemlerine nazaran daha az zaman alıcı olması gibi faydaları da vardır. Sözkonusu avantajıyla yöntem, fabrikalarındaki işlemlerini grup teknolojisiyle tanıştırmayı düşünen çoğu işletme için memnun edici bir hal almaktadır ( Groover, 1987 ).

#### **2.2.2.1.2. Derece Sırası Kümelendirme Tekniği**

Derece Sırası Kümelendirme ( ROC ) tekniği, King tarafından makine – parça gruplarının oluşturulmasında kullanılmak üzere geliştirilmiştir ( Singh, 1996 ; King, 1980 ; Kocacıbağ ve diğ. , 1998 ). Bilgisayar desteği ile uygulandığı takdirde oldukça hızlı, kullanımı kolay ve başarılı bir yöntemdir.

King' e göre grup teknolojisinde karşılaşılan en önemli sorun, birçok makine grubu arasından, aynı yapım özelliklerini ve işlemlerini gerektiren makine grubunu isimlendirmek ve diğerlerinden ayırmaktır ( Özgürler ve Güneri, 1998 ).

Derece sırası kümelendirme tekniğinde de üretim akış analizi tekniğinde olduğu gibi parçaların rota kartlarındaki bilgiler ışığında parçaların işlem ihtiyaçlarını göstermek üzere makine – parça matrisi ( 0 – 1 matrisi ) oluşturulmaktadır. Daha sonra oluşturulan bu matrise King Algoritması uygulanarak parça aileleri ve makine grupları belirlenmektedir.

King algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- **Adım 1 :** Makine – parça matrisinin her satırı için sırası ile ( soldan sağa doğru ) giriş değerlerinin ikili ağırlıklarına bakılır. Bunlar toplanarak satırların ondalık eşdeğerleri bulunur. Daha sonra satırlar, ondalık eşdeğerlerinin azalma derecesine

göre sıralanır. Aynı değeri her satır için sıralama, elde bulundurma sırasına göre yapılır.

- **Adım 2 :** Eğer adım 1' de elde edilen derece sıraları ile, esas matrisin satır sıraları aynıysa işlem sona erer. Aynı değilse adım 3' e geçilir.
- **Adım 3 :** Makine – parça matrisinin satırları, adım 1' de elde edilen derece sıralarına göre yeniden düzenlenir. Her sütun için, sırası ile ( yukarıdan aşağıya doğru) giriş değerlerinin ikili ağırlıklarına bakılır. Bunlar toplanarak sütunların ondalık eşdeğerleri bulunur. Daha sonra sütunlar ondalık eşdeğerlerinin azalma derecesine göre sıralanır. Aynı ondalık eşdeğere sahip olan sütunlarda sıralama yapılırken sütun sırası değişmez.
- **Adım 4 :** Eğer adım 3' de elde edilen sütunların derece sıraları ile, esas matrisin sütun sıraları aynıysa işlem sona ermiştir. Aynı değilse Adım 5' e geçilir.
- **Adım 5 :** Makine – parça matrisinin sütunları adım 3' de elde edilen derece sıralarına göre yeniden düzenlenir. Ve adım 1' e geri dönlür. Aynı işlem sırası her satır ve sütunda hiçbir değişiklik olmayıncaya kadar devam eder.

Örnek olarak talaşlı imalat atölyesinde 24 adet makine ve 21 adet parça çeşidi bulunan bir fabrikada, parçalara ait rota kartlarının incelenmesi sonucunda makine – parça matrisi aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

**Tablo 4. Makine - parça matrisi ( düzenleme öncesi )**

	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>14</sub>	P <sub>15</sub>	P <sub>16</sub>	P <sub>17</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>19</sub>	P <sub>20</sub>	P <sub>21</sub>
M <sub>1</sub>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
M <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
M <sub>3</sub>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
M <sub>5</sub>	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
M <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
M <sub>7</sub>	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
M <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
M <sub>9</sub>	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
M <sub>10</sub>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M <sub>11</sub>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1
M <sub>12</sub>	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M <sub>13</sub>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
M <sub>14</sub>	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
M <sub>15</sub>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M <sub>16</sub>	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
M <sub>17</sub>	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
M <sub>18</sub>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
M <sub>19</sub>	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
M <sub>20</sub>	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1
M <sub>21</sub>	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0
M <sub>22</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M <sub>23</sub>	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
M <sub>24</sub>	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0

**Kaynak :** Özgürler ve Güneri ( 1998 : 33 )

Yukarıdaki matrise, bilgisayar desteğinde King algoritması uygulanırsa aşağıda görülen matris elde edilir.



**Tablo 5. Makine - parça matrisi ( düzenleme sonrası )**

	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>11</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>14</sub>	P <sub>17</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>15</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>19</sub>	P <sub>20</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>16</sub>	P <sub>21</sub>	
M <sub>22</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M <sub>21</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
M <sub>23</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
M <sub>5</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M <sub>16</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M <sub>24</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M <sub>20</sub>	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
M <sub>12</sub>	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M <sub>11</sub>	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
M <sub>3</sub>	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M <sub>17</sub>	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M <sub>19</sub>	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M <sub>2</sub>	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M <sub>13</sub>	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M <sub>18</sub>	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M <sub>14</sub>	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M <sub>4</sub>	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M <sub>9</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
M <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
M <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
M <sub>10</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M <sub>15</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Kaynak : Özgürler ve Güneri ( 1998 : 33 )

Yukarıdaki matriste görüldüğü üzere, atölyedeki makinelerden ve parçalardan 3 ayrı grup ( imalat hücresi ) meydana gelmektedir. King Algoritması' na göre oluşturulan parça ailelerini ve makine gruplarını şu şekilde sıralayabiliriz :

**Tablo 6. Parça aileleri ve makine grupları**

Grup No	Parça Ailesi	Makine Grubu
1	1, 2, 11, 18	3, 5, 11, 12, 16, 20, 21, 22, 23, 24
2	6, 7, 14, 17	2, 4, 13, 14, 17, 18, 19
3	3, 4, 5, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 19, 20, 21	1, 6, 7, 8, 9, 10, 15

**Kaynak :** Özgürler ve Güneri ( 1998 : 34 )

Uygulanmasındaki kolaylık, etkinlik ve hız gibi avantajlarının yanında yöntemin çeşitli dezavantajları da söz konusudur. Mesela hücreler arası parça taşınımına neden olan istisnai parçalar. Yukarıdaki örneğe göre 1, 2, 11 ve 18 nolu parçalar dışındaki tüm parçaların görmeleri gereken işlemler nedeniyle hücreler arası taşınımı gerekmektedir. Bu taşınımlar da işletme için ekstra maliyet anlamına gelmektedir.

Yöntemin diğer bir kısıtı da, sonucun başlangıç makine – parça matrisine oldukça duyarlı olmasıdır. Bu bağlamda parçaların üretim rota kartlarının optimal işlemler içermesine çok dikkat edilmelidir.

King algoritması, makinelerin ve parçaların gruplanmasında birbirine yakın çözümler de üretebilmektedir. Bu çözümlerden işletme açısından en iyisinin seçimi bir anlamda da yöntemin kullanıcılarına ve parça çeşitleri, makine tipleri ve kapasiteleri gibi faktörlere bağlıdır ( Singh, 1996 ). Algoritmanın uygulanmasında kullanılacak olan bilgisayar desteğinin maliyeti de yöntemin diğer bir kısıtı olarak düşünülebilir.

### **2.2.2.1.3. Direkt Kümelendirme Tekniği**

Direkt Kümelendirme Tekniği, Chan ve Milner tarafından derece sırası kümelendirme tekniğinin sıkıntılarını gidermek ve alternatif çözümler üretmek üzere geliştirilmiş bir tekniktir ( Chang ve diğ. , 1998 ).

Direkt kümelendirme tekniğinin çalışma prensibi de diğer tekniklerde olduğu gibi makine – parça matrisindeki satır ve sütunların yeniden düzenlenmesine dayanır. Söz konusu teknikte kümeleri ( hücreleri ) oluşturmak üzere matrisin satır ve sütunlarındaki pozitif değerlere ( 1' lere ) bakılarak, satırlar toplam pozitif değer sayısının azaldığı bir sıralama ile yukarıdan aşağıya doğru, sütunlar da toplam pozitif değer sayısının arttığı

bir sıralama ile soldan sağa doğru düzenlenmektedir. Yapılan bu düzenlemeler sonucunda, pozitif değerlerin sağ üst ve sol alt köşelere doğru toplandığı bir matris elde edilir. Sonuç olarak da, makine ve parça gruplarının bir araya toplandığı bloklar meydana gelmektedir.

Direkt kümelenendirme tekniğinde, istisnai parça ve darboğaz makinelerin söz konusu olduğu durumlarda matristeki satır ve sütunların düzenlenmesi tıkanır. Söz konusu teknikte bu tekniği önlemek ve düzenlemeyi sonlandırmak üzere, tıkanıklığa sebep olan parça ve / veya makineler yok farzedilmekte ya da diğer bir deyişle tıkanıklığa sebep olan pozitif değerler negatif gibi düşünülerek hareket edilmektedir ( Chang ve diğ. , 1998 ).

İstisnai parça ve darboğaz makine sorunlarının üstesinden gelmek üzere yöntemde, parçaların yeniden tasarımı, ilave makine temini, hücrelerarası taşınımlara müsaade etme vb. çözüm alternatifleri de önerilmektedir ( Offodile ve diğ. , 1994 ).

Ayrıca, direkt kümelenendirme tekniğinin algoritmasının makine – parça matrisindeki satır ve sütunlara ait pozitif değerlerin toplanmasıyla başlaması yöntemin, derece sırası kümelenendirme tekniğinde olduğu gibi başlangıç matrisine duyarlı olması sorununu da ortadan kaldırmaktadır ( Chu ve Tsai, 1990 ).

#### **2.2.2.1.4. Bağ Enerji Algoritması**

McCormick, Schweitzer ve White, makine –parça matrisindeki öğeler arasındaki ilişkileri ve toplam bağ enerjilerine göre kümelenen gruplar arasındaki ilişkileri tanımlamak ve göstermek üzere Bağ Enerji Algoritması' nı ( BEA ) geliştirmişlerdir ( McCormick ve diğ. , 1972; Chu ve Tsai, 1990 ).

Bağ enerji algoritmasında bağ gücü, makine – parça matrisinde pozitif değerlere sahip olan komşu satır ve sütun çiftleri arasındaki ilişki olarak, bağ enerjisi de söz konusu bağ güçlerinin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Algoritmanın amacı, makine – parça matrisinde kusursuz bir köşegenel yapı elde etmek üzere matrisin bağ enerjisini en büyükmektir ( Offodile diğ. , 1994 ).

Bağ enerji algoritması tesadüfi olarak seçilen bir satır veya sütunla başlar. Daha sonra seçilen satır veya sütun, matrisin toplam bağ enerjisine yapabileceği en büyük katkıyı

yapacak şekilde başka bir satır veya sütunun yanına yerleştirilir. Söz konusu prosedür tüm satır ve sütunlar için tekrarlanır ( Chu ve Tsai, 1990 ). Sonuç olarak, yüksek bağ enerjisini sağlayan parça ve makineler bir çeşit permütasyon algoritması kullanılarak kümelendirilir ( Offodile ve diğ. , 1994 ).

Bağ enerji algoritması, makine – parça matrisindeki ikili değerleri hesaplamada herhangi bir güçlük çekmediğinden her boyuttaki kümeleme problemi için uygulanabilir bir nitelik taşımaktadır ( Chu ve Tsai, 1990 ).

Ayrıca, bağ enerji algoritması' nın ilk adımındaki satır veya sütun seçimi tesadüfi olarak yapıldığından algoritmayla birlikte ilk seçime bağlı olarak çok sayıda çözüme ulaşılabilmektedir ( Chu ve Tsai, 1990 ).

#### **2.2.2.1.5. Küme Tanımlama Algoritması**

Kusiak ve Chow, makine – parça gruplama problemini çözmek üzere makine – parça matrisini bir çeşit kesim algoritması kullanarak makine – parça kümelerine dönüştüren Küme Tanımlama Algoritması' nı ( CIA ) geliştirmişlerdir ( Kusiak ve Chow, 1987; Offodile ve diğ. , 1994 ).

Küme tanımlama algoritmasında ilk olarak belirli bir ölçüğe göre en yüksek değeri olan parça seçilir. Bu parçanın işlem gördüğü makineler belirlenir. Üretim aşamalarında bu makinelerin kullanıldığı diğer parçalardan bir küme oluşturulur. Daha sonra hücre içindeki toplam makine sayısı önceden belirlenmiş bir sınırı aşmamak koşulu ile oluşturulan kümedeki parçalar en yüksek değerli parçadan başlamak üzere hücreye atanırlar. Bu koşulu çiğneyen parçalar analizden çıkartılırlar. Yeni atamalar sonucu hücreye kazandırılan makinelerde işlenen atanmamış parçalardan yeni bir küme oluşturulur. Bu işlem önceden belirlenmiş hücre içi makine sayısını aşana kadar sürer. Belirli bir hücre tamamlandıktan sonra, kalan parçalar arasından en yüksek değerli parça anahtar olarak seçilir ve yeni bir hücrenin oluşturulması için gereken işlemler yinelenir. Bu döngü bütün parçalar atanıncaya ya da analizden çıkarılıncaya kadar devam eder ( Kandiller ve Onur, 1988 ).

Küme tanımlama algoritması, hesapsal gücü iyi fakat kullanım alanı sınırlı olan bir algoritmadır ( Geyik, 2003 ). Ayrıca söz konusu algoritma, istisnai parça ve darboğaz

makinelerin varlığı durumunda oldukça etkisiz bir hal almaktadır ( Offodile ve diğ. , 1994 ).

#### **2.2.2.1.6. Değiştirilmiş Derece Sırası Kümelendirme Tekniği**

Chandrasekharan ve Rajagopalan, derece sırası kümelendirme tekniği üzerinde bir takım gelişmeler ihtiva eden ve derece sırası kümelendirme algoritması ile elde edilen çözümlerin makine – parça matrisinin ilk haline bağımlı olması vb. zayıflıkları ortadan kaldırdığı ileri sürülen Değiştirilmiş Derece Sırası Kümelendirme ( MODROC ) tekniğini geliştirmişlerdir ( Chandrasekharan ve Rajagopalan, 1986a; Offodile ve diğ. , 1994; Singh, 1996 ).

MODROC tekniğinde ilk olarak, derece sırası kümelendirme algoritması ile son şeklini halan makine – parça matrisinin sol üst köşesinde pozitif değerlerden ( 1' lerden ) oluşan alt matris ana matristen çıkarılır. Ana matristen çıkarılan alt matristeki parça ve makineler bir hücre içerisine atanırlar. Daha sonra, ana matrisin kalan parçasına derece sırası kümelendirme algoritması yeniden uygulanır. Söz konusu işlemler ana matristeki tüm sütunlar kümelene kadar bir döngü içerisinde tekrarlanır ( Geyik, 2003 ).

MODROC algoritması sonunda elde edilen hücrelere son şeklini vermek üzere, hücreler arasında bir çeşit ilişki ölçütü tanımlanmaktadır. Söz konusu ilişki ölçütü, parça ailelerini aralarındaki benzerlikleri en büyükleyerek hiyerarşik olarak kümelemek üzere bir çeşit tek bağlantı teknolojisi tarafından kullanılmaktadır ( Offodile ve diğ. , 1994 ).

Yukarıda ayrıntılı olarak değinilen kümelendirme tekniklerinin dışında dizi tabanlı kümelendirme üzerine yapılan diğer çalışmalar da şunlardır:

Khator ve Irani, derece sırası kümelendirme ve direkt kümelendirme tekniklerine ait elde edilen çözümlerin başlangıç matrisine duyarlı olması vb. kısıtlamaları ortadan kaldırmak üzere İşgaliye Miktarı ( OV ) tekniğini geliştirmişlerdir. Söz konusu teknikte makine – parça matrisi, makinelerin parçalar tarafından toplam kullanım miktarlarına bağlı olarak yeniden düzenlenmektedir. Ayrıca, İşgaliye Miktarı tekniğinin istisnai parçaların ve darboğaz makinelerin varlığını doğrudan tespit etme gibi bir yeteneği de söz konusudur ( Khator ve Irani, 1987; Offodile ve diğ. , 1994 ).

King ve Nakornchai, derece sırası kümelenendirme tekniğinin hesapsal verimliliğini arttırmak üzere Derece Sırası Kümelenendirme 2 ( ROC 2 ) algoritmasını geliştirmişlerdir. Geliştirilen yeni algoritma fazla sayıda satır ve sütunu eş zamanlı olarak düzenleyebilmekte, böylece daha büyük boyutlardaki kümelenendirme problemlerini çözümlenmek mümkün bir hal almaktadır. Ayrıca ROC 2 algoritması, derece sırası kümelenendirme ( ROC ) algoritmasına kıyasla makine – parça matrisinin satır ve sütunlarını daha hızlı düzenleme yeteneğine sahiptir ( King ve Nakornchai, 1982; Offodile ve diğ. , 1994 ).

Chu ve Tsai, derece sırası kümelenendirme ve direkt kümelenendirme tekniklerini ve bağ enerji algoritmasını kapsayan kıyaslamalı bir çalışma ortaya koymuştur. Yapılan çalışmada, her üç kümelenendirme tekniği farklı veri grupları açısından değerlendirilmiş ve şu bulgular elde edilmiştir ( Chu ve Tsai, 1990 ):

- Hangi performans ölçütü ya da veri grubu test edilirse edilsin, bağ enerji algoritması kıyaslanan üç kümelenendirme tekniği arasında en iyi sonuçları vermiştir.
- Veri grupları iyi düzenlendiği takdirde, hemen hemen her üç teknik de parçaları tamamen parça ailelerine ayırabilmektedir.
- İstisnai parçaların varlığı durumunda, bağ enerji algoritması ilave bir prosedür gerektirmedikinden oldukça verimli ve etkili kümelenendirme sonuçları üretebilmektedir.
- Bağ enerji algoritması, derece sırası kümelenendirme ve direkt kümelenendirme tekniklerinden daha iyi çalışmanın yanında, bir işletmedeki istisnai parça yüzdesinin ve kümelenendirme çalışmalarındaki hantallığın azaltılması söz konusu olduğu durumlarda literatürdeki çoğu karmaşık yöntemle rekabet edebilecek bir yapıya sahiptir.
- Darboğaz makinelerin varlığı durumunda, her üç kümelenendirme tekniği de ilave işlemler olmadan kabul edilebilir kümeler oluşturamamaktadır.

### **2.2.2.2. Hiyerarşik Kümelenendirme Teknikleri**

Hiyerarşik kümelenendirme tekniklerinde, parça ailelerini veya makine hücrelerini gruplamak üzere parça çiftleri ya da makine çiftleri arasındaki benzerlik veya farklılık ölçülerinden yararlanılmaktadır. Bu amaçla parçaların işlem rotaları, tasarım özellikleri, takım gereksinimleri vb. kriterler bakımından bir benzerlik ya da farklılık ölçüsü hesaplanmakta ve parça veya makineler söz konusu farklılıkları en küçüklemek ya da benzerlikleri en büyükleme üzere kümelenendirilmektedir ( Ramabhata ve Nagi, 2005 ).

Hiyerarşik kümelenendirme tekniklerinde, parçaları veya makineleri kümelenendirmede parçaların işlem sıralamalarına ek olarak yıllık parça talepleri, üretim miktarları vb. verilerin de kullanılması, söz konusu yöntemlerin makine – parça grup analizi tekniklerine kıyasla belirgin avantajlar sağladığını göstermektedir (Gupta ve Seifoddini, 1990).

Benzerlik katsayısı teknikleri olarak da bilinen hiyerarşik kümelenendirme tekniklerinde kümelenendirme çözümleri bir hiyerarşi ( dendrogram ) içerisinde gösterildiğinden, söz konusu teknikler en iyi çözümün seçiminde kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır.

Hiyerarşik kümelenendirme tekniklerinde, parça aileleri ve makine hücreleri makine – parça grup analizi tekniklerinde olduğu gibi eş zamanlı olarak oluşturulmazlar. Her bir gruplama ayrı ayrı yapılmaktadır. Ayrıca söz konusu tekniklerin Chu’ ya göre, benzerliğin performans etkileri ve en uygun parça ailesi ya da makine hücresi sayısının tespit zorluğu gibi zayıflıkları da vardır ( Chu, 1989 ).

Bugüne kadar benzerlik katsayısı temeline dayalı olarak; tek bağlantılı kümelenendirme ( Mc Auley, 1972 ), ortalama bağlantılı kümelenendirme ( Seifoddini ve Wolfe, 1986 ), tam bağlantılı kümelenendirme (Gupta ve Seifoddini, 1990a ) vb. bir dizi yöntem geliştirilmiştir ( Singh, 1996 ).

Hiyerarşik kümelenendirme tekniklerine dair yapılan genel tariflerden sonra, şimdi de literatürde en çok adı geçen teknikleri detaylı olarak inceleyelim.

#### **2.2.2.2.1. Tek Bağlantılı Kümelenendirme Tekniği**

Mc Auley, makine gruplarını oluşturmak üzere bugün ‘ tek bağlantılı kümelenendirme analizi ’ olarak bilinen ve makineler arasındaki benzerlik katsayılarını kullanan

hiyerarşik bir gruptama yöntemi kullanmıştır. Söz konusu yöntem ilk olarak Sneath tarafından geliştirilmiş ve literatürde bugünkü yerini almıştır ( Singh, 1996 ).

Tek bağlantılı kümelendirme yönteminde gruptama, her bir makine çifti için hesaplanan benzerlik katsayılarını kullanan hiyerarşik bir yapı içerisinde yapılmaktadır. Benzerlik katsayısı her makine çifti için, her bir makineyi ayrı ayrı ve her iki makineyi birden ziyaret eden parça sayısı bakımından söz konusu iki makinenin ne kadar benzer olduğunu belirlemek amacıyla hesaplanmaktadır ( Bedworth ve diğ. , 1991 ).

Mc Auley, iki makine arasındaki benzerlik katsayısını şu formülle tarif etmiştir ( Bedworth ve diğ. , 1991 ):

$$S_{xy} = \frac{a}{b + c - a}$$

**S<sub>xy</sub>** : X ve Y makineleri arasındaki benzerlik katsayısı

**a** : X ve Y makinelerinin her ikisinde birden işlem gören parça sayısı

**b** : Yalnızca X makinesinde işlem gören parça sayısı

**c** : Yalnızca Y makinesinde işlem gören parça sayısı

Tek bağlantılı kümelendirme algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- **Adım 1** : Her makine çifti arasındaki benzerlik katsayıları hesaplanır.
- **Adım 2** : İlk makine hücresini oluşturmak üzere en benzer makine çifti seçilir.
- **Adım 3** : Sırayla benzerlik seviyeleri düşürülerek, makine çiftleri arasındaki benzerlik katsayılarına göre diğer makine hücreleri oluşturulur.
- **Adım 4** : Tüm makineler bir hücrede gruplanana kadar 3. adıma devam edilir.

Tek bağlantılı kümelendirme yönteminde her bir makine çifti için hesaplanan benzerlik katsayıları, dendrogram olarak adlandırılan ağaç şeklinde hiyerarşik bir diyagramın oluşturulmasında kullanılmaktadır.



Dendrogram esas olarak, benzerlik katsayılarıyla ölçülendirilen makine benzerlik ilişkilerinin resimli olarak temsil edilmiş halidir. Dendrogramlar, kümelendirme sonuçlarının sunumunda kullanılır. Bir dendrogramda dikey kollar oluşturulan makine hücrelerindeki makineleri, dikey kollarla bağlantılı yatay çizgiler ise makine hücrelerinin eşik değerlerini yani o hücrede yer alan makineler arasındaki benzerlik katsayısını göstermektedir ( Singh, 1996 ).

Şimdi de bir dendrogramın oluşturulmasını ve bu dendrogramın makine gruplarının oluşturulmasında nasıl kullanılabileceğini bir örnek ile görelim.

Aşağıdaki makine – parça ilişki matrisini göz önüne alarak tek bağlantılı kümelendirme yönteminin adımlarını uygulamaya başlayalım.

**Tablo 7. Makine - parça matrisi**

	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>
M <sub>1</sub>	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
M <sub>2</sub>	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1
M <sub>3</sub>	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
M <sub>4</sub>	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1
M <sub>5</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0

**Kaynak :** Singh ( 1996 : 492 )

- **Adım 1 :** Her bir makine çifti için benzerlik katsayıları hesaplanır. Örneğin 1 ve 2 no' lu makineler arasındaki benzerlik katsayısı:

$$S_{12} = \frac{5}{9 + 5 - 5} = 0,55 \quad \text{şeklinde hesaplanır.}$$

Hesaplanan benzerlik katsayıları şunlardır :

**Tablo 8. Benzerlik katsayıları**

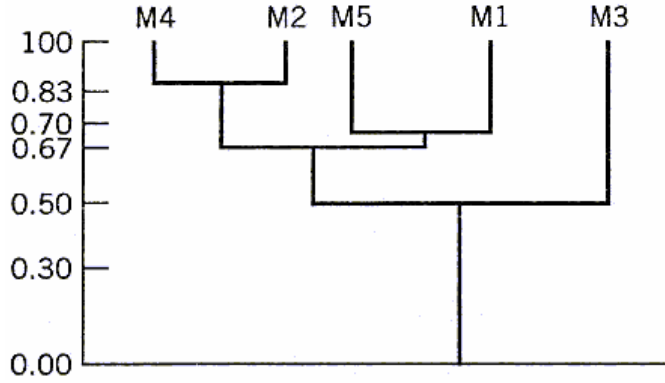
Makine Çifti	M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>
	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>5</sub>
<b>Benzerlik Katsayısı</b>	0,55	0,3	0,67	0,7	0	0,83	0,3	0	0,5	0,4

**Kaynak :** Singh ( 1996 : 495 )

- **Adım 2 :** İlk makine hücrelerini oluşturmak üzere en büyük benzerlik katsayısına sahip olan makine çifti tespit edilir. Örneğe göre en yüksek benzerlik katsayısı 0,83 bu değer ait olduğu makine çifti ise 2 ve 4 no' lu makinelerdir.
- **Adım 3 :** Örneğe göre 0, 83 değerinden sonra en yüksek benzerlik katsayısı değeri 0, 7, makine çifti ise 1 ve 5 no' lu makinelerdir. Bu makineler ikinci makine hücrelerini oluşturmak üzere kullanılacaktır.
- **Adım 4 :** Örneğe göre 0,7 değerinden sonra en yüksek benzerlik katsayısı 0, 67, bu değer ait olduğu makine çifti ise 1 ve 4 no' lu makinelerdir. 0, 67 değeri aynı zamanda 1, 2, 4 ve 5 no' lu makinelerin dördünün birden içinde yer aldığı hücrenin eşik değeridir. Daha sonraki en yüksek benzerlik katsayısı değeri 0, 55, makine çifti ise 1 ve 2 no' lu makinelerdir. 1 ve 2 no' lu makineler daha önce 0, 67 eşik değerinde aynı hücreye atandığından dendrogramda 0, 55 eşik değerinin gösterilmesine lüzum yoktur. 3 ve 5 no' lu makinelerin benzerlik katsayısı olan 0,5 değeri ise tüm makinelerin bir arada yer aldığı hücrenin eşik değerini temsil etmektedir.

Oluşturulan hücreler neticesinde meydana gelen dendrogram şu şekildedir:

**Şekil 12. Örnekteki verilere ait dendrogram**



**Kaynak :** Singh ( 1996 : 495 )

Tek bağlantılı kümelendirme yöntemi, önemli makinelerin ve çok sayıda makinenin ihtiyaç duyulduğu durumlarda makinelerin gruplanmasında yapısal bir yol sağlamaktadır. Ayrıca yöntemin algoritmasının bilgisayar sistemlerine kolay entegre olması, gruplamayı yapacak kişi açısından önemli kolaylıklar sağlamaktadır (Bedworth ve diğ. , 1991 ).

Tek bağlantılı kümelendirme yöntemi, sağladığı kolaylıkların yanında çeşitli zayıf noktalara da sahiptir. Bu zayıf noktalardan ilki ve en önemlisi yöntemin algoritmasının sebep olduğu zincirleme problemidir ( Bedworth ve diğ. , 1991 ).

Zincirleme problemi, iki ya da daha fazla hücrenin bu hücrelerde bulunan birer eleman arasındaki yüksek benzerliğe göre birleştirilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Oysa ki birleştirilen hücrelerin elemanlarının çoğunluğu arasında nispeten düşük benzerlikler olabilmektedir. Mesela yukarıdaki örnekte 2 ve 4 no' lu makinelerin ve 1 ve 5 no' lu makinelerin oluşturdukları iki makine hücresi, 1 ve 4 no' lu makineler arasındaki 0, 67 değerine sahip bir benzerlik katsayısından ötürü söz konusu eşik değerinde birleştirilmiştir. Oysa ki birleştirilen bu hücrelerdeki 1 ve 2 no' lu makineler arasında 0, 55 ve 2 ve 5 no' lu makineler arasında da 0,3 değerlerine sahip benzerlik katsayıları yer almaktadır.

Yukarıdaki örnek için oluşturulan dendrograma baktığımızda ( M<sub>2</sub>, M<sub>4</sub> ), ( M<sub>1</sub>, M<sub>5</sub> ), ( M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>5</sub> ) ve ( M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>5</sub> ) olmak üzere makinelerin 4 farklı grup halinde gruplandığı görülmektedir. İşte tek bağlantılı kümelendirme yönteminin bir

sıkıntısı da bu noktada meydana gelmektedir. Algoritma, oluşturulan bu gruplardan hangisinin en ideal olduğu hakkında fikir vermemektedir. Çünkü, gruplandırmanın nerede sonlanacağına karar vermek için daha fazla bilgiye ihtiyaç vardır. Grup içi ve gruplar arası hareketler, makine kullanım oranları, planlama ve kontrol faktörleri ve yönetim kararları bu konuda gözden geçirilmesi gereken diğer hususlardır ( Bedworth ve diğ. , 1991 ).

Darboğaz makinelerin ne zaman temin edilmesi gerektiğinin belirgin olmaması da tek bağlantılı kümelendirme yönteminin diğer bir kısıtı olarak düşünülebilir ( Bedworth ve diğ. , 1991 ).

#### **2.2.2.2.2. Ortalama Bağlantılı Kümelendirme Tekniği**

Tek bağlantılı kümelendirme yönteminin en temel sorunu olan zincirleme problemini çözmek üzere Seifoddini ve Wolfe, ‘ ortalama bağlantılı kümelendirme ’ yöntemini geliştirmişlerdir. Yöntemde, birleştirilmek istenen iki küme tek bağlantılı kümelendirme yönteminde olduğu gibi söz konusu kümelerde bulunan birer eleman arasındaki yüksek benzerliğe göre değil; birleştirilmek istenen kümelerdeki bütün elemanlar arasındaki ortalama benzerliğe göre birleştirilmektedir. Yani birleştirilen iki kümenin eşik değeri, kümelerdeki tüm elemanlar arasındaki benzerlik katsayılarının ortalamasına eşit olmaktadır ( Seifoddini ve Wolfe, 1986; Çöl, 2003 ).

Ortalama benzerlik katsayısının hesaplanabileceği çok sayıda yol söz konusudur. Bunlardan biri de Sokal ve Michner tarafından geliştirilen ağırlıklandırılmamış çift – grup yöntemidir. Sokal ve Michner, iki küme arasındaki ortalama benzerlik katsayısını şu formülle hesaplamıştır ( Bedworth ve diğ. , 1991 ):

$$S_{ij} = \frac{s_{ij}}{N_i * N_j}$$

$S_{ij}$ : İ ve J kümeleri arasındaki ortalama benzerlik katsayısı

$s_{ij}$ : İ ve J kümelerindeki tüm elemanlar arasındaki benzerlik katsayılarının toplamı

$N_i$ : İ kümesindeki eleman sayısı

$N_j$ : J kümesindeki eleman sayısı

Ortalama bağlantılı kümelendirme algoritması şu adımlardan oluşur :

- **Adım 1 :** Her makine çifti arasındaki benzerlik katsayıları hesaplanır.
- **Adım 2 :** İlk hücreyi oluşturmak üzere en benzer ( en büyük katsayıya sahip ) çift tespit edilir.
- **Adım 3 :** En benzer makine çifti tek bir makineymiş ( ilk hücre ) gibi düşünülerek, tüm makineler arasındaki ortalama benzerlik katsayıları hesaplanır.
- **Adım 4 :** İkinci hücreyi oluşturmak üzere en benzer çift yeniden tespit edilir.
- **Adım 5 :** 3. ve 4. adımlar tüm makineler aynı hücrede kümelendirilene kadar tekrarlanır.

Şimdi de, makine gruplarının oluşturulmasında ortalama bağlantılı kümelendirme algoritmasının nasıl kullanılabileceğini bir örnek üzerinde görelim.

Aşağıdaki makine – parça matrisini göz önüne alarak algoritmanın adımlarını uygulamaya başlayalım.

**Tablo 9. Makine - parça matrisi**

	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>
M <sub>1</sub>	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
M <sub>2</sub>	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
M <sub>3</sub>	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
M <sub>4</sub>	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0
M <sub>5</sub>	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0

**Kaynak :** Bedworth ve diğ. ( 1991 : 207 )

- **Adım 1:** Bütün makineler arasındaki benzerlik katsayıları hesaplanır. Örneğin 1 ve 2 nolu makineler arasındaki benzerlik katsayısı :

$$S_{12} = \frac{0}{5+5-0} = 0 \quad \text{şeklinde hesaplanır.}$$

Hesaplanan benzerlik katsayılarını aşağıdaki benzerlik matrisinde görebilmekteyiz.

**Tablo 10. Benzerlik matrisi**

	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>
M <sub>1</sub>	-				
M <sub>2</sub>	0	-			
M <sub>3</sub>	0	0,8	-		
M <sub>4</sub>	0,12	0,5	0,33	-	
M <sub>5</sub>	0,8	0	0	0	-

**Kaynak :** Bedworth ve diğ. ( 1991 : 208 )

- **Adım 2:** İlk makine hücrelerini oluşturmak üzere, en benzer makine çifti tespit edilir. Örneğe göre, en benzer makine çifti 0,8 katsayısına sahip olan 2 ve 3 nolu makineler ile 1 ve 5 nolu makinelerdir.
- **Adım 3:** İlk makine hücrelerini oluşturmak üzere 2 ve 3 nolu makineleri seçtiğimizde, söz konusu makineler tek bir makineymiş gibi düşünülerek tüm makineler arasındaki ortalama benzerlik katsayıları hesaplanır. Buna göre, hesaplamaların yapılacağı makineler 1, 23, 4 ve 5 nolu makinelerdir. Örneğin 23 ve 1 nolu makineler arasındaki ortalama benzerlik katsayısı :

$$S_{23,1} = \frac{S_{12} + S_{13}}{N_{23} * N_1} = \frac{0 + 0}{2 * 1} = 0 \quad \text{şeklinde hesaplanır.}$$

Hesaplanan ortalama benzerlik katsayıları şunlardır :

**Tablo 11. Benzerlik matrisi**

	M <sub>1</sub>	M <sub>23</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>
M <sub>1</sub>	-			
M <sub>23</sub>	0	-		
M <sub>4</sub>	0,12	0,41	-	
M <sub>5</sub>	0,8	0	0	-

**Kaynak :** Bedworth ve diğ. ( 1991 : 211 )

- **Adım 4:** İkinci makine hücrelerini oluşturmak üzere, en benzer makine çifti yeniden tespit edilir. Hesaplanan ortalama benzerlik katsayılarına göre bu çift, 0,8 katsayısına sahip olan 1 ve 5 nolu makinelerdir.
- **Adım 5:** 1 ve 5 nolu makineler tek bir makineymiş ( ikinci hücre ) gibi düşünülerek tüm makineler arasındaki ortalama benzerlik katsayıları yeniden hesaplanır. Örneğin 15 ve 23 nolu makineler arasındaki ortalama benzerlik katsayısı :

$$S_{15, 23} = \frac{S_{12} + S_{13} + S_{25} + S_{35}}{N_{15} * N_{23}} = \frac{0 + 0 + 0 + 0}{2 * 2} = 0 \text{ dir.}$$

Hesaplanan ortalama benzerlik katsayıları şunlardır :

**Tablo 12. Benzerlik matrisi**

	M <sub>15</sub>	M <sub>23</sub>	M <sub>4</sub>
M <sub>15</sub>	-		
M <sub>23</sub>	0	-	
M <sub>4</sub>	0,06	0,41	-

**Kaynak :** Bedworth ve diğ. ( 1991 : 211 )

Üçüncü makine hücrelerini oluşturmak üzere, yeniden en benzer makine çifti tespit edilir. Bu çift 0,41 katsayısına sahip olan 23 ve 4 No ' lu makinelerdir. 23 ve 4 No ' lu makineler tek bir makineymiş gibi düşünülerek, tüm makineler arasındaki ortalama benzerlik katsayıları yeniden hesaplanır.

Sonuç olarak 15 ve 234 No ' lu makineler arasındaki ortalama benzerlik katsayısı :

$$S_{15, 234} = \frac{S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{25} + S_{35} + S_{45}}{N_{15} * N_{234}} = \frac{0 + 0 + 0,12 + 0 + 0 + 0}{2 * 6} = 0,01$$

olarak hesaplanır. Ve 15 ve 234 nolu makineler 0,01 benzerlik seviyesinde birleştirilerek 15234 makine hücresi oluşturulur.

Seifoddini, ayrıca hücre içi ve hücrelerarası malzeme taşıma maliyetlerinin ve parça üretim miktarlarının da göz önünde bulundurarak ortalama benzerlik katsayılarının hesaplandığı çeşitli modeller geliştirmiştir ( Bedworth ve diğ. , 1991 ). Bilindiği üzere, üretim miktarı direkt olarak taşıma maliyetlerini etkilemektedir. Sonuç olarak, üretim miktarı ile ağırlıklandırılmış bir benzerlik katsayısının kullanımı hücrelerarası hareket miktarını ve hücrelerarası malzeme taşıma maliyetlerini azaltacaktır ( Seifoddini ve Hsu, 1994 ). Geliştirilen modeller ayrıca, darboğaz makineleri de tanımlamakta ve söz konusu makinelerin temininin işletme açısından ekonomik olup olmadığı hakkında fikirler de vermektedir ( Bedworth ve diğ. , 1991 ).

Literatürde yer alan ve hiyerarşik kümelenendirme üzerine yapılan diğer çalışmalar ise şunlardır :

Stanfel, maksimum ve minimum hücre boyutları kısıtlarını içeren bir kümelenendirme algoritması geliştirmiştir. Söz konusu algorithmada ilk olarak tüm makinelerin aynı hücreye ait olduğu varsayılmakta, daha sonra ise makineler işleyecekleri parça sayısının çokluğuna göre hücre boyutu kısıtları çerçevesinde hücreden çıkarılmaktadır. Bu özelliğiyle algoritmanın bölücü bir yapıya sahip olduğu ileri sürülmekte ve geliştirilen yöntem ' bölücü yöntem ' adı verilmektedir. Yöntemin temel amacı, hücrelerarası ve amaç dışı makine kullanımını en küçükleme ( Stanfel, 1985 ).

Mosier ve Taube, grup teknolojisi için iki çeşit benzerlik ölçütü tanımlamışlardır. Bunlardan ilki ' toplamsal benzerlik katsayısı ' olarak adlandırılan, tek bağlantılı kümelenendirme yönteminde Mc Auley tarafından kullanılan benzerlik ölçütünün ağırlıklandırılmış halidir. Toplamsal benzerlik katsayısı hesaplanırken makine – parça ilişki matrisi, parçaların üretim miktarları ile ağırlıklandırılmaktadır. Diğer benzerlik katsayısı ise tipik benzerlik ölçütlerine göre hesaplanan ve ' arttırıcı benzerlik katsayısı ' olarak adlandırılan değerdir. Her iki benzerlik katsayısı da  $-1$  ile  $+1$  arasında değerler alarak sırasıyla en küçük ve en büyük benzerlikleri ifade etmektedir ( Mosier ve Taube, 1985 ).

Mosier, benzerlik katsayılarının gruplama probleminde parçaların nispi önemlerini dikkate aldığını yani makine – parça ilişki matrisi dışındaki değerlerle ilgilendiğini ifade etmiştir. Mosier' e göre, hücreler arası taşınımlar gibi çoğu performans ölçütü, benzerlik ölçütlerini değerlendirmede kullanılmaktadır. Yani, kümelemede kullanılan yöntemler



için performans ne ise, benzerlik ölçütü de yöntemde kullanılan performans kriterlerine göre tanımlanmaktadır. Mesela, hücrelerarası seyahatlerin en küçüklenmesi performans ölçütü olarak görüldüğünde, tam bağlantılı kümelendirme algoritması benzerlik katsayısını söz konusu kritere göre hesapladığından, performansı en iyi şekilde sağlayan yöntem olarak değerlendirilmektedir ( Mosier, 1989 ).

Seifoddini, en çok kullanılan hiyerarşik kümeleme yöntemleri olan tek bağlantılı kümelendirme ve ortalama bağlantılı kümelendirme yöntemlerinden oluşan mukayeseli bir çalışma da sunmuştur. Tek bağlantılı kümelendirme, her ne kadar uygulama açısından nispeten kolay olsa da, üyeler arasındaki tek bağlantıdan kaynaklanan hücreler arası yoğun taşınım nedeniyle yöntemin hücre oluşturmada birtakım sıkıntıları söz konusudur. Literatürde zincirleme problemi olarak bahsedilen bu durum, oluşturulan hücrelerdeki çoğu makine arasında yaşanmaktadır. Hatta birçok örnekte hücrelerde yer alan bazı makinelerin verimliliğe katkısının dahi olmadığı gözlemlenmektedir. Tek bağlantılı kümelendirme algoritması, zincirleme sorunundan başka çok sayıda istisnai parçalara ve darboğaz makinelere bunun sonucunda da hücreler arası yoğun taşınımlara sebep olmaktadır. Tüm bu sorunların üstesinden gelmek üzere geliştirilen ortalama bağlantılı kümelendirme yöntemi ise, uzun hesaplama sürelerine malolmaktadır. Bunun en önemli nedeni, yöntemin hücrelere makine atamada kullandığı tek bağlantılı kümelendirme yöntemine göre nispeten düşük eşik değerlerine sahip ortalama benzerlik katsayısı kriteridir ( Seifoddini, 1989 ).

Tam, parçaları gruplamada parçaların işlem sıralarını ve makine kaynak gereksinimlerini de dahil eden bir benzerlik katsayısı önermiştir. Söz konusu katsayılar aslında benzerlikten çok farklılık ya da uzaklık ölçülerini ifade etmektedir. ‘ İlişkisel bağlantılı kümelendirme ’ olarak adlandırılan bu model, parça gruplarını belirlemede kullanılan ‘ en yakın komşu küme ’ metodu olarak da bilinir. Gerçekte modelin algoritması, benzerliklerin bir uzaklık ölçüsü kullanılarak belirlenmesi dışında bir çeşit tek bağlantılı kümelendirme teknolojisidir. Ayrıca modelde, iki grubun birleştirildiği eşik değerleri bir öncelik ya da önemlilik sırası teşkil etmek zorunda da değildir. Modelin en temel avantajı, farklı parçaların aynı ya da benzer işlemleri için makinelerin parça aileleri arası geçişlerine izin veren bir yapısının olmasıdır ( Tam, 1990 ).

Gupta, makineler arasındaki birleşme seviyelerini oluşturmak üzere üretim verilerine dayalı bir benzerlik ölçütü kullanarak tek bağlantılı, ortalama bağlantılı, tam bağlantılı ve ağırlıklı ortalama bağlantılı kümelendirme algoritmalarının yarattığı zincirleme etkilerini değerlendiren bir çalışma sunmuştur. Söz konusu çalışmada, kümeler oluşumlarının dört farklı seviyesinde analiz edilmiş, ayrıca en büyük ve en küçük hücrelerin büyüklükleri ve bu büyüklüklerin kümelendirme problemindeki makine sayısına oranları zincirlemenin şiddet ölçüleri olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, kümelendirme seviyesi yükseldikçe hücre büyüklüklerinin arttığı yani hücre büyüklüğü ile kümelendirme seviyesi arasında bir doğru orantının yer aldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışmayla birlikte, kümelendirme metodunun seçiminin zincirleme problemini etkilediği ve tam bağlantılı kümelendirme yönteminden sırasıyla ağırlıklı ortalama, ortalama ve tek bağlantılı kümelendirme yöntemlerine doğru zincirleme probleminin daha kötü bir hal aldığı sonucuna varılmıştır ( Gupta, 1991 ).

Taboun ve diğerleri, parçaların makine, alet ve işlem gereksinimlerine dayalı üç benzerlik ölçütü kullanılarak oluşturulan grupların performanslarını değerlendirmek üzere oluşturdukları bir benzetim modelinin sonuçlarını açıklayan bir çalışma ortaya koymuşlardır. Modelde, tek bağlantılı kümelendirme yöntemi kullanılarak oluşturulan gruplar hakkında yapılan istatistiksel bir analiz, gruplamada kullanılan her bir benzerlik ölçütünün birbirlerinden anlamlı derecede farklı sonuçlar doğurduğuna işaret etmektedir. Yapılan çalışma, makine gereksinimleri benzerlik ölçütüne göre oluşturulan parça ailelerinin, alet ya da işlem gereksinimleri benzerlik ölçütüne göre oluşturulan parça ailelerinden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Yine çalışma, hücrelerde üretilecek parça miktarının da gruplama kriterine göre değişim gösterdiğini hatta oluşturulan modele göre işlem sırası benzerlik ölçütüne göre gruplamanın, diğer benzerlik ölçütlerine göre gruplamalara kıyasla hücre içerisinde en az parça üretimine sebep olduğunu saptamıştır. Ayrıca, gruplama kriterinin hücredeki verimlilik değişimini oldukça az etkilediği de tespit edilmiştir ( Taboun ve diğ. , 1991 ).

### 2.2.2.3. Hiyerarşik Olmayan Kümelenendirme Teknikleri

Hiyerarşik olmayan kümelenendirme teknikleri, makinelerin ilk kümeleme sonuçlarının elde edilmesiyle başlar. Sözkonusu tekniklerin sahip oldukları algoritmaların girdi olarak kullandıkları makine – parça ilişki matrisinde kusursuz bir köşegenel yapı, yani birbirinden tam olarak ayrılabilir kümeler elde edilinceye kadar parça ailelerinin ve makine hücrelerinin oluşumları yinelenir ( Ramabhata ve Nagi, 2005 ).

Hiyerarşik olmayan kümelenendirme teknikleri, önceden belirlenmiş küme sayılarını oluşturmak için, benzerlik ya da mesafe ölçütünü kullanarak imalat verisini ( parça – makine) kümelendirir ( Geyik, 2003 ).

Hiyerarşik olmayan kümelenendirme tekniklerinde algoritmalar, her ne kadar hücre boyutu veya maksimum hücre sayısı gibi kısıtlamalara sahip olmasalar ve makine – parça matrisini kullanarak doğal bir gruplama yapmaya çalışsalar da, elde edilen çözümün kalitesi daima ilk olarak oluşturulan makine kümelerine bağlıdır. Ayrıca söz konusu algoritmalar, hücrelerde yer alan makinelere atanan iş yükü bakımından kapasite ölçülerini göz önünde bulundurmalarına rağmen, alternatif rotalama problemleri için yetersiz kalmaktadırlar ( Ramabhata ve Nagi, 2005 ).

Hiyerarşik olmayan kümelenendirme tekniklerinin diğer bir zayıf noktası da oluşturulacak küme ( hücre ) sayılarının önceden belirlenme zorunluluğudur.

Miltenburg ve Zhang tarafından yapılan ve grup teknolojisinde hücre oluşturma problemini çözmek üzere kullanılan dokuz farklı kümeleme metodunu değerlendiren karşılaştırmalı ve kapsamlı çalışma, hiyerarşik olmayan kümeleme metotlarının hiyerarşik kümeleme metotları ve makine – parça grup analizi tekniklerine kıyasla daha iyi çalıştığını ortaya çıkarmıştır ( Gonçalves ve Resende, 2004 ).

Bugüne kadar geliştirilen ve literatürde hiyerarşik kümelenendirme teknikleri olarak bahsedilen 3 çeşit kümelenendirme tekniği söz konusudur. Bu teknikler İdeal Çekirdek Algoritması ( ISNC ), ZODIAC ve GRAFICS teknikleridir. Şimdi de sırasıyla bu teknikleri inceleyelim.

### **2.2.2.3.1. İdeal Çekirdek Algoritması**

Chandrasekharan ve Rajagopalan, grup teknolojisinde parça ailelerinin ve makine hücrelerinin eş zamanlı oluşumlarını sağlamak üzere üç aşamalı bir işleyişe sahip hiyerarşik olmayan kümelendirme yaklaşımı, 'İdeal Çekirdek Algoritması' nı geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelde ilk aşamada, gruplama problemi yarısı makinelerden diğer yarısı da parçalardan oluşan iki parçalı bir grafik şeklinde tarif edilmekte ve hiyerarşik olmayan bir gruplama yapmak üzere oluşturulacak maksimum grup sayısı belirlenmektedir. İkinci aşamada, hücre içi makine kullanımını en büyükleme ve hücrelerarası taşınımı en küçükleme amaçlarını gerçekleştirmek üzere makine – parça ilişki matrisinin satır ve sütunları yeniden düzenlenmektedir. Modelin son aşamasında ise, parça ve makine grupları için 'ideal çekirdekler' diğer bir deyişle oluşumlar belirlenerek gruplar tekrar düzenlenmektedir. Söz konusu algoritma, birbirinden tamamen ayrılan kümeler elde edilinceye kadar tekrarlanır. Modelin sağladığı çözümler ise, 'gruplama etkinliği' adı verilen bir performans ölçütü yardımıyla değerlendirilmektedir (Chandrasekharan ve Rajagopalan, 1986b).

Chandrasekharan ve Rajagopalan, ideal çekirdek algoritmasının genişletilmiş bir çeşidi olarak yine hiyerarşik olmayan bir algoritmaya sahip, ZODIAC tekniğini geliştirmişlerdir. Söz konusu teknikte, parça aileleri ve makine hücreleri ilk olarak doğal kümeler halinde gruplandırılmakta, daha sonra da birbirinden ayrılabilir kümeler oluşturmak üzere ideal çekirdekler oluşturulmaktadır (Chandrasekharan ve Rajagopalan, 1987).

### **2.2.2.3.2. GRAFICS Tekniği**

Srinivasan ve Naredran, hücrelerarası hareketleri ve makinelerin boştaki sürelerini en küçükleme amacıyla bir çeşit atama modeline sahip, hiyerarşik olmayan kümeleme tekniği GRAFICS' i geliştirmişlerdir. Söz konusu tekniğin algoritması, hücrelere atanacak makineler arasındaki benzerlik katsayılarının hesaplanması ve bu benzerlik katsayılarını en büyükleyecek şekilde makinelerin hücrelere atanması ile başlamaktadır. Daha sonra oluşturulan hücrelere parçalar 'en çok yoğunluk kuralı' denilen kurala dayalı olarak atanırlar. Söz konusu atama modelinin çıktısı, aynı zamanda hiyerarşik olmayan bir kümeleme algoritmasının da girdisi olan ilk parça aileleri ve ilk makine hücreleridir. Modelde son olarak, parça aileleri ve makine hücreleri makine – parça

matrisinde kusursuz bir köşegenel yapı elde edilinceye kadar satır ve sütunların düzenlenmesiyle kümelendirilmektedir ( Srinivasan ve Naredran, 1991 ).

Yapılan araştırmalar, GRAFICS tekniğinin ZODIAC tekniğine göre istisnai parça ve darboğaz makine sayıları bakımından daha iyi sonuçlar sağladığını ortaya çıkarmıştır ( Geyik, 2003 ).

Hiyerarşik olmayan kümelendirme teknikleri olarak geliştirilen tekniklerin birbirlerinden ayrıldıkları nokta, çözümün kalitesinin bağlı olduğu ilk hücreler elde edilinceye kadar yapılan işlemlerdir. Oluşturulan ilk hücreler, tüm tekniklerde hiyerarşik olmayan bir algoritmanın girdisi olarak kullanılmakta ve daha sonra yeniden düzenlenerek en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılmaktadır.

#### **2.2.2.4. Matematiksel Programlama Teknikleri**

Matematiksel programlama teknikleri, kümelendirme problemini bir çeşit matematiksel optimizasyon problemi olarak ele almaktadır. Söz konusu tekniklerde kümelendirme problemi, farklı amaç ve kısıtlardan oluşan lineer veya lineer olmayan bir optimizasyon problemi olarak tarif edilmektedir ( Yu ve diğ. , 2004 ).

Matematiksel programlama tekniklerini grup teknolojisine uygularken, çoğu model parça ve / veya makine çifti arasındaki uzaklığı hesaba katmaktadır. Zira kullanılan modeldeki amaç fonksiyonu da parça ve / veya makine çiftleri arasındaki uzaklığı en küçükleme ya da diğer bir deyişle benzerliği ve uyumluluğu en büyükleme üzere oluşturulmaktadır ( Chang ve diğ. , 1998 ).

Matematiksel programlama modellerinin biri emredici diğeri de açıklayıcı olmak üzere iki temel kategorisi vardır. Doğrusal ( lineer ) programlama modelleri emredici bir yapıya sahiptir. Çünkü doğrusal modellerde amaç fonksiyonu önceden tarif edilmekte ve model başlar başlamaz, amaç fonksiyonunu optimize eden karar değişkenleri tespit edilmektedir. Öte yandan, açıklayıcı modeller ise karar değişkenlerinin açıklanmasıyla başlar ve benzetim boyunca bütün bir sistemin performansı hesaplanır ( Chang ve diğ. , 1998 ).

Matematiksel programlama tekniklerinin önemli bir amacı da, her parça ve her makine çeşidi için en uygun proses planlarının seçimine olanak tanıyarak parça ailelerini ve

makine gruplarını tanımlamak dolayısıyla makinelere yapılan yatırımları en küçükmektir. Üretimi yapılacak her parça için yalnızca bir tane proses planının olması, makine çiftleme yapmadan birbirinden tam olarak ayrılabilen kümeler oluşturma imkanını sınırlayacaktır. Makine çiftleme ise, açık olarak ilave yatırım anlamına gelmektedir. Bu arada, alternatif proses planlarının varlığı da ayrılabilir kümelerin oluşumunu garanti etmez. İşte matematiksel programlama tekniklerinin her parça için alternatif proses planlarına olanak tanınması ve söz konusu tekniklerde makinelerin atamasının hücre oluşumu esnasında yapılması, en uygun proses planlarının seçimini mümkün kılmaktadır. Dolayısıyla da işletmeler ilave yatırımlara maruz kalmamaktadır. Bu durum ayrıca, hücrelerarası malzeme taşıma maliyetlerindeki azalmanın da zeminini hazırlamaktadır ( Singh, 1996 ).

Matematiksel programlama tekniklerinin bahsedilen avantajlarının yanında bir takım sıkıntıları da söz konusudur. Tekniklerin çoğunun lineer veya lineer olmayan tamsayılı programlama modelleri gerektirmesi, hesapsal karmaşıklıkları nedeniyle geniş çaplı kümelendirme problemlerinin çözümlenmesinde yetersiz kalmalarına neden olmaktadır. Ayrıca bu tekniklerin çoğu, makine hücrelerini ve parça ailelerini eş zamanlı oluşturamazlar. Söz konusu tekniklerin bir diğer sıkıntısı da, hücre boyutu, hücre sayısı vb. kısıtlar nedeniyle gruplama ve doğal hücre oluşumunu engellenmesidir ( Çelebi, 2004 ).

Matematiksel programlama teknikleri ile ilgili yapılan genel açıklamalardan sonra şimdi de literatürde yer alan ve grup teknolojisinde kümelendirme problemine çeşitli çözümler üreten teknikleri detaylarıyla inceleyelim.

#### **2.2.2.4.1. P – Medyan Tekniği**

Kusiak, kümeleme problemini tanımlamak üzere tam sayılı programlama yapısına sahip  $p$  – medyan modelini önermiştir. Önerilen modelde, her parça çifti arasında bir benzerlik katsayısı hesaplanmakta ve kümeleme problemi parçalar arasındaki benzerlik ölçüsünü en büyükleme ve her parçayı yalnızca bir aileye atama amaçları ile tamsayılı bir programlama problemi gibi tarif edilerek çözümlenmektedir. Modelde, söz konusu kümeleme probleminin çözümü için oluşturulmak istenen parça ailesi sayısı bilinmek zorundadır. Zira, parça ailesi sayısı problemin bir kısıtı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca modelde, parça ailelerini oluşturan her parçaya ait bir proses planı olduğu varsayılmakta

ve bu proses planlarından her parça ailesi için yalnızca biri seçilmektedir. Önerilen p – medyan modelinin en iyi sonucu elde etmesi bir bakıma da problem ölçeğinin küçüklüğüne bağlıdır ( Kusiak, 1987 ).

#### **2.2.2.4.2. Amaç Programlama Tekniği**

Han ve Ham, grup teknolojisinde parça ailesi oluşturma problemini çözmek üzere tamsayı bir amaç programlama modeli önermişlerdir. Aralarındaki benzerliğin Minkowski uzaklık ölçütü tarafından belirlendiği parça sınıflandırma kodları, modelin girdisi olarak kullanılmaktadır. Modelin amaç fonksiyonu, her parçanın yalnızca bir aileye atanması ve tüm değişkenlerin tamsayı olması kısıtları çerçevesinde aile üyelerinin aynı aile kodlarına ya da benzer sayı basamaklarına sahip olmalarını sağlamak ve söz konusu uzaklık ölçülerini en küçükleme üzere oluşturulmaktadır. Önerilen modelin çıktısı ise, tüm parçalar arasındaki farklılıkların optimize edildiği bir parça listesidir ( Han ve Ham, 1986 ).

#### **2.2.2.4.3. Dinamik Programlama Tekniği**

Studel ve Ballakur, makine gruplama problemini çözmek üzere iki aşamalı sezgisel bir dinamik programlama modeli sunmuşlardır. Sunulan modelde, ‘ hücre bağı gücü ’ olarak adlandırılan ve makineler arasındaki yakınlığın ölçüsünü gösteren yeni bir benzerlik ölçütü kullanılmaktadır. Söz konusu ölçüt, parçaların makinelerdeki işlem süreleri ve müsaade edilen işlem hazırlık süreleriyle ilgilidir. Modelin ilk aşamasında, bağ gücü toplamlarını en büyüleyen en ideal makine zincirini ( sıralamasını ) belirlemek üzere dinamik programlama kullanılmaktadır. İkinci aşamada ise, hücre içerisinde müsaade edilen maksimum makine sayısı kısıtına bağlı olarak hücreleri oluşturmak üzere, makine zincirini bölümlere ayıran sezgisel bir işlem uygulanmaktadır. Studel ve Ballakur, sundukları modelin makine – parça gruplarını belirlemede oldukça tutarlı olduğunu ve modelin makine - parça ilişki matrisinin ilk haline bağlı sonuçlar üretmediğini iddia etmişlerdir ( Studel ve Ballakur, 1987 ).

#### **2.2.2.4.4. Atama Tekniği**

Srinivasan ve diğerleri, p – medyan modeline alternatif sayılabilecek, atama algoritmasına sahip bir tamsayı programlama modeli önermişlerdir. Söz konusu araştırmacılar, p – medyan modelinin oluşturulması gereken parça ailesi sayısını bir

parametre gibi kullanmasının en iyi sonuca ulaştırmayacağını, ideal grup sayısının tespit edilmesi için p – medyan algoritmasının en az iki sefer çalıştırılması gerektiğini ve ayrıca ilk çözümün daha iyi çözümler için genellikle başka bir algoritmanın kullanımını zorunlu hale getirdiğini ileri sürmüşlerdir. Yine araştırmacılar, oluşturulacak grup sayısının kümeleme problemi için bir kısıt olmasının kümelemeyi yapacak analistin doğal kümeleri tanımlayabilme şansını azaltacağını düşünmüşlerdir. Önerilen atama modeli, ilk makine hücrelerinin ve ilk parça ailelerinin oluşturulmasında kriter olarak parçalar ve makineler arasındaki benzerlik katsayılarını kullanmaktadır. Oluşturulan parça aileleri daha sonra birbirleriyle alt grup olan diğer parça aileleriyle birleştirilmekte ve son olarak da darboğaz makine ve istisnai parça sayısını en küçükleyecek şekilde makine hücrelerine atanmaktadır ( Srinivasan ve diğ. , 1990 ).

#### **2.2.2.4.5. Dörtlü Programlama Tekniği**

Logendran, hücre içi ve hücrelerarası malzeme ve / veya parça taşınımını en küçükleyecek hücre oluşumlarını elde etmek üzere dörtlü bir 0 – 1 programlama modeli önermiştir. Önerilen modelin kısıtları, her parça ve / veya makinenin yalnızca bir parça ailesi ve / veya makine hücresine atanması ve bir parçaya ait tüm işlemlerin aynı hücre içerisinde tamamlanması zorunluluklarıdır. Modelde, hücrelerdeki anahtar makineleri belirlemek üzere üç çeşit farklılık ( uzaklık ) ölçütü kullanılmaktadır. Model, hücre sayıları, hücre başına düşen makine sayıları, işlem sayıları, işlem süreleri ve makine kapasiteleri gibi verilerin bilinmesini zorunlu kılmaktadır. Modelin, anahtar iş istasyonlarını tanımlama, kümeleme, düzenleme ve parça ailelerini hücrelere atamadan oluşan dört aşamalı bir algoritması söz konusudur ( Logendran, 1991 ).

Grup teknolojisinde kümelendirme problemini matematiksel programlama modelleriyle çözmek üzere yapılan diğer çalışmalar ise şunlardır :

Purchase, makine – parça gruplama problemini faktör maliyetlerini en küçükleme amacına yönelik olarak çözmek üzere bir çeşit doğrusal programlama modeli kullanmıştır. Modelde, parçaları ve gördükleri imalat işlemlerini kodlamak üzere bir çeşit kodlama ve sınıflandırma sistemi kullanılmaktadır. Kodların oluşturulmasının ardından, parça ailelerini oluşturmak üzere söz konusu kodlar bir çeşit benzerlik ölçüsüne dönüştürülmektedir. İşlem sürelerinin, makine kapasitelerinin ve her parçaya



ait imalat gereksinimlerinin bilindiği varsayılan modelde parçalar yalnızca bir aileye ait olmak gibi bir kısıtla karşı karşıya değildirler ( Purcheck, 1975 ).

Selvan ve Balasubramanian, parçaları işlem sıralarına göre gruplayan bir tamsayı programlama modeli sunmuşlardır. Modelin amaç fonksiyonu, malzeme taşıma ve makinelerin boşa kalma maliyetlerini en küçükleme üzere hücre sayısı ve her parçanın yalnızca bir parça ailesine atanması kısıtları çerçevesinde oluşturulmaktadır. Parça ailelerini belirlemede, parçaların işlem sıraları arasındaki benzerliği ve oluşturulabilecek en fazla aile sayısını kriter olarak kullanan sezgisel bir algoritmaya sahip olan modelde, bir çeşit benzerlik matrisi oluşturulmaktadır. Söz konusu matrisin oluşturulması esnasında veri olarak tüm parçaların işlem sıraları, üretim miktarları ve her hücre çifti arasındaki malzeme ve / veya parça taşıma maliyetleri kullanılmaktadır ( Selvan ve Balasubramanian, 1985 ).

Choobineh, işlem sıralarını bir çeşit benzerlik kriteri olarak kullanan Jaccard benzerlik ölçütünün gelişmiş bir çeşidini benimsemiş ve tamsayılı bir programlama yaklaşımı önermiştir. Algoritma, ilk aşamada parça ailesi sayısı kısıtı olmadan benzerlik ölçütü kullanılarak doğal parça ailelerini belirleyen iki aşamalı bir prosedüre sahiptir. İkinci aşamada ise, makine hücrelerini oluşturmak ve hücrelerdeki makine yerleşimlerini belirlemek üzere doğrusal bir tamsayı programlama formülasyonu önerilmektedir. Modelin amaç fonksiyonu, üretim ve makinelerin temin ve bakım maliyetlerini en küçükleme üzere oluşturulmaktadır. Ayrıca model, her hücredeki makine çeşidini ve sayısını ve parça ailelerinin makine hücrelerine atanmasını da tanımlamaktadır. Modelin kısıtları ise makine kapasitesi, bütçe ve her parçanın yalnızca bir parça ailesine atanabilmesidir ( Choobineh, 1988 ).

Co ve Araar, makine – parça gruplama problemini çözmek üzere üç aşamalı bir matematiksel model sunmuşlardır. Modelde, ilk olarak her makineye atanan iş yükü ile söz konusu makinenin kapasitesi arasındaki sapmayı en küçükleyecek şekilde makinelerin kullanım oranlarını en büyükleme amacıyla işler makinelere atanır. Bu aşama için 0 –1 tamsayılı programlama modeli önerilmektedir. Modelin ikinci aşamasında, makineleri gerçekleştirdikleri işlemlerin benzerliğine göre kümeleyen derece sırası kümelenme ( ROC ) algoritmasının genişletilmiş bir versiyonu kullanılmaktadır. Son olarak modelin üçüncü aşamasında ise, her bir hücrede yer alması

gereken makine sayısını tespit etmek üzere bir çeşit ' direkt – arama ' algoritması kullanılmaktadır ( Co ve Araar, 1988 ).

Stanfel, makine yükleme kısıtları çerçevesinde hücrelerarası malzeme ve / veya parça taşıma hareketlerini en küçükleyen, doğrusal olmayan bir amaç fonksiyonuna sahip tamsayılı bir programlama modeli sunmuştur. Modelde, müsaade edilen makine çeşitlerinin ve sayılarının, parça sayılarının ve hücre sayılarının bilindiği varsayılmaktadır. Modelde amaç fonksiyonunu optimize etmek üzere, belirli olan imalat hücreleri için parça tipi atama yapılmakta yani parçalar belirli olan imalat hücrelerine atanmakta ve daha sonra söz konusu hücreler ikişer ikişer birleştirilmektedir. Stanfel' in hesapsal tecrübeleri Lagrangian gevşetme yaklaşımının uygulamada oldukça iyi çalıştığını ortaya çıkarmakta, bu nedenle de yazar sunduğu modelde söz konusu yaklaşımı sıkça kullanmaktadır ( Stanfel, 1989 ).

Gunasingh ve Lashkari, makinelerin işlem sürelerini ve kapasitelerini ve parçaların işlem gereksinimlerini göz önünde bulundurarak parça ailelerini ve makine hücrelerini eş zamanlı olarak oluşturan, iki adet 0 – 1 tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Önerilen modellerde, parça ailelerinin ve boyutları dahilinde her hücreye kabul edilebilecek makine sayılarının bilindiği varsayılmaktadır. Önerilen birinci modelde, makineler ve parçalar arasındaki uyumluluğun en büyüklenmesi amaçlanmaktadır. İkinci modelde ise, makinelerin hücrelere atanma maliyetlerinin ve hücrelerarası taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesi ile uğraşmaktadır ( Gunasingh ve Lashkari, 1990 ).

Jain ve diğerleri, esnek imalat sistemlerinde makine hücrelerini oluşturma ve imalattaki takım problemlerini önleme işlemlerini eş zamanlı olarak gerçekleştiren 0 – 1 tamsayılı bir programlama modeli sunmuşlardır. Modelin amaç fonksiyonu makine kapasiteleri, parçaların işlem gereksinimleri ve takımların ömürleri kısıtları çerçevesinde, parçaların işlem maliyetlerini ve makine ve takımların temin maliyetlerini en küçüklemek üzere oluşturulmaktadır. Model, üretim maliyetlerini en küçüklemek üzere ihtiyaç duyulan makine ve takım miktarının tam olarak tespitinde oldukça etkin çözümler üretmektedir. Sunulan model, her parçaya ait takım ihtiyaçları, işlem süreleri, işlem maliyetleri ve üretim miktarları ve her makine ve takıma ait maliyet ve kapasite gibi verilerin bilindiğini varsayarak çalışmaktadır ( Jain ve diğ. , 1991 ).

Boctor, makine gruplama probleminde analiste hücre büyüklüğünün kontrolünde esneklik sağlayan, karışık tamsayılı bir doğrusal programlama modeli sunmuştur. Boctor' a göre modelin hesapsal verimliliğini ve uygulanabilirliğini arttırmak adına bazı kısıtlar gevşetilebilir. Sunulan modelde, büyük çaplı kümeleme problemlerinin çözümünde analiste yardımcı olmak üzere bir çeşit benzetim algoritması çalıştırılmaktadır. Modelin amacı, istisnai parça ve darboğaz makine sayısını dolayısıyla da hücrelerarası malzeme ve / veya parça taşıma maliyetlerini en küçüklemek, her parça ve / veya makinenin yalnızca bir tek aile ve / veya hücreye atanmasını sağlamak ve daha önceden belirlenen hücre sayısını aşmayacak sayıda hücre oluşturmaktır. Modelde, oluşturulacak hücre sayısı, problemin bir kısıtı olarak değerlendirilmektedir ( Boctor, 1991 ).

Maimon ve Shtub, gruplama problemi için tüm parçaları ve makine kapasitelerini hesaba katarak makine ve / veya parça hazırlık sürelerini en küçüklemeyi amaçlayan, doğrusal olmayan bir karmaşık tamsayılı programlama modeli önermişlerdir ( Maimon ve Shtub, 1991 ).

Ventura, Chen ve Wu, parça gruplama problemini 0 – 1 doğrusal tamsayılı programlama ve Lagrangian ikili programlama modellerini kullanarak çözmeye çalışmışlardır (Chang ve diğ. , 1998 ).

Askin ve Standridge, bağımsız parça ve / veya makine gruplarını oluşturmak üzere makine – parça ilişki matrisini düzenlemek için parça işlemlerinin ve makinelerin atanmalarında kullanılan matematiksel bir model geliştirmişlerdir ( Chang ve diğ. , 1998 ).

Shafer, Kern ve Wei, hücresel imalattaki istisnai parça sorununu çözmek üzere matematiksel bir model sunmuşlardır. Söz konusu model, hücrelerarası transfer ve makine çoğaltma miktar ve maliyetlerini en küçükleme prensibi üzerine oluşturulmuştur ( Chang ve diğ. , 1998 ).

Nagi ve diğerleri, hücre oluşturma probleminin rotalama ve kapasite atama formülasyonunu dikkate alarak, problemi çözmek üzere bir çeşit dal ve sınır metodu kullanmışlardır ( Yu ve diğ. , 2004 ).

Won, iyileştirilmiş bir p – medyan yaklaşımına dayalı iki aşamalı bir metodoloji sunmuştur ( Gonçalves ve Resende, 2004 ).

Aktürk ve Türkcan, makine – parça gruplama problemiyle birlikte hücre içi yerleşim problemini de dikkate alarak, her iki probleme eş zamanlı çözümler üreten bütünlük bir algoritma önermişlerdir ( Aktürk ve Türkcan, 2000 ).

#### **2.2.2.5. Grafik Teori Teknikleri**

Grafik teori tekniklerinde makine – parça ilişki matrisi bir çeşit grafik tarafından temsil edilmektedir. Söz konusu tekniklerdeki genel işleyiş sırasıyla grafik analizi, makine hücrelerini oluşturma ve parçaları hücelere atama şeklindedir.

Grafik teori tekniklerinde kullanılan grafikler genel olarak üç çeşittir. Bunlar:

- İki parçalı grafik
- Geçiş grafiği
- Sınır grafiği' dir.

Sözkonusu grafikler arasından en çok kullanılanı iki parçalı grafikdir.

Grafik teori teknikleri ile ilgili yapılan genel tariflerden sonra şimdi de literatürde yer alan grafik teori yaklaşımlarına bir göz atalım.

Purcheck, planlama esnekliğini en büyükleyen bir kafes teori modeli önermiştir. Modelde ilk olarak verilerin kodlanması, boyutlarına göre sıraya konulması ve ardından da önem sırasına konulması modele hesapsal açıdan kolaylık katmaktadır. Modelde, nesnelere birbirleriyle karşılaştırılmalarında bir çeşit benzerlik ölçütü kullanılmakta ve ardından nesnelere ait kodlar anlamlı rakamlarına göre listelenmektedir. Daha sonra parçalar üyelik sıralarına göre gruplandırılmakta ve son olarak da gruplar birbirlerine yakınlıklarına göre birleştirilmektedir ( Purcheck, 1974 ).

Rajagopalan ve Batra, makine hücrelerini oluşturmak üzere makine grafiklerinin farklılıklarını kullanan bir grafik teori modeli kullanmışlardır. Sözkonusu modelde, grafiğin köşeleri makineleri, kenarları ise makinelerle bu makinelerde işlem gören parçalar arasındaki ilişkileri temsil etmektedir. Grafikte, her iki makinede de işlem

görmesi gereken parçaların söz konusu olduğu durumlarda makineleri temsil eden köşeler bir kenar çizgisi ile birleştirilmektedir. Rajagopalan ve Batra' nın kullandıkları modelde ürün için sabit bir talep olduğu, her makineye ait yalnızca tek bir kod numarası olduğu, işlem sıralarının tutarlı olduğu diğer bir ifadeyle değişmediği ve makinelerin hazırlık ve işlem sürelerinin hatasız ( optimal ) olduğu varsayılmaktadır. Modelin amacı, makine kapasite kısıtları çerçevesinde hücreler arası parça ve / veya malzeme taşıma maliyetlerini en küçükmektir. Her ne kadar, aynı makineden farklı hücrelerde de yer alabilse de model taşınım maliyetleri ve makinelerin boşa kalma maliyetleri bakımından hücre içi hareketleri önemsiz sayarak bir hücrede yer alabilecek farklı makine sayılarına bir sınırlama getirmektedir. Söz konusu model, ilk aşamasında önceden belirtilen özelliklere göre bir grafiğin oluşturulması için makine – parça ilişki matrisinin kullanıldığı üç aşamalı bir işleyişe sahiptir. Grafiğin oluşturulmasının ardından aralarında güçlü ilişkilerin bulunduğu grupları tanımlamak üzere grafik teorisi kullanılmaktadır. Modelin ikinci aşamasında ise, ilk aşamada belirlenen gruplarla birlikte makine hücrelerini oluşturmak üzere bir çeşit grafik bölümlenme algoritması kullanılmaktadır. Son aşamada ise, parçaların hücrelere atanması gerçekleştirilmektedir. Modelde oluşturulan hücrelerin verimliliği, hücrelerarası hareketler ve makine yüklemeleri hesaplanarak değerlendirilmektedir. Modelin zayıf tarafı olarak ise, makine hücrelerini ve parça ailelerini eş zamanlı oluşturamaması ileri sürülmektedir ( Rajagopalan ve Batra, 1975 ).

Chakravarty ve Shtub, grup teknolojisinde verimli makine düzenleri oluşturmak üzere planlama kararlarını dikkate alan bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelde, makine kapasitelerinin ve parçaların üretim rota kartlarının her koşul için elverişli ya da diğer bir deyişle sınırsız olduğu ve ürün talebinin ise sabit olduğu varsayılmaktadır. Makinelerin düğüm noktaları, teknolojik öncelik ilişkilerinin de kavisler tarafından temsil edildiği modelde, üretim için ihtiyaç duyulan makineler arasındaki teknolojik bağılıkların tasvir edildiği bir grafik kullanılmaktadır. Modelde, en iyi makine yerleşimini bulmak üzere atama ve araştırma algoritmalarının karışımı, melez bir algoritma kullanılmaktadır. Modelin amacı ise, hazırlık ve stoklama maliyetlerinin toplamını en küçükmektir ( Chakravarty ve Shtub, 1984 ).

Vanelli ve Kumar, birbirlerinden tamamen ayrılabilir kümeler ( hücreler ) oluşturmak üzere, kopyalanması gereken darboğaz makinelerin sayısını en küçükleyen bir grafik teori modeli geliştirmişlerdir. Söz konusu araştırmacılar, grup teknolojisinde darboğaz makine problemlerini asgari düzeye indirmenin iki parçalı ( bipartite ) grafikte asgari kesim – düğüm noktalarını bulmaya eşdeğer olduğunu ileri sürmüşlerdir. Önerilen modelde, oluşturulacak grup sayısı ve her grupta yer alacak makine sayısı kısıtları çerçevesinde asgari kesim – düğüm noktalarını bulmak için bir çeşit dinamik programlama yaklaşımı kullanılmaktadır ( Vanelli ve Kumar, 1986 ).

Robinson ve Duckstein, makine – parça gruplama problemi için çok düzlemli grupsal hareketler teorisinin kullanılmasını önermişlerdir. Önerilen modelde makineler çokyüzlünün köşeleri, parçalar ise çokyüzlünün kenarları tarafından temsil edilmektedir. Modelde parçalar işlem gereksinimlerine ve bir çeşit zorluk ölçütüne göre belirlenen aileler içindeki ilişki güçlerine ( derecelerine) göre gruplandırılmaktadır. Modelin en önemli özelliği, potansiyel darboğaz makine ve istisnai parçaları tanımlamasıdır ( Robinson ve Duckstein, 1986 ).

Kumar ve diğerleri, daha önceden belirlenmiş hücre boyutları ve grup sayıları kısıtları çerçevesinde makine hücrelerini ve parça ailelerini oluşturmak üzere bir çeşit grafik ayrıştırma modeli kullanmışlardır. Söz konusu araştırmacıların esnek imalat sistemleri için kullandıkları algoritma, grup teknolojisinin genel durumları için uygulanabilir bir nitelik taşımaktadır ( Kumar ve diğ. , 1986 ).

Chandrasekharan ve Rajagopalan, grafik teori yaklaşımı olarak gruplama probleminin bir çeşit iki parçalı grafik şeklinde gösterildiği ve söz konusu grafik yardımıyla oluşturulabilecek en fazla grup sayısının tespit edildiği hiyerarşik olmayan ideal çekirdek algoritması' nı ( ISNC ) önermişlerdir ( Chandrasekharan ve Rajagopalan, 1986b ).

Kumar ve Vanelli, önceki çalışmalarına benzer, makine – parça ilişki matrisinde kusursuz bir köşegen yapısı yani birbirinden tam olarak ayrılabilen kümeler elde etmek üzere daraltılması gereken parçaları tespit eden bir yöntem geliştirmişlerdir ( Kumar ve Vanelli, 1987 ).

Bertsekas ve Tseng, makine hücrelerini belirlemek üzere ikili – öncelik algoritmasını geliştirmişlerdir ( Bertsekas ve Tseng, 1988 ).

Askin ve Chiu, makine hücrelerini ve parça ailelerini belirlemek üzere bir çeşit grafik bölümlenme yaklaşımı kullanmışlardır ( Askin ve Chiu, 1990 ).

Vohra ve diğerleri, gruplama problemini çözmek üzere bir çeşit ağ akış yaklaşımı önermişlerdir. Söz konusu yaklaşımda Gomory – Hu algoritmasının değiştirilmiş bir çeşidi kullanılmaktadır ( Vohra diğ. , 1990 ).

Askin ve diğerleri, gruplama problemi için bir çeşit Hamilton yol algoritması önermişlerdir. Söz konusu algoritma, makineler arasındaki farklılık matrisini sezgisel olarak çözmekte ve matristeki satırları yeniden düzenleyerek bir Hamilton yolu bulmaktadır. Önerilen modelin en zayıf tarafı, modelin sonuçlarının gerçek makine gruplarını tam olarak belirtememesidir ( Askin ve diğ. , 1991 ).

Lee ve Garcia – Diaz, grup teknolojisindeki kümeleme problemini çözmek üzere bir çeşit ağ akış yaklaşımı geliştirmişlerdir ( Lee ve Garcia – Diaz, 1993 ).

Ng, grafik teori yaklaşımı olarak minimum uzanan ağaç yaklaşımını önermiştir ( Ng, 1993 ).

#### **2.2.2.5. Yapay Zeka Teknikleri**

Yapay zeka; öğrenme, akıl yürütme, genelleme, problem çözme vb. insan zekasına özgü yetenekleri sergileyen sistemleri inceleyen bir bilgisayar bilimi alanıdır. Yapay zekanın temel amacı, insan zekasına sahip bilgisayarlar ve insanın zeki davranışlarıyla benzeşen hareketler sergileyen makineler yapmaktır ( Allahverdi, 2002 ).

Yapay zeka, bilgisayar teknolojisindeki gelişme ve maliyetlerindeki düşmeyle birlikte bugün kişisel bilgisayarlarda olduğu gibi herkes tarafından kolaylıkla ulaşılabilir bir yapıya bürünmüştür. Yapay zekanın tasarımda, otomasyonda ve baştan sona imalat işlemlerinin tamamında yoğun olarak kullanılması, bilgisayar belleklerindeki büyüme ve maliyetlerin küçülmesiyle paralellik arz etmektedir ( Kalpakjian ve Schmid, 2003 ).

Bilgisayar teknolojisinin yoğun olarak kullanılmasıyla birlikte yapay sinir ağıları, uzman sistemler vb. birçok yapay zeka teknikleri hücresel imalat sistemlerinde teoride ve pratikte oldukça yaygın uygulama alanları elde etmişlerdir.

Çoğu araştırmacı hücresel imalat ve grup teknolojisi ile ilgili araştırmalarında makine – parça ilişki matrisini kullanmışlardır. Analitik yaklaşımlarda ise, hücre oluşturma problemini çözmek üzere çoğunlukla bulanık matematikten faydalanılmaktadır. Yine çoğu kümelenme tekniği, gruplanacak parçalar için hangi parça ailesinin daha uygun olacağı hakkında sağlıklı fikirler üretememektedir. Ve çoğu araştırmada da görüldüğü üzere, çözümler kullanılan kümelenme tekniğine dayalı olarak farklılık arz etmektedir. İşte yapay zeka teknikleri, hücre oluşturma probleminin çözümünde diğer tekniklerle birlikte de kullanılabilen ve tasarım, çizelgeleme, kontrol, planlama, optimizasyon vb. çoğu imalat konularında oldukça sağlıklı çözümler üreten kümelenme teknikleri olarak karşımıza çıkmaktadır ( Torkul ve diğ. , 2004 ).

Yapay zeka konusunda grup teknolojisinde kümelenme problemi üzerine yapılan çalışmaların çoğu yapay sinir ağıları, bulanık mantık, uzman sistemler ve genetik algoritmalar teknikleri etrafında toplanmaktadır. Şimdi de sırasıyla bu teknikleri ve söz konusu teknikler kullanılarak yapılan çalışmaları inceleyelim.

#### **2.2.2.5.1. Yapay Sinir Ağları**

Yapay sinir ağıları, insan beyninin yapısından ve işlevlerinden esinlenerek tasarlanan hesapsal yapılardır. Söz konusu sinir ağıları, insan beyninin öğrenme ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve karar verebilme gibi yeteneklerini dışarıdan hiçbir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek üzere geliştirilen bilgisayar sistemleri olarak da tanımlanabilir ( Uzun ve diğ. , 2004; Öztemel, 2003 ).

Yapay sinir ağıları yapıları itibariyle yapay sinir hücrelerinden oluşur. Söz konusu hücreler nöron olarak anılırlar. Nöronlar beş temel elemandan oluşur. Bunlar girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılardır. Girdiler, nöronlara ya dış ortamdan ya da diğer nöronlardan gönderilen bilgilerdir. Ağırlıklar, nöronlara gönderilen bilgilerin önemini ve / veya nöron üzerindeki etkisini ifade ederler. Toplama fonksiyonu, nöronlara gelen ağırlık değerlerinin yani sisteme ait net girdinin hesaplanmasını sağlar. Aktivasyon fonksiyonu, nöronlara ait net girdiyi belirli işlemlere



tabi tutarak nöronların çıktılarını meydana getirir. Çıktılar ise, dış ortama ya da başka bir nörona gönderilmek üzere aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen değerlerdir. Yapay sinir ağlarının yapılarını, bahsedilen elemanları ve işlevlerini göz önünde bulundurarak girdi katmanı, ara katmanlar ve çıktı katmanı olarak üç katman halinde de özetleyebiliriz.

Yapay sinir ağlarının, insan beyninin temel özellikleri olan öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme vb. konularda başarılı olması söz konusu ağların eğitimi ile mümkündür. Ağların eğitimi, uygun bir öğrenme yöntemi kullanılarak nöronların ağırlık değerlerinin düzenli bir biçimde değiştirilmesi işlemidir ( Gölcü ve diğ. , 2004 ).

Yapay sinir ağları, kendilerine eğitim amacıyla gösterilen örneklerden elde ettikleri bilgiler ile kendi deneyimlerini oluşturur; ve daha sonra benzer konularda benzer kararları verirler ( Öztemel, 2003 ).

Yapay sinir ağlarını eğitimleri sırasında kendilerine bir dizi örnek gösterilir. Gösterilen her örnek karşılığında ağlar, kullanılan öğrenme yöntemine göre ağırlık değerlerini sürekli değiştirirler. Buradaki amaç, doğru çıktıları üretecek ağ için doğru ağırlık değerlerinin bulunmasıdır. Doğru ağırlık değerlerinin bulunması, ağın artık genelleme yapabilir hale gelmesi anlamını taşır. İşte buna ağın öğrenmesi denir.

Yapay sinir ağlarının denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve destekleyici öğrenme olmak üzere üç temel öğrenme tipi söz konusudur. Denetimli öğrenmede yapay sinir ağları, mevcut girdiler çerçevesinde istenilen sonucu ( çıktıyı ) vermek üzere eğitilirler. Söz konusu öğrenmede girdiler ağa arzulanan çıktı ile birlikte tanımlanırlar. Ağırlık değerleri ise, ağın arzulanan çıktıyı üretebilmesini sağlamak üzere ayarlanırlar. Bağlantı ağırlıkları, eğitim öncesi gelişigüzel değerlere sahip ve herhangi bir anlam içermemekte iken; ağın eğitimi sonrası anlamlı bilgiler içerir hale gelirler. Denetimsiz öğrenmede, sinir ağları arzulanan çıktılarına göre düzenlemelere tabi tutulmazlar. Yani ağın kendisine sunulan problemi çözmek üzere doğru yanıtı bilmek gibi bir ihtiyacı yoktur. Söz konusu öğrenmede amaç, girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkileri planlamak yerine mevcut verilere ait temel bir yapı oluşturmaktır. Ağ, kendisine tekrarlar halinde tanıtılan bir modeli öğrenmekte ve bir sınıflandırma ya da model tanıma problemi çözümlenirken tanıtılan modeli hatırlayabilmektedir. Destekleyici öğrenmede ise, ağa çıktının ne olması gerektiği konusunda bilgilerin verilmesi mümkün değildir. Söz konusu

öğrenmede, yalnızca ağıın üretmiş olduğu çıktının doğru veya yanlış olduğu belirtilebilmektedir ( Rajagopalan ve Rajagopalan, 1996; Öztemel, 2003; Gölcü ve diğ. , 2004 ).

Yapay sinir ağlarının eğitimlerinin tamamlanıp gerçek problemlere uygulanabilir hale gelmesi sağlanıncaya kadar eğitim seti ve test seti olmak üzere iki değışik veri seti kullanılır. Her ağ önce dikkatlice seçilmiş, çok sayıda farklı operasyonel senaryolara ait örnekler içeren eğitim setindeki örnekler ile öğrenip, genelleme yapabilir hale getirilir ve daha sonra test setinde yer alan ve daha önce hiç görmediğı örnekler ağa gösterilerek ağın performansı test edilir. Ağ, daha önce hiç görmediğı örneklere kabul edilebilir doğrulukta cevap veriyorsa kullanıma hazır hale gelmiş demektir. Aksi halde, ağ yeniden eğitime tabi tutulur ( Rajagopalan ve Rajagopalan, 1996; Nil ve diğ. , 2004 ).

Yapay sinir ağlarının öğrenme, genelleme, problem çözme, hüküm yürütme, algılama, sınıflandırma, kümelendirme, tahminleme, eksik bilgi ile çalışabilme, hata toleranslarına sahip olma vb. yetenekleri sayesinde ekonomi, matematik, mühendislik, imalat, tıp, meteoroloji vb. daha birçok alanda karmaşık problemlerin çözümünde geçmişte uygulanmasının yanında günümüzde de başarıyla uygulanmaya devam etmektedir.

Yapay sinir ağlarının imalat endüstrisinde ilişkilendirme, örüntü ( model ) tanıma, optimizasyon, sınıflandırma, kontrol vb çoğu fonksiyonda başarıyla uygulanması, karmaşık imalat problemlerinin çözümünde söz konusu ağlara olan ilgiyi bir hayli arttırmıştır. Örneğın bazı araştırmacılar, yapay sinir ağlarının denetimli öğrenme yeteneğinden faydalanarak geriye doğru yayılımlı öğrenme modelleri ile kümelendirme ve kodlama problemine çeşitli çözümler üretmişlerdir. Yine yapay sinir ağlarının denetimsiz öğrenme yeteneğinden faydalanarak da kümelendirme problemlerine farklı çözümler üretilebilmektedir. Söz konusu öğrenmede oluşturulacak küme ( hücre ) sayısının bir öncelik olarak belirlenme gibi bir zorunluluğu yoktur. Parça aileleri ve / veya makine hücreleri belirlenir belirlenmez, denetimli bir model parçaları ve / veya makineleri aile ve / veya hücrelere atamak üzere eğitilebilmektedir ( Torkul ve Çelebi, 2004 ).

Yapay sinir ağları ile ilgili yapılan etraflı açıklamaların ardından şimdi de söz konusu ağlar kullanılarak yapılan sınıflandırma ve kümelendirme çalışmalarına değinelim.

Kaparthi ve Suresh, parça ailelerini oluşturmak üzere yapay sinir ağlarının kullanıldığı bir çeşit model tanıma yaklaşımı sunmuşlardır. Sunulan çalışmada, yapay sinir ağlarının girdisi olarak gruplanacak parçalara ait çizimler kullanılmakta, sistem içerisinde bu çizimler Opitz kodlama sistemi formatında kodlanmakta ve sistemin çıktısı olarak da her birinin Opitz kodlama sisteminde ayrı bir değeri temsil ettiği on adet nöron üretilmektedir. Sistemdeki her basamak, basamakların her birini ayrı ayrı tanımak üzere eğitilen bir nöron tarafından temsil edilmektedir. Sunulan yaklaşımın en belirgin özelliği, yapay sinir ağları vasıtasıyla hücresele imalatta gruplama problemine yönelik alternatif çözümler üretebilmesidir. Ayrıca yapılan çalışma neticesinde, parça kodlarının ve parça ailelerinin oluşturulmasında maliyet ve çabadan önemli tasarruflar elde edilmiştir ( Kaparthi ve Suresh, 1991 ).

Malave ve Ramachandran, grup teknolojisinde kümelendirme problemine bir çeşit denetimsiz öğrenme modeli olan rekabetçi öğrenme modelini uygulamışlardır. Uygulama neticesinde elde edilen kümelendirme sonuçlarını geleneksel kümelendirme metotları olan direkt kümelendirme ve derece sırası kümelendirme metotları ile karşılaştıran araştırmacılar, modellerinin söz konusu geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı çalıştığını ve daha iyi sonuçlar ürettiğini savunmuşlardır. Ayrıca Malave ve Ramachandran, rekabetçi öğrenme modeli tarafından üretilen ağırlık vektörlerini makine hücrelerinin tespitinde kullanmışlar ve parça ailesi ve makine hücresi oluşturma problemine eş zamanlı çözümler üretmişlerdir. Yine söz konusu araştırmacılar, gruplamaya katılacak yeni parçaların makine hücrelerine atanmasında yapay sinir ağlarının ağ tarafından ilk gruplama yapıldıktan sonra kullanılmasının gruplama sonuçları açısından daha faydalı olacağını ileri sürmüşlerdir (Malave ve Ramachandran, 1991).

Moon ve Chi, yapay sinir ağlarının genelleme yeteneklerinden faydalanarak grup teknolojisinde parça ailesi oluşturma problemini çözmeye çalışmışlardır. Yapılan çalışmada araştırmacılar, benzerlik katsayısı metotlarının esnekliğini kullandıkları sinir ağı tekniğinin faydalı yetenekleri ile birleştirmişlerdir. Söz konusu çalışmada, parça ailesi oluşturma problemini çözmek üzere işlem sırası, parti büyüklüğü vb. imalat bilgileri oldukça fazla kullanılmaktadır. Söz konusu araştırmacılar, sundukları modelin diğer imalat fonksiyonlarına dahi uygulanabilecek esneklikte olduğunu ileri sürmüşler

ve yaptıkları çalışma sonucunda yapay sinir ağlarının grup teknolojisinde parça ailesi oluşturma problemine hitap edecek verimlilikte olduğuna karar vermişlerdir ( Moon ve Chi, 1992 ).

Wu, grup teknolojisine dayalı imalat hücreleri oluşturmak üzere bir çeşit yapay sinir ağının kullanıldığı bir çalışma sunmuştur. Söz konusu çalışmada sinir ağı, makine – parça ilişki matrisi üzerinde çalışmak üzere oluşturulmuş ve matristeki makine ve parçalara ait karakteristikler ağa girdi olarak tanımlanmıştır. Çalışmada sinir ağı, 10 parça – 15 makine ve 24 parça – 14 makinden oluşan iki veri seti üzerinde test edilmiş ve elde edilen kümelendirme sonuçları geleneksel kümelendirme teknikleri tarafından üretilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Wu, yaptığı bu karşılaştırmalar neticesinde sinir ağının diğer tekniklere kıyasla daha iyi sonuçlar ürettiği kararına varmıştır ( Wu, 1992 ).

Kaparathi ve Suresh, makine – parça gruplama problemi için bir çeşit sinir ağı kümelendirme yöntemi sunmuşlardır. Söz konusu kümelendirme algoritmasında gruplama problemini çözmek üzere çeşitli benzerlik katsayıları kullanılmaktadır. Yöntemde kullanılan ağ, denetimsiz bir öğrenme prosedürüne sahiptir. Sunulan çalışmada, makine – parça matrisindeki her sıra ( parça ) yüksek ölçü aralıklarına sahip birer vektör olarak, her ölçü de bir makine çeşidi olarak düşünülmekte ve parçaları işlemek üzere kullanılacak makine tipi sayısı da ölçü sayısı olarak tasvir edilmektedir. Yapılan çalışmanın sağladığı en belirgin fayda, yapay sinir ağlarının büyük veri setleri ile dahi çalışabilecek yeterlilikte olduğunun gösterilmesidir ( Kaparathi ve Suresh,1992 ).

Lee ve diğerleri, parça ailelerini ve makine hücrelerini oluşturan ve darboğaz makineleri tespit eden kendi kendini organize eden bir yapay sinir ağının kullanıldığı bir çalışma sunmuşlardır. Sunulan çalışmada, yapay sinir ağlarının genelleme yeteneklerinden faydalanılarak yeni parçaların hesapsal işlemlerin tekrarlanmasına gerek kalmadan mevcut makine hücrelerine atanabileceği ileri sürülmektedir. Söz konusu araştırmacılar, sundukları bu çalışmada kullandıkları sinir ağı modelinin makine – parça matrisinin ölçeğinden etkilenmediğini ve bu nedenle de modellerinin büyük ölçekli endüstriyel problemlerin çözümü için uygun niteliklerde olduğunu savunmuşlardır ( Lee ve diğ. , 1992 ).

Moon, parça ailelerini ve makine gruplarını tanımlamak üzere bir çeşit nöro – hesaplama modeli sunmuştur. Söz konusu modelde, sinir ağı üzerinde makine ve

parçalardan oluşan katmanlar yer almaktadır. Bu makine ve parça katmanlarındaki nöronlar arasında bağlantı ağırlıkları yerine benzerlik katsayıları kullanılmaktadır. Modelde, parça katmanından veya makine katmanından rastgele bir nöron seçilmekte ve ağdaki işleyiş seçilen nörona girdi sinyalinin verilmesiyle başlamaktadır. Daha sonra, oluşturulacak küme sayısının ve her küme içerisindeki benzerlik değerlerinin tespit edildiği bir eşik değeri belirlenmekte ve söz konusu eşik değerinin üzerinde aktivasyon değerlerine sahip olan nöronlar birlikte kümelendirilmektedir. Böylece parça aileleri ve makine grupları tayin edilmektedir. Modelde daha sonra, hiçbir aile ya da gruba atanmayan bir nöron rastgele seçilmekte ve tüm prosedür bütün nöronlar kümelendirilinceye kadar sürekli tekrarlanmaktadır ( Moon, 1992 ).

Chung ve Kusiak, sundukları çalışmada makine parçalarını geometrilerine dayalı olarak sınıflandırmak üzere bir çeşit denetimli öğrenme modeli olan geri yayımlı yapay sinir ağı kullanmışlardır. Sunulan çalışmada, parçalara ait geometrik özellikler ağ tarafından ikili imgelere ( 011011 gibi ) dönüştürülmekte ve parçalar söz konusu ikili imge tanımlamalarına göre parça ailelerine ayrılmaktadır. Ayrıca çalışmada, yapay sinir ağlarının sınıflandırmadaki performanslarını değerlendirmek üzere öğrenme oranı (yeteneği ), momentum katsayısı, gizli nöronlar ve gizli katman sayıları gibi değişkenler açısından bir dizi deney yapılmıştır ( Chung ve Kusiak, 1994 ).

Rao ve Gu, istisnai parçalar, makine kapasiteleri, hücre yerleşimleri, alternatif proses planları vb. hücresel imalat sistemlerinin tasarımında ve uygulanmasında göz önünde bulundurulması gereken faktör ya da kısıtları çok yönlü bir şekilde birleştiren bir sinir ağı önermişlerdir. Söz konusu ağ, istisnai parçaların sebep olduğu makine eşleme durumlarında eşlenecek makine sayılarının ve çeşitlerinin karar verilmesinde kullanıcıya yardımcı olmakta ayrıca söz konusu eşleme durumlarına bağlı olarak alternatif hücre oluşumları belirlemektedir. Rao ve Gu, sundukları çalışmada oluşturulan makine hücrelerine istisnai parçaların yeniden atanmasında söz konusu parçaların işlem sürelerini ve makinelerin mevcut iş yüklerini dikkate alarak yapay sinir ağına ağırlık değerlerinin değiştirilmesi konusunda hücre yerleşimlerde ya da makine kullanımlarında herhangi bir değişiklik yapılabiliyor yapılamayacağı hakkında geri besleme sağlayan bir uzman sistem kullanmışlardır. Bu çalışmada kullanılan sinir ağı – uzman sistem bileşimi yöntemle, hücresel imalat sistemlerinin tasarımında yalnızca

makine – parça matrisine dayalı bir gruplama yapılmamakta, prosese dahil olan diğer kısıtlar da göz önünde bulundurulmaktadır. Rao ve Gu çalışmalarında ayrıca, kullandıkları uzman sistemler vasıtasıyla oluşturdukları alternatif proses planlarını malzeme taşıma maliyetleri, işlem maliyetleri ve hazırlık maliyetleri bakımından değerlendirmişler ve optimal kararı vermeye çalışmışlardır ( Rao ve Gu, 1994 ).

Dağlı ve Huggahalli, grup teknolojisinde parça ailesi ve makine hücresi oluşturmak üzere bir çeşit denetimsiz öğrenme modeli olan ART – 1 ( Adaptive Resonance Theory ) modelini kullanmışlardır. ART – 1 modelinde, parçaların rota bilgilerinden oluşan girdilerin ağa girildikçe ağırlık vektörlerinin devamlı olarak azaldığını ve bunun sonucunda da arzu edilmeyen parça aileleri ve makine hücreleri oluştuğunu gözlemleyen Dağlı ve Huggahalli, iki kümeye ayrılmasının yeterli olduğu 7 parça ve 5 makineden oluşan örnek veri setini ART – 1 ile çözümlendiğinde biri yalnızca 1 parçadan oluşan 3 ayrı küme elde etmişlerdir. Söz konusu araştırmacılar, elde edilen bayağı ( istenmeyen ) gruplama sonuçlarını ağırlık vektörleri üzerinde azaltıcı etkiye sahip olan girdi vektörlerinin sıralamalarına ve eşik değeri parametresinin seçimine bağlamışlardır. Dağlı ve Huggahalli, ART – 1’ in söz konusu probleminin üstesinden gelmek üzere iki farklı yaklaşım önermişlerdir. Bunlardan ilki, ART – 1’ in ağırlığını güncelleyen bir yapıya sahiptir. Bu yaklaşım her ne kadar küçük ölçekli problemleri çözsede, ağın dengesini nasıl etkilediği anlaşılamamıştır. İkinci yaklaşımda ise, söz konusu araştırmacılar girdi verilerinin ağa azalan bir formatta girilmesini önermişlerdir. Bu yaklaşım, ağırlık değerlerinde azalmalara neden olmadığı için söz konusu problemin çözümünde başarılı sonuçlar üretmiştir ( Dağlı ve Huggahalli, 1995 ).

Burke ve Kamal, hücresele imalatta parça ailesi / makine hücresi oluşturma problemine denetimsiz sınıf öğrenme ve model tanıma yeteneklerine sahip olan Fuzzy – ART sinir ağı modelini uygulamışlardır. Söz konusu araştırmacılar, Fuzzy – ART modelini literatürden alınan altı adet örnek veri seti üzerinde kullanmışlar ve elde ettikleri sonuçları ART – 1, ART – 2 ve geleneksel kümelendirme tekniklerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Ve sonuç olarak da Fuzzy – ART modelinin karşılaştırılan diğer tekniklere kıyasla daha hızlı ve sorunsuz çalıştığını ve daha güvenilir ve yüksek kaliteli sonuçlar ürettiğini saptamışlardır ( Burke ve Kamal, 1995 ).

Lozano ve diğ. , imalat hücreleri oluşturmada işlenecek parçaların işlem sıralarına dayalı bir sinir ağı yaklaşımı kullanmışlardır. Yapılan çalışmada, hücrelere atanabilecek minimum ve maksimum makine sayı kısıtları çerçevesinde hücre içi ve hücreler arası parça hareketleri minimize edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca çalışmada, parçalara ait işlem sıraları kullanılarak makine çiftleri arasında benzerlik katsayıları hesaplanmış ve bu benzerlik katsayıları kullanılarak hücrelere makine atamaları yapılmıştır ( Lozano ve diğ. , 2000 ).

#### **2.2.2.5.2. Bulanık Mantık**

Bulanık mantık, kesin ve sayısal olmayan bir temele dayalı inceleme ve gözlemler hakkında yürütülen hükümler için ve çoğunlukla da yapay sinir ağlarından daha yüksek seviyede muhakeme ve karar almanın gerekli olduğu uygulamalarda kullanılan bir yapay zeka metodudur. Yeterli ve gerekli bilgi elde edilemeyen diğer bir deyişle bir takım belirsizliklere sahip konu ve problemler karşısında karar vermek ya da tahminde bulunmak üzere bir takım dilsel değişkenlerin de kullanımına izin veren bulanık mantık anlayışı temelde bulanık küme teorisine dayanır ( Kalpakjian ve Schmid, 2003 ).

Bulanık küme teorisi, klasik küme teorisinin özelleştirilmiş bir hali olan ve kısmi üyeliğe izin veren bir mantık sistemidir. Bilindiği üzere klasik küme anlayışında bir elemanın bir kümeye ya ait olması ya da ait olmaması durumu söz konusudur. Bulanık mantığın belirlediği üyelik derecesi bakımından düşünecek olursak klasik kümelerde bir eleman bir kümeye ait ise bu elemanın üyelik derecesi 1, ait değilse de 0' dır. Oysa bulanık küme anlayışında, bir elemanın bir kümeye ait olup olmaması 0 ile 1 arasında değişen üyelik dereceleri çerçevesinde gerçekleşir. Yani bulanık küme anlayışı, bir kümeni tam üyeliği ile o kümenin üyesi olmama durumları arasında derece derece geçişlere izin verir ( Taşkın ve diğ. , 1996 ).

Bulanık mantıkta, karşılaşılan durum ya da problemler karşısında sistemin davranışını tanımlamak üzere bir takım bulanık kurallar üretilmektedir. Söz konusu kurallar yapı olarak IF – THEN ( eğer – o zaman ) formatındadır. If – Then yapısına sahip kurallarda sistem, verilen her bir girdi değeri ( If ) için bir çıktı değeri ( Then ) üretmekte ve bütün çıktı değerlerinin bileşkesini almaktadır. İşte bu bileşke, karşılaşılan durum ya da problemin çözüme kavuşturulması için kullanılacak bulanık algoritmayı vermektedir.

Bulanık mantık teknolojileri ve yöntemlerinin geliştirildiği ve başarı ile uygulandığı alanlar olarak robot teknolojisi, hareket kontrol, görüntü işleme ve tanıma, önsesi, öğrenme ve zeki sistemlerin tasarımı sayılabilir ( Kalpakjian ve Schmid, 2003 ). Söz konusu uygulamaları daha da spesifikleştirirsek imalat sistemlerindeki bulanık mantık uygulamalarının imalat planlama ve kontrol, bilgisayar destekli tasarım ( CAD ), bilgisayar destekli imalat ( CAM ), kalite, tam zamanında üretim, grup teknolojisi ve hücresele imalat ve esnek imalat alanları üzerinde yoğunlaştığını görebiliriz.

Hücresele imalat sistemlerine uygulanan bulanık mantık modellerinin büyük bir çoğunluğu kümelenendirme yani parça ailesi ve imalat hücresi oluşturma problemine işaret etmekte ve söz konusu probleme dair çözümler üretmektedir. Şimdi de literatürde yer alan bugüne kadar yapılmış bulanık kümelenendirme çalışmalarına değinelim.

Xu ve Wang, sundukları çalışmada parça ailelerini oluşturmak üzere bulanık matematik kullanarak parçalara ait belirsizlik ya da kesinsizlikleri parçalar arasındaki benzerlik ölçütünde birleştirmeye çalışmışlardır ( Xu ve Wang, 1989 ).

Chu ve Hayya, makine hücresi – imalat hücresi oluşturma problemini çözümlenmek üzere üretim verilerine fuzzy c – means ( bulanık c – ortalamalar ) algoritmasını uygulamışlardır. Söz konusu algoritma ile her parçanın 0 ile 1 arasında değişen üyelik dereceleriyle birden fazla parça ailesine atanabildiğini gösteren ve bir parçadan dahi oluşan parça ailelerinin yer alabildiği kümelenendirme sonuçları elde edilmektedir. Fuzzy c – means algoritmasının uygulanmasındaki en önemli nokta parçaların ailelere atamaları yapılırken yüksek üyelik değerlerine sahip olanların tercih edilmesidir. Bu suretle parça atama hataları minimize edilmektedir. Ayrıca fuzzy c – means algoritmasında, parça ailesi sayısına işaret eden c’ nin önceden belirlenmiş olması gerekmekte hatta Chu ve Hayya, iyi belirlenmeyen c sayısının algoritmanın optimallikten uzak çözümler üretmesine neden olduğunu ileri sürmüşlerdir ( Chu ve Hayya, 1991 ).

Zhang ve Wang, klasik makine – parça matrisinden farklı olarak ikili olmayan bir makine – parça matrisini göz önünde bulundurarak tek bağlantılı kümelenendirme ve derece sırası kümelenendirme yöntemlerinin bulanık uyarlamalarını geliştirmişlerdir (Zhang ve Wang, 1992 ).



Gindy ve diğ. , hücre oluşumları için fuzzy c – means algoritmasını kullanmışlar ve bir çeşit doğruluk ölçütü tanımlamışlardır. Söz konusu araştırmacılar sundukları çalışmada, kümelenecek parçaların atama sırasında parça yoğunluğu fazla olan gruplara yönelme eğilimli olduğunu ileri sürmüşler ve parçaların hangi gruplara atanacağına karar veren bir yaklaşım önermişlerdir ( Gindy ve diğ. , 1995 ).

Gill ve Bector, parça ailesi oluşturma problemini çözmek için 0 – 1 kodlama sistemi ile kodlanan parça özelliklerini farklı bir teknik ile belirlemek üzere bulanık dilbilimine dayalı bir yaklaşım önermişlerdir. Söz konusu yaklaşımda, parça özelliklerini ve niceliklerini tanımlamak üzere az, çok, daha fazla vb. dilsel terimler kullanılmakta ve karma özelliklerden oluşan bulanık kümeler meydana getirmek üzere doğal bir dil hesaplama yöntemi kullanılmaktadır. Ayrıca çalışmada, bulanık kümeler arasında öklid uzaklık ölçütü kullanılarak bir uzaklık matrisi oluşturulmaktadır ( Gill ve Bector, 1997).

Torkul ve diğ. , 7 parça – 7 makineden oluşan iki gerçek veri seti üzerinde bulanık kümelendirme ve direkt kümelendirme algoritmalarını ayrı ayrı uygulamışlar ve elde ettikleri sonuçları grup verimliliği, grup etkisi ve gruplama ölçütü gibi 3 ayrı performans ölçütü açısından karşılaştırmışlardır. Yapılan karşılaştırmalar neticesinde, her iki veri seti için de bulanık kümelendirme algoritmasının direkt kümelendirme algoritmasına kıyasla daha iyi sonuçlar ürettiği saptanmıştır. Söz konusu sonuçlar, bulanık kümelendirme yaklaşımlarına ait olan bir parça veya makinenin birden fazla hücreye ait olabileceği önermesini de doğrular niteliktedir ( Torkul ve diğ, 2004 ).

### **2.2.2.5.3. Uzman Sistemler**

Uzman Sistemler, gelişmiş bilgisayar teknolojisi sayesinde belirli bir uzmanlık alanına ait bilgileri saklama ve gerektiğinde yorumlama yeteneğine sahip olan sistemler olarak tanımlanabilirler. Söz konusu sistemlerin temel amacı, karşılaşılan problemler karşısında bir uzmanın uzmanlığını, bilgisini, tecrübesini ve açıklamalarını yansıtabilecek nitelikte çözümler ve / veya öneriler üretmektir ( Kılıçoğulları ve Akman, 2004 ).

Bir uzman sistem genel olarak üç ana bileşenden oluşur. Bunlar bilgi tabanı, karar verme mekanizması ve kullanıcı ara – yüzüdür. Bilgi tabanı, bir uzman sistemin kalbi sayılır. Bir uzman sistemin performansı sahip olduğu bilgi tabanının iyi olup olmadığına

bağlıdır ( Aksoy ve Torkul, 1996 ). Bilgi tabanı, çoğunlukla If – Then ( eğer – o zaman ) kuralları olmak üzere belirli kurallara bağlı bir şekilde söz konusu uzmanlık alanına ait gerçekler, veriler, tanımlar ve varsayımların bilgisayar kodları halinde sistemde saklandığı kısımdır. Bir bilgi tabanı genellikle üç formda temsil edilebilir. Bunlar kurallar şeklinde, çatılar şeklinde ve anlamlı ağlar şeklinde olabilir ( Aksoy ve Torkul, 1996 ). Karar verme mekanizması, bir takım sonuç ya da kararlara ulaşmak üzere bilgi tabanında yer alan bilgiyi karşılaşılan probleme özel veriye dönüştüren diğer bir deyişle eldeki bilgilerden problemin çözümünde kullanılacak bilgileri ayıklayan ve söz konusu bilgiler için hangi kuralın kullanılacağına karar veren bir mekanizmadır. Sonuçlandırma motoru olarak da adlandırılan bu kısım kullanıcıya problemin çözümüne dair tavsiyeler sağlar. Kullanıcı ara – yüzü ise, kullanıcı ile sistem arasındaki etkileşimi kontrol eden kısımdır. Buradaki kullanıcı, uzman sisteme veriler, gerçekler vb. bilgileri sağlayan ve sistemden uzman tavsiyeleri ya da yanıtları alan kişidir.

Uzman sistemlerin veri yorumlama, hata tanımlama, karmaşık nesnelere yapısal analizi, karmaşık nesnelere düzenlenmesi ve eylem sıralarının planlanması gibi çeşitli işlevleri söz konusudur ( Kılıçoğulları ve Akman, 2004 ).

Karşılaşılan karmaşık tasarım ve imalat problemlerini çözmek üzere bir uzman sistem oluşturmak için öncelikle muazzam bir bilgi kapasitesine ve bu bilgiyi çözümler üretmek üzere kullanmak için bir mekanizmaya ihtiyaç duyulur. Bir uzman bireye ya da bir uzman ekibe ait tecrübeyi kusursuz bir şekilde modellemenin zorluğu, insana özgü induktif ( tümevarımlı ) muhakeme ve karar verme ve hatalardan öğrenme yeteneklerinin karmaşıklığı gibi sebeplerden ötürü, bilgi tabanlı sistemleri geliştirmek oldukça zaman, gayret ve maliyet gerektiren bir iştir ( Kalpakjian ve Schmid, 2003 ).

Uzman sistemlerin yukarıda bahsedilen kısıtlarının yanında performans ve güvenilirlik artışı, maliyetlerde azalma, hızlı tepki verme, çok yönlü uzmanlık, duygusal olmayan kusursuz yanıt ve zeki veri tabanları gibi avantajları da mevcuttur ( Kılıçoğulları ve Akman, 2004 ).

Bugüne kadar çok sayıda uzman sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu uzman sistemler tıp, kimya, fizik, jeoloji, imalat, hukuk, ziraat, askeri vb. çok sayıda alanda başarılı uygulama alanları bulmuşlardır. Uzman sistemlerin imalat esaslı uygulama alanlarını dört ana başlık altında toplayabiliriz ( Kalpakjian ve Schmid, 2003 ):

- Makine ve teçhizatlara dair problem tanımlama ve düzeltici eylemlerin belirlenmesi
- Üretim imkanlarının modelleme ve simülasyonu
- Bilgisayar destekli tasarım, proses planlama ve üretim çizelgeleme
- İşletmeye ait imalat stratejisinin yönetimi

Uzman sistemler, imalat hücresi oluşturma problemlerinde makine yükleri, mevcut makine hücreleri ve parça aileleri, istisnai parçalar, işlem ve hazırlık süreleri, hücre içi yerleşimler, alternatif proses planları vb. verileri değerlendirerek, değerlendirilen kritere göre en uygun hücre oluşumlarını tespit edebilmektedir. Bu bağlamda uzman sistemler söz konusu verileri elde etmek üzere sinir ağları, bulanık mantık, sezgisel algoritmalar vb. diğer yaklaşımlarla birlikte kullanılırlar.

Rao ve Gu, sundukları çalışmada istisnai parçalar için alternatif proses planlarına dayalı olarak alternatif atamalar yapmak üzere yapay sinir ağı ile etkileşim içerisinde bulunan bir uzman sistem geliştirmişlerdir. Söz konusu uzman sistem, sinir ağının çıktısı olan istisnai parçalar, makine hücreleri ve parça aileleri bilgilerini kendisi için girdi verileri olarak tanımlamakta ve kullanıcıdan sağladığı hücre içi yerleşim bilgileri, alternatif proses planları ve bu planlarla ilişkili işlem ve hazırlık süreleri verilerini kullanarak istisnai parçalara ait her bir proses planını mevcut kapasite ve maliyet kısıtları çerçevesinde değerlendirmektedir. Ve yapılan değerlendirmelerin neticeleriyle de sinir ağına geri besleme yapmakta ve en ideal atamaların saptanmasında kullanıcıya yardımcı olmaktadır ( Rao ve Gu, 1994 ).

Kusiak, genelleştirilmiş grup teknolojisi problemini çözümü için uzman bir sisteme dayalı bir model sunmuştur. Söz konusu modelde, uzman sistemin ve sezgisel bir algoritmanın kullanıldığı iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı kullanılmaktadır. Modeldeki sezgisel algoritma, istenilen çözüme ulaşmak üzere daha sonra uzman sistem tarafından değerlendirilip gerekiyorsa bir takım değişikliklere maruz bırakılan kısmi sonuçlar üretmek üzere kullanılmaktadır. Modelde, parçaların aynı makinelerdeki işlem süreleri ile ağırlıklandırılmış bir matris girdi olarak kullanılmakta ve en fazla üretim maliyetine sahip olan parça ailesine ait malzeme taşıma maliyetlerinin minimize edilmesine çalışılmaktadır. Fakat bu minimizasyon matematiksel algoritmalarla değil; makine

kapasiteleri, hücre boyutları, malzeme taşıma kapasiteleri ve makine boyutlarına bağlı kısıtlar çerçevesinde sezgisel olarak yapılmaya çalışılmaktadır ( Kusiak, 1988 ).

#### **2.2.2.5.4. Genetik Algoritmalar**

Genetik algoritmalar, canlıların geçirdiği evrim sürecini örnek alarak karmaşık problemler karşısında optimal ya da optimale yakın çözümler üretmek üzere kullanılan araştırma teknikleridir. Genetik algoritmaların en temel avantajı, çözümlenecek problemin matematiksel olarak ifade edilme zorunluluğunun bulunmamasıdır. Problemin çözümü için, sayısal olarak değerlendirilebilecek bir amaç fonksiyonunun bulunması yeterlidir.

Genetik algoritmalar, durum uzayının tüm bölgelerini mutasyon ( değişim ) çaprazlama ve işlem seçimi yöntemleriyle araştırarak doğrusal ve doğrusal olmayan problemleri çözerler ( Torkul ve Çelebi, 2004 ).

Genetik algoritma mekanizması, genleri üretmek üzere problemin kodlanması ile başlar. Genler, ya ikili nümerik ( 011101 gibi ) ya tamsayı nümerik ( 0123 gibi ) ya da alfanümerik ( A2BC5 gibi ) karakterlerle temsil edilirler. Daha sonra genler, her birinin olası bir çözümü temsil ettiği kromozomları oluşturmak üzere rasgele ve uygunluk değerleri hesaplanmış olarak birleştirilir. Ve bir başlangıç kümesi oluşturulur. Söz konusu uygunluk değeri, kromozomların problemin çözümünde gösterdiği performansı belirleyen bir ölçüt olarak değerlendirilmektedir. Ardından, oluşturulan başlangıç kümesi genetik operatörler ( çaprazlama ya da mutasyon ) yardımıyla evrimden geçirilerek yani çözümler üretilir. Yeni bireylerin oluşturulma işleminde öncelikle uygunluk değerleri yüksek olan kromozomlar kullanılır. Daha sonra, popülasyondaki kromozomların uygunluk değerleri yeniden ölçülerek hayatta kalma şansı olan kromozomlar belirlenir. Uygunluk değerleri düşük olan kromozomlar popülasyondan çıkarılmaktadır. Tüm bu işlem sırası optimal çözüme yaklaşmak amacı ile daha uygun çözüm bulunamayınca kadar devam eder ( Öztemel ve Düğenci, 1996; Hicks, 2004 ).

Operasyon ve üretim yönetimi, operasyonel araştırma, montaj hattı dengeleme, hücre oluşturma, yerleşim, atama, yer seçimi, çizelgeleme, karar verme vb. endüstriyel problemler genetik algoritmaların başarıyla uygulandığı alanlar olarak sıralanabilir.

Veri setlerinin büyüklüğünün ve karmaşıklığının söz konusu olduğu günümüz endüstriyel problemlerine iyi ya da en iyi çözümleri sağlayan genetik algoritmaların özellikle parça ve makine sayılarının arttığı hücre oluşturma problemlerinde diğer tekniklere kıyasla daha başarılı sonuçlar ürettiği gözlemlenmektedir.

Genetik algoritmaların kullanıldığı kümelendirme problemlerinde, parça aileleri ve makine hücreleri eş zamanlı bir biçimde oluşturulabilmekte ve hatta bu oluşum için parça ailesi ve makine hücresi sayılarının önceden belirlenme zorunluluğu da ortadan kalkmaktadır. Zira böyle bir öncelik belirleme kısıtı, doğal küme oluşumlarını engellemektedir.

Genetik algoritmalar hakkında yapılan etraflı açıklamaların ardından şimdi de söz konusu algoritmalar kullanılarak yapılan hücre oluşturma çalışmalarına bir göz atalım.

Venugopal ve Naredran, hücre oluşturma problemine ait bir çok amaçlı programlama formülasyonunu çözmek üzere genetik algoritmaları kullanmışlardır ( Venugopal ve Naredran, 1992a ).

Gupta ve diğ. , sundukları çalışmada hücre oluşturma problemi için işlem sıralarını hesaba katan bir genetik algoritma yaklaşımı kullanmışlardır. Yapılan çalışmada, makinelerin hücre içerisindeki tek sıralı ve çift sıralı yerleşimleri birbirleriyle kıyaslanarak kullanılan genetik algoritmanın performansı değerlendirilmiştir ( Gupta ve diğ. , 1996 ).

Joines ve diğ. , hücre tasarım problemine ait tamsayı programlama formülasyonlarını çözmek üzere bir çeşit genetik algoritma modeli geliştirmişlerdir. Söz konusu model, literatürden alınan 17 adet farklı veri seti üzerinde test edilmiş ve modelin diğer teknikler kadar olmasa da iyi sayılabilecek çözümler ürettiği saptanmıştır ( Joines ve diğ. , 1996 ).

Al – Sultan ve Fedjki, parça ailesi oluşturma problemini çözmek üzere tanımlanan ikinci dereceden tamsayı programlama modelini çözmek üzere bir genetik algoritma tekniği geliştirmişlerdir ( Al – Sultan ve Fedjki, 1997 ).

Gravel ve diğ. , çokyönlü rotalara sahip parçalar için hücreler oluşturmak üzere bir çeşit genetik algoritma geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada, 15 makine ve 30 parçadan oluşan

bir veri seti hücrelerarası hareketlerin minimizasyonunun ve hücelere atanan iş yüklerinin hesaba katıldığı bir değerlendirme prosedürü uygulanmıştır ( Gravel ve diğ. , 1998 ).

Moon ve Gen, alternatif proses planlarına sahip parçalar için birbirinden bağımsız hücreler oluşturmak üzere makine eşleme durumlarını da hesaba katan bir genetik algoritma yaklaşımı geliştirmişlerdir. Söz konusu yaklaşımda hücre oluşturma problemi, parça ailelerini ve makine hücrelerini eş zamanlı olarak oluşturan ve her bir parça için proses planlarını belirleyen bir 0 – 1 tamsayıli programlama modeli gibi tanımlanmıştır. Çalışmaya ait değerlendirme, 10 makine ve 7 parçadan oluşan atölye ortamında yapılmıştır ( Moon ve Gen, 1999 ).

Plaquin ve Pierreval, makine hücreleri oluşturmak üzere maksimum hücre boyutlarını, birlikte ve birbirinden ayrı olarak gruplanması gereken makineleri ve hücrelerde bulunması gereken anahtar makineleri hesaba katan bir genetik algoritma modeli geliştirmişlerdir. Söz konusu araştırmacılar, yaptıkları çalışmada toplam olarak 61 adet makineden oluşan 7 adet makine hücresi belirlemişlerdir ( Plaquin ve Pierreval, 2000 ).

Uddin ve Shanker, 4 makine – 5 parça, 6 makine – 10 parça ve 20 makine – 20 parçadan oluşan üç farklı veri seti için bağımsız hücreler oluşturmak üzere bir çeşit genetik algoritma geliştirmişlerdir. Söz konusu algoritmanın en çarpıcı yanı, her parçaya ait birden fazla işlem rotasını dikkate almasıdır ( Uddin ve Shanker, 2002 ).

#### **2.2.2.6. Diğer Teknikler**

Hücreyel imalat sistemlerinin tasarımında optimizasyon modelleri olarak değerlendirilen matematiksel modellerin gerçek boyutlu problemler karşısında kontrol edilemeyen bir hal alması ve kimi modellerin amaç fonksiyonlarının doğrusal problemlerde olduğu gibi formüle edilmemesi; makine- parça matrisinden temin edilen bilgilerin yanında hücre içi ve hücreler arası taşıma maliyetleri, makine ve hücre kapasiteleri, parça talepleri, hücre sayıları, işlem ve hazırlık süreleri, satış fiyatları vb. diğer üretim verilerini de kullanarak hücre oluşturma problemine etkin çözümler arayan çok sayıda tekniğin ve yaklaşımın geliştirilmesine neden olmuştur. Sezgisel teknikler olarak da adlandırılan ve en önemlileri tavlama benzetimi ve tabu araştırması olan bu teknikler, matematiksel modellerin yetersiz kaldığı hücre oluşturma problemlerine kabul edilebilir sürelerde orta

derecede iyi çözümler sağlamaktadır. En önemli kusurları ise, optimalliği garanti etmemeleridir.

Tavlama benzetimi, hesapsal karmaşıklıklara sahip büyük ölçekli optimizasyon problemlerini çözmek üzere kullanılan bir araştırma tekniğidir. Bu tekniği diğer araştırma tekniklerinden ayıran en önemli nokta, belirli bir olasılığa sahip ikinci dereceden bir çözümün mevcut çözüme komşuluğu neticesinde kabulüne olanak tanınmasıdır.

Tavlama benzetiminde problem, bir başlangıç çözümü ve bunu izleyen ve kullanıcı tarafından belirlenen bir tavlama programına göre karar değişkenlerinin değerlerindeki değişiklikleri içeren bir dizi işlemler başlar. Problemin çözümü, optimal çözüme ulaştırıldığında ya da problem daha fazla gelişme göstermeyen sınır bir optimal değerde durduğunda sona erer. Problemin sınır bir noktada durmasını engellemek için optimal değere ulaşıncaya kadar algoritma yavaş bir biçimde yürütülür. Amaçlanan değere ulaşmak için yürütülen bu kontrollü ilerleme, çözümün olasılık değerinin dahi düşmesine neden olacak hamleler neticesinde sağlanmaktadır.

İmalat hücresi oluşturma ve hücre yerleştirme problemlerinde başarıyla uygulanan tavlama benzetimi tekniği, makul sürelerde iyi çözümler sağlamaktadır. Fakat, optimal sonuçların elde edilmesi kimi zaman oldukça ilerleyen safhaları bulabilmektedir. Bu da aşırı süre ve bellek ihtiyacını doğurmaktadır. Tüm bu sıkıntılara rağmen tavlama benzetimi, genetik algoritmalar ve tabu araştırması tekniklerine kıyasla uygulanması ve kullanımı en kolay olan ve bununla beraber de iyi sonuçlar üreten bir araştırma tekniğidir.

Hücre oluşturma problemlerine çözümler üretmek üzere tavlama benzetimi tekniğininin kullanıldığı çalışmalardan bazıları ise şunlardır:

Boctor, hücre oluşturma probleminde makine – parça matrisine ilaveten hücre sayısı, hücrelere atanacak makine sayıları, parça çeşitleri ve makine tipleri verilerini kullanarak hücreler arası hareketleri minimize etmek üzere tavlama benzetimi kullanmıştır. Ayrıca Boctor, önerdiği algoritmayı literatürden alınan 90 adet problem üzerinde uyguladığını ve bu problemlerin 58' ini yani yaklaşık % 65' ini optimal çözüme ulaştırdığını ileri sürmüştür ( Boctor, 1991 ).

Chen ve diğ. , hücre oluşturma problemini çözmek üzere hücreler arası hareketleri minimize eden, tavlama benzetimine dayalı bir sezgisel model geliştirmişlerdir. Sözkonusu araştırmacılar, geliştirdikleri modelin büyük ölçekli problemleri çözme yeteneğinin oldukça iyi olduğunu ve bu modelin hücrelerde müsaade edilen makine sayıları konusunda oldukça esnek hareket ettiğini ileri sürmüşlerdir ( Chen ve diğ. , 1995 ).

Sofianopoulou, hücre oluşturma problemine çözümler üretmek üzere alternatif proses planlarına ve makine eşlemeye dayalı olarak tavlama benzetimi kullanmışlardır. Ayrıca araştırmacı sunduğu çalışmada, hücreler arası taşınımları minimize edecek işlem rotalarını saptayan bir matematiksel model geliştirmiş ve iki boyutlu bir tavlama benzetim modeli kullanmıştır ( Sofianopoulou, 1999 ).

Venugopal ve Naredran, makine gruplama problemin çözmek üzere bir çeşit tavlama benzetim modeli geliştirmişlerdir. Modelleriyle elde ettikleri sonuçları  $k$  – mean (  $k$  – ortalama ) algoritmasından elde edilen sonuçlarla kıyaslayan ve modellerinin nispeten daha iyi çalıştığını saptayan araştırmacılar, sözkonusu modellerini büyük ölçekli hücre oluşturma problemleri için de tavsiye etmişlerdir ( Venugopal ve Naredran, 1992b ).

Tabu araştırması da tavlama benzetimi gibi hesaplama gücünü çekilen büyük ölçekli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bir araştırma tekniğidir.

Tabu araştırması da bir başlangıç çözümü ile başlar. Sözkonusu tekniğin her adımında, bir önceki adımdaki çözümün yakınları ( komşuları ) araştırılmakta ve her yeni çözüm bir sonraki adım için esas teşkil etmektedir. Çözümlerde geriye dönüşleri engellemek ve araştırmayı araştırma alanının en iyi bölgelerine götürmek üzere, baştan sona tüm araştırmaya ait bir geçmiş diğer deyişle bir tabu listesi araştırma süresince hatırlanmaktadır. Sözkonusu tabu listesinde daha önceden yasaklanmış ( kötü ) çözümler de yer almaktadır.

Dörtlü atama ve hücre oluşturma ve yerleşim problemleri, tabu araştırması tekniğinin tatminkar sonuçlar ürettiği uygulama alanları olarak sıralanabilir.

Vakharia ve Chang, hücre oluşturma probleminin çözümü için tavlama benzetimi ve tabu araştırmasına dayalı iki farklı sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Sözkonusu araştırmacılar, hücre boyutları ve makine kapasiteleri kısıtları çerçevesinde ihtiyaç



duyulan makine maliyetlerini ve hücreler arası malzeme taşıma maliyetlerini minimize edecek bir model de geliştirmişler ve bu modeli ayrıca geliştirdikleri tavlama benzetimi ve tabu araştırması algoritmalarıyla çözümlenmişlerdir. Sunulan bu kıyaslama neticesinde de, tavlama benzetiminin tabu araştırmasına göre daha iyi sonuçlar sağladığını saptamışlardır ( Vakharia ve Chang, 1997 ).

## **BÖLÜM 3: GRUP TEKNOLOJİSİNDE PARÇA AİLESİ VE İMALAT HÜCRESİ OLUŞTURMA: BİR ÖRNEK İNCELEME**

Bu bölümde grup teknolojisinde parça ailesi ve imalat hücresi oluşturma problemine Derece Sırası Kümelendirme ( ROC ) yöntemi ile çözüm aranacak ve bu kapsamda literatürde yer alan bir fabrika yerleşim örneği üzerinde durulacaktır. Söz konusu fabrikada imalatı gerçekleştirilen parçaların ve bu parçaların işlem gördüğü makinelerin temel veri olarak kullanıldığı makine – parça matrisi öncelikle görsel olarak incelenerek Derece Sırası Kümelendirme algoritması için daha küçük dolayısıyla daha uyumlu hale getirilecek ve daha sonra da söz konusu matris algoritma ile çözümlenecektir. Ayrıca bölüm içerisinde fabrikanın eski yerleşim düzenine ve düzenleme sonrası oluşan, içerisinde imalat hücrelerinin yer aldığı yeni yerleşim düzenine de yer verilecektir.

### **3.1. Derece Sırası Kümelendirme ( ROC ) Tekniği**

Derece Sırası Kümelendirme tekniği, grup teknolojisinde parça ailelerinin ve bu ailelerin işlem göreceği makine gruplarının tespit ve atanmasında kullanılmak üzere King tarafından geliştirilen, etkin ve hızlı sonuçlar üretebilen, kullanımı kolay ve de oldukça iyi bilinen bir dizi tabanlı kümelendirme tekniğidir ( King, 1980 ).

Derece sırası kümelendirme tekniğinde, diğer dizi tabanlı kümelendirme tekniklerinde olduğu gibi üretime konu olacak parçalara ait rota kartlarındaki bilgiler ışığında parçaların üretim ihtiyaçlarını göstermek üzere hazırlanan makine – parça ilişki matrisi üzerinde birtakım satır ve sütun düzenlemeleri yaparak makine – parça grupları oluşturulmaktadır. Yöntemde, makine – parça matrisinde yer alan satır ve sütunlara ikili ağırlıklar atanmakta, daha sonra bu ikili ağırlıklar ondalık eşdeğerlere dönüştürülmekte ve satır ve sütunlar ondalık eşdeğerlerinin büyüklüklerine göre azalan bir sıralama ile soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru yeniden düzenlenerek hücre oluşumları elde edilmeye çalışılmaktadır.

Derece sırası kümelendirme ( ROC ) algoritmasının temel hedefi, makine – parça matrisini köşegenel bloklara ayırarak birbirinden tamamen ayrılabilir makine – parça kümeleri elde etmektir. Fakat bu kimi zaman mümkün olmamakta, bu durumun asıl nedenleri olarak da istisnai parça ve darboğaz makineler ortaya çıkmaktadır.

Bilindiği üzere grup teknolojisine imalat hücresi oluşturmanın en önemli hedeflerinden biri de hücreler arası taşınımın olmadığı diğer bir deyişle hücrelere atanan tüm parçalara ait bütün işlemlerin aynı hücre içerisinde tamamlandığı birbirinden bağımsız imalat hücreleri oluşturmaktır. Fakat bu kimi zaman ekonomik hatta kimi zaman mümkün dahi olmamaktadır. Bu ve benzeri nedenlerden dolayı uygulamada kimi parçalar birden fazla hücrede işlem görmek durumundadır. İşte birden fazla imalat hücresinde işlem gören bu parçalara istisnai parça, sözkonusu parçaların hücreler arası hareketlerine neden olan makinelere de darboğaz makine adı verilmektedir.

Hücreler arası hareketlerin ortadan kaldırılmasının temelinde, darboğaz makinelerden ihtiyaç olan hücrelere yeteri kadar temin edilmesi yatmaktadır. Sözkonusu makinelerin temin kararı ise, hücreler arası malzeme ve / veya parça taşıma maliyetlerinden uzun vadede önemli tasarruflar sağlamalıdır.

Grup teknolojisinde hücre oluşturmada karşılaşılan istisnai parça ve darboğaz makine sorunları şu çözüm yolları ile ortadan kaldırılabilir:

- Üretimi yapılacak parçalar için alternatif proses planları oluşturmak
- Makine temini
- İstisnai parçaların taşeron işletmelerden temini

Derece sırası kümelenendirme tekniğinde, diğer kümelenendirme tekniklerinden farklı olarak oluşturulmak istenen grup sayısının önceden belirlenmesi gibi bir zorunluluk sözkonusu değildir. Ayrıca yöntemin basitliği, bilgisayar uygulamalarında da kolaylıkla uygulanabilecek analitik bir yapıya sahip olması, makine gruplarını ve parça ailelerini eş zamanlı olarak oluşturması, hızlı yakınsama ve düşük hesaplama süreleri gibi olumlu özellikleri de yöntemin avantajları arasında gösterilebilir.

Derece sırası kümelenendirme tekniğinin yukarıda sayılan avantajlarının yanında bir takım dezavantajları da sözkonusudur. Tekniğin ürettiği sonuçların kalitesinin başlangıç matrisine duyarlı olması, başlangıç matrisinin temel kaynağı olan parça üretim rota kartlarının önemini daha da arttırmaktadır. Zira bu rota kartlarının optimal olmayan hatta gereksiz işlemler içermesi yöntemin ürettiği sonuçları da optimallikten

uzaklaştırmaktadır. Bu bağlamda asıl önemli görev ise rota kartlarını hazırlayan proses planlamacılara düşmektedir.

Yine, derece dışarı kümelenme tekniği ile elde edilen sonuç matrisinde farklı sayıda hücreler içeren farklı çözümler tanımlanabilmektedir. Buradaki asıl önemli soru ise sözkonusu çözümlerin hangisinin işletme için en uygun olduğudur. İşte işletme için en uygun hücre oluşumlarını sağlayan çözümün seçimi ise yöntemi uygulayan kişilerin teknik bilgi ve tecrübesine ve parça tipleri, makine çeşitleri, hücre içi ve hücreler arası malzeme ve / veya parça hareketleri vb. bir dizi faktöre bağlıdır.

Ayrıca, derece sırası kümelenme tekniğinde, matristeki satır ve sütunların düzenlenmesinde temel ölçüt olarak kullanılan ikili ( üstel ) değerlerin, büyük boyutlu kümelenme problemlerinde hesapsal karmaşıklığa neden olması ve birtakım veri depolama sorunları yaratması ise yöntemi makul boyuttaki problemlerin çözümü ile sınırlı hale getirmektedir.

Derece sırası kümelenme tekniği ile ilgili yapılan etraflı açıklamaların ardından şimdi de sözkonusu tekniğe ait algoritmaya adımlar halinde değinelim:

- **Adım 1 :** Makine – parça matrisinin her satırı için birer ikili ( üstel ) ağırlık atanır. Bu ikili ağırlıklar matrisin en sağından en soluna doğru  $2^0$  ' dan başlayarak artan bir sıralama (  $2^0, 2^1, 2^2, \dots, 2^n$  ) ile atanmaktadır. Daha sonra her satır için birer ondalık eşdeğer hesaplanır. Bu ondalık eşdeğerler, makine – parça matrisinde yer alan 0 veya 1 karakterleri ile ikili karakterlerin çarpılıp, her satır için toplanmasıyla elde edilir. Örneğin aşağıdaki tabloda yer alan makine – parça matris örneğindeki 1. satır için ondalık eşdeğer:  $1x2^8+0x2^7+0x2^6+1x2^5+0x2^4+0x2^3+0x2^2+1x2^1+0x2^0 = 290$  olarak hesaplanır.

Her satır için ondalık eşdeğerlerin hesaplanmasının ardından satırlar bu ondalık eşdeğerlerinin büyüklüğüne göre matriste yukarıdan aşağıya doğru yeniden düzenlenir. Ondalık eşdeğerleri aynı olan satırların varlığı durumunda, bu satırlar matriste birbirlerine göre bir önceki sıralama konumları ne ise yine o düzende sıralandırılırlar.

**Tablo 13. Derece sırası kümelendirme algoritması 1. adım örneği**

İkili Ağırlıklar	$2^8$	$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	
	Parçalar									Ondalık Eşdeğer
Makineler	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	290
5	1	0	0	0	0	0	0	1	0	258
7	0	1	0	0	0	1	1	0	0	140
4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	136
3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	81
6	0	0	1	0	0	0	0	0	1	65
2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	17

**Kaynak:** Groover ( 2001: 444 )

- **Adım 2 :** Eğer adım 1 sonunda elde edilen matristeki satır sıraları ile başlangıç matrisinin satır sıraları aynı ise işlem sona erer. Aynı değilse adım 3' e geçilir.
- **Adım 3 :** Adım 1 ile elde edilen matrisin her sütunu için birer ikili ağırlık atanır. Bu ikili ağırlıklar matrisin en altından en üstüne doğru  $2^0$ , dan başlayarak artan bir sıralama ile atanırlar. Daha sonra her sütun için adım 1' deki gibi birer ondalık eşdeğer hesaplanır. Örneğin aşağıdaki tabloda 3. sütun için ondalık eşdeğer:  $1x2^6+0x2^5+0x2^4+0x2^3+0x2^2+0x2^1+0x2^0 = 64$  olarak hesaplanır.

Sütunlar, ondalık eşdeğerlerinin büyüklüğüne göre matriste soldan sağa doğru yeniden düzenlenir. Aynı ondalık eşdeğere sahip sütunlarda sıralama yapılırken sütun sırası değişmez.

**Tablo 14. Derece sırası kümelendirme algoritması 2. adım örneği**

Makineler	Parçalar									İkili Ağırlıklar
	A	H	D	B	F	G	I	C	E	
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	$2^6$
5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	$2^5$
7	0	0	0	1	1	1	0	0	0	$2^4$
4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	$2^3$
3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	$2^2$
6	0	0	0	0	0	0	1	1	0	$2^1$
2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	$2^0$
<b>Ondalık Eşdeğer</b>	96	96	64	24	24	16	7	6	5	

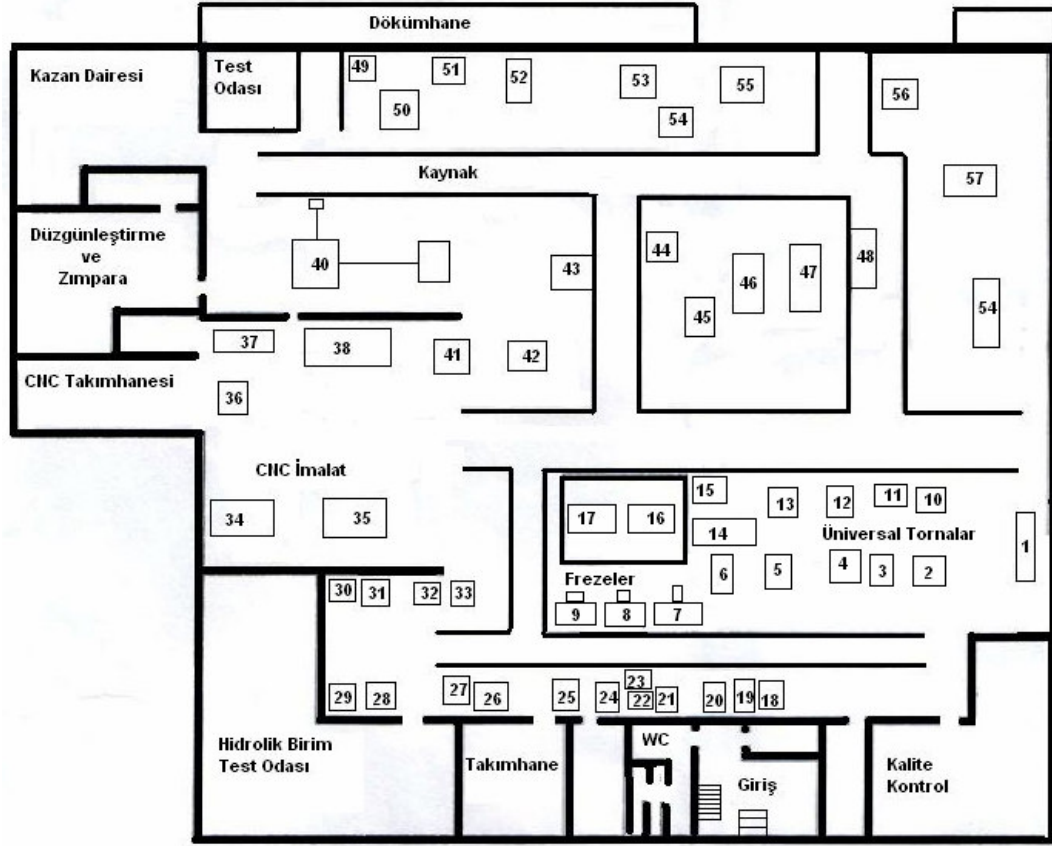
**Kaynak:** Groover ( 2001: 445 )

- **Adım 4 :** Eğer adım3 sonunda elde edilen matristeki sütun sıraları ile esas matrisin sütun sıraları aynı ise işlem sona erer. Aynı değilse adım 5' e geçilir.
- **Adım 5 :** Adım 1' e geri dönülür. Aynı işlem sırası her satır sütun için sıralama değişmeyinceye kadar devam eder.

### 3.2. Örnek İncelemenin Seçimi

Grup teknolojisinde parça ailesi imalat hücresi oluşturmanın işletmelerde meydana getireceği köklü değişimleri ve sağlayacağı katkıları net olarak görebilmek üzere inceleme olarak seçilecek örnek üretim işletmesinde makinelerin ve parçaların sistematik olmaması yani makine yerleşimlerinin düzensiz olması, makine sayılarının yetersiz ya da fazla olması, imalatı yapılan parçaların işlem sıralarının karmaşık olması kısaca işletmede kullanılan imalat sisteminin karmaşık bir yapıya sahip olması oldukça önemlidir. Bu bağlamda yapılan çalışmada; torna, pres, matkap vb. makinelerin gruplar halinde birbirinden ayrı alanlarda konuşlandırıldığı atölye tipi bir yerleşime ve oldukça karmaşık bir iş akışına sahip, dişli pompa üretimi yapan bir fabrika örnek olarak seçilmiştir.

Şekil 13. Dişli pompa fabrikasında mevcut makinelere ait eski yerleşim planı



MAKİNE YERLEŞİMİ			
NO	MAKİNE	NO	MAKİNE
1	Silindirik Taşlama	30	Matkap 5
2	Sütun Taşlama	31	Matkap 6
3	Torna 1	32	Özel Matkap 3
4	Torna 2	33	Özel Matkap 4
5	Torna 3	34	CNC 3
6	Torna 4	35	İşlem Merkezi 1
7	Freze 1	36	CNC 4
8	Freze 2	37	CNC 5
9	Freze3	38	İşlem Merkezi 2
10	Özel Rot Makinesi	39	Özel Makine
11	Planya 1	40	Delme Makinesi
12	Planya 2	41	CNC 6
13	Radyal Matkap	42	CNC 7
14	Torna 5	43	Pres 2
15	Testere 1	44	Eksantrik Pres 1
16	CNC 1	45	Eksantrik Pres 2
17	CNC 2	46	Eksantrik Pres 3
18	Rovolver 1	47	Bükme Makinesi 1
19	Rovolver 2	48	Bükme Makinesi 2
20	Rovolver 3	49	Testere 2
21	Torna 6	50	Boru Bükme Makinesi
22	Matkap 1	51	Kaynak Makinesi ( Oksijen )
23	Pres 1	52	Kaynak Makinesi 1
24	Matkap 2	53	Matkap 7
25	Özel Freze	54	Kaynak Makinesi 2
26	Özel Matkap 1	55	Kaynak Makinesi ( Ark )
27	Özel Matkap 2	56	Testere 3
28	Matkap 3	57	Giyotin
29	Matkap 4	58	Testere 4

Yukarıdaki şekilde eski yerleşim düzeni görülen fabrikada, her amaca uygun olarak kullanılabilen makineler fonksiyonlarına göre sınıflandırılmış ve fabrikanın farklı yerlerinde konuşlandırılmıştır.

Üretimi yapılan dişli pompalara ait 22 ayrı çeşit parça fabrika içerisinde imal edilirken, diğer parçalar fason olarak temin edilmektedir.

İmalatı yapılan parçalara ait işlemler gözetilerek oluşturulan makine – parça matrisi aşağıdaki tabloda gösterilmektedir. Matristeki p harfi üretimi yapılan parçaları simgelemektedir. Ayrıca matriste yer alan 0 rakamı sözkonusu parçanın o makinede işlem görmediğini, 1 rakamı işlem gördüğünü, 1\* ifadesi parçanın proses süresince o makinede 2 kez, 1\*\* ifadesi de 3 kez işlem gördüğünü belirtmektedir.

**Tablo 15. Makine -parça matrisi**

MAKİNELER	PARÇALAR																					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22
Torna 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1*	0	0	0	0
Torna 2	0	0	0	1**	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Torna 3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Torna 4	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Freze 1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Freze 2	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Freze 3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Planya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Revolver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pres 1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Matkap 1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Matkap 2	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Matkap 3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CNC 1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
İşlem Merkezi 1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CNC 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
CNC 3	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
İşlem Merkezi 2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CNC 4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
CNC 5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eksantrik Pres 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Eksantrik Pres 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Pres 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Testere	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Giyotin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0



### 3.3. İncelemenin Derece Sırası Kümelenendirme ( ROC ) Algoritması ile Çözümü

Örnek olarak seçilen fabrikaya ait makine – parça matrisini ROC algoritması ile çözümlmeden önce matriste yer alan makinelere ve parçalara bakıldığında, 12 ve 21 nolu parçaların yalnızca 2 nolu eksantrik preste işlem gördüklerini başka herhangi bir makinede işlem görmediklerini, öte yandan 2 nolu eksantrik presin de 12 ve 21 nolu parçalar dışında herhangi bir parçayı işlemediğini görebiliriz. Yine 17 nolu parçanın da 1 nolu eksantrik pres, pres ve giyotin dışında herhangi bir makinede işlem görmediğini, bununla beraber bu üç makinenin de 17 nolu parça dışında herhangi bir parçayı işlemediğini görebiliriz. Bu bağlamda, sözkonusu tüm bu makinelerden ( 1 ve 2 nolu eksantrik pres, pres 2 ve giyotin ) ve 12, 17 ve 21 nolu parçalardan oluşan ve diğer hücrelerden tamamen bağımsız bir imalat hücresi oluşturabiliriz.

1 nolu imalat hücresinin oluşturulmasıyla, başlangıçta 25 makine ve 22 parçadan oluşan makine –parça matrisi 21 makine ve 19 parçadan oluşan bir matrise dönüştürülmekte, bu bağlamda da büyük boyutlu kümelendirme problemlerinde karşılaşılan hesapsal karmaşıklık az da olsa giderilmektedir.

Görsel olarak yapılan inceleme ve işlemlerin ardından oluşan, ROC algoritmasının uygulanacağı başlangıç matrisi aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

**Tablo 16. Başlangıç makine - parça matrisi**

MAKİNELER	PARÇALAR																			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P13	P14	P15	P16	P18	P19	P20	P22	
Torna 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1*	0	0	0	
Torna 2	0	0	0	1**	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Torna 3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Torna 4	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Freze 1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Freze 2	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
Freze 3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
Planya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Revolver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Pres 1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Matkap 1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Matkap 2	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Matkap 3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CNC 1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
İşlem Merkezi 1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
CNC 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	
CNC 3	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
İşlem Merkezi 2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CNC 4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
CNC 5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Testere	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	

Yapılan çalışmada, başlangıç matrisine ROC algoritması EXCEL programı desteğiyle uygulanmış ve sırasıyla şu matrisler elde edilmiştir.

**Tablo 17. Makine -parça matrisi ( adım 1 )**

İkili Ağlıklar	2 <sup>18</sup>	2 <sup>17</sup>	2 <sup>16</sup>	2 <sup>15</sup>	2 <sup>14</sup>	2 <sup>13</sup>	2 <sup>12</sup>	2 <sup>11</sup>	2 <sup>10</sup>	2 <sup>9</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	Ondalık Eşdeğer	
	PARÇALAR																				
MAKİNELER	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P13	P14	P15	P16	P18	P19	P20	P22		
İşlem Merkezi 1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	393312
Freze 2	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	131080
Torna 4	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	131072
Pres 1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	131072
Matkap 2	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	131072
CNC 5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	131072
CNC 1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	77827
Freze 3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	65680
Torna 3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65536
Matkap 3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65536
İşlem Merkezi 2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65536
Freze 1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50176
Torna 2	0	0	0	1**	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33280
Matkap 1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33280
CNC 4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	32772
CNC 3	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19456
CNC 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	400
Revolver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	256
Torna 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1*	0	0	0	0	8
Testere	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8
Planya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4

**Tablo 18. Makine - parça matrisi ( adım 2 )**

İkili Ağlıklar	PARÇALAR																				İkili Ağlıklar
	P2	P1	P14	P15	P18	P3	P6	P7	P20	P22	P13	P16	P4	P5	P9	P10	P19	P8	P11		
İşlem Merkezi 1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>20</sup>
Freze 2	1*	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>19</sup>
Torna 4	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>18</sup>
Pres 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>17</sup>
Matkap 2	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>16</sup>
CNC 5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>15</sup>
CNC 1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>14</sup>
Freze 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>13</sup>
Torna 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>12</sup>
Matkap 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>11</sup>
İşlem Merkezi 2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>10</sup>
Freze 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2 <sup>9</sup>
Torna 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1**	0	0	1	0	0	0	0	2 <sup>8</sup>
Matkap 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2 <sup>7</sup>
CNC 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2 <sup>6</sup>
CNC 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	2 <sup>5</sup>
CNC 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2 <sup>4</sup>
Revolver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>3</sup>
Torna 1	0	0	0	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>2</sup>
Testere	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>1</sup>
Planya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2 <sup>0</sup>
Ondalık Eşdeğer	2064304	1040576	1040576	1040576	524294	31744	16304	16304	16304	16304	16304	8208	8208	960	544	544	304	65	32	24	

**Tablo 19. Makine - parça matrisi ( adım 3 )**

İkili Ağırlıklar	2 <sup>18</sup>	2 <sup>17</sup>	2 <sup>16</sup>	2 <sup>15</sup>	2 <sup>14</sup>	2 <sup>13</sup>	2 <sup>12</sup>	2 <sup>11</sup>	2 <sup>10</sup>	2 <sup>9</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	Ondalık Eşdeğer
	PARÇALAR																			
MAKİNELER	P2	P1	P14	P15	P18	P3	P6	P7	P20	P22	P13	P16	P4	P5	P9	P10	P19	P8	P11	
İşlem Merkezi 1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	491520
Freze 2	1*	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	278528
Torna 4	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	262144
Pres 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	262144
Matkap 2	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	262144
CNC 5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	262144
Torna 1	0	0	0	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16384
Testere	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16384
CNC 1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15872
Freze 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	8576
Torna 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8192
Matkap 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8192
İşlem Merkezi 2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8192
CNC 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	385
Freze 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	112
Torna 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1**	0	0	1	0	0	0	72
Matkap 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	72
CNC 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	68
CNC 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	50
Planya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4
Revolver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

**Tablo 20. Makine - parça matrisi ( adım 4 )**

MAKİNELER	PARÇALAR																		İkili Ağırlıklar	
	P2	P1	P14	P15	P18	P3	P6	P7	P20	P22	P13	P16	P11	P4	P5	P9	P10	P19		P8
İşlem Merkezi 1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>20</sup>
Freze 2	1*	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>19</sup>
Torna 4	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>18</sup>
Pres 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>17</sup>
Matkap 2	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>16</sup>
CNC 5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>15</sup>
Torna 1	0	0	0	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>14</sup>
Testere	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>13</sup>
CNC 1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>12</sup>
Freze 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>11</sup>
Torna 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>10</sup>
Matkap 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>9</sup>
İşlem Merkezi 2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>8</sup>
CNC 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2 <sup>7</sup>
Freze 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	2 <sup>6</sup>
Torna 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1**	0	0	1	0	0	2 <sup>5</sup>
Matkap 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2 <sup>4</sup>
CNC 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2 <sup>3</sup>
CNC 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	2 <sup>2</sup>
Planya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2 <sup>1</sup>
Revolver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2 <sup>0</sup>
Ondalık Eşdeğer	2064384	1048576	1048576	1048576	548864	7936	4096	4096	4096	4096	2176	2176	129	120	68	68	48	10	4	

**Tablo 21. Makine - parça matrisi ( adım 5 )**

İkili Ağırlıklar	2 <sup>18</sup>	2 <sup>17</sup>	2 <sup>16</sup>	2 <sup>15</sup>	2 <sup>14</sup>	2 <sup>13</sup>	2 <sup>12</sup>	2 <sup>11</sup>	2 <sup>10</sup>	2 <sup>9</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	Ondalık Eşdeğer
	PARÇALAR																			
MAKİNELER	P2	P1	P14	P15	P18	P3	P6	P7	P20	P22	P13	P16	P11	P4	P5	P9	P10	P19	P8	
İşlem Merkezi 1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	491520
Freze 2	1*	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	278528
Torna 4	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	262144
Pres 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	262144
Matkap 2	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	262144
CNC 5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	262144
Torna 1	0	0	0	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16384
Testere	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16384
CNC 1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15872
Freze 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	8576
Torna 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8192
Matkap 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8192
İşlem Merkezi 2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8192
CNC 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	448
Revolver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	64
Freze 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	56
Torna 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1**	0	0	1	0	0	36
Matkap 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	36
CNC 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	34
CNC 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	25
Planya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2

**Tablo 22. Makine - parça matrisi ( adım 6 - sonuç matrisi )**

MAKİNELER	PARÇALAR																		İkili Ağırlıklar	
	P2	P1	P14	P15	P18	P3	P6	P7	P20	P22	P13	P16	P11	P4	P5	P9	P10	P19		P8
İşlem Merkezi 1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>20</sup>
Freze 2	1*	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>19</sup>
Torna 4	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>18</sup>
Pres 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>17</sup>
Matkap 2	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>16</sup>
CNC 5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>15</sup>
Torna 1	0	0	0	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>14</sup>
Testere	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>13</sup>
CNC 1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>12</sup>
Freze 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>11</sup>
Torna 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>10</sup>
Matkap 3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>9</sup>
İşlem Merkezi 2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 <sup>8</sup>
CNC 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2 <sup>7</sup>
Revolver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2 <sup>6</sup>
Freze 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	2 <sup>5</sup>
Torna 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1**	0	0	1	0	0	2 <sup>4</sup>
Matkap 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2 <sup>3</sup>
CNC 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2 <sup>2</sup>
CNC 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	2 <sup>1</sup>
Planya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2 <sup>0</sup>
Ondalık Eşdeğer	2064384	1048576	1048576	1048576	548864	7936	4096	4096	4096	4096	2176	2176	192	60	34	34	24	5	2	

Yukarıdaki matriste de görüldüğü üzere, matristeki sütun sıralaması adım 6' da adım 5' e göre herhangi bir değişime uğramamıştır. Dolayısıyla ROC algoritması adım 6' da sona ermiştir. Yani adım 6' ya ait makine – parça matrisi aynı zamanda sonuç matrisidir.

Örnek inceleme olarak seçilen dişli pompa fabrikasına ait makine – parça matrisine ROC algoritmasının uygulanması sonucunda oluşturulan imalat hücreleri ve bu hücrelerde yer alan parça aileleri ve makine grupları ise şöyledir.

**Tablo 23. Parça aileleri ve makine grupları**

Hücre No	Parça Ailesi	Makine Grubu
1	12, 17, 21	Eksantrik Pres1, Eksantrik Pres2 Pres 2, Giyotin
2	1, 2, 14, 15	İşlem Merkezi 1, Pres 1, Freze 2, Matkap 2, Torna 4, CNC 5
3	18	Testere, Torna 1
4	3, 6, 7, 20, 22	CNC 1, İşlem Merkezi 2, Freze3, Matkap3, Torna 3
5	11, 13, 16	Revolver, CNC 2
6	4, 5, 9, 10	Freze1, Matkap1, Torna 2, CNC 3, CNC4
7	19	Planya

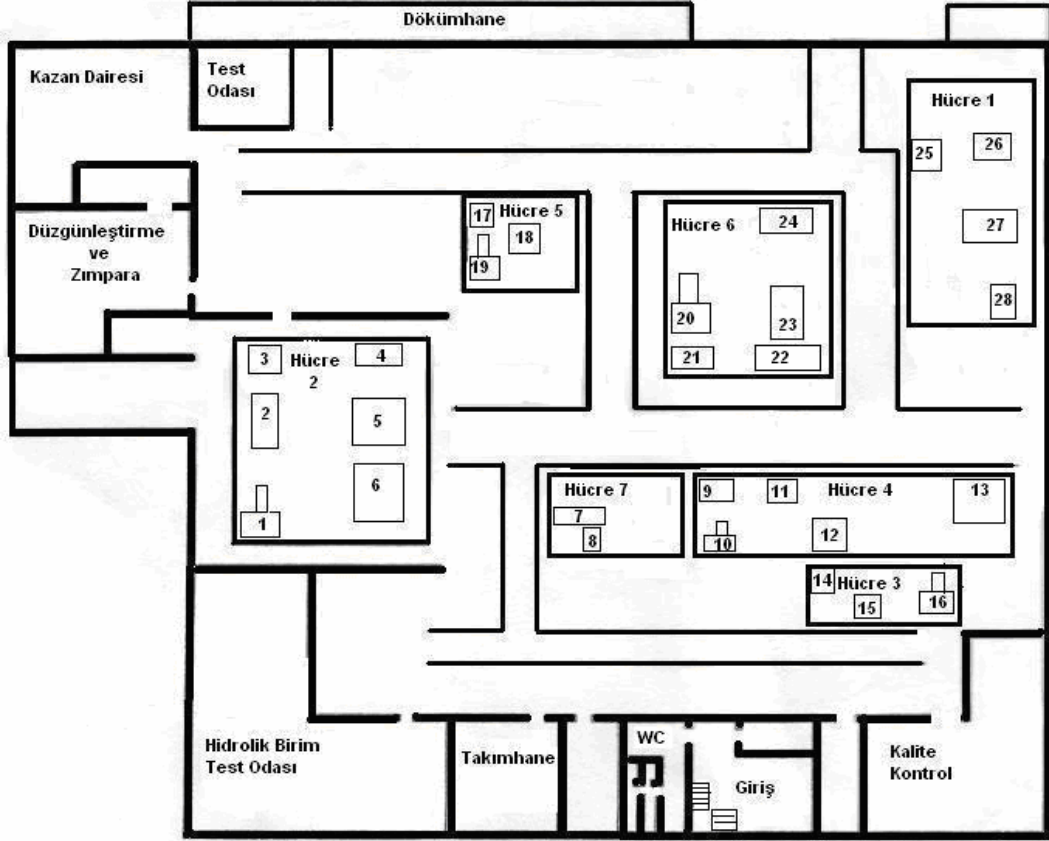
Sonuç matrisi dikkatli incelendiğinde, oluşturulan hücrelerin birbirlerinden tamamen ayrılabilir nitelikte olmadığı ve bunun nedeni olarak da birtakım istisnai parçaların ve darboğaz makinelerin ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Bahsi geçen istisnai parçalar ve bu parçaların işlem gördüğü darboğaz makineler ise şunlardır:

**Tablo 24. İstisnai parçalar ve darboğaz makineler**

İstisnai Parça	Darboğaz Makine
8	CNC 3
13, 16	Freze 3
18	Freze 2
19	CNC 4

Derece Sırası Kümelenendirme yöntemi yardımı ile dişli pompa üretimi yapan bir fabrika örneğinde yapılan kümelenendirme çalışmaları neticesinde oluşturulan imalat hücrelerinin yer aldığı, sözkonusu fabrikaya ait yeni yerleşim düzeni aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

Şekil 14. Dişli pompa fabrikasında makinelere ait yeni yerleşim planı



MAKİNE YERLEŞİMİ		
YENİ NO	ESKİ NO	MAKİNE
1	8	Freze 2
2	6	Torna 4
3	23	Pres 1
4	28	Matkap 2
5	37	CNC 5
6	35	İşlem Merkezi 1
7	41	CNC 6
8	11	Planya
9	16	CNC 1
10	9	Freze 3
11	5	Torna 3
12	28	Matkap 3
13	38	İşlem Merkezi 2
14	15	Testere
15	3	Torna 1
16		Freze (Yeni)
17	18	Revolver
18	17	CNC 2
19		Freze (Yeni)
20	7	Freze 1
21	22	Matkap 1
22	36	CNC 4
23	4	Torna 2
24	34	CNC 3
25	44	Eksantrik Pres 1
26	43	Pres 2
27	57	Giyotin
28	45	Eksantrik Pres 2



## SONUÇ VE ÖNERİLER

Grup teknolojisi, üretime konu olacak parçaları tasarım ve / veya imalat özelliklerine göre benzer olarak nitelendiren ve üretim sürecinde bu benzerliklerden faydalar edinmeyi amaçlayan bir imalat felsefesidir. Geleneksel üretim sistemlerine esneklik ve verimlilik kazandırmayı amaçlayan hücreli imalat ise grup teknolojisinin üretim alanındaki en ileri uygulaması olarak tanımlanır.

Parçaları tasarım, imalat ve işlevlerine göre parça aileleri, bu parçaları işleyecek makineleri de makine grupları şeklinde kümelendirmeye çalışan hücreli imalatın imalat ortamlarına sağladığı temel fayda, büyük ve karmaşık imalat sistemlerini küçük ve kontrolü kolay alt sistemlere ayrıştırmasıdır.

Geleneksel imalat sistemlerinde mevcut karmaşıklığı gidermek amacıyla, grup teknolojisinde kümelendirmeye yönelik günümüze kadar pek çok teknik ve yaklaşım geliştirilmiştir. Çok kriterli bir problem olan hücre oluşturma problemine farklı bakış açılarıyla optimal çözümü arayan bu teknik ve yaklaşımlardaki temel amaçlar; hücre içi ve hücreler arası taşınımları, makine hazırlık ve aylaklık sürelerini, istisnai parçaların neden olduğu maliyetleri ve toplam üretim maliyetlerini minimize, parçalar arası benzerliği, makine programlama esnekliğini ve makinelerin kapasite kullanım oranlarını maksimize etmek olarak sıralanabilir. Çoğu, Burbidge ( Burbidge, 1971 ) tarafından geliştirilen üretim akış analizi yöntemini esas alan bu yöntem ve yaklaşımlarda parça aileleri ve imalat hücrelerinin eş zamanlı veya ayrı ayrı oluşumlarını sağlamak üzere parçaların rota kartlarından temin edilen bilgiler kullanılmaktadır.

Grup teknolojisinde parça ailesi ve imalat hücresi oluşturmak üzere geliştirilen yöntem ve yaklaşımların doyum noktasına ulaştığı günümüzde bu yönde bundan sonraki çalışmaların, tekniklerin birbirleriyle kıyaslanması ve / veya endüstriyel uygulamalar üzerinde yoğunlaşacağı öngörülmektedir. Bu amaçla yapılan tez kapsamında grup teknolojisi ve hücreli imalattan, grup teknolojisinde kümelendirme teknik ve yaklaşımlarından bahsedilmiş; ayrıca, kümelendirme problemine çözüm sağlamak üzere geliştirilen bir teknik olan derece sırası kümelendirme ( ROC ) tekniğinin ve algoritmasının detaylı anlatımlarının ardından sözkonusu algoritmanın örnek bir endüstriyel inceleme üzerinde ürettiği sonuçlar üzerinde durulmuştur.

Dişli pompa üretimi yapan bir fabrika örneği üzerinde yapılan bu incelemenin temel amacı, imalatın geleneksel bir yöntemle gerçekleştirildiği bir işletmede mevcut atölye tipi makine yerleşim düzenini değiştirerek işletmeyi hücrenel imalata göre yeniden tasarlamak üzere parça ve makineleri parçaların imalat gereksinimlerine göre hücrelere ayırmak ve bunun sonucunda da karmaşık iş akışı ve makine yerleşimlerinden kaynaklanan gereksiz parça ve / veya malzeme taşınımlarını elimine ederek işletme içerisinde verimliliği arttıracak koşulları tesis etmektir. Grup teknolojisi anlayışına uygun olarak hazırlanan, şekil14' te görülen makinelere ait yeni yerleşim planı da sözkonusu verimliliği sağlamaya yöneliktir.

Şekil 13' te de görüldüğü üzere atölye tipi bir yerleşime sahip fabrikada yer alan her amaca uygun nitelikteki 58 adet makine, işlevlerine göre gruplar halinde fabrikanın farklı alanlarında konuşlandırılmıştır. Fabrikada üretimi gerçekleştirilen 22 adet parçaya ait rota kartlarındaki bilgiler ışığında hazırlanan 25 adet makine ve 22 adet parçadan oluşan tablo 15' deki makine – parça matrisine ROC algoritması uygulanmadan önce matris görsel olarak incelenmiş ve 4 makine ( eksantrik pres 1, eksantrik pres 2, pres 2 ve giyotin ) ve 3 parçadan ( 12, 17 ve 21 nolu parçalar ) meydana gelen bir imalat hücresi oluşturulmuştur. Bu makine ve parçalar matristen çıkarılmış ve geriye kalan 21 makine ve 19 parçadan oluşan makine – parça matrisine Excel programı desteği ile ROC algoritması uygulanmıştır.

Matrise uygulanan ROC algoritması 6. adımda sona ermiştir. Algoritma sonucunda elde edilen sonuç matrisi tablo 22' de yer almaktadır. Şekil 14' de görüldüğü üzere sonuç matrisinde, görsel inceleme ile oluşturulan 1 nolu hücre dışında 6 adet imalat hücresi oluşturulmuştur. Bu hücreler ve hücreleri oluşturan makine ve parçalar ise tablo 23' te gösterilmektedir.

Grup teknolojisinde imalat hücresi oluşturmanın temel hedefi, birbirinden bağımsız hücreler oluşturmaktır. Yapılan uygulamada, sonuç matrisine bakıldığında hücreler arası taşınımlara neden olacak birtakım istisnai parçaların ortaya çıktığı görülmektedir. Örneğin, 18 nolu parça 3 nolu hücredeki işlemlerinin ardından freze 2' deki işlemi için 2 nolu hücreye gitmek zorundadır. Hücrenel imalat sistemlerinin bütünlüğüne zarar veren bu ve benzeri istisnai parça oluşumlarında, yöntemi uygulayan kişi gerekli fayda – maliyet, fiziksel vb. analizleri yaptıktan sonra parçanın fason olarak yaptırılması,

gerekli makine temini ve yeni proses planları hazırlama kararlarından işletme için uygun olanını seçerek sözkonusu olumsuzluğu gidermelidir. Yapılan örnek uygulamada, gerekli makine temini kararının işletme için en uygun karar olduğu farzedilmiştir. Buna göre, 3 nolu hücreye eklenecek yeni bir freze tezgahı 2 ve 3 nolu hücrelerin birbirlerinden tamamen ayrılmasını sağlayacaktır. 13 ve 16 nolu parçalar da yine aynı şekilde 5 nolu hücredeki işlemlerinin ardından freze 3' teki işlemleri için 4 nolu hücreye taşınmak zorundadırlar. 5 nolu hücreye eklenecek yeni bir freze tezgahı da bu taşınım sorununun üstesinden gelecektir. Yine 19 nolu parça da 7 nolu hücredeki işleminin ardından CNC 4 tezgahında işlem görmek üzere 6 nolu hücreye taşınmak durumundadır. Fabrikanın eski makine yerleşim planına bakıldığında, tesiste yer alan CNC 6 ya da CNC 7 tezgahlarından herhangi birinin 7 nolu hücreye eklenmesinin ardından 6 ve 7 nolu hücreler birbirlerinden bağımsız hale geleceklerdir. 8 nolu parça ise işletmedeki mevcut proses planlamacılar ya da yöntemi uygulayanlar tarafından yapılacak analizler sonucunda verilecek kararın ardından ya fason olarak dışarı yaptırılacak ya da 6 nolu hücreye atanarak imalatı gerçekleştirilmeye devam edilecektir. Yapılan tüm bu işlemlerin ardından, şekil 14' te yer alan yeni makine yerleşim planında da görüldüğü üzere hücresel imalat için zemin teşkil edebilecek, birbirinden bağımsız 7 ayrı imalat hücresi oluşturulabilmektedir.

İncelemenin yapıldığı dişli pompa üretimi yapan fabrikada imalat hücreleri oluşturulmadan önce, genel amaçlı tezgahlar işlem özelliklerine göre fonksiyonel gruplar halinde fabrikanın farklı alanlarında yer almaktaydılar. Sözkonusu makine grupları içerisinde çalışan her personel de yalnızca o grup içerisinde yer alan makine işlevi ( tormalama, delme vb. ) üzerinde uzmanlaşmakta idi. Atölye tipi üretim olarak adlandırılan bu sistemde, farklı işlem çeşitlerine ve rotalarına sahip parçaların üretimi sözkonusudur. Zira, fabrikada genel amaçlı tezgahların kullanımı da bu yüzdendir. Bu üretim sistemindeki parçaların üretim süreleri, işlemler için sırada bekleme, makinelerin ve parçaların hazırlanması ve de en önemlisi parçaların taşınımı gibi verimsiz faaliyetler nedeniyle hayli uzar. İncelemenin yapıldığı fabrika örneğinde ise, parçaların makinelerde sıra beklememesi ve personel ve makinelerin meşgul edilebilmesi için her makine çeşidinden fazla sayılarda bulunmaktaydı. Bu durumun sonucu olaraksa fabrikanın kullanım alanı hayli daralmakta, makine başına düşen parça sayısının azlığından dolayı makineler kapasite altı çalışmakta ve makinelerin yatırım maliyetleri

hayli yüksek seviyelerde seyretmekteydi. Ayrıca, bir makine veya bölümde işlemi biten parçalara diğer işlemlerin uygulanması için parçaların uzun mesafeler taşınması gerekebilmekte, fabrikanın geneline yayılan bu taşınımlar da zaten dar bir kullanım alanına sahip fabrikada karmaşık bir iş akışı dolayısıyla da yoğun bir parça trafiğine neden olmaktadır. Tüm bunların neticesinde de; proses içi stok seviyeleri ve parça üretim süre ve maliyetleri oldukça yüksek, makine kullanım ve üretim oranları ve kalite ise düşük seviyelerde seyretmekteydi.

İmalat hücreleri oluşturulduktan sonra ise, fabrikada 58 olan makine sayısı 28' e indirilmiş ve bu makineler de toplam 7 adet imalat hücresi içerisinde fabrikanın farklı yerlerinde konuşlandırılmıştır. Ayrıca parçalar da imalat gereksinimlerine göre aileler halinde ayrı birer hücreye atanmış böylece parçaların taşınımı içerisinde bulunduğu hücre ile sınırlı kalmıştır. Oluşturulan hücrelere gerekli makine teminlerinin yapılması sonucu da istisnai parçaların neden olduğu hücreler arası taşınımlar elimine edilmiştir. Ayrıca, fabrika içerisinde kullanılan makine sayısının azaltılması sonucunda ise fabrikada rahat bir kullanım alanı yaratılmış, makinelerin kapasite kullanım oranları artırılmış ve de yatırım maliyetlerinde önemli azalmalar sağlanmıştır. Bunun yanı sıra, her hücreye atanan personele verilecek çapraz eğitimler neticesinde sözkonusu personelin hücre içerisindeki farklı makinelerde çalıştırılabilme imkanı doğacak, dolayısıyla işçilik maliyetlerinde indirim yoluna gidilebilecektir. Yapılan tüm bu düzenlemelerin neticesi olarak; proses içi stok seviyeleri ve imalat süre ve maliyetleri düşecek, üretim ve makine kullanım oranları ve kalite artacak, büyük ve karmaşık bir imalat sisteminin küçük ve kontrolü kolay alt sistemlere dönüşümü sağlanarak etkin bir üretim planlama ve kontrol sağlanacak dolayısıyla da verimlilik artacaktır.

Bilindiği üzere, grup teknolojisi uygulamaları yalnızca işletmedeki parça ve makinelerin imalat hücreleri şeklinde gruplandırılmasından ibaret değildir. Oluşturulan hücrelerdeki etkinliğin de grup teknolojisi felsefesine uygun nitelikte olması gerekmektedir. Bu amaçla bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler ışığında geliştirilen robotlar ve otomatik taşıma sistemleri, gerek hücre içi gerekse hücreler arası taşınımları daha önemsiz hale getirecek, taşınımlar neticesinde oluşan maliyetleri minimize edebileceklerdir. Ayrıca, hücre içerisindeki makinelerin hücreye atanan parça ailesinin işlem sırasına göre konumlandırılması da kontrol maliyetlerinde azalmalar sağlayacaktır. Zira, hücredeki

her bir makine kendinden bir önceki makinenin kontrolörü olacağından hataların teşhisinde etkinlik kazanılacak ve sözkonusu hatalar tüm parçalara aksettirilmeden gerekli önlemler alınabilecektir. Bunun sonucunda da kalite artışı kaçınılmaz olacaktır. Tüm bunların dışında, işletme içerisindeki personelin de grup teknolojisi uygulamalarına adapte edilmesi gerekmektedir. Personele grup teknolojisi anlayışı hakkında verilecek geniş çaplı eğitimler neticesinde hücre içi personel arasında bir takım ruhu oluşacaktır. Grup teknolojisinin bir sonucu olan parça imalat sürelerindeki azalma, personelden beklenen verimlilik için duyulan ihtiyacı vurgulayacaktır. Ayrıca personelin hücre içerisindeki makinelere yönelik çapraz eğitime tabi tutulmak kaydıyla yetkinlikleri arttırılabilecek, böylece personel becerilerinin ve sayılarının yeniden tespit edilerek yerleşimlerinin buna göre yapılması sağlanacak, sonuç olarak da personel maliyetlerinde azalma sağlanabilecektir.

Üretimin geleneksel imalat sistemleriyle yapıldığı işletmelere esneklik ve verimlilik kazandırmak suretiyle sürekli değişim gösteren müşteri istek ve ihtiyaçlarına cevap verebilmelerini dolayısıyla da sektörlerinde artan rekabet koşullarında söz sahibi olmalarını sağlayan grup teknolojisinin ilk ve en önemli safhası olan hücre oluşturma, oldukça kompleks ve de çok kriterli bir problemdir. Bu problemi çözmek üzere dizi tabanlı, hiyerarşik, matematiksel, grafiksel, yapay zeka vb. isimler altında çok sayıda teknik ve yaklaşımlar geliştirilmiş ve önerilmiştir. Fakat bu teknik ve yaklaşımların çoğunlukla teorileriyle sınırlı kalması ve ürettikleri sonuçların daha çok deneysel veriler kullanılarak test edilmesi pratikte gerçek imalat ortamlarında kullanılmalarını güçleştirmektedir.

Üretim sistemlerini grup teknolojisi ve hücreli imalat ile tanıştırmayı amaçlayan işletmelere organizasyon ve yeniden yapılanmalarında örnek teşkil edebilecek inceleme kapsamında kullanılan derece sırası kümelenme yöntemi, uygulaması en kolay ve de kullanımı oldukça yaygın yöntemlerden biridir. Parçaların işlem gereksinimlerini kümelenme kriteri olarak kullanan bu yöntem, kısa sürede etkin sonuçlar üretebilmesi ve ürettiği sonuç ve sağladığı faydaların kolaylıkla anlaşılıp yorumlanabilmesi bakımından endüstriyel uygulamalarda yaygın kullanım imkanlarına sahiptir.

Optimal hücre oluşumlarının belirlenmesinde tek kriterli yaklaşımlar elbette ki yeterli olmayacaktır. Zira parçaların işlem sıraları, parça ve makine hazırlık süreleri, talep seviyeleri, makine kapasiteleri, üretim hacimleri, işlem süreleri, makine yerleşimleri, hücre sayıları vb. çok sayıda kriterin eşzamanlı olarak dikkate alınması imalat hücresi oluşumlarında etkinliğin sağlanması bakımından gereklidir.

Geleneksel imalat sistemlerini hücreli imalata dönüştürmede ilk adım olan imalat hücresi oluşumlarının ele alındığı ve sonuç ve faydalarının ortaya konduğu bu çalışma, gelecekte birden fazla imalat karakteristiğini göz önünde bulundurarak kümelendirmede etkinlik ve grup teknolojisinden üst düzeyde faydalar edinmeyi sağlayacak çalışmalara temel teşkil edebilecek niteliktedir. Kümelendirme üzerine yapılan araştırmalar arttıkça grup teknolojisi, daha çok uygulama alanı bulabilen ve daha fazla yarar sağlayan bir imalat teknolojisi olmaya devam edecektir.

## KAYNAKLAR

- AKTÜRK, M. Selim ve Ayten Türkcan ( 2000 ), “ Cellular Manufacturing System Design Using A Holonistic Approach ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 38, No: 10, pp. 2327 – 2347.
- AKSOY, M. Sabih ve Orhan Torkul ( 1996 ), “ Süt Ürünleri Üretecek Bir Tesis İçin Gerekli Makine ve Teçhizatın Seçimini Yapan Bir Uzman Sistem ” , *Birinci Ulusal Zeki İmalat Sistemleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı ( ZİS’ 96 )*, s. 475 – 482, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- ALLAHVERDİ, Novruz ( 2002), *Uzman Sistemler – Bir Yapay Zeka Uygulaması*, Atlas Yayıncılık, İstanbul.
- ALLEGRI, T. H. ve P. E. ( 1989 ), *Advanced Manufacturing Technology*, First Edition, TAB Books Inc. , The USA.
- AL – SULTAN, K. S. ve C. A. Fedjki ( 1997 ), “ A Genetic Algorithm for The Part Family Formation Problem ” , *Production Planning and Control*, Vol: 8, No: 8, pp. 788 – 796.
- ASKIN, R.G. ve K. . Chiu ( 1990 ), “ A Graph Partitioning Procedure For Machine Assignment and Cell Formation in Group Technology, *International Journal of Production Research*, Vol: 28, No: 8, pp. 1555-1572.
- ASKIN, R. G. , S. H. Cresswell, J. B. Goldberg ve A. J. Vakharia ( 1991 ) “ Hamiltonian Path Approach to Reordering the Part – Machine Matrix for Cellular Manufacturing ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 29, pp. 1081 – 1100.
- BEDWORTH, David D. Mark R. Henderson ve Philip M. Wolfe ( 1991 ), *Computer Integrated Design and Manufacturing*, International Edition, Singapore.
- BERTSEKAS, D. ve P. Tseng ( 1988 ) “ Relaxation Methods for Minimum Cost Ordinary and Generalized Network Flow Problems ” , *Operations Research*, Vol:36, No: 1, pp. 93-114.

- BİNARK, Bülent ( 1996 ), *Grup Teknolojisinde Ters Endüktif Öğrenme Kullanan Sezgisel Bir Yöntem*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- BOCTOR, F. F. ( 1991 ), “ A Linear Formulation of the Machine – Part Cell Formation Problem ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 29, No: 2, pp. 343 – 356.
- BURBIDGE, J. L. ( 1971 ), “ Production Flow Analysis ” *The Production Engineer*, Vol: 50, pp. 463 – 478.
- BURKE, Laura ve Soheyla Kamal ( 1995 ), “ Neural Networks and The Part Family / Machine Group Formation Problem in Cellular Manufacturing: A Framework Using Fuzzy ART ” , *Journal of Manufacturing Systems*, Vol: 14, No: 3, pp. 148 – 159.
- CHAKRAVARTY, A. K. ve A. Shtub ( 1984 ), “ An Integrated Layout for Group Technology with In – Process Inventory Costs ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 22, No: 3, pp. 41 – 442.
- CHANDRASEKHARAN, M. P. ve R. Rajagopalan ( 1986a ), “ MODROC – An Extension of Rank Order Clustering for Group Technology ”, *International Journal of Production Research*, Vol: 24, No: 5, pp. 1221 – 1233.
- CHANDRASEKHARAN, M. P. ve R. Rajagopalan ( 1986b ), “ An Ideal Seed Non – Hierarchical Clustering Algorithm for Cellular Manufacturing ”, *International Journal of Production Research*, Vol: 24, No: 2, pp. 451 – 464.
- CHANDRASEKHARAN, M. P. ve R. Rajagopalan ( 1987 ), “ ZODIAC -- An Algorithm for Concurrent Formation of Part – Families and Machine – Cells ”, *International Journal of Production Research*, Vol: 25, No: 6, pp. 835 –850.
- CHANG, Tien – Chien, Richard A. Wysk ve Hsu – Pin Wang ( 1998 ), *Computer Aided Manufacturing*, Second Edition, Prentice – Hall Inc. , The USA.



- CHEN, C. L. , N. A. Cotruvo ve W. Baek ( 1995 ), “ A Simulated Annealing Solution to the Cell Formation Problem ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 33, No: 9, pp. 2601 – 2614.
- CHOOBINEH, F. ( 1988 ), “ A Framework for the Design of Cellular Manufacturing Systems ” , *International Journal Of Production Research*, Vol: 26, No: 7, pp. 1161 – 1172.
- CHU, C. H. ( 1989 ), “ Clustering Analysis in Manufacturing Cellular Formation ” , *OMEGA: International Journal of Management Sciences*, Vol: 17, No: 3, pp. 289 – 295.
- CHU, Chao – Hsien ve J. C. Hayya ( 1991 ), “ A Fuzzy Clustering Approach to Manufacturing Cell Formation ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 29, No: 7, pp. 1475 – 1487.
- CHU, Chao – Hsien ve Mayshing Tsai ( 1990 ), “ A Comparison of Three Array – Based Clustering Techniques for Manufacturing Cell Formation ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 28, No: 8, pp. 1417 – 1433.
- CHUNG, Yunkung ve Andrew Kusiak ( 1994 ), “ Grouping Parts with A Neural Network ” , *Journal of Manufacturing Systems*,
- CO, H. C. ve A. Araar ( 1988 ), “ Configuring Cellular Manufacturing Systems ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 26, No: 9, pp. 1511 – 1522.
- ÇELEBİ, Numan ( 2004 ), *Parça Ailesi Oluşturmada Endüktif – Kaba Kümeleme Yaklaşımı*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ÇÖL, Muhterem ( 2003 ), “ Endüktif Öğrenme Yaklaşımıyla Hücresel İmalat Sistemi Tasarımı ” , Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DAĞLI, C. ve R. Huggahalli ( 1991 ), “ Neural Network Approach to Group Technology ” , *Knowledge- Based Systems and Neural Networks : Techniques and Applications ( New York : Elsevier )* pp. 213 – 228.
- DEGARMO, E. Paul, JT. Black ve Ronald A. Kohser ( 1999 ), *Materials and Processes in Manufacturing*, Eighth Edition, John Wiley & Sons, The USA

- GEYİK, A. Kadir ( 2003 ), *İmalat Hücreleri Tasarımında Bulanık Mantık Yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- GILL, A. ve C. R. Bector ( 1997 ), “ A Fuzzy Linguistic Approach to Data Quantification and Construction of Distance Measures for Part Family Formation Problem ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 35, pp. 2565 – 2578.
- GINDY, N. N. Z. , T. M. Ratchev ve K. Case ( 1995 ), “ Component Grouping for GT Applications A Fuzzy Clustering Approach with Validity Measure ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 33, pp. 2493 – 2509.
- GONÇALVES, Jose Fernando ve Mauricia G. C. Resende ( 2004 ), “ An Evolutionary Algorithm for Manufacturing Cell Formation ”, <http://www.research.att.com/~mgcr/doc/gagt/pdf>.
- GÖLCÜ, Mustafa, Yaşar Pancar, Ö. Altan Dombaycı, Okyar Kaya ve H. Sevil Ergür ( 2004 ), “ Analysis of Head – Flour Curves of Deep Well Pumps Using Artificial Neural Networks ” , *Proceedings of Fourth International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems ( IMS’ 2004 )*, pp. 394 – 402, Sakarya University, Sakarya.
- GRAVEL, M. , A. Nsakanda Luntala ve W. Price ( 1998 ), “ Efficient Solutions to The Cell – Formation Problem with Multiple Routings via A Double – Loop Genetic Algorithm ” , *European Journal of Operational Research*, Vol: 109, No: 2, pp. 286 – 298.
- GROOVER, Mikell P. ( 1987 ), *Automation, Production Systems, and Computer – Integrated Manufacturing*, Prentice – Hall Inc. , The USA.
- GROOVER, Mikell P. ( 2001 ), *Automation, Production Systems, and Computer – Integrated Manufacturing*, Second Edition, Prentice – Hall , The USA.
- GUNASINGH, K. ve R. Lashkari ( 1990 ), “ Simultaneous Grouping of Parts and Machines in Cellular Manufacturing Systems – An Integer Programming Approach ” , *Computers and Industrial Engineering*, Vol: 20, No: 1, pp. 111 – 117.

- GUPTA, T. ( 1991 ), “ Clustering Algorithms for the Design of a Cellular Manufacturing System --- An Analysis of Their Performance ”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol: 20, No: 4, pp. 461 – 468.
- GUPTA, Y. P. , M. C. Gupta, A. Kumar ve C. Sundaram ( 1996 ), “ A Genetic Algorithm – Based Approach to Cell Composition and Layout Design Problems ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 34, No: 2, pp. 447 – 482.
- GUPTA, T. ve H. Seifoddini ( 1990 ), “ Production Data Based Similarity Coefficient for Machine – Component Grouping Decisions in the Design of a Cellular Manufacturing System ”, *International Journal of Production Research*, Vol: 28, No: 7, pp. 1247 – 1269.
- HAN, C. ve I. Ham ( 1986 ), “ Multiobjective Cluster Analysis for Part Family Formations ”, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol: 5, No: 4, pp. 223 – 230.
- HICKS, C. ( 2004 ), “ A Genetic Algorithm Tool for Designing Manufacturing Facilities in The Capital Goods Industry ” , *International Journal of Production Economics*, Vol: 90, pp. 199 – 211.
- JAIN, A. K. , R.G. Kasilingam ve S. D. Bhole ( 1991 ), “ Joint Consideration of Cell Formation and Tool Provisioning Problems in Flexible Manufacturing Systems ” , *Computers and Industrial Engineering*, Vol: 20, No: 2, pp. 271 – 277.
- JOINES, J. A. , C. T. Culbreth ve R. E. King ( 1996 ), “ Manufacturing Cell Design: An Integer Programming Model Employing Genetic ” , *IIE Transactions*, Vol: 28, No: 1, pp. 69 – 85.
- KALPAKJIAN, Serope ve Steven R. Schmid ( 2003 ), *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Fourth Edition, The USA.
- KANDİLLER, Levent ve Levent Onur ( 1988 ), “ Hücresel İmalat Sistemlerinde Parça Sınıflarını ve Tezgah Gruplarını Belirleme Problemi ”, *Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongre Bildirileri*, s. 369 – 389, İ. T. Ü. , İstanbul.

- KAPARTHI, S. ve N. C. Suresh ( 1991 ), “ A Neural Network System for Shape – Based Classification and Coding of Rotational Parts ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 29, No: 9, pp. 1771 – 1784.
- KAPARTHI S. ve N. C. Suresh ( 1992 ), “ Machine – Component Cell Formation in Group Technology: A Neural Network Approach ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 30, No: 6, pp. 1353 – 1367.
- KHATOR, S. K. ve S. A. Irani ( 1987 ), “ Cell Formation in Group Technology : A New Approach ”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol: 12, No: 2, pp. 131 – 142.
- KILIÇOĞULLARI, Pınar ve Gülşen Akman ( 2004 ), “ An Expert System Application at Sales Management in The Paper Industry ” , *Proceedings of Fourth International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems ( IMS' 2004 )* , pp. 663 – 671, Sakarya University, Sakarya.
- KING, J. R. ( 1980 ), “ Machine – Component Grouping in Production Flow Analysis: An Approach Using A Rank Order Clustering Algorithm ”, *International Journal of Production Research*, Vol: 18, No: 2, pp. 213 – 232.
- KING, J. R. ve V. Nakornchai ( 1982 ), “ Machine – Component Group Formation in Group Technology: Review and Extension ”, *International Journal of Production Research*, Vol : 20, No: 2, pp. 117 – 133.
- KOCABIÇAK, Ümit, T. Kurtay, A. Aslan ve M. Özsoy ( 1998 ), “ An Application of Group Technology Cell Formation at the Gear Pump Factory ”, *Proceeding of Second International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems ( IMS' 1998 )* , Vol: 1 pp. 519 – 528, Sakarya University, Sakarya.
- KUMAR, K. R. ve A. Vanelli ( 1987 ), “ Strategic Subcontracting for Efficient Disaggregated Manufacturing ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 25, No: 12, pp. 1715-1728.

- KUMAR, K. R. , A. Kusiak ve A. Vanelli ( 1986 ), “ Grouping of Parts and Components in Flexible Manufacturing Systems ” , *European Journal of Operational Research*, Vol: 24, pp. 387 – 397.
- KUSIAK, A. ( 1987 ), “ The Generalized Group Technology Concept ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 25, No: 4, pp. 561 – 569.
- KUSIAK, A. ( 1988 ), “ EXGT – S: A Knowledge Based System for Group Technology ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 26, No: 5, pp. 887 – 904.
- KUSIAK, A. ve W. S. Chow ( 1987 ), “ Efficient Solving of the Group Technology Problem ” , *Journal of Manufacturing Systems*, Vol: 6, No: 2, pp. 117 – 124.
- LEE, H. ve A. Garcia – Diaz ( 1993 ), “ A Network Flow Approach to Solve Clustering Problems in Group Technology ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 31, No: 3, pp. 603 – 612.
- LEE, H. , C. O. Malave ve S. Ramachandran ( 1992 ), “ A Self – Organizing Neural Network Approach for the Design of Cellular Manufacturing Systems ” , *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol: 3, pp. 325 – 332.
- LOGENDRAN, R. ( 1991 ), “ Effect of Identification of Key Machines in the Cell Formation Problem of Cellular Manufacturing Systems ” , *Computers and Industrial Engineering*, Vol: 20, No: 4, pp. 439 – 449.
- LOZANO, S. , D. Canca, F. Guerrero, J. Larraneta ve L. Onieva ( 2000 ), “ Cell Formation Using Sequence Information and Neural Networks ” , [http://io.us.es/Publicaciones/Cap\\_Libros/FAIM/2000/cell-formation-using-sequence.pdf](http://io.us.es/Publicaciones/Cap_Libros/FAIM/2000/cell-formation-using-sequence.pdf).
- LUGGEN, William W. ( 1991 ), *Flexible Manufacturing Cells and Systems*, Prentice – Hall Inc. , The USA.

- MAIMON, O. ve A. Shtub ( 1991 ), “ Grouping Methods for Printed Circuit Board Assembly ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 29, No: 7, pp. 1379 – 1390.
- MALAVE, C. O. ve S. Ramachandran ( 1991 ), “ Neural Network- Based Design of Cellular Manufacturing Systems ” , *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol: 2, pp. 305 – 314.
- McAULEY, J. ( 1972 ), “ Machine Grouping for Efficient Production ”, *Production Engineer*, Vol: 51, No: 2, pp. 53 – 57.
- McCORMICK, W. T. , P. J. Schweitzer ve T. White ( 1972 ), “ Problem Decomposition and Data Reorganization by a Clustering Technique ”, *Operations Research*, Vol: 20, No: 5, pp. 993 – 1009.
- MOON, C. ve M. Gen ( 1999 ), “ A Genetic Algorithm – Based Approach for Design of Independent Manufacturing Cells ” , *International Journal of Production Economics*, Vol: 60, pp. 421- 426.
- MOON, Y. B. ( 1992 ), “ Establishment of a Neurocomputing Model for Part Family / Machine Group Identification ” , *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol: 3, pp. 173 – 182.
- MOON, Y. B. ve S. C. Chi ( 1992 ), “ Generalized Part Family Formation Using Neural Network Techniques ” , *Journal of Manufacturing Systems*, Vol: 11, No: 3, pp. 149 – 159.
- MOSIER, C. T. ( 1989 ), “ An Experiment Investigating the Application of Clustering Procedures and Similarity Coefficients to the GT Machine Cell Formation Problem ”, *International Journal of Production Research*, Vol: 27, No: 10, pp. 1811 – 1835.
- MOSIER, C. T. ve L. Taube ( 1985 ), “ Weighted Similarity Measure Heuristics for the Group Technology Machine Clustering Problem : OMEGA ”, *International Journal of Management Science*, Vol: 13, No: 6, pp. 577 – 583.

- NG, S. ( 1993 ), “ Worst – Case Analysis of An Algorithm for Cellular Manufacturing ” , *European Journal of Operational Research*, Vol: 69, No: 3, pp. 384 – 398.
- NİL, Mustafa, Murat Sönmez, Uğur Yüzgeç ve Bekir Çakır ( 2004 ), “ Artificial Neural Network Based Control of 3 – DOF Robot Arm ” , *Proceedings of Fouth International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems ( IMS’ 2004 )*, pp. 468 – 474, Sakarya University, Sakarya
- OFFODILE, O. Felix, Abraham Mehrez ve John Grznar ( 1994 ), “ A Taxonomic Review Framework ”, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol: 13, No: 3, pp. 196 – 220.
- ÖZGÜRLER, Mesut ve Ali Fuat Güneri ( 1998 ), “ Grup Teknolojisi İmalat Sistemi ve Bir Uygulama ”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, Cilt: 3 – 4, s. 29 – 35.
- ÖZTEMEL, Ercan ( 2003 ), *Yapay Sinir Ağları*, 1. Basım, Papatya Yayınları, İstanbul.
- ÖZTEMEL, Ercan ve Muharrem Düğenci ( 1996 ), “ Genetik Algoritmalarla Permütasyon Tipi İş Sıralama ” , *Birinci Ulusal Zeki İmalat Sistemleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı ( ZİS’ 96 )*, s. 428 – 437, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- PLAQUIN, M. F. , H. Pierreval ( 2000 ), “ Cell Formation Using Evolutionary Algorithms with Certain Constraints ” , *International Journal of Production Economics*, Vol: 64, No: 1 – 3, pp. 267 – 278.
- PURCHECK, G. F. K. ( 1974 ), “ Combinatorial Grouping – A Lattice Theoretic Method for the Design of Manufacturing Systems ” , *Journal of Cybernetics*, Vol: 4, No: 3, pp. 27 – 60.
- PURCHEK, G. F. K. ( 1975 ), “ A Linear – Programming Method for the Combinatorial Grouping of an Incomplete Power Set ” , *Journal of Cybernetics*, Vol: 5, pp. 51 – 76
- RAJAGOPALAN R. ve J . L. Batra ( 1975 ), “ Design of Cellular Production Systems: A Graph – Theoretic Approach ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 13, No: 6, pp. 567 – 579.

- RAJAGOPALAN, Ramesh ve Purnima Rajagopalan ( 1996 ), “ Applications of Neural Network in Manufacturing ” , *Proceedings of the 29th Annual Hawaii International Conference on System Sciences ( HICSS – 29 )* , pp. 446 – 453.
- RAMABHATTA, Vishwanath ve Rakesh Nagi ( 2005 ), “ An Integrated Formulation of Manufacturing Cell Formation with Capacity Planning and Multiple Routings ” , <http://www.buffalo.edu/~nagi/pubs/annor.pdf>.
- RAO , A. Harish ve P. Gu ( 1994 ), “ Expert Self – Organizing Neural Network for the Design of Cellular Manufacturing Systems ” , *Journal of Manufacturing Systems*, Vol: 13, pp. 346 – 358.
- ROBINSON D. ve L. Duckstein ( 1986 ), “ Polyhedral Dynamics as a Tool for Machine – Part Group Formation ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 24, No: 5, pp. 1255 – 1266.
- SEIFODDINI, Hamid ( 1989 ), “ Single Linkage Versus Average Linkage Clustering in Machine Cells Formation Applications ” , *Computers and Industrial Engineering*, Vol: 16, No: 3, pp. 419 – 426.
- SEIFODDINI, Hamid ve Chen – Pang Hsu ( 1994 ), “ Comperative Study of Similarity Coefficients and Clustering Algorithms in Cellular Manufacturing ” , *Journal of Manufacturing Systems*.
- SEIFODDINI, Hamid ve P. M. Wolfe ( 1986 ), “ Application of the Similarity Coefficient Method in Group Technology ” , *IIE Transactions*, Vol: 18, No: 3, pp. 271 – 277.
- SELVAN, R. P. ve K. N. Balasubramanian ( 1985 ), “ Algorithmic Grouping of Operation Sequences ” , *Engineering Costs and Production Economics*, Vol: 9, pp. 125 – 134.
- SINGH, Nanua ( 1996 ), *System Approach to Computer – Integrated Design and Manufacturing*, John Wiley & Sons Inc. , The USA.



- SOFIANOPOULOU, S. ( 1999 ) “ Manufacturing Cells Design With Alternative Process Plans and / or Replicate Machines ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 37, No: 3, pp. 707 – 720.
- SRINIVASAN, G. ve T. T. Naredran ( 1991 ), “ GRAFICS – A Nonhierarchical Clustering Algorithm for Group Technology ” , *International Journal of Production Research*, Vol:29, No: 3, pp. 463 – 478.
- SRINIVASAN, G. , T. T. Naredran ve B. Mahadevan ( 1990 ), “ An Assignment Model for the Part – Families Problem in Group Technology ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 28, No: 1, pp. 145 – 152.
- STANFEL, L. E. ( 1985 ), “ Machine Clustering for Economic Production ” , *Engineering Costs and Production Economics*, Vol: 9, pp. 73 – 81.
- STANFEL, L. E. ( 1989 ), “ Successive Approximations Procedures for a Cellular Manufacturing Problem with Machine Loading Constraints ” , *Engineering Costs and Production Economics*, Vol: 17, pp. 135 – 147.
- STEUDEL, H. ve A. Ballakur ( 1987 ), “ A Dynamic Programming Based Heuristic for Machine Grouping in Manufacturing Cell Formation ” , *Computers and Industrial Engineering*, Vol: 12, No: 3, pp. 215 – 222.
- TAM, K. Y. ( 1990 ), “ An Operation Sequence Based Similarity Coefficient for Part Families Formation ” , *Journal of Manufacturing Systems*, Vol: 9, No: 1, pp. 55 – 68.
- TABOUN, S. M. , S. Sankaran ve S. Bhole ( 1991 ), “ Comparison and Evaluation of Similarity Measures in Group Technology ” , *Computers and Industrial Engineering*, Vol: 20, No: 3, pp. 343 – 353.
- TASKIN, Harun, Cemalettin Kubat ve Remzi Gümüştaş ( 1996 ), “ İmalat Sistemlerinde Bulanık Mantıkla İlgili Uygulamalar : Bir Literatür Taraması ” , *Birinci Ulusal Zeki İmalat Sistemleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı ( ZİS' 96 )*, s. 119 – 131, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

- TOP, Aykut ( 1986 ), “ Grup Teknolojisi ve Üretkenlik ” , *Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, Cilt 3, Sayı 3, s. 541 – 550.
- TORKUL, Orhan, A. K. Geyik ve O. F. Seymen ( 2004 ), “ An Integrated Approach to Manufacturing Cell Formation ” , *Proceedings of Fourth International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems ( IMS’ 2004 )*, pp. 916 – 922, Sakarya University, Sakarya.
- TORKUL, Orhan ve Numan Çelebi ( 2004 ), “ An Approach to Part Family Formation Using Inductive Learning and Rough Set Theory ” , *Proceedings of Fourth International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems ( IMS’ 2004 )*, pp. 1123 – 1135, Sakarya University, Sakarya.
- UDDIN, M. K. ve K. Shanker ( 2002 ), “ Groupings of Parts and Machines in Presence of Alternative Process Routes by Genetic Algorithm ” , *International Journal of Production Economics*, Vol: 76, No: 3, pp. 219 – 228.
- UZUN, Özlem, Özgür Eski ve Ceyhun Araz ( 2004 ), “ A Neural Network Based Multi – Criteria Decision Making Procedure for Kanban Allocation Problem in JIT Manufacturing System ” , *Proceedings of Fourth International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems ( IMS’ 2004 )*, pp. 505 – 515, Sakarya University, Sakarya.
- VAKHARIA, A. J. Ve Y. L. Chang ( 1997 ), “ Cell Formation in Group Technology: A Combinatorial Search Approach ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 35, No: 7, pp. 2025 – 2044.
- VANELLI, A. ve K. R. Kumar ( 1986 ), “ A Method for Finding Minimal Bottle – Neck Cells for Grouping Part – Machine Families ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 24, No: 2, pp. 387 – 400.
- VENUGOPAL, V. ve T. T. Naredran ( 1992a ), “ A Genetic Algorithm Approach to The Machine – Component Grouping Problem with Multiple Objectives ” , *Computers in Industrial Engineering*, Vol: 22, No: 4, pp. 469 – 480.

- VENUGOPAL, V. Ve T. T. Naredran ( 1992b ), “ Cell Formation in Manufacturing Systems Through Simulated Annealing: An Experimental Evaluation ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 63, No: 3, pp. 409 – 422.
- VOHRA, T. , D. Chen, J. Chang ve H. Chen ( 1990 ) “ A Network Approach to Cell Formation in Cellular Manufacturing ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 28, No: 11, pp. 2075-2084.
- WU, B. ( 1992 ), “ An Introduction to Neural Networks and Their Applications in Manufacturing ” , *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol: 3, pp. 391 – 403.
- XU, H. ve H. Wang ( 1989 ), “ Part Family Formation for Group Technology Applications Based on Fuzzy Mathematics ” , *International Journal of Production Research*, Vol: 27, pp. 1637 – 1651.
- YU, Feili, Georgiy M. Levchuk, Candra Meirina, Sui Ruan ve Krishna Pattipati ( 2004), “ A Novel Congruent Organizational Design Methodology Using Group Technology and A Nested Genetic Algorithm ” , [http://www.dodccrp.org/events/2004/CCRTS\\_San\\_Diego/CD/papers/059.pdf](http://www.dodccrp.org/events/2004/CCRTS_San_Diego/CD/papers/059.pdf).
- ZHANG, C. ve H. P. Wang ( 1992 ), “ Concurrent Formation of Part Family and Machine Cells Based on Fuzzy Set Theory ” , *Journal of Manufacturing System*, Vol: 11, pp. 61 – 67.
- ZHANG, Hong – Chao ve Leo Alting ( 1994 ), *Computerized Manufacturing Process Planning Systems*, First Edition, Chapman & Hall, Great Britain.

## ÖZGEÇMİŞ

Erhan BABALI 1980 yılında Sakarya / Adapazarı' nda doğdu. İlköğrenimini Büyükgazi İlkokulu ve Atatürk Ortaokulu' nda, ortaöğrenimini Sakarya Anadolu Meslek Lisesi Tesviye bölümünde tamamladı. 1999 yılında Sakarya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme bölümüne girdi ve 2003 yılında mezun olduktan sonra 2003 yılında Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilimdalı Üretim Yönetimi ve Pazarlama Enstitü Bilimdalı' nda yüksek lisansa başladı. Halen özel bir bankada memur olarak görevini sürdürmektedir.

