

**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI
ÜRETİM YÖNETİMİ VE PAZARLAMA BİLİM DALI**

**HÜCRESEL ÜRETİM:
HÜCRELERİN OLUŞTURULMASINDA
KULLANILAN YÖNTEMLERİN ANALİZİ
VE
BİR VİNÇ ATÖLYESİNDE UYGULAMA**

(DOKTORA TEZİ)

Bülent BAŞARAN

BURSA – 2005

**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI
ÜRETİM YÖNETİMİ VE PAZARLAMA BİLİM DALI**

**HÜCRESEL ÜRETİM:
HÜCRELERİN OLUŞTURULMASINDA
KULLANILAN YÖNTEMLERİN ANALİZİ
VE
BİR VİNÇ ATÖLYESİNDE UYGULAMA**

(DOKTORA TEZİ)

Danışman: Prof. Dr. Feray Odman ÇELİKÇAPA

Bülent BAŞARAN

BURSA – 2005

TC.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bülent Başaran'a ait "Hücreyel Üretim: Hücrelerin Oluşturulmasında Kullanılan Yöntemlerin Analizi ve Bir Vinç Atölyesinde Uygulama" adlı çalışma, jürimiz tarafından İşletme Anabilim Dalı, Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan

Akademik Ünvanı, Adı Soyadı

İmza

İmza

Üye (Danışman).....

Akademik Ünvanı, Adı Soyadı

Üye.....

Akademik Ünvanı, Adı Soyadı

İmza

İmza

Üye.....

Akademik Ünvanı, Adı Soyadı

Üye.....

Akademik Ünvanı, Adı Soyadı

**HÜCRESEL ÜRETİM:
HÜCRELERİN OLUŞTURULMASINDA
KULLANILAN YÖNTEMLERİN ANALİZİ
VE
BİR VİNÇ ATÖLYESİNDE UYGULAMA**

(Doktora Tezi)

ÖZET

HücreSEL üretim (HÜ) atölyeleri birden fazla üretim hücreSini içerir. Her hücre kendisine ait makinelerden oluşur ve kendisine atanan bir veya birden fazla parça ailesini üretmekle sorumludur. Eğer bir makine diğER bir hücrenin parçasını da işlemek zorunda kalırsa darboğaz makinesi olarak isimlendirilir. Benzer şekilde, eğer bir parçanın üretimi için kendi hücreSindeki makineler yeterli gelmezse bu parça da darboğaz parçası olarak isimlendirilir. Bu tür makine ve parçalara istisnai elemanlar denir. Üretim akışlarına dayalı olarak tüm parçaların üretilirken hangi makinelere uğrayacakları, ikili verilerden oluşan bir parça-makine görünüm matrisiyle gösterilebilir. Bu matrisin satır ve sütunlarından biri parçaları, diğERi de makineleri temsil eder. Eğer bir parça bir makinede işlem görüyorsa, matriste o parça ve makinenin kesiştiği yerde “1” girdisi, işlem görmüyorsa “0” girdisi bulunur. Yakın yıllara kadar hep bu ikili verilerle elde edilen matrisler çözülmeye çalışılmış ve birçok hücre oluşturma algoritması geliştirilmiştir. İkili bir matriste kesinlik söz konusudur ve esneklik ortadan kalkmaktadır. Esnekliği sağlamak için bulanık kümeleme yöntemleri ve bulanık verilerden oluşan parça-makine görünüm matrisleri kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı hem ikili hem de bulanık hücre oluşturma yöntemlerinden en yaygın kullanılanlarını açıklamak, bir karşılaştırma olanağı sunmak ve bunların birlikte kullanılabilirlikleri yöntemleri incelemektir. Bu amaçlar çalışılırken, bulanık verilerden oluşan parça makine görünüm matrisine “bağ enerji” (BE) yöntemi uygulanarak da hücrelerin oluşturulabileceği bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler: Grup Teknolojisi, Hücre Oluşturma, Bulanık Kümeleme

Danışmanı: Prof. Dr. Feray Odman ÇELİKÇAPA

Sayfa Sayısı: 199

**CELLULAR MANUFACTURING:
ANALYSIS OF THE CELL FORMATION METHODS AND AN
APPLICATION IN A CRANE SHOP**

(Doctorate Thesis)

ABSTRACT

Cellular manufacturing shops consist of more than one cells. Each cell has its own machines and responsibility to process one or more part families allocated to it. If a machine has to process a part which belongs to another cell, this machine is called a bottleneck machine. Similarly, if machines are not enough to produce a part in the same cell, this part is called a bottleneck part. Both kind of parts and machines are called exceptional elements. Based on production flows, it is possible to show all parts and their processing machines on the same binary part-machine incidence matrix. In this matrix, each column represents a part and each row represents a machine or vice versa. If a machine processes a part, the matrix element in the cross section of that corresponding machine and part is “1”, otherwise it is “0”. Until recent years, these kinds of binary matrixes have been tried to solve and many cell formation algorithms have been developed. There is a certainty and no flexibility in the binary matrix. To provide flexibility, fuzzy clustering methods and fuzzy part-machine incidence matrixes are used. The purposes of this thesis are to illustrate the widely used binary and fuzzy cell formation methods, to provide some comparisons between them and to examine some methods that can be used together. While the puposes were studied, it had been found that the cell formation would be possible by applying “bond energy” method to any fuzzy part-machine incidence matrix.

Key Words: Group Technology, Cell Formation, Fuzzy Clustering

Adviser: Prof. Dr. Feray Odman ÇELİKÇAPA

Number of Pages: 199

ÖNSÖZ

Teknolojideki hızlı gelişmelere paralel olarak yeni üretim sistemleri de hızlı bir gelişme göstermiştir. Özellikle bilgisayarların endüstride uygulanma alanlarının gelişmesi, bilgisayarla bütünleşik üretim sistemlerinin de kullanım alanlarını artırmıştır. En küçük iş atölyelerinde bile bilgisayar destekli üretim tezgahlarından yararlanılır olmuş, üretimle ilgili olan her türlü işlemler bilgisayar üzerinden izlenir hale gelmiştir. Bu gelişmeler iş atölyelerinde esnekliğin sağlanmasını da kolaylaştırmıştır.

İletişim teknolojilerindeki gelişmeler tüketicilerin istek ve beklentilerinin her zamankinden daha hızlı değişmesine neden olmaktadır. Bu istek ve beklentilerdeki değişikliklere işletmelerin en kısa zamanda cevap verebilmesi için, tüm işletme fonksiyonlarında esnekliğin sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla, günümüzde orta büyüklükte ve orta hacimde ürün üreten işletmeler, mümkün olduğunca esnek üretim sistemlerinden yararlanmaktadırlar.

Bir üretim ünitesinin esnek üretim sistemlerine uygun hale getirilebilmesi için GT yerleşim düzeninin ve onun bir uygulama şekli olan HÜ'in kullanılması gerekmektedir. GT ve HÜ yardımıyla, fonksiyonel yerleşim düzenini kullanan iş atölyelerinde karşılaşılan sorunlar giderilmeye çalışılır. İçerisinde birçok farklı türden parçanın, düşük hacimlerde, küçük parti büyüklüklerinde üretildiği parti türü bir üretim sistemine geçişte de istenirse GT etkin olarak kullanılabilir.

HÜ'de hücrelerin etkin bir şekilde oluşturulması çözülmesi gereken en önemli problemdir. Bu oluşturma yapılırken birbirine benzer özelliklere sahip parçaların aynı parça aileleri içerisinde toplanmaları esastır. Hücreler oluşturulurken belirli bir veya birkaç parça ailesini işleyebilen aynı veya değişik türden makineler aynı hücre içerisine yerleştirilmeye çalışılır. Buna hücrelerin eşzamanlı olarak oluşturulması denir. Makineleri dikkate almadan, sadece parça ailelerini oluşturmaya yönelik yapılan çalışmalar ise eşzamanlı olmayan çalışmalardır.

Geliştirilen klasik eşzamanlı hücre oluşturma algoritmaları genelde kesin verilerle çalışır. Kesin verilerde bir parça herhangi bir parça ailesine aittir veya değildir. Aynı şekilde bir makine herhangi bir hücreye aittir veya değildir. Oysa gerçek bir iş atölyesi ortamında bu denli kesin verilerle çalışmak mümkün olmaz. Makinelere

birçoğu değişik parça ailelerindeki değişik parçaları işleme yeteneklerine sahiptirler. Herhangi bir parçanın sadece tek bir ailenin elemanıymış gibi soyutlanması da çoğu zaman mümkün değildir. Dolayısıyla, parçaların ve makinelerin ailelere ve hücelere olan üyelikleri kesin verilerle belirlenemezler.

Bulanık kümeleme yöntemleri parçalar ve makinelerdeki belirsizlikleri göz önünde bulundurarak geliştirilmiş yöntemlerdir. Gerek hücre oluşturulması aşamasında bulanık yöntemler kullanılarak, gerekse hücreler oluşturulduktan sonra elde edilen bulanık çıktılar kullanılarak, belirsizlik durumlarının da çözüm sürecine katılması gerekmektedir. Bulanık verilerle yapılacak olan bu çalışmaların en önemli amacı atölyedeki üretim ortamında esnekliğin sağlanmasıdır.

Gerek kesin ikili veriler kullanılarak geliştirilen, gerekse belirsizlik içeren bulanık verilerden yararlanılarak elde edilen, eş zamanlı hücre oluşturma yöntemleri ve sonuçları bu çalışmada incelenecektir. Böylece, her iki türdeki yöntemler üzerinde geniş bir karşılaştırma olanağı oluşturulacaktır. Esnekliği sağlayıcı bulanık yöntemlerin sunulmasıyla, çalışmanın HÜ uygulayan veya ileride uygulamayı düşünen işletmeler için referans alabilecekleri bir kaynak olabileceğini umuyorum. Bu amaçlara ulaşmak için çoğunlukla literatürdeki örneklerden yararlanılmasına rağmen, elde edilebilen gerçek verilere dayanan örnekler de sunulmuştur.

Bu çalışmada emeği geçen ve katkıda bulunan, özellikle danışmanım Prof. Dr. Feray Odman Çelikçapa'ya ve Yrd. Doç. Dr. Gül Gökay Emel'e bana verdikleri destek ve yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

FABRİKA YERLEŞİM DÜZENLERİ VE HÜCRESEL ÜRETİM

1.1. TEMEL YERLEŞİM DÜZENLERİ	5
1.1.1. Sürece Göre (Fonksiyonel) Yerleşim Düzeni	5
1.1.2. Ürüne Göre Yerleşim Düzeni	6
1.1.3. Sabit Pozisyonlu Yerleşim Düzeni	8
1.1.4. Melez (Hybrid) Yerleşim Düzeni	8
1.1.5. Grup Teknolojisi (GT) Yerleşim Düzeni	9
1.2. HÜCRESEL ÜRETİM (HÜ) SİSTEMİ	13
1.3. HÜCRESEL ÜRETİM VE GRUP TEKNOLOJİSİNİN FAYDALARI	15
1.4. HÜCRESEL ÜRETİMİ YETERSİZ KILAN FAKTÖRLER	21
1.5. HÜCRELERİN OLUŞTURULMASI PROBLEMİ	22
1.5.1. Blok-Köşegen Yapı ve İstisnai Elemanlar	22
1.5.2. Hücre Sayısı, Yoğunluğu ve Performans Ölçütleri	27

İKİNCİ BÖLÜM
HÜCRE TASARIM FALTOÖRLERİ VE HÜCRE OLUŞTURMA GENEL
YÖNTEMLERİ

2.1. HÜCRE TASARIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	38
2.2. HÜCRELERİ OLUŞTURMADA KULLANILAN GENEL YÖNTEMLER ..	42
2.2.1. Sıralama Düzeni Kümeleme (ROC) Yöntemi	45
2.2.2. Satır Ve Sütun Maskeleme (SSM) Yöntemi.....	50
2.2.3. Bağ Enerji (BE) Yöntemi	53
2.2.4. Benzerlik Katsayısı (BK) Yöntemi (Hiyerarşik Kümeleme).....	57
2.2.5. K-Ortalamaları (KO) Yöntemi (Hiyerarşik Olmayan Kümeleme).....	62
2.2.6. Matematiksel Programlama (MP) Yöntemi.....	70
2.2.7. Çizge Kuramsal (ÇK) Yöntemi	84
2.3. GENEL YÖNTEMLERİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ	89

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK KÜMELEME YÖNTEMLERİ VE HÜCRESEL ÜRETİM

3.1. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELERİN TEMEL KAVRAMLARI	95
3.1.1. Belirsizlik Kavramı.....	95
3.1.2. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu	96
3.1.3. Üyelik Fonksiyonu Çeşitleri	100
3.1.4. Bulanık Mantık ve Küme İşlemleri	101
3.1.5. Bulanık Mantık Sisteminin Öğeleri	107
3.1.5.1. Bulanıklaştırma.....	107
3.1.5.2. Bulanık Çıkarım.....	108
3.1.5.3. Durulaştırma	109
3.2. BULANIK KÜMELEME YÖNTEMLERİ.....	110

3.2.1. Bulanık c -Ortalamaları (FCM) Yöntemi	110
3.2.2. Bulanık Çıkarımsal Kümeleme (BÇK) Yöntemi.....	117
3.2.3. Bulanık K-En Yakın Komşular (KNN) Sınıflandırma Yöntemi	123
3.3. BULANIK MANTIK VE KÜMELEME YÖNTEMLERİYLE GELİŞTİRİLEN ALGORİTMİK YAKLAŞIMLAR.....	124

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK KÜMELEMEDE ÖNERİLEN YAKLAŞIMLAR VE BİR VİNÇ ATÖLYESİNDE UYGULAMA

4.1. BULANIK BAŞLANGIÇ MATRİSİ VE HÜCRELERİN OLUŞTURULMASI	140
4.1.1. Bulanık Başlangıç Matrisi ve Uygunluk Fonksiyonu.....	140
4.1.2. Bileşik Uygunluk Endekslerinin Belirlenmesi	143
4.1.3. Genel Kümeleme Yöntemleri ve Bulanık Başlangıç Matrisi	144
4.2. İKİLİ BAŞLANGIÇ MATRİSİ VE BULANIK C-ORTALAMALARI	151
4.3. VİNÇ ÜRETİM ATÖLYESİ	156
4.3.1. Atölye Genel Bilgileri ve Ürün Çeşitleri	156
4.3.2. Atölyenin Mevcut Yerleşim Düzeni	159
4.3.3. Verilere Yöntemlerin Uygulanması ve Önerilen Yeni Yerleşim Düzeni	162
SONUÇ	176
KAYNAKLAR	180
EKLER	189
EK.1: Üyelik Fonksiyonları.....	189
EK.2: Vinç Atölyesinin 1, 2 ve 3. Holler Mevcut Detaylı Yerleşim Düzeni.	197
EK.3: Vinç Atölyesinin 3, 4 ve 5. Holler Mevcut Detaylı Yerleşim Düzeni.	198

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1: Başarılı Bir GT Uygulama Faaliyeti, Değişiklikleri ve Sonuçları.	16
Tablo 2: Üretim Hücrelerinin Kurulmasındaki Sebeplerin Önem Sırası.....	18
Tablo 3: HÜ Kullanan İşletmelerin Performans Ölçülerindeki Yüzde Artışlar.	19
Tablo 4: HÜ Sonucu İşgören Davranış Faktörlerindeki İyileşme.	20
Tablo 5: Makine ve Parçaların Oluşturduğu Hücreler.....	25
Tablo 6: İşlem Yoğunluğundaki Değişikliklere Göre Oluşan Artış ve Azalışlar.	36
Tablo 7: Çok Kriterli Modern Hücre Tasarım Modellerinde Kullanılan Faktörler.....	40
Tablo 8: Örnek Sınıflandırma ve Kodlama Sistemlerinin Listesi.....	42
Tablo 9: İkili Permütasyonların BE'leri..	55
Tablo 10: Üçlü Permütasyonun BE'si.	56
Tablo 11: Genel Amaçlı Bazı BK'ları.	58
Tablo 12: Genel Amaçlı Bazı Benzemezlik Katsayıları.	63
Tablo 13: Tüm Elemanları Kapsayan Başlangıç Kümelerle KO Yöntemi.....	65
Tablo 14: Tüm Elemanları Kapsamayan Başlangıç Kümelerle (Çekirdek Noktalarla) KO Yöntemi.....	67
Tablo 15: Birinci Örnek İçin Parçaların "Minkowski" Benzemezlik Katsayıları ve Değişkenleri.	72
Tablo 16: Birinci Örnek İçin "Kusiak"ın MP, p -Medyan Modeli.....	73
Tablo 17: Alternatif Süreç Planları İçin "Minkowski" Benzemezlik Katsayıları ve Değişkenler.	76
Tablo 18: Birinci Örnek İçin "Wang ve Roze"nin MP, p -Medyan Modeli.....	79
Tablo 19: Genel Hücre Oluşturma Yöntemlerinin Rakamsal Olarak Değerlendirilmeleri.	93
Tablo 20: Standart ve Bulanık Mantık Doğruluk Tabloları.....	103
Tablo 21: Normal ve Bulanık Küme İşlemlerinin Özellikleri.	104
Tablo 22: HÜ Sisteminin Tasarım Parametrelerindeki Belirsizliklerle İlgili Sebepler.	132
Tablo 23: Parçaların Küme Üyelik Dereceleri ve Yeniden Atanma Öncelikleri.	153
Tablo 24: Makinelerin Küme Merkezleri ve Yeniden Atanma Öncelikleri.	154
Tablo 25: Büyük Örnek İçin Atanma Öncelikleri ve Hücreleri.....	155
Tablo 26: Vinç Atölyesinin Ürettiği Parçalar.	158

Tablo 27: Vinç Atölyesinin Hol 1, 2 ve 5'teki Makineleri.....	160
Tablo 28: Vinç Atölyesinin Yeniden Atanma Öncelikleri ve Hücreleri.....	170

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Fabrika Yerleşim Düzeni Çeşitleri.	11
Şekil 1.2. Geleneksel ve Hücreli İş Atölyesi Ortamında Hücrelerin Oluşması.....	14
Şekil 1.3. Üretim Akışını Gösteren “Parça-Makine Görünüm Matrisi”.....	23
Şekil 1.4. Parça ve Makinelere Oluşan Grupları (Hücreleri) Gösteren Matris.....	24
Şekil 1.5. Darboğaz Parça ve Makinelerinin Gösterimi.	26
Şekil 1.6. Köşegene Olan Geometrik Uzaklıklar.....	32
Şekil 1.7. Maksimum Sayıdaki Hücrelerin Oluşturulması.	33
Şekil 1.8. Hücre Yoğunluk ve Sayılarındaki Değişmeler.....	35
Şekil 2.1. Küçük Boyutlu Örnek Başlangıç Matris.	44
Şekil 2.2. Büyük Boyutlu Örnek Başlangıç Matris.	44
Şekil 2.3. ROC Algoritması.....	47
Şekil 2.4. ROC2 Algoritması.....	49
Şekil 2.5. SSM Yöntemi.	51
Şekil 2.6. BK Yöntemi.....	61
Şekil 2.7. Alternatif Süreç Planları.	74
Şekil 2.8. Çizge ve Klikler.....	84
Şekil 2.9. ÇK Yöntemi.....	87
Şekil 2.10. Genel Yöntemlerin İkinci Örnek Üzerinde Çözümleri 1.....	91
Şekil 2.11. Genel Yöntemlerin İkinci Örnek Üzerinde Çözümleri 2.....	92
Şekil 3.1. Bulanık, Doğrusal Üyelik Fonksiyonları ve Üyelik Dereceleri.	98
Şekil 3.2. Bir Üyelik Fonksiyonundaki Parametreler.	99
Şekil 3.3. Yaygın Kullanılan Bazı Üyelik Fonksiyonu Biçimleri.	101
Şekil 3.4. Standart ve Bulanık Mantık İşlemlerinin Grafikselleştirilmesi.....	103
Şekil 3.5. Bulanık Mantık Sistemi.....	107
Şekil 3.6. GANTT Diyagramı İle “Makespan”in Gösterilmesi.....	130
Şekil 4.1. Uygunluk Fonksiyonu.	142
Şekil 4.2. Önerilen BBE Yöntemi.	147
Şekil 4.3. Örnek Bulanık Başlangıç Matris.	149
Şekil 4.4. Örnek Bulanık Matrise BBE Yönteminin Uygulanması Sonucu.	149
Şekil 4.5. Örnek Bulanık Matrisin BBE Yöntemine Göre Hücre İçi Boşluksuz Şekli.	150

Şekil 4.6. Örnek Bulanık Matrisin En Son Düzenlenmiş Blok-Köşegen Şekli.....	150
Şekil 4.7. İkili Örnek Matris ve FCM'na Uyarlanması.....	152
Şekil 4.8. Büyük Örnek İçin FCM Sonuçları.....	155
Şekil 4.9. Atölyenin Genel Yerleşim Düzeni.....	160
Şekil 4.10. Bir ve İkinci Hollerin Yerleşim Düzeni.....	161
Şekil 4.11. Üç, Dört ve Beşinci Hollerin Yerleşim Düzeni.....	162
Şekil 4.12. Atölyeden Elde Edilen İkili Başlangıç Matris.....	163
Şekil 4.13. ROC Yöntemi Beşinci Tekrar Sonucu.....	164
Şekil 4.14. ROC Yöntemi Hücre İçi Boşluklar Giderilmiş Sonucu.....	165
Şekil 4.15. BK Yönteminin Otuzuncu Tekrar Sonucu.....	166
Şekil 4.16. BK Yönteminin Hücre İçi Boşluklar Giderilmiş Sonucu.....	167
Şekil 4.17. FCM Yönteminin Sonucu.....	168
Şekil 4.18. FCM Yönteminin Hücre İçi Boşluklar Giderilmiş Sonucu.....	169
Şekil 4.19. Önerilen Genel Yerleşim Düzeni.....	172
Şekil 4.20. Dört ve Üçüncü Holün Önerilen Yerleşim Düzeni.....	173
Şekil 4.21. Bir ve İkinci Holün Önerilen Yerleşim Düzeni.....	174

KISALTMALAR

Kısaltma	Bibliyografik Bilgi
a.g.e.	Adı Geçen Eser
a.g.m.	Adı Geçen Makale
BE	Bağ Enerji
BBE	Bulanık Bağ Enerji
BK	Benzerlik Katsayısı
BÇK	Bulanık Çıkarımsal Kümeleme
ÇK	Çizge Kuramsal
GT	Grup Teknolojisi
FCM	Bulanık c-Ortalamları
HÜ	Hücrel Üretim
KNN	K-En Yakın Komşular
KO	K-Ortalamları
MP	Matematiksel Programlama
ROC	Sıralama Düzeni Kümeleme
SSM	Satır Sütun Maskeleyme

GİRİŞ

Yaşamın sürdürülebilirliğini sağlamak için insanlar üretmek zorundadırlar. Bu nedenle insanların üretim çabaları tarihin ilk çağlarından bu yana süregelen bir uğraş olmuştur. Bu uğraş içerisinde daha iyisini ve mükemmelini, daha az emek ve sermaye kullanarak üretmeye çalışmak temel hedeftir. Bu nedenle üretim, bilim ve teknolojinin odak noktasını oluşturmaktadır.

Üretim işlevini yerine getirebilmek için işletmelerin en uygun yerleşim düzenini kurmaları gerekmektedir. Yerleşim düzenindeki uygunsuzluklar mamulün üretim maliyetleri üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Optimal yerleşim düzenini kuramamış olan işletmelerde özellikle işletme içi birim taşıma maliyetlerinin gereğinden fazla olması doğaldır. Böyle işletmelerde bir mamulün üretilmesi için gereken zaman da olması gerekenden daha fazladır.

Yerleşim düzenleriyle üretim sistemleri birbirlerini bütünleyen konulardır. Her üretim sisteminin kendine özgü bir yerleşim düzeni vardır. Üretim sistemleri de aynen bir ürünün hayat eğrisinde olduğu gibi değişik aşamalardan geçerek işletme içerisinde gelişme gösterir. Başlangıçta küçük el sanatı veya sipariş üzerine üretim yapan dükkan veya atölye şeklindeki işletmelerin zamanla üretim sistemlerini ve yerleşim düzenlerini geliştirerek parti ve seri üretim yapan işletmeler haline geldikleri görülmektedir.

Uygun olan yerleşim düzeninin kurulması öncelikle başlangıçta verilecek bir yatırım kararıdır. Gerek başlangıçtaki hatalardan, gerekse teknolojik gelişmelerden kaynaklanan fabrika yerleşim düzenini değiştirme ihtiyacı zaman zaman gündeme gelebilmektedir. Eğer başlangıçta atölye veya fabrikadaki yerleşim düzeni ne kadar iyi kurulabilirse, bu düzenin değiştirilmesi gibi bir ek maliyet unsurunun gündeme gelme olasılığı da o derece az olacaktır.

Üretim sistemlerinden biri olan HÜ sistemi fabrika yerleşim düzenlerinden biri olan GT'nin bir uygulama şeklidir. HÜ sistemi, orta büyüklükte olan ve orta hacimde ürünler üreten işletmeler için bilgisayarla bütünleşik üretim sistemlerine uyumlu hale gelmede vazgeçilmez bir unsurdur. Şu an faaliyet gösteren ve aslında bu üretim sistemini fabrikasında kullanabilecek durumda olan işletmelerin genelde siparişe göre üretim sistemini ve fonksiyonel yerleşim düzenini benimseyen işletmeler oldukları

görülmektedir. GT, fonksiyonel yerleşim düzeninden kaynaklanan aksaklıkları gidermek amacıyla, ilk olarak 1940'lı yıllarda Sovyet Sosyalist Cumhuriyetleri Birliği'nde geliştirilen bir fabrika yerleşim düzenidir. Gittikçe genişleyerek günümüze değin tüm dünyada yaygın kullanılma alanı bulmuştur.

HÜ birden fazla üretim hücresinden oluşan bir üretim sistemidir. Bu sistemden maksimum faydayı sağlamak için hücrelerin en uygun şekilde oluşturulmaları gerekmektedir. Gerek hücrelerin hangi parçaları üreteceklerinin, gerekse hücre içerisinde bu parçaları hangi makinelerin işleyeceğinin tespit edilmesi hücrelerin oluşturulması aşamasında karşılaşılan en önemli ilk problemdir. Hücrelerin kendi içindeki üretim akışlarını düzenleyici en uygun hücre içi tasarımlarının yapılması da çözülmesi gereken önemli ikinci bir problemdir. Bu çalışmanın temel hedefi kısaca hücrelerin oluşturulması olarak bilinen birinci problemi çözmeye yönelik olacaktır.

Hücrelerin oluşturulmasında günümüze değin birçok algoritma ve yöntem geliştirilmiş ve hala geliştirilmeye devam etmektedir. Yöntemlerin çokluğunun en önemli nedeni, göz önünde bulundurulması gereken tasarım faktörlerinin sayısının oldukça fazla olmasıdır. GT'nin ortaya çıktığı yıllardan günümüze bulanık mantık, yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar gibi çeşitli bilimsel çözümleme tekniklerinin geliştirilmesi yöntem sayısını artırıcı diğer önemli bir etmendir.

Hücrelerin oluşturulmasında yakın yıllara kadar geliştirilen yöntemler hep ikili kesin verilerle ve ikili Boole mantığı kullanılarak geliştirilmiştir. Bu temele dayalı olarak geliştirilen algoritmalarından en önemlileri "sıralama düzeni kümeleme (ROC)", "bağ enerjisi (BE)", "benzerlik katsayısı (BK)" ve "matematiksel programlama (MP)" gibi yöntemlerdir. Bunlar içerisinde özellikle "King" tarafından geliştirilen ROC yöntemi hesaplama kolaylığı nedeniyle yaygın kullanılmaktadır. MP yöntemi de hücre oluşturmada karşılaşılabilecek çok sayıda etmeni modele katabilme olanağı sağlaması nedeniyle geniş kullanım alanı bulmaktadır. Bütün yöntemlerin birbirlerine göre üstün ve zayıf tarafları vardır. Kimi hesaplama açısından zor veya kolay, kimi de elde edilen çözüm ele alındığında üstün veya zayıf olabilmektedir.

"Lotfi Zadeh" tarafından 1965 yılında bulanık mantık ve bulanık kümelerin temel kavramlarının sunulmasıyla, bilimsel birçok alanda olduğu gibi HÜ alanında da bulanık yöntemlerin kullanılabilirliği gündeme gelmiştir. 1989 yılında ilk olarak "Li ve

Ding” bulanık kümeleme yöntemlerinin HÜ ve GT’nde kullanılabilirliğini ispatlamışlardır. “Bezdek”in geliştirdiği bulanık c-ortalamları (FCM) yöntemi de hücre oluşturma probleminin çözümünde bir çığır açmıştır. Bulanık hücre oluşturma yöntemleriyle kesin veriler ve çözümler ortadan kaldırılmaya çalışılmakta bunun yerine mümkün olduğunca kesinlik içermeyen bulanık veri ve çözümlerle çalışılmaktadır. Bulanıklığa doğru bir eğilimin olmasının en büyük sebebi hücreleri oluşturan parça ve makinelerin birbirlerinden net bir şekilde ayrıştırılamamalarında yatmaktadır. Parçalar ve makineler çeşitli açılardan birbirlerine benzemektedirler. Bir makine farklı farklı parçaları işleme yeteneğine sahip olabilir. Bir parça da istenirse farklı farklı makinelerde işlenebilir. Bu nedenle hücre oluşturmaya bir esnekliğin katılması gerekir. Bu esnekliği kazandıracak en önemli araç ise bulanık hücre oluşturma yöntemleridir. İçerisinde bulanık mantık ve bulanık kümeleme yöntemlerinin kullanıldığı çeşitli hücre oluşturma algoritmaları ve yöntemleri geliştirilmiştir. Bulanık yöntemler içerisinde ikili mantığa göre geliştirilen yöntemlerden faydalanılanlar da vardır. “Yapay sinir ağları”, “genetik algoritmalar”, “tabu araştırması” gibi yöntemlerin de bulanık yöntemlerle birlikte kullanıldıklarına rastlamak mümkündür.

Bu çalışmada ilk olarak fabrika yerleşim düzeni çeşitleri hakkında genel bilgiler verilerek, HÜ ve GT’nin bunlar arasındaki yeri tespit edilecektir. Yerleşim düzenlerinin birbirlerine karşı üstün ve zayıf yönlerine de kısaca yer verilmektedir. Özellikle GT’nin faydaları, onun kullanım alanının sınırları, kullanılmasında karşılaşılan güçlükler gibi konular anlatılmaktadır. Hücre oluşturma problemi olarak tanımladığımız ilk problemin nasıl ortaya çıktığı ve hücre sayı ve yoğunluğundaki çeşitli değişmelere göre nasıl bir boyut kazanacağı ortaya konulmaktadır. Bunlara göre geliştirilen çeşitli performans ölçütlerine de yer verilmektedir.

İkinci bölümde ikili mantığa dayalı olarak geliştirilen hücre oluşturma yöntemlerinden en genel olanlarına yer verilmiştir. Yöntemler küçük örneklerle açıklanacak ve büyük bir örnek her yöntem için çözülmüş olarak sunulacaktır. Böylelikle bu bölümün sonunda, bu büyük örnek yardımıyla tüm genel yöntemlerin karşılaştırılabilme olanağı doğacaktır. Karşılaştırmalar yapılırken hem literatür desteğinden hem de ilk bölümde anlatılan performans ölçütlerinden yararlanılmaktadır.

Üçüncü bölümde bulanık mantık hakkında genel bilgiler verilerek, bulanık kümeleme yöntemlerinden özellikle FCM yöntemi detaylı olarak incelenecektir. Günümüze kadar hücrelerin oluşturulmasıyla ilgili geliştirilen ve bulanık kümeleme yöntemlerini de içeren diğer algoritma ve yöntemler kısaca ele alınmaktadır. Özellikle bu yöntemlerin ne tür verileri nasıl kullandıkları ve ne tür sonuçlar elde ettikleri geniş bir literatür taramasıyla açıklanacaktır.

Son bölüm önerilen bulanık yöntemlerin detaylı açıklandığı ve uygulamanın yapıldığı bölümdür. Burada önce, üçüncü bölümde kısaca açıklanan yöntemlerden birine ek olarak başka bir yöntemin de uygulanabilirliği gösterilecektir. Sonra, yine üçüncü bölümde kısaca anlatılan diğer bir yöntem, bulanık olmayan ikili verilere uygulanabilme özelliğinden dolayı, kullanılacak ikinci bir yöntem olarak sunulmaktadır. Bu ikinci yöntemin gerçek bir atölye ortamından sağlanan verilere uygulaması yapılmıştır. Ele alınan tüm yöntemlerin ve uygulama sonunda elde edilen bulguların geniş bir değerlendirmesi çalışmanın sonuç kısmında sunulmaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

FABRİKA YERLEŞİM DÜZENLERİ VE HÜCRESEL ÜRETİM

Yerleşim düzeni bir işletmenin fiziksel bir mekan içerisinde üretim fonksiyonunu yerine getirirken kullandığı makine, alet, malzeme ve işgücü gibi unsurların fiziksel konumlarıdır. Bu fiziksel konumların bir bütün olarak koordinasyonuna fabrika düzenleme veya işyeri düzenleme denir¹. İşletmelerin faaliyet alanlarına ve teknolojiyi kullanabilme yeteneklerine göre değişik yerleşim düzenleri oluşmaktadır. Bu bölümde bu yerleşim düzenlerinin başlıcaları ve hücreli üretim sisteminde karşılaşılan hücre oluşturma problemi açıklanacaktır.

1.1. TEMEL YERLEŞİM DÜZENLERİ

1.1.1. Sürece Göre (Fonksiyonel) Yerleşim Düzeni

Fonksiyonel yerleşim düzeninde birbirlerine benzeyen makinelerin, iş atölyesinin belirli yerlerinde gruplandıkları görülür. Parçaların, üretilmeleri için atölyenin tamamını kat eden geniş bir rota çizmeleri gerektiğinde ve makinelerde kullanılacak aletlerin veya aparatların benzer makineler tarafından paylaşılması gerektiğinde bu tür bir yerleşim düzenini kullanmak uygun hale gelir². Bu yerleşim düzeninde kesin olarak diğerlerinden ayrılacak, baskın olan herhangi bir iş akışıyla karşılaşmaz. Üretilen bir parçanın bir sonraki işlemi, örneğin tornalama ise, bu parçanın bu işlem için nereye gönderileceği bellidir. Bundan sonra o parça, bütün tornaların grup halinde bir arada buldukları yere gider ve grupta bir sonraki boşalacak tornayı beklemek üzere sıraya girer. Eğer böyle bir ortamda tornalar atölyenin değişik yerlerine düzensiz olarak serpiştirilmiş olsalardı, büyük bir karmaşa yaşanabilir ve üretim kontrolü ve malzeme taşıma faaliyetleri güçleşir, önceliği olan işlerin önce gördürülmeleri imkansızlaşır ve boşalan makinelerin belirlenerek kullanılmaları oldukça zorlaşır.

¹ Kobu, Bülent, **Üretim Yönetimi**, “10. bs.”, Avcıol Basım-Yayın, İstanbul, 1998, s. 155.

² Schmenner, Roger W., **Production/Operations Management: Concepts and Situations**, “3. edition”, Science Research Associates, Inc., Chicago, USA, 1987, s. 282.

Benzer makinelerin beraberce gruplandırılmalarının diğer bazı avantajlarından da söz edilebilir. Örneğin bakım ve hazırlık için gereken teçhizat yakın yerlerde depolanabilir. Tek operatörün iki veya daha fazla makine veya teçhizat kullanması mümkün olabilir³. Bu da oldukça önemli bir verimlilik artışı sağlar.

Her iş için ayrı bir rotanın belirlenmesi gerektiğinde, sürece göre yerleşim düzeni, bir sonraki kısımda incelenecek olan ürüne göre yerleşim düzeninden daha çekici bir hal alır. Her iş için ayrı bir rotanın belirlenmesi, üretilen ürün çeşidinin de fazla olması anlamına gelir. Dolayısıyla bu yerleşim düzeninin kullanıldığı bir atölyede üretilen ürünler çeşit bakımından fazladır. Her çeşit ürüne üretilmesi gereken miktarlar açısından bakıldığında ise, ürüne göre yerleşim düzenine kıyasla sürece göre yerleşim düzeninde bunun oldukça düşük olduğu görülür. Birim zamandaki çıktı miktarı daha düşüktür.

Sürece göre yerleşim düzeni genelde sipariş üzerine üretim yapan işletmeler için daha avantajlı bir yerleşim düzenidir⁴. Gelen siparişlerin müşteriden müşteriye değişen ürün özellikleri sergileyebilmeleri nedeniyle ürün sipesifikasyonları önceden tam olarak belirlenemez. Bu da eldeki makinelerin belirli özelliklere sahip bir ya da birkaç ürüne göre düzgün bir hat şeklinde yerleştirilmelerini imkansız kılar.

1.1.2. Ürüne Göre Yerleşim Düzeni

Bu yerleşim düzeninde eldeki makine ve aletler bir ürünün ham madde halinden en son bitmiş ürün olasıya kadar, üzerinde yapılması gereken işlemlerin sırasına göre yan yana dizilir. Bu nedenle birbirinden farklı özelliklere sahip, farklı makinelerin bir üretim hattı üzerinde yan yana bulunmaları mümkündür. Üretim sürecinde eğer hissedilir derecede baskın olan bir akış varsa, ürüne göre yerleşim düzeni, sürece göre yerleşim düzeninden çok daha avantajlı bir hal alır. Malzemelerin taşınmaları büyük ölçüde basitleşir⁵. Malzeme taşıma maliyetleri ve taşıma uzaklıkları önemli ölçüde

³ Diworth, James B., **Production and Operations Management: Manufacturing and Nonmanufacturing**, "3. edition", Random House, Inc., New York, USA, 1986, s. 562.

⁴ Kobu, a.g.e, s. 160.

⁵ Moore, Franklin G., - Hendrick, Thomas E., **Production/Operations Management**, "8. edition", Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Illinois, USA, 1980, s. 182.

azalır. Üretim için gerekli olan alan azaltılabilir. Üretim kontrolü daha kolaydır. Buradaki yerleşim düzeni önceliği olan işlemleri öncelik sıralarına göre kendi kendine yerine getirebilecek bir güçtedir. Süreç içerisinde yığılan stoklar ürüne göre yerleşim düzeninde, sürece göre yerleşim düzenine oranla yok denecek kadar azdır. Üretim çevrim zamanları da buna benzer şekilde çok daha kısadır. Üretim çevrim zamanının kısa oluşu kalite kontrol bilgilerinin geri bildiriminin daha hızlı gerçekleşmesine ve daha etkili olmasına neden olur.

Ürüne göre yerleşim düzeninin değişik şekillerinden söz edilebilir. Bunlardan biri sürekli akış şeklinde olan ve bütün üretim hattının otomatik makineleştirilerek insan emeğinin en düşük düzeylere indirildiği süreçlerden oluşan yerleşim düzeni şeklindedir. Sermaye yoğun süreçlerdir. Bu tür süreçler için “yerleşim düzeni eşittir süreç, süreç eşittir yerleşim düzeni” tanımlamasını yapmak bile mümkündür. Kısacası sürecin değiştirilmesi yerleşim düzeninin değiştirilmesi, yerleşim düzeninin değiştirilmesi ise sürecin değiştirilmesi anlamına gelir. Ayrıca, süreç veya yerleşim düzeninde yapılacak bir değişiklik için çok büyük harcamalar yapılması gerekir. Bu nedenle, yerleşim düzeni kurulurken üretim hattının dengelenmesinin çok iyi ayarlanması ve sonradan süreç üzerinde değişiklik yapmaktan mümkün olduğunca kaçınılması gerekir.

Diğer bir ürüne göre yerleşim düzeni şekli ise işgörenlerin daha yoğun olarak kullandıkları hat şeklindeki akış süreçleridir. Bu tür süreç kullanan işletmelere örnek olarak “fast-food” işletmeleri verilebilir. Burada işgücü emeğinin yoğunluğuyla beraber malzeme yoğunluğu da göze çarpar. Bu tür süreçler, oldukça esnektirler ve gerektiğinde üretim hattının dengelenmesi yeniden yapılabilir; hat uzatılabilir, kısaltılabilir veya döndürülebilir.

Sürekli akış ve emek yoğun akış yerleşim düzenleri, ürüne göre yerleşim düzeninin iki uçtaki kutuplarını oluşturmaktadır. Bunlar arasında da sürekli akışa göre daha fazla esnek ve emek yoğun akışa göre daha az esnek olan yerleşim düzeni çeşitlerine rastlanır.

1.1.3. Sabit Pozisyonlu Yerleşim Düzeni

Mümkün olduğunca hareket ettirilmeyen, durağan bir ürünün üretilmesi için gerekli olan malzemelerin o ürünün yanına getirilmesiyle oluşturulan yerleşim düzenine sabit pozisyonlu yerleşim düzeni denir. Eğer üretilecek olan ürün üretim süreci içerisinde taşınamayacak kadar, boyut ve ağırlık olarak çok büyük ise, bu yerleşim düzeninin uygulanması mantıklı hale gelebilir. Büyük bir bina, bir baraj, gemi, köprü, metro yapımı gibi projeye dayanan üretimlerde sabit pozisyonlu yerleşim düzeninin kullanılması kaçınılmazdır. Değişik bir örnek vermek gerekirse, otomobil tamir ve bakımı yapılan servis atölyelerinde de bu tür yerleşim düzeninin kullanıldığı görülür.

Bu yerleşim düzeninde malzeme taşıma işlemleri daha güçtür. Benzer parçalar için kullanılacak malzemenin, takım ve aparatların bir hat üzerindeki belirli bir noktaya taşınmaları yerine, belirli bir anda parçalara ayrılarak süreç içerisindeki çeşitli ürünlere dağıtılmaları gerekebilir. Farklı tür ve becerilerdeki işçilerin bir üründen diğerine hareket etmeleri veya belirli işçilerden oluşan tek bir işçi kümesinin bütün iş boyunca aynı kalmaları gerekebilir. İşçi hareketlerinin çizelgelenmesi yapılacak olan her şeyin özü haline gelebilir. Böyle olunca, tüm işi yapmak için işçilerin eğitilmeleri gerektiğinde, bu eğitim oldukça uzun zaman ve kaynak harcamayı gerektirir. Kalite kontrolü daha problemlidir bir şekilde görünür. Kalite kontrolünden sorumlu olanlar genelde aylak kalırlar ve bu durum operatörlerin zaman kaybetmelerine neden olur. Bir operatörün sadece bir makine veya sadece bir iş istasyonunun süreç verimliliğini değerlendirmesi gibi bir lüksü yoktur. Değerlendirilmeleri gereken birçok iş istasyonu vardır.

1.1.4. Melez (Hybrid) Yerleşim Düzeni

Bir fabrika içerisinde bir önceki bölümlerde açıklanan yerleşim düzenlerinden bir veya birkaç tanesi de kullanılıyor olabilir. Bu tür yerleşim düzenlerine “melez

yerleşim düzenleri” denir⁶. Bazı kaynaklarda buna “karma (combination veya mixture) yerleşim düzeni” dendiğine de rastlanır⁷. Aslında üretim ortamında kullanılan süreçlerin çoğu melezdir. Bu şekildeki melez süreçler de melez yerleşim düzenlerinin oluşmasına neden olurlar. Uygulamada en yaygın kullanılan melez yerleşim düzeni, fabrika kapasitesinin bir kısmının sürece göre yerleşime, bir kısmının da ürüne göre yerleşime odaklandığı düzendir⁸.

İşletmeleri melez yerleşim düzeni kurmaya iten sebep, üretilen üründe kullanılan parçaların birbirinden oldukça farklı özelliklere sahip olmalarıdır. İşletme bu parçaları dışarıdan temin etmek yerine kendi fabrikası içerisinde üretmeyi tercih edebilir. Bu da farklı özellikteki parçaları üretecek birden fazla türde süreç ve yerleşim düzeni gerektirebilir. Örneğin ağır iş parçalarının üzerindeki işlemleri yerine getirecek makineler belirli bir grup halinde bir yerde bulunabilirler ve bunlara tavandaki bir raylı vinç hizmet verebilir. Diğer yandan daha hafif parçaların üretildiği başka bir makine grubu kurulabilir, fakat buradaki taşıma işlemleri böyle bir vince gerek olmadan gerçekleştirilebilir. Zehirli, yanıcı veya patlayıcı ürün bileşenleri fabrikanın başka bir köşesinde, değişik bir yerleşim düzeninden faydalanılarak üretilebilir. Benzeri örneklerin sayısı artırılabilir. Dolayısıyla çoğu işletmeler için melez yerleşim düzenlerinden faydalanmak kaçınılmaz bir hal alır.

1.1.5. Grup Teknolojisi (GT) Yerleşim Düzeni

GT Sovyet Sosyalist Cumhuriyetleri Birliği’nde (S.S.C.B) 1940’larda parti üretim sistemlerindeki verimliliği artırıcı bir üretim felsefesi olarak uygulandı ve geliştirildi⁹. Bu ismin verilmesi ve ilk terminolojisinin belirlenmesi Leningrad

⁶ Dilworth, a.g.e., s. 556.

⁷ Buffa, Elwood S., - Sarin, Rakesh K., **Modern Production/Operations Management**, “8. edition”, John Wiley&Sons, USA, 1987, s. 671.

⁸ Doerr, Ken, - Magazine, Michael J., “Design, Coordination and Control of Hybrid Factories: Research Issues From an Exploratory Field Study”, **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 20, No. 1, 2000, s. 86.

⁹ Venugopal, V., - Narendran, T. T., “Machine-Cell Formation Through Neural Network Models”, **International Journal of Production Research**, Vol. 32, No. 9, 1994, s. 2105.

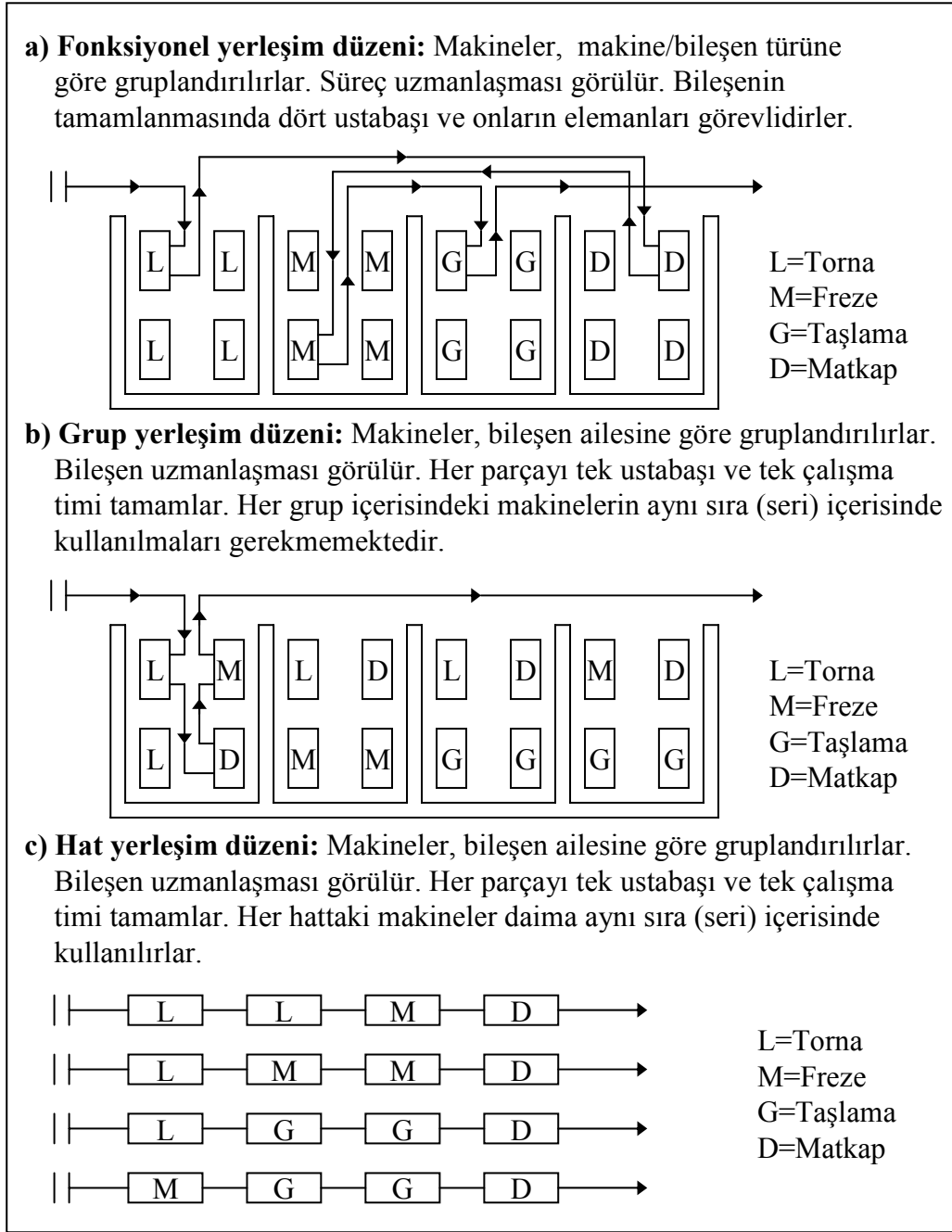
Üniversitesinde “S. P. Mitrafanov” tarafından yapılmıştır¹⁰. GT ile ilgili ilk öncü çalışmalar S.S.C.B. ve Doğu Almanya fabrikalarında 1950’lerde yapıldı¹¹. Bundan sonra GT’nin Doğu Avrupa ülkelerinde ve sonra da Batı Avrupa ülkeleri ve A.B.D. gibi diğer ülkelerde de kullanılmaya başlanıldığı görülmüştür.

GT önceki bölümlerde açıklanan yerleşim düzenleri içerisinde en çok sürece göre yerleşim düzenine benzemektedir. Bu nedenle bu tür iş atölyesi şeklinde olan işletmelerin karşısına GT yerleşim düzeni ve sürece göre yerleşim düzeni iki alternatif olarak çıkar. Bu işletmelerin üretim süreçlerini iyi değerlendirip uygun olanını kurmaları gerekir.

Bir iş atölyesi içerisinde herhangi bir parça üretilirken, bu parçanın çeşitli makine veya tezgahlarda, çeşitli aletler kullanılarak ve belirli bir işlem sırası takip edilerek üretilmesi gerekir. Böyle bir ortamda üretilen parça, üzerinde yapılması gereken ilk işlemde başlayarak örneğin, önce bir kesme makinesine, sonra bir torna tezgahına, bir matkaba, bir freze ve en sonunda da bir taşlama tezgahına uğrayarak yapılacak işlemler tamamlanmış olur. Bu parça böylece, üretim süreci içerisinde atölyenin bir köşesindeki işlemde başlayıp diğer köşedeki bir torna tezgahına, oradan da atölyenin değişik yerlerindeki aynı veya farklı işlemleri gören makinelere taşınmak zorunda kalabilir. Dolayısıyla, geleneksel bir iş atölyesi ortamında bir parçanın üretilmesi için gerekli olan işlemler ve işlem sıraları karmaşık bir görünüm sergiler. İş atölyelerinde rastlanan bu karmaşıklığın başlıca nedeni fonksiyonel (sürece göre) yerleşim düzenidir. Fonksiyonel yerleşim düzenlerinde aynı veya birbirine çok benzer olan işlemleri gören makinelerin atölyenin belirli yerlerinde toplu halde buldukları görülür. Örneğin torna tezgahları atölyenin belirli bir yerinde, frezeler belirli bir yerde, matkaplar diğer bir yerde ve taşlama tezgahları da başka bir yerde toplu halde bulunurlar. Bu şekilde oluşturulan bir iş atölyesinde, üretilecek parçaların makineler arasındaki taşıma mesafeleri artmakta, üretimi yapan işçilerin sorumluluk sahaları birbirine karışmakta ve makine kullanım oranları azalmaktadır. İşçi, zamanının çoğunu parçanın üretimi için uygun makine ve aletleri aramakla geçirmektedir.

¹⁰ Kaimann, Richard A., - Bechler, Barbara A., “Emerging Concepts In Production: Group Technology, Manufacturing Cells, and Robotics”, **Industrial Management**, Vol. 24, No. 6, 1982 , s. 2.

¹¹ Sönmez, Ali İhsan, **Production Plant Design**, Gaziantep Üni. Basımevi, Gaziantep 1991, s. 29.



Şekil 1.1. Fabrika Yerleşim Düzeni Çeşitleri.

Kaynak: Burbidge, John L., The Introduction of Group Technology, William Heinemann Ltd., London, 1975, s. 3.

GT, iş atölyelerindeki bu belirtilen dezavantajları ve karmaşıklığı ortadan kaldırmak için geliştirilen bir yerleşim düzeni şeklidir. GT ve diğer yerleşim düzenleri Şekil 1.1'de görülmektedirler. GT'nin uygulandığı bir iş atölyesi birden fazla üretim

hücrelerinden oluşmaktadır. Bir üretim hücresi birbiriyle benzer özellikler sergileyen parçaların üretildiği bir üretim ünitesi olarak faaliyet gösterir. Her üretim hücresi içerisinde, birbirinden farklı işlem yeteneğine sahip farklı cinsten makineler bulunabilir. Diğer bir anlatımla, aynı işi gören ve aynı cinsten olan üretim tezgahlarının değişik hücreler içerisine bir veya birden fazla olarak serpiştirilmeleri mümkündür. Dolayısıyla GT, içerisinde birçok farklı türden ürünün düşük hacimlerde ve küçük lotlar halinde üretildiği parti türü bir üretim sisteminin geliştirilmesi için kullanılabilir etkin bir yaklaşımdır¹². Çok sayıda çeşit içeren bu ürünlerin düşük talebe sahip oldukları da söylenebilir¹³.

Üretim hücrelerinin oluşturulmalarındaki temel unsur benzer özelliklere sahip parçaların aynı üretim hücresi içerisinde üretilmeleridir. Birbirine benzer özelliklere sahip parçalardan oluşan ve aynı hücre içerisinde tanımlanabilen bu parça grubuna “parça ailesi” denir. Parçalar arasındaki bu benzerlik temel olarak aşağıdaki gibi dört başlık altında toplanabilir¹⁴.

1. Geometrik benzerlik
2. Fonksiyonel benzerlik
3. Malzeme benzerliği
4. Süreç benzerliği

Parçalar arasında, bu benzerlik çeşitlerinden bir veya birden fazlası bulunabilir. Parça benzerliklerini daha geniş bir şekilde ele alarak değerlendirmek için bu araştırma sahasında yeni çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Parça benzerlikleri parça ailelerini oluşturmak için kullanılabilir düzeye gelmeden önce açık olarak tanımlanmalıdırlar.

¹² Won, Y., “New p -median Approach to Cell Formation With Alternative Process Plans”, **International Journal of Production Research**, Vol. 38, No. 1, 2000, s. 229.

¹³ Klippel, Elizabeth Maria, - Alvarenga, Arlindo Gomes de, - Gomes, Francisco Jose Negreiros, “A two-phase Procedure for Cell Formation in Manufacturing Systems”, **Integrated Manufacturing Systems**, Vol. 10, No. 6, 1999, s. 367.

¹⁴ Xu, Haiping, - Wang, Hsu-Pin (Ben), “Part Family Formation for GT Applications Based on Fuzzy Mathematics”, **International Journal of Production Research**, Vol. 27, No. 9, 1989, s. 1638.

“Lee-Post” (2000) parça-aileleri oluşturulurken parçaların ne tür benzer özelliklerinden faydalanılabileceği konusunda daha kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır¹⁵.

1. Tasarım Özellikleri

- a. Biçim
- b. Uzunluk/çap oranı
- c. Malzeme çeşidi
- d. Parça fonksiyonu
- e. Boyutlar
- f. Toleranslar
- g. Yüzey bitimi

2. Üretim Özellikleri

- a. Süreç
- b. İşlemler
- c. Makine aleti
- d. İşlem sırası
- e. Yıllık üretim
- f. Gereken fikstürler
- e. Parti büyüklüğü

Parça özellikleri seçilirken makine süreçleriyle direkt olarak ilişkili olan özelliklerin seçilmelerine dikkat edilmelidir. Parçalar benzer geometrik ölçülere sahip olmasalar bile aynı üretim sürecini gerektirebilirler. Buradaki amaç birbirlerine en çok benzeyen parçaların aynı hücre içerisinde üretilmelerini sağlamaktır.

Literatürdeki birçok kaynak incelendiğinde GT'nin “bilgisayar destekli tasarım”, “bilgisayar destekli üretim”, “bilgisayar destekli süreç planlaması” ve “bilgisayarla bütünleşik üretim” arasında en önemli yapı taşlarından biri olduğu görülür. GT uygulamalarından bir çoğu, bu sistemler içerisinde herhangi bir şekliyle mutlaka bulunmaktadır.

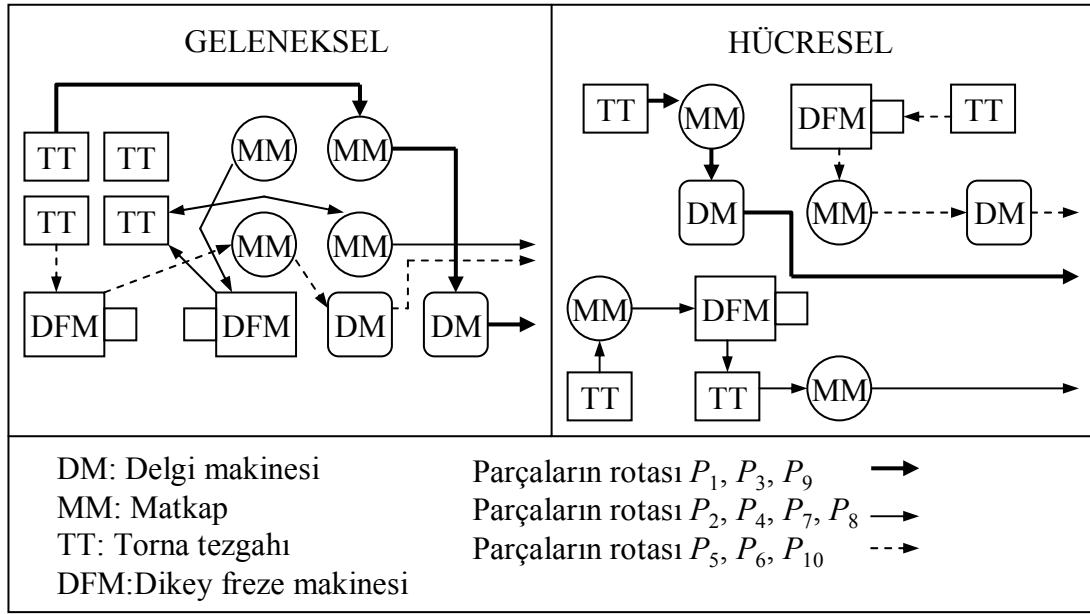
1.2. HÜCRESEL ÜRETİM (HÜ) SİSTEMİ

HÜ, GT'nin bir uygulama çeşididir¹⁶. HÜ “esnek üretim sistemlerinin” ve “bilgisayarla bütünleşik üretimin” teknolojik temelini oluşturmaktadır. HÜ'e ikinci nesil GT olarak bakılabilir. Birinci nesil GT parça aileleri üzerinde yapılmaktadır ve bir parça ailesi benzer biçimlerden oluşan veya benzer üretim sürecini gerektiren parçalardan

¹⁵ Lee-Post, Anita, “Part Family Identification Using a Simple Genetic Algorithm”, **International Journal of Production Research**, Vol. 38, No. 4, 2000, s. 794.

¹⁶ Won, a.g.m., s. 229.

meydana gelmektedir. İkinci nesil GT'nde ise, yani HÜ'de ilgilenilen temel unsur, parça ailelerinin ve makine ve aletlerin gruplandırılmalarının eşzamanlı olarak yapılmalarıdır¹⁷. Herhangi bir hücre bir veya birkaç parça ailesini üretecek şekilde makineler, aletler ve malzeme taşıma araçlarından oluşmaktadır. Şekil 1.2'de geleneksel bir iş atölyesiyle, HÜ yapan bir iş atölyesini karşılaştırmak mümkündür.



Şekil 1.2. Geleneksel ve Hücresel İş Atölyesi Ortamında Hücrelerin Oluşması.

Kaynak: Heragu, Sunderesh, **Facilities Design**, PWS Publishing Company, Boston, 1997, s. 282.

Malzeme taşıma işlemlerinin mekanikleştirilmeleri ve otomatikleştirilmeleri ile GT yerleşim düzeni kullanılarak insansız üretim hücreleri oluşturulabilir. Küçük bir parça ailesinin üretim sürecini gerçekleştirmek için robotlar yardımıyla tamamen otomatikleştirilmiş bir iş hücresi tasarlanabilir. Bu hücre örneğinin, bir veya birkaç malzeme taşıma robotunun etrafına yerleştirilmiş bilgisayar kontrollü makine ve aletlerden oluşabilir. Böylece makinelerin sabit bir sıraya dizilmeleri gerekmediği için oldukça esnek bir hücre oluşmaktadır. Böyle bir hücrenin genişletilip miktar olarak daha fazla üretim yapan fakat özel parçalar için daha esnek olarak tasarlanmış haline

¹⁷ Zhang, Chung, - Wang, Hsu-Pin (Ben), "Concurrent Formation of Part Families and Machine Cells Based on the Fuzzy Set Theory", **Journal of Manufacturing Systems**, Vol. 11, No.1, 1992, s. 61.

“esnek üretim sistemi” denir¹⁸. Bu tür bir hücreye, en yetenekli olan üretim hücresi de denilebilir. En basit hücre ise, malzemelerin elle taşındığı ve tek bir makineden oluşan hücredir¹⁹. Bu iki uç arasında çeşitli türde hücreler oluşturulabilir.

1.3. HÜCRESEL ÜRETİM VE GRUP TEKNOLOJİSİNİN FAYDALARI

GT yeni bir teknoloji olmamakla beraber günümüz endüstri ortamında hala faydalı bir şekilde kullanılmaktadır. GT’nden uzun dönemde elde edilebilecek en önemli faydalardan birisi, yeni ürünler sunulurken ve bir diğeri de, daha fazla otomasyonu amaçlayan bir üretim stratejisi uygulanırken ortaya çıkmaktadır. HÜ iş atölyesi ve akış atölyesi üretim sistemlerinin avantajlarını beraberce yerine getirmektedir²⁰. Burada hem geniş ürün çeşidi yelpazesinin avantajlarından, hem de bu çeşitlilikteki ürünleri akıcı bir şekilde üretebilmenin sağladığı avantajlardan faydalanılmaktadır. Bu açıdan HÜ’e, aynı zamanda karma avantajları olan bir üretim sistemi de denilebilir.

HÜ’in kullanılmasıyla oluşan faydalar temelde üç ana nokta üzerinde toplanmaktadır. Bunlardan ilki, benzer işlemlerin bir araya getirilmeleriyle bir işlemde diğerine geçiş için harcanacak zamanın azalmasıdır. İkincisi, birbirleriyle yakın ilişkileri olan işlemlerin standartlaştırılmasıyla, aralarındaki ilişkilerin zayıf olduğu işlemlerin barındırdıkları farklılıklara odaklanılıp, gereksiz çaba tekrarının önlenmesinin oluşturduğu faydalar, üçüncüsü ise, sürekli tekrarlanan problemlere ilişkin bilgilerin etkin bir şekilde alıkonulup depolanmalarıyla, bu bilgilerin yeniden elde edilmeleri için geçen araştırma zamanının azaltılması ve problemin yeniden çözülmesi gereksinimini ortadan kaldırmaktan kaynaklanan faydalardır²¹. HÜ’in uygulanması sonucunda işletmelerin elde ettikleri tüm kazanımlar bu üç temel unsurdan kaynaklanan daha özel kazanımlar şeklinde kendilerini gösterirler.

¹⁸ Maleki, Reza A., **Flexible Manufacturing Systems: The Technology and Management**, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1991, s. 14.

¹⁹ Levary, Reuven R., “Programmable Automation in Manufacturing Systems”, **Industrial Management**, Vol. 36, Issue 3, May/June, 1994, s. 22.

²⁰ Klippel, - Alvarenga, - Gomes, a.g.m., s. 367.

²¹ Hyer, Nancy L., - Wemmerlöv, Urban, “Group technology and Productivity: Exploiting Similarities in Manufacturing Can Yield Valuable Productivity Gains”, **Harvard Business Review**, Vol. 62, Issue 4, July-August, 1984, s. 140.

GT'nin uygulanabilmesi için ilk önce bunu gerektiren başlangıç faaliyetlerinin yerine getirilmeleri gerekir. Bundan sonra atölye içinde oluşacak değişikliklerden bir kısmı başlangıç faaliyetleri sayesinde otomatik olarak gerçekleşir. Diğer bazı değişiklikler de bu faaliyetlere uygun olmak üzere sonradan gerçekleştirilir. Tablo 1'de görüldüğü gibi yapılan bu başlangıç faaliyetleri ve değişikliklerinin sonuçları, GT'nin faydaları olarak yansır.

Tablo 1: Başarılı Bir GT Uygulama Faaliyeti, Değişiklikleri ve Sonuçları.

FAALİYET	<ul style="list-style-type: none"> • Parça basitleştirmesi <ul style="list-style-type: none"> -Kodlama ve sınıflandırma -Parça ailelerinin seçimi -Gereksiz olanların analizi • Süreç standartlaştırması <ul style="list-style-type: none"> -Makine gruplarının seçimi -Karmaşık rotaların analizi • Üretim kontrolü <ul style="list-style-type: none"> -Akış kontrol düzenlemesi -Alet ve makine ailelerinin belirlenmesi
DEĞİŞİKLİKLER	<ul style="list-style-type: none"> • Parçaların daha sık kontrolü <ul style="list-style-type: none"> -Yeni tasarımların azaltılması -Gereksiz olan parçaların elimine edilmesi • Makine gruplarının daha yakın fiziksel yerleşim düzeni <ul style="list-style-type: none"> -Karmaşık rotaların elimine edilmesi • Üretimle bağlantılı düzenlemeler <ul style="list-style-type: none"> -Parça ailesi oluşturulmasına ve çizelgelemesine olan değişim
SONUÇLAR	<ul style="list-style-type: none"> • Sistematik tasarım ve yeniden tasarım <ul style="list-style-type: none"> -Daha az parça çoğaltımı -Daha az kullanılmayan stoklar • Yüksek kalite düzeyi, daha az iş tekrarı ve ıskarta • Daha az süreç planlama zamanı ve hazırlık zamanı

Kaynak: Kroll, Dennis E., - Wang, Xiaoli, "Using Group Technology to Improve Quality and Response Time", **Industrial Management**, Vol. 36, No. 4, 1994, s. 21.

Parçaların tasarımları aileler şeklinde gruplandırılarak çizildikleri için bunların saklanılmaları ve istenildiklerinde çıkarılıp yeniden kullanılmaları daha kolay ve etkindir. Birbirlerine benzer olan ürünlerin çizimleri gereksinim duyulduklarında kolayca bulunabilir. Benzer parçalar için sırf o parça ailesine özel, ortak çizimler de yapılabilir. Bir parçaya gereksinim duyulduğunda, bilgisayardan parçanın ait olduğu

ailenin çizimi çıkarılıp benzer parçalardan oluşan bu katalog, istenen parçanın boyutlarına uygun olan çizimi bulmada yardımcı olarak kullanılabilir. İstenen parçaya yakın bir çizim bulunduğunda bunun boyutları, istenen parçanın gerçek boyutlarıyla kolayca değiştirilebilir²².

Belirli bir hücrede üretilen tüm parçalar benzer üretim süreçlerine sahip olacakları için makinelerin hazırlık zamanlarında kısalma olur. Buna bağlı olarak üretim tedarik zamanları da kısalır. Aletler ve fikstürler genelde hücre sınırları içerisinde depolanacakları için bunlara ulaşmak daha kolay olacak, sayılarında ve çeşitlerinde de azalma görülecektir. Bu da hazırlık süresinde kısaltmaya yardımcı olan diğer bir etkidir. Bütün bunların neticesinde üreticinin tüketici taleplerine cevap verme süresi kısalır.

Malzemelerin akışları HÜ sayesinde daha etkin yönetilebilir. Hücreler içerisinde üretim aşamalarından birçoğu yerine getirilebildiği için üretilecek parçaların hücreler arası hareketleri minimum düzeye iner. Dolayısıyla parçalar tüm tesis boyunca daha az hareket ederler. Atölyeye yalın bir iş akışı egemen olur.

Her hücre belirli sayıda birbirine benzer parça üzerinde uzmanlaştığı için hücre içi üretilen parçaların kalite kontrolü kolaylaşır. Uzmanlaşılın ve kontrolü kolaylaşın parçalar daha kaliteli üretilmeye başlanır. Dolayısıyla bütün bileşenler bir araya getirildiğinde tüm ürün kalitesinde bir artış gözlenir.

Hücreler içerisinde çalışan işgören sayısı azalacağı ve bunlar da bir takım ruhu içerisinde çalışacağı için iş tatmini artar. Bu işgörenler beraberce çalışarak hammaddeleri bitmiş parçalara dönüştürürler. Artan iş tatmini işgörenlerin verimlilik ve motivasyonlarını artırır.

Parçaların üretim aşamalarının bir çoğunun ait oldukları hücre içerisinde bitiriliyor olması her türlü sayım ve muhasebe işlemlerini kolaylaştırır. Herhangi bir parçayı maliyet merkezine doğru izlemek kolaylaşır.

HÜ'le beraber artık her makinenin başına bir işçi vermeye gerek kalmaz. Makine başına düşen işçi sayısında azalma görülür. Bu durum direkt işçilik maliyetlerini azaltır. Makine hazırlık zamanlarının azalması nedeniyle indirekt işçilik

²² Kaimann, - Bechler, a.g.m., s. 5.

maliyetleri de azalır. Makinelerin hazırlıklarıyla ilgilenen uzman işçi sayısında da azalma görülür.

HÜ uygulanan işletmelerde oluşan verimlilik artışlarını inceleyen çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan biri “Wemmerlöv ve Johnson” (1997) tarafından Amerika Birleşik Devletleri’nde HÜ yöntemini kullanan 46 işletme üzerinde yapılan bir anket çalışmasıdır²³. “Wemmerlöv ve Johnson” tarafından önceden belirlenen 11 adet HÜ’i kurma sebeplerinden her birine, beşli “Likert” ölçeğine göre bu işletmelerin değer vermeleri istenmiştir. Verilen cevapların ortalamalarına göre bu sebeplerin önem sıraları Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2: Üretim Hücrelerinin Kurulmasındaki Sebeplerin Önem Sırası.

Sıra	Sebepler	Ortalama Önem
1	Çıktı zamanını azaltmak için	4,51
2	Süreçteki iş stoklarını azaltmak için	4,33
3	Parça ve ürün kalitesini artırmak için	4,22
4	Müşteri siparişlerine cevap verme süresini azaltmak için	4,22
5	Hareket mesafe ve zamanlarını azaltmak için	4,14
6	Üretim esnekliğini artırmak için	3,81
7	Birim maliyeti azaltmak için	3,80
8	Üretim planlama ve kontrolünü basitleştirmek için	3,62
9	İşgören katılımını kolaylaştırmak için	3,57
10	Hazırlık zamanını azaltmak için	3,43
11	Bitmiş ürün stoklarını azaltmak için	3,41

Not: Bütün sebepler 1-5 arası ölçeklendirilmiştir. 1= Önemsiz ve 5= Çok önemli

Kaynak: Wemmerlöv, - Johnson, a.g.m., s. 33.

HÜ kullanıcısı bu 46 işletme üzerinde yapılan anket çalışmasından elde edilen diğer bir bulgu da çeşitli performans ölçütlerine göre işletmelerde gözlenen yüzde performans artışlarıdır. Her işletme için değişik performans ölçütlerine göre bu artışlar farklı oranlardadır. Tablo 3’te, gerçekleşen en düşük ve en yüksek performans artış yüzdeleri ve bütün işletmelerin ortalaması alınarak elde edilen yüzdeler verilmektedir.

²³ Wemmerlöv, Urban., - Johnson, D. J., “Cellular manufacturing at 46 User Plants: Implementation Experiences and Performance Improvements”, **International Journal of Production Research**, Vol. 35, No.1, 1997, ss. 29-49.

Tablo 3: HÜ Kullanan İşletmelerin Performans Ölçülerindeki Yüzde Artışlar.

Performans Ölçüleri	En düşük artışın gerçekleştiği işletmedeki yüzde artış.	En yüksek artışın gerçekleştiği işletmedeki yüzde artış.	Tüm işletmelerin ortalamasına göre gerçekleşen yüzde artış.
Hareket mesafe ve zamanlarındaki azalma.	15	99	61,3
Çıktı zamanındaki azalma.	12,5	99,5	61,2
Müşteri siparişlerine cevap verme zamanındaki azalma.	0	93,2	50,1
Süreçteki iş stoklarında azalma.	10	99,7	48,2
Hazırlık zamanlarındaki azalma.	0	96,6	44,2
Üretimi tamamlanmış ürün stoklarındaki azalma.	0	100	39,3
Parça ve ürün kalitesindeki artış.	0	62,5	28,4
Birim maliyetlerdeki azalma.	0	60	16

Kaynak: Wemmerlöv, - Johnson, a.g.m., s. 35.

Diğer bir çalışma ise, “Shayan ve Sobhanallahi” (2002) tarafından İran’daki bir traktör fabrikasında gerçekleştirilmiştir²⁴. Bu fabrikanın üretim bölümü üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Bu bölümde fonksiyonel yerleşim düzeni kullanılmaktadır. Bölümdeki bazı işlemler ve parçalar seçilerek HÜ’in gerçekleştirildiği bir deney alanı oluşturulmuştur. Bu deney alanı içerisinde işgörenlerin üç ay boyunca hem kendileri tarafından hem de başlarındaki yöneticiler tarafından doldurulan ve işgören davranış faktörleri bilgilerinden oluşan kartlar değerlemeye alınmıştır. HÜ öncesi ve hücreler kurulduktan sonraki davranış faktörleri üzerindeki değişimler Tablo 4’te görüldüğü gibidir. Tablodaki rakamlar her bir faktöre göre zayıf, orta, iyi ve çok iyi kategorileri içerisine giren ortalama personel sayılarını vermektedirler.

²⁴ Shayan, E., - Sobhanallahi, A., “Productivity Gains By Cellular Manufacturing”, **Production Planning & Control**, Vol. 13, No. 6, 2002, ss. 507-516.

Tablo 4: HÜ Sonucu İşgören Davranış Faktörlerindeki İyileşme.

Faktörler	Hücrel Düzenen Önce				Hücrel Düzenen Sonra			
	Zayıf	Orta	İyi	Çok iyi	Zayıf	Orta	İyi	Çok iyi
Sorumluluk	1	9	11	3	0	1	11	12
Motivasyon	3	7	12	2	1	3	12	8
Yaratıcılık	2	10	12	0	0	3	8	13
Disiplin	3	13	7	1	0	0	8	16
İşbirlikçilik	0	10	12	2	0	2	5	17
Makine kullanımı	2	3	16	3	0	1	2	21
Fikir önerme	10	4	9	1	0	8	6	10
Ait olma duygusu	5	7	11	1	0	2	13	9
Eğitime olan isteklilik	0	9	10	5	0	3	4	17
İş yerine uyum sağlama	0	11	11	2	0	2	10	12
Geribildirim	2	18	3	1	0	2	15	7
Beceriler	0	13	10	1	0	0	14	10
İş sağlığı ve güvenliğine uyum	2	6	14	2	0	2	10	12
Değişime olan istek	0	10	9	5	0	2	7	15
Esneklik	3	16	4	1	0	3	14	7

Kaynak: Shayan, - Sobhanallahi, a.g.m., s. 512.

Tabloda görüldüğü gibi HÜ'in işgören davranışları üzerine de oldukça yararlı etkileri vardır. HÜ'e geçildikten sonra davranışlarındaki olumlu gelişmeleri çok iyi düzeyde olan işgören sayısında hızlı bir artış yaşanmaktadır.

Yapılan bu ve diğer çalışmalar göstermektedir ki, HÜ birçok avantajı beraberinde getirmektedir. Bu avantajlardan yararlanabilmek için önemli olan HÜ'in kuruluşu için gerekli olan koşulların aksatılmadan yerine getirilmesidir. Fakat unutulmamalıdır ki, HÜ her iş atölyesine ve ürün çeşidine uygulanması gereken en iyi yöntem olmayabilir. Bazı iş atölyelerinde fonksiyonel yerleşim düzeni daha etkili olabilir.

1.4. HÜCRESEL ÜRETİMİ YETERSİZ KILAN FAKTÖRLER

HÜ diğer yerleşim düzenleri ve üretim sistemleriyle karşılaştırıldığında, iş atölyesini andıran, orta büyüklükteki ve orta hacimdeki işletmelerde kullanılmaya daha yatkındır. İşletmelerin HÜ'in faydalarından eksiksiz yararlanabilmeleri için ürettikleri ürün ve süreçlerinin buna uygun olması gerekir. Eğer bir işletme ürüne göre yerleşim düzenini başarıyla uygulayabiliyor ve üretim hattını dengeli kılabiliyorsa HÜ'ü denemesine gerek kalmaz. Benzer şekilde, baraj, köprü, metro gibi, bitirilmeleri için birçok işlemin ürünün tüketileceği yerde tamamlanmasını gerektiren projelerde HÜ'e göre bir düzen arayışı genel olarak anlamsızdır.

HÜ'ün kuruluş aşamasındaki 20 adet üretim işletmesi üzerinde A.B.D. de yapılan bir çalışmada en yaygın görülen problemlerin üç konu üzerinde odaklandığı görülmüştür²⁵. Bunlardan ilki örgütsel değişim ve buna dayalı olarak işgören direnişi, ikincisi parçaların sınıflandırılması, kodlanması ve planlama, üçüncüsü de üretim hücre kavramının yönetilmesidir. HÜ'e olan yapısal değişimin yerine getirilmesinde eğer bazı eksik kalan yanlar olursa elde edilecek faydalarda da eksiklikler olur. Yönetimin, ödeme sisteminin, üretim planlama ve kontrolünün ve diğer bütün sistemlerin yeni organizasyona uygun olarak değiştirilmeleri gerekir²⁶.

HÜ'ü kullanabilecek işletmelerde bu üretim sisteminin ve GT yerleşim düzeninin yaygın olmamasının sebebi bu işletmelerin şu anki mevcut yerleşim düzenleri içerisinde karlı bir şekilde çalışıyor olmalarıdır. Bu işletmelerin müdürleri HÜ'den gelecek yeni kar artışlarına belirsizlik gözüyle bakmakta ve yeniden bir örgütlenmeye gitme ihtiyacı hissetmemektedir²⁷. HÜ'in belirli yatırımlar gerektirmesi, iş çeşitliliğini azaltması, grupların ve ailelerin belirlenmesinin güçlüğü gibi birçok soru yöneticilerin kafalarını kurcalar.

Atölye içerisinde fazla bir çaba gerektirmeden, doğal olarak bazı parça ailelerinin neler olduğu rahatlıkla anlaşılabilirse hücreli yerleşim düzeni fonksiyonel yerleşim düzenine göre üstünlük taşır. Fakat doğal parça aileleri bulunamıyorsa makine

²⁵ Hyer, - Wemmerlöv, a.g.m., s. 147.

²⁶ Burbidge, John L., "Letter: Groups and/or Cells", **Production Planning & Control**, Vol. 5, No. 6, 1994, s. 588.

²⁷ Kaimann, - Bechler, a.g.m., s. 7.

hücrelerinin tanımlanması güçleşecektir. Bu durumda fonksiyonel yerleşim düzenini kullanmak daha etkin olabilir.

“Shafer ve Meredith” (1992) tarafından yapılan bir simülasyon çalışmasında üç HÜ işletmesinin benzetimi yapılmış ve bazı faktörler değiştirildiğinde HÜ’den sağlanan faydaların azalmakta veya artmakta olduğu gözlemlenmiştir. Bu faktörler şunlardır²⁸:

1. Parçaların üretilmeleri için gereksinim duyulan ortalama makine sayısı arttıkça HÜ’in faydaları azalır, azaldıkça artar.
2. Parti büyüklüğü küçüldükçe HÜ’in faydaları azalır, büyüdükçe artar.
3. Parça başına düşen makine işlem süreleri kısaldıkça HÜ’in faydaları artar, uzadıkça azalır.
4. Doğal parça aileleri varsa HÜ’in faydaları artar, yoksa azalır.
5. Uygun olmayan kapasitede üretim süreçleri varsa HÜ’in faydaları azalır, yoksa artar.

Böylece denilebilir ki, HÜ’i sınırlayıcı iki temel konu vardır. Birincisi, diğer üretim sistemleri ve yerleşim düzenlerini kullanmak daha uygun olduğunda HÜ’de ısrar edilmemesidir. İkincisi ise, HÜ’in uygun olması durumunda onu kurarken ve kurduktan sonra yaşanan sorunlardır. HÜ’i kurmak için fabrika yeniden düzenlenirken sadece teknik mühendisliğin baskın olduğu problemlerle değil, aynı zamanda insan unsurunun baskın olduğu problemlerle de ilgilenilmelidir.

1.5. HÜCRELERİN OLUŞTURULMASI PROBLEMİ

1.5.1. Blok-Köşegen Yapı ve İstisnai Elemanlar

Bir iş atölyesi içerisinde üretilen tüm parçaların hangi makinelere uğrayarak üretildiklerini tek bir matrisle göstermek mümkündür. Literatürde buna “parça-makine görünüm matrisi” denilmektedir. Yaygın kullanılan bir gösterim Şekil 1.3’teki gibi sütunları parçalardan, satırları ise makinelerden oluşan matristir.

²⁸ Shafer, Scott M., - Meredith, Jack R., “An Empirically-Based Simulation Study of Functional versus Cellular Layouts With Operations Overlapping”, **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 13, No. 2, 1993, ss. 47-62.

		P A R Ç A L A R															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
M A K İ N E L E R	1	1			1			1						1			
	2					1					1		1				
	3	1	1		1										1		
	4								1				1				
	5					1						1		1			
	6				1			1					1			1	
	7					1			1						1		
	8						1			1				1			
	9							1				1				1	1
	10				1						1		1				1
	11								1							1	
	12		1	1		1			1							1	1
	13							1				1				1	1

Şekil 1.3. Üretim Akışını Gösteren “Parça-Makine Görünüm Matrisi”.

Kaynak: Smith, Spencer B., **Computer Based Production and Inventory Control**, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc., USA, 1989, s. 430.

Şekil 1.3’te 15 adet değişik parça ve 13 adet değişik makine bulunmaktadır. Eğer herhangi bir parça, herhangi bir makinede işlem görüyorsa o parça ve o makinenin matriste kesiştiği yerde “1” bulunur. Söz konusu parça o makinede işlem görmüyorsa matristeki kesişim yerlerinde “0” veya boşluk bulunur. Örneğin 1. parça, makine 1, 3 ve 12 de işlem gördürülerek üretilir. 12. parçanın üretilmesi için ise makine 2, 4, 5, 7 ve 8 de işlem gördürülmesi gerekir.

Bu çeşit bir matris sadece parçaların gereksinim duydukları makineleri göstermekte, fakat parçaların hangi makineye önce, hangilerine de sonra uğrayacağını belirten işlem sıralarını göstermemektedir²⁹. Ayrıca buradaki varsayımlardan bir diğeri de üretilen her parçanın eşit hacimli olduklarıdır³⁰. Bu nedenle hücreler arası gerçek üretim akışlarının bulunabilmesi amacıyla her parçanın hem işlem sıralarının, hem de üretim hacimlerinin HÜ sisteminin analizinde ele alınmaları gerekir.

²⁹ Mukhopadhyay, S. K., - Babu, K. Ramesh, - Sai, K. V. Vijai, “Modified Hamiltonian Chain: A Graph Theoretic Approach to Group Technology”, **International Journal of Production Research**, Vol. 38, No. 11, 2000, s. 2461.

³⁰ Won, Youkyung, - Lee, Kun Chang, “Group Technology Cell Formation Considering Operation Sequences and Production Volumes”, **International Journal of Production Research**, Vol. 39, No. 13, 2001, s. 2756.

Parça-makine görünüm matrisinde satırlar m ve sütunlar n ile gösterilirse $m \times n$ boyutlu bir matris oluşmaktadır. Matrisin satır permütasyonları $m!$ kadar, sütun permütasyonları da $n!$ kadar olur³¹. Herhangi bir satır veya sütunun yeri değiştirilerek alternatif yeni bir matris oluşturulabilir. Bu şekilde satır ve sütunların permütasyonlarına göre oluşturulabilecek alternatif matris sayısı şu denklemle hesaplanabilir.

$$A_{m \times n} = m! \cdot n! \quad (1.1)$$

Burada;

$A_{m \times n} = m \times n$ boyutlu alternatif matris sayısı,

$m =$ Satır sayısı,

$n =$ Sütun sayısıdır.

		P A R Ç A L A R														
		3	6	9	11	14	15	1	2	4	7	13	5	8	10	12
M A K İ	6	1	1		1		1									
	9		1	1	1	1	1									
	10	1			1	1										
	11			1			1									
	13	1	1	1			1	1								
N E L E	1							1	1	1	1					
	3							1	1	1						
	7									1	1	1				
	12							1	1	1	1					
R	2												1		1	1
	4													1		1
	5												1		1	1
	8												1	1		1

Şekil 1.4. Parça ve Makinelere Oluşan Grupları (Hücreleri) Gösteren Matris.

Kaynak: Smith, a.g.e., s. 430.

³¹ Onwubolu, Godfrey C., - Mlilo, Prosper T., "Manufacturing Cell Grouping Using Similarity Coefficient-Distance Measure", **Production Planning & Control**, Vol. 9, No. 5, 1998, s. 490.

Şekil 1.3'teki parça-makine görünüm matrisinde parçaların (sütunların) ve makinelerin (satırların) sıraları değiştirilerek matris içerisindeki “1” ile gösterilen değerlerin belirli sayıda oluşacak gruplar içerisinde toplu halde bulunmaları sağlanabilir. Bunun sağlandığı bir oluşum Şekil 1.4'teki matriste gösterilmektedir.

Şekil 1.4'te matrisin sol üst köşesinden sağ alt köşesine doğru uzanan üç tane grup bloğu oluşmaktadır. Bu şekilde oluşan matris “blok-köşegen matris” adını alır. Makinelerin ve parçaların oluşturdukları hücreler Tablo 5'teki gibi özetlenebilir.

Tablo 5: Makine ve Parçaların Oluşturduğu Hücreler.

Hücre Numarası	Makineler	Parçalar
1	6, 9, 10, 11, 13	3, 6, 9, 11, 14, 15
2	1, 3, 7, 12	1, 2, 4, 7, 13
3	2, 4, 5, 8	5, 8, 10, 12

Makine-gruplarının ve parça-ailelerinin belirlendiği bu şekildeki problemlere literatürde “makine-hücre oluşturma” veya “makine-bileşen gruplandırma” gibi değişik isimler verilebilmektedir³². Verilen bu örnekte, hücrelerin oluşturulması problemi, matristeki satır ve sütunların yerleri değiştirilerek deneme yanılma yöntemi ile çabucak çözülebilmektedir. Bu örnek, bir “blok-köşegen” yapının kolayca oluşabileceği ve başlangıç için konunun anlaşılmasında kolaylık olması amacıyla seçilmiş bir örnektir. Matrisin içerisindeki bu üç tane hücrenin dışarısında kalan herhangi bir “1” bulunmadığı için, hücreleri oluşturan “blok-köşegen” yapı net bir şekilde oluşmaktadır.

Blok-köşegen yapının dışında kalan herhangi bir “1” girdisi olduğunda buna “istisnai eleman” denir³³. Gerçek hayatta yukarıdaki gibi “blok-köşegen” yapının “istisnai eleman” olmadan oluştuğu ve kolayca çözülebilen bir örneğe rastlamak oldukça güçtür. Fakat hemen şunu belirtmekte fayda vardır ki, ulaşılması istenen hedef mümkün olduğunca bu pürüzsüz “blok-köşegen” yapının oluşturulmasıdır. Blok-köşegen yapının dışarısında kalan istisnai elemanlar “darboğaz (bottleneck) parçalar” ve “darboğaz makineler” olmak üzere iki çeşittir.

³² Mahdavi, Iraj, - Kaushal, O. P., - Chandra, M., “Graph-Neural Network Approach in Cellular Manufacturing on the Basis of a Binary System”, **International Journal of Production Research**, Vol. 39, No. 13, 2000, s. 2913.

³³ Won, - Lee, a.g.m., s. 2756.

Darboğaz parçalar kısaca, blok-köşegen yapının dışarısında kalan “1” değerlerinin karşısında bulunan parçalar olarak ve aynı şekilde darboğaz makineler de yine, blok-köşegen yapının dışarısında kalan “1” değerlerinin karşısında bulunan makineler olarak tanımlanabilir. Darboğaz bir parçanın üretiminin tamamlanabilmesi için tek bir hücre yetmemekte, diğer hücre veya hücrelerden de yararlanmak gerekmektedir. Darboğaz bir makine ise, birden fazla parça ailesine ait olan parçaların üretiminde kullanılan bir makinedir³⁴.

Şekil 1.4’te blok-köşegen yapıya makineler ve parçalar için eş zamanlı olarak ulaşıldığından, blok-köşegen yapı dışındaki bir “1” girdisi hem darboğaz parçayı hem de bunun karşılığı olan darboğaz makineyi temsil etmektedir.

Örnekteki, 4. ve 11. parçaların üretim süreçlerinin şu şekilde değiştiği varsayılınsın: 4. parça, makine 1, 3, 7, 10 ve 12’de, 11. parça ise makine 2, 6, 9 ve 10’da işlem gördürülerek üretilecektir. Şekil 1.5’te bu yeni durum gösterilmektedir.

		P A R Ç A L A R															
		3	6	9	11	14	15	1	2	4	7	13	5	8	10	12	
M A K İ N E L E R	6	1	1		1		1										
	9		1	1	1	1	1										
	10	1			1	1				1							
	11			1			1										
	13	1	1	1			1	1									
	1							1		1	1	1					
	3							1	1	1			1				
	7									1	1	1					
	12							1	1	1	1						
	2													1		1	1
	4														1		1
	5													1		1	1
	8													1	1		1

Şekil 1.5. Darboğaz Parça ve Makinelerinin Gösterimi.

³⁴ Mahdavi, - Kaushal, - Chandra, a.g.m., s. 2914.

Matriste blok-köşegen yapı dışarısında kalan iki tane “1” değeri kutucuk içerisine alınmıştır. Bunlar istisnai elemanları temsil ederler. Dolayısıyla, bu kutucukların karşısında kalan 4 ve 11 numaralı parçalar, yapılan tanımlara göre, birer darboğaz parçalarıdır. Aynı şekilde 10 ve 2 numaralı makineler de birer darboğaz makineleridir.

İş atölyesindeki mevcut makineler blok-köşegen yapıyla oluşan hücrelerden hangisine aitse onun içerisindeki parçaların üretimine odaklanmaktadır. Dolayısıyla, blok-köşegen yapı dışında kalan darboğaz parçalarının üretilmeleri bu parçaların hücreler arasında taşınmalarına neden olmaktadır. Bu da, her hücrenin kendi içerisindeki üretim akışında aksaklıklara neden olmaktadır. Eğer darboğaz parçalarının mevcut blok-köşegen yapı dışında ayrı bir hücre veya hücreler oluşturularak üretilmeleri istenirse, bunun için ek yatırım gerekir. Mevcut blok-köşegen yapı dışında oluşturulan her yeni hücre için darboğaz makinelerinden birer tane daha almak gerekir. Buna literatürde makine duplikasyonu denir. Ayrıca iş atölyesinin mevcut yüzölçümü kapasitesi de yeni bir hücreyi barındırmak için yeterli olmayabilir. Bu da, ek arsa ve bina yatırımı gerektirir.

Hücrelerin oluşturulmasında günümüze dek yapılan çalışmaların çoğunluğunda bu istisnai elemanların dolaylı veya dolaysız olarak ortadan kaldırılmalarına veya minimize edilmelerine girilmektedir³⁵. Denklem (1.1) ile bulunan sayı kadar olan alternatiflerden biri istisnai eleman sayısını minimum yapan blok-köşegen matrisi oluşturan alternatif olacaktır. Aynı minimum istisnai eleman sayısını veren alternatif blok-köşegen matris sayısı bazen birden fazla da olabilmektedir.

1.5.2. Hücre Sayısı, Yoğunluğu ve Performans Ölçütleri

Herhangi bir iş atölyesinin tamamı tek bir hücre olarak düşünülürse, Şekil 1.3’ te gösterildiği gibi bunu tek hücreye sahip, tek bir matris şeklinde göstermek mümkündür. Oluşturulabilecek minimum hücre sayısı tektir. Dolayısıyla, iş atölyesinin tamamı olan bu tek hücre dışarısında kalan hiçbir istisnai eleman bulunmayacaktır. Böylece

³⁵ Won, a.g.m., s. 230.

denilebilir ki, oluşturulmak istenen hücre sayısı arttıkça istisnai eleman sayısında artma eğilimi görülür ve hücre sayısı azaldıkça da istisnai eleman sayısı azalır.

Parça-makine görünüm matrisindeki “0” ve “1” girdilerinin hepsi dahil olmak üzere toplam eleman sayısı $m \times n$ kadardır. Diğer bir anlatımla, satır sayısı ile sütun sayısının çarpımı toplam eleman sayısını verir. Şekil 1.3 ile gösterilen örnekteki toplam eleman sayısı $13 \times 15 = 195$ tir. Eğer her parça, her makinede işleme tabi tutuluyor olsaydı, atölyedeki toplam işlem sayısı 195 olacaktı. Ancak, her parça yalnızca belirli makinelerde işleme tabi tutulduğu için, toplam işlem sayısını bulurken yalnızca “1” girdilerinin sayılması gerekir. Örnekteki toplam işlem sayısı 46 dır. Bu verilenler denklem (1.2)’ye konulursa atölye işlem yoğunluğu bulunur.

$$A = \frac{I}{E} \quad (1.2)$$

Burada;

A = Atölye işlem yoğunluğu,

I = Atölyedeki toplam işlem sayısı (“1” girdilerinin sayısı),

E = Atölyedeki toplam eleman sayısı (“1” ve “0” girdilerinin sayısı) dır.

Şekil 1.5’te atölye işlem yoğunluğu $46/195 = 0,236$ (yüzde 23,6) dır. Oluşturulmak istenen hücre sayısı önceden belirlenir ve her hücreye düşen işlem yoğunluk düzeyinin de eşit olduğu varsayılırsa, hücre başına düşen ortalama işlem yoğunluk düzeyi şöyle hesaplanabilir:

$$Y = \frac{\frac{I}{Q}}{\frac{P}{Q} \cdot \frac{M}{Q}} \quad (1.3)$$
$$Y = \frac{I \cdot Q}{P \cdot M}$$

Burada;

Y = Hücre başına ortalama işlem yoğunluğu,

Q = Hücre sayısı,

P = Parça sayısı,

M = Makine sayısıdır.

Ancak hesaplanmış olan hücre başına ortalama işlem yoğunluğu, hücre yoğunluklarının eşit olması varsayımına dayalı, gerçekleşmesi pekte mümkün olmayan, ideal bir değerdir. Buna ideal denilmesinin nedeni hücrelerin arasında makine veya parça sayıları açısından farklılıkların oluşmamasıdır. Fakat blok-köşegen yapı oluşturulduğunda hücre başına ortalama işlem yoğunluğundan sapmalar olduğu görülür. Bunun nedeni blokların (hücrelerin) her birinin eşit büyüklüğe sahip olmaması ve bloklar dışında kalan istisnai elemanların bulunmasıdır.

Hücre başına düşen işlem yoğunluğunu blok-köşegen yapı oluşturulduktan sonra hesaplamak daha mantıklıdır. Blok-köşegen yapı oluşturulduktan sonra hücre başına düşen işlem yoğunluğu aynen atölye işlem yoğunluğunda olduğu gibi hesaplanır. Her hücre başı başına bir atölyeymiş gibi düşünülür.

$$H = \frac{X}{W} \quad (1.4)$$

Burada;

H = Hücre işlem yoğunluğu,

X = Hücredeki toplam işlem sayısı,

W = Hücredeki toplam eleman sayısıdır.

Hücre sayısı 3 olarak alınırsa, Şekil 1.3 için hücre başına ortalama işlem yoğunluğu denklem (1.3)'e göre 0,71 olur. Fakat Şekil 1.4'teki blok-köşegen yapıdan sonra oluşan hücrelerin yoğunluğu denklem (1.4)'e göre tek tek incelendiğinde 0,71 den sapmaların olduğu görülür. Birinci hücrenin işlem yoğunluğu 0,67, ikinci hücrenin 0,75 ve üçüncü hücreninki de 0,69 dur. Denklem (1.4) ile gerçek olan yoğunluk hesaplanır.

Hücre başına ortalama işlem yoğunluğundan blok-köşegen yapı oluştuktan sonraki hücre işlem yoğunlukları çıkarılarak hücre yoğunluk sapmaları bulunabilir. Bu sapmaların mutlak değerlerinin toplamının hücre sayısına bölünmesiyle de atölye için genel bir yoğunluk sapma değeri hesaplanabilir.

$$S = \frac{\sum_i |Y - H_i|}{Q} \quad i = 1, 2, \dots, Q \quad (1.5)$$

Burada;

S = Hücre başına ortalama yoğunluk sapmasıdır.

Denklem (1.5) ile bulunan “ S ” değeri istenirse, blok-köşegen yapıyı oluşturmada kullanılan herhangi bir algoritmanın performansını değerlemede veya atölyenin ne denli idealden uzak bir işlem dağılımında olduğunu gözlemlemede bir ölçüt olarak kullanılabilir.

Literatürde değişik performans ölçütlerine rastlanır. “Chandrasekharan ve Rajagopalan” (1986) “gruplama verimliliği” adını verdikleri, gruplar (hücreler) arası işlem hareketlerinin miktarını gösteren bir performans ölçütü geliştirmişlerdir³⁶. Denklem (1.8) gruplama verimliliğini göstermektedir.

$$\eta_1 = \frac{B}{K} \quad (1.6)$$

$$\eta_2 = 1 - \frac{L}{D} \quad (1.7)$$

$$\eta = q\eta_1 + (1 - q)\eta_2, \quad 0 \leq q \leq 1 \quad (1.8)$$

³⁶ Chandrasekharan M. P., - Rajagopalan R., “An Ideal Seed Non-Hierarchical Clustering Algorithm for Cellular Manufacturing”, **International Journal of Production Research**, Vol. 24, No. 2, 1986, ss. 456-457.

Burada;

B = Bloklar içerisindeki “1” girdilerinin toplamı,

K = Bloklar içerisindeki toplam eleman sayısı,

L = Bloklar dışındaki “0” girdilerinin sayısı,

D = Bloklar dışındaki toplam eleman sayısı,

η_1 = Blokların toplam yoğunluğu,

η_2 = Hücreler arası hareket verimlilik ölçütü,

η = Gruplama verimliliği,

q = Ağırlık faktörüdür.

Önceden de belirtildiği gibi blok-köşegen yapı dışarısında kalan “1” girdileri (grup dışı işlemler) istisnai elemanlar adını almakta ve bir hücreden diğer bir hücreye hareket ettirilmeyi gerektirmektedirler. Eğer istisnai eleman yoksa hücreler arası hareket de yoktur. İstisnai elemanların sayısı artarsa hücreler arası hareket yoğunluğu da artar. Hücre tasarımcısı η_1 ve η_2 ’ye vereceği önemin derecesine göre denklem (1.8)’deki q ağırlık faktörüne sıfır ve bir arası değişen değerler verebilir. $q = 0,5$ değeri her ikisine de eşit önem verildiğini gösterir.

“Miltenburg ve Zhang” (1991), “Chandrasekharan ve Rajagopalan” tarafından sunulan “gruplama verimliliğini” geliştirerek, “gruplama ölçütü” adını verdikleri bir performans ölçütü sunmaktadırlar³⁷.

$$G = \frac{B}{K} - T, \quad -1 \leq G \leq 1 \quad (1.9)$$

$$T = 1 - \frac{B}{I}, \quad 0 \leq T \leq 1 \quad (1.10)$$

³⁷ Miltenburg, J., - Zhang, W., “A Comparative Evaluation of Nine Well-Known Algorithms for Solving the Cell Formation Problem in Group Technology”, **Journal of Operations Management**, Special Issue on Group technology and Cellular Manufacturing, Vol. 10, No. 1, 1991, ss. 52-53.

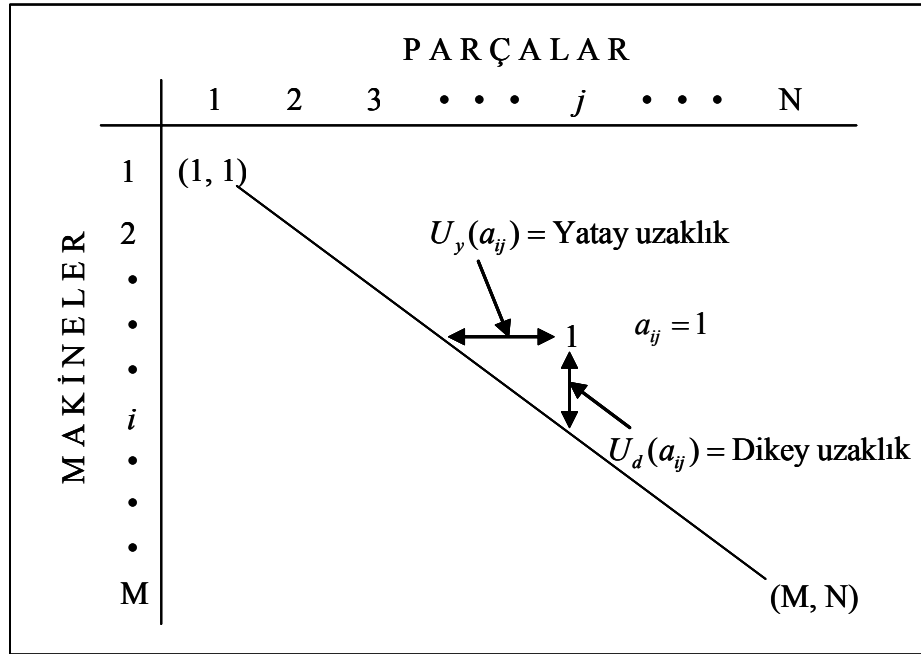
Burada;

G = Graplama ölçütü,

T = Hücreler arası işlem hareketleri ölçütüdür.

Böylece eğer hiç istisnai eleman oluşmazsa $B = I$, $T = 0$ ve $G = B/K$ olacaktır. Diğer bir anlatımla, eğer istisnai eleman yoksa “graplama ölçütü” blokların toplam yoğunluğuna eşit olacaktır.

“Miltenburg ve Zhang” diğer bir performans ölçütü olarak “kümeleme ölçütünü” sunmaktadırlar. Buradaki amaçsa, blok-köşegen matristeki tüm “1” girdilerinin, matrisin köşegenine olan geometrik uzaklıklarının bulunmasıdır³⁸. Şekil 1.6’da köşegene olan yatay ve dikey uzaklıklar gösterilmektedir. Blok-köşegen matris içerisindeki her “1” girdisinin köşegene olan yatay ve dikey uzaklıkları sırasıyla denklem (1.11) ve (1.12) yardımıyla hesaplanacaktır. Bundan sonra, denklem (1.13) yardımıyla “kümeleme ölçütü” hesaplanır.



Şekil 1.6. Köşegene Olan Geometrik Uzaklıklar.

³⁸ Miltenburg, - Zhang, a.g.m., ss. 53-55.

$$U_y(a_{ij}) = i - j(M - 1)/(N - 1) - (N - M)/(N - 1) \quad (1.11)$$

$$U_d(a_{ij}) = j - i(N - 1)/(M - 1) + (N - M)/(M - 1) \quad (1.12)$$

$$V = \frac{\sum_{a_{ij}=1} \sqrt{U_y^2(a_{ij}) + U_d^2(a_{ij})}}{I} \quad (1.13)$$

Yukarıdaki denklemlerde;

$U_y(a_{ij}) = a_{ij}$ deki “1” girdisinin köşegene olan yatay uzaklığı,

$U_d(a_{ij}) = a_{ij}$ deki “1” girdisinin köşegene olan dikey uzaklığı,

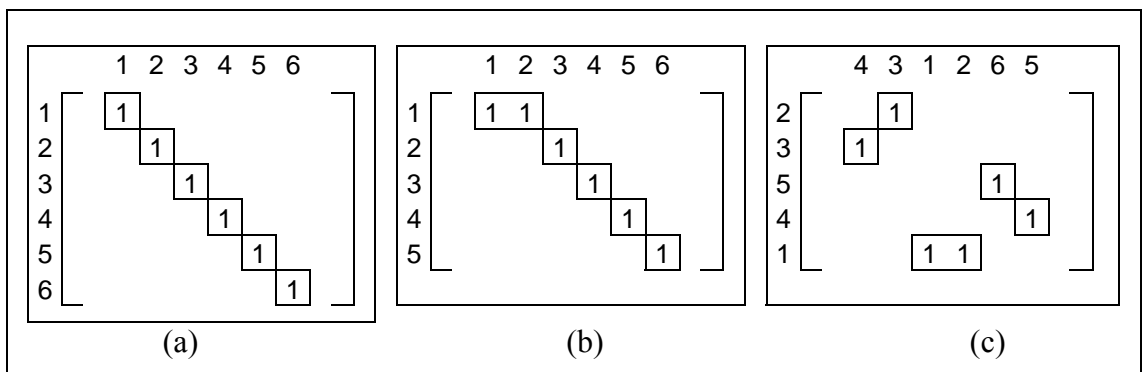
$M =$ Toplam makine sayısı,

$N =$ Toplam parça sayısı,

$V =$ Kümeleme ölçütü,

$I =$ Atölyedeki toplam “1” girdilerinin (işlemlerin) sayısıdır.

Şekil 1.7’deki matrislerin satırlarını makineler ve sütunlarını da parçalar oluşturmaktadır. Makine sayısıyla parça sayısı birbirine eşit olan kare matrisler için oluşturulabilecek maksimum hücre sayısı, köşegen üzerindeki tek elemanlı hücreler olan ve matrisin satır veya sütununu oluşturan boyutlarından biri kadar olacaktır³⁹.



Şekil 1.7. Maksimum Sayıdaki Hücrelerin Oluşturulması.

³⁹ Co, Henry C., - Araar, Abdelaziz, “Configuring Cellular Manufacturing Systems”, **International Journal of Production Research**, Vol. 26, No.9, 1988, s. 1514.

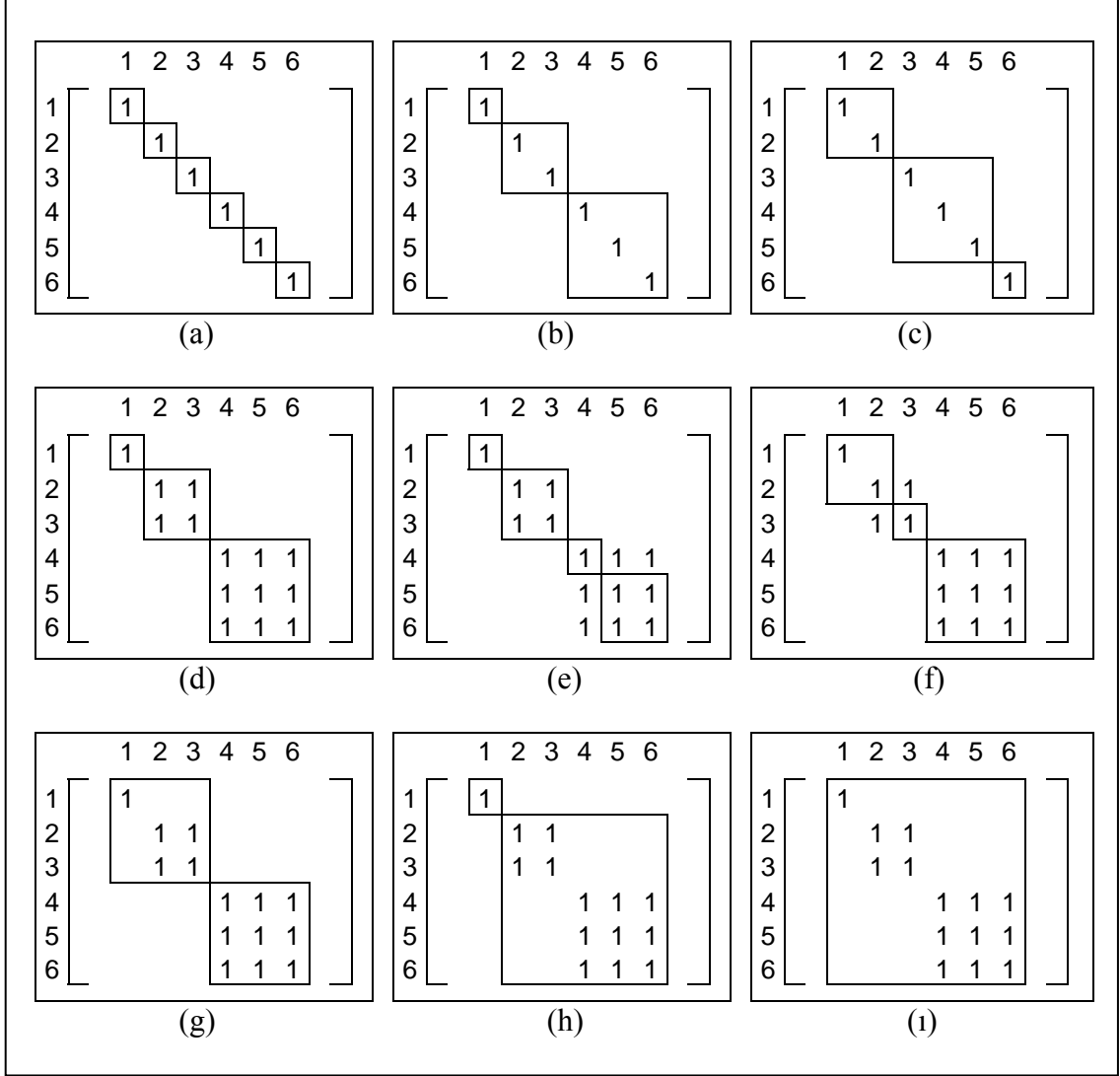
Böyle bir durum ancak atölyenin yoğunluğu hesaplanırken kullanılan “1” girdilerinin sayısı satır veya sütun sayısına eşit ya da bu sayıyı çok fazla geçmediği zamanlarda mümkündür. Ayrıca bu “1” girdilerinin köşegeni oluşturacak şekilde dizilebiliyor olmaları gerekir. Şekil 1.7.(a)’da bu durum gösterilmektedir. Her hücrede tek makine vardır ve her makine yalnızca tek parçayı işlemektedir. Şekil 1.7.(a) aynı zamanda bir “birim matristir.”

Kare olmayan matrislerde oluşturulabilecek maksimum hücre sayısı küçük olan boyut kadardır. Şekil 1.7.(b) ve (c)’de bu durum gösterilmektedir. Maksimum hücre sayısına ulaşabilmek için “1” girdilerinin sayısının büyük olan boyut kadar olması veya bu sayıyı çok fazla geçmemesi gerekir. Ayrıca Şekil 1.7.(c)’deki bu “1” girdileri köşegeni oluşturacak şekilde yeniden Şekil 1.7.(b)’deki gibi dizilebiliyor olmalıdır.

Kare ve kare olmayan matrisler için maksimum hücre sayısından oluşan blok-köşegen yapı sadece tek alternatif olarak oluşturulabilir. Blokların, yani hücrelerin yerleri değiştirilse bile, bu durum köşegen bir yapının var oluşunu değiştirmez. Şekil 1.7.(b)’deki blokların yerleri Şekil 1.7.(c)’de değiştirilerek sunulmuştur. Böyle bir değişiklik yapılmış olsa bile, hücre büyüklükleri, hücre yoğunlukları ve hücreleri oluşturan makineler ve parçalar aynı kalacaktır. Aslında Şekil 1.7.(b) ve (c)’deki hücreler aynı hücrelerdir. Bu nedenle mevcut hücre bloklarının matris içerisindeki yerlerinin değiştirilmesine bunlar yeni birer alternatifmiş gözüyle bakılamaz.

Şekil 1.8.(a)’daki gibi hücrelerin maksimum sayıda olduğu andaki hücre işlem yoğunlukları $1/1 = 1$ ’e (yüzde yüze) eşit olacaktır. Atölyedeki toplam işlem sayısı (I) sabit kalmak koşuluyla hücre sayısı maksimumdan minimuma (minimum hücre sayısı Şekil 1.8.(ı)’daki gibi tek hücredir ve atölyenin tamamıdır) doğru azaltılmaya başlandığında hücrelerin kapsama alanları Şekil 1.8.(b)’deki gibi genişleyecektir. Atölye toplam işlem sayısı sabit kaldığı için hücrelerin içerisine “0” elemanları da girmeye başlar. Böylece hücre işlem yoğunlukları azalmaya başlar. Hücre yoğunlukları azalırsa oluşturulabilecek alternatif blok-köşegen yapı sayısı artırılabilir. Hücre yoğunlukları azaldıkça hücre sayıları da artırılabilir. Şekil 1.8.(a)’da maksimum 6 hücre varken bu sayı Şekil 1.8.(b)’de 3 hücreye indirilmiştir. İşlem sayısı sabit olmasına rağmen hücre sayısı azaltıldığı için hücre yoğunlukları düşmüştür. Hücre yoğunlukları düşük olduğu için Şekil 1.8.(b) ve Şekil 1.8.(c)’de hiç istisnai eleman oluşmadan 3

hücreli iki değişik alternatif blok-köşegen yapı geliştirilebilmektedir. İstenirse bu koşullar altında alternatif sayısı daha da artırılabilir.



Şekil 1.8. Hücre Yoğunluk ve Sayılarındaki Değişmeler.

Atölyedeki veya hücreler içerisindeki toplam işlem sayıları arttıkça (yoğunluk arttıkça) oluşturulabilecek maksimum hücre sayısında azalma eğilimi görülür. Şekil 1.8.(d)'de işlem sayısı ("1" girdilerinin sayısı) artmış ve artık maksimum hücre sayısı 6 dan 3'e düşmüştür. Hücre sayısını artırma girişimi, örneğin dördüncü bir hücre kurma girişimi, Şekil 1.8.(e)'deki gibi dört tane istisnai elemanın oluşmasına yol açmıştır. Toplam "1" girdilerinin sayısı arttıkça oluşturulabilecek alternatif blok-köşegen yapı

sayısında da azalma eğilimi görülür. Buna eğilim denmesinin nedeni bazı blok-köşegen yapı ve yoğunluktaki matrisler için bu azalmanın oluşmama olasılığının az da olsa var oluşudur. Fakat azalmanın görülmesi olasılığı çok daha fazladır.

Şekil 1.8.(f)'de, Şekil 1.8.(d) için yine 3 hücreden oluşan alternatif bir blok-köşegen yapı oluşturulmaya çalışılmış, fakat iki tane istisnai eleman oluşmuştur. Şekil 1.8.(g)'deki "1" girdileri ve bunların köşegene olan uzaklıkları Şekil 1.8.(d) ile aynı olmasına rağmen bu sefer hücre sayısı 3'ten 2'ye indirilmiştir. Dolayısıyla hücrenin birinin işlem yoğunluğu azalmıştır. Hücre yoğunluğu azaldığı için Şekil 1.8.(h)'de istisnai elemansız, alternatif bir blok-köşegen yapı oluşturulabilmiştir. Toplam "1" girdilerinin sayısı azaldıkça, aynı sayıda hücreyle oluşturulabilecek, alternatif blok-köşegen yapı sayısında artma eğilimi görülür.

Yukarıdaki açıklanan eğilimler ve bunları göz önünde bulundurarak elde edilebilecek olanaklar Tablo 6'da özetlenmiştir. Tablodaki I numaralı satırın yanındakiler düzenlenirken istisnai elemanların minimum tutulmaya çalışıldıkları varsayılmıştır.

Tablo 6: İşlem Yoğunluğundaki Değişikliklere Göre Oluşan Artış ve Azalışlar.

		İŞLEM YOĞUNLUĞU		
		Değişmezse	Arttıkça	Azaldıkça
I. İstisnai Eleman Sayısını Arttırmaksızın:	Mevcut hücre sayısını artırma gereksinimi:	Yoktur	Azalır	Yoktur
	Mevcut hücre sayısını artırabilme olanağı:	Çok düşüktür	Daha da azalır	Artar
	Mevcut hücre sayısını azaltma gereksinimi:	Yoktur	Artar	Yoktur
	Mevcut hücre sayısını azaltabilme olanağı:	Her zaman vardır	Her zaman vardır	Her zaman vardır
	Alternatif blok-köşegen yapı oluşturabilme olanağı:	Çok düşüktür	Daha da azalır	Artar
II. İstisnai eleman sayısının artma eğilimi:		Yoktur	Artar	Yoktur
III. İstisnai eleman sayısının azalma eğilimi:		Yoktur	Yoktur	Artar

Hücre sayısının ve hücre yoğunluklarının artırılması, özellikle mevcut üretilen parçalara ilave olarak yeni parçaların da üretim sürecine eklenmesi durumunda gündeme gelir. Benzer şekilde, hücre sayısı ve yoğunluklarının azaltılması da üretilen

mevcut parçaların azaltılması veya üretim süreçlerinin iyileştirilmesi durumlarında gündeme gelir. Bu ve benzeri nedenlerden dolayı, iş atölyelerinde yerleşim düzeni değişikliklerine sıklıkla rastlanılabilir.

GT yerleşim düzenini kurmak isteyen atölye yöneticileri sözü edilen bu olasılıkları değerlendirmelidirler. Uygun olan hücre sayısı ve bu hücreleri oluşturacak makine ve parçalar belirlendikten sonra, hücre sayısının artırılması veya azaltılmasının maliyet tahminleri mutlaka karşılaştırılmalıdır. Oluşacak istisnai elemanlar bu maliyetleri etkileyecek en önemli unsurlardan biridir. Ayrıca hücre içi düzenlemelerinin de en uygun şekilde yapılması gerekir.

İKİNCİ BÖLÜM

HÜCRE TASARIM FALTÖRLERİ VE HÜCRE OLUŞTURMA GENEL YÖNTEMLERİ

Hücrelerin oluşturulmasında görülen yöntem çokluğu göz önünde bulundurulması gereken faktörlerin çokluğuna dayanmaktadır. Bu bölümde önce bu hücre tasarım faktörleri üzerinde durulacaktır. Hücresel üretimde yaygın şekilde kullanıldığı görülen sınıflandırma ve kodlama sistemleri hakkında da kısaca bilgi verilecektir. Sonra, ikili parça-makine görünüm matrisleri için, literatürde en yaygın olarak kullanıldıkları görülen, genel hücre oluşturma yöntemleri açıklanacaktır. Bölümün sonunda, ele alınan yöntemlerin performansları değişik ölçütlere göre değerlendirilecektir.

2.1. HÜCRE TASARIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Üretim hücrelerinin tasarımı gerçekleştirilirken göz önünde bulundurulması gereken onlarca faktör vardır. Bu faktörleri bir arada gösteren bazı çalışmalar yapılmıştır. “Aurrecochea ve arkadaşları” (1994) yaptıkları çalışmada hücre tasarım kararlarının üretim amaçları üzerine etkilerini göstermektedirler⁴⁰. Burada hücre tasarım kararları “tesisler”, “dinamikler”, “organizasyon”, “üretim planlama ve kontrol”, “çalışanlar” ve “çevre ve sistemler” olmak üzere altı ana başlığa ve bunlar da alt maddelere ayrılmıştır. Bütün bu maddelerin “kalite”, “esneklik”, “güvenilirlik” ve “maliyet” olarak belirtilen dört üretim amacına olan etkileri ayrı ayrı incelenmiştir. Buna benzer diğer bir çalışma “Basu ve arkadaşları” (1995) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada üretim hücresi sistem tasarımını etkileyen “üretim”, “kaynaklar” ve “faaliyet” kategorileri ve bunların alt kategorilerinden oluşan toplam otuz altı adet faktör sıralanmaktadır⁴¹. “Cheng ve arkadaşları” (1995) HÜ kümeleme algoritmalarından

⁴⁰ Aurrecochea, A., - Busby, J. S., - Nimmons, T., - Williams, G. M., “The Evaluation of Manufacturing Cell Designs”, ***International Journal of Operations & Production Management***, Vol. 14, No. 1, 1994, ss. 66-68.

⁴¹ Basu, A., - Hyer, N., - Shtub, A., “An Expert System Based Approach to Manufacturing Cell Design”, ***International Journal of Production Research***, Vol. 33, No. 10, 1995, s. 2745.

birçoğunu ilk önce, arzulanan bir çözüm üretilip üretilmemesi, algoritma uygulanırken kullanıcı müdahalesi gerektirip gerektirmemesi ve başlangıç değerler veya parametreler gerektirip gerektirmemesi olmak üzere üç açıdan incelemişler, sonra da aşağıda sıralanan amaçların bu algoritmalarda bulunup bulunmadığını karşılaştırmışlardır⁴².

- a. Makinelerin maliyetinin minimizasyonu.
- b. Hazırlık maliyetinin minimizasyonu.
- c. Darboğaz parçaları yüzünden hücreler arası hareketlerin maliyetinin minimizasyonu.
- d. Darboğaz parçaların üretim maliyetinin minimizasyonu.
- e. Tüm parçaların üretim maliyetlerinin minimizasyonu.
- f. Malzeme taşıma maliyetinin minimizasyonu.
- g. Süreçteki iş maliyetinin minimizasyonu.
- h. Darboğaz parçaları yüzünden hücreler arası hareket sayısının minimizasyonu.
- ı. Herhangi iki parça arasındaki uzaklık toplamlarının minimizasyonu.
- i. Makineler ve parçalar arasındaki uyumun maksimizasyonu.
- j. Ortalama hücre kullanımının maksimizasyonu.
- k. Hücre içi iş yükü dengesizliklerinin minimizasyonu.
- l. Hücreler arası iş yükü dengesizliklerinin minimizasyonu.
- m. Bir makine hücresindeki parçaların sayısının maksimizasyonu.

“Mansouri ve arkadaşları” (2000) hücre tasarımında çok kriterli modern yaklaşımları gözden geçirerek bunları “girdileri”, “kriterleri” ve “çözüm yaklaşımları ve çıktıları” olmak üzere üç açıdan karşılaştırmışlardır⁴³. Söz konusu karşılaştırmada ele alınan kriterler Tablo 7’de özetlenmektedir.

⁴² Cheng, Chun Hung, - Kumar, Ashok, - Motwani, Jaideep, “A Comparative Examination of selected Cellular Manufacturing Algorithms”, **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 15, No. 12, 1995, ss. 93-94.

⁴³ Mansouri, S. A., - Hüsseini, Moattar S. M., - Newman, S. T., “A Review of the Modern Approaches to Multicriteria Cell Design”, **International Journal of Production Research**, Vol. 38, No. 5, 2000, ss.1201-1218.

Tablo 7: Çok Kriterli Modern Hücre Tasarım Modellerinde Kullanılan Faktörler.

GİRDİLER (Parçaların Verileri)		KRİTERLER (Amaçlar)		ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI ve ÇIKTILAR		
Sayısal	Talep Gereken makineler Gereken aletler Sabit süreç akışı Alternatif süreç akışları İşlemler için alternatif makineler	Maliyet minimizasyonu	Makine duplikasyonu İşlem maliyeti Parça alt sözleşmesi Hücreler arası taşıma Hücre içi taşıma Yer kullanımı	Çözüm yaklaşımı	Kısıtlayıcı yöntemi Ağırlık verme yöntemi Amaç programlama Sinir ağı Bulgusal yöntemler AHP	
	Üretim zamanları Hazırlık zamanları Parti büyüklüğü İstif rafı kapasitesi Parça kodlama	Miktar minimizasyonu	Duplike edilmiş makineler Hücreler arası hareketler Hücre içi hareketler Hücre içi iş yükü dengesizliği Atölye içi iş yükü dengesizliği Parçaların benzemezliği Atlayışlar (es geçmeler)		Genetik algoritma Simülasyon tavlama	
	Maliyet	Direkt üretim maliyetleri Alet kullanım maliyetleri Operatör ücreti Alt sözleşme maliyeti Hücreler arası taşıma maliyeti Hücre içi taşıma maliyeti Hazırlık maliyeti Yer maliyeti	Miktar maksimizasy.	Esneklik Yeterlilik Kullanım Hücre bağımsızlığı	Çıktı (ek ölçüler)	Parça aileleri Parçayla ilişkili Alt sözleşmeli parçalar Farklı süreç planları Hücreler arası hareketler Hücre içi hareketler
		Makine Verileri	Sapmaların minimizasyonu	Parçaların benzerliği Mevcut makine üretim zamanı Hücre operatör ücretleri Makine-operatör beceri uygunluğu Minimum parça hareketleri Maksimum parça hareketleri Makine yatırım maliyeti İşletim maliyeti Hazırlık zamanı Kullanım Mevcut fonlar Hücreler arası hareketler		Makineyle ilişkili
Kısıtlayıcılar	Her makine çeşidinin sayısı Üretim kapasitesi Mevcut aletler Yer gereksinimleri Makine edinme maliyeti İşlem maliyeti	Genel		Hücrelerin sabit sayısı Hücrelerin sayı aralığı Maksimum kullanım Minimum kullanım Maksimum hücre büyüklüğü Minimum hücre büyüklüğü Maksimum hücre çıktısı Operatör kısıtlayıcıları Mevcut fonlar Mevcut yer	Genel	Parçaların sıralaması İnsan grupları Fabrika içi hücre düzenleme
	Genel		Operatör yetenekleri Hücredeki makinelerin düzenlenmesi Atölyedeki hücrelerin düzenlenmesi			

Kaynak: Mansouri, - Hüsseini, - Newman, a.g.m., ss.1209-1214.

Bunlara benzer başka çalışmalara da literatürde rastlamak mümkündür. Yapılan bu çalışmalarda bile, tüm faktörlerin ele alınıp alınmadığı tartışılabilir. Bütün faktörlerin sadece tek bir yöntem içerisinde toplu halde kullanılıp uygun bir hücre tasarımının ve uygun hücre miktarlarının belirlenmesi pratik olarak olanaksızdır. Dolayısıyla HÜ sisteminin ilk ortaya çıktığı günden bu yana hücre tasarım kararlarının tek tek veya gruplar halinde ele alındıkları çok sayıda algoritma geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir.

HÜ'de kullanım kolaylığı sağlayan diğer bir konu da sınıflandırma ve kodlama konusudur. Parça aileleri kodlar kullanılarak belirlenebilir. Önce, parça aile uygulama amaçları belirlenmelidir. Tasarım uygulamalarındaki parça aileleri genelde üretim uygulamalarındakilerden oldukça farklı parça özelliklerine dayanırlar. Bu nedenle parça ailelerini oluşturmadaki sebepler oldukça açık olmalıdır. Amaçlar belirlendikten sonra ilgili parça aile özellikleri tanımlanır ve bu özelliklere karşılık gelen kodlar belirlenir. Sonra da kodlanmış parçaların veri tabanı, parça ailesinin üyelerini saklamak için kullanılır⁴⁴. Grupların oluşturulması amacıyla parçaların kodlanma ve sınıflandırılma analizi genel olarak parçaların tasarım özellikleriyle ilgilenmektedir. Bu özellikler toleranslar, malzeme gereksinimleri, parçaların biçimleri ve büyüklüklerini kapsamaktadır. Geleneksel olarak kodlama sistemleri tasarıma odaklanmış veya biçime dayalı olmalarına rağmen bazıları üretime dayalı özellikleri de kapsamaktadırlar⁴⁵. Benzer parçaların gruplandırılması "Mitrofanov" tarafından ortaya konulan bir kavram olmasına karşın sınıflandırma ve kodlama sisteminin ilk öncüsü olarak kendi ismini de sisteme veren "Opitz"ın çalışmaları görülmektedir⁴⁶. Sınıflandırma ve kodlama sistemleri hiyerarşik kodlar, hiyerarşik olmayan kodlar ve melez kodlar olarak üç kategoriye ayrılabilir. Tablo 8 bazı sistemlerin ismini ve kısa özelliklerini vermektedir.

⁴⁴ Tatikonda, M. V., - Wemmerlöv, U., "Adoption and Implementation of Group Technology Classification and Coding Systems: Insights from Seven Case Studies", **International Journal of Production Research**, Vol. 30, No. 9, 1992, s. 2089.

⁴⁵ Offodile, O. Felix, - Grznar, John, "Part Family Formation for Variety Reduction in Flexible Manufacturing Systems", **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 17, No. 3, 1997, s. 293.

⁴⁶ Opitz, H., - Wiendahl, H. P., "Group Technology and Manufacturing Systems for Small and Medium Quantity Production", **International Journal of Production Research**, Vol. 9, No. 1, 1971 ss. 181-203.

Tablo 8: Örnek Sınıflandırma ve Kodlama Sistemlerinin Listesi.

Sistemin Adı	Geliştirildiği Ülke	Özellikleri
TOYODA	Japonya	On haneli kod
MICLASS	Hollanda	Otuz haneli kod
TEKLA	Norveç	On iki haneli kod
BRISCH	İngiltere	Dörtle altı hane arası ana koda bağlı ve belirli sayıda ikincil haneler
DCLASS	A.B.D.	Sabit bir kod çatısı olmayan bilgisayar programına dayalı sistem
NITMASH	Rusya (S.S.C.B.)	10-15 haneli hiyerarşik bir kod ve bir seri no.
OPITZ	Batı Almanya	5 haneli ana koda bağlı 4 haneli ikincil bir kod

Kaynak: Kusiak, A., - Heragu, S. S., "Group Technology", Computers in Industry, Vol. 9, Issue 2, 1987, ss. 83-91.

2.2. HÜCRELERİ OLUŞTURMADA KULLANILAN GENEL YÖNTEMLER

Birinci bölümde sunulan denklem (1.1) kullanılarak bulunacak alternatif sayı kadar matris oluşturup, bunları birbirleriyle karşılaştırarak en iyi blok-köşegen yapıyı bulmak, ideal olanıdır. Ama zaman ve hesaplama açısından olanaksızdır. Boyutları belirli büyüklüğün üzerindeki matrisler için böyle bir girişimde bulunmak bilgisayar yardımı ile dahi mümkün olmayabilir. Bu nedenle daha az hesaplama gerektiren, daha kısa zamanda optimal çözümü bulan veya ona çok yaklaştıran yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler aslında "parça-makine görünüm matrisinin" permütasyonlarının arasından "blok-köşegen yapının" oluşmasında uygun olmayanlarının büyük bir kısmını hızlı bir şekilde elimine etmeye yararlar. Bu da zaman ve hesaplama kolaylığı sağlar.

"Miltenburg ve Zhang" (1991) GT hücre oluşturma problemlerini çözmeye aşağıdaki dokuz algoritmayı karşılaştırarak değerlendirmişlerdir⁴⁷.

1. Sıralama düzeni kümeleme (ROC)
2. Benzerlik katsayısı (BK)
3. Benzerlik katsayısı ve sıralama düzeni kümeleme
4. Birinci algoritmanın modifiye edilmiş şekli
5. İkinci algoritmanın modifiye edilmiş şekli

⁴⁷ Miltenburg, - Zhang, a.g.m., s. 46.

6. Üçüncü algoritmanın modifiye edilmiş şekli
7. İdeal çekirdek kümeleme
8. Benzerlik katsayısı ve ideal çekirdek kümeleme
9. Bağ enerji (BE)

Bu dokuz yöntemin, dikkat edilirse, temelde dört yöntem olan “sıralama düzeni”, “benzerlik katsayısı”, “ideal çekirdek kümeleme” ve “bağ enerji”den türetildikleri görülür. İdeal çekirdek kümeleme, hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemlerinden “k-ortalamları (KO)” ile ilgilidir. “Heragu” (1997) “satır ve sütun maskeleme (SSM)” ile “matematiksel programlama (MP)” olmak üzere iki yöntemden daha söz etmektedir⁴⁸. “Rajagopalan ve Batra” (1975) hücrelerin oluşturulmasında “Çizge kuramsal (ÇK)” yöntemini de uygulamışlardır⁴⁹. Böylece burada genel olarak ele alınacak yedi yöntemden söz edilebilir.

1. Sıralama düzeni kümeleme (ROC)
2. Bağ enerji (BE)
3. Satır ve sütun maskeleme (SSM)
4. Benzerlik katsayısı (BK)
5. K-ortalamları (KO)
6. Matematiksel programlama (MP)
7. Çizge kuramsal (ÇK)

Günümüze daha yakın yıllarda geliştirildikleri için, daha modern olarak kabul edilebilecek yöntemler ise “bulanık kümeleme”, “sintaktik model algılama (syntactic pattern recognition)”, “uzman sistemler”, “sinir ağları” ve “simülasyon tavlama”dır⁵⁰. Bu yöntemlerin içerisinde yukarıda sıralanan yedi genel yöntemin sıklıkla kullanıldıklarına da rastlanılmaktadır.

⁴⁸ Heragu, a.g.e., s. 289.

⁴⁹ Rajagopalan, R., - Batra, J. L., “Design of Cellular Production Systems: A Graph Theoretic Approach”, **International Journal of Production Research**, Vol. 13, No. 6, 1975, ss. 567-579.

⁵⁰ Chu, Chao-Hsien, “Manufacturing Cell Formation by Competitive Learning”, **International Journal of Production Research**, Vol. 31, No. 4, 1993, s. 830.

Yedi genel kümeleme yöntemi açıklanırken izlenecek yol, önce ele alınan yöntemin adımlarının sunulması, sonra da bir örnek üzerinde yöntemin işleyişinin gösterilmesidir. Bu örnek, yöntemlerin kolayca anlaşılması ve bir blok-köşegen yapıya ele alınan yöntemin nasıl ulaştığının kolayca görülebilmesi için, Şekil 2.1’de verilen küçük boyutlu bir başlangıç matrisidir. Her yöntem üzerinde denenecek olan ikinci örnek ise Şekil 2.2’de gösterilen ve literatürden seçilen, “Kumar ve Vannelli”nin (1987) geliştirdiği, 41 adet parça ve 30 adet makineden oluşan başlangıç matrisidir.

		PARÇALAR				
		P1	P2	P3	P4	P5
MAKİNELER	M1	0	0	1	0	1
	M2	1	0	0	1	0
	M3	1	1	0	1	0
	M4	0	0	1	0	1

Şekil 2.1. Küçük Boyutlu Örnek Başlangıç Matris.

		P A R Ç A L A R																																																		
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4													
M A K İ N E L E R	1																																																			
	2																																																			
	3																																																			
	4																																																			
	5																																																			
	6																																																			
	7																																																			
	8																																																			
	9																																																			
	10																																																			
	11																																																			
	12																																																			
	13																																																			
	14																																																			
	15																																																			
	16																																																			
	17																																																			
	18																																																			
	19																																																			
	20																																																			
	21																																																			
	22																																																			
	23																																																			
	24																																																			
	25																																																			
	26																																																			
	27																																																			
	28																																																			
	29																																																			
	30																																																			

Şekil 2.2. Büyük Boyutlu Örnek Başlangıç Matris.

Kaynak: Kumar, Ravi K., - Vannelli, A., “Strategic Subcontracting for Efficient Disaggregated Manufacturing”, International Journal of Production Research, Vol. 25, No. 12, 1987, s. 1724.

İkinci örnek oldukça büyük bir matristir ve istisnai elemanlar içermektedir. Böylece her yöntemin sergilediği performans ikinci örnek sayesinde daha açık olarak görülebilecektir. İkinci örnek çözülürken bütün yöntemler için hücre sayısı 3 olarak alınmıştır. İkinci örneğin tüm yöntemler için çözümlenmiş sonuçları toplu olarak Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’de gösterilmektedir.

2.2.1. Sıralama Düzeni Kümeleme (ROC) Yöntemi

Hesaplama kolaylığı olan bir yöntemdir. İlk olarak “King” (1980) tarafından geliştirilen yöntem daha sonraları hem yazarın kendisi hem de diğer yazarlar tarafından geliştirilmiş ve bazı değişikliklere uğramıştır. İlk geliştirildiği şekliyle algoritma adımları aşağıdaki gibidir⁵¹:

Adım 1: Başlangıç matrisinin her sütunu için her biri öncekinin iki katı olacak şekilde ağırlıklar atanır. Her sütunu j ile ve ağırlıkları da W ile gösterirsek bu, denklem (2.1) ile hesaplanır.

$$W_j = 2^{m-j} \quad (2.1)$$

Adım 2: Satırlardaki “1” girdilerine karşılık gelen sütun ağırlıklarının toplamları satırların karşısına yazılır. Satırlara i , sütunlara j , matristeki ikili (“1”, “0”) girdilere a_{ij} ve ağırlık toplamlarına da TW_i denirse bu, denklem (2.2) ile hesaplanır.

$$TW_i = \sum_{j=1}^m 2^{m-j} a_{ij} \quad (2.2)$$

Adım 3: Satırlar TW_i değerlerinin azalan düzeninde yeniden sıralanır.

⁵¹ King, J. R., “Machine-Component Grouping in Production Flow Analysis: An Approach Using a Rank Order Clustering Algorithm”, **International Journal of Production Research**, Vol. 18, No. 2, 1980, s. 219.

Adım 4: Yeniden sıralanan bu her satır için her biri öncekinin iki katı olacak şekilde ağırlıklar atanır. Bu ağırlıklar denklem (2.3) ile hesaplanır.

$$W_i = 2^{n-i} \quad (2.3)$$

Adım 5: Sütunlardaki “1” girdilerine karşılık gelen satır ağırlıklarının toplamları sütunların karşısına yazılır. Bu ağırlıklar toplamına TW_j denirse bu, denklem (2.4) ile hesaplanır.

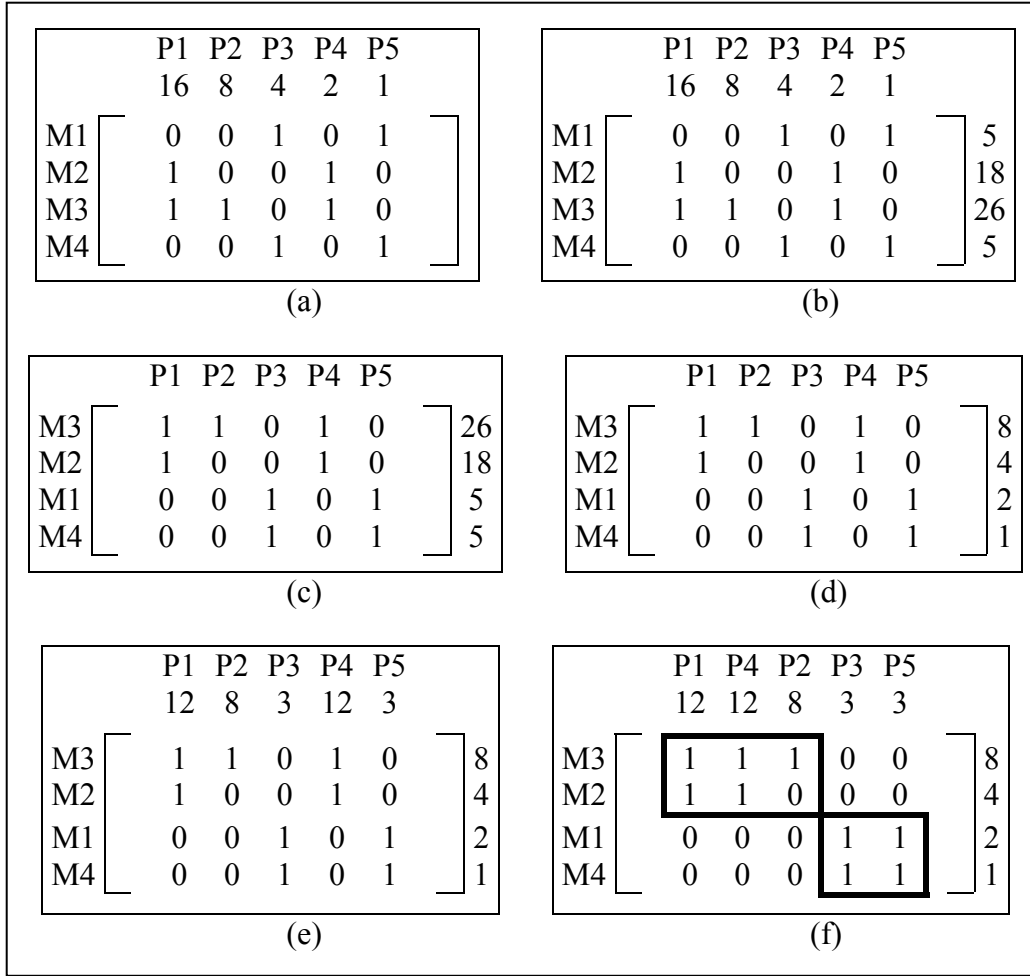
$$TW_j = \sum_{i=1}^n 2^{n-i} a_{ij} \quad (2.4)$$

Adım 6: Sütunlar TW_j değerlerinin azalan düzeninde yeniden sıralanır.

Adım 7: Blok-köşegen yapının oluşup oluşmadığına bakılır. Eğer oluşmamışsa adım 1’e gidilir ve algoritma tekrarlanır. Algoritmanın belirli sayıda tekrarından sonra sonuç bir önceki tekrarla aynı çıkar. Bu durum, ROC algoritmasına göre en iyi çözüme ulaşıldığını gösterir ve durulur.

Şekil 2.3.(a), (b), (c), (d), (e), (f) sırasıyla ROC algoritmasındaki adım 1, 2, 3, 4, 5 ve 6’nın şekil 2.1’deki başlangıç matrisine uygulanışını göstermektedir. Şekil 2.3.(f).’de aynı zamanda adım 7 de gösterilmiştir. Birinci tekrarın sonucunda oluşan iki hücreli blok-köşegen yapı burada görülmektedir. Bu örnekte algoritmanın ikinci tekrarı yine aynı sonucu vermektedir. Böylelikle algoritma durdurulur. Birinci hücre M3 ve M2 makineleriyle P1, P4 ve P2 parçalarından, ikinci hücre de M1 ve M4 makineleri ile P3 ve P5 parçalarından oluşmaktadır.

Algoritmanın Şekil 2.2’deki büyük matrise uygulanması sonucunda oluşan alternatif blok köşegen yapılar Şekil 2.10.(a), (b) ve (c)’de gösterilmektedirler. Algoritmanın hesaplamaları yapılırken Microsoft Excel bilgisayar programından yararlanılmıştır.



Şekil 2.3. ROC Algoritması.

Üçüncü tekrarın sonucunda (Şekil 2.10.(a)) blok-köşegen yapı dışında kalan istisnai elemanların sayısı 7 dir. Bundan sonraki dördüncü tekrar, üçüncü tekrarın aynısı değildir ve istisnai elemanların sayısı artmaktadır. Şekil 2.10.(c)'de gösterilen beş ve altıncı tekrarlar ise birbirleriyle aynı sonucu vermektedir fakat blok-köşegen yapı dışında kalan istisnai eleman sayısı üçüncü tekrara göre bir artıp, 8 olmuştur.

“King” iyi yapılandırılmış matrisler için ROC algoritmasının ikinci tekrardan sonra mutlaka en iyi olan doğal blok-köşegen yapıyı vereceğini bildirmektedir⁵². İstisnai elemanların oluştuğu, kötü yapılandırılmış matrisler için ise ikinci tekrardan sonra doğal bir blok-köşegen yapı her zaman oluşmayabilir. Bu problemi ortadan kaldırmak ve

⁵² King, a.g.m., s. 221.

istisnai elemanların diğer aşamaları etkilemesini engellemek için “King” üç aşamadan oluşan bir prosedür önermektedir. Birinci aşamada, ROC algoritması ikinci tekrar sonuna kadar uygulanıp oluşan istisnai elemanlar belirlenmelidir. İkinci aşamada, bu istisnai elemanlar matristen kaldırılarak ROC algoritması tekrar uygulanmalıdır. Böylece doğal bir blok-köşegen yapı tekrar oluşur. Son aşamada, önceden belirlenmiş olan istisnai elemanlar tekrar yerlerine konularak bu elemanların doğal blok-köşegen yapının oluşmasını engellemeleri önlenmiş olmaktadır.

“King ve Nakornchai” (1982) birçok algoritmanın üstün ve zayıf yönlerini açıkladıktan sonra ROC2 adını verdikleri yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. ROC2 algoritması şu adımlardan oluşmaktadır⁵³:

Adım 1: Başlangıç matrisin boyutlarında, içi boş, yeni bir matris oluşturulur. Yeni matrisin son sütun elemanları olarak bunlara karşılık gelen makine numaraları atanır. Bu numaralardan hangileri başlangıç matrisinin buna karşılık gelen sütunundaki “1” girdilerine karşılık geliyorsa altları çizilerek belirlenir.

Adım 2: Altı çizili elemanlar önce, çizili olmayanlar da sonra olmak üzere yeni matrisin bir önceki sütununa birinci satırdan başlayarak sırasıyla atanırlar. Başlangıç matrisinde bu sütuna karşılık gelen “1” girdilerinin karşılığı olan makine numaralarıyla aynı olan yeni matris elemanlarının altı çizilerek belirlenir.

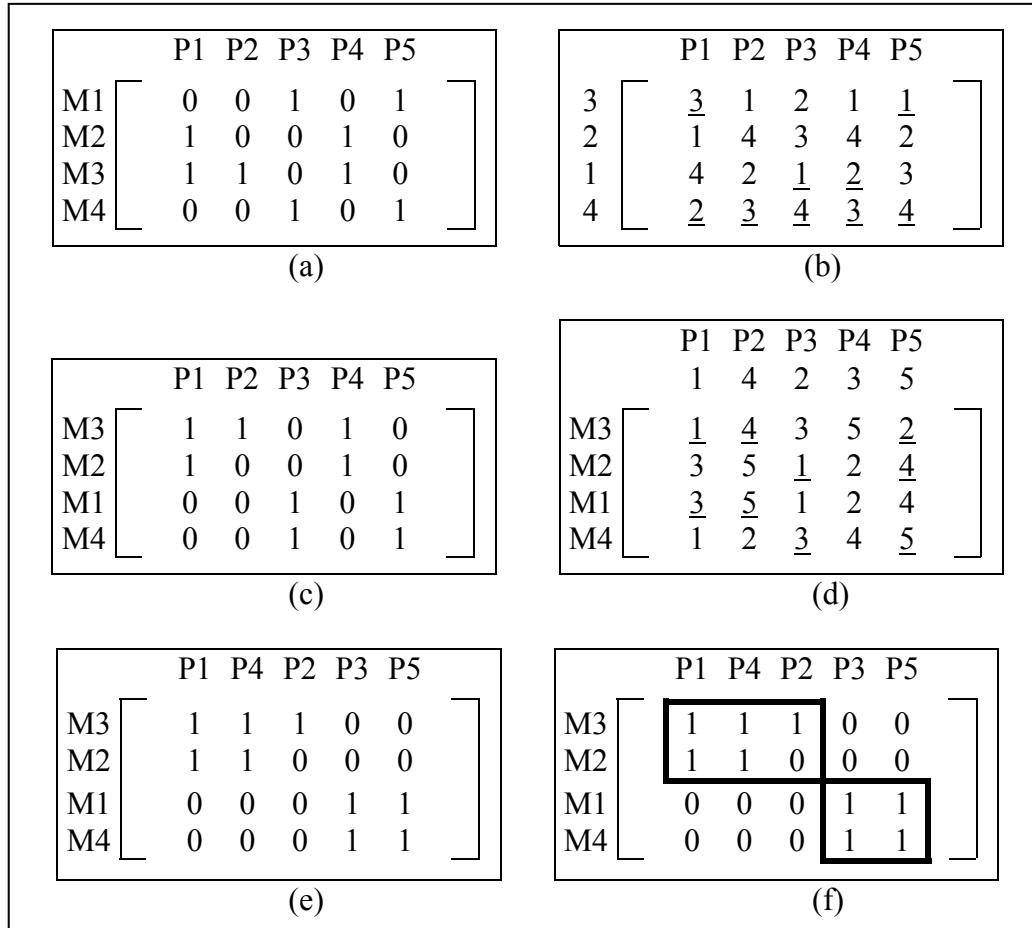
Adım 3: Birinci sütunun soluna matris boyutlarının dışında kalan bir sütun daha oluşturulması kadar adım 2 tekrarlanır.

Adım 4: Matrisin dışındaki bu sütunda oluşan numaraların sıralanışı makine numaralarının yeni sırasını göstermektedir ve matrisin satırları buna göre yeniden sıralanır.

⁵³ King, J. R., - Nakornchai, V., “Machine-Component Group Formation in Group Technology: Review and Extension”, ***International Journal of Production Research***, Vol. 20, No. 2, 1982, s.126.

Adım 5: Yeni sıralanan matrisin boyutlarında boş bir matris oluşturulur. En son satırdan başlanarak adım 1, 2, 3 ve 4 bu sefer satırlara göre tekrarlanır ve algoritma durdurulur.

Şekil 2.4, ROC2 algoritmasının Şekil 2.1'deki başlangıç matrisine uygulamasını göstermektedir. Şekil 2.4.(a) başlangıç matristir. Şekil 2.4.(b) sütunlara uygulamasını ve Şekil 2.4.(c) satırların dizilişini, Şekil 2.4.(d) satırlara uygulamasını ve Şekil 2.4.(e) sütunların dizilişini göstermektedirler. Şekil 2.4.(f) ise blok-köşegen yapıyı ve hücrelerin oluşumunu göstermektedir. Şekil 2.4.(f)'de oluşan blok-köşegen yapı ve hücreler Şekil 2.3.(f)'de oluşan hücrelerle aynıdır.



Şekil 2.4. ROC2 Algoritması.

ROC2 ve ROC algoritmaları farklı adımlardan oluşuyor gibi görünmelerine rağmen hangi matrise uygulanırlarsa uygulansınlar her tekrar için aynı sonuçları

vermektedirler. Böylece ROC2 algoritması ikinci örneğe uygulandığında ROC algoritmasında çıkan sonuçların aynıları elde edilir. Şekil 2.10.(a), (b) ve (c)'deki sonuçlar ROC2 algoritması için de geçerlidir.

“Chandrasekharan ve Rajagopalan” (1986) ROC algoritmasının dört sakıncalı yanının olduğunu bildirmektedirler⁵⁴.

1. İyi yapılandırılmış matrislerde dahi ROC algoritması uygulandığında blok-köşegen bir yapının oluşması kesin değildir.
2. Az sayıda istisnai elemanla bir blok-köşegen yapıya ulaşılsa bile bunun en iyi çözüm olduğu söylenemez. Algoritmaya devam edildiğinde bu son çözümün değişmesi olasılığı vardır. (Büyük boyutlu örnek için bulunan alternatif çözümler bunu açık olarak göstermektedirler.)
3. ROC algoritmasının kullanılmasıyla oluşan sonuçlar başlangıç matrisin yapısına sıkı sıkıya bağlıdır. Bu durum darboğaz makinelerinin tesadüfi olarak tanımlanmalarını doğurur.
4. “1” girdileri üst sol köşede toplanma eğilimindeyken matrisin geriye kalan kısımları düzensiz olmaktadır. Bu durum sadece tek bir hücrenin ve buna karşılık gelen tek bir parça ailesinin oluşmasına neden olur.

2.2.2. Satır Ve Sütun Maskeleye (SSM) Yöntemi

Yöntemi ilk olarak “Iri” (1968) geliştirmiştir⁵⁵. SSM yönteminde uygulanan algoritmanın adımları ilk şekliyle şöyledir:

Adım 1: Başlangıç matrisindeki ilk satırın üzerine yatay bir çizgi çizilir.

Adım 2: Üzerinden bu yatay çizginin geçtiği her “1” girdisinin ait olduğu sütun üzerine dikey çizgiler çizilir.

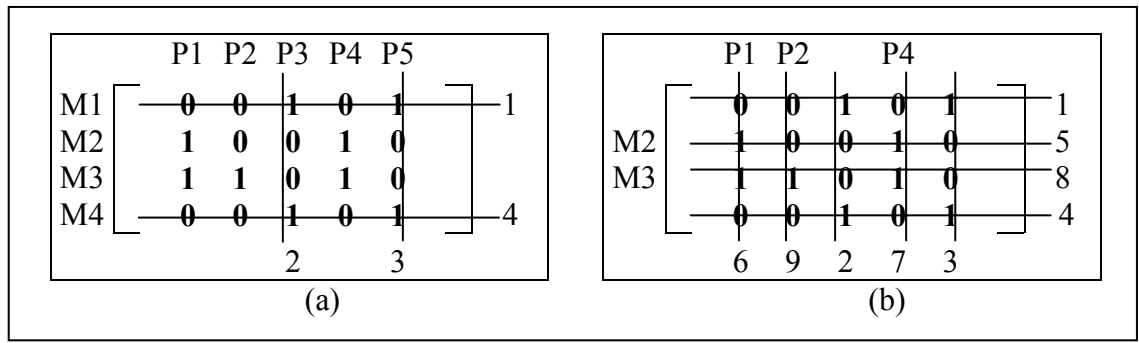
⁵⁴ Chandrasekharan, M. P., - Rajagopalan, R., “MODROC: An Extension of Rank Order Clustering for Group Technology”, **International Journal of Production Research**, Vol. 24, No. 5, 1986, ss. 1224-1225.

⁵⁵ Iri, M., “On the Synthesis of Loop and Cutset Matrices and Related Problems”, In RAAG Memoirs, edited by K. Kondo, **Research Association of Applied Geometry**, 1968, Japan, ss. 376-410.

Adım 3: Bu yatay ve dikey çizgilerin üzerinde bulunan her “1” girdisinden mutlaka yatay ve dikey olmak üzere iki çizgi geçecek şekilde çizgiler çizilir. Bu çizgilere karşılık gelen makineler ve parçalar hücre oluşturmak için belirlenirler.

Adım 4: Üzerinde hiç çizgi olmayan herhangi bir satır seçilir. Böyle bir satır yoksa algoritma durdurulur. Varsa, bu satırın üzerine yatay bir çizgi çizilir ve adım 2’ye gidilir.

Şekil 2.1’de verilen başlangıç matrisine algoritmanın uygulanışı Şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. SSM Yöntemi.

Şekil 2.5.(a) ve (b)’de matrisin dışarısında kalan sağdaki ve alttaki rakamlar çizilen çizgilerin öncelik sıralarını göstermektedir. Şekil 2.5.(a)’da ilk hücre elemanları oluşmaktadır ve bunlar çizilen çizgilerin karşısına gelen makineler ve parçalardır. Böylece birinci hücre M1, M4 makineleri ile P3, P5 parçalarından oluşmaktadır. Dikkat edilirse, çizgilerin üzerindeki her “1” girdisinden biri yatay biri de dikey olmak üzere iki çizgi geçmektedir.

Bundan sonra ikinci hücrenin oluşturulması aşamasına geçilir. Boş olan satırlardan tesadüfi olarak ikinci satır seçilirse, yeni çizgilerin karşısına gelen ikinci hücre elemanları M2, M3 makineleri ile P1, P2, P4 parçalarıdır. Oluşan hücreler önceki anlatılan yöntemlerdeki oluşunlarla aynıdır.

Bu yöntemin ilk ortaya konulduğu şekliyle uygulanmasında büyük bir dezavantaj ortaya çıkmaktadır. Matris bir veya daha fazla darboğaz makinesini veya

darboğaz parçayı içerdiğinde, bütün makinelerin tek hücrede ve bütün parçaların tek parça ailesinde oluştukları tek hücreli bir çözüm üretme olasılığı bulunmaktadır⁵⁶. Algoritma uygulanırken darboğaz parçaların ve darboğaz makinelerinin belirlenmesi oldukça güçtür.

Şekil 2.1’de verilen başlangıç matris oldukça düzgün bir yapıya sahiptir ve hiçbir istisnai eleman oluşmadığı için SSM yöntemi kullanıldığında da hiçbir sorunla karşılaşmamıştır. Fakat fazlaca istisnai eleman içeren, kötü yapılandırılmış matrislerde bu yöntem uygulandığında, önceden de belirtildiği gibi yalnızca tek hücre oluşması ihtimali vardır. Şekil 2.2’de verilen başlangıç matrise algoritma uygulandığında sonuç böyle çıkmaktadır. Dolayısıyla bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için algoritma üzerinde değişiklik yapmak gerekir. Aşağıda önerilen SSM2 algoritması bu sorunu ortadan kaldırmaktadır. SSM2 algoritması şöyledir:

Adım 1: Başlangıç matrisinde yeni tanımlanan hücre varsa bu hücreden sonraki ilk satırın, yoksa başlangıç matrisinin ilk satırının üzerine yatay bir çizgi çizilir.

Adım 2: Adım 1’deki yatay çizginin kestiği bütün 1 girdilerinin bulunduğu sütunların üzerine dikey çizgiler çizilir.

Adım 3: Adım 2’deki çizgilerin kestiği bütün 1 girdilerinin bulunduğu satırlar üzerine yatay çizgiler çizilir.

Adım 4: Adım 3’deki yatay çizgilerin kestiği bütün 1 girdilerinin bulunduğu sütunların üzerine dikey çizgiler çizilir.

Adım 5: Üzerinden çizgi geçen satırlar önceden tanımlanan kaç hücre varsa bu hücrelerin altına, önceden tanımlanan hücre yoksa başlangıç matrisinin en üstüne alt alta sıralanırlar.

⁵⁶ Heragu, a.g.e., s. 299.

Adım 6: Üzerinden çizgi geçen sütunlar önceden tanımlanan kaç hücre varsa bu hücrelerin sağına, önceden tanımlanan hücre yoksa başlangıç matrisinin en soluna yan yana sıralanırlar.

Adım 7: Adım 4 ve 5'deki yerleri değiştirilen satır ve sütunlara karşılık gelen makine ve parçalar bir hücre olarak tanımlanırlar. Tanımlanan herhangi bir hücre bloğunun içerisinde boş satır veya sütun oluşursa bu bloğun karşısındaki istisnai elemanlar uygun bir hücrenin içerisine alınırlar⁵⁷. Hücre olarak tanımlanmayan makine veya parça varsa adım 1'e gidilir, yoksa algoritma durdurulur.

Şekil 2.2'deki başlangıç matrisine yeni sunulan bu algoritma uygulandığında oluşan blok-köşegen matris Şekil 2.10.(d) ve (e)'de gösterilmektedir. Buradaki tüm hesaplamalar ve aşamalar elle yapılmıştır. Algoritmanın aşamaları fazla sayıda işlem tekrarı gerektirdiği için gösterilmemiştir.

Şekil 2.10.(d)'deki blok-köşegen matriste görüldüğü gibi sağ alt köşedeki hücre bloğunun içerisinde 10, 24 ve 25 numaralı makinelere karşılık gelen üç adet boş satır oluşmuştur (kesikli çizginin altında kalan). Eğer 10 ve 24. makinelere karşılık gelen satırlar birinci hücre bloğunun ve 25. makineye karşılık gelen satır da ikinci hücre bloğunun içerisine alınırsa istisnai elemanların sayıları azalmaktadır. Bunu gösteren yeni blok-köşegen yapı Şekil 2.10.(e)'deki gibidir ve oluşan istisnai eleman sayısı yedidir.

2.2.3. Bağ Enerji (BE) Yöntemi

BE yöntemi başlangıç parça-makine süreçlerini gösteren matristeki a_{ij} elemanları için BE'lerinin toplamlarını maksimum yapmaya çalışan bulgusal bir yöntemdir⁵⁸. Böyle bir matrisin blok-köşegen yapısındaki BE'lerinin toplamı başlangıç matristeki BE'lerinin toplamından daha fazla olacaktır.

⁵⁷ Bundan sonraki örneklerde blokların içerisinde eğer böyle satır veya sütun boşlukları oluşursa bunlar kesik çizgilerle gösterileceklerdir.

⁵⁸ Heragu, a.g.e., s. 292.

Satır (sütun) BE'si, alt alta (yan yana) gelen iki satırın (sütunun), karşılıklı aynı sütunda (satırda) bulunan elemanları eğer aynı değere sahip iseler, "1" BE değeri verilerek bunların toplamlarının alınmasıyla bulunur. Yani, ikili sistemde alt alta (satır için) veya yan yana (sütun için) gelen iki tane "sıfır" veya iki tane "bir" elemanı, "1" BE değerine sahiptir.

BE'sini hesaplamakta kullanılan algoritmanın amacı matristeki bütün satır ve sütun permütasyonlarının BE'lerinin toplamını maksimum yapmaya çalışmaktır. Matematiksel olarak (2.5) fonksiyonu maksimum yapılmaya çalışılır⁵⁹.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} [a_{i,j+1} + a_{i,j-1} + a_{i+1,j} + a_{i-1,j}] \quad (2.5)$$

BE yönteminde kullanılan algoritmanın adımları şunlardır:

Adım 1: $i = 1$ değeri verilir ve başlangıç matrisinde tesadüfi olarak bir satır seçilir. Bu satırın altına matrisin diğer satırlarından biri yazılıp iki satırdan oluşan bir matris oluşturulur. Bu şekilde devam ederek başlangıç matrisinin kalan bütün satırları bu seçilen satırın altına yazılıp iki satırlı matrisler oluşturulur. $i = 1$ değeri oluşturulan ikişer satırlı matrislerdeki satırlardan birinin daima bu başta seçilen satır olacağını göstermektedir.

Adım 2: Yeni oluşan bu matrislerin satır BE'leri hesaplanır. Kullanılan denklem (2.6) dır.

$$\sum_{i=1}^{i+1} \sum_{j=1}^m a_{ij} (a_{i-1,j} + a_{i+1,j}) \quad (2.6)$$

Bu matrislerden BE'si en yüksek olanı seçilir.

⁵⁹ McCormick, Jr., William T., - Schwetzer, Paul J., - White, Thomas W., "Problem Decomposition and Data Reorganization by a Clustering Technique", **Operations Research**, Vol. 20, Issue 5, 1972, s. 995.

Adım 3: Başlangıç matrisindeki geriye kalan tüm satırlar seçilen bu matristeki satırların bir altına, bir üstüne yerleştirilerek $i = i + 1$ satırdan oluşan yeni matrisler oluşturulur. $i < m$ ise adım 2'ye, değilse adım 4'e gidilir.

Adım 4: $j = 1$ değeri verilir ve başlangıç matrisinde tesadüfi olarak bir sütun seçilir. Bu sütunun yanına matrisin diğer sütunlarından biri yazılıp iki sütundan oluşan bir matris oluşturulur. Bu şekilde devam ederek başlangıç matrisinin kalan bütün sütunları bu seçilen sütunun yanına yazılıp iki sütunlu matrisler oluşturulur. $j = 1$ değeri oluşturulan ikişer sütunlu matrislerdeki sütunlardan birinin daima bu başta seçilen sütun olacağını göstermektedir.

Adım 5: Yeni oluşan bu matrislerin sütun BE'leri denklem (2.7) kullanılarak hesaplanır.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{j+1} a_{ij} (a_{i,j-1} + a_{i,j+1}) \quad (2.7)$$

Bu matrislerden BE'si en yüksek olanı seçilir.

Adım 6: Başlangıç matrisindeki geriye kalan tüm sütunlar seçilen bu matristeki sütunların bir sağına, bir soluna yerleştirilerek $j = j + 1$ sütundan oluşan yeni matrisler oluşturulur. $j < n$ ise adım 5'e gidilir değilse algoritma durdurulur.

Şekil 2.1'deki matrise BE algoritması şöyle uygulanır: Başlangıçta tesadüfi olarak M1 satırı seçilsin. İkili permütasyonların BE'leri Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 9: İkili Permütasyonların BE'leri..

M1	0	0	1	0	1	BE=1
M2	1	0	0	1	0	
M1	0	0	1	0	1	BE=0
M3	1	1	0	1	0	
M1	0	0	1	0	1	BE=5
M4	0	0	1	0	1	
En büyük BE'sini oluşturan satırlar: M1, M4						

En büyük BE'sini M1 ve M4 satırları oluşturduğu için bundan sonraki oluşturulacak üçlü permütasyonlarda bu M1 ve M4 satırları daima bulunmalı ve diğer satırlar bunların altına, üstüne ve arasına yerleştirilmelidir.

Yeni oluşacak üçlü permütasyonlar $\{M1, M4, M2\}$, $\{M1, M2, M4\}$, $\{M2, M1, M4\}$, $\{M1, M4, M3\}$, $\{M1, M3, M4\}$ ve $\{M3, M1, M4\}$ permütasyonlarıdır. Bu üçlü permütasyonlardan örneğin $\{M2, M1, M4\}$ permütasyonunun BE'sinin nasıl hesaplandığı Tablo 10'da gösterilmektedir.

Tablo 10: Üçlü Permütasyonun BE'si.

M2	1	0	0	1	0	BE=6
M1	0	0	1	0	1	
M4	0	0	1	0	1	

Üçlü permütasyonların BE'leri, $\{M1, M4, M2\} = 6$, $\{M1, M2, M4\} = 2$, $\{M2, M1, M4\} = 6$, $\{M1, M4, M3\} = 5$, $\{M1, M3, M4\} = 0$, $\{M3, M1, M4\} = 5$ olarak bulunur. Burada en büyük BE olan 6 değerini veren iki tane üçlü permütasyon vardır. Buna benzer birden fazla en büyük BE'yi veren permütasyon çıkması durumunda herhangi biri seçilebilir.

Burada M2, M1 ve M4 permütasyonunu seçersek oluşacak yeni dördü permütasyonlar ve bunların BE'leri şöyledir: $\{M2, M1, M4, M3\} = 6$, $\{M2, M1, M3, M4\} = 1$, $\{M2, M3, M1, M4\} = 9$, $\{M3, M2, M1, M4\} = 10$.

En büyük BE'sini (10) veren permütasyon $\{M3, M2, M1, M4\}$ olduğu için blok köşegen yapıyı oluştururken satırların en uygun sıralanış şekli de bu olacaktır.

Satırlara uygulanan bu işlemlerin aynısı sütunlara da uygulanır ve bunun neticesinde $\{P1, P4, P2, P5, P3\}$ permütasyonu çıkar. Sütunlar bu sıraya göre dizilirse oluşan hücreler ROC ve ROC2 yöntemlerinde bulunanlarla aynıdır.

Şekil 2.2'deki büyük matrise BE yöntemi uygulandığında Şekil 2.10.(f)'deki sonuç çıkar. Bu sonuç elde edilirken gerekli permütasyonlar ve hesaplamalar Microsoft Excel bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır. Burada dikkat edilirse kesik çizgilerle gösterilen yerlerde hücre içi boşluklar oluşmuştur. Bunlar SSM2 algoritması adım 7'de olduğu gibi giderilirse, Şekil 2.10.(g)'deki gibi bir alternatif çözüm oluşur.

2.2.4. Benzerlik Katsayısı (BK) Yöntemi (Hiyerarşik Kümeleme)

Hücrelerin oluşturulmasında kullanılan yöntemlerden en yaygın olanı BK yöntemidir. BK ölçüleri ise, kümeleme analizinde kullanılan yaygın uygulama şekillerindedir. GT'deki temel fikir parçalar arasındaki benzerliklerin bulunmasıdır. Bu benzerlikleri bulacak en temel yöntem ise kümeleme analizidir. BK kullanan kümeleme yöntemleri, MP ve bulgusal veya matris-tabanlı olmak üzere iki farklı yöntemi içerirler. GT kümeleme analizindeki MP problemleri makinelerin (parçaların) makine hücrelerine (parça ailelerine) atandığı kuadratik atama problemleridirler⁶⁰.

MP yöntemi ayrı bir başlık altında incelenecektir. Burada değinilecek olan bulgusal veya matris-tabanlı yöntemlerde ise, makine hücrelerini veya parça ailelerini oluşturmak için BK ölçüleri kullanılarak daha alt düzeyde optimal çözümler bulunmaya çalışılmaktadır.

Kümeleme analizi iki farklı adımdan oluşur: İlki, katsayı geliştirilmesi, ikincisi ise hücre oluşturma problemi için bir çözüm metodolojisinin geliştirilmesidir. Hücre oluşturmada gruplamanın etkin olması bu iki adımın ne kadar etkin olduğuna bağlıdır. Değişik amaçlar için, farklı araştırmacılar tarafından, farklı BK'ları geliştirilmiştir. Bu katsayılardan birçoğu ancak belirli türdeki problemler için uygundur. Kısacası, her BK her tür GT problemi için uygun olmayabilir. Şimdiye kadar geliştirilmiş genel amaçlı BK'larından belli başlıları Tablo 11'de verilmiştir. BK'ları içerisinde en yaygın kullanılanı "Jaccard" BK'dır.

Tablo 11'deki katsayılar "Jaccard" formatında olanlar ve olmayanlar olmak üzere iki gruba ayrılabilirler. "Jaccard" formatında olanlar, içerilerindeki eşleşme sayılarının, normalleştirilmiş bir miktara (beklenen eşleşme sayısına) bölüldüğü bir "eşleşme düzeyi ölçüsü" olarak tanımlanırlar. Bunların alabilecekleri değer aralığı 0 - 1 arasındadır. "Jaccard" formatında olmayanlarda ise, ek bir terim (kayıpların sayısı) paydan çıkarılır ve sonra normalleştirilmiş terime (beklenen eşleşme sayısına) bölünür.

⁶⁰ Islam, Khan MD. Saiful, - Sarker, Bhaba R., "A Similarity Coefficient Measure and Machine-Parts Grouping in Cellular Manufacturing Systems", **International Journal of Production Research**, Vol. 38, No. 3, 2000, s.702.

Bunların alabileceği değer aralığı da $-1 - 1$ arasındadır⁶¹. “Jaccard” katsayısının daha detaylı bir açıklaması denklem (2.8) ile verilmektedir.

Tablo 11: Genel Amaçlı Bazı BK’ları.

Katsayının Adı	Formülü ($S_{ij} =$)	Alabileceği değer aralığı
1. Jaccard	$a / (a + b + c)$	0 – 1
2. Hammann	$[(a + d) - (b + c)] / [(a + d) + (b + c)]$	-1 – 1
3. Yule	$(ad - bc) / (ad + bc)$	-1 – 1
4. Simple matching	$(a + d) / (a + b + c + d)$	0 – 1
5. Sorenson	$2a / (2a + b + c)$	0 – 1
6. Rogers ve Tanimoto	$(a + d) / [a + 2(b + c) + d]$	0 – 1
7. Sokal ve Sneath	$2(a + d) / [2(a + d) + b + c]$	0 – 1
8. Rusell ve Rao	$a / (a + b + c + d)$	0 – 1
9. Barani-Urbani ve Buser	$[a + (ad)^{1/2}] / [a + b + c + (ad)^{1/2}]$	0 – 1
10. Phi	$(ad - bc) / [(a + b)(a + c)(b + d)(c + d)]^{1/2}$	-1 – 1
11. Ochiai	$a / [(a + b)(a + c)]^{1/2}$	0 – 1
12. PSC	$a^2 / [(b + a)(c + a)]$	0 – 1
13. Dot-product	$a / (b + c + 2a)$	0 – 1
14. Kulezynski	$1 / 2[a / (a + b) + a / (a + c)]$	0 – 1
15. Sokal ve Sneath 2	$a / [a + 2(b + c)]$	0 – 1
16. Sokal ve Sneath 4	$1 / 4[a / (a + b) + a / (a + c) + d / (b + d) + d / (c + d)]$	0 – 1
17. Relative matching	$[a + (ad)^{1/2}] / [a + b + c + d + (ad)^{1/2}]$	0 – 1
18. Chandrasekharan ve Rajagopalan	$a / \text{Min}[(a + b), (a + c)]$	0 – 1
19. MaxSC	$\text{Max}[a / (a + b), a / (a + c)]$	0 – 1
20. Baker ve Maropoulos	$a / \text{Max}[(a + b), (a + c)]$	0 – 1

a : her iki makineye de uğrayan parçaların sayısı; b : i makinesine uğrayan fakat j makinesine uğramayan parçaların sayısı; c : j makinesine uğrayan fakat i makinesine uğramayan parçaların sayısı; d : her iki makineye de uğramayan parçaların sayısı.

Kaynak: Yin, Y., - Yasuda, K., “Similarity Coefficient Methods Applied to The Cell Formation Problem: A Comparative Investigation”, **Computers & Industrial Engineering**, Vol. 48, Issue 3, 2005, s. 474

⁶¹ Islam, - Sarker, a.g.m., s. 704.

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n a_{ki} a_{kj}}{\sum_{k=1}^n (a_{ki} + a_{kj} - a_{ki} a_{kj})} \quad (2.8)$$

$$a_{ki} = \begin{cases} 1 & ; \text{ parça (makine) } k, i \text{ makinesinde (parçasını) işlem gerektiriyorsa (işliyors)} \\ 0 & ; \text{ parça (makine) } k, i \text{ makinesinde (parçasını) işlem gerektirmiyorsa (işlemiyors)} \end{cases}$$

Örneğin Şekil 2.1'deki başlangıç matrisindeki makine 1 ve 4 arasındaki "Jaccard" BK Şöyle hesaplanacaktır:

M1 satırđ: 0 0 1 0 1

M4 satırđ: 0 0 1 0 1

$$S_{14} = \frac{(0.0) + (0.0) + (1.1) + (0.0) + (1.1)}{(0+0) - (0.0) + (0+0) - (0.0) + (1+1) - (1.1) + (0+0) - (0.0) + (1+1) - (1.1)} = 1$$

Aynı matristeki parça 1 ve 2 arasındaki "Jaccard" BK da Şöyle hesaplanır:

P1 sütunu: 0 1 1 0

P2 sütunu: 0 0 1 0

$$S_{12} = \frac{(0.0) + (1.0) + (1.1) + (0.0)}{(0+0) - (0.0) + (1+0) - (1.0) + (1+1) - (1.1) + (0+0) - (0.0)} = 0,5$$

Hesaplanan BK'larına göre kümelerin oluşturulması kararını verirken ilerinden birinin kullanılmasını gerektiren üç değişik bağlantı yöntemi vardır. Bunlar tek bağlantı, tam bağlantı ve ortalama bağlantı yöntemleridir. BK yöntemiyle hücreleri oluştururken izlenecek adımlardan, adım 5'te bu bağlantı yöntemleri anlatılmaktadır:

Adım 1: Hesaplamalarda kullanılmak üzere literatürden bir BK formülü ve bir de küme bağlantı yöntemi seçilir.

Adım 2: BK formülü kullanılarak her parça çifti için bir BK değeri hesaplanır.

Adım 3: Bir “baraj BK değeri” belirlenir. Bu değer için genelde, daha önce seçilmemiş, en yüksek BK alınır.

Adım 4: BK değeri, baraj değerden daha büyük veya eşit olan parça çiftleri birleştirilerek parça kümeleri oluşturulur.

Adım 5: “Parça kümeleri ile parça kümeleri” ve “parça kümeleri ile henüz herhangi bir kümeye dahil olmayan parçalar” arasındaki BK’ları, seçilen bağlantı yöntemine göre belirlenir.

Adım 5a: Tek bağlantıda “parça kümeleri ile parça kümeleri” arası BK’lar belirlenirken iki kümenin bütün elemanlarının birbirleriyle oluşturdukları çiftlerin adım 2’deki mevcut hesaplanmış BK’larından en büyük olanı seçilir. “Parça kümeleri ile kümelere dahil olmayan diğer parçalar” arasındaki BK’ları belirlenirken de yine kümenin elemanı olan her parça ile küme dışı diğer parça arasında adım 2’deki hesaplanmış katsayı değerlerinden en büyük olanı alınır.

Adım 5b: Ortalama bağlantı yöntemi seçilirse adım 5a’da anlatılan katsayıların en büyüğünü almak yerine bunların aritmetik ortalaması alınır⁶².

Adım 5c: Tam bağlantı yöntemi seçilirse adım 5a’da anlatılan katsayıların en küçüğü alınır.

Adım 6: Herhangi bir kümeye dahil olmayan parça kalmayasıya kadar adım 3, 4 ve 5 tekrarlanır.

Adım 7: Oluşan yeni kümelerin ve küme içi elemanlarının sırasına göre “parça-makine görünüm matrisi” yeniden düzenlenir.

Adım 8: Eğer adım 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 makinelere göre de tekrarlandıysa algoritma durdurulur.

⁶² Offodile, - Grznar, a.g.m., s. 297.

Bu yöntem Şekil 2.1'deki başlangıç matrise şöyle uygulanır: Literatürde en yaygın kullanılan “Jaccard” BK ve kümeleme bağlantı yöntemlerinden de “tek bağlantı” yöntemi seçilsin. “Jaccard” denklemiyle parçalar arasında hesaplanan parça BK’ları Şekil 2.6.(a)’da görüldüğü gibidir.

	P1	P2	P3	P4	P5	
P1	1					
P2	0,5	1				
P3	0	0	1			
P4	1	0,5	0	1		
P5	0	0	1	0	1	

(a)

	{P1, P4}	{P3, P5}	{P2}
{P1, P4}	1		
{P3, P5}	0	1	
{P2}	0,5	0	1

(b)

	{P1, P4, P2}	{P3, P5}
{P1, P4, P2}	1	
{P3, P5}	0	1

(c)

	M1	M2	M3	M4
M1	1			
M2	0	1		
M3	0	0,667	1	
M4	1	0	0	1

(d)

	{M1, M4}	{M2}	{M3}
{M1, M4}	1		
{M2}	0	1	
{M3}	0	0,667	1

(e)

	{M1, M4}	{M2, M3}
{M1, M4}	1	
{M2, M3}	0	1

(f)

Şekil 2.6. BK Yöntemi.

Şekil 2.6.(a)’da seçilen ilk baraj değeri olan 1’den büyük parça çiftleri {P1, P4} ve {P3, P5} dir. İlk parça kümesini oluşturmak için ilk çift olan {P1, P4}’ten başlanılsın. İçerisinde P1 veya P4 bulunan başka bir çift olmadığı için ilk küme {P1, P4} kümesi olur. İkinci kümeyi oluşturmak üzere {P3, P5} çifti alınır. İçerisinde P3 veya P5 bulunan başka bir çift olmadığı için ikinci küme {P3, P5} kümesi olur. Hiçbir kümeye dahil olmayan P2 ise üçüncü küme olur. Oluşturulan bu kümeler ve BK’ları Şekil 2.6.(b)’de gösterilmektedir. Şekil 2.6.(b) için en yüksek baraj değeri 0,5 seçilir. Bu baraj değerine göre P2 parçası {P1, P4} kümesine katılır ve bu küme {P1, P4, P2} kümesi olur. Algoritmanın 5. adımındaki koşullar gerçekleşmiştir ve Şekil 2.6.(c)’de gösterilen iki parça kümesi oluşmuştur:

Küme 1: P1, P4, P2

Küme 2: P3, P5

Parça makine gösterim matrisinde parçaları oluşturan sütunlar P1, P4, P2, P3, P5 sırasına göre dizilirler. Şimdi de bu yeni matrise göre, makineler için BK'ları hesaplanır ve makine kümeleri oluşturulur. Şekil 2.6.(d) makine BK'larını göstermektedir. İlk baraj değer olan 1'e karşılık gelen makine çifti {M1, M2}'dir. Bu baraj değerini karşılayan başka makine olmadığı için ilk küme budur. {M2} ve {M3} ayrı birer küme olarak alınır. Bu durum ve yeni BK'ları Şekil 2.6.(e)'de gösterilmektedir. Burada alınması gereken yeni baraj değeri 0,667'dir. Buna göre oluşan kümeler ve BK'ları ise Şekil 2.6.(f)'de gösterilmektedir. Makinelere göre de algoritmanın 5. adımındaki koşullar yerine geldiği için algoritma durdurulur. İki makine kümesi oluşmuştur.

Küme 1: M1, M4

Küme 2: M2, M3

Parça-makine gösterim matrisinde makineleri oluşturan satırlar M1, M4, M2, M3 sırasına göre dizilirler. Bu yeni matris sonucunda oluşan blok-köşegen yapı ve hücreler diğer yöntemler kullanılarak oluşturulanlarla aynıdır.

BK'ları hesaplandığında elde edilen katsayıların değeri ne kadar büyükse bu o derece az istisnai eleman oluşacağı anlamına gelir. Bunun tersi olarak, elde edilen BK değerleri ne kadar küçükse bu durum fazla sayıda istisnai eleman oluşacağına işaret eder.

BK yöntemi Şekil 2.2'deki başlangıç matrise şöyle uygulansın: Yine "Jaccard" BK kullanılsın. Küme bağlantı yöntemlerinden, bu kez "ortalama bağlantı" yöntemi kullanılsın. Şekil 2.10.(h), (i), (i) ve Şekil 2.11.(a), (b) ve (c) bu yöntemler kullanılarak elde edilen alternatif çözümlerdir. Bu çözümlerin elde edilmelerinde SPSS 8.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Gerekirse blokların yerleri değiştirilerek blok-köşegen yapı elde edilebilir.

2.2.5. K-Ortalamaları (KO) Yöntemi (Hiyerarşik Olmayan Kümeleme)

Kümeleme analizlerinden biri olan KO yöntemi, tek, tam ve ortalama bağlantı yöntemlerinin aksine hiyerarşik olmayan bir kümelemedir. Hiyerarşik kümeleme yöntemleri biri "ardışık birleşmeler serisi", diğeri de "ardışık bölünmeler serisi" olmak

üzere iki değişik şekilde uygulanabilir. Bölüm 2.4'te BK'larının kullanılmasında anlatılan bağlantı yöntemleri ardışık birleşmeler serisine örnektir. Burada benzer olan çiftler birleşir. Ardışık bölünmeler serisinde ise benzemezlik katsayılarından yararlanır. Yararlanılabilecek genel amaçlı benzemezlik katsayılarını gösteren bir liste Tablo 12'de verilmektedir.

Tablo 12: Genel Amaçlı Bazı Benzemezlik Katsayıları.

Katsayı	Denklem (d_{ij})	Değer aralığı	Denklem (d'_{ij})	Değer aralığı
1. Minkowski	$\left(\sum_{k=1}^M a_{ki} - a_{kj} ^r \right)^{1/r}$	Gerçek	$(b+c)^{1/r}$	Gerçek
2. Öklit	$\left(\sum_{k=1}^M a_{ki} - a_{kj} ^2 \right)^{1/2}$	Gerçek	$(b+c)^{1/2}$	Gerçek
3. Manhattan (Şehir Blok)	$\sum_{k=1}^M a_{ki} - a_{kj} $	Gerçek	$b+c$	0 - M
4. Ortalama Öklit	$\left(\sum_{k=1}^M a_{ki} - a_{kj} ^2 / M \right)^{1/2}$	Gerçek	$\left(\frac{b+c}{a+b+c+d} \right)^{1/2}$	Gerçek
5. Ağırlıklı Minkowski	$\left(\sum_{k=1}^M w_k a_{ki} - a_{kj} ^r \right)^{1/r}$	Gerçek	$[w_k(b+c)]^{1/r}$	Gerçek
6. Bray-Curtis	$\sum_{k=1}^M a_{ki} - a_{kj} / \sum_{k=1}^M a_{ki} + a_{kj} $	0 - 1	$\frac{b+c}{2a+b+c}$	0 - 1
7. Canberra Metric	$\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \left(\frac{ a_{ki} - a_{kj} }{a_{ki} + a_{kj}} \right)$	0 - 1	$\frac{b+c}{a+b+c+d}$	0 - 1
8. Hamming	$\sum_{k=1}^M \delta(a_{k1}, a_{kj})$	0 - M	$b+c$	0 - M
$\delta(a_{k1}, a_{kj}) = \begin{cases} 1 & ; \text{eğer } a_{k1} \neq a_{kj} \\ 0 & ; \text{eğer } a_{k1} = a_{kj} \end{cases}$ $d_{ij} : i \text{ ve } j \text{ arası benzemezlik}; r : \text{pozitif tamsayı}; d'_{ij} : \text{ikili veri kullanıldığında benzemezlik}; k : \text{özellik indisi } (k = 1, \dots, M).$				

Kaynak: Yin, Yong, - Yasuda, Kazuhiko, "Similarity Coefficient Methods Applied to The Cell Formation Problem: A Taxonomy and Review", **International Journal of Production Economics**, In Print, s.11.

Benzemez olan küme elemanları daha küçük gruplar oluşturmak üzere birbirlerinden ayrılırlar⁶³. Hiyerarşik olmayan KO yönteminde ise benzerlik veya benzemezlik katsayı matrisinin önceden oluşturulmasına gerek yoktur. Burada esas olan başlangıç “küme ağırlık merkezlerinin” (centroids) oluşturulmasıdır.

İlk olarak “MacQueen” (1967) tarafından geliştirilen KO yöntemi iki şekilde uygulanabilir⁶⁴. Makinelere göre ele alınacak olunursa, birinci uygulama şeklinde, tümünü içerisine alacak biçimde daha başlangıçta makineler iki veya daha çok gruba ayrılırlar. Bu gruplama tesadüfi olabileceği gibi değişik yöntemler kullanılarak da yapılabilir. İkinci yöntemde, yalnızca bazı makine veya makineleri içeren başlangıç çekirdek (seed) noktaları oluşturulur. Burada tüm makinelerin başlangıç çekirdek noktalarına dahil edilmeleri zorunlu değildir. Bunlar daha sonraki aşamalarda elde edilecek kümelerin çekirdeklerini oluşturmaktadırlar. Her iki yöntem açısından da KO’da izlenecek üç adım vardır⁶⁵:

Adım 1. Kümelenendirilecek nesnelere (makinelere veya parçalar) K adet başlangıç kümesine (genelde tesadüfen) ayrılırlar.

Adım 2. Küme elemanlarının her birinin hem kendi kümelerinin hem de diğer kümelerin ağırlık merkezlerine (ortalama koordinatlara) olan uzaklıkları hesaplanır. Yaygın kullanılan bir uzaklık ölçüsü “kareli Öklit” ölçüsüdür. Eleman, uzaklığı minimum çıkan kümeyle dahil edilir. Hem o elemanı kaybeden, hem de kazanan kümenin ağırlık merkezleri yeniden (yeni ortalama koordinatlar) hesaplanır.

Adım 3. Yeni atanacak herhangi bir eleman kalmayınca kadar adım 2 tekrarlanır.

⁶³ Hair, Joseph F., et al., **Multivariate Data Analysis with Readings**, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1995, s. 437.

⁶⁴ MacQueen, J. B., “Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations”, **Proceedings of the Fifth Symposium on Mathematical Statistics and Probability**, University of California, Berkeley, USA, Vol. 1, 1967, s.281.

⁶⁵ Johnson, Richard A., - Wichern, Dean W., **Applied Multivariate Statistical Analysis**, “Third Edition”, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA, 1992, s. 597.

Tablo 13: Tüm Elemanları Kapsayan Başlangıç Kümelerle KO Yöntemi.

a) İlk ağırlık merkezi koordinatları:					
	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	\bar{X}_4	\bar{X}_5
{M1, M2}	$(0+1)/2 = 0,5$	$(0+0)/2 = 0$	$(1+0)/2 = 0,5$	$(0+1)/2 = 0,5$	$(1+0)/2 = 0,5$
{M3, M4}	$(1+0)/2 = 0,5$	$(1+0)/2 = 0,5$	$(0+1)/2 = 0,5$	$(1+0)/2 = 0,5$	$(0+1)/2 = 0,5$
b) Kareli Öklit uzaklıklarının hesaplanışına iki örnek:					
$(M1, \{M1, M2\}) = (0 - 0,5)^2 + (0 - 0)^2 + (1 - 0,5)^2 + (0 - 0,5)^2 + (1 - 0,5)^2 = 1$					
$(M1, \{M3, M4\}) = (0 - 0,5)^2 + (0 - 0,5)^2 + (1 - 0,5)^2 + (0 - 0,5)^2 + (1 - 0,5)^2 = 1,25$					
c) Minimum uzaklıklara göre yeni kümelerin oluşumu:					
$(M1, \{M1, M2\}) = 1 \rightarrow M1$ aynı kümede kalır.					
$(M1, \{M3, M4\}) = 1,25$					
$(M2, \{M1, M2\}) = 1 \rightarrow M2$ aynı kümede kalır.					
$(M2, \{M3, M4\}) = 1,25$					
$(M3, \{M1, M2\}) = 2$					
$(M3, \{M3, M4\}) = 1,25 \rightarrow M3$ aynı kümede kalır.					
$(M4, \{M1, M2\}) = 1 \rightarrow M4$, {M1, M2} kümesine katılır.					
$(M4, \{M3, M4\}) = 1,25$ Yeni kümeler {M1, M2, M4} ve {M3} kümeleridir.					
d) İkinci ağırlık merkezi koordinatları:					
	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	\bar{X}_4	\bar{X}_5
{M3}	1	1	0	1	0
{M1, M2, M4}	$(0+1+0)/3=0,33$	$(0+0+0)/3=0$	$(1+0+1)/3=0,66$	$(0+1+0)/3=0,33$	$(1+0+1)/3=0,66$
e) Minimum uzaklıklara göre yeni kümelerin oluşumu:					
$(M3, \{M3\}) = 0 \rightarrow M3$ aynı kümede kalır.					
$(M3, \{M1, M2, M4\}) = 2,79$					
$(M1, \{M3\}) = 5$					
$(M1, \{M1, M2, M4\}) = 0,45 \rightarrow M1$ aynı kümede kalır.					
$(M2, \{M3\}) = 1 \rightarrow M2, \{M3\}$ kümesine katılır.					
$(M2, \{M1, M2, M4\}) = 1,77$ Yeni kümeler {M1, M4} ve {M2, M3} kümeleridir.					
f) Üçüncü ağırlık merkezi koordinatları:					
	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	\bar{X}_4	\bar{X}_5
{M1, M4}	$(0+0)/2 = 0$	$(0+0)/2 = 0$	$(1+1)/2 = 1$	$(0+0)/2 = 0$	$(1+1)/2 = 1$
{M2, M3}	$(1+1)/2 = 1$	$(0+1)/2 = 0,5$	$(0+0)/2 = 0$	$(1+1)/2 = 1$	$(0+0)/2 = 0$
g) Minimum uzaklıklara göre yeni kümelerin oluşumu:					
$(M1, \{M1, M4\}) = 0 \rightarrow M1$ aynı kümede kalır.					
$(M1, \{M2, M3\}) = 4,25$					
$(M4, \{M1, M4\}) = 0 \rightarrow M4$ aynı kümede kalır.					
$(M4, \{M2, M3\}) = 4,25$					
$(M2, \{M1, M4\}) = 4$					
$(M2, \{M2, M3\}) = 0,25 \rightarrow M2$ aynı kümede kalır.					
$(M3, \{M1, M4\}) = 5$					
$(M3, \{M2, M3\}) = 0,25 \rightarrow M3$ aynı kümede kalır.					

Böylece {M1, M4} ve {M2, M3} olmak üzere iki makine hücresi oluşturulmuştur.

KO yönteminin başlangıç gruplarıyla (kümeleriyle) olan uygulama şeklinin Şekil 2.1'deki başlangıç matrisine uygulanışı Tablo 13'te gösterilmektedir. Başlangıç kümeleri {M1, M2} ve {M3, M4} seçilmiştir.

Makine hücreleri bu şekilde belirlendikten sonra tesadüfi iki parça kümesi oluşturulup Tablo 13'teki işlemlerin aynıları sütun bazında parçalara uygulanırsa {P1, P2, P4} ve {P3, P5} kümeleriyle oluşan iki parça ailesi elde edilir. Burada elde edilen makine hücreleri ve parça ailelerine bakılırsa diğer yöntemlerde oluşanlarla aynı oldukları görülür.

Şekil 2.2'deki ikinci örnek başlangıç matrise “başlangıç kümelerle KO” yöntemi şöyle uygulanır: Makineler için makine 1-10, makine 11-20 ve makine 21-30 arası olmak üzere 3 başlangıç küme, parçalar için parça 1-14, parça 15-28 ve parça 29-41 olmak üzere yine 3 başlangıç küme alınmıştır. Buna göre “başlangıç kümelerle KO” yöntemi uygulandığında oluşan üç hücreli blok köşegen yapı Şekil 2.11.(d) ile gösterilmektedir. Bu sonucun elde edilmesinde SPSS 8.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu şekilde görüldüğü gibi ikinci hücre içerisinde boş sütunlar oluşmaktadır. Bu boş sütunlar SSM2 yönteminde olduğu gibi yeniden düzenlenirse Şekil 2.11.(e)'deki hücreler oluşur.

En son oluşacak kümelerin elemanlarının neler olduğu başlangıçta yapılmış olan ayrıştırmanın veya seçilmiş olan çekirdek noktaların nasıl ve neler olduğuna bağlıdır. Kısacası, ilk yapılan seçimler değiştirilip yöntem tekrar uygulanırsa farklı elemanlardan oluşan kümeler elde etme ihtimali vardır.

KO yönteminin ikinci uygulama şekli olan başlangıç çekirdek noktalarına göre kümeleme yöntemi “ideal çekirdek kümeleme” yöntemi adı altında “Chandrasekharan ve Rajagopalan” (1986) tarafından detaylı açıklanmaktadır. Burada “McQueen”'in uygulama şekli olan, matrisin ilk k vektörünü başlangıç çekirdek noktası olarak almak yerine, son k vektörü alınmaktadır. Eşitsizlik (2.9) “Chandrasekharan ve Rajagopalan”'ın geliştirdiği, başlangıçta seçilecek çekirdek noktalarının (k) maksimum sayısını gösteren bir eşitsizliktir⁶⁶. Aynı eşitsizlik KO'nun her iki şekline de uygulanabilir.

⁶⁶ Chandrasekharan, - Rajagopalan, a.g.m., s. 456.

$$k \leq 1 + [(m + n - 1) - \sqrt{((m + n - 1)^2 - 4(mn - e))}] / 2 \quad (2.9)$$

Burada,

k çekirdek nokta veya grup (hücre) sayısı,

m satır sayısı,

n sütun sayısı,

e başlangıç matrisindeki toplam "1" girdilerinin sayısıdır.

Tablo 14: Tüm Elemanları Kapsamayan Başlangıç Kümelerle (Çekirdek Noktalarla) KO Yöntemi.

a) İlk ağırlık merkezi koordinatları:				
	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	\bar{X}_4
{P4}	0	1	1	0
{P5}	1	0	0	1
b) Kareli Öklit uzaklıklarının hesaplanışına iki örnek:				
$(P1, \{P4\}) = (0 - 0)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (0 - 0)^2 = 0$				
$(P1, \{P5\}) = (0 - 1)^2 + (1 - 0)^2 + (1 - 0)^2 + (0 - 1)^2 = 4$				
c) Minimum uzaklıklara göre yeni kümelerin oluşumu:				
$(P1, \{P4\}) = 0 \rightarrow P1, \{P4\}$ çekirdeğine katılır ve $\{P1, P4\}$ kümesi oluşur.				
$(P1, \{P5\}) = 4$				
d) İkinci ağırlık merkezi koordinatları:				
	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	\bar{X}_4
{P1, P4}	$(0 + 0)/2 = 0$	$(1 + 1)/2 = 1$	$(1 + 1)/2 = 1$	$(0 + 0)/2 = 0$
{P5}	1	0	0	1
e) Minimum uzaklıklara göre yeni kümelerin oluşumu:				
$(P2, \{P1, P4\}) = 1 \rightarrow P2, \{P1, P4\}$ kümesine katılır.				
$(P2, \{P5\}) = 3$				
f) Üçüncü ağırlık merkezi koordinatları:				
	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	\bar{X}_4
{P1, P2, P4}	$(0+0+0)/3 = 0$	$(1+0+1)/3 = 0,67$	$(1+1+1)/3 = 1$	$(0+0+0)/3 = 0$
{P5}	1	0	0	1
g) Minimum uzaklıklara göre yeni kümelerin oluşumu:				
$(P3, \{P1, P2, P4\}) = 3,44$				
$(P3, \{P5\}) = 0 \rightarrow P3, \{P5\}$ çekirdeğine katılır ve $\{P3, P5\}$ kümesi oluşur..				
Not: Burada $k = 2$ küme (parça ailesi) elde edilmiştir. Bunlar $\{P1, P2, P4\}$ ve $\{P3, P5\}$ kümeleridir. Bunlara atanacak başka sütun kalmadığı için süreç durdurulur. Eğer tek kalan çekirdek olsaydı k 'nin sayısı azaltılarak bu çekirdekle diğer kümelerin uzaklıkları hesaplanacak ve uzaklığı en küçük olanına atanacaktı.				

Şekil 2.1'deki başlangıç matrise eşitsizlik (2.9) uygulandığında $k \leq 2,76$ çıkar. Kesirli sayıda hücre oluşturulamayacağına göre $k = 2$ olarak alınması uygundur. Buna göre KO'nun ikinci uygulama şekli olan başlangıç çekirdek noktalarına göre kümeleme yönteminin bu matrise uygulanışı Tablo 14'te gösterilmektedir. Bu kez tablo ve hesaplamalar parça ailelerine göre düzenlenmiştir. Son iki sütun olan P4 ve P5 sütunları başlangıç çekirdek noktalar olarak alınmıştır.

Tablo 14'teki sürecin aynısı satırlar için uygulanırsa $\{M1, M4\}$ ve $\{M2, M3\}$ kümeleri elde edilir. Bunlar makine hücreleridir. Böylece elde edilen parça aileleri ve makine hücreleri diğer yöntemlerde elde edilenlerle aynıdır.

Eğer başlangıç çekirdek noktaları olarak seçilen vektörler birbirlerine çok benzer iseler bunlara göre oluşan kümeler eleman sayısı açısından çok dengesiz olacaklardır. İkinci örnekteki makinelere “başlangıç çekirdek noktalarla KO” yöntemi, eğer son üç satır başlangıç çekirdek noktalar olarak seçilip uygulanırsa söz konusu bu dengesizlik oluşmaktadır. İkinci makine kümesi makine 9 ve 29, üçüncü makine kümesi makine 20, 19 ve 30'dan oluşacak, geriye kalan 25 adet makinenin hepsi birinci kümeyi oluşturacaklardır. Hatta bazı matrisler için tek makineden oluşan kümeler belirebilecektir. Literatürde buna “tekil hücre” sorunu denmektedir⁶⁷. Eğer başlangıç çekirdek noktalarından herhangi iki veya daha fazlası birbirine ne kadar benzer olurlarsa ilerleyen aşamalarda yeni ağırlık merkezleri hesaplandıkça yeni makinelerin bu kümelere katılma ihtimali o derece azalacaktır. Bazı kümeler aşırı büyürken diğerleri küçük kalır. Bunu gidermenin bir yolu başlangıç çekirdek noktaları seçilirken birbirlerine en az benzeyen vektörlerin seçilmesi olabilir. Bunun için de Tablo 11 veya 12'deki katsayılarından biri kullanılabilir. İkinci örnek olan büyük örnekte başlangıç çekirdek noktaları seçilirken, önce makinelerin birbirlerine olan benzerliklerini “Jaccard” katsayısını kullanarak hesaplamak, sonra da bunlardan en küçük olan iki tanesini seçmek daha uygundur.

Burada karşılaşılabilecek önemli bir sorun hangi makine kümesine hangi parça ailesinin atanacağı sorunudur. Eğer “1” girdilerinden oluşan bloklar köşegen üzerinde oluşsaydı böyle bir sorun yaşanmayacaktı. Birçok yöntemde olduğu gibi, KO yöntemi

⁶⁷ Won, Youkyung, - Lee, Kun Chang, “Modified p -Median Approach for Efficient GT Cell Formation”, **Computers & Industrial Engineering**, Vol. 46, 2004, s. 498.

de “1” girdilerini içeren bloklar oluşturur ama bunların köşegen üzerinde oluşmalarını garanti edemez. Tablo 13 ve 14’te verilen örnek küçük bir örnek olduğu için blok-köşegen yapıyı belirlemek kolaydır. Ama büyük boyutlu matrisler için bunun belirlenmesi güçleşir. Denklem (2.10) ile köşegen bir yapının oluşturulması kolaylaşır⁶⁸.

$$F_i^j = q[e_i^j / M_i N_j] + (1 - q)[1 - (e_i - e_i^j) / M_i (n - N_j)] \quad (2.10)$$

Burada,

F_i^j verimlilik faktörü,

e_i i ’inci makine kümesindeki “1” girdilerinin sayısı,

e_i^j i ’inci makine kümesinin j ’inci bloğundaki “1” girdilerinin sayısı,

N_j j ’inci kümedeki parçaların sayısı,

M_i i ’inci kümedeki makinelerin sayısı,

n matrisin toplam parça sayısı,

q ağırlık faktörüdür.


Buradaki q ağırlık faktörü ($0 \leq q \leq 1$) yardımıyla denklemin istenilen kısmına ağırlık verilebilir. Yaygın bir kullanım şekli olan $q = 0,5$ olursa her iki kısım da eşit ağırlıkta olur. Her makine kümesine karşılık gelen tüm sütun kümeleri için F_i^j verimlilik faktörleri hesaplanır. Her makine kümesi için en büyük verimlilik değerine sahip parça kümesi o makine kümesine atanır. Böylece köşegen yapı oluşturulur. Fakat büyük boyutlu matrislerde bir parça kümesinin, önceden bir makine kümesine atanmasına rağmen, ilerleyen aşamalarda başka bir makine kümesine atanması şeklinde bir problemle karşılaşmak mümkündür.

Köşegenleştirilen matris düşsel olarak mükemmel gruptan oluşmuş bir matris şekline dönüştürülebilir. Buradaki mükemmel grubun anlamı, içerisinde hiç “0” girdisi olmayan, yalnızca “1” girdilerinden oluşan grup demektir. Böyle bir grup ancak “ideal

⁶⁸ Chandrasekharan, - Rajagopalan, a.g.m., s. 459.

çekirdekler” yardımıyla oluşturulabilir. Böylece i 'inci grubu oluşturmada yardımcı olacak ideal çekirdek şöyle tanımlanabilir⁶⁹:

$$S_i = [0\ 0\ 0\ 0\ \dots\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ \dots\ 1\ 0\ 0\ 0\ \dots\ 0\ 0\ 0\ 0]$$


 i 'inci blok

Burada i 'inci bloktaki bütün elemanlar “1” girdileridir ve diğerleri “0” girdilerinden oluşmaktadır. Sütun vektörleri için ideal çekirdekler oluşturulduktan sonra bunlar sabit çekirdek noktalar olarak kullanılarak kümelendirme işlemi tekrar yapılır. Bu işlem sırasında mevcut kümeler dağılabilir ve yeni kümeler ortaya çıkabilir. Bu işlem yardımıyla çok küçük olan kümeler de ortadan kalkacaktır. İdeal çekirdekler seçerek kümeleme işlemi satırlar için de tekrarlanır. Böylece yeni bir blok-köşegen yapı elde edilmiş olur.

2.2.6. Matematiksel Programlama (MP) Yöntemi

Hücrelerin oluşturulmasında kullanılan MP yöntemleri genel olarak tamsayılı programlamaya dayalı maksimizasyon veya minimizasyon türü modellerdir. Kümeleme analizi içerisinde MP'nın bir kullanılış şekli olan “ p -medyan” modeli hücrelerin oluşturulmasında temel alınmaktadır. p -medyan modeli yardımıyla homojen kümeler (hücreler) oluşturulmaya çalışılır⁷⁰. Belirlenen hücre sayısı kadar medyan vardır ve “1” girdilerinin en yakın medyana olan toplam uzaklıkları minimum yapılmaya çalışılır⁷¹. BK kullanılırsa toplam benzerliklerde maksimizasyon amaçlanır. Benzemezlik katsayısı kullanılırsa toplam benzemezliklerde minimizasyon amaçlanır.

⁶⁹ Chandrasekharan, M. P., - Rajagopalan, R., “ZODIAC – An Algorithm for Concurrent Formation of Part-Families and Machine-Cells”, **International Journal of Production Research**, Vol. 25, No. 6, 1987, s. 844.

⁷⁰ Mulvey, John M., - Crowder, Harlan P., “Cluster Analysis: An Application of Lagrangian Relaxation”, **Management Science**, Vol. 25, No. 4, 1979, s. 330.

⁷¹ Klastorin, T. D., “The p -Median Problem for Cluster Analysis: A Comparative Test Using the Mixture Model Approach”, **Management Science**, Vol. 31, No.1, 1985, s. 85.

Şimdiye kadar anlatılan hücre oluşturma modellerinde başlangıç matrisinin üzerinde model uygulandıktan sonra hücre sayısı belirlenmekteydi. p -medyan modelinde ise hücre sayısı bir öncelik olarak belirlenir. Bu durum analizciye belirlenen hücre sayısına göre en uygun blok-köşegen yapıyı oluşturmada kolaylık sağlar.

Kümeleme analizinde yapılan öncü çalışmaların ardından p -medyan modelini, GT hücrelerin oluşturulmasında ilk olarak “Kusiak” (1987) şöyle uygulamıştır⁷²:

Amaç fonksiyonu:

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n s_{ij} x_{ij} \quad (2.11)$$

Kısıtlayıcılar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.12)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jj} = p \quad (2.13)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.14)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ veya } 1 \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.15)$$

Buradaki amaç fonksiyonu (2.11) yardımıyla parçaların toplam benzerlikleri maksimum yapılmaktadır. Kısıtlayıcı (2.12) her parçanın yalnızca bir parça ailesine ait olmasını sağlar. Kısıtlayıcı (2.13) gereken parça aile sayısının (hücre sayısının) belirlendiği kısıtlayıcıdır. Buradaki p , istenen parça ailesinin sayısını temsil eden bir parametredir. Kullanıcı isterse farklı p değerleri için modeli çözebilir. Kısıtlayıcı (2.14), i parçasının yalnızca j parça ailesine, bu aile olduğu anda atanmasını sağlamaktadır. Diğer bir anlatımla, eğer bazı j 'ler için $x_{ij} = 0$ ise, bu j parça ailesi oluşturulmaz ve böylece kısıtlayıcı (2.14) yüzünden diğer bir parça i ona atanamaz. Kısıtlayıcı (2.15) yardımıyla x_{ij} yalnızca 0 veya 1 değeri alan bir karar değişkeni olmaktadır.

⁷² Kusiak, Andrew, “The Generalized Group Technology Concept”, **International Journal of Production Research**, Vol. 25, No. 1, 1987, s. 564.

Yukarıdaki model BK'na göre oluşturulmuş amaç fonksiyonunu içermektedir. Eğer benzemezlik katsayısı kullanılsaydı amaç fonksiyonu denklem (2.16) şeklinde olacaktı.

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \quad (2.16)$$

Şekil 2.1'deki birinci örnek matris için p -medyan modeli şöyle uygulanabilir: Benzemezlik katsayısı olarak "Minkowski" ölçüsü ve bu ölçüde kullanılan kuvvet değeri olarak 1 verildiği varsayalım. Oluşturulacak parça ailesi (hücre) sayısı da 2 olarak belirlensin. Buna göre parçalar arasında hesaplanan "Minkowski" benzemezlik katsayı değerleri ve bu değerlerin kullanılacağı değişkenler Tablo 15'te gösterilmektedir. Tablodaki değerler SPSS 8.0 bilgisayar programı kullanılarak elde edilmiştir. Bu tablo aynı zamanda minimizasyon türü amaç fonksiyonunu vermektedir. Amaç fonksiyonunu ve kısıtlayıcıları gösteren p -medyan modeli ise Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 15: Birinci Örnek İçin Parçaların "Minkowski" Benzemezlik Katsayıları ve Değişkenleri.

	P1	P2	P3	P4	P5
P1	0 , (X ₁₁)	1 , (X ₁₂)	4 , (X ₁₃)	0 , (X ₁₄)	4 , (X ₁₅)
P2	1 , (X ₂₁)	0 , (X ₂₂)	3 , (X ₂₃)	1 , (X ₂₄)	3 , (X ₂₅)
P3	4 , (X ₃₁)	3 , (X ₃₂)	0 , (X ₃₃)	4 , (X ₃₄)	0 , (X ₃₅)
P4	0 , (X ₄₁)	1 , (X ₄₂)	4 , (X ₄₃)	0 , (X ₄₄)	4 , (X ₄₅)
P5	4 , (X ₅₁)	3 , (X ₅₂)	0 , (X ₅₃)	4 , (X ₅₄)	0 , (X ₅₅)

Tablo 16'ya bakıldığında görülmektedir ki, p -medyan modeli için (n^2+1) adet kısıtlayıcı denklem oluşturmak gerekir. Büyük boyutlu matrisler için bu sayıda kısıtlayıcıyı oluşturup çözmek oldukça uzun ve zor bir iştir.

Tablo 16: Birinci Örnek İçin “Kusiak”ın MP, p -Medyan Modeli.

$\text{Minimum } Z = 0X_{11} + X_{12} + 4X_{13} + 0X_{14} + 4X_{15} + X_{21} + 0X_{22} + 3X_{23} + X_{24} + 3X_{25} \\ + 4X_{31} + 3X_{32} + 0X_{33} + 4X_{34} + 0X_{35} + 0X_{41} + 1X_{42} + 4X_{43} + 0X_{44} + 4X_{45} \\ + 4X_{51} + 3X_{52} + 0X_{53} + 4X_{54} + 0X_{55}$	
Her parçanın yalnızca bir parça ailesine ait olmasını sağlayan kısıtlayıcılar.	$\left\{ \begin{array}{l} \text{C1) } X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 1 \\ \text{C2) } X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} = 1 \\ \text{C3) } X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} = 1 \\ \text{C4) } X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} = 1 \\ \text{C5) } X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} = 1 \end{array} \right.$
Parça aile (hücre) sayısı kısıtlayıcısı.	$\left\{ \begin{array}{l} \text{C6) } X_{11} + X_{22} + X_{33} + X_{44} + X_{55} = 2 \end{array} \right.$
Her parçanın ilk atandığı parça ailesinde kalmasını, başka bir parça ailesine atanmamasını sağlayan kısıtlayıcılar.	$\left\{ \begin{array}{ll} \text{C7) } -X_{11} + X_{21} \leq 0 & \text{C17) } -X_{33} + X_{43} \leq 0 \\ \text{C8) } -X_{11} + X_{31} \leq 0 & \text{C18) } -X_{33} + X_{53} \leq 0 \\ \text{C9) } -X_{11} + X_{41} \leq 0 & \text{C19) } -X_{44} + X_{14} \leq 0 \\ \text{C10) } -X_{11} + X_{51} \leq 0 & \text{C20) } -X_{44} + X_{24} \leq 0 \\ \text{C11) } -X_{22} + X_{12} \leq 0 & \text{C21) } -X_{44} + X_{34} \leq 0 \\ \text{C12) } -X_{22} + X_{32} \leq 0 & \text{C22) } -X_{44} + X_{54} \leq 0 \\ \text{C13) } -X_{22} + X_{42} \leq 0 & \text{C23) } -X_{55} + X_{15} \leq 0 \\ \text{C14) } -X_{22} + X_{52} \leq 0 & \text{C24) } -X_{55} + X_{25} \leq 0 \\ \text{C15) } -X_{33} + X_{13} \leq 0 & \text{C25) } -X_{55} + X_{35} \leq 0 \\ \text{C16) } -X_{33} + X_{23} \leq 0 & \text{C26) } -X_{55} + X_{45} \leq 0 \end{array} \right.$

Tablo 16’da verilen model çözüldüğünde $X_{11} = 1$, $X_{21} = 1$, $X_{35} = 1$, $X_{41} = 1$, $X_{55} = 1$ çözüm değerini, diğer bütün değişkenler ise “0” çözüm değerini alırlar. Bu model çözüldürken LINGO 8.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Burada bakılması gereken değişkenler “1” çözüm değerini alanlar ve bunların indisleridir. Birinci indis olan i indisine bakılacak olursa birden beşe kadar bütün parçalar için bu indisin mevcut olduğu görülür. İkinci indis olan j indisine bakıldığında bu beş parça için yalnızca bir ve beş değerini alan 2 değişik indisin oluştuğu görülür. Modelde verilen kısıtlayıcı C6 ile parça aile sayısı 2 olarak belirlendiği için yalnızca 2 değişik j indis oluşmuştur. Farklı başlangıç matrisleri ve farklı aile sayıları için oluşacak j indisinin rakamsal değerleri de farklı olabilir. Burada değişmeyecek olan yalnızca parça aile sayısı kadar çeşitlilikte j indis oluşacaktır.

Modeldeki çözüm değerleri 1’e eşit çıkan değişkenlere dönülecek olursa $i = 1$, 2 ve 4 parçalarının $j = 1$ ile belirlenen birinci hücreye ve $i = 3$ ve 5 parçalarının $j = 5$ ile belirlenen ikinci hücreye atandıkları görülür. Matristeki parçaları gösteren sütunların

yeni diziliş sırası 1, 2, 4, 3, 5 şeklinde olur. Parça aileleri bu şekilde belirlendikten sonra makine hücreleri belirlenir. Bunun için makinelere göre “Minkowski” benzerlik katsayıları hesaplanır ve yine makinelere göre MP, p -medyan modeli oluşturulur. Model çözüldüğünde elde edilecek blok köşegen yapı diğer yöntemlerdekiyle aynıdır.

“Kusiak” çalışmasında blok-köşegen bir yapının elde edilmesi şansını artıran “genelleştirilmiş GT kavramı” adını verdiği diğer bir model önermektedir. Burada parçaların üretilmeleri için mümkün olan alternatif süreç planları da modele dahil edilmektedir⁷³. Şekil 2.1’deki birinci örnek için Şekil 2.7’deki gibi alternatif süreç planlarının olduğu varsayalım. Burada her parçaya karşılık gelen ilk sütunlar o parçanın Şekil 2.1’deki sürecini, diğerleri ise alternatif süreçleri göstermektedirler.

		PARÇALAR										
		P1			P2		P3		P4		P5	
		Süreç plan numaraları										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
MAKINELER	M1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
	M2	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1
	M3	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0
	M4	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1

Şekil 2.7. Alternatif Süreç Planları.

Her parça için yalnızca tek süreç planının ele alınacağı bir tamsayılı programlama modeli geliştirilebilir. Kullanılacak notasyonlar ve model aşağıdaki gibidir.

n , parçaların sayısı

q , süreç planlarının sayısı

F_k , k parçası için süreç planı sayısı, $k = 1, 2, \dots, n$

p , gereken süreç ailesi sayısı

s_{ij} , süreç planı i ve j arasındaki benzerlik ($k = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere F_k içerisindeki her i ve j için $s_{ij} = -\infty$; her $i, j = 1, 2, \dots, q$ için $s_{ij} = 0$; diğer bütün i ve j ler için $s_{ij} \geq 0$)

⁷³ Kusiak, a.g.m., s. 565-566.

d_{ij} , süreç planı i ve j arasındaki benzemezlik ($k = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere F_k içerisindeki her i ve j için $d_{ij} = +\infty$; her $i, j = 1, 2, \dots, q$ için $d_{ij} = 0$; diğer bütün i ve j ler için $d_{ij} \geq 0$)

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & ; i \text{ süreç planı } j \text{ süreç ailesine aitse} \\ 0 & ; i \text{ süreç planı } j \text{ süreç ailesine ait değilse} \end{cases}$$

Amaç fonksiyonu:

$$\max \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^q s_{ij} x_{ij} \quad (2.17)$$

Kısıtlayıcılar:

$$\sum_{i \in F_k} \sum_{j=1}^q x_{ij} = 1 \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2.18)$$

$$\sum_{j=1}^q x_{ij} = p \quad (2.19)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj} \quad i = 1, 2, \dots, q \quad j = 1, 2, \dots, q \quad (2.20)$$

$$x_{ij} = 0, 1 \quad i = 1, 2, \dots, q \quad j = 1, 2, \dots, q \quad (2.21)$$

Amaç fonksiyonu (2.17) toplam benzerlikleri maksimum yapmaktadır. Eğer benzemezlik katsayısı kullanılsaydı amaç fonksiyonu denklem (2.22) şeklinde olacaktı ve s_{ij} notasyonunda verilen $(-\infty)$, d_{ij} notasyonunda $(+\infty)$ olacaktı.

$$\min \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^q d_{ij} x_{ij} \quad (2.22)$$

Kısıtlayıcı (2.18) her parça için yalnızca tek süreç planının, bir parça ailesine atanmasını sağlamaktadır. Diğer kısıtlayıcılar p -medyan modelinde olduğu gibidir.

Şekil 2.7 ile verilen alternatif süreç planlarına göre elde edilecek “Minkowski” benzemezlik katsayıları Tablo 17’de verilmektedir. Tablodaki değerler SPSS 8.0 bilgisayar programı kullanılarak elde edilmiştir. Kuvvet olarak yine “1” kullanılmıştır.

Tablodaki (∞) girdileri her F_k için yalnızca tek süreç planının seçileceğini göstermektedir.

Tablo 17: Alternatif Süreç Planları İçin “Minkowski” Benzemezlik Katsayıları ve Değişkenler.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
S1	0 ($X_{1,1}$)	∞ ($X_{1,2}$)	∞ ($X_{1,3}$)	1 ($X_{1,4}$)	2 ($X_{1,5}$)	4 ($X_{1,6}$)	2 ($X_{1,7}$)	0 ($X_{1,8}$)	2 ($X_{1,9}$)	4 ($X_{1,10}$)	2 ($X_{1,11}$)
S2	∞ ($X_{2,1}$)	0 ($X_{2,2}$)	∞ ($X_{2,3}$)	1 ($X_{2,4}$)	2 ($X_{2,5}$)	2 ($X_{2,6}$)	4 ($X_{2,7}$)	2 ($X_{2,8}$)	0 ($X_{2,9}$)	2 ($X_{2,10}$)	4 ($X_{2,11}$)
S3	∞ ($X_{3,1}$)	∞ ($X_{3,2}$)	0 ($X_{3,3}$)	1 ($X_{3,4}$)	4 ($X_{3,5}$)	2 ($X_{3,6}$)	2 ($X_{3,7}$)	2 ($X_{3,8}$)	2 ($X_{3,9}$)	2 ($X_{3,10}$)	2 ($X_{3,11}$)
S4	1 ($X_{4,1}$)	1 ($X_{4,2}$)	1 ($X_{4,3}$)	0 ($X_{4,4}$)	∞ ($X_{4,5}$)	3 ($X_{4,6}$)	3 ($X_{4,7}$)	1 ($X_{4,8}$)	1 ($X_{4,9}$)	3 ($X_{4,10}$)	3 ($X_{4,11}$)
S5	2 ($X_{5,1}$)	2 ($X_{5,2}$)	4 ($X_{5,3}$)	∞ ($X_{5,4}$)	0 ($X_{5,5}$)	2 ($X_{5,6}$)	2 ($X_{5,7}$)	2 ($X_{5,8}$)	2 ($X_{5,9}$)	2 ($X_{5,10}$)	2 ($X_{5,11}$)
S6	4 ($X_{6,1}$)	2 ($X_{6,2}$)	2 ($X_{6,3}$)	3 ($X_{6,4}$)	2 ($X_{6,5}$)	0 ($X_{6,6}$)	∞ ($X_{6,7}$)	4 ($X_{6,8}$)	2 ($X_{6,9}$)	0 ($X_{6,10}$)	2 ($X_{6,11}$)
S7	2 ($X_{7,1}$)	4 ($X_{7,2}$)	2 ($X_{7,3}$)	3 ($X_{7,4}$)	2 ($X_{7,5}$)	∞ ($X_{7,6}$)	0 ($X_{7,7}$)	2 ($X_{7,8}$)	4 ($X_{7,9}$)	2 ($X_{7,10}$)	0 ($X_{7,11}$)
S8	0 ($X_{8,1}$)	2 ($X_{8,2}$)	2 ($X_{8,3}$)	1 ($X_{8,4}$)	2 ($X_{8,5}$)	4 ($X_{8,6}$)	2 ($X_{8,7}$)	0 ($X_{8,8}$)	∞ ($X_{8,9}$)	4 ($X_{8,10}$)	2 ($X_{8,11}$)
S9	2 ($X_{9,1}$)	0 ($X_{9,2}$)	2 ($X_{9,3}$)	1 ($X_{9,4}$)	2 ($X_{9,5}$)	2 ($X_{9,6}$)	4 ($X_{9,7}$)	∞ ($X_{9,8}$)	0 ($X_{9,9}$)	2 ($X_{9,10}$)	4 ($X_{9,11}$)
S10	4 ($X_{10,1}$)	2 ($X_{10,2}$)	2 ($X_{10,3}$)	3 ($X_{10,4}$)	2 ($X_{10,5}$)	0 ($X_{10,6}$)	2 ($X_{10,7}$)	4 ($X_{10,8}$)	2 ($X_{10,9}$)	0 ($X_{10,10}$)	∞ ($X_{10,11}$)
S11	2 ($X_{11,1}$)	4 ($X_{11,2}$)	2 ($X_{11,3}$)	3 ($X_{11,4}$)	2 ($X_{11,5}$)	2 ($X_{11,6}$)	0 ($X_{11,7}$)	2 ($X_{11,8}$)	4 ($X_{11,9}$)	∞ ($X_{11,10}$)	0 ($X_{11,11}$)

Tablo 17’ye göre minimizasyon türü amaç fonksiyonu hazırlanır. Kısıtlayıcı (2.19) için $p = 2$ (iki süreç ailesi) değeri verilir. Model diğer kısıtlayıcılarla birlikte çözülür. Değişkenlerin çözüm değerleri p -medyan modelinde olduğu gibi 1 ve 0 değerlerinden birini alacaktır. Yine “1” çözüm değerini alan değişkenlerin indislerine bakılarak hangi süreç ailesinde hangi alternatif süreçlerin olması gerektiği tespit edilir. Parçaların işlemlerini (süreçlerini) gösteren sütunlar yeni sıralarına göre dizilirler. Bundan sonra makineler için de p -medyan modeli uygulanarak blok-köşegen yapı elde edilmeye çalışılır.

Yukarıda anlatılan modele kaynak maliyetlerinin de eklendiği diğer bir modeli “Shtub” (1989) geliştirmiştir. Burada hücrelerin oluşturulması problemi genelleştirilmiş bir atama problemi (GAP) olarak sunulmaktadır. Kullanılan notasyonlar ve model aşağıdaki gibidir⁷⁴.

$j \in J$, işlem merkezleri indis kümesi

$i \in I$, işlemler indis kümesi

c_{ij} , i işlemi j işlem merkezine atandığında oluşan maliyet

⁷⁴ Shtub, Avraham, “Modeling Group Technology Cell Formation As a Generalized Assignment Problem”, **International Journal of Production Research**, Vol. 27, No. 5, 1989, ss. 777-778.

$y_{ij} \geq 0$, j işlem merkezi i işlemini görürken gereken bir kaynağın miktarı
 $a_j \geq 0$, j işlem merkezi tarafından kullanılacak kaynağın minimum miktarı
 $b_j > 0$, j işlem merkezi tarafından kullanılacak kaynağın maksimum miktarı

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & ; i \text{ işlemi } j \text{ işlem merkezine atandıysa} \\ 0 & ; i \text{ işlemi } j \text{ işlem merkezine atanmadıysa} \end{cases}$$

Bunlara göre GAP, MP modeli şöyledir.

Amaç fonksiyonu:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (2.23)$$

Kısıtlayıcılar:

$$a_j \leq \sum_{i \in I} y_{ij} x_{ij} \leq b_j \quad j \in J \quad (2.24)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad i \in I \quad (2.25)$$

Amaç fonksiyonu (2.23) iş merkezlerine atanan işlemlerin maliyetini minimum yapmaktadır. Dikkat edilirse bu fonksiyonda benzemezlik katsayısının (d_{ij}) yerini işlem maliyeti katsayısı (c_{ij}) almıştır. Kısıtlayıcı kümesi (2.24) ile her iş merkezince kullanılacak minimum ve maksimum kaynak miktarları belirlenmektedir. Kısıtlayıcı kümesi (2.25) ile her işlemin tam olarak tek işlem merkezine atanması sağlanmaktadır.

“Co ve Araar” (1988) üç aşamalı bir süreç geliştirerek hücre büyüklüklerini ve içeriklerini belirlemektedir⁷⁵. İlk aşamada işlemler makinelere atanır. Bu aşamada başlangıç matrisi oluşturulmaktadır. Bu gerçekleştirilirken atanan iş yükü ve mevcut kapasite arasındaki sapma minimize edilerek makinelerin kullanımında maksimizasyon amaçlanır. Bir MP modeliyle atama yapılmaktadır. Bir makineye atanan iş yükü bu makine üzerinde yapılması gereken bütün işlem zamanlarının toplamıdır. İkinci aşamada ROC algoritmasında bazı değişiklikler yapılarak, büyük boyutlu matrislerin

⁷⁵ Co, - Araar, a.g.m., ss. 1511-1522.

çözümünde hız ve kolaylık sağlaması amacıyla, ROC algoritmasının alt matrislere bölünerek uygulandığı bir yaklaşım sunulmaktadır. Üçüncü ve son aşamada ise geliştirilen bir algoritma yardımıyla ikinci aşamada elde edilen sonuca göre hücre büyüklükleri ve içerikleri bulunmaktadır. MP'dan yalnızca ilk aşamada, başlangıç matrisi oluşturulurken yararlanılmaktadır.

MP, p -medyan modeli üzerinde diğer önemli bir değişikliği “Wang ve Roze” (1997) yapmışlardır. Geliştirilen model yine bir tamsayı doğrusal programlama modelidir. Söz konusu değişiklik ve çözüm prosedürü ile hücre başına düşen makine sayısına veya parça ailesi başına düşen parça sayısına bir üst sınır getirilerek makine hücrelerinin veya parça ailelerinin büyüklükleri kontrol altına alınmaktadır. Orijinal p -medyan modelinde (n^2+1) adet olan gereken kısıtlayıcı denklem sayısı, değiştirilen bu modelde $(2n+1)$ adete indirilmektedir. Bu da önemli derecede bir hesaplama kolaylığı sağlar. Değiştirilmiş yeni p -medyan modeli şöyledir⁷⁶.

Amaç fonksiyonu:

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n s_{ij} x_{ij} \quad (2.26)$$

Kısıtlayıcılar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.27)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = p \quad (2.28)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq u_n x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.29)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.30)$$

Orijinal p -medyan modelindeki kısıtlayıcı (2.12) değiştirilerek bunun yerine kısıtlayıcı (2.29) getirilmiştir. Bu kısıtlayıcı ile birlikte yeni bir parametre olan u_n sunulmaktadır. Bu, her parça ailesi için izin verilen maksimum parça sayısını

⁷⁶ Wang, J., - Roze, C., “Formation of Machine Cells and Part Families: A Modified p -Median Model and a Comparative Study”, **International Journal of Production Research**, Vol. 35, No. 5, 1997, s. 1266.

göstermektedir. Kısıtlayıcı (2.29) ile elde edilen şudur: Parça j yi içeren parça ailesi için belirlenen üst sınır olan u_n , ancak ve ancak aile j oluşturulmuş ise ($x_{jj} = 1$ ise) devreye girip etkili olmaktadır. Amaç fonksiyonu ve diğer kısıtlayıcılar orijinal modeldekiyle aynıdır. Bu yeni p -medyan modeli birinci örnek için kurulursa Tablo 18’deki gibi bir model olacaktır.

Tablo 18: Birinci Örnek İçin “Wang ve Roze”nin MP, p -Medyan Modeli.

Minimum $Z = 0X_{11} + X_{12} + 4X_{13} + 0X_{14} + 4X_{15} + X_{21} + 0X_{22} + 3X_{23} + X_{24} + 3X_{25}$ $+ 4X_{31} + 3X_{32} + 0X_{33} + 4X_{34} + 0X_{35} + 0X_{41} + X_{42} + 4X_{43} + 0X_{44} + 4X_{45}$ $+ 4X_{51} + 3X_{52} + 0X_{53} + 4X_{54} + 0X_{55}$	
Kısıtlayıcılar:	
C1) $X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 1$	C7) $-3X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} \leq 0$
C2) $X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} = 1$	C8) $X_{12} - 3X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} \leq 0$
C3) $X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} = 1$	C9) $X_{13} + X_{23} - 3X_{33} + X_{43} + X_{53} \leq 0$
C4) $X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} = 1$	C10) $X_{14} + X_{24} + X_{34} - 3X_{44} + X_{54} \leq 0$
C5) $X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} = 1$	C11) $X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} - 3X_{55} \leq 0$
C6) $X_{11} + X_{22} + X_{33} + X_{44} + X_{55} = 2$	

Aynı model önce makine hücrelerinin ve sonra da parça ailelerinin oluşturulması şeklinde de uygulanabilir. Hücre oluşturma problemlerinin çoğunda parçaların sayısı makinelerin sayısından çok daha fazladır. Bu nedenle, makine hücresi oluşturma problemi parça ailesi oluşturma probleminden daha küçük bir model kurularak çözülebilecektir. Eğer makine hücreleri belirlendikten sonra doğal parça aileleri kolayca tespit edilebiliyorsa, ilk önce makine hücrelerinin belirlenmesinde hesaplama kolaylığı açısından fayda vardır.

Şekil 2.2’deki büyük örnek “Wang ve Roze”nin modeline göre çözülmek istendiğinde, parçalara göre 83, makinelere göre 61 tane kısıtlayıcı denklem ve parçalara göre 1681, makinelere göre 900 tane değişken yazılması gerekir. Şekil 2.11.(f) büyük örneğin “Wang ve Roze”nin p -medyan modeline göre çözülmüş halini göstermektedir. Yine “Minkowski” benzemezlik katsayısı kullanılmış ve kuvvet değeri olarak 1 verilmiştir. Bu benzemezlik katsayılarının elde edilmesinde SPSS 8.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Modelin çözümlenmesinde ise, LINGO 8.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Şekil 2.11.(g), Şekil 2.11(f)’de oluşan hücre içi satır ve sütun

boşlukları giderilerek elde edilmişlerdir. Model kurulurken hücre sayısı hem parçalar hem de makineler için 3 olarak alınmıştır. Hem parça ailelerinin hem de makine hücrelerinin maksimum eleman sayıları 41 ile sınırlandırılmıştır. Böylece hücre eleman sayılarına aslında bir üst sınır getirilmemiş olur. Bu maksimum eleman sayısı belirlenirken istenen hücre sayısını oluşturabilecek eleman sayısının altına düşülmemesi gerekmektedir⁷⁷. Bu örnekte parçalara göre model kurulduğunda eğer hücre sayısı 3 ve hücre eleman sayısının üst sınırı 13 olarak belirlenirse, model çözüldüğünde uygun olmayan çözüm oluşur. Çünkü $3 \times 13 = 39$ 'dur. Oysa uygun çözüm olabilmesi için bu rakamın parça sayısı olan 41'e eşit veya daha fazla olması gerekir.

Şekil 2.11.(h) ve (i)'da ise, hücre eleman sayılarının üst sınırına parça ve makine sayılarının hücre sayısına bölünmesiyle elde edilen sonuçlar kadar ($30/3 = 10$, $41/3 \cong 14$) üst sınır getirilmiştir. Şekil 2.11.(i)'da hücre içi boşluklar giderilmiştir.

“Wang ve Roze”nin bu yeni p -medyan modeli “Kusiak”ın modelinde gereken kısıtlayıcı sayısını büyük miktarda azaltmasına rağmen değişken sayısında hiçbir azaltma getirmemektedir. Bu amaçla “Won ve Lee” (2004) yeni bir p -medyan modeli daha geliştirmişlerdir⁷⁸. Bu yeni model için gereken, hem değişken sayısı, hem de kısıtlayıcı sayısı “Wang ve Roze”nin modeli için gerekenlerden daha azdır. Modelde ilk önce, medyan olma ihtimali en fazla olan makineler yardımıyla aday medyan kümeleri oluşturulur. Bunun için önce boş bir aday medyan makine kümesiyle başlanır ve bu kümeye her defasında en düşük (en yüksek) benzerlik (benzemezlik) katsayısına sahip makine çiftleri atanarak küme doldurulur. Model kurulurken yalnızca bu medyan kümelerinin elemanları modele dahil edilir. Model çözüldüğünde çıkan sonuçlar Şekil 2.11.(f) ile aynı olacaktır.

Literatürdeki yöntemlerden çok azı hücre büyüklüklerini ele almaktadır. Oysa hücre büyüklüğünü seçebilme yeteneği tasarımcının hücre büyüklüğünü kontrol etmesine izin vererek, orantısız hücrelerle oluşacak dengesiz çözümlerden kaçınmasını sağlayacaktır. Hücre içerisindeki makinelerin ve parçaların minimum ve maksimum sayılarını dikkate alarak hücre büyüklüklerini ele alan diğer bir model “Viswanathan” (1995) tarafından geliştirilmiştir. Bu model kuadratik tamsayılı programlama modelidir.

⁷⁷ Wang, - Roze, a.g.m., s. 1266.

⁷⁸ Won, - Lee, a.g.m., s. 501.

Önceden bir benzerlik veya benzemezlik katsayısı hesaplanmaksızın “makine-parça gösterim matrisi” direkt olarak modelin girdisini oluşturmaktadır. Bu model belirli bir türden, birbirinin aynısı olan, birden fazla makineyi içeren problemler için de uygun bir çözüm getirmektedir. Örneğin matkap gibi genel amaçlı bazı makineler vardır ki, çoğu hücrelerin içerisinde bunlardan aynılarına gereksinim duyulabilir. Model ve notasyonları aşağıdaki gibidir⁷⁹.

M = Farklı makine türlerinin sayısı

R_i = i makine türünün sayısı ($i = 1, \dots, M$)

N = Parça sayısı

K = Hücrelerin veya kümelerin maksimum sayısı

k = Hücre indisi

i = Makine türü indisi

j = Parça indisi

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & ; j \text{ parçası } i \text{ makinesinin bir işlemi ise} \\ 0 & ; j \text{ parçası } i \text{ makinesinin bir işlemi değilse} \end{cases}$$

$$Y_{jk} = \begin{cases} 1 & ; k \text{ kümesinde } j \text{ parçası varsa} \\ 0 & ; k \text{ kümesinde } j \text{ parçası yoksa} \end{cases}$$

$$C_{ij} = \begin{cases} -1 & ; a_{ij} = 1 \\ w & ; a_{ij} \neq 1 \end{cases}$$

e = Başlangıç matrisi A 'daki toplam “1” girdilerinin sayısı, yani $e = \sum_{i,j} a_{ij}$

e_1 = Bütün hücrelerin dışarısında kalan “1” girdilerinin toplam sayısı

e_0 = Bütün hücrelerin içerisindeki “0” girdilerinin toplam sayısı

w = Ağırlık faktörü

p, \hat{p} = Bir hücredeki minimum ve maksimum parça sayısı

q, \hat{q} = Bir hücredeki minimum ve maksimum makine sayısı

Amaç fonksiyonu çok genel terimlerle denklem (2.31) şeklinde gösterilir.

⁷⁹ Viswanathan, S., “Configuring Cellular Manufacturing Systems: A Quadratic Integer Programming Formulation and a Simple Interchange Heuristic”, **International Journal of Production Research**, Vol. 33, No. 2, 1995, ss. 361-376.

$$\min Z = e_1 + we_0 \quad (2.31)$$

Buradaki Z değeri ne kadar küçük olursa hücre oluşturmanın o kadar etkin olduğu anlaşılır. $Z = 0$ olursa hücreler arasında hiçbir hareket olmadığı ve hücre içerisindeki her makinenin yine o hücre içerisindeki bütün parçalar tarafından kullanıldığı anlaşılır. Bu denklemdeki w önceden belirlenmesi gereken bir parametredir. Analizci için hücreler arası parça hareketlerinin minimum yapılması veya hücre içi makine kullanımlarının maksimum yapılması amaçlarından hangisi, ne kadar önemliyse, buna göre w ağırlık değeri belirlenir. Hücreler arası parça hareketlerine daha fazla ağırlık verilecekse w birden küçük bir değer almalıdır. Eğer kümeler içerisindeki sıfırların sayısı çok fazlaysa hücreler arası hareketlerin minimum yapılmaya çalışılması daha çok arzulanır. Bununla beraber, $w = 0$ değeri verilmesi bütün parçaları ve makineleri içeren tek bir hücreye neden olacaktır. Bu nedenle w nin sıfır ve bir arasında bir değer alması iyi bir blok-köşegen yapının oluşması açısından daha uygundur.

Eğer hem parça j , hem de makine i aynı kümeye ait iseler, A matrisindeki belirli bir a_{ij} elemanı da aynı kümeye ait olacaktır. Böylece aşağıdaki aşamalardan geçerek amaç fonksiyonunun daha detaylı bir şekli oluşturulabilir.

$$e_o = \sum_{i,j \text{ ve } a_{ij}=0} \sum_{k=1}^K X_{ik} Y_{ik} \quad (2.32)$$

$$e_1 = e - \sum_{i,j \text{ ve } a_{ij}=1} \sum_{k=1}^K X_{ik} Y_{ik} \quad (2.33)$$

$$\begin{aligned} Z = e_i + we_o &= e - \sum_{i,j \text{ ve } a_{ij}=1} \sum_{k=1}^K X_{ik} Y_{ik} + \sum_{i,j \text{ ve } a_{ij}=0} \sum_{k=1}^K wX_{ik} Y_{ik} \\ &= e + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K C_{ij} X_{ik} Y_{jk} \end{aligned} \quad (2.34)$$

Hücre oluşturma problemi tüm kısıtlayıcılarıyla beraber aşağıdaki gibi oluşturulur.

Amaç fonksiyonu:

$$\min Z = \left\{ e + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K C_{ij} X_{ik} Y_{jk} \right\}$$

Kısıtlayıcılar:

$$\sum_{k=1}^K X_{ik} = R_i \quad i = 1, \dots, M \quad (2.35)$$

$$\sum_{k=1}^K Y_{jk} = 1 \quad j = 1, \dots, N \quad (2.36)$$

$$\sum_{i=1}^M X_{ik} \geq V_k q \quad k = 1, \dots, K \quad (2.37)$$

$$\sum_{j=1}^N Y_{jk} \geq V_k p \quad k = 1, \dots, K \quad (2.38)$$

$$\sum_{i=1}^M X_{ik} \leq V_k \hat{q} \quad k = 1, \dots, K \quad (2.39)$$

$$\sum_{j=1}^N Y_{jk} \leq V_k \hat{p} \quad k = 1, \dots, K \quad (2.40)$$

$$X_{ik}, Y_{jk} = 0 \text{ veya } 1 \quad i = 1, \dots, M, \quad j = 1, \dots, N, \quad k = 1, \dots, K \quad (2.41)$$

$$V_k = 0 \text{ veya } 1 \quad k = 1, \dots, K \quad (2.42)$$

Amaç fonksiyonu (2.34)'te “ e ” bir sabittir. Bununla beraber notasyon açısından uygunluğu bozmamak için amaç fonksiyonunda alıkonulmuştur. Kısıtlayıcı (2.35) belirli bir i türündeki makinenin hücelere atanan sayısının bu makinenin mevcut sayısı olan R_i yi geçmemesini sağlar. Eğer belirli bir i türü makineden birden fazla yoksa $R_i = 1$ olacaktır. Kısıtlayıcı (2.36) bir parçanın tam olarak bir hücreye atanmasını sağlar. Kısıtlayıcı (2.37) ile (2.40) ve bunlar arasındaki kısıtlayıcılar parçaların veya makinelerin boş veya kullanılmayan kümelerle atanmamalarını ve boş kümeler için atanan parçaların p ile \hat{p} , makinelerin de q ile \hat{q} arasında olmasını sağlamaktadırlar. Parametreler p , \hat{p} , q ve \hat{q} bir hücredeki parça ve makinelerin minimum ve maksimum sayısını sabitlerler. Bu parametreler tasarımcı veya analizci tarafından belirlenmelidirler. Bununla beraber, eğer hücredeki parça veya makine sayıları üzerinde herhangi bir üst sınır yoksa o zaman \hat{p} ve \hat{q} çok büyük birer sayı olarak belirlenirler. Herhangi bir alt sınır yoksa bu p ve q için 1 değeri verilir. Kısıtlayıcı (2.41) ve (2.42), karar değişkenleri X_{ik} , Y_{jk} ve V_k üzerindeki sıfır-bir kısıtlayıcılarıdır.

ÇK yöntemini GT hücre oluşturmada ilk olarak “Rajagopalan ve Batra” (1975) kullanmıştır⁸¹. Bunlar ÇK yöntemiyle hücrelerin oluşturulmasını üç aşamaya ayırmaktadırlar.

1. Bir makine çizgesi ve klikleri oluşturulur.
2. Makine hücreleri oluşturulur.
3. Parçalar hücrelere atanır.

Yöntemin birinci ve en önemli aşaması olan makine hücrelerinin oluşturulmasında ilk önce bir ilişki matrisi düzenlenir. İlişki matrisine X dersek bu matris şu elemanlardan oluşacaktır:

X_{ij} = Makine i ve j yi kullanan tüm parçaların toplam miktarı.

X_{ii} = Makine i yi kullanan tüm parçaların toplam miktarı.

Makineleri gösteren çizgede her makineye karşılık gelen bir nokta bulunmaktadır. Eğer herhangi bir parça tarafından kullanılmayan bir nokta (makine) söz konusuysa, bu daha sonra analizi yapılmak üzere elimine edilir.

Birinci aşamada yapılması gereken ikinci görev ise çizgenin noktalarını birbirine bağlayan ve ilişkileri gösteren doğruları çizmektir. Bunun için kullanılan yaklaşımlardan biri, her iki makineyi kullanan yalnızca tek parça dahi olsa bu iki makineyi (noktayı) bir doğru ile birleştirmektir. Kısacası, $X_{ij} > 0$ ise i ve j makineleri bir doğru ile birleştirilir. Fakat bu şekildeki bir çizge herhangi bir makine çifti arasındaki ilişkinin kuvvetini dikkate almamaktadır. Burada tercih edilmesi gereken ise zayıf olan ilişkilerin dikkate alınmamasıdır. Zayıf olan ilişkileri tanımlamak için her makine çifti arasında bir ilişki ölçüsü hesaplanabilir. Bunun için de BK'larından (S_{ij}) yararlanılabilir. İki makinenin bir doğruyla birbirine bağlanıp bağlanmayacağına, belirlenen bir baraj değeriyle (T) karar verilebilir. Eğer baraj değeri çok büyükse sonuçlanan çizge seyrek olacaktır ve yalnızca birkaç doğrudan oluşur. Bunu izleyen hücre oluşturma analizleri de basit olur. Eğer baraj değeri büyükse parçaların çizge üzerine olan etkileri az olacaktır. Bunun anlamı herhangi bir parça ailesine ait olmayan bu tek parçalar çok fazla hücreler arası harekete neden olacak, bu da GT'nin faydalarını azaltacaktır. Diğer yandan eğer baraj değeri çok küçükse sık bir çizge elde edilecek ve hücre oluşturmak

⁸¹ Rajagopalan, - Batra, a.g.m., ss. 567-579.

çok karmaşık olmaya başlayacaktır. Fakat bu durumda yalnızca birkaç parçanın etkisi göz önüne alınmamış ve diğerlerinin hepsi göz önüne alınmış olur.

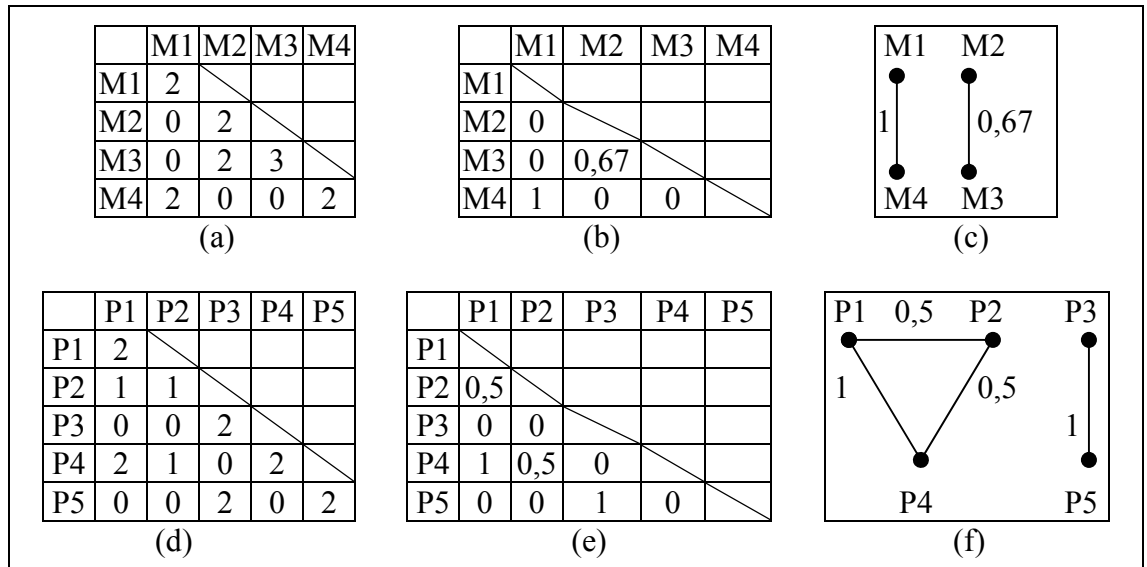
İlişki matrisi X 'e göre BK matrisi S oluşturulur. Baraj değeri T belirlendikten sonra yalnızca $S_{ij} > T$ olan makine çiftleri doğrularla birleştirilir. Bu aşamada eğer $S_{ij} \leq T$ olan makine çiftlerinden herhangi birini kullanan parçaların listesi çıkarılırsa bu parçaların üretim rotaları üzerinde bir değişikliğe gidilip gidilemeyeceği araştırılabilir. Hücrelerinin oluşturulmaya çalışıldığı iş atölyesinin imkanları dahilinde bu parçaların yeni üretim rotalarının, birbirleriyle ilişkisi kurulmuş makine çiftleri üzerinde yapılmasına çalışılabilir. Bu da rasyonel bir davranıştır. Kısaca buna rasyonelleştirme de denilebilir. Rasyonelleştirmeden sonra ilk adıma geri gidilir ve ilişki matrisi ile BK matrisi yeniden hesaplanır. Şimdi bazı ilişkiler eskisine göre daha kuvvetli olmaya başlarlar ve baraj değeri T 'yi geçebilirler. Bunun sonucunda daha fazla sayıda makine-çizge doğrusu oluşur.

İkinci aşamada, birinci aşamaya göre belirlenen çizgedeki oluşan kliklere bakılarak makine hücreleri oluşturulur. Fakat elde edilen klikler çoğu zaman başlı başına bir hücre olamazlar. Çünkü bir klik bizim isteğimizden daha fazla bir karşılıklı ilişki durumunu gösterebilir. Örneğin Şekil 2.8'de oluşan a (1, 2, 3, 4, 5) ve b (1, 2, 3, 4, 6) klikleri düşünüldüğünde, 5 ve 6 makinelerinden hangisi hücrenin içerisine alınacaktır? GT açısından bakıldığında ikisinin de alınması gerekir. Dolayısıyla elde edilen klikler başlı başına hücre olamazlar. Diğer bir sebepse, ortalama bir yoğunluğa sahip çizgelerde dahi genel olarak klik sayısı fazladır. Bu nedenle çok sayıda hücreye sahip olmak tatmin edici bir sonuç değildir. Hücre içi ilişkilerin kuvvetli, buna karşın hücreler arası ilişkilerin zayıf olmasını sağlayacak şekilde, klikleri daha az sayıda hücrenin içerisinde birleştirici bir yöntem ihtiyacı vardır. Bunun için çizge ayrıştırma yöntemi denen bir yöntem kullanılabilir. Bu yöntemde makine çiftlerini birleştiren her doğrunun bir ağırlığı veya ilgili bir maliyeti vardır. Maliyetleri minimum olan doğruların birleştirdiği çiftler birbirlerinden ayrıştırılırlar.

ÇK yöntemi birçok açıdan BK yöntemine benzemektedir. İlişki matrisinin oluşturulması da BE yöntemindeki BE'lerinin hesaplamasına benzemektedir. Burada tek fark, ilişkiler hesaplanırken yalnızca "1" girdilerindeki eşleşmelerin sayılıyor

olmasıdır. BE’de ise hem “1”, hem de “0” girdilerindeki eşleşmeler sayılıyordu. ÇK yöntemine, BE yöntemiyle BK yöntemlerini birleştirici bir yöntem gözüyle bakılabilir.

“Rajagopalan ve Batra” ikinci ve üçüncü aşamada ağırlıkları ve maliyetleri de katarak parçaların, makine hücrelerine atanmaları için çeşitli kurallar önermektedirler. Fakat Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 ile verilen iki örnekte ağırlık veya maliyet verileri bulunmamaktadır. Yöntemin anlaşılabilirliğini sağlamak için ilişki ve BK matrislerini önce makineler için düzenlemek, sonra oluşan makine hücrelerine göre parçalar için de ilişki ve BK matrisleri düzenleyip çözüme ulaşmak uygun olur. Şekil 2.9, Şekil 2.1’deki başlangıç matrise ÇK yönteminin uygulanışını göstermektedir. Şekil 2.9.(a) makineler arasındaki ilişki matrisini, Şekil 2.9.(b) ilişki matrisine göre hesaplanan “Jaccard” BK’larını ($S_{ij} = X_{ij}/[X_{ii}+X_{jj}-X_{ij}]$) ve Şekil 2.9.(c) ise $T = 0,667$ baraj değerine göre oluşan klikleri (makine hücrelerini) göstermektedir. Oluşan klikler makine hücreleri olarak kabul edilebilir. Başlangıç matrisinin satırlarını M1, M4, M2, M3 sırasına göre yeniden düzenleyip, buna göre parçalar için de ilişki ve BK matrisleri hesaplanabilir. Şekil 2.9.(d) parçalar arasındaki ilişki matrisini, Şekil 2.9.(e) bu ilişki matrisine göre hesaplanan “Jaccard” BK’larını ve Şekil 2.9.(f) ise $T = 0,5$ baraj değerine göre oluşan klikleri (parça ailelerini) göstermektedir. Parçaları oluşturan sütunlar P1, P2, P4, P3, P5 sırasına göre dizilirse çıkan blok-köşegen yapı diğer yöntemlerle aynıdır.



Şekil 2.9. ÇK Yöntemi.

İlişki sayılarına bakılarak klikler belirlenebilir. İlişki sayısı her defasında bir azaltılarak maksimum ilişki ve maksimum eleman sayısında klikler oluşturulmaya çalışılır. Eğer tüm ilişkiler göz önüne alınarak klikler oluşturulmak isteniyorsa, bir baraj değeri konulmaz ve yalnızca ilişki matrisinden yararlanılarak klikler oluşturulur. Şekil 2.2'deki başlangıç matrisi için yalnızca ilişki matrisinden yararlanılarak maksimum ilişki ve maksimum eleman sayılarına sahip üç makine kliği oluşmaktadır. Gerek makine klikleri gerekse parça klikleri oluşturulurken hesaplamalar elle yapılmıştır.

Klik 1: {M1, M2, M3, M10, M11, M12, M21, M22, M23}, ilişki sayısı 8'dir.

Klik 2: {M5, M7, M17, M18, M26}, ilişki sayısı 4'tür.

Klik 3: {M8, M19, M20, M29, M30}, ilişki sayısı 4'tür.

Burada görüleceği üzere eleman sayısından bir çıkarılarak kliği oluşturan ilişki sayısı elde edilebilir. Örnekte ilişki sayısı dört olan başka klikler de oluşturmak mümkündür. Ama bunların eleman sayıları klik 2 ve 3'deki eleman sayılarından daha az olduğundan hücreleri oluşturmada temel alınamaz. Klikler haricinde kalan diğer makineler ise en çok ilişki içerisinde oldukları kliğe dahil edilerek makine hücreleri oluşturulur. Örneğin klik 3, M8 makinesinin yerine M9 konularak da 5 elemanlı ve ilişki sayısı 4 olan bir klik oluşturulabilir. Dolayısıyla M9'un klik 3 ile olan ilişki sayısı diğer kliklerden daha fazla olduğu için klik 3 içerisine dahil edilmesi doğaldır. Diğer makineler de bu şekilde kliklere dahil edildiklerinde makine dizilişleri şöyle olur: {M1, M2, M3, M10, M11, M12, M21, M22, M23}, {M5, M7, M17, M18, M26, M4, M6, M14, M16, M25, M15, M13, M24}, {M8, M19, M20, M29, M30, M9, M27, M28}.

Yukarıdaki süreç parçalara uygulandığında maksimum elemanlı ve maksimum ilişkili üç klik yardımıyla elde edilen parça sıralanışları da şöyle olur: {P1, P3, P13, P21, P22, P30, P8, P9, P14, P29}, {P4, P5, P17, P26, P34, P36, P37, P16, P27, P35, P7, P15, P25, P28, P6, P38}, {P2, P19, P12, P11, P10, P41, P40, P39, P33, P20, P23, P24, P31, P32, P18}. Satır ve sütunlar bu yeni sıralanışlarına göre dizildiklerinde Şekil 2.11.(i)'de elde edilen blok köşegen matris oluşur.

2.3. GENEL YÖNTEMLERİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Hücrelerin oluşturulmasında kullanılan yöntemleri karşılaştıran bazı çalışmalara literatürde rastlamak mümkündür. Fakat bu karşılaştırmalarda ele alınan hücre oluşturma yöntemleri yazardan yazara birbirinden farklıdır. Endüstriyel çalışma ortamından gerçek veriler kullanarak bir karşılaştırma “Shafer ve Meredith” (1990) tarafından yapılmıştır. Üç işletmeden alınan gerçek veriler simülasyon yardımıyla istatistiksel testlere tabi tutularak incelenmiştir. Buradan elde edilen en önemli bulgu bir işletmenin amaçlarını, özelliklerini, çevresini ve içsel bilgi ve becerilerini tümüyle ele alacak belirli bir hücre oluşturma prosedürünün seçilebilmesi için kapsamlı bir yöntem belirlemek mümkün değildir⁸².

Herhangi bir hücre oluşturma yönteminin gösterdiği performans tek bir ölçütle sınırlı kalmaz. Bazı yöntemler istenilen en iyi sonuçları vermelerine rağmen hesaplama güçlüğü ve harcanan zaman gibi değişik açılardan diğer yöntemlere göre dezavantajlı olabilmektedir. Analizci için en iyi yöntem eldeki olanaklar göz önüne alınarak en az dezavantajı barındıran yöntem olacaktır.

Hücrelerin mükemmel bir şekilde oluşturulması, birinci bölümde de üzerinde durulduğu gibi, istisnai eleman sayısının minimum olması anlamına gelir. Fakat sadece istisnai eleman sayısının minimum olması yeterli değildir. Hücre içi kullanım oranlarının da yüksek olması arzulanır. Hücre içi kullanım oranı ne kadar yüksek olursa makinelerin aylak geçirdikleri zaman o kadar azaltılmış olur.

Kullanılan yönteme göre elde edilen en son matris aslında elde edilebilecek en iyi matris olmayabilir. Bazı yöntemler için elde edilen bu en son matris başlangıç matrisinin ne denli iyi bir yapıda olup olmadığına bağlıdır. Bu yöntemler için başlangıç matrisin sütun ve satırlarındaki diziliş sırası değiştirildiğinde çok daha farklı son matrisler elde edilebilmektedir.

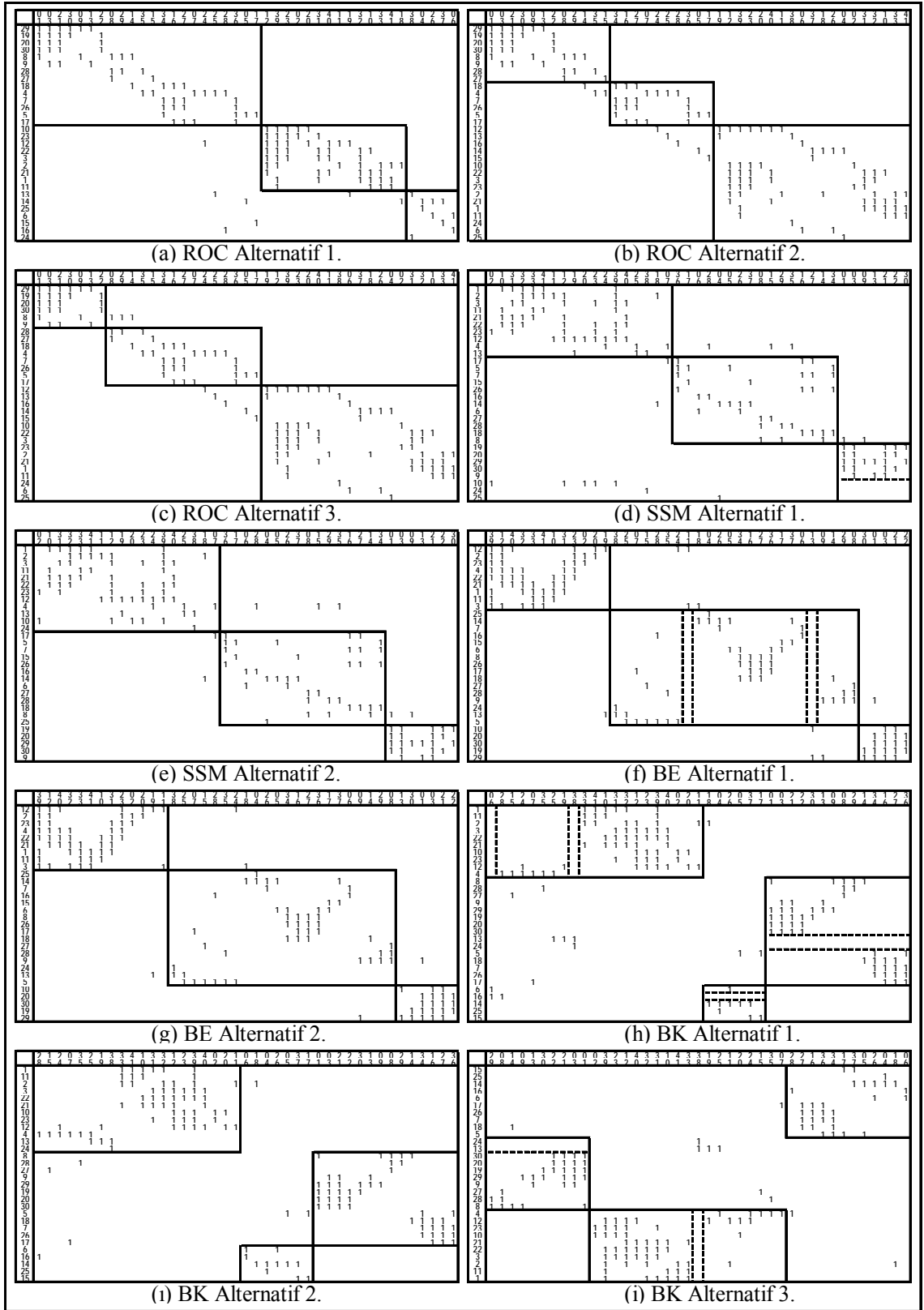
Kimi yöntemler uygulandığında elde edilen son matrislerde oluşan hücre blokları matrisin köşegeni üzerinde olmayabilir. Blokların matrisin çok değişik yerlerinde serpiştirilmiş şekilde oldukları görülür. Özellikle büyük boyutlu matrislerde

⁸² Shafer, Scott M., - Meredith, Jack R., “A Comparison of Selected Manufacturing Cell Formation Techniques”, **International Journal of Production Research**, Vol. 28, No. 4, 1990, s. 661.

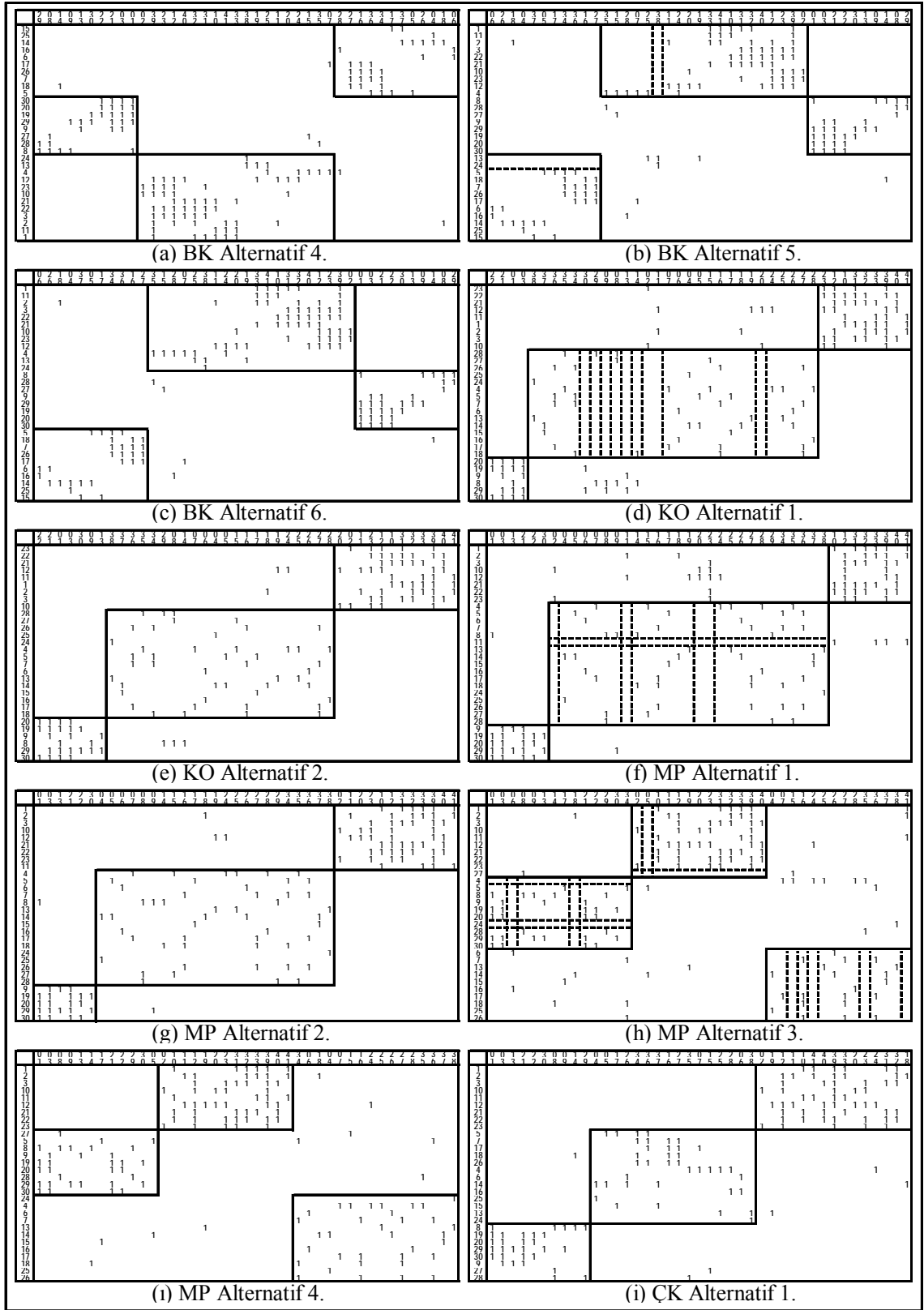
bu blokların köşegen bir yapı oluşturacak şekilde dizilmeleri oldukça güçleşecektir. Bunu kolaylaştırıcı bir yöntem olarak KO içerisinde açıklanan denklem (2.10)'dan yararlanılabilir. Kimi yöntemlerde ise ek bir çaba veya hesap gerekmeksizin bloklar köşegen üzerinde oluşmaktadır. Böylelikle hücrelerin belirlenmeleri daha kolay olur.

Yöntemlerden bazıları tek başlarına kullanılan yöntemlerdir. Bunların içerisinde diğer bir yöntemden herhangi bir aşama veya aşamalar kullanmaya gerek yoktur. Bazıları ise diğer yöntemlerden aşamalar kullanmayı da gerektirir. Bunlara karma yöntemler gözüyle de bakılabilir. Bu tür karma yöntemler içerisinde özellikle, daha çok benzerlik veya benzemezlik katsayıları kullanılmaktadır.

Bazı yöntemlerde hücre sayıları önceden girilerek, oluşturulacak hücre sayısına bir kısıtlama getirilebilir. Bazılarında ise getirilemez. Hücre sayısı kısıtlayıcısının önceden belirlenmesinin avantajlı ve dezavantajlı yanları vardır. Örneğin, iş atölyesinin mevcut yer sorunu açısından hücre sayısının önceden belirlenmesi gerekebilir. Buna izin veren bir yöntemi kullanmak elde edilecek blok-köşegen yapının da bu sayıdaki hücreye göre en iyi şekilde oluşmasını sağlayacaktır. Fakat hücre sayısına önceden sınır getirilmesi atölyede oluşma ihtimali en yüksek olan doğal hücrelerin oluşmalarını engelleyebilir. Bu açıdan bakıldığında ise hücre sayısına önceden bir kısıtlama getirmemek daha avantajlıdır. Hücre sayısının önceden belirlenebildiği yöntemlerde hücre içi yoğunluklarının daha optimal düzeylerde oluştuğu görülür. "1" girdileri belirlenen hücre sayısınca matrisin belirli yerlerinde gruplar oluşturacaklardır. Bu da, hücre sayısına uyarlanmış şekilde en yoğun hücrelerin oluşmasını sağlar.



Şekil 2.10. Genel Yöntemlerin İkinci Örnek Üzerinde Çözümleri 1.



Şekil 2.11. Genel Yöntemlerin İkinci Örnek Üzerinde Çözümleri 2.

Tablo 19’da ele alınan genel hücre oluşturma yöntemlerinin rakamsal olarak değerlendirme sonuçları verilmektedir. Değerlendirmede kullanılan denklemlerin hangileri oldukları tablonun altında bildirilmektedir. Şekil 2.2’deki büyük boyutlu matrise her yöntem uygulandıktan sonra elde edilen Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’deki matrisler üzerinde bu denklemler kullanılarak Tablo 19’daki değerler elde edilmiştir.

Tablo 19: Genel Hücre Oluşturma Yöntemlerinin Rakamsal Olarak Değerlendirilmeleri.

RAKAMSAL DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ													
	Şekil	p	S	L	D	n_2	B	K	n_1	$n(q=0,5)$	T	G	V
ROC	2.10.(a)	7	0,0862	754	761	0,0092	121	469	0,258	0,1336	0,0547	0,2033	4,3324
	2.10.(b)	8	0,0636	762	770	0,0104	120	460	0,2609	0,13563	0,0625	0,1984	5,1706
	2.10.(c)	8	0,1371	756	764	0,0105	120	466	0,2575	0,13399	0,0625	0,195	5,1706
SSM2	2.10.(d)	14	0,0688	788	802	0,0175	114	428	0,2664	0,14191	0,1094	0,157	7,0214
	2.10.(e)	7	0,1585	764	771	0,0091	121	459	0,2636	0,13635	0,0547	0,2089	5,2118
BE	2.10.(f)	9	0,2602	704	713	0,0126	119	517	0,2302	0,12139	0,0703	0,1599	7,5783
	2.10.(g)	5	0,2301	726	731	0,0068	123	499	0,2465	0,12667	0,0391	0,2074	7,1827
BK	2.10.(h)	13	0,0437	767	780	0,0167	115	450	0,2556	0,13611	0,1016	0,154	9,2451
	2.10.(i)	7	0,0351	766	773	0,0091	121	457	0,2648	0,13691	0,0547	0,2101	7,6379
	2.10.(i)	10	0,0269	810	820	0,0122	118	410	0,2878	0,15	0,0781	0,2097	10,042
	2.10.(a)	6	0,055	796	802	0,0075	122	428	0,285	0,14626	0,0469	0,2382	9,5102
	2.11.(b)	10	0,0574	808	818	0,0122	118	412	0,2864	0,14932	0,0781	0,2083	9,9908
	2.11.(c)	6	0,0536	794	800	0,0075	122	430	0,2837	0,14561	0,0469	0,2368	9,5316
KO	2.11.(d)	18	0,2939	687	705	0,0255	110	525	0,2095	0,11753	0,1406	0,0689	9,2481
	2.11.(e)	6	0,1967	744	750	0,008	122	480	0,2542	0,13108	0,0469	0,2073	6,5555
MP	2.11.(f)	20	0,2798	657	677	0,0295	108	553	0,1953	0,11242	0,1563	0,039	8,9087
	2.11.(g)	5	0,2405	719	724	0,0069	123	506	0,2431	0,12499	0,0391	0,204	7,0955
	2.11.(h)	27	0,1058	793	820	0,0329	101	410	0,2463	0,13963	0,2109	0,0354	9,5412
	2.11.(i)	10	0,0943	803	813	0,0123	118	417	0,283	0,14764	0,0781	0,2048	7,3521
ÇK	2.11.(i)	6	0,0934	801	807	0,0074	122	423	0,2884	0,14793	0,0469	0,2415	6,079

Açıklamalar:
 p : İstisnai eleman sayısı n_1 : Blokların toplam yoğunluğu, denklem (1.6)
 S : Hücre başına ortalama yoğunluk sapması, denklem (1.5) n : Gruplama verimliliği, denklem (1.8)
 L : Bloklar dışındaki “0” girdilerinin sayısı q : Ağırlık faktörü
 D : Bloklar dışındaki toplam eleman sayısı T : Hücreler arası işlem hareketleri ölçütü, denklem (1.10)
 n_2 : Hücreler arası hareket verimlilik ölçütü, denklem (1.7) G : Gruplama ölçütü, denklem (1.9)
 B : Bloklar içerisindeki “1” girdilerinin toplamı V : Kümeleme ölçütü, denklem (1.13), (Bloklar köşegen üzerinde olmayan şekillerde köşegenleştirildikten sonra hesaplanmıştır.)
 K : Bloklar içerisindeki toplam eleman sayısı

Tablo 19’da görüldüğü gibi en düşük istisnai eleman sayısı olan “5” BE ve MP yöntemleriyle elde edilmiştir. Minimum istisnai eleman açısından en verimli yöntemler bunlardır gözüyle bakılabilir. Fakat bunu netleştirebilmek için tek bir örnekle yetinmeyip, değişik büyüklükte birkaç örneğin daha çözülmesinde yarar vardır.

Hücre başına ortalama yoğunluk sapması olan “*S*” değeri ne kadar sıfıra yakın çıkarsa atölyedeki hücre işlem yoğunlukları o derece birbirine eşit olacaktır. Bu da hücre büyüklükleri ve yoğunlukları açısından dengeli bir atölye anlamına gelir. Ne kadar sıfırdan büyük çıkarsa atölyedeki hücrelerin işlem yoğunluklarının o derece birbirinden farklı olduklarını gösterir. Bu da hücre büyüklükleri ve yoğunlukları açısından dengesiz bir atölye anlamına gelir. Tablo 19’daki “*S*” değerlerine bakıldığında BK yönteminin diğerlerine göre sıfıra en yakın değerleri verdiği görülür. Bu durum, hücreler arasındaki yoğunluk dağılımında BK yönteminin diğer yöntemlere göre daha adil (ideale en yakın) olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Kümeleme ölçütü “*V*” ne kadar küçük çıkarsa blok-köşegen matristeki “1” girdileri o kadar köşegene yakın yerlerde toplanmışlar anlamına gelir. Tablo 19’daki “*V*” değerlerine bakıldığında en küçük değerleri ROC, SSM2 ve ÇK yöntemleri vermiştir. Buna göre bu yöntemlerde blok-köşegen bir yapıyı oluşturmak diğer yöntemlere göre daha kolaydır yorumu yapılabilir. Gruplama verimliliği (*n*) tüm yöntemlerde birbirine yakın değerlerde çıktığı için burada “*n*”e göre bir yorumda bulunmak uygun görülmemektedir.

Son analizlerden de anlaşıldığı gibi herhangi bir yöntemi tek bir ölçüte göre değerlendirmek doğru değildir. Bir yöntem belirli bir ölçüte göre düşük bir performans sergileyebileceği gibi diğer bir ölçüte göre de iyi bir performans sergileyebilir. Dolayısıyla, atölye yöneticisi hücreleri oluştururken tek bir yöntemle yetinmemeli, birden fazla yöntemi değişik performans ölçütlerine göre mutlaka karşılaştırmalıdır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK KÜMELEME YÖNTEMLERİ VE HÜCRESEL ÜRETİM

Buraya kadar yapılan açıklamalarda hep ikili veriler (0 ve 1) kullanılmıştır. Bir makinenin herhangi bir hücreye ait olduğunu göstermek için “1”, ait olmadığını göstermek içinse “0” kullanılmıştır. Aynı kullanım şekli parça ve parça aileleri için de geçerlidir. Burada bir kesinlik söz konusudur. Bir makine bir hücreye aittir veya değildir. Aynı şekilde bir parça, bir parça ailesine aittir veya değildir. Oysa, gerçek bir iş atölyesi ortamında, çoğu zaman bu denli kesin verilerle çalışmak mümkün olmamaktadır. Bir parçanın tamamıyla belirli bir parça ailesine ait olacağı ve diğer parça ailelerine hiçbir şekilde ait olamayacağı ender rastlanır bir olaydır. Bir makinenin de yalnızca bir parça ailesi içerisindeki belirli parçaları işleyebileceğini ve diğerleri üzerinde hiçbir işlem yapma yeteneğinin olmadığını söylememiz çoğu zaman mümkün olmaz. Bu bölümde, bu sorunu gidermeye yönelik geliştirilen bulanık kümeleme yöntemleri ve bunların HÜ’de kullanılmaları üzerinde durulacaktır.

3.1. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELERİN TEMEL KAVRAMLARI

3.1.1. Belirsizlik Kavramı

İnsanlar genel olarak bulanık terimler kullanmalarına rağmen çoğu zaman bunu ne kadar sık kullandıklarının farkında değildirler. Örneğin, “Eğer hava güzel olursa ve zaman bulabilirsem, yarın muhtemelen Uludağ’a gideceğim.” cümlesi, bulanık ve kesin olmayan ifadeler içermektedir. Günlük hayatta kullanılan birçok cümle böyle kurulmaktadır. Aynı cümlenin “Eğer sıcaklık 24 derecenin üzerinde olur, bulutlar gökyüzünün sadece %10’unu kaplarsa ve 3 saatlik bir boş zaman bulabilirsem, %50 olasılıkla yarın Uludağ’a gideceğim.” şeklinde hemen hemen hiç kullanılmadığı görülür. Buna benzer örneklere bakarak günlük hayatın çoğunu belirsizliklerin ve kesin olmama durumlarının oluşturduğunu görmek mümkündür.

Modern bilimde kullanılan matematiksel modeller içerisindeki belirsizliğin, miktar ve etkileri kesin olarak elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu da modern bilimde

yaşanan en önemli paradokslardan (mantık dışı) biridir⁸³. Kesin olmayan ölçümler, tesadüfi oluşumlar ve kesinlik içermeyen açıklamalar gibi nedenlerden dolayı belirsizlik tanımlanmaya çalışılır. Belirsizliğin birden fazla kaynağı vardır ve kapsanılan belirsizliğin türü model seçimini etkilemektedir.

Belirsizlik türlerinden en önemli iki tanesi stokastik belirsizlik ve sözel belirsizliktir. Stokastik belirsizlik belirli bir olayın meydana gelişi hakkında içerilen belirsizliktir. Örneğin, “Hedefe vurma olasılığı %80’dir.” ifadesi stokastik bir belirsizlik içermektedir. Sözel belirsizlik ise insan dilbilimi içerisinde yatmaktadır. İnsanların kavramları değerlendirmede ve sonuçlar çıkarmada kullandıkları çoğu sözcük bu tür belirsizliğe yol açmaktadır. Örneğin, “uzun adam”, “sıcak günler” gibi ifadelerin kesin bir tanımını yapmak mümkün değildir⁸⁴. Uzunluk kavramı bir çocuk için farklı, bir yetişkin için ise daha farklı olacaktır. Aynı şekilde, sıcaklık kavramı kuzeyde yaşayan bir toplum için farklı, güneyde yaşayan bir toplum için ise daha farklı olacaktır.

3.1.2. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu

Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanmaktadır. İlk olarak 1965 yılında Lotfi Zadeh tarafından ortaya konulmuştur ve 1980’lere kadar çok fazla ilgi topladığı söylenemez. Ancak, o yıllardan itibaren, gelişen bilgisayar teknolojisinin de katkılarıyla günümüzde birçok alanda uygulandığı görülmektedir.

Klasik kümelerde bir eleman bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Diğer bir anlatımla, bir eleman bir kümeye ya tam olarak üyedir ya da o kümenin tam olarak üyesi değildir. Verilen bir A kümesi için bu durum bir karakteristik veya ayrıştırma fonksiyonuyla belirlenebilir.

Evrensel küme içerisindeki her x elemanına bir rakam atayan fonksiyona üyelik fonksiyonu denilmektedir. X evrensel küme olmak üzere bu fonksiyon, her $x \in X$ için, “ $\mu_A(x)$ ” ile gösterilen bir üyelik değeri atayacaktır.

⁸³ Bezdek, James C., **Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms**, Plenum Press, New York, New York, USA, 1981, s. 7.

⁸⁴ Altrock, Constantin Von, **Fuzzy Logic and NeuroFuzzy Applications Explained**, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1995, s. 7.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{ancak ve ancak } x \in A \text{ ise} \\ 0, & \text{ancak ve ancak } x \notin A \text{ ise} \end{cases} \quad (3.1)$$

Bu fonksiyon, yalnızca sıfır ve bir elemanından oluşan bir kümeye doğru, evrensel küme elemanlarının gönderimlerini sağlamaktadır. ($\mu_A : X \rightarrow \{0, 1\}$)

Örneğin, 20 ve daha aşağı yaştaki insanlardan oluşan A kümesine gençler kümesi densin. Böyle bir kesin küme için karakteristik fonksiyonu aşağıdaki şekilde olacaktır:

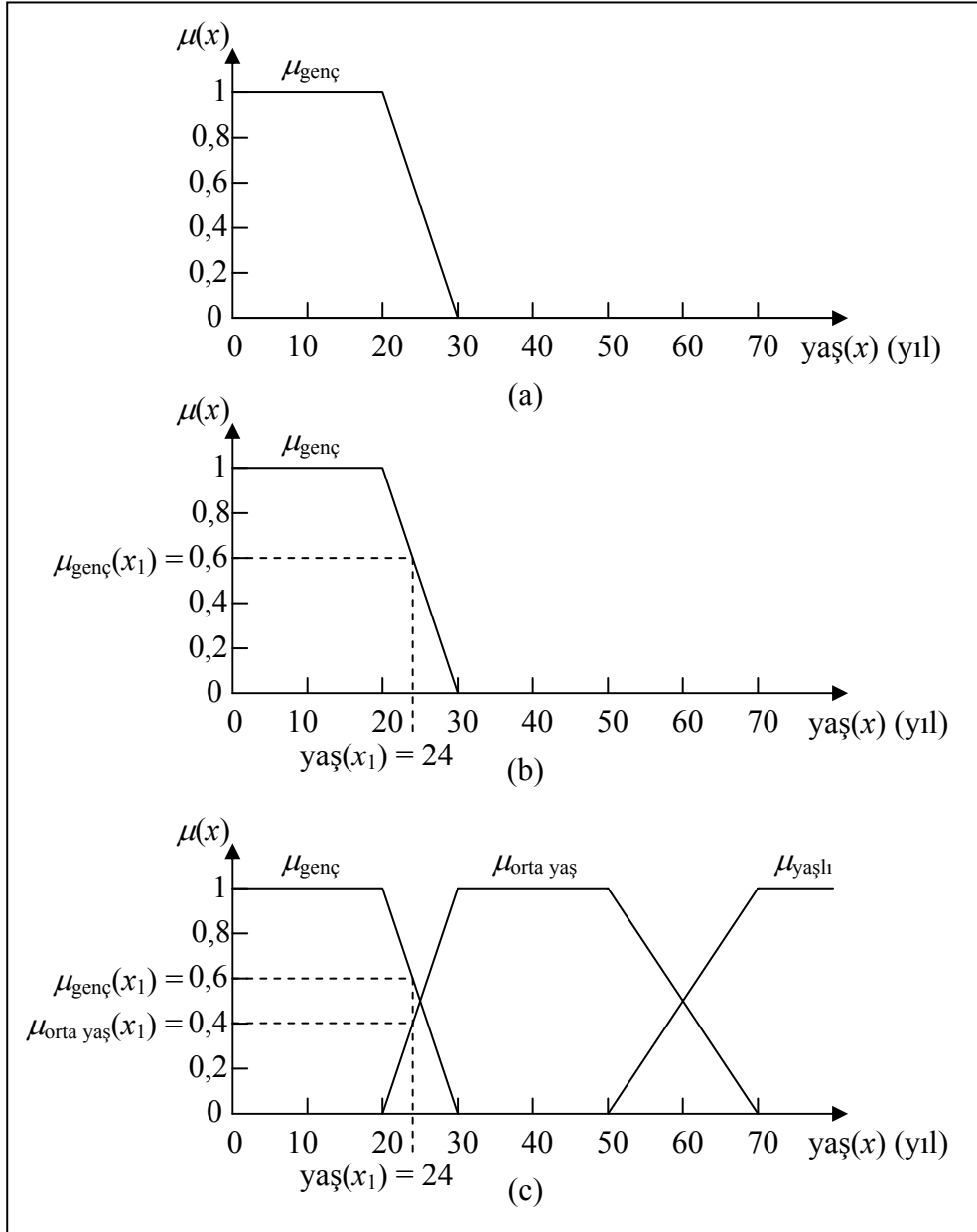
$$\mu_{genç}(x) = \begin{cases} 1, & \text{yaş}(x) \leq 20 \text{ ise} \\ 0, & \text{yaş}(x) > 20 \text{ ise} \end{cases} \quad (3.2)$$

Bu durumda eğer bir kişinin yaşı 20 ve daha küçük ise kesin olarak gençler kümesine ait olacak, eğer yaşı 20'den büyükse kesin olarak gençler kümesine ait olmayacaktır. Dolayısıyla, bu tarz bir ifadede tam bir kesinlik söz konusudur.

Yukarıdaki örneğe aslında, yapısı itibarıyla bir belirsizlik hakimdir. 21 yaşındaki bir kişinin genç olmadığı nasıl iddia edilebilir? İşte bu noktada bulanık küme devreye girmektedir. Elbette ki, 21, 22, 23 ve hatta daha yukarı yaştakiler de, tam üyesi olmasalar da, gençler kümesine belirli üyelik derecelerinde ait olacaklardır. Bu aitlik 20 ve daha alt yaştakiler için tam, yani "1", belirli bir yaşa kadar olan 20'nin üzerindeki yaşlarda "0"dan büyük ve "1"den küçük bir değer alacaktır. Bu belirli yaşın daha üzerindeki ise gençler kümesine kesinlikle hiç ait olmayacaklar yani, bunların üyelikleri "0" olacaktır. Eğer artık hiç genç olmamanın sınırı 30 yaş ve yukarısı olarak belirlenirse, bu anlatılanları gösteren bulanık, doğrusal bir üyelik fonksiyonu şöyle olacaktır:

$$\mu_{genç}(x) = \begin{cases} 1, & \text{yaş}(x) \leq 20 \text{ ise} \\ 1 - \frac{\text{yaş}(x) - 20}{10}, & 20 < \text{yaş}(x) < 30 \text{ ise} \\ 0, & \text{yaş}(x) \geq 30 \text{ ise} \end{cases} \quad (3.3)$$

Burada görüleceği gibi 20’den itibaren 30’a doğru yaş arttıkça, gençler kümesine olan üyelik dereceleri doğrusal olarak gittikçe azalmaktadır. Bu fonksiyonun grafik olarak gösterimi Şekil 3.1.(a)’daki gibidir.



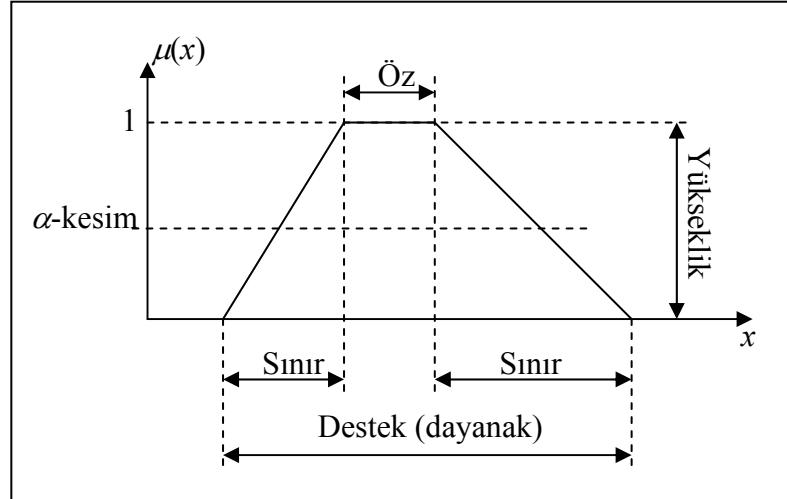
Şekil 3.1. Bulanık, Doğrusal Üyelik Fonksiyonları ve Üyelik Dereceleri.

Şekil 3.1.(b) 24 yaşın gençler kümesine olan üyelik derecesini (0,6) grafik üzerinde göstermektedir. Eğer orta yaş ve yaşlılar için birer üyelik fonksiyonu daha

verilmiş olsaydı tüm bu üyelik fonksiyonlarının tek bir grafikte gösterimi de muhtemelen Şekil 3.1.(c)'ye benzer olacaktı. Örneğin 24 yaşın hem gençler kümesine hem de orta yaşlılar kümesine belirli birer üyelik derecelerinde ait olması söz konusu olacaktır. Ayrıca, 24 yaş yaşlılar kümesine kesinlikle ait değildir.

Böylece, bulanık bir küme sürekli üyelik derecelerinden oluşan bir nesnelere sınıfıdır. Bu tür bir küme her nesneye sıfırdan bir kadar değişen bir üyelik derecesinin atandığı bir üyelik fonksiyonu tarafından karakterize edilmektedir⁸⁵. ($\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$)

Bulanık kümelerdeki üyelik fonksiyonlarının temel olarak “destek”, “öz”, “ α -kesim” ve “yükseklik” olmak üzere dört parametresi vardır. Bütün bu parametreler Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Üyelik fonksiyonunun sıfırdan büyük olduğu bölgeye destek (dayanak) denir. Elemanların bir bulanık küme maksimum üyelik derecesinde (maksimum üyelik derecesi genelde 1’dir) ait oldukları bölgeye öz denir. Belirli bir α yüksekliğinden, üyelik fonksiyonunun bir baştan diğer başa kesilmesine α -kesim denir. Bir üyelik fonksiyonunun aldığı en yüksek değere yükseklik denir. Üyelik dereceleri 1’e veya 0’a eşit olmayan öğelerin oluşturduğu kısımlara da üyelik fonksiyonunun “sınırları” veya “geçiş bölgeleri” denir.



Şekil 3.2. Bir Üyelik Fonksiyonundaki Parametreler.

⁸⁵ Zadeh, L. A., “Fuzzy Sets”, **Information and Control**, Vol. 8, No. 3, 1965, s. 338.

Normal bulanık kümelerde yüksekliğin 1'e eşit olması gerekmektedir. Diğer bir anlatımla, yüksekliği 1'e eşit olmayan bulanık kümeler normal olmadıklarından dolayı herhangi bir bulanık küme, mantık ve sistem çalışmasında kullanılamaz. Normal olmayan kümeleri normale dönüştürmek için, kümenin her bir üyelik derecesinin, en büyük üyelik derecesine bölünmesi gereklidir. Normalleştirme işleminin daha gelişmiş bir şekli bölüm 3.2.2'de anlatılmaktadır.

Böylece, bir kümenin bulanık küme olabilmesi ve bulanık mantık ve küme işlemlerinde kullanılabilmesi için aşağıdaki özelliklerden ilk iki tanesini mutlaka taşıması gerekir⁸⁶.

1) Bulanık kümenin normal olması.

2) Bulanık kümenin monoton olması: Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağda ve soldaki öğelerin üyelik derecelerinin de 1'e yakın olması.

3) Bulanık kümenin simetrik özelliği: Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa veya sola hareket edildiğinde bulunan öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olmaları.

3.1.3. Üyelik Fonksiyonu Çeşitleri

Herhangi bir uygulama içerisinde bulanık mantık kullanmak istenildiğinde bu uygulamaya en uygun olan bir veya birden fazla üyelik fonksiyonlarının önceden belirlenmesi gerekmektedir. Yanlış bir üyelik fonksiyonuyla, uygulamanın elde edilecek sonuçları da yanlış olacaktır.

Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarıyla temsil edilmelerinde iki değişik evren şekli kullanılabilir. Bunlar "ayrık evren" ve "sürekli evren" şeklindeki temsillerdir. Sürekli evren temsil şeklindeki üyelik fonksiyonu matematiksel bir fonksiyondur. Ayrık evren temsil şeklindeki üyelik fonksiyonu ise bir liste (vektör) şeklinde verilen ayrık noktalardan oluşur. Örneğin C bulanık kümesi "Türkiye'de yaşamak için arzu edilen şehirler" kümesi olsun. X evrensel küme ve $x \in X$ olmak üzere;

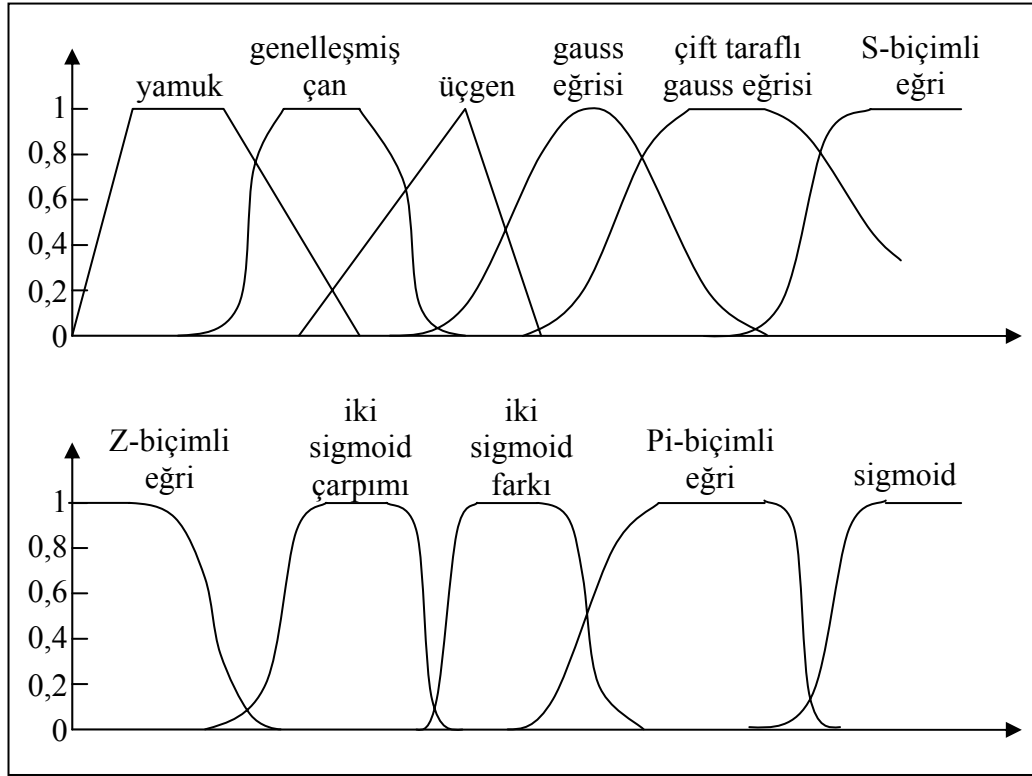
$$X = \{\text{İstanbul, Bursa, İzmir, Antalya}\}$$

$$C = \{(\text{İstanbul}, 0,3), (\text{Bursa}, 0,7), (\text{İzmir}, 0,8), (\text{Antalya}, 0,9)\}$$

⁸⁶ Şen, Zekai, **Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri**, Bilge Sanat Yapım Yayın, İstanbul, 2001, s. 17.

biçimindeki temsile ayırık evren temsil şekli denir. Bu çalışmanın ekler bölümündeki EK.1 sürekli evren şeklindeki üyelik fonksiyonlarının grafiklerini ve elde edilmiş denklemlerini göstermektedir⁸⁷.

Üyelik fonksiyonları doğrusal veya eğrisel olabilirler. Doğrusal üyelik fonksiyonlarından en çok kullanılanları üçgen ve yamuk şeklinde olanlardır. Eğrisel üyelik fonksiyonlarının çeşitleri ise çok daha fazladır. Bu temel üyelik fonksiyonlarından en yaygın kullanılanlarının toplu grafikleri ve isimleri Şekil 3.3. ile gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Yaygın Kullanılan Bazı Üyelik Fonksiyonu Biçimleri.

3.1.4. Bulanık Mantık ve Küme İşlemleri

Bulanık mantık çıkarımı hakkında hatırlanması gereken en önemli şey, onun standart Boole mantığının bir süper kümesi olduğudur. Diğer bir anlatımla, eğer bulanık

⁸⁷ Kaufmann, Arnold., **Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets: Fundamental Theoretical Elements**, Vol. 1, Academic Press Inc., 1975, New York, New York, USA, 1975, ss. 168-171.

mantık değerleri kendi en uç noktaları olan 1 (tamamen doğru) ve 0 (tamamen yanlış) değerlerinde tutulursa standart mantık işlemleri elde edilir. İki değerli Boole mantığında bir önerme ya doğrudur ya da yanlıştır. Böylece her ikisinin de aynı anda oluşması beklenemez. İfadeye atanmış olan doğruluk veya yanlışlık onun doğruluk değerini göstermektedir. Bulanık mantıkta ise bir önerme hem doğru veya yanlış, hem de bu ikisi arasında bir doğruluk değeri alabilir. “Belki doğru” ifadesi buna verilebilecek güzel bir örnektir. Dolayısıyla, bulanık mantıkta ikili değerler yerine çoklu değerlerden oluşan bir mantık söz konusudur. Girdi değerleri 0 ile 1 arasında gerçel sayılar olabileceği için bulanık mantıktaki herhangi bir ifadenin doğruluğu ancak derece ile anlatılabilmektedir.

Bir bulanık küme, tamamıyla bir üyelik fonksiyonu tarafından karakterize edildiği için, bulanık bir A kümesinin tümleyeni $(1 - A)$ ile ifade edilebilir. Herhangi iki bulanık kümenin birleşimi bir bulanık küme ve kesişimi de yine bir bulanık küme olacaktır. A , B ve C bulanık kümeler ve X evrensel küme olmak üzere bu birleşim, kesişim ve tümleyen özellikleri şu şekilde ifade edilmektedir⁸⁸:

$$A \text{ ve } B \text{'nin birleşimi kısaca, } \mu_C(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \text{ şeklinde gösterilir ve}$$

$$\mu_C(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad \text{olur.} \quad (3.4)$$

$$A \text{ ve } B \text{'nin kesişimi kısaca, } \mu_C(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \text{ şeklinde gösterilir ve}$$

$$\mu_C(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad \text{olur.} \quad (3.5)$$

$$A \text{'nın tümleyeni, } \mu_{A'}(x) \text{ şeklinde gösterilir ve}$$

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \text{olur.} \quad (3.6)$$

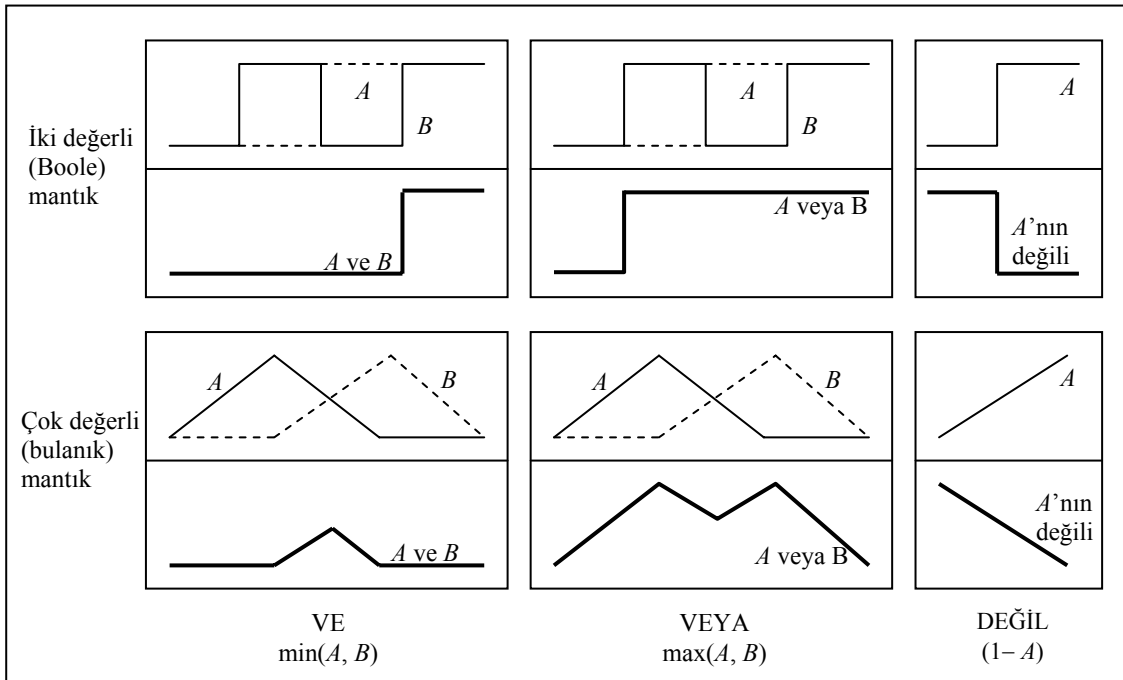
Bu anlatılan işlemlerin normal ve bulanık mantıktaki durumları Tablo 20 ve Şekil 3.4'te gösterilmektedir.

⁸⁸ Zadeh, a.g.m., ss. 340-341.

Tablo 20: Standart ve Bulanık Mantık Doğruluk Tabloları.

Standart Doğruluk Değerleri Tablosu								
A	B	A ve B	A	B	A veya B	A	Değili	
0	0	0	0	0	0	0	1	
0	1	0	0	1	1	1	0	
1	0	0	1	0	1			
1	1	1	1	1	1			
VE			VEYA			DEĞİL		

Bulanık Mantık Doğruluk Değerleri Tablosu								
A	B	min(A, B)	A	B	max(A, B)	A	1-A	
0	0	0	0	0	0	0	1	
0	1	0	0	1	1	1	0	
1	0	0	1	0	1			
1	1	1	1	1	1			
VE			VEYA			DEĞİL		



Şekil 3.4. Standart ve Bulanık Mantık İşlemlerinin Grafikselsel Gösterimi.

“ \cup ” küme birleşimini, “ \cap ” küme kesişimini, “ A' ” A kümesinin tümleyenini (değilini), “ \emptyset ” boşküme, “ E ” evrensel küme, A, B, C normal kümeleri ve $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}$ de bulanık kümeleri göstermek üzere kümelerin işlemsel özellikleri Tablo 21’deki gibi gösterilebilir.

Tablo 21: Normal ve Bulanık Küme İşlemlerinin Özellikleri.

	Normal Kümelerin Özellikleri	Bulanık Kümelerin Özellikleri
Çift tümleme özelliği	$(A')' = A$	$\mu_{(A)'}(x) = \mu_A(x)$
Değişme özellikleri	$A \cup B = B \cup A$ $A \cap B = B \cap A$	$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = \mu_{\underline{B} \cup \underline{A}}(x)$ $\mu_{\underline{A} \cap \underline{B}}(x) = \mu_{\underline{B} \cap \underline{A}}(x)$
Birleşme özellikleri	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C$ $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C$	$\mu_{\underline{A} \cup (\underline{B} \cap \underline{C})}(x) = \mu_{(\underline{A} \cup \underline{B}) \cap \underline{C}}(x)$ $\mu_{\underline{A} \cap (\underline{B} \cup \underline{C})}(x) = \mu_{(\underline{A} \cap \underline{B}) \cup \underline{C}}(x)$
Dağılma özellikleri	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$ $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$	$\mu_{\underline{A} \cup (\underline{B} \cap \underline{C})}(x) = \mu_{(\underline{A} \cup \underline{B}) \cap (\underline{A} \cup \underline{C})}(x)$ $\mu_{\underline{A} \cap (\underline{B} \cup \underline{C})}(x) = \mu_{(\underline{A} \cap \underline{B}) \cup (\underline{A} \cap \underline{C})}(x)$
Tek kuvvet özellikleri	$A \cup A = A$ $A \cap A = A$	$\mu_{\underline{A} \cup \underline{A}}(x) = \mu_A(x)$ $\mu_{\underline{A} \cap \underline{A}}(x) = \mu_A(x)$
Birim eleman özellikleri	$A \cup \emptyset = A$ $A \cap E = A$	$\mu_{\underline{A} \cup \emptyset}(x) = \mu_A(x)$ $\mu_{\underline{A} \cap E}(x) = \mu_A(x)$
Ters eleman özellikleri	$A \cup A' = E$ $A \cap A' = \emptyset$ $E' = \emptyset, \emptyset' = E$	geçerli değildir geçerli değildir geçerli değildir
De Morgan kuralları	$(A \cup B)' = A' \cap B'$ $(A \cap B)' = A' \cup B'$	$\mu_{(\underline{A} \cup \underline{B})'}(x) = \mu_{\underline{A}' \cap \underline{B}'}(x)$ $\mu_{(\underline{A} \cap \underline{B})'}(x) = \mu_{\underline{A}' \cup \underline{B}'}(x)$
Yutma özellikleri	$A \cup (A \cap B) = A$ $A \cap (A \cup B) = A$	geçerli değildir geçerli değildir
Tümleyenin yutma özellikleri	$A \cup (A' \cap B) = A \cup B$ $A \cap (A' \cup B) = A \cap B$	geçerli değildir geçerli değildir
Evrensel ve boş kümenin yutma özelliği	$A \cup E = E$ $A \cap \emptyset = \emptyset$	$\mu_{\underline{A} \cup E}(x) = \mu_E(x)$ $\mu_{\underline{A} \cap \emptyset}(x) = \mu_{\emptyset}(x)$

Kaynak: Özkan, Mustafa M., **Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Tekstil İşletmesinde Uygulama Denemesi**, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Uludağ Üni. Sos. Bil. Enst., Bursa, 2002, s. 19.

Klasik normal bir X kümesinin elemanları bilineceği üzere $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ şeklinde gösterilmektedirler. Bir bulanık, ayrık X kümesinin gösterimi denklem (3.7)'deki gibidir.

$$X = \left\{ \frac{\mu(x_1)}{x_1} + \frac{\mu(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu(x_n)}{x_n} \right\} = \left\{ \sum_i^n \frac{\mu(x_i)}{x_i} \right\} \quad (3.7)$$

Bulanık kümenin sürekli olması durumunda ise denklem (3.8)'deki gösterim şekli kullanılır.

$$X = \left\{ \int \frac{\mu(x)}{x} \right\} \quad (3.8)$$

Her iki gösterim şeklinde de bölme işareti bilinen bölme işlemi göstermez. Bunun yerine, bölme işaretinin altındaki gerçek sayının üstteki üyelik derecesine karşılık geldiğini gösterir. Denklem (3.7)'deki artı işaretleri toplama işlemi göstermemektedir. Bu artı işaretleri küme üyelerinin topluluğunu ifade etmektedir. Denklem (3.7)'de sigma ile gösterilen toplam işareti ve denklem (3.8)'deki integral işareti de bilinen toplam ve integral işlemi göstermemektedir. Bunun yerine, bunlar küme topluluğunu (birlikteliğini) gösteren işaretler olarak algılanmalıdırlar⁸⁹.

A ve B bulanık iki küme olmak üzere aşağıdaki gibi oldukları varsayalım:

$$A = \{1/a + 0,3/b + 0,2/c + 0,8/d + 0/e\}$$

$$B = \{0,6/a + 0,9/b + 0,1/c + 0,3/d + 0,2/e\}$$

A ve B bulanık kümelerinin desteği;

$$\text{Destek}(A) = \{a, b, c, d\}$$

$$\text{Destek}(B) = \{a, b, c, d, e\}$$

A ve B bulanık kümelerinin özü;

$$\text{Öz}(A) = \{a\}$$

$$\text{Öz}(B) = \{\emptyset\}$$

⁸⁹ Özkan, a.g.e., s.12.

A ve B bulanık kümelerinin kardinalitesi;

$$\text{Kard}(A) = 1 + 0,3 + 0,2 + 0,8 + 0 = 2,3$$

$$\text{Kard}(B) = 0,6 + 0,9 + 0,1 + 0,3 + 0,2 = 2,1$$

A bulanık kümesinin değili;

$$A' = \{0/a + 0,7/b + 0,8/c + 0,2/d + 1/e\}$$

A ve B bulanık kümelerinin birleşimi;

$$C = A \cup B = \{1/a + 0,9/b + 0,2/c + 0,8/d + 0,2/e\}$$

A ve B bulanık kümelerinin kesişimi;

$$D = A \cap B = \{0,6/a + 0,3/b + 0,1/c + 0,3/d + 0/e\}$$

olur.

Bulanık bir küme ile onun tümleyeninin kesişimi boş küme değildir. Verilen örneğe göre;

$$E = A' \cap A \neq \emptyset$$

$$\mu_E(x) = [\min(\mu_{A'}(x), \mu_A(x))]$$

$$E = \{0/a + 0,3/b + 0,2/c + 0,2/d + 0/e\}$$

olur.

Eğer A' 'ya X 'in bir bulanık alt kümesidir denirse ve α herhangi bir pozitif sayı olmak üzere A^α , B 'nin bir bulanık alt kümesidir.

$$\mu_B(x) = (\mu_A(x))^\alpha$$

$$A^2 = \{1/a + 0,36/b + 0,09/c + 0/d + 0,25/e\}$$

$$\sqrt{A} = A^{1/2} = \{1/a + 0,774/b + 0,548/c + 0/d + 0,707/e\}$$

Yoğunlaşma (konsantrasyon): Eğer $\alpha > 1$ ise $A^\alpha \subset A$ olur ve üyelik artar.

Dilatasyon (genişleme ya da şişme): Eğer $\alpha < 1$ ise $A^\alpha \supset A$ olur ve üyelik azalır.

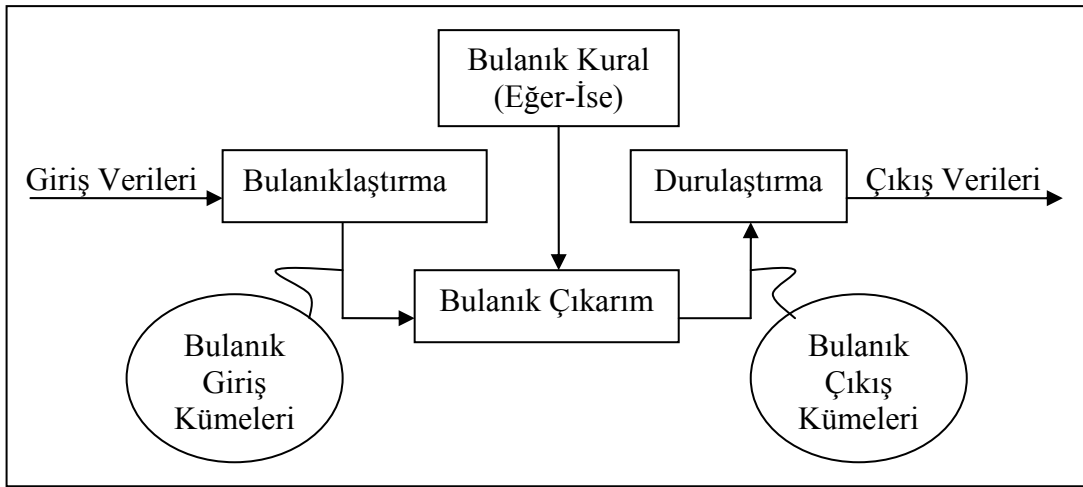
X 'in A bulanık alt kümesinin α -kesim kümesi X 'in kesin bir alt kümesidir:

$$A_\alpha = \{x \mid \mu_A(x) \geq \alpha, x \in X\} \quad (3.9)$$

Yukarıdaki örnekte bulanık küme $A = \{1/a + 0,3/b + 0,2/c + 0,8/d + 0/e\}$ olduğuna göre; $A_{0,2} = \{a, b, c, d\}$, $A_{0,3} = \{a, b, d\}$, $A_{0,8} = \{a, d\}$, $A_1 = \{a\}$ olacaktır.

3.1.5. Bulanık Mantık Sisteminin Öğeleri

Bir bulanık mantık sistemi bulanıklaştırma, bulanık çıkarım ve durulaştırma olmak üzere temel üç öğeden oluşur. Bu temel öğelere giriş ve çıkış verileri ile bulanık giriş ve çıkış kümeleri eklendiğinde tam bir bulanık sistemi Şekil 3.5'teki gibi göstermek mümkündür⁹⁰.



Şekil 3.5. Bulanık Mantık Sistemi.

3.1.5.1. Bulanıklaştırma

Bulanık sistem içerisinde yapılacak ilk işlem, girdileri sistem içerisine almaktır. Sonra, üyelik fonksiyonları yardımıyla elde edilmiş bulanık kümelere bu girdilerin aitlik dereceleri belirlenir. Girdi verileri daima kesin, rakamsal değerlerdir ve bunlar girdi değişkeninin evrensel kümesi ile sınırlıdır. Girdilerin üyelik dereceleri ise sözel (linguistic) kümeleri niteleyen ve daima 0 ile 1 arasında değerler alan bulanık üyelik dereceleri olurlar. Sözel kümelere örnek olarak şunlar verilebilir:

Açı = {pozitif büyük, pozitif küçük, sıfır, negatif küçük, negatif büyük}

Mesafe = {çok uzak, uzak, yakın, çok yakın, sıfır}

Bu sözel kümelerin içerisindeki elemanların her birinin Şekil 3.1.(c)'deki gibi evrensel küme sınırlarının belirlenmesi gerekir. Bunun sonucunda bulanık alt kümeler

⁹⁰ Şen, a.g.e., s.25.

oluşur. Yukarıda verilen örneklere göre herhangi bir açı veya mesafenin kesin, rakamsal değeri alındığında, bunun, hangi üyelik dereceleriyle hangi bulanık alt kümelere ait olduğu tespit edilir. Böylece bulanıklaştırma tamamlanmış olur.

3.1.5.2. Bulanık Çıkarım

Bulanık çıkarımda kullanılan en önemli araç “eğer-ise” kurallarıdır. Bir eğer-ise kuralının basit yapısı “eğer $x = A$ ise $y = B$ dir” şeklindedir. Burada x girdi değişkeni, y de çıktı değişkenidirler. Bir bulanık sistemde birden fazla eğer-ise kuralı bulunabilir.

Bulanık çıkarımın hesaplanması iki aşamalı bir süreçtir. İlk aşamasında her kuralın “eğer” kısımları, ikinci aşamasında da her kuralın “ise” kısımları hesaplanır⁹¹. Bir kuralın “eğer” kısmında bir veya birden fazla girdi değişkeni bulunabilir. Fakat, “ise” kısmındaki çıktı değişkeni her kuralda bir tanedir. Birden fazla kural olduğunda bu kuralların girdi değişken sayıları birbirinden farklı veya aynı olabilir.

Bir kuralın “eğer” kısmındaki iki girdi değişkeni arasında denklem (3.4) ve (3.5) ile verilen bulanık mantık işlemlerinden (“ve”, “veya” işlemleri) biri uygulanır. Kuraldaki girdi değişkeni sayısı ikiden fazlaysa bunların her biri arasında farklı farklı bulanık mantık işlemleri de uygulanabilir. Neticede bir kuralın “eğer” kısmından “ise” kısmına gönderilen, tek bir rakamdır. Bu rakam bu kuralın verilen mevcut durum için ne derece doğru olduğunu yani, doğruluk derecesini göstermektedir.

Bir kuralın “ise” kısmında, “eğer” kısmından alınan bulanık verilerin kompozisyonu, önce bir bulanık çıktı kümesine (çıkıtı üyelik fonksiyonuna) dönüştürülür. Sonra da bu bulanık çıktı kümesi bir anlamlandırma yöntemi kullanılarak anlamlı hale getirilir. Yaygın kullanılan anlamlandırma yöntemlerinden biri “minimum” yöntemidir. Bu yöntemde önceki “eğer” kısmından gelen tek doğruluk derecesi rakamının hizasından bulanık çıktı kümesinin tepesi kesilir. Dolayısıyla, bulanık çıktı kümesi “eğer” kısmından gelen veriye göre anlamlı hale getirilmiş olur.

Durulaştırma aşamasına geçmeden önce son yapılacak işlem, tüm kuralların anlamlandırma ile elde edilen çıktılarının birleştirilmeleri ya da diğer bir anlatımla toplanmalarıdır. Böylece, her kuralın çıktısıyla elde edilen bulanık kümeler tek bir

⁹¹ Altrock, a.g.e., s. 22.

bulanık küme altında toplanmış olur. Söz konusu olan bu toplama, değişme özelliğine sahip olduğu için birden fazla eğer-ise kuralı olduğunda bu kurallar arasında bir öncelik sonralık sırasının olması önemli değildir.

Bulanık çıkarımın bu son aşamasında “maksimum” ve “toplam” olmak üzere iki yöntem vardır. Maksimum yönteminde çıktıların birleştirilmesiyle oluşturulacak bu yeni bulanık alt küme, bütün bulanık çıktı alt kümelerinin noktasal olarak maksimumlarının alınmasıyla bulunur. Toplam yönteminde ise bütün bulanık çıktı alt kümelerinin noktasal olarak toplamları alınır. Doğal olarak bu ikinci yöntemde doğruluk değerleri 1’den büyük de çıkabilmektedirler.

3.1.5.3. Durulaştırma

Bulanık çıkarımın en son aşaması olan birleştirme aşaması tamamlandıktan sonra elde edilen küme yine bir bulanık kümedir. Bu bulanık kümenin gerçel değere çevrilmesi gerekir ki, uygulama açısından bir anlam taşıyın. Bulanık kümenin gerçel değere çevrilmesi işlemine durulaştırma denir.

Bazı uygulamalarda hiç durulaştırma kullanılmamaktadır. Bu tür uygulamalarda çıktı aşamasındaki sözel değişkenler için üyelik derecelerini gösteren vektör, sınıflandırma sonucunu da oluşturmaktadır. Çünkü bu üyelik dereceleri, ele alınan nesnelerin birbirlerine olan benzerliklerini göstermektedir⁹².

Durulaştırma aşamasının yerine getirilmesi için kullanılacak değişik yöntemler vardır. Uygulamanın amacına göre bu yöntemlerden en uygun olan birinin kullanılması gerekir. Yaygın kullanılan yöntemlerden bazıları şunlardır:

1) Sentroid (ağırlık merkezi) yöntemi: Durulaştırma ile elde edilecek olan kesin gerçel değere u denilirse, bu değer birleştirme ile elde edilen bulanık kümeye denklem (3.10) uygulanarak bulunur:

$$u = \frac{\sum_i \mu(x_i)x_i}{\sum_i \mu(x_i)} \quad (3.10)$$

⁹² Altrock, a.g.e., s. 242.

Buradaki sigma işareti cebir anlamında toplamayı gösterir⁹³. Sürekli gösterim şeklindeki üyelik fonksiyonlarında sigma (toplam) yerine integral işareti ve integral işlemi gelir.

- 2) Maksimum üyeliklerin en solundakine karşılık gelen apsis (u) değeri.
- 3) Maksimum üyeliklerin en sağındakine karşılık gelen apsis (u) değeri.
- 4) Maksimum üyeliklerin tam ortasına karşılık gelen apsis (u) değeri.

3.2. BULANIK KÜMELEME YÖNTEMLERİ

3.2.1. Bulanık c -Ortalamaları (FCM) Yöntemi

Verilerin kendi aralarında kümelendirilmelerinde kullanılan yöntemlerden biri FCM yöntemidir. Bu yöntemde herhangi bir veri noktası belirli üyelik derecelerine göre bir veya birden fazla kümenin elemanı olabilmektedir. Yöntem önceki kümeleme yöntemlerinin geliştirilmiş bir biçimi olarak ortaya konulmuştur. Çok boyutlu uzay oluşturan veri noktalarının önceden belirlenen sayıdaki farklı kümeler içerisinde nasıl gruplandırılacaklarını sağlayan bir yöntemdir.

Yönteme ilk önce tahmini başlangıç küme merkezlerinin oluşturulmalarıyla başlanır. Bu başlangıç küme merkezleri elbette istenilen küme sayısı kadar olacaktır. Bu küme merkezleri başlangıçta tahmini olarak atandıkları için büyük olasılıkla yanlış birer nokta olarak seçilmiştir. Bundan sonra tekrarlanan bir dizi işlem yardımıyla küme merkezleri için doğru olan noktalar bulunmaya çalışılır. Her işlem tekrarının sonunda küme merkezleri ve her veri noktasının bu merkezlerin oluşturduğu kümelere olan üyelik dereceleri güncellenmektedir. Her güncelleme işleminden sonra da küme merkezleri yavaş yavaş veri kümesi içerisindeki doğru olan yerlerine kaymaktadır. Bu tekrarlama işlemi bir amaç fonksiyonunun minimumlaştırılmasına dayanmaktadır. Bu amaç fonksiyonu ise verilen herhangi bir veri noktası ile bu veri noktasının üyelik derecesi tarafından ağırlıklandırılan bir küme merkezi arasındaki mesafeyi temsil etmektedir. Amaç ise bu mesafenin minimumlaştırılmasıdır. Diğer bir anlatımla, bu amaç fonksiyonu kümeler içerisindeki hata karelerinin toplamını minimumlaştırır.

⁹³ Şen, a.g.e., s. 120.

Kümelendirilecek olan elemanların (parçaların) elbette ki, önceden belirlenen k sayıdaki özelliklerine göre kümelendirilmeleri gerekir. Elemanlarda bulunması gereken özelliklerin her biri için birer alt küme oluşmaktadır. Her eleman her özelliğin oluşturduğu alt kümeye ancak belirli bir üyelik derecesinde üye olabilir. Eğer bir elemanda k 'nci özellik tam olarak varsa, bu eleman k 'nci özelliğin oluşturduğu alt kümeye tam olarak üye olacak demektir.

FCM yönteminin GT parça ailelerinin oluşturulmasında uygulanabilmesi için öncelikle $\mu_k(x_{jk})$ matrisinin oluşturulması gerekmektedir. Bu matristeki bir eleman, bir j parçasının, k özelliğiyle oluşturulan bulanık bir alt kümeye olan üyelik derecesini göstermektedir. Bir elemanın, belirli bir özellikle oluşturulan bulanık alt kümeye olan üyeliğini tespit etmek için örneğin, denklem (3.11)'deki gibi doğrusal bir üyelik fonksiyonundan yararlanılabilir. Eğer parça özelliklerini daha iyi tanımlayabiliyorlarsa kuadratik veya üssel fonksiyonlar da kullanılabilir⁹⁴.

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & b < x \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a < x \leq b \\ 0, & x \leq a \end{cases} \quad (3.11)$$

Buradaki doğrusal üyelik fonksiyonunda b bu özellik için gereken üst sınırı, a da alt sınırı göstermektedir. Eğer bir elemanda söz konusu olan özellik, b üst sınırını geçecek kadar bulunmaktaysa, bu eleman $\mu(x)$ üyelik fonksiyonlarının oluşturdukları bu alt kümeye tam (1) olarak üye olacaktır. Eğer elemanın bu özelliği, a alt sınırından daha az miktarda bulunuyorsa artık bu eleman bu bulanık kümeye hiç (0) üye değildir.

İkinci olarak kısıtlayıcı (3.13), (3.14) ve (3.15) ile gösterilen kısıtlayıcıları sağlayan, X elemanlarından (parçalarından) ve c sayıda kümeden oluşan, matris (3.12)'deki gibi bir U başlangıç sınıflandırma matrisinin oluşturulması gerekmektedir.

⁹⁴ Xu, - Wang., a.g.m., s. 1638.

$$U = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & X_3 & \cdots & X_n \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ c \end{matrix} & \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} & \cdots & u_{2n} \\ u_{31} & u_{32} & u_{33} & \cdots & u_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{c1} & u_{c2} & u_{c3} & \cdots & u_{cn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.12)$$

$$0 \leq u_{ij} \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, c; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.13)$$

$$\sum_{i=1}^c u_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.14)$$

$$\sum_{j=1}^n u_{ij} > 0 \quad i = 1, 2, \dots, c \quad (3.15)$$

Kısıtlayıcı (3.13) ile matrisin içerisindeki girdilerin ancak 0 ile 1 arasındaki bulanık sayılardan oluşacağı bildirilmektedir. Kısıtlayıcı (3.14) sınıflandırılacak herhangi bir X elemanın (parçasının) 1'den c 'ye kadar olan kümelerden her birine değişik üyelik derecelerinde üye olabileceğini göstermektedir. Her sütunun toplamı "1" olmalıdır. Burada "1" tam üyeliği, "0" ise tam olarak üye olmama durumunu göstermektedir. Bir elemanın üyelikleri toplamı 1'den fazla olamaz. Bunun anlamı, eğer bir eleman bir veya birden fazla kümenin içerisinde tam üyeliğini doldurduysa, bu elemanın başka bir kümeye daha üye olmasının beklenmemesi gerektiğidir. Bir elemanın üyelikleri toplamının tam 1'e eşit olması demek bu elemanın elimizdeki mevcut kümeler içerisinde tam olarak temsil edilebildiğini gösterir. Böylece elemanın eksik kalan bir üyeliği kalmayacaktır. Kısıtlayıcı (3.15) ile bir kümeye en azından bir elemanın ait olması sağlanmaktadır. Bunun anlamı, eğer matriste herhangi bir küme temsil ediliyorsa o kümeye en azından herhangi bir elemanın, sıfırdan büyük herhangi bir üyelik derecesinde üye olması gerektiğidir. Boş bir kümenin temsil edilmesine gerek yoktur. Bu denklem ile aynı zamanda bir kümeye üye olacak eleman sayısına ve bu

elemanların üyelik dereceleri toplamlarına bir kısıtlama getirilmemektedir. Kısacası matrisin satır toplamlarında sıfırdan büyük olmak dışında bir kısıtlama yoktur.

FCM yöntemi ilk olarak “Bezdek” (1981) tarafından ortaya konulmasına rağmen “Ruspini”den (1970) alınan bir amaç fonksiyonuna ve yine “Ruspini”nin geliştirmiş olduğu bir “Pickard ilmik (loop)” algoritmasına dayanmaktadır⁹⁵. “Bezdek”in son şeklini verdiği algoritmanın adımları şöyledir⁹⁶:

Adım 1: Sırasıyla aşağıdakiler oluşturulur ve belirlenirler:

a) Parça özelliklerini gösteren ve $\mu_k(x_{jk})$ elemanlarından oluşan bir bulanık alt kümeler matrisi oluşturulur.

b) $2 \leq c \leq n$ olmak üzere oluşturulmak istenen c küme sayısı belirlenir.

c) $1 \leq m \leq \infty$ olmak üzere m bulanıklık derecesi belirlenir.

d) $\varepsilon > 0$ olmak üzere ε durdurma kriteri belirlenir.

e) Kısıtlayıcı (3.13)-(3.15) arasındaki koşulları sağlayan ve başlangıç üyelik derecelerini gösteren bir “ U^0 ” bulanık sınıflandırma matrisi oluşturulur. (U daki üst indis olan “0” U nun sıfırcı kuvvetini değil, “ U^0 ”ın bir başlangıç matris olduğunu gösterir.)

Adım 2: Denklem (3.16) yardımıyla bir “ V ” küme merkezleri matrisi oluşturulur.

$$v_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^n (u_{ij})^m \mu_k(x_{jk})}{\sum_{j=1}^n (u_{ij})^m} \quad (3.16)$$

Adım 3: Denklem (3.17) yardımıyla yeni “ U^l ” bulanık sınıflandırma matrisi oluşturulur. (U daki l üst indisi $l = 0, 1, 2, \dots$, şeklinde her tekrarda oluşan yeni matrisi diğerinden ayırt etmede kullanılan bir semboldür. Üs alma işlemi değildir.)

⁹⁵ Ruspini, E., “Numerical Methods for Fuzzy Clustering”, **Information Science**, Vol. 2, Issue 1, 1970, ss. 319-350

⁹⁶ Bezdek, a.g.e., ss. 69-70

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{l=1}^c \left(\frac{\sum_{k=1}^p (\mu_k(x_{jk}) - v_{ik})^2}{\sum_{k=1}^p (\mu_k(x_{jk}) - v_{lk})^2} \right)^{1/(m-1)}} \quad (3.17)$$

Adım 4: Denklem (3.18) yardımıyla kümelendirilecek elemanların küme merkezlerinden olan uzaklıklarının karelerinin ağırlıklı toplamının toplamı olan “ $J_m(U, V)$ ” hesaplanır.

$$J_m(U, V) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ij}^m \sum_{k=1}^p (\mu_k(x_{jk}) - v_{ik})^2 \quad (3.18)$$

Adım 5: Eğer denklem (3.18) ile hesaplanan “ $J_m(U, V)$ ” rakamıyla bir önceki tekrarda aynı denklemle hesaplanan rakam arasındaki fark, ε durdurma kriterine eşit ya da küçükse algoritma durdurulur. Değilse, 2. adıma geri dönülür.

Birinci adımda belirlenmesi gereken bulanıklık derecesi olan m ne kadar sonsuza yakın seçilirse en son çözümün bulanıklık derecesi o kadar büyük olacaktır. Bu bulanıklık derecesi, kümeler arasındaki üst üste gelme derecesini göstermektedir. Eğer $m = 1$ seçilirse bulanık olmayan bir parçalanma gerçekleşecektir. Bunun anlamı, algoritma sonuçlanınca herhangi bir veri noktasının yalnızca tek bir kümeye ait olmasıdır. Literatürde m genelde 1 ile 2 arasında bir değer seçilmektedir. Eğer büyük bir değer seçilirse bütün kümeler için birbirine eşit üyelikler oluşmaya başlar. Böylelikle hiçbir küme birbirinden ayırt edilememiş olur.

Örneğin aşağıdaki gibi, sütunlarını x_1, x_2, x_3 parçalarının ve satırlarını da $c = 2$ olmak üzere iki kümenin oluşturduğu bir başlangıç U^0 matrisinin ve k_1, k_2 olmak üzere sütunlarını iki özellik kümesinin ve satırlarını da x_1, x_2, x_3 parçalarının oluşturduğu bir $[\mu_k(x_{jk})]$ matrisinin olduğu varsayalım. Ayrıca, bulanıklık derecesi $m = 2$ ve durdurma kriteri $\varepsilon = 0,0001$ olarak varsayalım.

$$U^0 = \begin{matrix} & x_1 & x_2 & x_3 \\ c_1 & 0,4 & 0,2 & 0,9 \\ c_2 & 0,6 & 0,8 & 0,1 \end{matrix}, \quad [\mu_k(x_{jk})] = \begin{matrix} & k_1 & k_2 \\ & 1 & 0,2 \\ & 0,5 & 0,7 \\ & 0,3 & 0,8 \end{matrix}$$

Bu verilen değerlere göre $c = 2$ olduğu için iki küme merkezi oluşur. Özellik sayısı da 2 tane olduğu için 2×2 boyutlarında bir V küme merkezleri matrisi oluşacaktır. Bu matrisin v_{11} elemanı;

$$v_{11} = \frac{(0,4^2 \times 1) + (0,2^2 \times 0,5) + (0,9^2 \times 0,3)}{0,4^2 + 0,2^2 + 0,9^2} = 0,4188 \text{ olur.}$$

Buna göre V küme merkezleri matrisi;

$$V = \begin{bmatrix} 0,4188 & 0,7010 \\ 0,6762 & 0,5228 \end{bmatrix} \text{ olur.}$$

j parçasının i küme merkezine olan uzaklığı denklem (3.19) ile hesaplanabilir.

$$\sqrt{\sum_{k=1}^p (\mu_k(x_{jk}) - v_{ik})^2} \quad (3.19)$$

Birinci parçanın birinci küme merkezine uzaklığına d_{11} denirse;

$$d_{11} = \sqrt{(1 - 0,4188)^2 + (0,2 - 0,7010)^2} = 0,7673 \text{ olur.}$$

Fakat, denklem (3.17)'deki yeni u_{ij} elemanlarını hesaplayabilmek için denklem (3.19)'daki karekök işlemi gerekmemektedir. Dolayısıyla, $d_{11} = 0,7673$ değeri eğer karekök alınmazsa 0,5888 olur. Bu şekilde oluşturulan D matrisi;

$$D = \begin{bmatrix} 0,5888 & 0,0066 & 0,0239 \\ 0,2090 & 0,0624 & 0,2186 \end{bmatrix} \text{ olacaktır.}$$

Buna göre yeni oluşturulacak U^1 bulanık sınıflandırma matrisinin u_{11} elemanı denklem (3.17)'ye göre;

$$u_{11} = \frac{1}{\left(\frac{0,5888}{0,5888}\right)^1 + \left(\frac{0,5888}{0,2090}\right)^1} = 0,2620 \text{ olur.}$$

Yeni bulanık sınıflandırmaları gösteren U^1 matrisi buna göre;

$$U^1 = \begin{matrix} & x_1 & x_2 & x_3 \\ c_1 & \begin{bmatrix} 0,2620 & 0,9045 & 0,9013 \end{bmatrix} \\ c_2 & \begin{bmatrix} 0,7380 & 0,0955 & 0,0987 \end{bmatrix} \end{matrix} \text{ olur.}$$

U^0 ve U^1 matrislerinden yararlanılarak denklem (3.18)'in sonucu;

$$(0,4^2 \times 0,5888) + (0,6^2 \times 0,2090) + (0,2^2 \times 0,0066) \\ + (0,8^2 \times 0,0624) + (0,9^2 \times 0,0239) + (0,1^2 \times 0,2186) = 0,2312$$

olur.

Algoritmanın 5 kez tekrarlanması sonucu çıkan $J(U,V)$ değerleri şunlardır:

1. Tekrar sonucu = 0,2312
2. Tekrar sonucu = 0,0764
3. Tekrar sonucu = 0,0247
4. Tekrar sonucu = 0,0245
5. Tekrar sonucu = 0,0245

Dördüncü ve beşinci tekrar sonuçları arasındaki fark durdurma kriteri olan $\varepsilon = 0,0001$ 'den küçük çıkmaktadır. Dolayısıyla, algoritma durdurulur. Beşinci tekrarın sonunda elde edilen U^5 bulanık sınıflandırma matrisi;

$$U^5 = \begin{matrix} & x_1 & x_2 & x_3 \\ c_1 & [0,0000 & 0,9750 & 0,9858] \\ c_2 & [1,0000 & 0,0250 & 0,0142] \end{matrix} \text{ şeklinde olacaktır.}$$

Maksimum küme üyelikleri esas alınırsa x_1 parçası ikinci kümeye, x_2 parçası birinci kümeye ve x_3 parçası da yine birinci kümeye atanacaktır. Burada görüleceği üzere x_1 parçası tamamen ikinci kümenin üyesidir. x_2 ve x_3 parçaları ise baskın olarak birinci kümeye üye olmalarına rağmen belirli düzeyde ikinci kümeye de üyedirler. Böylelikle kümeleme işlemine bir esneklik getirilmiş olur.

3.2.2. Bulanık Çıkarımsal Kümeleme (BÇK) Yöntemi

Herhangi bir bulanık veya bulanık olmayan kümeleme yönteminde kullanılabilirliği amacıyla başlangıç küme merkezlerini daha etkin bir şekilde belirleyen “yığın (mountain) kümeleme” yöntemi “Yager ve Filev” (1992) tarafından geliştirilmiştir⁹⁷. Bu yöntemde sadece veri noktaları değil, bunlar haricinde kalan tüm noktalar da birer potansiyel küme merkezi olarak ele alınmaktadır. Burada gerekli olan hesaplamaların problemin boyutlarına göre üssel olarak bir artış göstermesi nedeniyle daha az hesaplamayla benzer sonuçları elde edebilen “bulanık çıkarımsal kümeleme (BÇK)” yöntemini de “Chiu” (1994) geliştirmiştir⁹⁸. BÇK yönteminde sadece mevcut veri noktaları potansiyel küme merkezleri olarak alınmaktadır. Bir veri matrisindeki elemanların hepsinin hangi kümeye ait olacakları BÇK yönteminin uygulanmasıyla direkt olarak elde edilememektedir. Bu yöntemle sadece potansiyel olarak küme merkezi olmaya en uygun olan veri noktalarının hangileri oldukları elde edilmektedir. Elde edilen bu küme merkezleri bulanık ve sinir ağı türündeki kümeleme yöntemlerinde veya bulanık olmayan bazı kümeleme yöntemlerinde veri olarak kullanılabilirler.

Örneğin, aşağıdaki X matrisinin sütunları parametreleri (özellikleri) ve satırları da kümelenecek olan veri noktalarını gösterebilir. X matrisinin sütun sayısı M boyutlu uzayı göstermektedir. Bu M boyutlu uzayda n tane veri noktası bulunmaktadır.

⁹⁷ Yager, Roland R., - Filev, Dimitar P., “Approximate Clustering Via the Mountain Method”, **IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics**, Vol. 24, No. 8, 1994, ss. 1279-1284.

⁹⁸ Chiu, S., “Fuzzy Model Identification Based on Cluster Estimation”, **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, Vol. 2, No. 3, 1994, ss. 267-269.

$$X = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1, \dots, M \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 2 & 4 \\ 5 & 3 \\ 10 & 4 \\ 8 & 6 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Bu matrisin normalleştirilmesi için ilk olarak, özellikleri gösteren her bir sütundaki minimum ve maksimum değerler bulunur. Bunlar birinci sütun için 2 ve 10, ikinci sütun için 3 ve 6'dır. İkinci aşamada, o sütunun maksimum değeri minimum değerinden çıkarılarak sütunun aralığı bulunur. Bunlar birinci sütun için $10 - 2 = 8$ ve ikinci sütun için $6 - 3 = 3$ 'tür. Sonra sütunun her elemanı o sütunun minimum değerinden çıkarılıp ikinci aşamada bulunan aralık değere bölünür. Birinci sütunun normalleştirilmesi $(2 - 2) / 8$, $(5 - 2) / 8$, $(10 - 2) / 8$, $(8 - 2) / 8$ şeklinde yapılır. Normalleştirilmiş yeni X veri matrisi,

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 0,3333 \\ 0,375 & 0 \\ 1 & 0,3333 \\ 0,75 & 1 \end{bmatrix} \text{ olur.}$$

İstenirse başta verilen X veri matrisinin özelliklerini gösteren sütunlar için alt ve üst sınırlar getirilebilir. Örneğin birinci sütun için alt ve üst sınırın 3 ve 7, ikinci sütun için de 2 ve 5 olduğu varsayalım. Bu durumda birinci sütunun normalleştirilmesi $(2 - 3) / (7 - 3)$, $(5 - 3) / (7 - 3)$, $(10 - 3) / (7 - 3)$, $(8 - 3) / (7 - 3)$ şeklinde yapılır. Eğer böyle sınırlar belirlenirse sonuçların negatif veya 1'den büyük olma ihtimali de vardır. Negatif değerler 0 ve 1'den büyük değerler de 1 kabul edilir. Bu sınırlandırmalar sonucunda oluşacak normalleştirilmiş X matrisi,

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 0,6667 \\ 0,5 & 0,3333 \\ 1 & 0,6667 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \text{ olur.}$$

Normalleştirilen bu veri noktalarının koordinat aralıkları her boyut içerisinde eşit yani, veri noktaları bir hiperküp tarafından sınırlandırılmış olur. Her veri noktası potansiyel bir küme merkezi olarak düşünülür ve x_i veri noktasının bu potansiyel ölçüsü denklem (3.20) yardımıyla hesaplanır.

$$P_i = \sum_{j=1}^n e^{-\alpha \|x_i - x_j\|^2} \quad (3.20)$$

Burada;

$$\alpha = \frac{4}{r_a^2},$$

r_a pozitif bir sabit,

$\|\cdot\|$ ise Öklit mesafesini göstermektedir.

Bir veri noktası için potansiyel ölçü bütün diğer veri noktalarına olan mesafelerin bir fonksiyonudur. Potansiyel değeri yüksek çıkan bir veri noktası diğer birçok veri noktasıyla yakın komşudur anlamına gelir. r_a sabiti belirli bir çevre içerisinde kalan alanı belirleyen etkin bir yarıçaptır. Bu sabit ne kadar küçük seçilirse elde edilecek küme merkezi sayısı o kadar artar ve ne kadar büyük seçilirse elde edilecek küme merkezi sayısı o kadar azalır. r_a 'nın genel olarak 1 alınması “Chiu” (1994) tarafından uygun görülmüştür. Bu yarıçap dışında kalan veri noktaları hesaplanan potansiyel üzerinde çok az bir etkiye sahip olacaktır.

Her veri noktasının potansiyeli hesaplandıktan sonra en yüksek potansiyeli olan veri noktası ilk küme merkezi olarak seçilir. Bundan sonra, her x_i veri noktasının potansiyeli denklem (3.21) ile tekrar revize edilmelidir.

$$P_i \Leftarrow P_i - P_k^* e^{-\beta \|x_i - x_k^*\|^2} \quad (3.21)$$

Burada;

$$\beta = \frac{4}{r_b^2},$$

r_b pozitif bir sabit,

x_k^* küme merkezi k 'nın yerleşim yeri,

P_k^* küme merkezi k 'nın potansiyel değeridir.

Bu revizyon sayesinde k 'ncü küme merkezine yakın olan veri noktalarının potansiyelleri büyük ölçüde azaltılmış olur ve bunların bir sonraki küme merkezi olarak seçilmeleri olasılığı ortadan kalkar. Buradaki r_b sabiti potansiyel azaltılmasındaki çevrenin alanını belirleyecek yarıçapı göstermektedir. Küme merkezlerinin birbirlerine çok yakın olarak elde edilmelerini önlemek için r_b 'nin r_a 'dan biraz büyük belirlenmesi gerekir. Bunun uygun olan bir oranı $r_b = 1.5r_a$ dır⁹⁹.

Baştaki örnekte verilen X matrisi normalleştirildikten ve her özellik (sütun) için $r_a = 1$ olarak alındıktan sonra ilk veri noktası (ilk satır) olan $x_1 = [0 \ 0,3333]$ noktasının potansiyel değeri denklem (3.20) ile şöyle hesaplanır:

$$\begin{bmatrix} 0-0 & 0,3333-0,3333 \\ 0-0,375 & 0,3333-0 \\ 0-1 & 0,3333-0,3333 \\ 0-0,75 & 0,3333-1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -0,375 & 0,3333 \\ -1 & 0 \\ -0,75 & -0,6667 \end{bmatrix} \quad \text{ve her iki özellik (sütun) için de}$$

$$\alpha = \frac{4}{r_a^2} = 4 \text{ olacaktır.}$$

$$(-4(0^2)) + (-4(0^2)) = 0 \quad \rightarrow \quad 2,71828^0 = 1$$

$$(-4(-0,375^2)) + (-4(0,3333^2)) = -1,0069 \quad \rightarrow \quad 2,71828^{-1,0069} = 0,3654$$

$$(-4(-1^2)) + (-4(0^2)) = -4 \quad \rightarrow \quad 2,71828^{-4} = 0,0183$$

$$(-4(-0,75^2)) + (-4(-0,6667^2)) = -4,028 \quad \rightarrow \quad 2,71828^{-4,028} = 0,0178$$

$x_1 = [2 \ 4]$ veri noktasının normalleştirmeden sonra hesaplanan potansiyel değeri $(1 + 0,3654 + 0,0183 + 0,0178) = 1,4015$ olur. Bütün veri noktalarının potansiyel değerleri sırasıyla 1,4015, 1,5102, 1,2843, 1,1599 olacaktır.

⁹⁹ Chiu, a.g.m., s.268.

İstenirse her bir özellik için farklı r_a sabitleri belirlenebilir. Örneğin X matrisindeki r_a sabitlerinin birinci özellik için 0,5 ve ikincisi için 0,25 olarak belirlendiği varsayalım. Buna göre potansiyel değer şöyle hesaplanacaktır:

Birinci özellik için $\alpha = \frac{4}{0,5^2} = 16$ ve ikinci özellik için $\alpha = \frac{4}{0,25^2} = 64$ olur.

$$\begin{aligned} (-16(0^2)) + (-64(0^2)) &= 0 && \rightarrow 2,71828^0 = 1 \\ (-16(-0,375^2)) + (-64(0,3333^2)) &= -9,3597 && \rightarrow 2,71828^{-9,3597} = 0,0000 \\ (-16(-1^2)) + (-64(0^2)) &= -16 && \rightarrow 2,71828^{-16} = 0,0000 \\ (-16(-0,75^2)) + (-64(-0,6667^2)) &= -37,4473 && \rightarrow 2,71828^{-37,4473} = 0,0000 \end{aligned}$$

Önceki bulunan potansiyel değerler olan 1,4015, 1,5102, 1,2843, 1,1599 üzerinden devam edilirse bunlar içerisinde en büyüğü referans potansiyel olarak alınır. Aynı zamanda bu en büyük potansiyel değer, birinci küme merkezinin buna karşılık gelen x_2 veri noktası olduğunu göstermektedir. Bütün potansiyellerin revizyonu bu referans potansiyele göre denklem (3.21) yardımıyla yapılır. $r_b = 1,25r_a$ varsayıldığında;

$$\beta = \frac{4}{r_b^2} = 2,56 \text{ olur.}$$

İlk veri noktasının revize edilen yeni potansiyel değeri;

$$\begin{aligned} [0 \ 0,3333] - [0,375 \ 0] &= [-0,375 \ 0,3333], \\ (-2,56(-0,375^2)) + (-2,56(0,3333^2)) &= (-0,36) + (-0,2849) = -0,6444, \\ P_1 &= 1,4015 - 1,5102(2,71828^{-0,6444}) = 0,6088 \text{ olur.} \end{aligned}$$

Bu şekilde revize edilen bütün potansiyel değerler sırasıyla 0,6088, 0, 0,8663, 1,0784 olurlar.

BÇK yönteminde biri kabul oranı ($\bar{\varepsilon}$) diğeri de red oranı ($\underline{\varepsilon}$) olmak üzere iki oran belirlenir. Kabul oranının $\bar{\varepsilon} = 0,5$ ve red oranının $\underline{\varepsilon} = 0,15$ olması “Chiu” (1994) tarafından uygun görülmüştür¹⁰⁰. Revizyondan sonra bulunan en yüksek potansiyel değere P_k^* , bunun karşılığı veri noktasına x_k^* ve referans potansiyel değer olan ilk küme merkezinin tespitindeki potansiyel değere de P_1^* denilirse şöyle bir süreç izlenir:

¹⁰⁰ Chiu, a.g.m., s.269.

1. Eğer $P_k^* > \bar{\varepsilon}P_1^*$ ise x_k^* veri noktası ikinci küme merkezi olarak alınır. Bulunan en son potansiyeller bu ikinci küme merkezine göre tekrar revize edilerek sürece devam edilir.

2. Eğer $P_k^* < \underline{\varepsilon}P_1^*$ ise x_k^* veri noktası bir küme merkezi olarak alınmaz (reddedilir) ve kümeleme süreci durdurulur.

3. Eğer $\bar{\varepsilon}P_1^* \leq P_k^*$ ve $P_k^* \geq \underline{\varepsilon}P_1^*$ ise x_k^* veri noktasının bir küme merkezi olarak kabul veya reddedileceğinin test edilmesi gerekir. $d_{\min} = x_k^*$ ile daha önce bulunan tüm küme merkezleri arasındaki mesafenin en küçüğü olsun. Bu durumda,

$\frac{d_{\min}}{r_a} + \frac{P_k^*}{P_1^*} \geq 1$ ise x_k^* veri noktası bir küme merkezi olarak kabul edilir ve buna göre

tekrar revizyon yapılarak sürece devam edilir. $\frac{d_{\min}}{r_a} + \frac{P_k^*}{P_1^*} < 1$ ise x_k^* veri noktası bir

küme merkezi olarak alınmaz (reddedilir) ve x_k^* 'nin potansiyeli “0” yapılır. Artık bundan sonra diğer veri noktalarının potansiyeli revize edilmez. Bunun yerine bir sonraki en yüksek potansiyele sahip olan veri noktası yeni x_k^* olarak alınır ve yeniden test edilir.

Yukarıdaki örnekte gelinen yerden sonra bu üç adımlık sürece devam edilir. $P_k^* > \bar{\varepsilon}P_1^*$ yani, $1,0784 > 0,7551$ olduğu için x_4 ikinci küme merkezidir. Buna göre revizyon yapılır. Veri noktaları için revizyonla bulunacak yeni potansiyel değerler sırasıyla 0,5269, -0,0582, 0,5718, 0 olur. Bunların en büyüğü olan 0,5718 test edilmesi gereken sınırlar içerisinde. Test sonucu 1'den büyük bir değer çıktığı için 0,5718'e karşılık gelen x_3 veri noktası üçüncü küme merkezidir. Bundan sonra sürece devam edildiğinde başka bir küme merkezi çıkmaz.

Böylece dört veri noktasından oluşan bu örnek için üç tane küme merkezi bulunmuştur. Görüldüğü üzere, BÇK yöntemi potansiyel olarak küme merkezi olmaya en uygun olan noktaları tespit etmiş ama veri kümesindeki tüm elemanların hangi kümelere ait olduklarını belirlememiştir. Dolayısıyla, BÇK yöntemiyle elde edilen küme merkezleri ancak diğer bazı kümeleme yöntemleri için birer veri olarak kullanılabilir.

3.2.3. Bulanık K-En Yakın Komşular (KNN) Sınıflandırma Yöntemi

Bulanık olmayan KNN yöntemi “Cover ve Hart” (1967) tarafından geliştirilen “en yakın komşu kuralı”na dayanmaktadır¹⁰¹. En yakın komşu yönteminde önceden belirlenmiş sınıflar (kümeler) ve bu sınıflara ait belirli sayıda örnek veri noktaları vardır. Bu örnek veri noktalarının önceden hangi sınıfa ait oldukları kesin olarak belirlenmiştir. Bunlara etiketlenmiş veriler denir. Bir de etiketlenmemiş ve önceden hangi sınıfa ait oldukları belli olmayan veri noktaları vardır. Tüm veri noktaları belirli özellikleri gösteren birer vektör şeklinde temsil edilmektedir.

Bulanık olmayan en yakın komşu sınıflandırma kuralına göre, etiketlenmemiş bir örnek x girdi vektörü, kendine en yakın olan komşusu hangi sınıfa aitse o sınıfa atanmaktadır. Bulanık KNN algoritması ise etiketlenmemiş bu örnek x vektörünü belirli bir sınıfa atamak yerine, o vektörün tüm sınıflar için tek tek üyelik düzeylerini gösteren bulanık bir üyelik vektörü üretmektedir. Bunun avantajı algoritmanın tesadüfi bir atama gerçekleştiriyor olması ve sınıflandırmaya bir esneklik getiriyor olmasıdır.

$W = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, n adet etiketlenmiş örnekler, $u_i(x)$, vektör x için atanan üyelik (bunların önceden hesaplanmış olmaları gerekir), u_{ij} ise etiketlenmiş örnek kümesindeki j 'inci vektörün i 'inci sınıfındaki üyelik olsun. Buna göre bulanık olmayan versiyonu üzerinde “Keller ve arkadaşları” (1985) tarafından geliştirilen bulanık KNN algoritması şu adımlardan oluşmaktadır¹⁰²:

Adım 1: Sınıflandırılacak olan x vektörü girilir. K komşu sayısı belirlenir ($1 \leq K \leq n$).

Adım 2: Yeni girilen x vektörüne K adet en yakın komşu bulunmasına kadar x ve etiketlenmiş x_i vektörleri arasındaki mesafeler hesaplanır. Tüm mesafeler tek tek denenerek küme sayısı K olasıya kadar ve K 'dan fazla olmayacak şekilde her defasında en yakın komşu, kümeye dahil edilir ve en uzak komşu, kümeden çıkarılır.

¹⁰¹ Cover, T. M., - Hart, P. E., “Nearest Neighbor Pattern Classification”, **IEEE Transactions on Information Theory**, Vol. IT-13, No. 1, 1967, s. 22.

¹⁰² Keller, J. M., - Gray, M. R., - Givens, JR, J. A., “A Fuzzy K-Nearest Neighbor Algorithm”, **IEEE Transactions on Systems, Man, and, Cybernetics**, Vol. SMC-15, No. 4, 1985, s.581.

Adım 3: Denklem (3.22) kullanılarak x için tek tek tüm sınıflara olan üyelikler hesaplanır.

$$u_i(x) = \frac{\sum_{j=1}^K u_{ij} (1/\|x - x_j\|^{2/(m-1)})}{\sum_{j=1}^K (1/\|x - x_j\|^{2/(m-1)})} \quad (3.22)$$

Örneğin, 4 tane sınıf ve her sınıfa ait belirli sayıda veri noktası olduğu ve herhangi bir yeni x veri noktasının bu sınıflardan hangilerine ait olacağı hesaplanmaya çalışılsın. Yukarıdaki algoritma uygulandığında bu yeni x veri noktası için sınıf üyeliklerini gösteren $u_1(x)$, $u_2(x)$, $u_3(x)$ ve $u_4(x)$ değerleri bulunacaktır.

Denklem (3.22)'den görüleceği üzere x için atanan üyelikler en yakın komşularla olan mesafelerin terslerinden ve bu en yakın komşuların sınıf üyeliklerinden etkilenmektedir. Denklemdaki m değişkeni her komşunun hesaplanan üyelik değerine olan katkısı belirlenirken mesafenin ne derece ağırlıklı olarak ele alındığını göstermektedir. Bu m değeri ne kadar artarsa komşular o derecede daha eşit olarak ağırlıklandırılmış ve sınıflandırılacak olan veri noktasıyla bu komşular arasındaki nispi mesafelerin etkileri o derece azaltılmış olur.

Görüleceği üzere bulanık KNN yöntemi yukarıdaki yalın şekliyle hücrelerin oluşturulmasında direkt olarak kullanılamaz. Bu yöntemin ancak hücreler belirlendikten sonra yeni bir parça veya makinenin atölyeye dahil edilmesi gündeme geldiğinde kullanılması uygundur.

3.3. BULANIK MANTIK VE KÜMELEME YÖNTEMLERİYLE GELİŞTİRİLEN ALGORİTMİK YAKLAŞIMLAR

Geliştirilen algoritmaların birçoğu yalnızca parça ailelerinin oluşturulmalarına yöneliktir. Bu tür algoritmalarda yalnızca parça özellikleri kullanılarak parça aileleri oluşturulur. Makinelerle parçalar arasındaki ilişki genelde göz önüne alınmaz. Parçalar ve makineler arasındaki ilişkiyi de göz önüne alarak hem parça ailelerinin hem de

makine hücrelerinin oluşturulduğu yöntemlere “eş zamanlı yöntemler” gözüyle bakılabilir. Bu çalışmada ele alınan gerek önceki bölümlerde, gerekse bundan sonraki bölümlerde daha çok eş zamanlı yöntemler üzerine odaklanılmıştır. Fakat aşağıda kısaca tanıtılan algoritmaların içerisinde her iki türden olanlarına da rastlamak mümkündür.

Özellikle FCM yöntemine dayalı olarak geliştirilen literatürde çok sayıda algoritmaya rastlanmaktadır. Yapay sinir ağları ve genetik algoritmaların da devreye girmesiyle, sadece bulanık kümeleme yöntemlerinin ele alındığı algoritmaları diğerlerinden ayırt etmek zordur. Bulanık mantık sistemlerinin endüstriyel uygulamalarda çoğunlukla sinir ağları ile birlikte kullanıldıkları görülür. Bu birliktelikte iki tür yaklaşım söz konusudur¹⁰³: İlki, bulanık mantık sisteminin sinir ağları için girdi bileşeni olarak kullanılması veya elde edilen çıktının sinir ağları için uygun hale getirilmesidir. İkincisi, sinir ağlarının bulanık mantık sistemi için girdi bileşeni olarak kullanılması veya bulanık mantık sistemlerinden elde edilen çıktının modifiye edilmesidir. Bu ikisi arasındaki en büyük farklılık, bulanık mantık veya sinir ağlarından birinin öz bileşen olarak kullanılması ve diğerinin de modifiye edici olarak kullanılmasıdır.

Burada mümkün olduğunca bulanık kümeleme haricindeki diğer yöntemlerden arındırılmış bazı algoritmalar ve çalışmalar hakkında kısa bilgiler verilecektir. Algoritmalar üzerinde detaylı durulmayacaktır. Bu algoritmalarından üçüncü ve dördüncüsü bir sonraki bölümde uygulamalı olarak tekrar ele alınacaklardır.

1. “Li ve arkadaşları”nın (1988) algoritması¹⁰⁴: Bulanık mantık ve bulanık kümeler kullanılarak parça ailelerini gruplandırmak için yapılan ilk çalışma “Li ve arkadaşları”nın çalışmasıdır. Bu çalışmada sadece parça aileleri gruplandırılmakta, makine hücreleri oluşturulmamaktadır. Önce, parçalar ve bu parçaların tür ve geometrik yapılarına göre özellikleri belirlenir. Her özellik için birer üyelik fonksiyonu oluşturulur. Parçaların bu üyelik fonksiyonları yardımıyla “özellik bulanık alt

¹⁰³ Du, Timon Chih-Ting, - Wolfe, Philip M., “Implementation of Fuzzy Logic Systems and Neural Networks in Industry”, **Computers in Industry**, Vol. 32, Issue 3, 1997, s. 265.

¹⁰⁴ Li, Jiankang, - Ding, Zonghong, - Lei, Weizhong, “Fuzzy Cluster Analysis and Fuzzy Pattern Recognition Methods For Formation of Part Families”, **16th North American Manufacturing Research Conference (NAMRC) Proceedings**, Society of Manufacturing Engineers, ss.558-563.

kümeleri”ne olan üyelik dereceleri hesaplanır. Denklem (3.23) yardımıyla i ve j özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n \min(x_{ki}, x_{kj})}{\sum_{k=1}^n \max(x_{ki}, x_{kj})} \quad i, j = 1, 2, \dots, m \quad (3.23)$$

Burada;

k = Parçalar,

x_{ki} = k parçasının i özelliğinin oluşturduğu bulanık alt kümeye üyelik derecesidir.

İki i ve j özelliği arasındaki korelasyon ne kadar büyük çıkarsa bu iki özellik o kadar birbirleriyle ilişkilidir. Eğer bu korelasyon yeterince büyükse, bu özelliklerden biri, hesaplamalarda kolaylık olması açısından elimine edilebilir. Sonra, parça özellikleri ağırlıklandırılır ve sıfırla bir arasında standartlaştırılır. Bu standart değerler ve “Li ve arkadaşları” tarafından sunulan dört değişik BK denklemlerinden biri kullanılarak parçalar arasında simetrik BK matrisi oluşturulur. Sınıflandırmanın tutarlılığını artırmak amacıyla bu matrise dayalı olarak parçalar arasındaki benzerlik ilişkilerine göre benzerlik matrisi tekrar hesaplanır. Bu son matrise göre, bulanık kümeleme analizi uygulanır. “Li ve arkadaşları” ayrıca yeni bir parçanın mevcut parça ailelerinden hangisine ait olduğunu bulacak bir “bulanık model algılama” yöntemi de geliştirmişlerdir.

2. “Xu ve Wang”ın (1989) algoritması¹⁰⁵: Burada bulanık mantık kullanılarak önce mevcut parça ailelerinin oluşturulması sonra da yeni parçaların bu parça ailelerine atanmaları üzerinde durulmaktadır. Kullanılan yöntem FCM’nin aynısıdır. Parça ailelerinin oluşturulmalarında tasarım özellikleri kullanılmaktadır ve bir bilgisayar programı da geliştirilmiştir.

3. “Chu ve Hayya”nın (1991) algoritması¹⁰⁶: Parça ailelerinin oluşturulmalarında üretim rotalama verileri kullanılmaktadır. Diğer bir anlatımla ikili

¹⁰⁵ Xu, - Wang, a.g.m., ss. 1637-1651.

¹⁰⁶ Chu, Chao-Hsein, - Haya, Jack C., “A Fuzzy Clustering Approach to Manufacturing Cell Formation”, **International Journal of Production Research**, Vol. 29, No. 7, 1991, ss. 1475-1487.

(binary) veriler kullanılarak oluşturulan parça-makine görünüm matrisi, FCM’nda parçaların özelliklerini gösteren girdi matrisi olarak kullanılmaktadır. Makine hücreleriyle parça aileleri eş zamanlı olarak oluşturulmaktadır.

4. “Zhang ve Wang”ın (1992) algoritması¹⁰⁷: Bulanık kümelemeye dayalı olarak tek bağlantı kümeleme analizi ve yine bulanık kümelemeye dayalı olarak ROC algoritması olmak üzere iki yöntem anlatılmaktadır. Her parça ile her makine arasında bulanık üyelik fonksiyonlarından hareketle bileşik uygunluk endeksleri belirlenir. Bu bileşik uygunluk endeksleriyle oluşturulan başlangıç matris üzerinde BK tek bağlantı yöntemi ve ROC yöntemi uygulanmaktadır.

5. “Ben-Arieh ve Triantaphyllou”nun (1992) algoritması¹⁰⁸: Parça gruplandırmasında “nicel özellikler”, “nitel özellikler” ve “sübjektif anlamlı nicel özellikler” olmak üzere üç çeşit özellik göz önüne alınmaktadır. Kesin olan özellikler, özelliğin büyüklüğü vasıtasıyla tek (yegane) olarak ve belirsizliğe meydan vermeden tanımlanan özelliklerdir. Bulanık özellikler ise açık olmayan ve belirsiz değere sahip özelliklerdir. Bulanık özellikler referans alınarak verilerin niceliğinin açıklanması için bir metodoloji sunulmaktadır. Bir tür analitik hiyerarşi süreci kullanılarak, seçilen özellikler için üyelik değerlerinin oluşturulması süreci anlatılmaktadır. Bulanık özelliklerin farklı değerleri birbirleriyle karşılaştırılmaktadır. Ele alınan yaklaşım geleneksel yaklaşım olan parçanın parçayla karşılaştırılmasından farklı olarak, büyük bir parça koleksiyonunun sınıflandırılması için aynı özelliğin kullanılabilmesine izin vermektedir.

6. “Gindy, Ratchev ve Case”in (1995) algoritması¹⁰⁹: Burada, önceki yöntemlerin çoğunda istenen grup sayısının, gruplama algoritmalarının içerisine önceden girilmesi gerektiği, bunun da yalnızca şu durumlarda uygun olabileceği belirtilmektedir: 1. Parçaların süreçlenmeleri için eldeki makine kaynaklarının sınırlı olması. 2. Yapılacak gruplama işleminin, halihazırda mevcut olan küme merkezleri

¹⁰⁷ Zhang, - Wang, a.g.m., ss. 61-67.

¹⁰⁸ Ben-Arieh, David, - Triantaphyllou, Evangelos, “Quantifying Data for Group Technology with weighted Fuzzy Features”, **International Journal of Production Research**, Vol. 30, No. 6, 1992, ss. 1285-1299.

¹⁰⁹ Gindy, N. N. Z., - Ratchev, T. M., - Case, K., “Component Grouping for GT Applications-A Fuzzy Clustering Approach with Validity Measure”, **International Journal of Production Research**, Vol. 33, No. 9, 1995, ss. 2493-2509.

etrafına yeni parçaların kümelenmelerinin şeklinde yapıyor olması. 3. Parçaların oluşturduğu kümenin özelliğinden kaynaklanması nedeniyle, sonlu sayıda bir grup sayısının önceden girilmesinin kuvvetli bir biçimde zorunlu olması. Bu sayılanlardan hariç, parçaların genel olarak gruplandırılmaları durumlarında, grup sayısının önceden tanımlanmasının uygun olmayacağı belirtilmektedir. Buradaki kullanılan yöntem de FCM algoritmasına dayanmaktadır. “Küme yoğunluğu” kavramı burada şu şekilde özetlenmektedir: “Hücrede bulunan parçaların üretilmelerinde, hücre içerisindeki makine kaynaklarının oluşturduğu kümenin ne kadarı gerekmektedir?” Parça gruplarıyla üretim teçhizat gruplarının eşzamanlı olarak oluşturulmalarında şu iki amacın formüle edilmesi gerekir: 1. Hücre içerisindeki tüm makinelerden oluşan kümeyi gerektiren parçaların sayısının maksimumlaştırılması yani, parça kümelerinin maksimum yoğunluğunun sağlanması. 2. Hücreler arasında tekrarlanan makinelerin (darboğaz makineleri) sayısı ve buna benzer diğer nedenlerden kaynaklanan parça grupları arasındaki uygunsuzlukların minimumlaştırılması. “Gindy, Ratchev ve Case” parçaları gruplara ayırmak için, küme yoğunluğuna ve makine tekrarına dayanan yeni bir küme geçerlilik ölçüsü önermektedirler. Burada FCM yönteminin üç adet uzantısı önerilmektedir. 1. Başlangıç gruplama küme merkezlerini seçen bir algoritma. 2. Bir grubun küme merkezini tanımlama yalnızca ona ait olan parçalar üzerine dayandırmak. 3. Küme merkezleri vektörlerinin temsil edilmiş biçimlerini, onların hesaplanmalarındaki bir makine üyelik fonksiyonunu dahil ederek geliştirmek. Burada “yoğunluk” ve “tekrarlama geçerlilik ölçüsü” kullanarak dokuz adımlı bir algoritma geliştirilmiştir.

7. “Liao, Chen ve Coates”in (1996) algoritması¹¹⁰: “Üretim hattı HÜ sistemleri” veya “odaklanmış fabrikalar” şeklindeki bir üretim sistemi ele alınmaktadır. “Üretim hattı üretim hücreleri” hücre içerisinde seri bir üretim hattı şeklinde dizilmiş olan makineler vasıtasıyla, birbirine benzer ürünlerden oluşan bir ürün kümesinin üretimi için ayrılmış üretim hücreleridir. Burada iki yaklaşım ele alınmaktadır. “A” yaklaşımı: Ürünlerin oluşturduğu partilerin üretilmeleri için yalnızca tek üretim hücresini gerektirmektedir. “B” yaklaşımı: Ürün partilerinin farklı hücreler içerisinde bölünebilmelerine eş zamanlı olarak izin verir. Her iki yaklaşımda da optimal parça

¹¹⁰ Liao, T. Warren, - Chen, L. J., - Coates, E. R., “A Comparison of Two Approaches for Designing Line Type Cellular Manufacturing Systems”, **Integrated Manufacturing Systems**, Vol. 7, No. 1, 1996, ss. 6-15.

rotalarını bulmak için doğrusal programlama tekniği kullanılmaktadır. Bu yaklaşımların her ikisi için de üç aşama geliştirilmiştir. İlk aşama, faaliyet giderlerini (operating cost) minimumlaştırmak amacıyla alternatif rotalar arasından en iyi olan parça rotalarının belirlenmesidir. İkinci aşamada, “A” yaklaşımı içerisinde “ART1” sinir ağına dayalı bir hücre oluşturma modülü kullanılmakta ve “B” yaklaşımı içerisinde de bulanık ROC modülü kullanılarak belirli sayıda hücre elde edilmektedir. Üçüncü aşamada ise, minimum malzeme taşıma maliyetine sahip olan en iyi yerleşim düzenini bulmak için gereken üretim sırası ele alınmaktadır. Daha önceki çalışmalardan hiçbiri üretim hacmi, alternatif parça rotaları, makine kullanımı, malzeme taşıma, çıktı zamanı ve diğer faktörler gibi faaliyet değişkenlerini göz önünde bulundurmamışlardır. “Zhang ve Wang”ın (1992) yaklaşımında geliştirilen bulanık ROC algoritması burada makine hücrelerinin oluşturulması amacıyla kullanılmaktadır. Burada geliştirilen bulanık sayılar bir makinenin teknolojik süreçleme yeteneği ile bir parçanın özelliği arasındaki uygunluk derecesini göstermekte kullanılmaktadır.

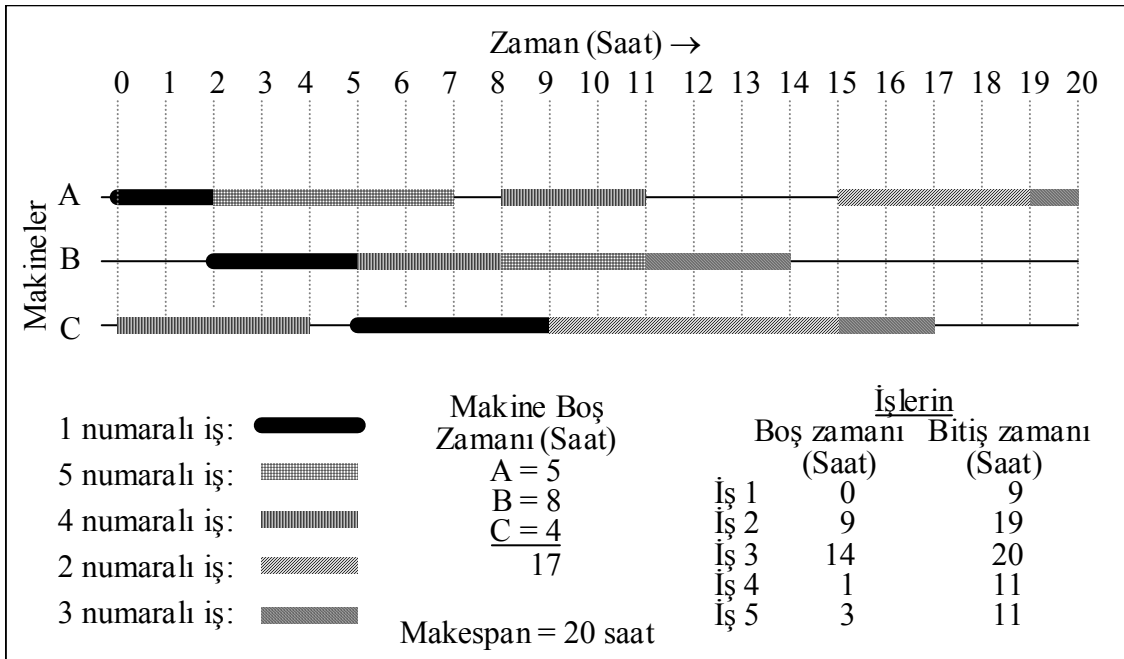
8. “Masnata ve Settineri”nin (1997) algoritması¹¹¹: Burada “makespan” (bütün işlerin tamamlanması için geçen toplam süre) minimizasyonunu hedefleyen bir çizelgeleme stratejisinin uygulamasıyla birlikte, parça ailelerinin ve üretim hücrelerinin oluşturulması için bir bulanık kümeleme algoritması kullanılmaktadır.

“Makespan” şu örnekle açıklanabilir¹¹². Şekil 3.6’daki GANTT diyagramında görüldüğü gibi A, B ve C olmak üzere üç makineden oluşan küçük bir iş atölyesi olsun. Her iş merkezi tam olarak bir makineden oluşmaktadır. İşler her türdeki bir makinenin en son kapasite sınırlarında kalmak üzere, zaman içerisinde ileriye doğru çizelgelenmektedir. Ayrıca işlerin çizelgelenmeleri 1, 4, 5, 2, 3 sırasına göre yapılmaktadır. 1 numaralı iş önce “A” makinesinde 2 saat yapılmakta, sonra 3 saatliğine “B” makinesinde süreçlenmekte ve son olarak 4 saatliğine makine “C” üzerinde süreçten geçmektedir. Bu ilk işin çizelgelenmesinde boşa geçen zaman hiç yoktur. Çünkü herhangi bir işin araya karışması veya bekleme söz konusu olamaz. Sonra, 4 numaralı iş sırasıyla makine C, B ve A’ya çizelgelenmektedir. Makine C’de 4 numaralı

¹¹¹ Masnata, A., - Settineri, I., “An Application of Fuzzy Clustering to Cellular manufacturing”, **International Journal of Production Research**, Vol. 35, No. 4, 1997, ss.1077-1094.

¹¹² Schroeder, Roger G., **Operations Management, Decision Making in the Operations Function**, New York: McGraw-Hill, Inc., 1989, ss. 365-366.

işe hemen başlanabilir. Çünkü bu makine zaman “5”e kadar açıktır ve 4 numaralı iş bu makine üzerinde yalnızca 4 saat gerektirir. Bir saatlik aylak zamandan sonra 4 numaralı işe B makinesinde başlanabilir. Sonunda 4 numaralı iş A makinesine zaman “8” ile “11” arası çizelgelenebilir. Bundan sonra 5 numaralı işin çizelgelenmesine gelinir. 5 numaralı iş ilk önce makine A da işlem görecektir fakat, makine A halihazırda zaman “2”ye kadar çizelgelenmiş durumdadır. Bu nedenle 5 numaralı iş zaman “2”de başlar ve zaman “7”de tamamlanır. Makine A’daki işi bittikten sonra, 5 numaralı işin makine B’ye gitmesi gerekir. Fakat makine B, zaman “8”e kadar meşguldür. 5 numaralı iş ancak zaman “8” ile “11” arasında makine B’ye çizelgelenir. Bu sürece bütün işlerin GANTT diyagramına yerleştirilmesine kadar devam edilir. Şekil 3.6’daki GANTT diyagramından görülmektedir ki, bütün işlerin tamamlanması için gereken toplam süre, yani “makespan” 20 saattir.



Şekil 3.6. GANTT Diyagramı İle “Makespan”in Gösterilmesi.

“Masnata ve Settineri” geleneksel FCM algoritmasını yeniden biçimlendirmişlerdir. FCM algoritması, “minimum makespan”de bulunması arzu edilen ve önerilen bir “hücre oluşturma ve çizelgeleme stratejisi” ile bütünleştirilmiştir.

Önerilen çizelgeleme stratejisinin performansı “makespan”ın minimizasyonundaki yeterliliği oluşturmaktadır.

9. “Gill ve Bector”un (1997) algoritması¹¹³: Parçaların özellikleri belirlenirken kapsama giren, daima bazı belirsizlik veya bulanıklıkların olabileceği belirtilmektedir. Bu belirsizlik ve bulanıklıklar parça özelliklerinin tanımlanma biçimlerinden kaynaklanabilirler. Bu çalışmada, önce tasarım özellikleri ve üretim özellikleri olmak üzere parça özelliklerinin hiyerarşik bir çatısı sunulmaktadır. Yüksek, düşük, biraz gibi doğal dilbilgisi kelimelerinden oluşan ve belirsizlik içeren değerler parçaların özelliklerini tanımlamada kullanılarak bunlar rakamsal değerlere dönüştürülmektedirler. “Ben-Arieh ve Triantaphyllou”nun (1992) yaklaşımı burada daha da geliştirilmektedir. Geliştirilen algoritmayla bir bulanık hesaplama tekniği kullanılarak parça özellikleri toplanıp karma bulanık kümeler oluşturulmaktadır. Sonra da, Öklit mesafe ölçüsü kullanılarak kümeler arasındaki mesafeleri gösteren bir matris oluşturulmaktadır. Elde edilen bu matris, içerisinde BK matrisinin kullanıldığı hücre oluşturma yöntemlerinde girdi olarak kullanılabilir.

10. “Susanto, Kennedy ve Price”ın (1999) algoritması¹¹⁴: “Chu ve Hayya”nın (1991) algoritmasında karşılaşılan üç değişik problem için çözüm üreten algoritmalar sunmaktadırlar. “Chu ve Hayya”nın yaklaşımında karşılaşılan ilk sorun, çıkan sonuçta bazı boş parça-türü hücrelerin ve/veya bazı boş makine-türü hücrelerin oluşma olasılığının bulunmasıdır. Önceki bölümlerdeki ikili verilerle elde edilen çözümlerde gösterilen hücre içi boşluklar bunu göstermektedir. İkinci sorun, bazı durumlarda parça çeşitlerinin oluşturduğu dolu hücre sayısı, makine çeşitlerinin oluşturduğu dolu hücre sayısı birbirinden farklı olabilir. Bu durum özellikle blokların köşegen üzerinde oluşmadığı durumlarda gündeme gelir. Normalde bunların birbirine eşit olmaları gerekir. Üçüncü sorun, “Chu ve Hayya”nın uyguladıkları algoritmanın 1. kuralında belirtilen “*k*” parça türünün, maksimum değere ulaşan ilk (veya en son) kümeye direkt olarak atanıyor olmasıdır. Böyle olunca bu “*k*” parçasının özellikle o parça türü için

¹¹³ Gill, A., - Bector, C. R., “A Fuzzy Linguistic Approach to Data Quantification and Construction of Distance Measures for the Part Family Formation Problem”, **International Journal of Production Research**, Vol. 35, No. 9, 1997, ss. 2565-2578.

¹¹⁴ Susanto, Sani, - Kennedy, Robert D., - Price, John W. H., “A New Fuzzy-c-Means and Assignment Technique-Based Cell Formation Algorithm to Perform Part-Type Clusters and Machine-Type Clusters Separately”, **Production Planning & Control**, Vol. 10, No. 4, 1999, ss. 375-388.

maksimum değere ulaşan diğer parça türü kümesi veya kümelerine atanma fırsatı ortadan kalkmaktadır. Bu çok sınırlayıcı bir kural olmaktadır. Bu problemin aynısı makine türü kümelerine olan atamalarda da kendini göstermektedir.

“Chu ve Hayya”nın yaklaşımındaki bu problemleri yenebilmek için burada şunlar uygulanmaktadır: 1. Parça-türü ve makine-türü kümeleri birbirlerinden ayrı olarak oluşturmak. 2. “Chu ve Hayya”nın algoritmasındaki durdurma kriterini değiştirmek. 3. Bu yeni durdurma kriterinin bir sonucu olarak birinci aşamadan elde edilen parça-türü ve makine-türü kümelerine dayalı olacak şekilde üretim hücrelerini oluşturmak için atama tekniğini uygulamak.

11. “Shanker ve Vrat”ın (1999) algoritması¹¹⁵: Üretim sistemlerindeki parametrelerde normalde kesin olamama ve belirsizliğe sahip olma eğilimi vardır. “Shanker ve Vrat” uyguladıkları bulanık programlama yaklaşımıyla belirsizliği modelleyerek HÜ sistemlerinin tasarımında bulanık tipteki bilgisayar belirsizlik konusunu ele almaktadırlar. Tablo 22 bu belirsizlikleri listelemektedir.

Tablo 22: HÜ Sisteminin Tasarım Parametrelerindeki Belirsizliklerle İlgili Sebepler.

HÜ Sisteminin Tasarım Parametreleri	Parametre Öngörüsündeki Belirsizliği İlgilendiren Sebepler
1 Parça talebi	(i) Tasarım ve yerine getirme arasındaki zaman boşluğu (ii) Verileri kesin olarak elde etmenin yüksek maliyeti (iii) Tasarım aşamasındaki yetersiz pazar araştırması (iv) Ürünün spesifikasyonları henüz bitirilmemiş (v) Bilinmeyen ürün karması (vi) Rakiplerin gücü ve hazır oluşları
2 Darboğaz parçaların alt sözleşme maliyeti	(i) Tasarım ve yerine getirme arasındaki zaman boşluğu (ii) Rekabet yüzünden pazar belirsizliği (iii) Yakın bir gelecekte alt sözleşmecilerin siparişsiz piyasa fiyatı oranlarına olan isteksizlikleri (iv) Enflasyon
3 Darboğaz makinelerinin elde edilme maliyetleri	(i) Tasarım ve yerine getirme arasındaki zaman boşluğu (ii) Hükümet politikalarındaki değişiklikler (iii) İthalat kısıtlayıcılarındaki değişiklikler (iv) Yakın bir gelecekte tedarikçilerin siparişsiz piyasa fiyatlarına (quote prices) olan isteksizlikleri (v) Enflasyon

¹¹⁵ Shanker, R., - Vrat, P., “Some Design Issues in Cellular Manufacturing Using the Fuzzy Programming Approach”, **International Journal of Production Research**, Vol. 37, No. 11, 1999, ss. 2545-2563.

Tablo 22: Devamı...

4	Hücreler arası taşıma maliyeti	(i) Malzeme taşıma teçhizatına henüz karar verilmemesi (ii) Fabrika yerleşim düzeninde olası değişiklikler (iii) Enflasyon (iv) Atölyelerin buldukları yerler ve büyüklükleri (v) Karar verilmemiş süreç planı ve işlemlerin sırası
5	Mevcut makine kapasitesi	(i) Karar verilmemiş makine tipi (ii) Başarısızlık, hataların yeri ve bakım (iii) Makinelerin tekrarlanma olasılıkları
6	Parça süreçleme zamanı	(i) Makinelerin tipi (ii) Zaman ve hareket çalışma verilerinin olmayışı (iii) Yetenekli insan gücünün olmayışı (iv) Karar verilmemiş kesin ürün tasarımı (v) Karar verilmemiş süreç planı
7	Teknoloji	(i) Yeni teknolojinin elde edilmesi (ii) Bilgisayar program ve donanımının eskimesi (iii) Otomasyon (iv) Teknolojinin global değişimi (v) Müşterek işbirlikleri ve partner firmalardan teknolojinin transferi (vi) Firma içi Ar-Ge hamleleri

Kaynak: Shanker, - Vrat, a.g.m., s. 2549.

“Shanker ve Vrat” HÜ sisteminin bulanık parametreler yardımıyla doğrusal programlama modelini kurmaktadır. Bunun için doğrusal üyelik fonksiyonlarından faydalanılmaktadır. Çalışmanın sonucunda görülmektedir ki, bulanık amaçlı ve bulanık kısıtlayıcılardan oluşan bir doğrusal programlama problemi yeniden formüle edilebilir ve böylece geleneksel bir doğrusal programlama problemi olarak çözülebilir. Çalışmada biri tek amaçlar için diğeri de çoklu amaçlar için olmak üzere iki tane bulanık doğrusal programlama modeli sunulmuştur.

12. “Güngör ve Arıkan”ın (2000) algoritması¹¹⁶: Hücre içerisindeki makinelerin uzaysal (spatial) düzenlemelerinin ve hücre yerleşim düzenlerinin, hücrelerin verimliliğini etkilediğini vurgulamaktadırlar. Hücre tasarımında, tasarımı etkileyen bütün değişkenlerin (faktörlerin) ele alınmaları gerekmektedir.

¹¹⁶ Güngör, Zülal, - Arıkan, Fayzan, “Application of Fuzzy Decision Making in Part-Machine Grouping”, **International Journal of Production Economics**, Vol. 63, Issue 2, 2000, ss. 181-193.

Tasarımı etkileyecek değişkenlere karar verildikten sonra bulanık küme teorisi kullanılmaktadır. Bu değişkenlerin değerleri belirlenmekte, üyelik fonksiyonları ve evren tanımlanmaktadır. Bulanık karar alma sisteminden de yararlanılarak 12 adımlı bir algoritma geliştirilmiştir:

Adım 1: Hücre tasarımını en çok etkileyen faktörlerin bulunması. Analitik hiyerarşi sürecinin kullanılması.

Adım 2: Hücre oluşturulmasını etkileyen girdi ve çıktı faktörlerinin bulanıklaştırılmaları.

Adım 3: Bulanık karar alma sürecindeki bulanıklaştırma ara yüzünün bir sonucu olarak tasarımcı tarafından geliştirilen “eğer-ise” karar kuralının uygulanması.

Adım 4: Her parça çiftinin ilişki derece ve ağırlığının bulunmasında minimum operatör kuralının uygulanması.

Adım 5: Durulaştırma ara yüzü. Parça ilişki çizelgesinin elde edilmesi. (Buraya kadarki adımlar bulanık karar alma süreciyle ilgilidirler.)

Adım 6: Birim değerlerini elde etmek için parça ilişki çizelgesinin matris biçiminde normalleştirilmesi.

Adım 7: Örneğin “tek bağlantı kümeleme” gibi, kümeleme algoritmalarından birinin kullanılması.

Adım 8: Gerekli hücre sayısını elde etmek için bir baraj değerinin tanımlanması.

Adım 9: “CRAFT” yerleşim düzeni programı kullanılarak her hücre içerisindeki makinelerin uzaysal (spatial) düzenlemelerinin bulunması.

Adım 10: Talep gereksinimlerini ve kapasite sınırlayıcılarını göz önünde bulundurarak her hücredeki, her makine türüne olan gereksinimlerin hesaplanması.

Adım 11: Üç değişik formül yardımıyla sırasıyla; toplam makine yatırımının, hücre içi ve hücreler arası iş yükü sapmalarının miktarının ve sekmelerin hesaplanması.

Adım 12: Adım 8’deki belirtilen hücre sayısına ulaşmaya kadar 9 ve 11 arası bütün adımların tekrarlanması. En verimli olan hücre oluşumunun seçilmesi.

“Güngör ve Arıkan” bundan sonra, “M. S. Aktürk ve H. O. Balköse” nin

1996'da kullandıkları örnek problem üzerinde bu algoritmayı uygulamakta ve karşılaştırmaktadırlar¹¹⁷.

13. “Josien ve Liao”nun (2000) algoritması¹¹⁸: Burada iki bulanık kümeleme algoritması FCM ve “bulanık KNN” bütünleşik olarak kullanılmaktadır. Küçük ve iyi yapılandırılmış veri kümelerinde FCM'nin iyi sonuçlar verdiği, özellikle kötü yapılandırılmış matrislerde ve benzeri bazı durumlarda FCM'nin tatmin edici sonuçlar vermediği gösterilmektedir. Eğer farklı makineler üzerindeki makine yükleri iyi dengelenmemiş ise bu sorun kendini daha belirgin olarak göstermektedir. Örneğin “makine 1” toplam 12 parça üretirken bir diğer makinenin, diyelim ki “makine 14”ün yalnızca tek parça üretmesi gibi. Önerilen bu araştırmada eğer iyi bir “eğitim (training)” veri kümesi verilirse bulanık KNN'in FCM'den daha iyi performans göstereceği saptanmaktadır. “Josien ve Liao” aynı algoritmayı farklı bir yaklaşım tarzıyla, başka bir makalede tekrar ele almışlardır¹¹⁹. Önerilen GT parça aile ve makine hücre oluşturma yaklaşımı aşağıdaki adımlardan oluşur:

Adım 1: FCM algoritmasını kullanarak arzulan sayıdaki parça ailesi ve makine hücresi oluştur. FCM algoritması bu aşamada özellikle bir denetimsiz sınıflandırıcı olarak hizmet vermektedir.

Adım 2: Parçaları ve makineleri matristeki blokların içerisine gruplandır. Bu durum adım 1'de elde edilen sonuçlara göre matrisin yeniden düzenlenmesini içermektedir.

Adım 3: Her makine hücresi için “eğitim” verilerini çıkart. Seçilen makinelerin bir hücrenin tipik makineleri olmaları gerekir.

Adım 4: Yeni makine hücrelerini oluşturmak ve matrisi güncellemek için bulanık KNN kullan. Burada kullanılan bulanık KNN algoritması adım 1'de uygun olarak sınıflandırılmayan makinelerin yeniden sınıflandırılmaları için kullanılmaktadır.

¹¹⁷ Aktürk, M. S., - Balköse, H. O., “Part-Machine Grouping Using a Multi-Objective Cluster Analysis”, **International Journal of Production Research**, Vol. 34, No. 8, 1996, ss. 2299-2315.

¹¹⁸ Josien, Karine, - Liao, T. Warren, “Integrated Use of Fuzzy C-Means and Fuzzy KNN for GT Part Family and Machine Cell Formation”, **International Journal of Production Research**, Vol. 38, No. 15, 2000, ss. 3513-3536.

¹¹⁹ Jossien, Karine, - Liao, T. Warren, “Simultaneous Grouping of Parts and Machines with an Integrated Fuzzy Clustering Method”, **Fuzzy Sets and Systems**, Vol. 126, Issue 1, 2002, ss. 1-21.

Adım 5: Güncellenen matristeki her parça ailesi için “eğitim” verilerini çıkart. Adım 3’e benzer şekilde seçilen parçaların bir aile için tipik parçalar olmaları gerekir.

Adım 6: Yeni parça ailelerini oluşturmak ve matrisi güncellemek için bulanık KNN kullan. Bunun açıklaması adım 4’ün aynısıdır.

Adım 7: Makine hücreleri için “eğitim” verilerini çıkar. Eğer “eğitim” veri kümesi öncekinden farksız ise dur. Aksi taktirde bir sonraki aşamayı yap.

Adım 8: Yeni makine hücrelerini oluşturmak ve matrisi güncellemek için bulanık KNN kullan.

Adım 9: Her parça ailesi için “eğitim” verilerini çıkar. Eğer bir değişiklik yoksa dur. Aksi taktirde bir sonraki adımı yap.

Adım 10: Yeni parça ailelerini oluşturmak için bulanık KNN kullan, matrisi güncelle ve adım’7 ye git.

Burada uygulanan çalışmadaki üç ana bileşen “FCM algoritması”, “bulanık KNN algoritması” ve “bulanık KNN algoritması için eğitim verilerinin seçilmesi”dir. “Josien ve Liao” daha sonra bu algoritmayı örneklerle açıklamakta ve literatürden seçilmiş verilerle bu prosedür sonucu elde edilen verileri karşılaştırmaktadır.

14. “Pai ve Lee”nin (2001) algoritması¹²⁰: Bu çalışmada hem bulanık temsile hem de yapay sinir ağı öğrenme ve paralel süreçleme yeteneklerine sahip, “sinir ağı-bulanık mantık” yaklaşımları birleştirilerek uygulanmaktadır. GT parametrelerindeki girdi ve çıktı alanları bölümlenerek bulanık kural oluşumu gerçekleştirilmektedir. Önce sözel terimlerle parçaların biçimleri hakkında üyelik fonksiyonları oluşturulmaktadır. Sonra yine sözel terimlerle parçaların toleranslarını gösteren üyelik fonksiyonları oluşturulmaktadır. Bu üyelik fonksiyonlarıyla biçim ve tolerans olmak üzere iki girdi değişkenli ve makine gruplarını gösteren bir çıktı değişkenli eğer-ise kuralları oluşturulmaktadır. Çalışmada “tekil (singleton)” bulanıklaştırıcı, “çarpım” sonuç kuralı, “Gaus” üyelik fonksiyonu ve “ağırlık merkezi” durulaştırma yöntemleri kullanılmıştır. Çıktı üyelik fonksiyonu merkezi, girdi üyelik fonksiyonu merkezi ve girdi üyelik fonksiyonunun varyansı olmak üzere üç parametreyi içeren bir bulanık sistem denklemi elde edilmiştir. Sonra da, bu denklemi içeren bir “uygunlaştırıcı (adaptive) bulanık ağ”

¹²⁰ Pai, P.F. F., - Lee, E. S., “Adaptive Fuzzy Systems in Group Technology”, **An International Journal of Computers & Mathematics with Applications**, Vol. 42, 2001, Issues 10-11, ss. 1393-1400.

oluşturulmakta ve bu üç parametreyi elde etmek için “geriye yayımlı (back propagating) öğrenme” yöntemi kullanılmaktadır.

15. “Ravichandran ve Rao”nun (2001) algoritması¹²¹: Parça-makine hücre oluşturma problemi önce “makine-parça bulanık ilişki matrisi” olarak isimlendirilen bir matris formatında temsil edilmektedir. Verilen bu makine-parça bulanık ilişki matrisi sıfır-birlik bir geleneksel modele uygun bir şekle dönüştürülmekte ve bu dönüştürme de bir formül şeklinde verilmektedir. Formülün neticesinde çıkan sonuçtan büyük olan matris elemanları 1, küçük olan matris elemanları da 0 girdileri olarak tekrar değiştirilmektedirler. Bu ikili değerlerden oluşan yeni matrise, geliştirilen yeni bir BK formülü uygulanmaktadır. Bu yeni BK denklem (3.24) ile gösterilmektedir.

$$S_{ij} = \frac{a(a+d)}{(a\sqrt{(a+d)} + b+c)\sqrt{(a+d)}} \quad (3.24)$$

Denklemin içerisindeki parametreler Tablo 10’daki parametrelerle aynıdır. Bu formüle göre BK’ları hesaplandıktan sonra bir doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Doğrusal programlama modeli bu BK’ları yardımıyla çözümlenerek makine-parça hücreleri oluşturulmaktadır.

16. “Al-Ahmari”nin (2002) algoritması¹²²: Buradaki temel yaklaşım da yine FCM’na benzemektedir. FCM algoritması “Kaufman ve Rousseeuw” (1990) tarafından geliştirilen bir amaç fonksiyonu ve algoritmaya göre değiştirilerek yeni bir algoritma önerilmiştir¹²³. “Kaufman ve Rousseeuw”un geliştirdikleri amaç fonksiyonu denklem (3.25) ile verilmektedir:

$$\sum_{v=1}^k \frac{\sum_{ij=1}^n u_{iv}^2 u_{jv}^2 d(i,j)}{2 \sum_{j=1}^n u_{jv}^2} \quad (3.25)$$

¹²¹ Ravichandran, K. S., - Rao, K. Chandra Sekhara, “A New Approach to Fuzzy Part-Family Formation in Cellular Manufacturing Systems”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Vol. 18, No. 8, 2001, ss. 591-597.

¹²² Al-Ahmari, A. M. A., “A Fuzzy Analysis Approach for Part-Machine Grouping in Cellular Manufacturing Systems”, **Integrated Manufacturing Systems**, Vol 13, No. 7, 2002, ss. 489-497.

¹²³ Kaufman, L., - Rousseeuw, P., **Finding Groups in Data: Introduction to Cluster Analysis**, John Wiley & Sons Inc., New York, NY. U.S.A., 1990.

Burada u_{iv} makine (parça) i 'nin küme v 'deki üyeliğini gösterir. $d(i, j)$ ise makine (parça) i ve j arasında verilen mesafedir. FCM algoritmasının kesin olarak varsaydığı husus, farklı nesnelere (makinelere) bir p-boyutlu alanın koordinatları şeklinde verilmiş olmasıdır. Gerçekte yalnızca nesnelere (makinelere) arasındaki mesafelere ihtiyaç vardır. Ek olarak, burada sunulmuş olan algoritmadaki her tekrarlama döngüsü bütün parça veya makine çiftleri üzerinde bir çember (loop) meydana getirir. Oysa k , FCM ölçümleme değişkenleri üzerinde her parça veya makine için çemberler meydana getirir.

17. “Lozano ve arkadaşları”nın (2002) algoritması¹²⁴: FCM algoritmasını ilgilendiren temel bazı sorunlar şunlardır. 1) FCM algoritmasının sütun vektörlerine veya satır vektörlerine uygulanması sonucu genelde farklı farklı parça-makine gruplandırmaları oluşmaktadır. 2) Minimumlaştırılmaya çalışılan hata fonksiyonelinin ($J(U, V)$) ekonomik bir anlamı yoktur. 3) FCM ile elde edilen çözüm kullanılan bulanıklaştırma katsayısına bağlı olmasına rağmen, bunun nasıl seçileceği konusunda açık bir tanımlama yoktur. 4) Optimal olan üyelik düzeyleri elde edildikten sonra, parçaların veya makinelerin maksimum üyelik düzeyinin karşısındaki kümeye atanmaları sözkonusudur. Buna bir tür durulaştırma süreci olarak bakılabilir. Ama bu süreç her parça veya makine için birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilmektedir. “Lozano ve arkadaşları” buradaki 3 ve 4. sorunları çözmek için başlangıçta yeterince büyük bir bulanıklık derecesi seçerek daha sonra bunu derece derece azaltan bir algoritma geliştirmişlerdir. Kullanılan yöntem bir tavlama (annealing) yöntemidir.

18. “Sangwan ve Kodali”nin (2004) algoritması¹²⁵: Yalnızca parça ailelerinin oluşturulmasına ilişkin bir çalışmadır. Parça özelliklerinin birbirlerinden farklı önem derecelerine sahip olacakları belirtilmektedir. Parça özelliklerinin bu önem derecelerini belirleyici bir analitik hiyerarşi süreci geliştirilmiştir. FCM kullanılarak geliştirilen algoritmalara göre elde edilen parça ailelerinde ortak olan bir problem, bu ailelerin önceden belirlenmiş bir küme sayısına göre oluşturulmalarıdır. Böyle olunca o küme sayısına uygun parça aileleri oluşmakta, parça ailelerinin doğal oluşumu bir ölçüde engellenmektedir. Parçaların tasarım özelliklerini göz önünde bulundurarak ve parça

¹²⁴ Lozano, S., - Dobado, J., - Larraneta, L., - Onieva, L., “Modified Fuzzy C-Means Algorithm for Cellular Manufacturing”, **Fuzzy Sets and Systems**, Vol. 126 , Issue 1 , 2002, ss. 23-32.

¹²⁵ Sangwan, Kaldip Singh, - Kodali, Rambabu, “Fuzzy Part Family Formation for Cellular Manufacturing Systems”, **Production Planning & Control**, Vol. 15, No. 3, 2004, ss.292-302.

özelliklerinin nispi benzerlik üyeliklerini hesaplayarak parça ailelerinin belirlendiği bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritmanın adımları şunlardır:

Adım 1. Parça sayısını, özellik sayısını ve bunların değerlerini belirle.

Adım 2. Her özellik için o özelliğin her parça çiftine olan üyelik derecesini denklem (3.26) yardımıyla belirle.

$$\mu_{1-2}^a = 1 - \frac{|x_1 - y_2|}{|x - y|_{\max}^a} \quad (3.26)$$

Burada, x ve y parça 1 ve 2 için özellik a 'nın değerleridir.

Adım 3. Özellikler için bir üyelik fonksiyonu ve buna göre sözel değişkenleri tanımla.

Adım 4. Analitik hiyerarşi süreci kullanarak her özellik için ağırlık faktörlerini belirle.

Adım 5. Ağırlık faktörleri için bir üyelik fonksiyonu ve buna göre sözel değişkenleri tanımla.

Adım 6. Eğer-İse kurallarına göre karar-alma mantığı veya karar kuralları oluştur.

Adım 7. Üyelik fonksiyonlarını belirlemek için minimum işlemcisini kullan.

Adım 8. Ağırlık merkezi yöntemini kullanarak tüm parçalar arasındaki benzerlik katsayılarını bul.

Adım 9. BK kümeleme yöntemlerinden birini kullanarak parça ailelerini oluştur.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK KÜMELEMEDE ÖNERİLEN YAKLAŞIMLAR VE BİR VİNÇ ATÖLYESİNDE UYGULAMA

Bu bölümde, önceki bölümlerdeki bazı bulanık ve bulanık olmayan hücre oluşturma yöntemlerinin, vinç üreticisi bir işletme atölyesinden alınan veriler üzerine uygulaması yapılacaktır. Önce, “Zhang ve Wang”ın (1992), sonra “Chu ve Hayya”nın (1991) algoritması açıklanarak sunulacaktır. Bunlardan ilki, bulanık verilerden oluşan bir başlangıç matrisini girdi olarak kullanmaktadır. İkincisi ise, ikili verilerden oluşan bir başlangıç matrisi girdi olarak kullanıp, FCM yöntemini bu matrise uygulamaktadır.

4.1. BULANIK BAŞLANGIÇ MATRİSİ VE HÜCRELERİN OLUŞTURULMASI

4.1.1. Bulanık Başlangıç Matrisi ve Uygunluk Fonksiyonu

“Zhang ve Wang”ın (1992) geliştirdikleri algorithmada en önemli unsur bulanık bir başlangıç “makine-parça uyum” matrisi oluşturabilmektir. Böyle bir matris oluşturulduktan sonra, ROC, BK, BE gibi birçok algoritma üzerinde bazı küçük değişiklikler yapılarak bu matris için uygulanabilir hale getirilmeleri sağlanabilir.

“Zhang ve Wang” çalışmalarında yeni bir bulanık BK geliştirerek, BK yöntemlerinden tek bağlantı yöntemini bu matrise uygulamışlardır. Sonra, ROC yöntemini de biraz değiştirerek yine bu matrise uygulamışlardır.

İkili matris yaklaşımının esnek olmaması nedeniyle matris (4.1)’deki gibi ikili olmayan bir matris geliştirilebilir. Bu matris kısıtlayıcı (4.2) ve (4.3)’ü sağlamalıdır.

$$N = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & X_3 & \cdots & X_n \\ \begin{matrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_m \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccccc} u_{11} & u_{12} & u_{13} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} & \cdots & u_{2n} \\ u_{31} & u_{32} & u_{33} & \cdots & u_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{m1} & u_{m2} & u_{m3} & \cdots & u_{mn} \end{array} \right. \end{matrix} \quad (4.1)$$

$$0 \leq u_{ij} \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.2)$$

$$\sum_{j=1}^n u_{ij} > 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.3)$$

Burada,

X_j bir parça, $j = 1, 2, \dots, n$,

Y_i bir makine, $i = 1, 2, \dots, m$,

u_{ij} parça j ve makine i arasındaki uygunluktur.

Kısıtlayıcı (4.2) ile, bir makine ile bir parça arasındaki uygunluğu gösteren u_{ij} girdilerinin hiç uygun olmama “0” ve tam uygun olma “1” arasında değerler alabileceği belirtilmektedir. Kısıtlayıcı (4.3) ise bir makinenin bu matriste temsil edilebilmesi için mutlaka en azından bir parçayla, sıfırdan büyük bir düzeyde uygun olması gerektiğini gösterir. Aksi durumdaki bir makinenin matriste gösterilmesine gerek yoktur.

Matrisin elemanları makineler ve parçalar arasındaki uygunluk fonksiyonlarından hesaplanabilir. Bu değerleri elde etmek için şu adımların izlenmesi gerekmektedir¹²⁶.

1. “Zadeh”in (1965) bulanık küme teorisi kullanılarak her makine-özellik çifti için bir uygunluk fonksiyonu tanımlanır.
2. Her makine-özellik çifti için uygunluk derecesi değeri hesaplanır.
3. Bir parça genelde birden fazla özelliğe sahip olduğu için, her makine-parça çiftinin uygunluk bileşik endeksi hesaplanır. Bu bileşik endeksler matris (4.1)’in elemanlarını oluşturur.

“Zadeh”in bulanık küme teorisinde, bir U evreninde U ’nun bulanık bir A alt kümesi bir $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonuyla tanımlanır. Örneğin, eğer U bazı parçaların gereken son toleranslarının kümesini temsil etmekteyse, A da bir makinenin üretebileceği toleransların bulanık alt kümesini gösterir. Buna göre bir $\mu_A(x)$ uygunluk fonksiyonu denklem (4.4)’teki gibi olacaktır.

¹²⁶ Zang, - Wang, a.g.m., s. 62.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a - a_2 \\ \frac{a_2 + x - a}{a_2 - a_1}, & a - a_2 < x \leq a - a_1 \\ 1, & a - a_1 < x < a + a_1 \\ \frac{a_2 - x + a}{a_2 - a_1}, & a + a_1 \leq x < a + a_2 \\ 0, & a + a_2 \leq x \end{cases} \quad (4.4)$$

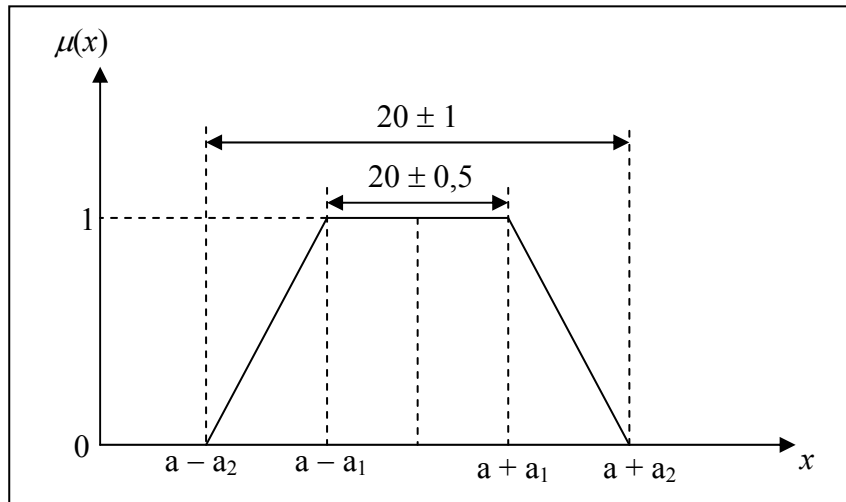
Burada;

a makinenin yapabileceği belirli bir işlemin ortalama büyüklüğü,

a_1 makinenin yapabileceği belirli bir işlemin toleransının alt sınırı,

a_2 makinenin yapabileceği belirli bir işlemin toleransının üst sınırıdır.

Örneğin bir makinede $a = 20$, $a_1 = 0,5$ ve $a_2 = 1$ olduğu varsayılırsa, herhangi bir parça ile bu makine arasındaki $\mu_A(x)$ uygunluk fonksiyon grafiği Şekil 4.1'deki yamuk biçiminde olacaktır. Eğer söz konusu parçanın bu makineyi ilgilendiren x özelliğinin (çap, uzunluk v.s.) ölçüsü $19 < x < 21$ ise, bu parça bu makinede işlenebilir ve bu makineye x 'in alacağı değere göre belirli bir üyelik derecesinde üye olur. Parçanın üyelik derecesinin sıfır olduğu $x \leq 19$ ve $x \geq 21$ durumlarında ise bu parça kesinlikle bu makinede işleminden geçirilemez.



Şekil 4.1. Uygunluk Fonksiyonu.

Görüleceği üzere matris (4.1) gibi bir matrisin düzenlenebilmesi için makine işlemleriyle parça özelliklerinden ilişkili olanlarının seçilmeleri gerekir. Bir makine işlemiyle bir parça özelliği bir çift oluşturur. Bu şekildeki her çift için bir üyelik fonksiyonunun da tanımlanması gerekmektedir. Uygulamada parça özellikleri, makineler ve parçalar arasındaki üyeliği belirlemede farklı önem düzeylerine sahip olabilirler. Bu nedenle, özelliklere farklı ağırlıklar atanabilir. Farklı ağırlıklar atandığında da makine ve parça arasında oluşan üyelik, bütün parametrelerin üyeliklerinin bu parametrelerin ağırlıklarıyla bileşimi şeklinde elde edilmelidir.

4.1.2. Bileşik Uygunluk Endekslerinin Belirlenmesi

Bir parça için belirlenen bütün özelliklerle bir makine arasında oluşan her makine-özellik çifti için uygunluk endeksleri hesaplandıktan sonra, her makine-parça çifti için bileşik uygunluk endeksi de hesaplanabilir¹²⁷. Gereken parametreler şunlardır:

X_j = Parça j 'nin özelliklerinden oluşan bulanık alt küme.

$X_i = \{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jp}\}$ ($j = 1, 2, \dots, n$)

M = Makinelerden oluşan bulanık alt küme.

$M = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$

$w_k = k$ özelliğinin ağırlığı.

$\mu_{Y_i}(x_{jk})$ = Makine i ile parça j 'nin k özelliği arasındaki uygunluğun derecesi.

$\mu'_{Y_i}(X_j)$ = Makine i ile parça j arasındaki bileşik uygunluk.

$\mu_{Y_i}(X_j)$ = Normalleştirmeden sonraki makine i ile parça j arasındaki bileşik uygunluk.

$C_i = \{\mu'_{Y_i}(X_j)\}$ kümesinin maksimum elemanı.

n = Parçaların sayısı.

p = Özelliklerin sayısı.

m = Makinelerin sayısı.

¹²⁷ Zang, - Wang, a.g.m., s. 63.

“Zadeh”in (1965) bulanık küme teorisine göre makine i ve parça j arasındaki bileşik uygunluk denklem (4.5) ile hesaplanır.

$$\mu'_{Y_i}(X_j) = \bigwedge_{1 \leq k \leq p} \left\{ \frac{\mu_{Y_i}(x_{jk})}{w_k} \right\} \quad (4.5)$$

Tüm değerlerin 0 ve 1 arasında olmalarını sağlamak için bazı normalleştirmeler gerekebilir. Bu normalleştirme süreci de denklem (4.6) ve (4.7) ile verilmektedir.

$$C_i = \max_{1 \leq j \leq n} \{ \mu'_{Y_i}(X_j) \} \quad (4.6)$$

$$\mu_{Y_i}(X_j) = \frac{\mu'_{Y_i}(X_j)}{C_i} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.7)$$

Denklem (4.4)'deki gibi uygunluk fonksiyonları ve burada anlatılan denklemler yardımıyla matris (4.1)'deki gibi bir bulanık makine-parça uygunluk matrisi elde edilebilir. Bu matrisin, parça-makine görünüm matrisi diye tanımlanan ve ikili verilerden oluşan matristen tek farkı her elemanın bulanık bir bileşik endeksi temsil etmesidir. Dolayısıyla, ikili matriste olduğu gibi, başlangıç bir matris olarak kullanılabilir.

4.1.3. Genel Kümeleme Yöntemleri ve Bulanık Başlangıç Matrisi

Elde edilen bu bulanık başlangıç matrise göre “Zhang ve Wang” biri “bulanık tek bağlantı kümeleme” diğeri de “bulanık ROC” olmak üzere iki yöntem önermektedir. Burada bunlara ek olarak yeni bir uygulama şekli olan “bulanık bağ enerji (BBE)” yöntemi de tanıtılacaktır.

“Zhang ve Wang” bulanık tek bağlantı kümeleme yönteminin bulanık başlangıç matrise uygulanabilirliğini sağlamak amacıyla denklem (4.8)'deki gibi yeni bir BK geliştirmişlerdir¹²⁸.

¹²⁸ Zang, - Wang, a.g.m., s. 63.

$$S_{ij} = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n |u_{ik} - u_{jk}|}{m} \quad (4.8)$$

Burada,

S_{ij} makine i ve j arasındaki BK,

u_{ik} parça k ve makine i arasındaki uygunluk derecesi,

m makine i ve j arasında girdileri sıfır olmayan parçaların sayısıdır.

Bu BK'nın alacağı değerler 0 ve 1 arasında olacaktır. Eğer iki makine için tüm u_{ij} girdileri özdeşse BK = 1'dir. Eğer iki makine için tüm u_{ij} girdileri tersse (biri 0 diğeri 1 veya bunun tersi) BK = 0 olur. Her makine çifti arasında BK'ları hesaplandıktan sonra BK yöntemlerinden herhangi biri burada da uygulanabilir.

Bulanık ROC yöntemi de yine bulanık olmayan versiyonu biraz değiştirilerek sunulmaktadır. İkili verilerden oluşan başlangıç matrisine ROC yöntemi uygulandığında "1" girdilerinin hepsi köşegen blokların içine alınmaya çalışılmaktaydı. Bulanık başlangıç matrisinde ise köşegen blokların içerisine sıfırdan büyük olan ve mümkün olduğunca değeri ve ağırlığı büyük olan elemanlar alınmaya çalışılmaktadır. "Zhang ve Wang"ın algoritması şöyledir¹²⁹:

Adım 1: Her sütun için ağırlıklar atanır. Sütun j 'nin ağırlığına w_j ve sütun sayısına n denirse bu, denklem (4.9) ile atanır.

$$w_j = 2^{n-j} \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (4.9)$$

Adım 2: Her satır için sıralama değeri hesaplanır. Satır i 'nin sıralama değerine R_i ve satırların sayısına m denirse bu, denklem (4.10) ile hesaplanır.

$$R_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.10)$$

¹²⁹ Zang, - Wang, a.g.m., s. 64.

Adım 3: Azalan sıralama değerlerinde satırlar yeniden sıralanır.

Adım 4: Yukarıdaki adımların aynısı sütunları sıralamak için de kullanılır.

Adım 5: Yukarıdaki adımların hepsi sıralamada herhangi bir değişiklik kalmayasıya kadar tekrarlanır.

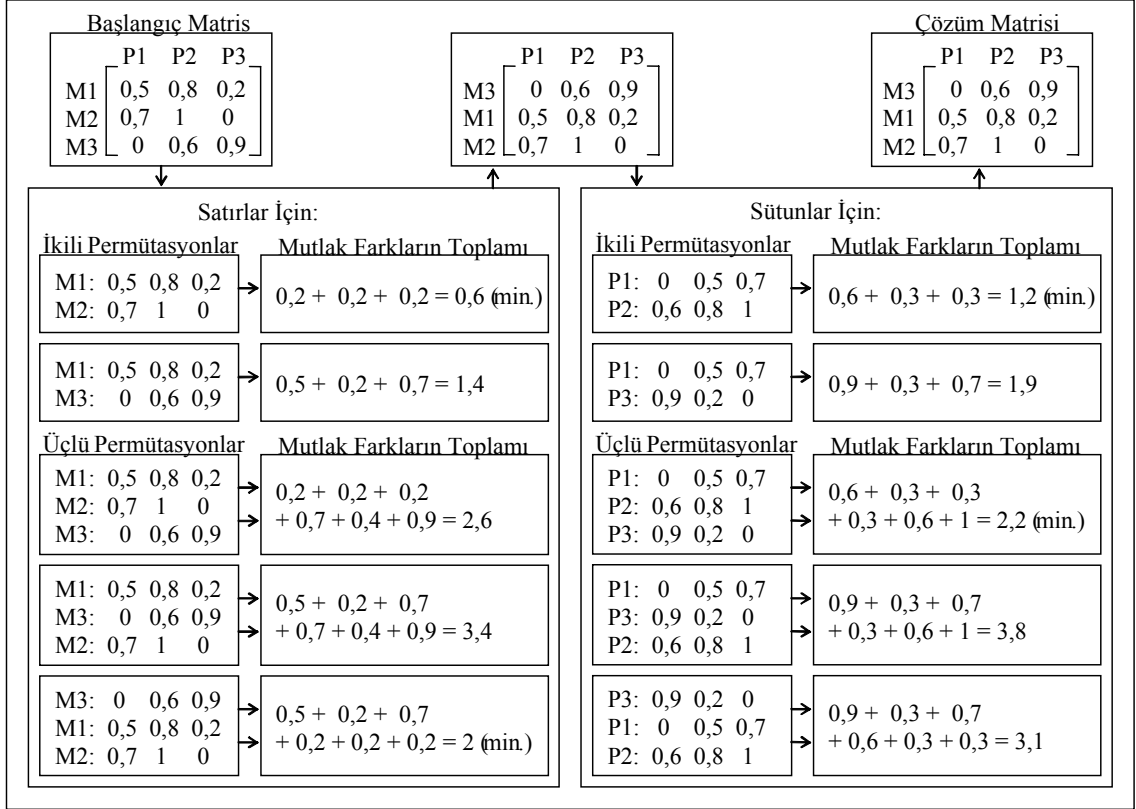
Görüleceği üzere bu yöntemin bulanık olmayan versiyonundan hemen hemen hiçbir farkı yoktur. Tek küçük fark, sıralama değerleri hesaplanırken oluşmaktadır. x_{ij} çarpanı (yani matris içi değerler) 0 ve 1 arasında da değer alabilmektedir. Blok-köşegen yapının oluşturulması ROC yönteminin bulanık olmayan versiyonundaki gibidir.

Yukarıdaki iki yönteme ek olarak “BBE yöntemi” de geliştirilebilir. Bulanık başlangıç matrise uygulanacak BBE algoritması yine, büyük ölçüde bulanık olmayan versiyonuna benzeyecektir. Aradaki tek fark BE’lerinin hesaplanış biçiminde oluşur. Denklem (2.6) ile satır BE’leri hesaplanırken alt alta gelen iki matris elemanının birbirine eşit olması şartı aranmaktaydı. Aynı şart denklem (2.7) ile verilen sütun BE’leri hesaplanırken yan yana gelen iki matris elemanında da aranmaktaydı. Yan yana veya alt alta gelen iki elemanın eşit olması demek aralarındaki mutlak farkın sıfır olması demektir. Diğer durumlarda, ikili matrislerde bu mutlak fark bire eşit çıkar. Dolayısıyla, bu mutlak farkların toplamı ne kadar küçükse iki satır veya iki sütun arasındaki BE o kadar büyük demektir.

Bulanık matrislerde ise bu mutlak fark sıfır ve bir arasında bir değer olacaktır. Burada BE’leri hesaplamak yerine, alt alta gelen tüm satırların elemanları karşılıklı olarak birbirinden çıkarılır ve çıkan sonuçların mutlak değerleri toplanır. Toplamı minimum çıkan permütasyonun BE’si en yüksek demektir. Aynen BE yönteminde anlatıldığı gibi tüm permütasyonlar için işlemler tekrarlanır. Buna göre elde edilen en son matris, alt alta gelen tüm satır elemanlarının karşılıklı farklarının, mutlak değerleri toplamının minimum olduğu matristir. Aynı işlemler yan yana gelen sütunların elemanları için de yapılır. Böylelikle, matristeki alt alta ve yan yana gelen tüm elemanların karşılıklı olarak farklarının mutlak değerleri toplamı minimum yapılmış olur. Diğer bir anlatımla, BE’leri toplamı da aslında maksimum yapılmış olur.

Şekil 4.2’de sütunları üç adet parça ve satırları da üç adet makineden oluşan örnek bir bulanık başlangıç matris verilmektedir. BBE yönteminin bu matrise uygulanışı

şekilde görüldüğü gibi gösterilmektedir. Sonuçta elde edilen çözüm matrisi blok-köşegen yapının oluşturulabileceği bir matristir.



Şekil 4.2. Önerilen BBE Yöntemi.

Büyük boyutlu matrisler için Şekil 4.2'deki BBE yöntemiyle oluşan satır ve sütunların yeni permütasyonları, blok-köşegen bir yapıyı oluşturmada en iyi olan çözümü vermeyebilir. Bu nedenle BBE yöntemi en uygun çözüme yaklaşır bir ön aşama olarak kullanılmalıdır. Blok köşegen bir yapı elde edildikten sonra oluşan bloklar dışında kalan eleman sayısına (istisnai eleman sayısı) X ve bloklar dışında kalan elemanların uygunluk dereceleri toplamına da Y denilsin. Bu durumda eğer herhangi bir parça veya makine matristeki kendi hücresinden alınıp başka bir hücreye taşınırsa aşağıdaki dokuz durumdan yalnızca biri oluşacaktır.

1. X değişmez, Y değişmez.
2. X değişmez, Y artar.
3. X değişmez, Y azalır.

4. X artar, Y değişmez.
5. X azalır, Y değişmez.
6. X artar, Y artar.
7. X azalır, Y azalır.
8. X artar, Y azalır.
9. X azalır, Y artar.

Blok köşegen bir yapı belirlendikten sonra, bloklar dışında kalan eleman sayısının ve bloklar dışında kalan elemanların uygunluk dereceleri toplamlarının minimum edilmesi amacıyla diğer tüm yöntemler için de geçerli ve kullanılabilir olan şu iki işlemin yapılmasında fayda vardır:

a) Önceki yöntemlerde anlatıldığı gibi hücre içi boşluklar giderilmelidir.

b) Eğer bir parça veya makine bir hücreden çıkarılıp diğer bir hücreye alındığında yukarıdaki 3., 5. ve 7. durumlardan herhangi biri oluşuyorsa bu değiştirme işlemi kesinlikle yapılmalıdır. Eğer 2., 4. ve 6. durumlardan herhangi biri oluşuyorsa bu değişiklik kesinlikle yapılmamalıdır. Yukarıdakilerden 1. durum oluşursa değişikliğin yapılıp yapılmaması sonucu etkilemez. Bu durumda aynı sonuçları veren alternatif çözüm var demektir. 8. ve 9. durumlarda ise X ve Y 'ye verilen ağırlıklara göre değişikliğin yapılması veya yapılmaması kararı verilmelidir.

Bir bulanık makine-parça uygunluk matrisinin yapısal özelliklerini taşıyan, "Kamal ve Burke"den (1996) alınmış, büyük boyutlu bir örnek başlangıç matrisi Şekil 4.3'te sunulmaktadır. Şekil 4.4 BBE yöntemiyle elde edilen iki hücrelik blok-köşegen yapıyı, Şekil 4.5 hücre içi boşluklar giderilmiş sonucu ve Şekil 4.6 yukarıda açıklanan ikinci işleme göre elde edilen son blok-köşegen yapıyı göstermektedir. Şekil 4.4'ü elde etmek için gerekli permütasyonlar ve hesaplamalar Microsoft Excel bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır. Şekil 4.6'da Şekil 4.5'teki M24, M22 ve M19 satırları hücre 1'den hücre 2'ye, M12, M17 ve M23 satırları da hücre 2'den hücre 1'e alınmışlardır. Böylelikle hem bloklar dışındaki istisnai eleman sayısı hem de bloklar dışındaki elemanların uygunluk dereceleri toplamı azalır. P4 sütununun durumu ise yukarıdaki 9. duruma uymaktadır. Şekil 4.6'da P4'ün yeri değiştirilmemiştir.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
M1	0.62		0.62	0.38	0.75	0.5		0.88				0.38	0.75	0.22	0.78			0.5	1	
M2			0.38			0.75			0.5	0.22		0.62								
M3	1			0.38				0.62										0.5	0.83	0.12
M4					0.38								0.75							
M5			0.33						0.88		0.38					0.75			0.5	
M6										0.22							1			
M7			1				0.43	1	0.33	1						0.38	0.71			
M8							1		0.33											
M9							0.55		1											
M10	0.38				0.75	0.88			0.38			0.62	1					1		
M11	0.75		0.75		1							0.88								
M12				0.88				0.75						0.56	0.89					0.38
M13		0.89					0.43										1			
M14												0.75								
M15		0.22														0.88				
M16	1	0.44	0.88		0.38	0.88		0.25				1	0.5	1			1	0.67		1
M17								0.75		0.33				0.56						0.38
M18				0.75					0.89											
M19			0.88						0.88			0.38	1		0.44	1	0.43			
M20									0.5					0.56		0.43				
M21												0.75	0.38		1					
M22	0.62			1				0.88							1					
M23	0.75		1	0.5		1		1	0.5	0.67				0.33	0.89					0.88
M24	0.88			0.62					0.5						0.89					

Şekil 4.3. Örnek Bulanık Başlangıç Matrisi.

Kaynak: Kamal, S., - Burke, L. I., "FACT: A New Neural Network-Based Clustering Algorithm for Group technology" **International Journal of Production Research**, Vol. 34 , No. , 1996, ss. 919-946.

	P1	P3	P12	P5	P13	P18	P6	P20	P14	P8	P19	P11	P2	P17	P7	P10	P4	P15	P9	P16
M16	1	0.88	1	0.38	0.5	0.67	0.88	1	1	0.25			0.44	1						
M1	0.62	0.62	0.38	0.75	0.75	0.5	0.5		0.22	0.88	1						0.38	0.78		
M3	1					0.5		0.12		0.62	0.83						0.38			
M24	0.88																0.62	0.89	0.5	
M22	0.62																1	1	0.88	
M20														0.43				0.56	0.5	
M2		0.38	0.62				0.75									0.22			0.5	
M10	0.38		0.62	0.75	1	1	0.88												0.38	
M11	0.75	0.75	0.88	1																
M19		0.88	0.38		1									0.43				0.44	0.88	1
M5		0.33									0.5	0.38							0.88	0.75
M9															0.55				1	
M8															1				0.33	
M14					0.75															
M4				0.38	0.75															
M21			0.75		0.38															1
M15													0.22							0.88
M18																0.89	0.75			
M12								0.38	0.56	0.75							0.88	0.89		
M17								0.38	0.56	0.75										
M6																	0.33			
M13													0.89	1	0.43					
M7		1									1									0.33
M23	0.75	1					1	0.88	0.33	1						0.67	0.5	0.89	0.5	

Şekil 4.4. Örnek Bulanık Matrise BBE Yönteminin Uygulanması Sonucu.

	P1	P3	P12	P5	P13	P18	P6	P20	P14	P8	P19	P11	P2	P17	P7	P10	P4	P15	P9	P16
M16	1	0.88	1	0.38	0.5	0.67	0.88	1	1	0.25			0.44	1						
M1	0.62	0.62	0.38	0.75	0.75	0.5	0.5		0.22	0.88	1					0.38	0.78			
M3	1					0.5		0.12		0.62	0.83					0.38				
M24	0.88															0.62	0.89	0.5		
M22	0.62															1	1	0.88		
M2		0.38	0.62				0.75								0.22			0.5		
M10	0.38		0.62	0.75	1	1	0.88											0.38		
M11	0.75	0.75	0.88	1																
M19		0.88	0.38		1									0.43				0.44	0.88	1
M5		0.33									0.5	0.38							0.88	0.75
M14					0.75															
M4				0.38	0.75															
M21			0.75		0.38															1
M20													0.43				0.56	0.5		
M9														0.55				1		
M8														1					0.33	
M15													0.22							0.88
M18																0.89	0.75			
M12								0.38	0.56	0.75										
M17								0.38	0.56	0.75										
M6														1		0.22				
M13													0.89	1	0.43					
M7		1									1								0.33	0.38
M23	0.75	1					1	0.88	0.33	1				0.71	0.43	1			0.33	0.38

Şekil 4.5. Örnek Bulanık Matrisin BBE Yöntemine Göre Hücre İçi Boşluksuz Şekli.

	P1	P3	P12	P5	P13	P18	P6	P20	P14	P8	P19	P11	P2	P17	P7	P10	P4	P15	P9	P16
M16	1	0.88	1	0.38	0.5	0.67	0.88	1	1	0.25			0.44	1						
M1	0.62	0.62	0.38	0.75	0.75	0.5	0.5		0.22	0.88	1					0.38	0.78			
M3	1					0.5		0.12		0.62	0.83					0.38				
M2		0.38	0.62				0.75												0.5	
M10	0.38		0.62	0.75	1	1	0.88								0.22				0.38	
M11	0.75	0.75	0.88	1																
M5		0.33										0.5	0.38						0.88	0.75
M14					0.75															
M4				0.38	0.75															
M21			0.75		0.38															1
M12								0.38	0.56	0.75							0.88	0.89		
M17								0.38	0.56	0.75						0.33				
M23	0.75	1					1	0.88	0.33	1						0.67	0.5	0.89	0.5	
M24	0.88																0.62	0.89	0.5	
M22	0.62																1	1	0.88	
M19		0.88	0.38		1									0.43				0.44	0.88	1
M20														0.43				0.56	0.5	
M9															0.55				1	
M8															1				0.33	
M15													0.22							0.88
M18																0.89	0.75			
M6														1		0.22				
M13													0.89	1	0.43					
M7		1								1						0.71	0.43	1		0.33

Şekil 4.6. Örnek Bulanık Matrisin En Son Düzenlenmiş Blok-Köşegen Şekli.

4.2. İKİLİ BAŞLANGIÇ MATRİSİ VE BULANIK C-ORTALAMALARI

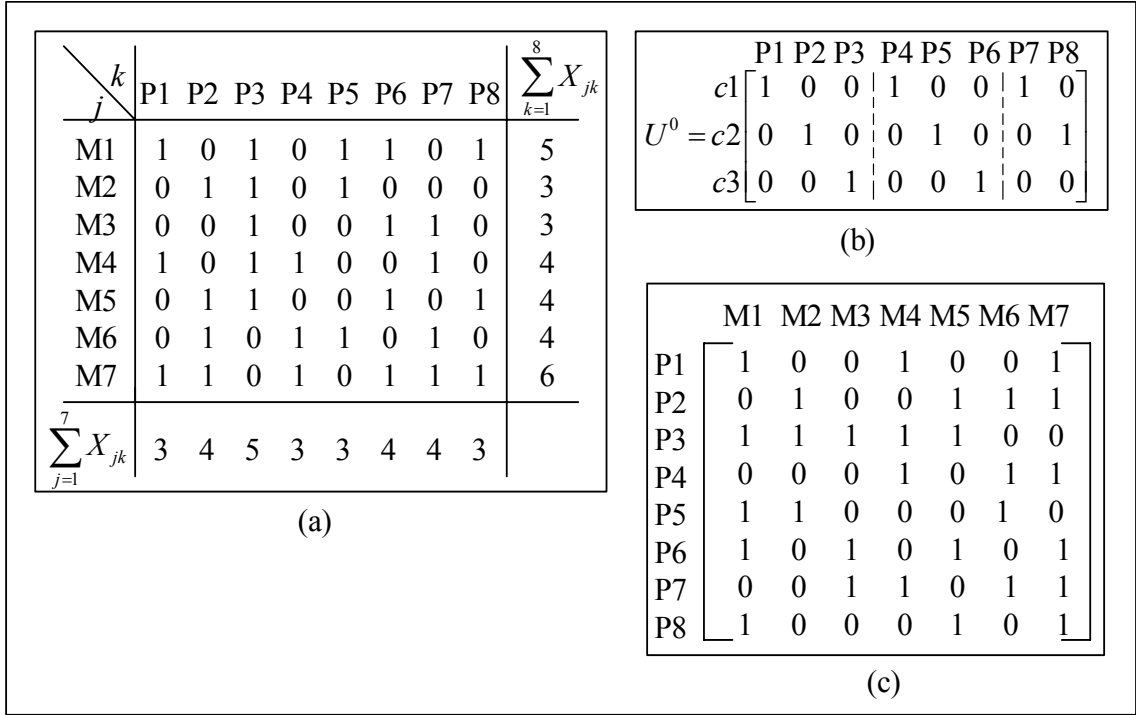
FCM yönteminde hem başlangıç U^0 matrisi, hem de parça özelliklerini gösteren $[\mu_k(x_{jk})]$ matrisi için bulanık veriler kullanılmaktaydı. “Chu ve Hayya” (1991) hem ikili veriler kullanarak FCM’ni uygulamışlar, hem de FCM’na yeni bir yaklaşım getirmişlerdir. Uygulanan bu yöntemde parça ailelerinin oluşturulmalarında tasarım özelliklerinin yerine üretim rotalama (üretim akışları) verileri kullanıldığı için bu yöntem, “Li ve arkadaşları”nın (1988) ve “Xu ve Wang”ın (1989) yöntemlerinden farklı özelliktedir.

Başlangıç U^0 matrisinin ikili verilerden oluşmasını sağlamak için “Chu ve Hayya” modüler aritmetik içeren bir prosedür sunmaktadır¹³⁰. Fakat bunun sağlanması daha kolay bir şekilde de açıklanabilir. Üçüncü bölümdeki kısıtlayıcı (3.13), (3.14) ve (3.15) ile verilen şartlar ikili verilerle şöyle sağlanabilir: İstenen küme sayısı “ c ” belirlendikten sonra “ c ” boyutlu birim matrisler yan yana getirilir. Yan yana getirilen bu “ c ” boyutlu birim matrislerin sonuncusu eğer sütunları oluşturan parça sayısını aşarsa, fazla olan bu sütun veya sütunlar matristen çıkarılır. Örneğin sekiz parça ve üç kümeden oluşan bir U^0 başlangıç matrisi Şekil 4.7.(b)’deki gibi olacaktır.

Üretim akışlarına göre düzenlenmiş ikili verilerden oluşan herhangi bir “parça-makine görünüm matrisi” de parçaların özelliklerini gösteren bir $[\mu_k(x_{jk})]$ matrisi olarak kullanılabilir. Satırlar parçaları ve sütunlar da makineleri göstermek üzere her bir sütun burada, parçaların bir “makine süreci özelliği”ni gösteriyormuş şeklinde anlaşılmalıdır. Şekil 4.7.(a)’da bir örnek ikili başlangıç matris ve Şekil 4.7.(c)’de bu matrisin “Chu ve Hayya”nın yaklaşımına göre FCM’nda kullanılırken nasıl olması gerektiği (transpozese alınarak) yani, $[\mu_k(x_{jk})]$ matrisi gösterilmektedir.

Şekil 4.7.(b) ve (c)’deki bu iki matris belirlendikten sonra FCM yöntemi aynen uygulanır. Çıkan en son üyelik değerleri ve küme merkezleri üzerinde “Chu ve Hayya” bir yeniden atama yaklaşımı önermektedir. Bu yeni yaklaşım parçaların ve makinelerin kümelere yeniden atanmaları gerektiğinde önceliği olanların tespit edilmelerini sağlar.

¹³⁰ Chu, - Hayya, a.g.m., s. 1487.



Şekil 4.7. İkili Örnek Matris ve FCM'na Uyarlanması.

Yeniden atanmada parçaların öncelik sıralarını tespit etmek için, FCM'yla elde edilen küme üyeliklerinin mutlak farklarından yararlanır. Makinelerin öncelik sırasını tespit etmek içinse, FCM'yla elde edilen küme merkezlerinin mutlak farklarından yararlanır. Parça üyeliklerinin mutlak farkları denklem (4.11), makine küme merkezlerinin mutlak farkları da denklem (4.12) ile bulunur¹³¹.

$$f_{ij} = (|u_{i1} - u_{j1}|, |u_{i2} - u_{j2}|, \dots, |u_{in} - u_{jn}|) \quad (4.11)$$

$$f_{ij} = (|v_{i1} - v_{j1}|, |v_{i2} - v_{j2}|, \dots, |v_{ip} - v_{jp}|) \quad (4.12)$$

Sonra da, her parça için bir baştan diğer başa ortalama uygunluk, denklem (4.13), her makine için ortalama uygunluk ise denklem (4.14) ile hesaplanır. Her iki denklemin bölme işlemlerindeki paydaların hesaplanması Şekil 4.7.(a)'dadır.

¹³¹ Chu, - Hayya, a.g.m., s. 1479-1480.

$$f_k = \left(\sum_{j=i+1}^c \sum_{i=1}^{c-1} f_{ij,k} \right) / \sum_{j=1}^p X_{jk}, \quad i \neq j, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (4.13)$$

$$f_k = \left(\sum_{j=i+1}^c \sum_{i=1}^{c-1} f_{ij,k} \right) / \sum_{i=1}^n X_{ik}, \quad i \neq j, \quad k = 1, 2, \dots, p \quad (4.14)$$

Bu örneğe uygun olarak parçaların yeniden atanmalarında öncelik sıralarının tespit edilişleri Tablo 23 ile, makinelerin yeniden atanma öncelikleri de Tablo 24 ile gösterilmektedir. Bu tablolardaki parçaların kümelere olan üyelikleri ve makine küme merkezleri, Şekil 4.7'deki örneğe FCM uygulanarak elde edilmiştir. FCM yöntemi için MATLAB 6.5 bilgisayar programında bulunan hazır M-dosyası kullanılmıştır. Durdurma kriteri $\varepsilon = 0,01$, küme sayısı $c = 3$ ve bulanıklık derecesi $m = 2$ olarak alınmıştır.

Tablo 23: Parçaların Küme Üyelik Dereceleri ve Yeniden Atanma Öncelikleri.

	Kümelere olan üyelikler (u_{ik})			Maksimum üyelik	1.Seçenek	2.Seçenek	1.Seçeneğe göre: Hüc.1 Hüc.2 Hüc.3 P2 P1 P6 P3 P4 P8 P5 P7		
	1	2	3						
P1	0,24	0,39	0,37	0,39	2	3			
P2	0,46	0,27	0,27	0,46	1	–			
P3	0,41	0,21	0,38	0,41	1	3			
P4	0,07	0,88	0,05	0,88	2	1			
P5	0,82	0,09	0,09	0,82	1	–			
P6	0,09	0,07	0,84	0,84	3	1			
P7	0,09	0,82	0,09	0,82	2	–			
P8	0,10	0,07	0,83	0,83	3	1			
	u_1 u_2 u_3			Ayrıştırma vektörleri (f_{ij})			$\sum_{j=1}^p X_{jk}$	f_k	Yeniden atanma önceliği
				$ u_1 - u_2 $	$ u_1 - u_3 $	$ u_2 - u_3 $			
P1	0,24	0,39	0,37	0,15	0,13	0,02	3	0,10	3
P2	0,46	0,27	0,27	0,19	0,19	0	4	0,09	2
P3	0,41	0,21	0,38	0,20	0,03	0,17	5	0,08	1
P4	0,07	0,88	0,05	0,81	0,02	0,83	3	0,55	8
P5	0,82	0,09	0,09	0,73	0,73	0	3	0,49	6
P6	0,09	0,07	0,84	0,02	0,75	0,77	4	0,39	5
P7	0,09	0,82	0,09	0,73	0	0,73	4	0,37	4
P8	0,10	0,07	0,83	0,03	0,73	0,76	3	0,51	7

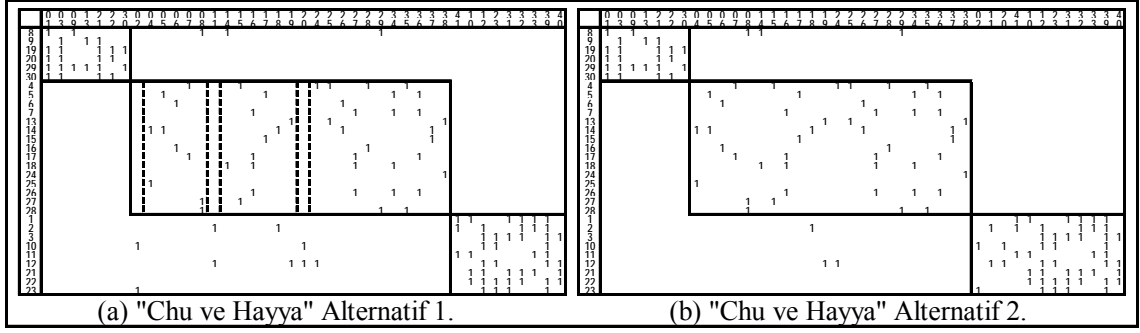
Tablo 24: Makinelerin Küme Merkezleri ve Yeniden Atanma Öncelikleri.

	Küme merkezleri			Maksimum merkez	1.Seçenek	2.Seçenek	1. Seçeneğe göre: Hüc.1 Hüc.2 Hüc.3 M2 M4 M1 M6 M3 M7 M5		
	1	2	3						
M1	0,79	0,12	0,95	0,95	3	1			
M2	0,91	0,07	0,13	0,91	1	3			
M3	0,17	0,41	0,49	0,49	3	2			
M4	0,22	0,95	0,16	0,95	2	1			
M5	0,37	0,07	0,91	0,91	3	1			
M6	0,77	0,88	0,05	0,88	2	1			
M7	0,28	0,97	0,91	0,97	2	3			
	v_1 v_2 v_3			Ayrıştırma vektörleri (f_{ij})			$\sum_{i=1}^n X_{ik}$	f_k	Yeniden atanma önceliği
				$ v_1 - v_2 $	$ v_1 - v_3 $	$ v_2 - v_3 $			
M1	0,79	0,12	0,95	0,67	0,16	0,83	5	0,33	3
M2	0,91	0,07	0,13	0,84	0,78	0,06	3	0,56	7
M3	0,17	0,41	0,49	0,24	0,32	0,08	3	0,21	1
M4	0,22	0,95	0,16	0,73	0,06	0,79	4	0,40	4
M5	0,37	0,07	0,91	0,30	0,54	0,84	4	0,42	6
M6	0,77	0,88	0,05	0,11	0,72	0,83	4	0,41	5
M7	0,28	0,97	0,91	0,69	0,63	0,06	6	0,23	2

Tablo 23 ve 24'teki birinci seçenek sütunları, FCM kullanıldığında parçaların ve makinelerin atanmaları gereken hücreleri göstermektedir. Bunlar küme üyeliklerinin ve küme merkezlerinin maksimum değerlerine karşılık gelen hücre numaralarını gösterir. Tablolardaki ikinci seçenek sütunları ise, ikinci maksimum küme üyelikleri ve ikinci maksimum küme merkezlerine karşılık gelen hücre numaralarını göstermektedir. Diğer bir anlatımla, eğer mevcut parçaların veya mevcut makinelerin bu hücreler arasında yeniden atanmaları gündeme gelirse ikinci seçenek sütununa göre hücrelere atanmalıdır. Tablolardaki en son sütunlar yeniden atanma önceliklerini göstermektedir. Eğer f_k sütununda çıkan ortalama değer ne kadar küçükse, o parça veya makinenin o kadar tekrar atanma önceliğine sahip olduğunu gösterir. f_k sütunundaki değer ne kadar küçükse o parçanın kümelere olan üyelikleri arasındaki fark o kadar küçük demektir. Aynı durum makineler ve makine merkezleri için de geçerlidir. Dolayısıyla, bu parçanın veya makinenin başka bir hücreye atanması mevcut üyeliğinde minimum düzeyde bir azalma oluşturacaktır.

Şekil 4.8.(a) ve (b), Şekil 2.2'deki başlangıç matrisine "Chu ve Hayya"nın yaklaşımı uygulandıktan sonra elde edilen blok-köşegen matrislerdir. FCM yöntemi için

MATLAB 6.5 bilgisayar programında bulunan hazır M-dosyası kullanılmıştır. Durdurma kriteri $\varepsilon = 0,01$, küme sayısı $c = 3$ ve bulanıklık derecesi $m = 1,3$ olarak alınmıştır.



Şekil 4.8. Büyük Örnek İçin FCM Sonuçları.

Parça ve makinelerin yeniden atanma öncelikleri ve yeniden atanacakları hücreler, “Chu ve Haya”nın yaklaşımına göre Tablo 25’te gösterilmektedir. Parça ve makinelerin bu şekilde hücrelere yeniden atanma önceliklerinin öğrenilmesi HÜ sistemine ayrı bir esneklik kazandıracaktır.

Tablo 25: Büyük Örnek İçin Atanma Öncelikleri ve Hücreleri.

f_k	Parça Atanma Önceliği	Yeniden Atanma Hücresi	f_k	Makine Atanma Önceliği	Yeniden Atanma Hücresi
0,0814	1) P27	2	0,064	1) M7	1
0,0829	2) P22	1	0,064	2) M26	1
0,0859	3) P20	1	0,0649	3) M18	1
0,089	4) P23	2	0,0686	4) M28	1
0,0911	5) P15	2	0,0691	5) M27	1
0,0914	6) P29	2	0,0697	6) M17	1
0,0932	7) P19	1	0,0707	7) M24	1
0,0956	8) P13	2	0,072	8) M5	1
0,099	9) P26	2	0,0751	9) M6	1
0,0994	10) P16	2	0,076	10) M13	1
0,1016	11) P12	2	0,077	11) M16	1
0,1025	12) P10	2	0,077	12) M25	1
0,1038	13) P24	2	0,0777	13) M15	1
0,1038	14) P31	2	0,0787	14) M14	1
0,1103	15) P9	2	0,0842	15) M4	1
0,1202	16) P32	2	0,0961	16) M8	2
0,1222	17) P18	2	0,1148	17) M12	2
0,1234	18) P11	2	0,1321	18) M2	2
0,1297	19) P28	2	0,1397	19) M10	2
0,1299	20) P30	2	0,1614	20) M11	2
0,1316	21) P17	2	0,1878	21) M23	2
0,1316	22) P25	2	0,1881	22) M1	2
0,1863	23) P33	1	0,2111	23) M29	2
0,1881	24) P21	1	0,2171	24) M21	2
0,19	25) P14	1	0,2188	25) M9	2
0,195	26) P39	1	0,2299	26) M22	2

Tablo 25: Devamı...

0,2057	27) P40	1	0,2304	27) M19	2
0,2058	28) P34	1	0,2317	28) M20	2
0,2099	29) P3	1	0,2317	29) M30	1
0,2106	30) P8	1	0,2345	30) M3	2
0,2152	31) P35	1			
0,2173	32) P36	1			
0,2215	33) P41	1			
0,2238	34) P38	1			
0,2292	35) P37	1			
0,2906	36) P1	1			
0,3259	37) P4	1			
0,337	38) P2	1			
0,337	39) P5	1			
0,3392	40) P7	1			
0,3444	41) P6	1			

4.3. VİNÇ ÜRETİM ATÖLYESİ

4.3.1. Atölye Genel Bilgileri ve Ürün Çeşitleri

İkili başlangıç matris şeklindeki uygulama verilerinin toplandığı atölye bir elektrikli vinç üretim atölyesidir. Bu vinçler sanayide, atölye ve fabrikalarda kullanılan raylı türdeki vinçlerdir. Uzun yıllardır hizmet veren atölyenin kuruluş yeri Marmara bölgesindedir. Atölyede üretilen vinçler hem iç pazarda hem de dış pazarda alıcı bulmaktadır. Türkiye geneline ve yurtdışına yayılmış birçok acenta ve dağıtıcısı vardır. Türkiye'deki irili ufaklı 100 kadar vinç üreticisi işletmenin önde gelenlerinden biridir. Türkiye pazarının yaklaşık %40'ına sahiptir. Üretilen ürün endüstriyel bir üründür ve sipariş üzerine üretim yapılmaktadır. Vinçlere olan talep otomobil, demir-çelik, inşaat, makine, çimento, mermer, seramik gibi hemen hemen her endüstri türünü içeren geniş bir işletme kitlesinden gelmektedir.

Kuruluş yerindeki üretim faaliyetinin gerçekleştirildiği kapalı alan 6500 m², açık alan ise 3500 m²'dir. Üretim faaliyetinin hemen hemen tamamı kapalı alanda gerçekleşmektedir. Açık alan ise, kapalı alan içerisine sığmayan büyüklükteki vinçlerin son montajlarının yapıldığı ve bitmiş vinçlerin de tüketicisine sevk edilmek üzere yükleme işleminin yapıldığı alandır.

Vinci oluşturan çeşitli bileşenlerin bulunduğu büyük depoda yaklaşık 3500 farklı malzeme bulunmaktadır. Bir vincin başlıca bileşenlerinden olan motor, tambur, halat, muhafaza (çelik şasi araba grubu), fren, redüktör (şanzıman dişli kutusu) ve kanca

atölye dışarısındaki tedarikçilerden hazır olarak alınmaktadır. Bunlar haricinde cıvata, rulman ve keçe gibi daha birçok irili ufaklı parça ve bileşen hazır olarak tedarikçilerden temin edilmekte ve büyük deponun stoklarını oluşturmaktadır. Bu bileşenler üretim sürecinin çeşitli aşamalarında vince monte edilmektedir. Bunlar haricindeki tüm parçalar ve bileşenler atölyede üretilmektedir. Aslında tam olarak bir vincin üretim işlemi, vincin tüketici işletmedeki kullanılacağı yere montajını da kapsamaktadır. Büyük depoyu oluşturan stoklara atölyenin kendi içerisinde üretilen birçok parça da dahildir. Bu parçaların üretim işlemi gerçekleştirildikten sonra kalite kontrolleri yapıp büyük depoya alınmaktadırlar. Daha sonra gereksinim duyuldukça monte edilmek üzere bu depodan çıkarılmaktadırlar.

Atölyede farklı tonaj ve modelde 100 çeşit vinç üretilmektedir. Fakat bu vinç modellerinden en çok sipariş edilenleri yalnızca iki tanesidir. Atölye diğer çeşitleri de yapma yeteneğine sahip olmasına rağmen bunlara olan talep oldukça azdır. Dolayısıyla, bir üretim döneminin hemen hemen tamamında atölyeyi bu iki model meşgul etmektedir. Üçer aylık dönemlere göre bir stok politikasının belirlendiği atölyede vinçler 100 kg.'dan 200 ton'a kadar üretilmektedir. Standart olan ürün yelpazesindeki tüm ürünler öncelikle XX1, XX2, XX3 ve XX4 olarak çeşitlendirilirler. 500 kg.'ın altındaki ve 30 tonun üzerindeki vinç siparişleri atölyede üretilmelerine rağmen, standart dışı özel siparişlerdir. Standart vinçlerin tonaj kaldırma kapasiteleri şöyledir:

XX1 = 500 kg. – 2 ton arası

XX2 = 1,5 ton – 6,3 ton arası

XX3 = 2,5 ton – 15 ton arası

XX4 = 6,3 ton – 30 ton arası

Vinçler ayrıca “monoray”, “çift kiriş (ray)”, “döner arabalı”, “sabit” ve “örümcek arabalı” olmak üzere beş çeşide ayrılır. Vinçlerin en son ayırım şekli de kullanılan halat sayıdır. Tek, çift, dört, altı ve sekiz halatlı olmak üzere beş kategoride, vinçler bir kez daha çeşitlendirilir. Böylece, $4 \times 5 \times 5 = 100$ çeşit vinç üretilmektedir. Bu çeşitliliğe rağmen bir vinci oluşturan parçalardan birçoğu hiçbir değişikliğe uğramadan farklı farklı modellerde aynen kullanılmaktadır. Bu durum atölyenin kendi içerisinde üretilen parçaların çoğunluğunda geçerli olan bir durumdur. Ayrıca, dışarıdan hazır alınan birçok parça ve bileşen için de bu durum geçerlidir.

En çok sipariş edilen iki vinç türü XX1 ve XX2, bunların da en çok sipariş edilenleri XX1 için dört halatlı monoray, XX2 için dört halatlı çift kiriş türünde olanlardır. Diğer tür ve tonajlar için sipariş çok az olmaktadır. Ayrıca, bu iki türde kullanılan birçok parça ve bileşenin diğer türlerde de aynen kullanıldığı göz önünde bulundurulursa atölyedeki işlem yoğunluğunun çok büyük bir bölümünü bu iki türün oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bu iki türün atölyede üretilen parçaları ve bu parçalara blok köşegen yapı oluşturulurken verilen numaralar Tablo 26’da sunulmaktadır.

Tablo 26: Vinç Atölyesinin Ürettiği Parçalar.

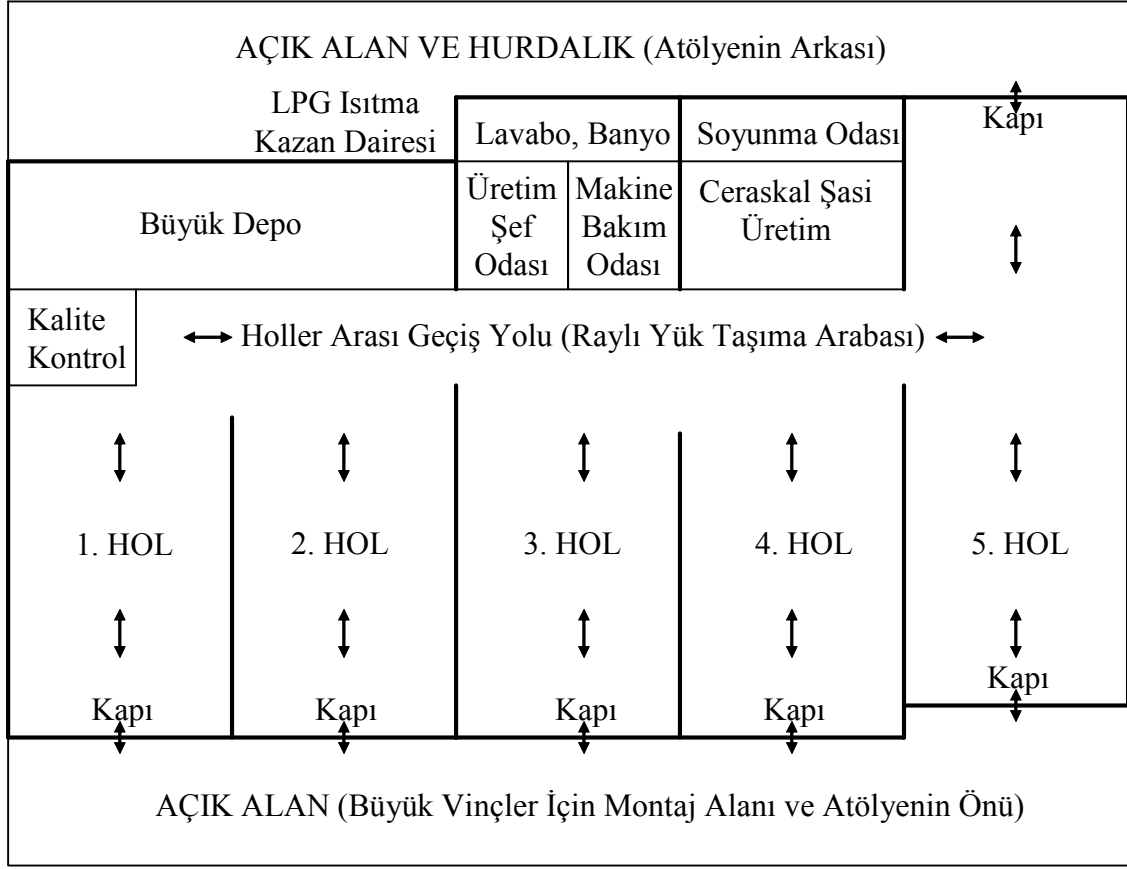
Monoray XX1 KO 5-4/1		Çift Kiriş XX3 KO 5-4/1	
Transmisyon 6	P1	Dingil Mili 160 Tek. A1200	P40
C1 Tambur Klemensi	P2	Teker 160 Düz Kedi	P41
XX1 Kamalı TRV Aksı	P3	Teker 160 Dişli Kedi	P42
Halat Klemensi 5/16’’ 8’lik	P4	Dingil A1200 (160 Tek.)	P43
XX1 Makaralı TRV. Aksı	P5	Dingil Başı 160 Tek. Göre	P44
Kanca Makara XX1	P6	Redüktör Gövde XX3	P45
Aks Tutucu C1 Kanca	P7	Redüktör Kapak XX3	P46
Kanca Aksı XX1 4/1	P8	C3 Tambur Klamensi	P47
Kanca Aksı Kap. XX2	P9	XX3 Kamalı TRV. Aksı	P48
Kanca Gaga	P10	Aks Tutucu C3 Kanca	P49
Kanca TR. Vidalı 2-3.2	P11	XX3 Mak. TRV. Aksı	P50
Kanca Kapak XX1	P12	Kanca Makara XX3	P51
Kanca Makara XX1	P13	Bilezik 70. 4/90-8	P52
Kanca Yük. Vid. 3.2T	P14	Aks Tutucu C3 Kanca	P53
Kanca PL. Vid. 2T 4/1	P15	Kanca Aksı XX3 4/1	P54
XX1-2 Mon. Yatak Pinyonu	P16	Kanca Gaga 10T Vid. 6P	P55
XX1-2 Mon. Motor Pinyonu	P17	Kanca Tav. 10 T Vidalı	P56
XX1 Düz Teker	P18	Kanca Kapak XX3	P57
XX1 Dişli Teker	P19	Kanca Makara XX3	P58
XX1 Halat Klav. (Ayaksız)	P20	Kanca Yüks. 10 T Vidalı	P59
Turlu Swich Kavrama	P21	Kanca Pl. 10T 4/1 Vidalı	P60
NH Siviç Palet Kolu	P22	XX3 Halat Klav. (Ayaksız)	P61
XX1 01 Tambur Kesilmiş	P23	XX3 Tambur Yatak Mili	P62
XX1 Tambur Yatak Mili	P24	XX3 Tam. Kurtağız Göbek	P63
XX1 Tambur Kurtağız Göbek	P25	XX3 Tambur Göbek Flanşı	P64
XX1 Tambur Göbek Flanşı	P26	XX3 Tambur Yatak Flanşı	P65
XX1 Tambur Yatak Flanşı	P27	Travers Babası XX3	P66
Araba Babası XX1	P28	Muh. Red. Flanşı CXX3	P67

Tablo 26: Devamı...

Travers Babası XX1	P29	Muh. Yat. Flanşı CXX3	P68
Muh. Red. Flanşı MXX1	P30	Kaldırma Kulak Büyük	P69
Muh. Yat. Flanşı MXX1	P31		
XX1 Havuz Plakası	P32		
XX1 01 Havuz Yan Plaka	P33		
XX1 01 Havuz Üst Plaka	P34		
XX1 Araba Düz Plk.	P35		
XX1 Araba Yatak Plk.	P36		
XX1 Araba Motor Plk.	P37		
XX1 01 Makaralı Trv. Plk.	P38		
XX1 01 Kamalı Trav. Plk.	P39		

4.3.2. Atölyenin Mevcut Yerleşim Düzeni

Fonksiyonel yerleşim düzeninin tercih edildiği atölyede kapalı ve açık olmak üzere toplam 10000 m²'lik alan mevcuttur. Şekil 4.9 tüm atölyenin genel hatlarıyla yerleşim planını sunmaktadır. Şekilde kalın çizgi içerisinde bulunan alanlar kapalı alanlardır. Üretim faaliyetinin çeşitli aşamalarının gerçekleştirildiği kapalı alanda toplam 5 adet hol vardır. Tüm holler, büyük depo, kalite kontrol odası, ceraskal şasi üretim ve diğer kontrol odaları uzun bir koridorla birbirlerine bağlıdır. Holler arası bu geçiş yolunda, yere döşeli raylar üzerinde, raylı yük taşıma arabası bulunmaktadır. Şekil 4.9'daki çift yönlü oklar holler içerisindeki koridorları ve malzeme akış yönlerini göstermektedir. Tüm hollerde holün iki yanındaki duvarların tavanına monteli raylar üzerinde gezinen elektrikli vinçler vardır. Dolayısıyla, atölyenin kendi üretim konusu olan vinçler, vinç üretim aşamalarında aktif taşıma araçları olarak da kullanılmaktadır. Her holün bitiminde, öndeki açık alana çıkış büyük kapılarla sağlanmaktadır. Atölyenin arkasındaki açık alan, hurdalık ve kazan dairesi için ayrılmıştır. Aktif üretim süreci çoğunlukla kapalı alanda gerçekleşmektedir. Genel yönetim, muhasebe ve dokümantasyon hizmetlerinin görüldüğü, atölyenin Şekil 4.9'da gösterilen yerleşim yerinden ayrı ve öndeki açık alanın hemen yanında bir hizmet binası vardır. Tablo 27'de 1, 2 ve 5. hollerdeki makineler ve blok köşegen yapı oluşturulurken kullanılacak makine numaraları sunulmaktadır.

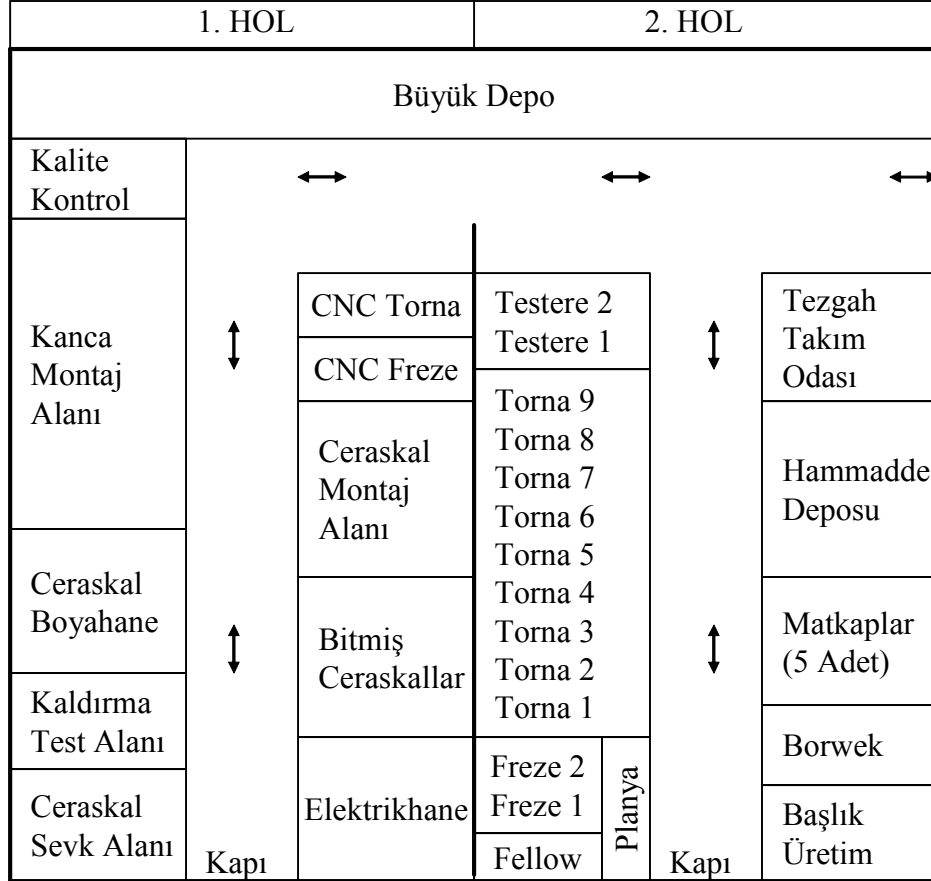


Şekil 4.9. Atölyenin Genel Yerleşim Düzeni.

Tablo 27: Vinç Atölyesinin Hol 1, 2 ve 5'teki Makineleri.

Testere	TS1	M1	Freze	F2	M14
Testere	TS2	M2	CNC Freze	CNCF	M15
Torna	T1	M3	Planya	P	M16
Torna	T2	M4	Fellov	FL	M17
Torna	T3	M5	Matkap	M1	M18
Torna	T4	M6	Matkap	M2	M19
Torna	T5	M7	Matkap	M3	M20
Torna	T6	M8	Matkap	M4	M21
Torna	T7	M9	Matkap	M5	M22
Torna	T8	M10	Hidrolik Giyotin	HGM	M23
Büyük Torna	BT	M11	Hidrolik Pres	HP	M24
CNC Torna	CNCT	M12	Optik Kesim Makinesi	OPT	M25
Freze	F1	M13			

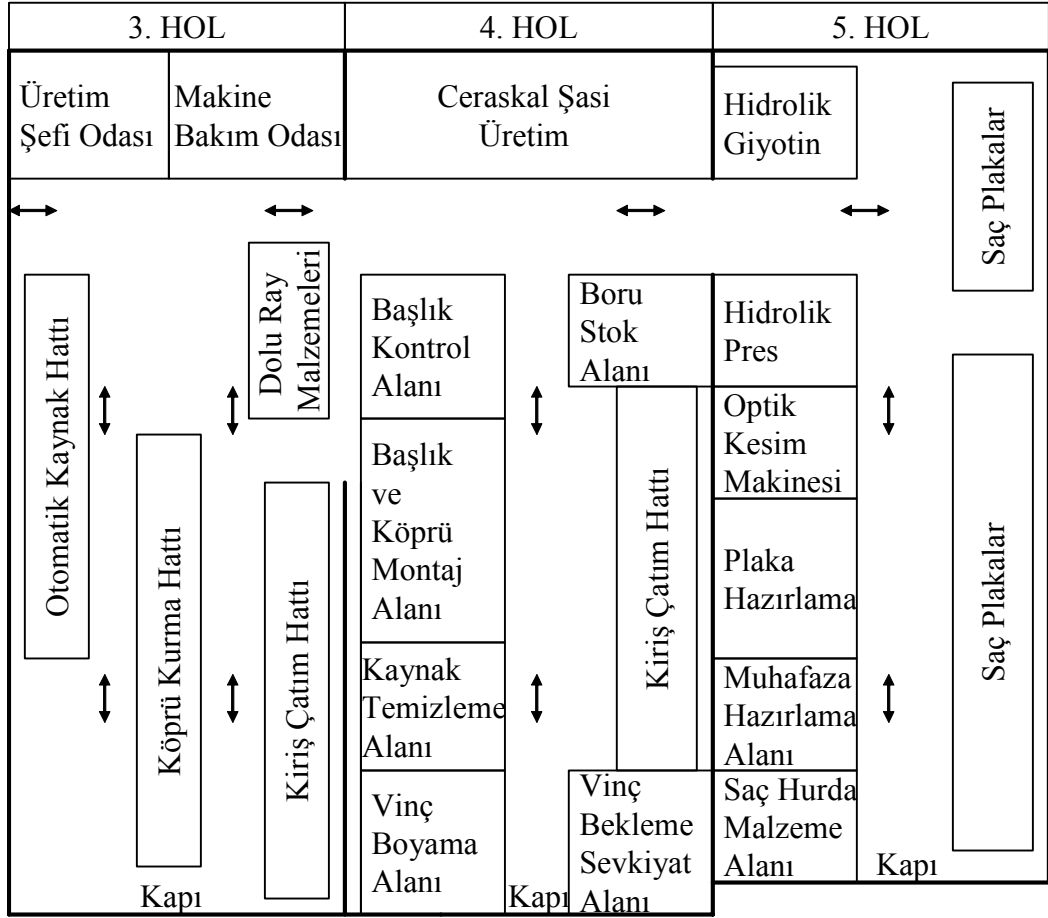
Birinci ve ikinci hollerin yerleşim düzenleri Şekil 4.10'da, üçüncü, dördüncü ve beşinci hollerin yerleşim düzenleri de Şekil 4.11'de gösterilmektedir. Fonksiyonel yerleşim düzeninin kendine özgü yapısı özellikle 2. hol başta olmak üzere 1 ve 5. hollerde de gözlenebilmektedir.



Şekil 4.10. Bir ve İkinci Hollerin Yerleşim Düzeni.

Birinci, ikinci ve beşinci hollerin ortalarında ana koridora ve açık alana bağlayıcı birer koridor bulunmaktadır. Bu koridorların yan taraflarında aynı fonksiyonlara sahip makinelerin hep aynı yerlerde toplandıkları görülmektedir. Bu da fonksiyonel yerleşim düzeninin en önemli özelliğidir. Üçüncü ve dördüncü holler ise daha çok, vinçlerin uzun ve geniş saç levhalarının ve kirişlerinin monte edilip kaynaklandığı hatlardan oluşmaktadır. Bu hollerdeki koridor sayıları üretilen vincin büyüklüğüne göre zaman zaman değişebilmektedir. Fakat temel olarak bu koridorlar, buldukları holü hem

holler arası geçiş yoluna bağlayan, hem de açık alana bağlayan doğrultuda uzunlamasına yerleşmektedir. Şekillerde görülen çift yönlü oklar bu koridorların buldukları yerdeki malzeme akış yönlerini göstermektedir. Tüm atölyedeki bölümlerin mevcut metrekarelerini de gösteren ölçekli yerleşim düzeni EK.2 ve EK.3'te sunulmaktadır.



Şekil 4.11. Üç, Dört ve Beşinci Hollerin Yerleşim Düzeni.

4.3.3. Verilere Yöntemlerin Uygulanması ve Önerilen Yeni Yerleşim Düzeni

İkili başlangıç matris olarak Şekil 4.12'de sunulan veriler, atölyeye yapılan ziyaretler sırasında atölye teknik personelinin yardımlarıyla elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler 1, 2 ve 5. hollerdeki makinelerin 16 tanesini ve en çok üretilen iki tür vincin atölyede üretilen toplam 69 parçasını içermektedir.

	M1	M4	M5	M6	M7	M9	M10	M12	M13	M15	M16	M17	M18	M23	M24	M25
P1						1										
P2							1									
P3					1											
P4					1											
P5					1											
P6								1								
P7													1	1		
P8	1			1									1			
P9	1							1								
P10				1												
P11	1			1									1			
P12				1									1			
P13								1								
P14	1			1									1			
P15										1			1			1
P16	1							1			1	1	1			
P17	1							1			1	1	1			
P18								1					1			
P19								1				1				
P20			1						1				1			
P21	1							1					1			
P22															1	
P23	1															
P24	1							1								
P25	1							1		1		1				
P26				1												1
P27				1												1
P28	1							1								
P29	1							1								
P30		1											1			1
P31		1											1			1
P32		1											1			1
P33		1											1			1
P34		1											1			1
P35										1			1			1
P36										1			1			1
P37										1			1			1
P38													1			
P39													1	1	1	
P40	1			1												
P41								1			1					
P42								1			1	1				
P43	1		1													
P44	1							1								
P45										1			1			
P46										1						
P47	1			1									1			
P48	1							1					1			
P49													1	1		
P50	1							1					1			
P51				1									1			
P52	1		1										1			
P53													1	1		
P54	1			1									1			
P55				1									1			
P56	1		1										1			
P57				1									1			
P58				1									1			
P59	1							1					1			
P60									1				1			1
P61			1						1				1			
P62	1							1								
P63	1			1						1		1				
P64		1											1			1
P65		1											1			1
P66	1							1					1			
P67						1							1			1
P68						1							1			1
P69													1			1

Şekil 4.12. Atölyeden Elde Edilen İkili Başlangıç Matrisi.

Bu ikili başlangıç matris üzerine öncelikle genel hücre oluşturma yöntemlerinden ROC ve BK (Jaccard, Ortalama Bağlantı) uygulanmıştır. ROC yönteminin hesaplamaları Microsoft Excel bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır. BK yöntemi için SPSS 8.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu yöntemlerle çıkan

sonuçlar ve hücre içi boşluklar giderilerek elde edilen sonuçlar Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da sunulmaktadır.

	M1	M5	M18	M6	M12	M17	M16	M15	M13	M25	M4	M9	M23	M24	M7	M10
P56	1	1	1													
P43	1	1														
P52	1	1														
P8	1		1	1												
P11	1		1	1												
P14	1		1	1												
P47	1		1	1												
P54	1		1	1												
P16	1		1		1	1	1									
P17	1		1		1	1	1									
P21	1		1		1											
P48	1		1		1											
P50	1		1		1											
P59	1		1		1											
P63	1			1		1		1								
P40	1			1					1							
P25	1				1	1		1								
P9	1				1											
P24	1				1											
P28	1				1											
P29	1				1											
P44	1				1											
P62	1				1											
P66	1				1											
P23	1															
P20			1						1							
P61		1	1						1							
P12			1	1												
P51			1	1												
P57			1	1												
P58			1	1												
P15			1					1		1						
P35			1					1		1						
P36			1					1		1						
P37			1					1		1						
P45			1					1		1						
P60			1						1	1						
P30			1							1	1					
P31			1							1	1					
P32			1							1	1					
P33			1							1	1					
P34			1							1	1					
P64			1							1	1					
P65			1							1	1					
P67			1							1		1				
P68			1							1		1				
P38			1										1	1		
P39			1										1	1		
P7			1										1			
P49			1										1			
P53			1										1			
P26				1						1						
P27				1						1						
P10				1												
P55				1												
P42					1	1	1									
P19					1	1										
P41					1		1									
P6					1											
P13					1											
P18					1											
P46								1								
P69										1						
P1												1				
P22														1		
P3															1	
P4															1	
P5															1	
P2																1

Şekil 4.13. ROC Yöntemi Beşinci Tekrar Sonucu.

	M1	M5	M18	M6	M12	M17	M16	M15	M13	M25	M4	M9	M23	M24	M7	M10
P56	1	1	1													
P43	1	1														
P52	1	1														
P8	1		1	1												
P11	1		1	1												
P14	1		1	1												
P47	1		1	1												
P54	1		1	1												
P16	1		1		1	1	1									
P17	1		1		1	1	1									
P21	1		1		1											
P48	1		1		1											
P50	1		1		1											
P59	1		1		1											
P63	1			1		1		1								
P40	1			1					1							
P25	1				1	1		1								
P9	1				1											
P24	1				1											
P28	1				1											
P29	1				1											
P44	1				1											
P62	1				1											
P66	1				1											
P23	1															
P20		1	1						1							
P61		1	1						1							
P12			1	1												
P51			1	1												
P57			1	1												
P58			1	1												
P15			1					1		1						
P35			1					1		1						
P36			1					1		1						
P37			1					1		1						
P45			1					1		1						
P60			1						1		1					
P10				1												
P55				1												
P42					1	1	1									
P19					1	1										
P41					1		1									
P6					1											
P13					1											
P18					1											
P46								1								
P30			1							1	1					
P31			1							1	1					
P32			1							1	1					
P33			1							1	1					
P34			1							1	1					
P64			1							1	1					
P65			1							1	1					
P67			1							1		1				
P68			1							1		1				
P38			1										1	1		
P39			1										1	1		
P7			1										1			
P49			1										1			
P53			1										1			
P26				1						1						
P27				1						1						
P69										1						
P1												1				
P22														1		
P3															1	
P4															1	
P5															1	
P2																1

Şekil 4.14. ROC Yöntemi Hücre İçi Boşluklar Giderilmiş Sonucu.

	M1	M12	M16	M17	M4	M25	M18	M15	M6	M5	M13	M9	M23	M24	M10	M7
P1												1				
P46								1								
P26						1			1							
P27						1			1							
P10									1							
P55									1							
P8	1						1		1							
P11	1						1		1							
P14	1						1		1							
P47	1						1		1							
P54	1						1		1							
P12							1		1							
P51							1		1							
P57							1		1							
P58							1		1							
P40	1								1							
P7							1							1		
P49							1							1		
P53							1							1		
P38							1							1	1	
P39							1							1	1	
P69						1										
P15						1	1	1								
P35						1	1	1								
P36						1	1	1								
P37						1	1	1								
P45							1	1	1							
P34					1	1	1									
P31					1	1	1									
P65					1	1	1									
P33					1	1	1									
P30					1	1	1									
P64					1	1	1									
P32					1	1	1									
P67					1	1	1						1			
P68					1	1	1						1			
P60					1	1	1									
P20							1			1						
P61							1			1			1			
P23	1															
P43	1									1						
P52	1									1						
P56	1						1			1						
P44	1	1														
P24	1	1														
P66	1	1														
P29	1	1														
P9	1	1														
P62	1	1														
P28	1	1														
P21	1	1					1									
P48	1	1					1									
P50	1	1					1									
P59	1	1					1									
P6		1														
P13		1														
P18		1														
P41		1	1													
P19		1	1	1												
P42		1	1	1	1											
P16	1	1	1	1			1									
P17	1	1	1	1	1		1									
P25	1	1	1	1				1								
P63	1			1				1	1							
P22														1		
P2															1	
P3																1
P4																1
P5																1

Şekil 4.15. BK Yönteminin Otuzuncu Tekrar Sonucu.

	M1	M12	M16	M17	M10	M7	M4	M25	M18	M15	M6	M5	M13	M9	M23	M24
P1														1		
P46										1						
P26								1			1					
P27								1			1					
P10											1					
P55											1					
P8	1								1		1					
P11	1								1		1					
P14	1								1		1					
P47	1								1		1					
P54	1								1		1					
P12									1		1					
P51									1		1					
P57									1		1					
P58									1		1					
P40	1										1		1			
P7									1							1
P49									1							1
P53									1							1
P38									1							1
P39									1						1	1
P69								1								
P15								1	1		1					
P35								1	1		1					
P36								1	1		1					
P37								1	1		1					
P45									1		1					
P34							1	1	1							
P31							1	1	1							
P65							1	1	1							
P33							1	1	1							
P30							1	1	1							
P64							1	1	1							
P32							1	1	1							
P67								1	1						1	
P68								1	1					1		
P60								1	1							
P20									1			1		1		
P61									1			1		1		
P22																1
P56	1								1			1				
P23	1															
P43	1											1				
P52	1											1				
P44	1	1														
P24	1	1														
P66	1	1														
P29	1	1														
P9	1	1														
P62	1	1														
P28	1	1														
P21	1	1								1						
P48	1	1								1						
P50	1	1								1						
P59	1	1								1						
P6		1														
P13		1														
P18		1														
P41		1	1													
P19		1			1											
P42		1		1	1											
P16	1	1		1	1				1							
P17	1	1		1	1				1							
P25	1	1			1					1						
P63	1				1						1					
P2						1										
P3															1	
P4															1	
P5															1	

Şekil 4.16. BK Yönteminin Hücre İçi Boşluklar Giderilmiş Sonucu.

Aynı başlangıç matrise FCM yöntemi de uygulanmıştır. FCM yöntemi için MATLAB 6.5 bilgisayar programında bulunan hazır M-dosyası kullanılmıştır. FCM yönteminde, ROC ve BK yöntemlerinde çıkan sonuçlar ışığında küme (hücre) sayısı $c =$

2 olarak alınmıştır. Yine FCM yönteminde durdurma kriteri $\varepsilon = 0,01$ ve bulanıklık derecesi $m = 1,3$ olarak alınmıştır. FCM yöntemiyle oluşan sonuç ve hücre içi boşluklar giderilerek elde edilen blok-köşegen yapı Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de sunulmaktadır.

	M4	M6	M9	M13	M15	M18	M23	M24	M25	M1	M5	M7	M10	M12	M16	M17
P1			1													
P2																
P7						1	1						1			
P8		1				1				1						
P10		1														
P11		1				1				1						
P12		1				1										
P14		1				1				1						
P15					1	1			1							
P20				1		1										
P22								1				1				
P26		1							1							
P27		1														
P30	1					1			1							
P31	1					1			1							
P32	1					1			1							
P33	1					1			1							
P34	1					1			1							
P35					1	1			1							
P36					1	1			1							
P37					1	1			1							
P38						1	1	1								
P39						1	1	1								
P45					1	1										
P46					1											
P47		1				1				1						
P49						1	1									
P51		1				1										
P53						1	1									
P54		1				1				1						
P55		1														
P57		1				1										
P58		1				1										
P60						1			1							
P61				1		1						1				
P64	1					1			1							
P65	1					1			1							
P67			1			1			1							
P68			1			1			1							
P69									1							
P3												1				
P4												1				
P5												1				
P6																
P9										1				1		
P13														1		
P16						1				1				1	1	
P17						1				1				1	1	
P18														1		
P19														1		
P21						1				1				1		
P23										1				1		
P24										1				1		
P25					1					1				1		1
P28										1				1		
P29										1				1		
P40		1		1						1				1		
P41														1	1	
P42														1	1	1
P43										1	1					
P44										1				1		
P48						1				1				1		
P50						1				1				1		
P52										1	1					
P56						1				1	1					
P59						1				1				1		
P62										1				1		
P63		1			1					1				1		1
P66										1				1		

Şekil 4.17. FCM Yönteminin Sonucu.

	M4	M6	M9	M13	M15	M18	M23	M24	M25	M1	M5	M7	M10	M12	M16	M17
P1			1													
P7						1	1									
P8		1				1				1						
P10		1														
P11		1				1				1						
P12		1				1										
P14		1				1				1						
P15					1	1			1							
P20				1		1					1					
P22								1								
P26		1							1							
P27		1							1							
P30	1					1			1							
P31	1					1			1							
P32	1					1			1							
P33	1					1			1							
P34	1					1			1							
P35					1	1			1							
P36					1	1			1							
P37					1	1			1							
P38					1	1	1	1								
P39					1	1	1	1								
P45					1	1										
P46					1											
P47		1				1				1						
P49						1	1									
P51		1				1										
P53						1	1									
P54		1				1				1						
P55		1														
P57		1				1										
P58		1				1										
P60				1		1			1							
P61				1		1					1					
P64	1					1			1				1			
P65	1					1			1							
P67			1			1			1							
P68			1			1			1							
P69									1							
P2													1			
P3													1			
P4													1			
P5													1			
P6														1		
P9										1				1		
P13														1		
P16						1				1				1	1	1
P17						1				1				1	1	1
P18														1		
P19														1		1
P21						1				1				1		
P23										1				1		
P24										1				1		
P25					1					1				1		1
P28										1				1		
P29										1				1		
P40		1		1						1				1		
P41														1	1	
P42														1	1	1
P43										1	1					
P44										1				1		
P48						1				1				1		
P50						1				1				1		
P52										1	1					
P56						1				1	1					
P59						1				1				1		
P62										1				1		
P63		1			1					1						1
P66										1				1		

Şekil 4.18. FCM Yönteminin Hücre İçi Boşluklar Giderilmiş Sonucu.

Parça ve makinelerin yeniden atanma öncelikleri ve yeniden atanacakları hücreler “Chu ve Hayya”nın yöntemine göre Tablo 28’de sunulmaktadır.

Tablo 28: Vinç Atölyesinin Yeniden Atanma Öncelikleri ve Hücreleri.

f_k	Parça Atanma Önceliği	Yeniden Atanma Hücresi	f_k	Makine Atanma Önceliği	Yeniden Atanma Hücresi
0.0039	1) P26	1	0.0012	1) M7	1
0.0039	2) P27	1	0.0013	2) M5	1
0.0292	3) P10	2	0.0058	3) M3	1
0.0292	4) P55	2	0.0079	4) M4	2
0.035	5) P38	2	0.0107	5) M9	2
0.035	6) P39	2	0.0119	6) M10	2
0.0355	7) P20	2	0.0125	7) M13	2
0.0355	8) P61	2	0.0138	8) M15	2
0.037	9) P69	1	0.0191	9) M6	2
0.0429	10) P42	2	0.0229	10) M14	2
0.0487	11) P67	2	0.0234	11) M1	1
0.0487	12) P68	2	0.0262	12) M12	1
0.0489	13) P60	2	0.0271	13) M11	1
0.0505	14) P30	2	0.0274	14) M16	2
0.0505	15) P31	2	0.0288	15) M2	2
0.0505	16) P32	2	0.0311	16) M8	1
0.0505	17) P33	2			
0.0505	18) P34	2			
0.0505	19) P64	2			
0.0505	20) P65	2			
0.0514	21) P63	2			
0.0518	22) P15	2			
0.0518	23) P35	2			
0.0518	24) P36	2			
0.0518	25) P37	2			
0.0712	26) P46	1			
0.0805	27) P1	2			
0.0805	28) P3	2			
0.0805	29) P4	2			
0.0805	30) P5	2			
0.0806	31) P22	1			
0.0812	32) P2	2			
0.0898	33) P40	2			
0.0927	34) P7	1			
0.0927	35) P49	2			
0.0927	36) P53	2			
0.0962	37) P45	2			
0.1006	38) P41	2			
0.1036	39) P19	2			
0.114	40) P25	2			
0.1213	41) P43	2			
0.1213	42) P52	2			
0.1424	43) P16	2			
0.1424	44) P17	2			
0.1464	45) P12	2			
0.1464	46) P51	2			
0.1464	47) P57	2			
0.1464	48) P58	2			
0.1687	49) P56	2			
0.2043	50) P8	2			
0.2043	51) P11	2			
0.2043	52) P14	2			
0.2043	53) P47	2			
0.2043	54) P54	2			
0.2797	55) P6	1			
0.2797	56) P13	2			
0.2797	57) P18	2			
0.2877	58) P21	2			
0.2877	59) P48	2			
0.2877	60) P50	2			
0.2877	61) P59	2			
0.2998	62) P9	2			
0.2998	63) P24	2			
0.2998	64) P28	2			
0.2998	65) P29	2			
0.2998	66) P44	2			
0.2998	67) P62	2			
0.2998	68) P66	2			
0.3199	69) P23	2			

Uygulanan tüm yöntemler için, hücre içi boşluklar giderildikten sonra oluşan istisnai eleman, dorboğaz parça ve darboğaz makine sayıları şöyledir:

ROC: İstisnai eleman = 21, Darboğaz parça = 21, Darboğaz makine = 3.

BK: İstisnai eleman = 18, Darboğaz parça = 17, Darboğaz makine = 5.

FCM: İstisnai eleman = 19, Darboğaz parça = 17, Darboğaz makine = 6.

Tüm bu yöntemler içerisinde en düşük istisnai eleman sayısını veren BK yöntemidir. En az darboğaz makine sayısını ROC yöntemi vermiştir. Bunun en büyük sebeplerinden biri istisnai eleman sayısı ile darboğaz parça sayısının birbirine eşit olmasıdır. İstisnai eleman sayısı ile darboğaz parça sayısının arasındaki fark açıldıkça darboğaz makine sayısında artma eğilimi görülür. Fakat ROC yöntemiyle elde edilen sonuca göre optik kesim makinesi darboğaz makinelerden biridir. Bu makinenin diğer bir makine ile idame edilebilmesi oldukça güçtür. Ayrıca ROC yönteminde istisnai eleman sayısı fazla, hücrenin biri çok büyük ve diğeri de çok küçüktür. Bu nedenle önerilen yeni yerleşim düzeninde ROC yöntemiyle elde edilen sonuçlar değerlendirmeye alınmamıştır.

BK ve FCM yöntemleri birbirlerine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. BK yönteminde darboğaz makine sayısı 5, FCM yönteminde 6'dır. Bu darboğaz makineler başlangıç matriste kullanılmayan fakat atölyede mevcut olan diğer makinelerle, CNC Freze haricinde aynı türdendir. Dolayısıyla, yöntemler uygulanırken kullanılmamış olan bu makineler uygun hücrelere dahil edildiklerinde istisnai eleman sayısı 2'ye düşmektedir. BK yöntemiyle Şekil 4.16'daki sonuca göre elde edilen makine hücreleri aşağıda verilmektedir. Üretilmesi gereken parça aileleri ise Şekil 4.16'daki bu hücrelerin karşılığı olan parçalardır.

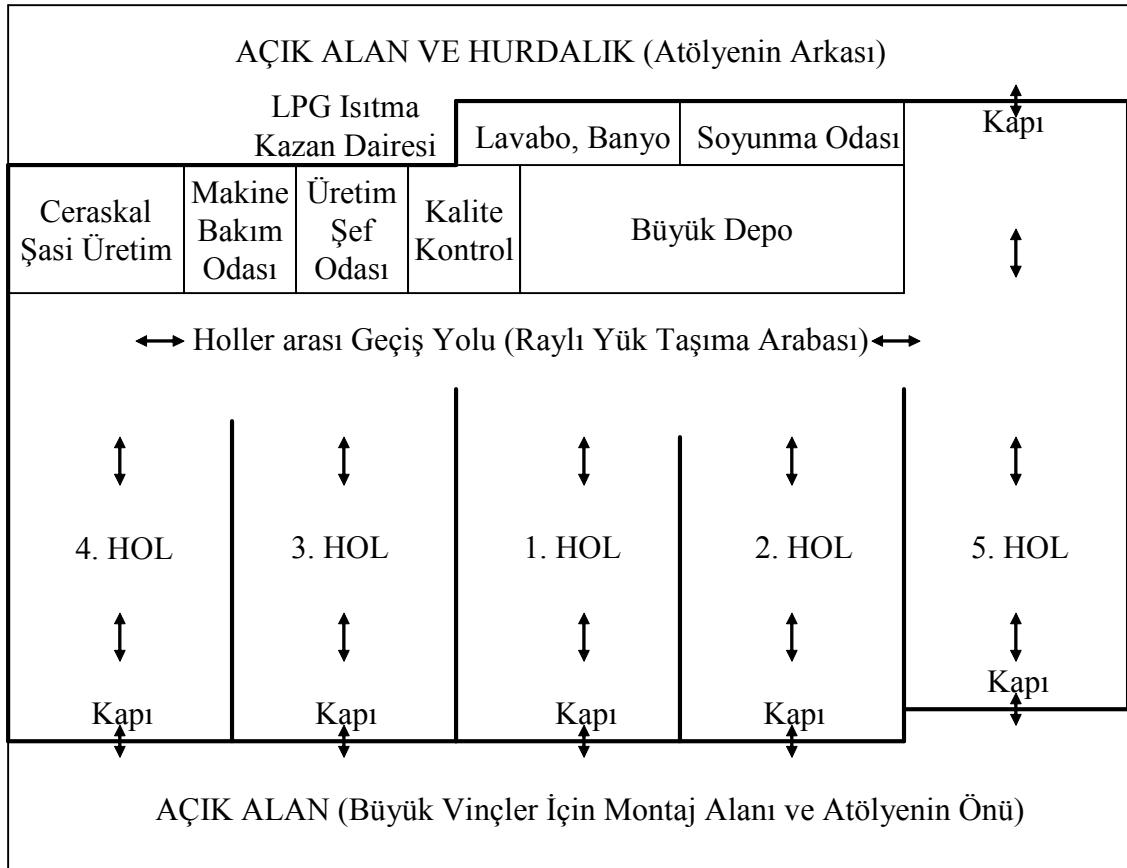
HÜCRE 1: Torna 2, Optik Kesim Makinesi, Matkap, CNC Freze, Torna 4, Torna 3, Freze 1, Torna 7, Hidrolik Giyotin ve Hidrolik Pres'tir.

HÜCRE 2: Testere, CNC Torna, Planya, Fellow, Torna 8 ve Torna 5'tir.

FCM yöntemiyle Şekil 4.18'deki sonuca göre elde edilen makine hücrelerinin BK yöntemiyle elde edilenlerden tek farkı torna 3'ün hücre 1 yerine hücre 2'de oluşudur. Üretilmesi gereken parça aileleri ise Şekil 4.18'deki bu hücrelerin karşılığı olan parçalardır. FCM yöntemine göre eğer hücre 2'ye bir adet matkap, bir adet freze (freze 2) ile torna 4'ün görevini görececek bir adet torna ve hücre 1'e de bir adet testere ile

torna 3'ün görevini görecek bir adet torna daha yerleştirilirse istisnai eleman sayısı 2'ye düşer. Kalan bu 2 istisnai eleman CNC Freze'den kaynaklanmaktadır. CNC Freze'nin olmadığı hücre 2'ye, normal frezelerden biri olan freze 2 yerleştirildiği için bu sorun da biraz olsun giderilebilecektir.

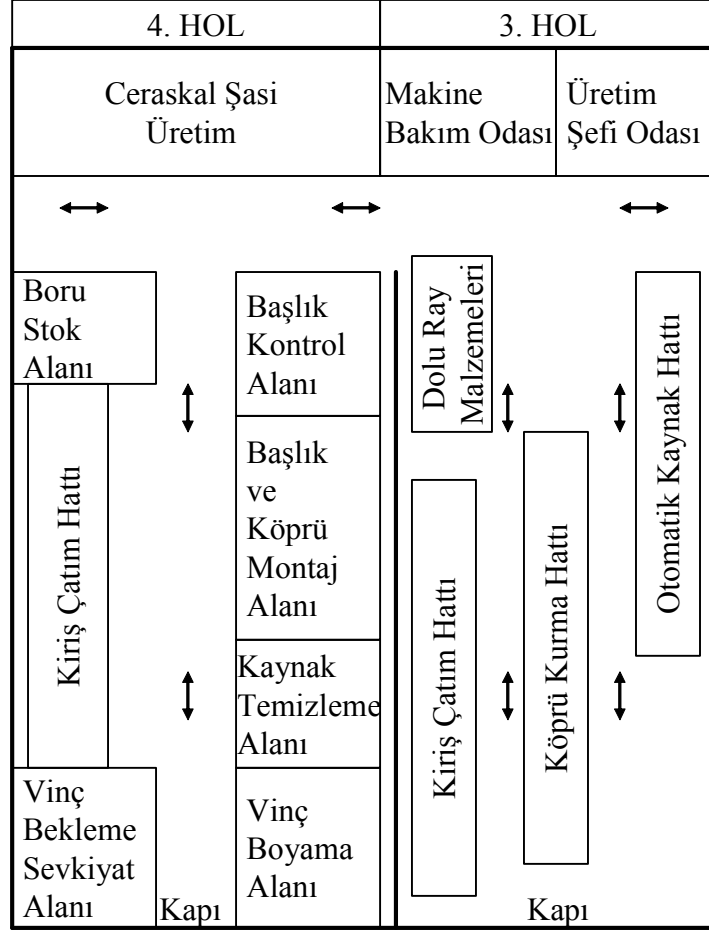
Çıkan sonuçların ışığı altında, atölyenin büyük bir kısmının yerleşiminin yeniden düzenlenmesi önerilmektedir. Önerilen bu yeni yerleşim düzeninde öncelikle, soldan sağa doğru holler Şekil 4.19'da görüldüğü gibi yeniden sıralanmalıdır.



Şekil 4.19. Önerilen Genel Yerleşim Düzeni.

Hücre 1'i oluşturması gereken makinelerden optik kesim makinesi, hidrolik giyotin ve hidrolik pres "hol 5" içerisinde, diğerleri de "hol 2" içerisinde. Buna göre yeni yerleşim sırası hol 4, hol 3, hol 1, hol 2 ve hol 5 olmalıdır. Böylelikle, aralarında çok miktarda malzeme akışı gerçekleşen hol 2 ve 5 yan yana gelmektedir. Bu yeni duruma uygun olacak şekilde, hol 4 ve hol 3'ün önerilen yeni yerleşim düzenleri Şekil

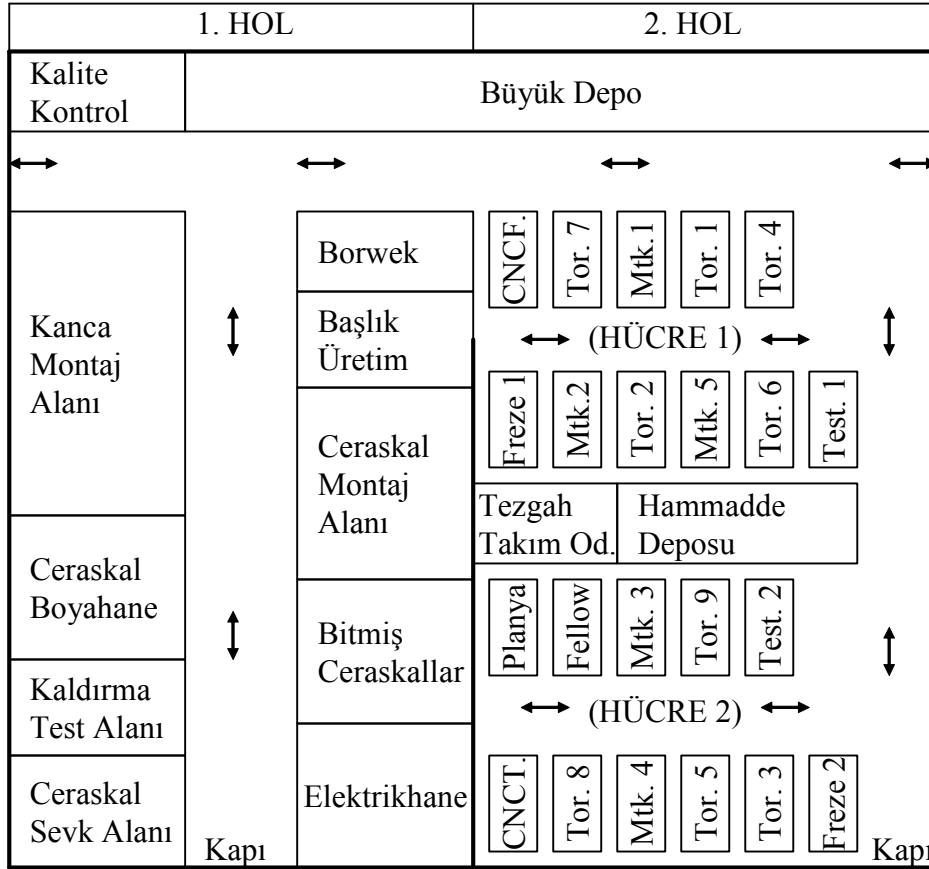
4.20'dedir. Hollerin kenarlarındaki ve üstlerindeki iş istasyonlarının yerleri yeni yerleşim düzenine uygun olarak değiştirilmiştir.



Şekil 4.20. Dört ve Üçüncü Holün Önerilen Yerleşim Düzeni.

Şekil 4.21 oluşturulan iki hücrenin hol 2 içerisine nasıl yerleştirilebileceklerini göstermektedir. Önceki yerleşim düzeninde hol 2 içerisinde olması gereken Borwek ve başlık üretim hol 1'e ve hol 1'de bunların yerinde olan CNC Torna ve CNC Freze hol 2'ye alınmışlardır. İki hücrenin arasına tezgah takım odası ve hammadde deposunun yerleştirilmesi uygun görülmüştür. Tezgah takım odasına her iki yönde de kapı açılarak, her iki hücreye de en kısa mesafe içerisinde hizmet vermesi sağlanabilir. Aynı durum hammadde deposu için de geçerlidir. Hücrelerin U biçiminde oldukları düşünülürse uçları bir koridora açılmakta ve hol 5'e doğru bakmaktadır. Bu da malzeme akışını

oldukça kolaylaştıracaktır. Hol 5'in yerleşim düzeninde herhangi bir değişiklik yapılmadığı için tekrar çizilmemiştir. Hücre 1'i oluşturan makinelerden hidrolik giyotin, hidrolik pres ve optik kesim makinesi hol 5'tedir. Bunlar holler arası geçiş yoluna yakındırlar. Bu nedenle, hol 2'deki hücre 1 oluşturulurken hücre 1'in holler arası geçiş yolunun yanındaki hücre olması uygun görülmüştür. İstenildiğinde hol 5'le hücre 1 arasına yeni kapı açılıp malzeme akışları daha etkin hale getirilebilir.



Şekil 4.21. Bir ve İkinci Holün Önerilen Yerleşim Düzeni.

Önerilen bu yeni yerleşim düzeniyle önceki yerleşim düzeninden kaynaklanan aksaklıkların birçoğu giderilmiş olacaktır. İkinci holdeki makinelerde çalışan işçiler yalnızca kendi hücrelerine ait olan parçaları üretmekle sorumlu olacaktır. İşçilerin motivasyonu ve morali yükselecek, kafaları daha az karışacaktır. Hücrelerin U şeklinde düzenlenmesiyle her makinede bir işçi çalıştırmak yerine bir işçinin birden fazla

makineyle ilgilenebilmesi sağlanacaktır. Böylece, çalıştırılan işçi sayısı azaltılarak işçilik maliyetleri düşürülebilecektir.

Parçaların üretim akışlarındaki karmaşıklık büyük ölçüde giderilecek, makinelerin iş yükü dengesini ayarlamak kolaylaşacaktır. İkinci ve beşinci hollerin yan yana gelmesiyle taşıma mesafelerinde büyük bir azalma oluşacaktır. Böylece taşıma maliyetleri de azalacaktır. Karmaşıklık büyük ölçüde azalacağı için makinelerin kenarlarında yığılmış olan yarı mamul ve parça stokları da azalacaktır. Gereğinden fazla stok bulundurma ihtiyacı ortadan kalkacak ve stokları kontrol etmek kolaylaşacaktır. Bu nedenle stok maliyetlerinde de azalma görülecektir.

SONUÇ

Fabrika yerleşim düzenlerinden biri olan GT yerleşim düzeni ve onun bir uygulama şekli olan HÜ sistemi ilk ortaya çıktıkları yıllardan bu yana geniş bir uygulama alanı bulmuşlardır. Bu alanda yapılan araştırmaların çoğu hücrelerin oluşturulması problemi üzerine odaklanmıştır. Hücrelerin oluşturulmasında istisnai elemanların minimumlaştırılmaya çalışılması, üzerinde en çok durulan konulardan biri olmuştur. Bu amaçla sayısız yöntem ve algoritma geliştirilmiştir.

Başlangıçta ikili matrisler üzerinde standart Boole mantığı çerçevesinde geliştirilen algoritmaların zamanla gerçek bir iş atölyesi ortamını tam olarak yansıtmadıkları anlaşılmıştır. Bu sorunu giderebilmek için bulanık mantıktan hareketle bulanık kümeleme yöntemleri geliştirilmiştir. En yaygın kullanılan bulanık kümeleme yöntemi FCM, aynı zamanda hücrelerin oluşturulmasında kullanılabilecek en uygun yöntem olarak düşünülebilir. Bunun en büyük nedeni, FCM yönteminin hücresel üretimdeki hem ikili verilere hem de bulanık verilere uyarlanmasının kolaylıkla yapılabilmesidir.

Bu çalışmanın birinci odak noktası, parça ailelerinin ve makine hücrelerinin eşzamanlı olarak oluşturulabilmesi olmuştur. Literatürde özellikle, yalnızca parça ailelerinin oluşturulmasına odaklanmış çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Hücrelerin eşzamanlı olarak oluşturulmalarında blok-köşegen bir yapının elde edilmesi esastır. Farklı algoritmalar kullanılarak farklı makine hücreleri ve farklı parça aileleri elde etmek mümkündür. Algoritmaların birçoğu aynı parça makine görünüm matrisinin farklı permütasyonlarına uygulandıklarında, birbirine yakın ama farklı sonuçlar vermektedir. Algoritmanın her tekrarında çıkan sonuca göre parça ve makineler yeniden sıralanarak algoritma tekrar uygulanırsa belirli bir tekrardan sonra hep aynı sonuç elde edilir. Fakat en son elde edilen bu sonuç istisnai eleman sayısını minimum yapan sonuç olmayabilir.

Herhangi bir yöntem eşzamanlı olarak uygulandıktan ve çıkan sonuçlara göre satır ve sütunlar düzenlendikten sonra, elde edilen bu son matris üzerinde, minimum istisnai eleman sayısını gözeterek blok-köşegen bir yapının oluşturulmasını sağlayan, literatürde herhangi bir yöntem veya algoritmaya rastlanılmamıştır. MP, FCM gibi bazı

yöntemler hücre sayıları önceden tespit edildiği için bunu direkt olarak verebilmektedirler. Ama ROC, BE, BK ve BBE gibi diğer birçok yöntem için bu durum çözülmesi gereken ayrı bir problemdir. Bu çalışmada bu problem çözülürken deneme yanılma yöntemiyle optimal çözümler elde edilmiştir. Bölüm 1’de sunulan Tablo 6’daki kriterler ve bu kriterleri hazırlayıcı Şekil 1.7 ve Şekil 1.8’deki ölçütler bu problemi çözmek için temel alınmışlardır. Tablo 6, Şekil 1.7 ve Şekil 1.8 bu çalışmanın orijinal bulgularıdır. Bundan sonraki çalışmalarda, özellikle hücre sayılarının önceden belirlenmediği bu tür yöntemlerde oluşan, bu en son sorunu çözen algoritmalar geliştirilebilir.

Eşzamanlı yöntemlerin uygulanabilmesi için ikili veya bulanık bir başlangıç parça-makine görünüm matrisinin oluşturulması gerekir. Bu matrisi oluşturmada kullanılan en yaygın yaklaşımlardan biri parçaların üretim akışlarına göre düzenlenen matristir. Böyle bir matris hem ikili verilerle hem de bulanık uygunluk verileriyle düzenlenebilir. İkili verilerle düzenlenen parça-makine görünüm matrisine göre elde edilen blok-köşegen matriste esneklik yoktur. Böyle bir blok-köşegen matris şu üç varsayım sonucunda oluşmakta ve bu varsayımlar oluşan sonuç matrisini yorumlarken de geçerli olmaktadır.

1. Bir parça bir parça ailesinin tam olarak üyesidir veya değildir.
2. Bir makine bir hücrenin tam olarak üyesidir veya değildir.
3. Bir makine bir parçayı ya tam olarak işleyebilir veya onu hiç işleme yeteneğine sahip değildir.

Görüldüğü gibi, ikili verilerle elde edilen sonuçta kesinlik söz konusudur. Oysa, bir iş atölyesi ortamında kullanılan, bir matkap, belirli ölçüler dahilinde kimi zaman bir tornanın, kimi zaman bir frezenin gördüğü küçük çaplı işleri hünerli bir işgören yardımıyla görebilmektedir. Farklı büyüklüklerde, fakat aynı türde olan, örneğin iki değişik torna ele alındığında, birinin diğerine ait olan işi yapması çok sık görülen bir durumdur. Bir parçanın kesinlikle yalnızca bir parça ailesine ait olacağı ve bu parçanın hiçbir özelliğinin başka bir parça ailesine benzemediğini söylemek çok zordur. Bunlara benzer belirsizlik durumlarını ortadan kaldırabilmek ve hücrelerin oluşturulmasında daha esnek davranılmasını sağlayabilmek amacıyla bulanık kümeleme yöntemleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci odak noktasını, ikili ve bulanık kümeleme yöntemlerinden hücrelerin oluşturulmasında bütünleşik olarak kullanılabilenleri oluşturmuştur. Bu nedenle öncelikle hem ikili hem de bulanık kümeleme yöntemlerinden en yaygın kullanılanları açıklanmıştır. Daha sonra, bunları birleştirici yöntemler üzerinde durulmuştur. “Zhang ve Whang”ın (1992) bulanık başlangıç matrise uyguladıkları BK ve ROC yöntemlerine benzer olarak, bu çalışmada BE yönteminin de bulanık başlangıç matrise uygulanabileceği gösterilmiş ve bulunan bu yeni yönteme BBE adı verilmiştir. BBE yöntemi de bu çalışmanın orijinal bulgusudur. Bundan sonraki çalışmalar için diğer ikili genel hücre oluşturma yöntemlerinin de bulanık başlangıç matrise uygulanabilirliğini araştırıcı konular seçilebilir. Özellikle MP, *p*-Medyan modeli için bulanık doğrusal programlama veya bulanık tamsayı programlama modelleri geliştirilebilir. BÇK yönteminde bulunan küme merkezleri, KO yöntemi için başlangıç çekirdek noktalar olarak alınabilir. Yine BÇK yöntemiyle bulunan küme merkezleri sayısı kadar hücre oluşturan ve bu küme merkezlerinin mutlaka birbirinden farklı hücreler içerisinde olmalarını sağlayan bütünleşik yöntemler geliştirilebilir.

Çalışmanın sonunda bir vinç atölyesi üzerinde uygulama denemesi yapılmıştır. Atölyeden elde edilebilen ikili başlangıç matrise ROC, BK ve FCM yöntemleri uygulanmıştır. Çıkan sonuçlar ışığı altında atölyenin yerleşim düzeninde köklü değişikliklerin yapılması gerektiği gözlenmiştir. Fonksiyonel yerleşim düzeninin kullanıldığı bu atölyede, içerisinde iki hücre barındıran yeni bir yerleşim düzeni önerilmiştir. FCM yöntemiyle elde edilen sonuçların esnekliğini daha da artırıcı, parçaların ve makinelerin yeniden atanma önceliklerini ve hücrelerini gösteren Tablo 28 oluşturulmuştur. FCM yöntemiyle elde edilen en son üyelik matrisine göre, bir parçanın veya makinenin en yüksek üyeliğe sahip olan hücreye atanması bir tür durulaştırma işlemidir. Fakat bazen bu üyelikler birbirlerine çok yakın değerler aldığında yalnızca maksimum olanının alınarak bir atama yapılması çok sağlıklı sonuçlar doğurmayacaktır. Bu nedenle, parçaların ve makinelerin hücrelere yeniden atanma önceliklerini ve yeniden atanacakları hücreleri gösteren bir tablonun düzenlenmesi daha esnek davranılabilmesi açısından faydalıdır.

Gerek örnekler üzerinde ve gerekse uygulama üzerinde elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, tek başına hiçbir yöntem mükemmel değildir. Her yöntem birçok

varsayımı da beraberinde getirmektedir. Yöntemler değişik açılardan birbirlerine üstünlük kurmaktadır. Hücreleri oluşturmada göz önünde bulundurulması gereken tüm kriterleri içerisinde barındıracak bir yöntem geliştirmek mümkün değildir. Yöntemler gerçek bir atölye ortamına uygulanırken en son elde edilen sonuçlar üzerinde, ortama uyan yeni düzenlemeler yapmak çoğu zaman gerekli olmaktadır. Bunu sağlamada ortamı en iyi bilen atölye yöneticilerine büyük görevler düşmektedir.

KAYNAKLAR

- Aktürk, M. S., - Balköse, H. O., “Part-Machine Grouping Using a Multi-Objective Cluster Analysis”, **International Journal of Production Research**, Vol. 34, No. 8, 1996, ss. 2299-2315.
- Al-Ahmari, A. M. A., “A Fuzzy Analysis Approach for Part-Machine Grouping in Cellular Manufacturing Systems”, **Integrated Manufacturing Systems**, Vol 13, No. 7, 2002, ss. 489-497.
- Altrock, Constantin Von, **Fuzzy Logic and NeuroFuzzy Applications Explained**, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1995.
- Aurrecoechea, A., - Busby, J. S., - Nimmons, T., - Williams, G. M., “The Evaluation of Manufacturing Cell Designs”, **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 14, No. 1, 1994, ss. 60-74.
- Basu, A., - Hyer, N., - Shtub, A., “An Expert System Based Approach to Manufacturing Cell Design”, **International Journal of Production Research**, Vol. 33, No. 10, 1995, ss. 2739-2755.
- Ben-Arieh, David, - Triantaphyllou, Evangelos, “Quantifying Data for Group Technology with weighted Fuzzy Features”, **International Journal of Production Research**, Vol. 30, No. 6, 1992, ss. 1285-1299.
- Bezdek, James C., **Patern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms**, Plenum Press, New York, New York, USA, 1981.
- Buffa, Elwood S., - Sarin, Rakesh K., **Modern Production/Operations Management**, “8. edition”, John Wiley&Sons, USA, 1987.
- Burbidge, John L., **The Introduction of Group Technology**, William Heinemann Ltd., London, 1975.
- Burbidge, John L., “Letter: Groups and/or Cells”, **Production Planning & Control**, Vol. 5, No. 6, 1994, s. 588.
- Chandrasekharan M. P., - Rajagopalan R., “An Ideal Seed Non-Hierarchical Clustering Algorithm for Cellular Manufacturing”, **International Journal of Production Research**, Vol. 24, No. 2, 1986, ss. 451-464.

- Chandrasekharan, M. P., - Rajagopalan, R., “MODROC: An Extension of Rank Order Clustering for Group Technology”, **International Journal of Production Research**, Vol. 24, No. 5, 1986, ss. 1221-1233.
- Chandrasekharan, M. P., - Rajagopalan, R., “ZODIAC – An Algorithm for Concurrent Formation of Part-Families and Machine-Cells”, **International Journal of Production Research**, Vol. 25, No. 6, 1987, ss. 835-850.
- Cheng, Chun Hung, - Kumar, Ashok, - Motwani, Jaideep, “A Comparative Examination of selected Cellular Manufacturing Algorithms”, **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 15, No. 12, 1995, ss. 86-97.
- Chiu, S., “Fuzzy Model Identification Based on Cluster Estimation”, **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, Vol. 2, No. 3, 1994, ss. 267-278.
- Chu, Chao-Hsein, - Haya, Jack C., “A Fuzzy Clustering Approach to Manufacturing Cell Formation”, **International Journal of Production Research**, Vol. 29, No. 7, 1991, ss. 1475-1487.
- Chu, Chao-Hsien, “Manufacturing Cell Formation by Competitive Learning”, **International Journal of Production Research**, Vol. 31, No. 4, 1993, ss. 829-843.
- Co, Henry C., - Araar, Abdelaziz, “Configuring Cellular Manufacturing Systems”, **International Journal of Production Research**, Vol. 26, No.9, 1988, ss. 1511-1522.
- Cover, T. M., - Hart, P. E., “Nearest Neighbor Pattern Classification”, **IEEE Transactions on Information Theory**, Vol. IT-13, No. 1, 1967, ss. 21-27.
- Diworth, James B., **Production and Operations Management: Manufacturing and Nonmanufacturing**, “3. edition”, Random House, Inc., New York, USA, 1986.
- Doerr, Ken, - Magazine, Michael J., “Design, Coordination and Control of Hybrid Factories: Research Issues From an Exploratory Field Study”, **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 20, No. 1, 2000, ss. 85-102.
- Dossey, John A., et al., **Discrete Mathematics**, “2. edition”, Harpers Collins College Publishers, New York, USA, 1993.
- Du, Timon Chih-Ting, - Wolfe, Philip M., “Implementation of Fuzzy Logic Systems and Neural Networks in Industry”, **Computers in Industry**, Vol. 32, Issue 3, 1997, ss. 261-272.

- Gill, A., - Bector, C. R., “A Fuzzy Linguistic Approach to Data Quantification and Construction of Distance Measures for the Part Family Formation Problem”, **International Journal of Production Research**, Vol. 35, No. 9, 1997, ss. 2565-2578.
- Gindy, N. N. Z., - Ratchev, T. M., - Case, K., “Component Grouping for GT Applications-A Fuzzy Clustering Approach with Validity Measure”, **International Journal of Production Research**, Vol. 33, No. 9, 1995, ss. 2493-2509.
- Güngör, Zülal, - Arıkan, Fayzan, “Application of Fuzzy Decision Making in Part-Machine Grouping”, **International Journal of Production Economics**, Vol. 63, Issue 2, 2000, ss. 181-193.
- Hair, Joseph F., et al., **Multivariate Data Analysis with Readings**, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1995.
- Heragu, Sunderesh, **Facilities Design**, PWS Publishing Company, Boston, 1997.
- Hyer, Nancy L., - Wemmerlöv, Urban, “Group technology and Productivity: Exploiting Similarities in Manufacturing Can Yield Valuable Productivity Gains”, **Harvard Business Review**, Vol. 62, Issue 4, July-August, 1984, ss. 140-149.
- Iri, M., “On the Synthesis of Loop and Cutset Matrices and Related Problems”, In RAAG Memoirs, edited by K. Kondo, **Research Association of Applied Geometry**, 1968, Japan, ss. 376-410.
- Islam, Khan MD. Saiful, - Sarker, Bhaba R., “A Similarity Coefficient Measure and Machine-Parts Grouping in Cellular Manufacturing Systems”, **International Journal of Production Research**, Vol. 38, No. 3, 2000, ss. 699-720.
- Johnson, Richard A., - Wichern, Dean W., **Applied Multivariate Statistical Analysis**, “Third Edition”, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA, 1992.
- Josien, Karine, - Liao, T. Warren, “Integrated Use of Fuzzy C-Means and Fuzzy KNN for GT Part Family and Machine Cell Formation”, **International Journal of Production Research**, Vol. 38, No. 15, 2000, ss. 3513-3536.
- Jossien, Karine, - Liao, T. Warren, “Simultaneous Grouping of Parts and Machines with an Integrated Fuzzy Clustering Method”, **Fuzzy Sets and Systems**, Vol. 126, Issue 1, 2002, ss. 1-21.
- Kaimann, Richard A., - Bechler, Barbara A., “Emerging Concepts In Production: Group

- Technology, Manufacturing Cells, and Robotics”, **Industrial Management**, Vol. 24, No. 6, 1982 , ss. 1-7.
- Kamal, S., - Burke, L. I., “FACT: A New Neural Network-Based Clustering Algorithm for Group technology” **International Journal of Production Research**, Vol. 34 , No. , 1996, ss. 919-946.
- Kaufmann, Arnold., **Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets: Fundamental Theoretical Elements**, Vol. 1, Academic Press Inc., New York, New York, USA, 1975.
- Kaufman, L., - Rousseeuw, P., **Finding Groups in Data: Introduction to Cluster Analysis**, John Wiley & Sons Inc., New York, NY. U.S.A., 1990.
- Keller, J. M., - Gray, M. R., - Givens, JR, J. A., “A Fuzzy K-Nearest Neighbor Algorithm”, **IEEE Transactions on Systems, Man, and, Cybernetics**, Vol. SMC-15, No. 4, 1985, ss. 580-585.
- King, J. R., “Machine-Component Grouping in Production Flow Analysis: An Approach Using a Rank Order Clustering Algorithm”, **International Journal of Production Research**, Vol. 18, No. 2, 1980, ss. 213-232.
- King, J. R., - Nakornchai, V., “Machine-Component Group Formation in Group Technology: Review and Extension”, **International Journal of Production Research**, Vol. 20, No. 2, 1982, ss. 117-133.
- Klastorin, T. D., “The p -Median Problem for Cluster Analysis: A Comparative Test Using the Mixture Model Approach”, **Management Science**, Vol. 31, No.1, 1985, ss. 84-95.
- Klippel, Elizabeth Maria, - Alvarenga, Arlindo Gomes de, - Gomes, Francisco Jose Negreiros, “A two-phase Procedure for Cell Formation in Manufacturing Systems”, **Integrated Manufacturing Systems**, Vol. 10, No. 6, 1999, ss. 367-375.
- Kobu, Bülent, **Üretim Yönetimi**, “10. bs.”, Avcıol Basım-Yayın, İstanbul, 1998.
- Kroll, Dennis E., - Wang, Xiaoli, “Using Group Technology to Improve Quality and Response Time”, **Industrial Management**, Vol. 36, No. 4, 1994, ss. 21-22.
- Kumar, Ravi K., - Vannelli, A., “Strategic Subcontracting for Efficient Disaggregated Manufacturing”, **International Journal of Production Research**, Vol. 25, No. 12, 1987, ss. 1715-1728.
- Kusiak, A., - Heragu, S. S., “Group Technology”, **Computers in Industry**, Vol. 9, Issue 2, 1987, ss. 83-91.

- Kusiak, Andrew, "The Generalized Group Technology Concept", **International Journal of Production Research**, Vol. 25, No. 1, 1987, ss. 561-569.
- Lee-Post, Anita, "Part Family Identification Using a Simple Genetic Algorithm", **International Journal of Production Research**, Vol. 38, No. 4, 2000, ss. 793-810.
- Levary, Reuven R., "Programmable Automation in Manufacturing Systems", **Industrial Management**, Vol. 36, Issue 3, May/June, 1994, ss. 21-26.
- Li, Jiankang, - Ding, Zonghong, - Lei, Weizhong, "Fuzzy Cluster Analysis and Fuzzy Pattern Recognition Methods For Formation of Part Families", **16th North American Manufacturing Research Conference (NAMRC) Proceedings**, Society of Manufacturing Engineers, ss. 558-563.
- Liao, T. Warren, - Chen, L. J., - Coates, E. R., "A Comparison of Two Approaches for Designing Line Type Cellular Manufacturing Systems", **Integrated Manufacturing Systems**, Vol. 7, No. 1, 1996, ss. 6-15.
- Lozano, S., - Dobado, J., - Larraneta, L., - Onieva, L., "Modified Fuzzy C-Means Algorithm for Cellular Manufacturing", **Fuzzy Sets and Systems**, Vol. 126, Issue 1, 2002, ss. 23-32.
- MacQueen, J. B., "Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations", **Proceedings of the Fifth Symposium on Mathematical Statistics and Probability**, University of California, Berkeley, USA, Vol. 1, 1967, ss. 281-286.
- Mahdavi, Iraj, - Kaushal, O. P., - Chandra, M., "Graph-Neural Network Approach in Cellular Manufacturing on the Basis of a Binary System", **International Journal of Production Research**, Vol. 39, No.13, 2001, ss. 2913-2922.
- Maleki, Reza A., **Flexible Manufacturing Systems: The Technology and Management**, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1991.
- Mansouri, S. A., - Hüsseini, Moattar S. M., - Newman, S. T., "A Review of the Modern Approaches to Multicriteria Cell Design", **International Journal of Production Research**, Vol. 38, No. 5, 2000, ss. 1201-1218.
- Masnata, A., - Settineri, I., "An Application of Fuzzy Clustering to Cellular manufacturing", **International Journal of Production Research**, Vol. 35, No. 4, 1997, ss. 1077-1094.
- McCormick, Jr., William T., - Schwetzer, Paul J., - White, Thomas W., "Problem

- Decomposition and Data Reorganization by a Clustering Technique”, **Operations Research**, Vol. 20, Issue 5, 1972, ss. 993-1009.
- Miltenburg, J., - Zhang, W., “A Comparative Evaluation of Nine Well-Known Algorithms for Solving the Cell Formation Problem in Group Technology”, **Journal of Operations Management**, Special Issue on Group technology and Cellular Manufacturing, Vol. 10, No. 1, 1991, ss. 44-72.
- Moore, Franklin G., - Hendrick, Thomas E., **Production/Operations Management**, “8. edition”, Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Illinois, USA, 1980.
- Mukhopadhyay, S. K., - Babu, K. Ramesh, - Sai, K. V. Vijai, “Modified Hamiltonian Chain: A Graph Theoretic Approach to Group Technology”, **International Journal of Production Research**, Vol. 38, No. 11, 2000, ss. 2459-2470.
- Mulvey, John M., - Crowder, Harlan P., “Cluster Analysis: An Application of Lagrangian Relaxation”, **Management Science**, Vol. 25, No. 4, 1979, ss. 329-340.
- Offodile, O. Felix, - Grznar, John, “Part Family Formation for Variety Reduction in Flexible Manufacturing Systems”, **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 17, No. 3, 1997, ss. 291-304.
- Onwubolu, Godfredy C., - Mlilo, Prosper T., “Manufacturing Cell Grouping Using Similarity Coefficient-Distance Measure”, **Production Planning & Control**, Vol. 9, No. 5, 1998, ss. 489-493.
- Opitz, H., - Wiendahl, H. P., “Group Technology and Manufacturing Systems for Small and Medium Quantity Production”, **International Journal of Production Research**, Vol. 9, No. 1, 1971 ss. 181-203.
- Özkan, Mustafa M., **Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Tekstil İşletmesinde Uygulama Denemesi**, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Uludağ Üni. Sos. Bil. Enst., Bursa, 2002.
- Pai, P.F. F., - Lee, E. S., “Adaptive Fuzzy Systems in Group Technology”, **An International Journal of Computers & Mathematics with Applications**, Vol. 42, Issues 10-11, November-December, 2001, ss. 1393-1400.
- Rajagopalan, R., - Batra, J. L., “Design of Cellular Production Systems: A Graph Theoretic Approach”, **International Journal of Production Research**, Vol. 13, No. 6, 1975, ss. 567-579.
- Ravichandran, K. S., - Rao, K. Chandra Sekhara, “A New Approach to Fuzzy Part-

- Family Formation in Cellular Manufacturing Systems”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Vol. 18, No. 8, 2001, ss. 591-597.
- Ruspini, E., “Numerical Methods for Fuzzy Clustering”, **Information Science**, Vol. 2, Issue 1, 1970, ss. 319-350
- Sangwan, Kaldip Singh, - Kodali, Rambabu, “Fuzzy Part Family Formation for Cellular Manufacturing Systems”, **Production Planning & Control**, Vol. 15, No. 3, 2004, ss. 292-302.
- Schmenner, Roger W., **Production/Operations Management: Concepts and Situations**, “3. edition”, Science Research Associates, Inc., Chicago, USA, 1987.
- Schroeder, Roger G., **Operations Management, Decision Making in the Operations Function**, New York: McGraw-Hill, Inc., 1989.
- Shafer, Scott M., - Meredith, Jack R., “A Comparison of Selected Manufacturing Cell Formation Techniques”, **International Journal of Production Research**, Vol. 28, No. 4, 1990, ss. 661-673.
- Shafer, Scott M., - Meredith, Jack R., “An Empirically-Based Simulation Study of Functional versus Cellular Layouts With Operations Overlapping”, **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 13, No. 2, 1993, ss. 47-62.
- Shanker, R., - Vrat, P., “Some Design Issues in Cellular Manufacturing Using the Fuzzy Programing Approach”, **International Journal of Production Research**, Vol. 37, No. 11, 1999, ss. 2545-2563.
- Shayan, E., - Sobhanallahi, A., “Productivity Gains By Cellular Manufacturing”, **Production Planning & Control**, Vol. 13, No. 6, 2002, ss. 507-516.
- Shtub, Avraham, “Modeling Group Technology Cell Formation As a Generalized Assignment Problem”, **International Journal of Production Research**, Vol. 27, No. 5, 1989, ss. 775-782.
- Smith, Spencer B., **Computer Based Production and Inventory Control**, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc., USA, 1989.
- Sönmez, Ali İhsan, **Production Plant Design**, Gaziantep Üni. Basımevi, Gaziantep 1991.
- Susanto, Sani, - Kennedy, Robert D., - Price, John W. H., “A New Fuzzy-c-Means and

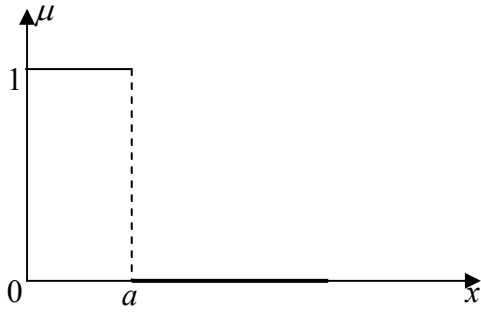
Assignment Technique-Based Cell Formation Algorithm to Perform Part-Type Clusters and Machine-Type Clusters Separately”, **Production Planning & Control**, Vol. 10, No. 4, 1999, ss. 375-388.

- Şen, Zekai, **Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri**, Bilge Sanat Yapım Yayın, İstanbul, 2001.
- Tatikonda, M. V., - Wemmerlöv, U., “Adoption and Implementation of Group Technology Classification and Coding Systems: Insights from Seven Case Studies”, **International Journal of Production Research**, Vol. 30, No. 9, 1992, ss. 2087-2110.
- Venugopal, V., - Narendran, T. T., “Machine-Cell Formation Through Neural Network Models”, **International Journal of Production Research**, Vol. 32, No. 9, 1994, ss. 2105-2016.
- Viswanathan, S., “Configuring Cellular Manufacturing Systems: A Quadratic Integer Programming Formulation and a Simple Interchange Heuristic”, **International Journal of Production Research**, Vol. 33, No. 2, 1995, ss. 361-376.
- Wang, J., - Roze, C., “Formation of Machine Cells and Part Families: A Modified p -Median Model and a Comparative Study”, **International Journal of Production Research**, Vol. 35, No. 5, 1997, ss. 1259-1286.
- Wemmerlöv, Urban., - Johnson, D. J., “Cellular manufacturing at 46 User Plants: Implementation Experiences and Performance Improvements”, **International Journal of Production Research**, Vol. 35, No.1, 1997, ss. 29-49.
- Won, Y., “New p -median Approach to Cell Formation With Alternative Process Plans”, **International Journal of Production Research**, Vol. 38, No. 1, 2000, ss. 229-240.
- Won, Youkyung, - Lee, Kun Chang, “Group Technology Cell Formation Considering Operation Sequences and Production Volumes”, **International Journal of Production Research**, Vol. 39, No. 13, 2001, ss. 2755-2768.
- Won, Youkyung, - Lee, Kun Chang, “Modified p -Median Approach for Efficient GT Cell Formation”, **Computers & Industrial Engineering**, Vol. 46, 2004, ss. 495-510.
- Xu, Haiping, - Wang, Hsu-Pin (Ben), “Part Family Formation for GT Applications based on fuzzy mathematics”, **International Journal of Production Research**, Vol. 27, No. 9, 1989, ss. 1637-1651.

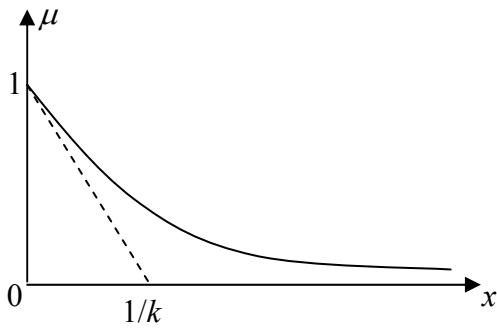
- Yager, Roland R., - Filev, Dimitar P., “Approximate Clustering Via the Mountain Method”, **IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics**, Vol. 24, No. 8, 1994, ss. 1279-1284.
- Yin, Y., - Yasuda, K., “Similarity Coefficient Methods Applied to The Cell Formation Problem: A Comparative Investigation”, **Computers & Industrial Engineering**, Vol. 48, Issue 3, 2005, ss. 471-489.
- Yin, Yong, - Yasuda, Kazuhiko, “Similarity Coefficient Methods Applied to The Cell Formation Problem: A Taxonomy and Review”, **International Journal of Production Economics**, 24 s., In Print.
- Zadeh, L. A., “Fuzzy Sets”, **Information and Control**, Vol. 8, No. 3, 1965, ss. 338-353.
- Zhang, Chung, - Wang, Hsu-Pin (Ben), “Concurrent Formation of Part Families and Machine Cells Based on the Fuzzy Set Theory”, **Journal of Manufacturing Systems**, Vol. 11, No. 1, 1992, ss. 61-67.

EKLER

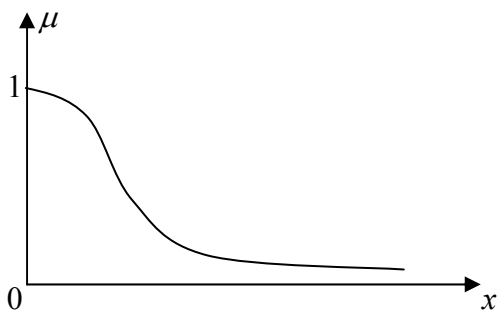
EK.1: Üyelik Fonksiyonları.



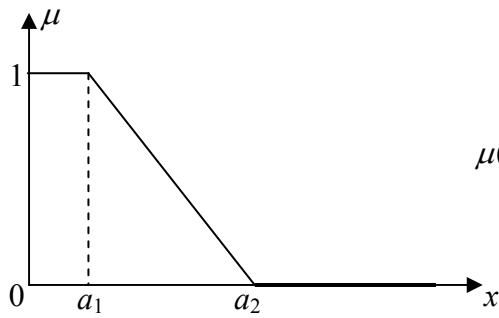
$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq a \\ 0, & x > a \end{cases} \quad (1)$$



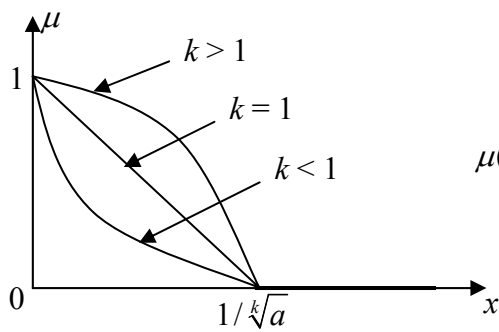
$$\mu(x) = e^{-kx}, \quad k > 0 \quad (2)$$



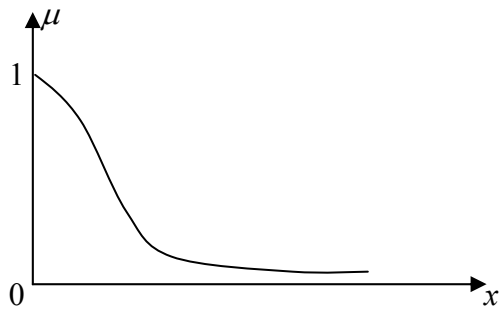
$$\mu(x) = e^{-kx^2}, \quad k > 0 \quad (3)$$



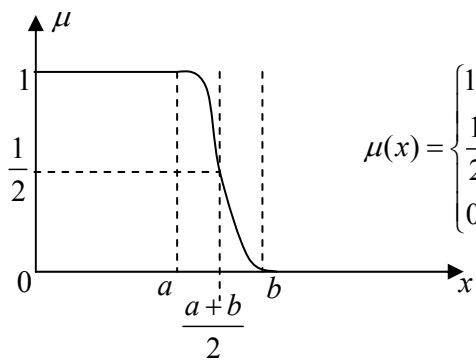
$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq a_1 \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 0, & a_2 \leq x \end{cases} \quad (4)$$



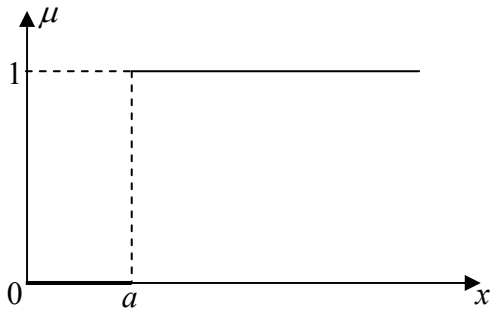
$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - ax^k, & 0 \leq x \leq \frac{1}{\sqrt[k]{a}} \\ 0, & \frac{1}{\sqrt[k]{a}} \leq x \end{cases} \quad (5)$$



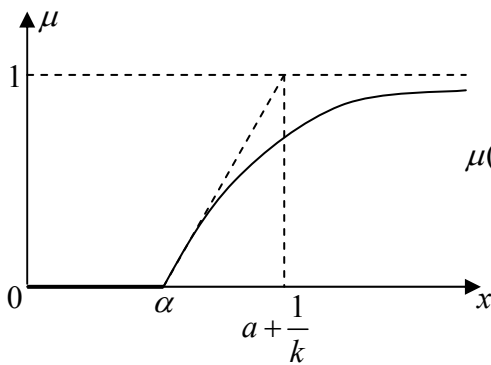
$$\mu(x) = \frac{1}{1 + kx^2}, \quad k > 1 \quad (6)$$



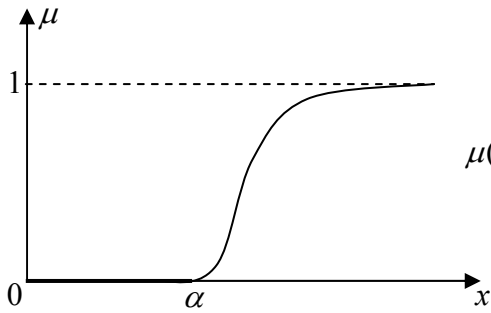
$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq a \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{b-a} \left(x - \frac{a+b}{2} \right), & a \leq x \leq b \\ 0, & b \leq x \end{cases} \quad (7)$$



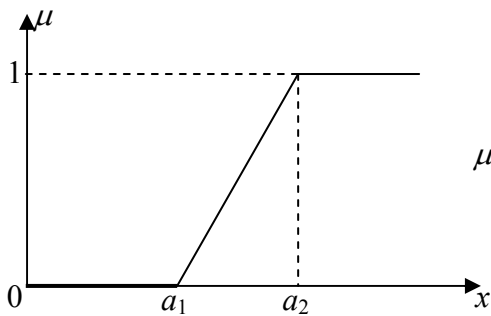
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < a \\ 1, & a \leq x \end{cases} \quad (8)$$



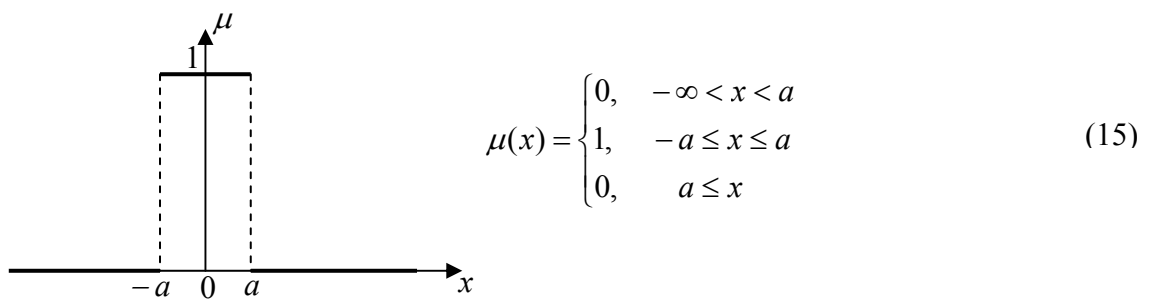
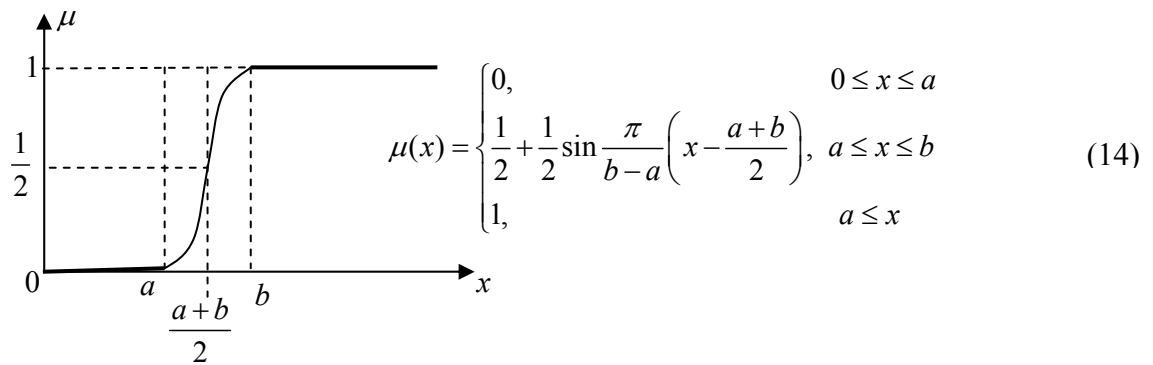
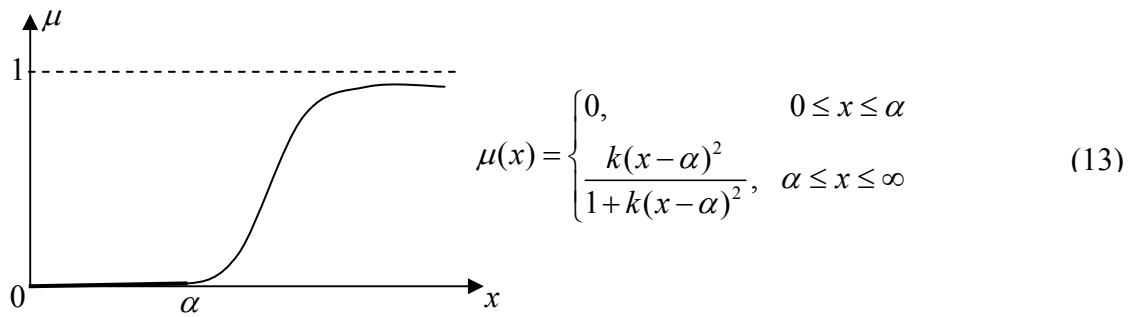
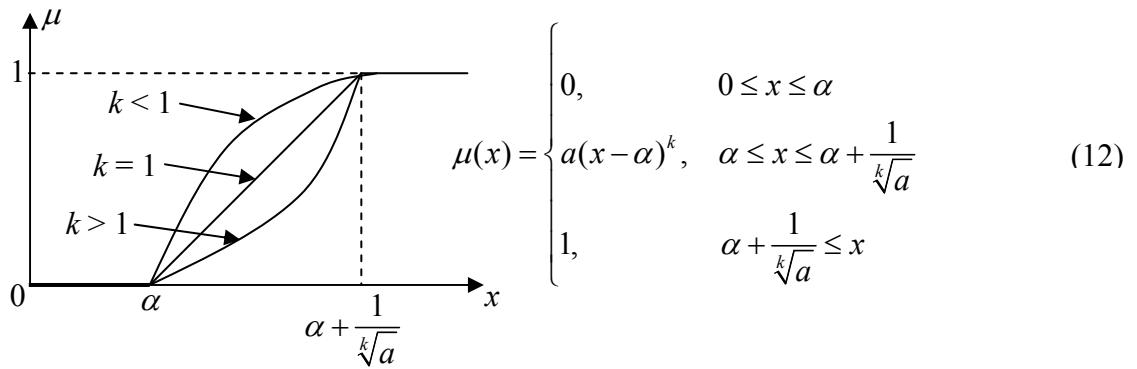
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq \alpha \\ 1 - e^{-k(x-\alpha)}, & \alpha \leq x, k \geq 0 \end{cases} \quad (9)$$

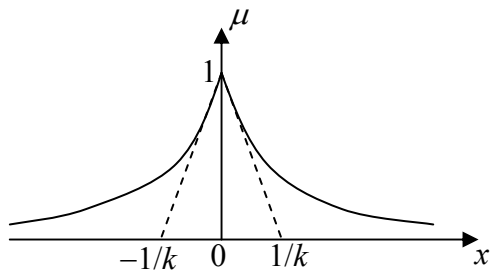


$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq \alpha \\ 1 - e^{-k(x-\alpha)^2}, & \alpha \leq x, k > 0 \end{cases} \quad (10)$$

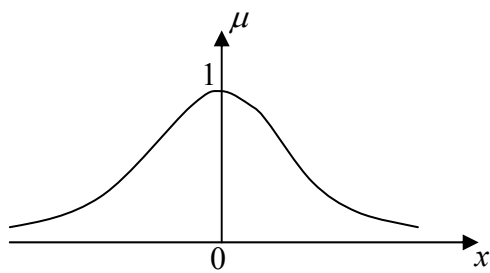


$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \end{cases} \quad (11)$$

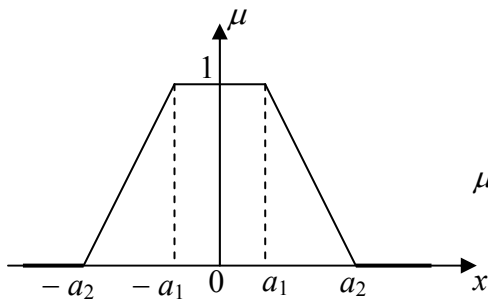




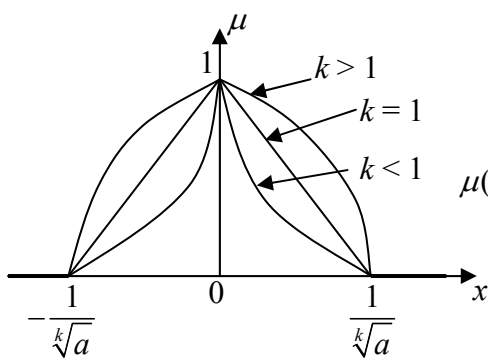
$$\mu(x) = \begin{cases} e^{kx}, & -\infty < x \leq 0 \\ e^{-kx}, & 0 \leq x < \infty, k > 1 \end{cases} \quad (16)$$



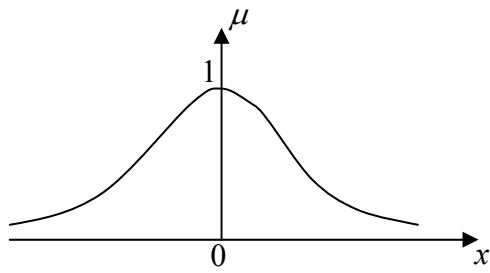
$$\mu(x) = e^{-kx^2} \quad (17)$$



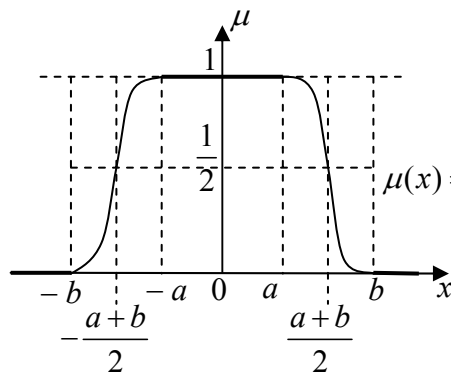
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & -\infty < x \leq -a_2 \\ \frac{a_2 + x}{a_2 - a_1}, & -a_2 \leq x \leq -a_1 \\ 1, & -a_1 \leq x \leq a_1 \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1}, & -a_1 \leq x \leq a_2 \\ 0, & a_2 \leq x < \infty \end{cases} \quad (18)$$



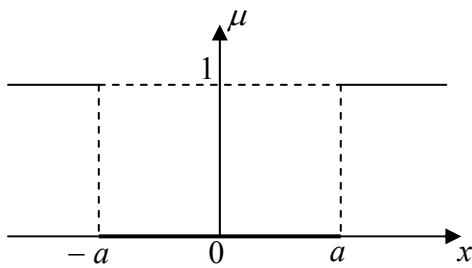
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & -\infty < x \leq -\frac{1}{\sqrt[k]{a}} \\ 1 - a(-x)^k, & -\frac{1}{\sqrt[k]{a}} \leq x \leq 0 \\ 1 - a(x)^k, & 0 \leq x \leq \frac{1}{\sqrt[k]{a}} \\ 0, & \frac{1}{\sqrt[k]{a}} \leq x < \infty \end{cases} \quad (19)$$



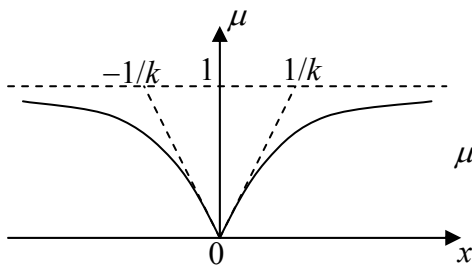
$$\mu(x) = \frac{1}{1+kx^2}, \quad k > 1 \quad (20)$$



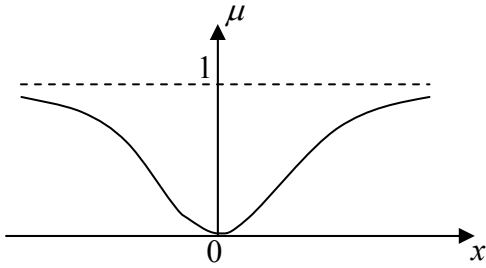
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & -\infty < x \leq -b \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{b-a} \left(x + \frac{a+b}{2} \right), & -b \leq x \leq -a \\ 1, & -a \leq x \leq a \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{b-a} \left(x - \frac{a+b}{2} \right), & a \leq x \leq b \\ 0, & b \leq x < \infty \end{cases} \quad (21)$$



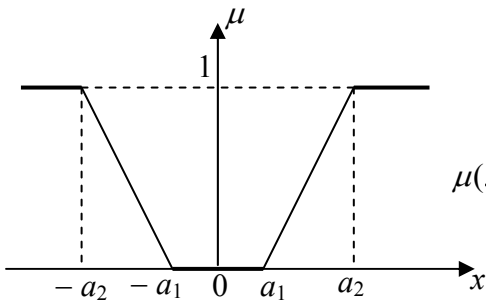
$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & -\infty < x < -a \\ 0, & -a < x < a \\ 1, & a < x < \infty \end{cases} \quad (22)$$



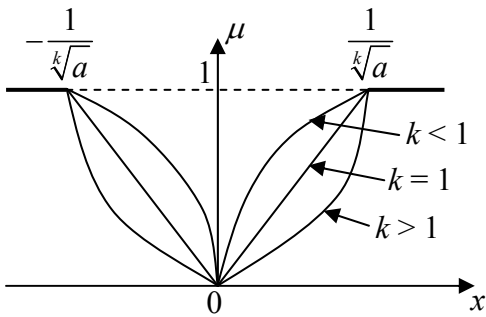
$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - e^{kx}, & -\infty < x \leq 0 \\ 1 - e^{-kx}, & 0 \leq x < \infty, \quad k > 1 \end{cases} \quad (23)$$



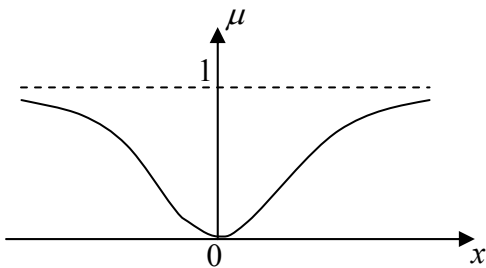
$$\mu(x) = 1 - e^{-kx^2}, \quad k > 1 \quad (24)$$



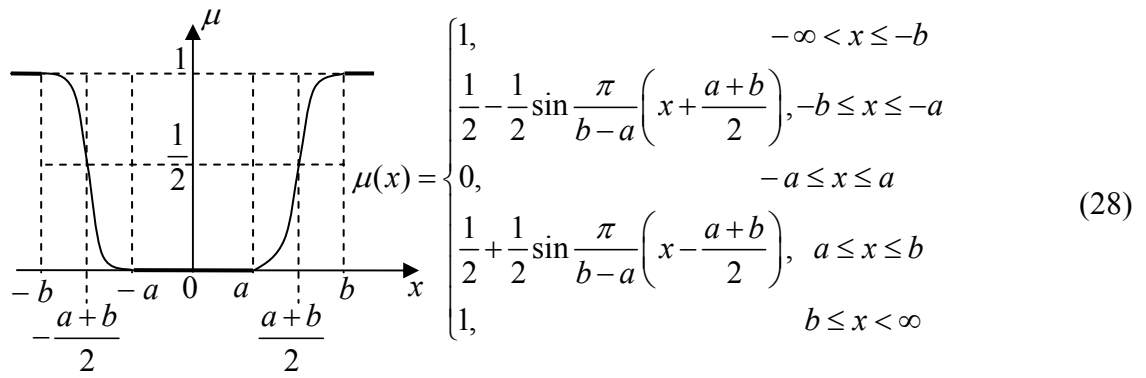
$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & -\infty < x < -a_2 \\ -\frac{x+a_1}{a_2-a_1}, & -a_2 \leq x \leq -a_1 \\ 0, & -a_1 \leq x \leq a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x < \infty \end{cases} \quad (25)$$



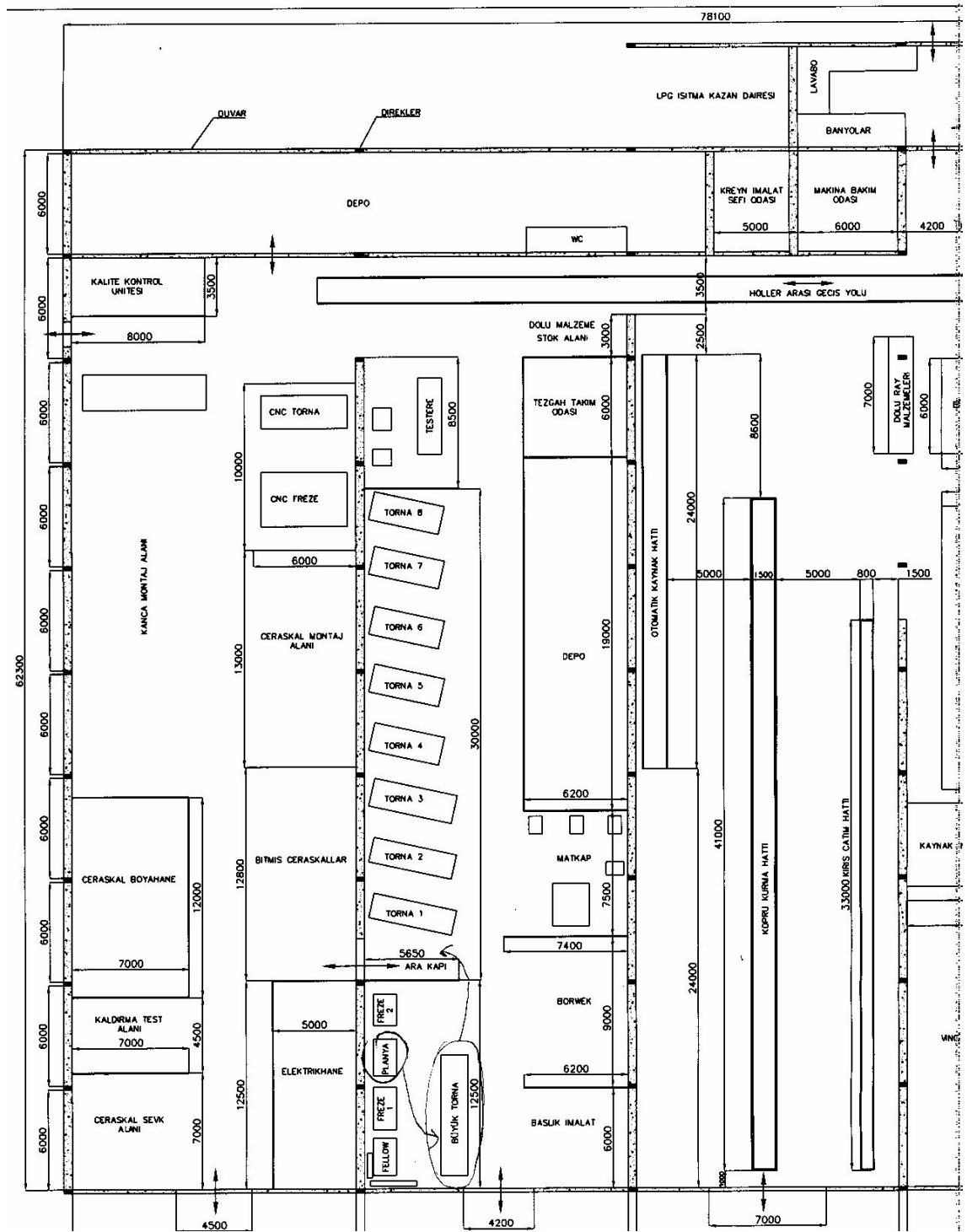
$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & -\infty < x < -\frac{1}{\sqrt[k]{a}} \\ a(-x)^k, & -\frac{1}{\sqrt[k]{a}} \leq x \leq 0 \\ ax^k, & 0 \leq x \leq \frac{1}{\sqrt[k]{a}} \\ 1, & \frac{1}{\sqrt[k]{a}} \leq x < \infty \end{cases} \quad (26)$$



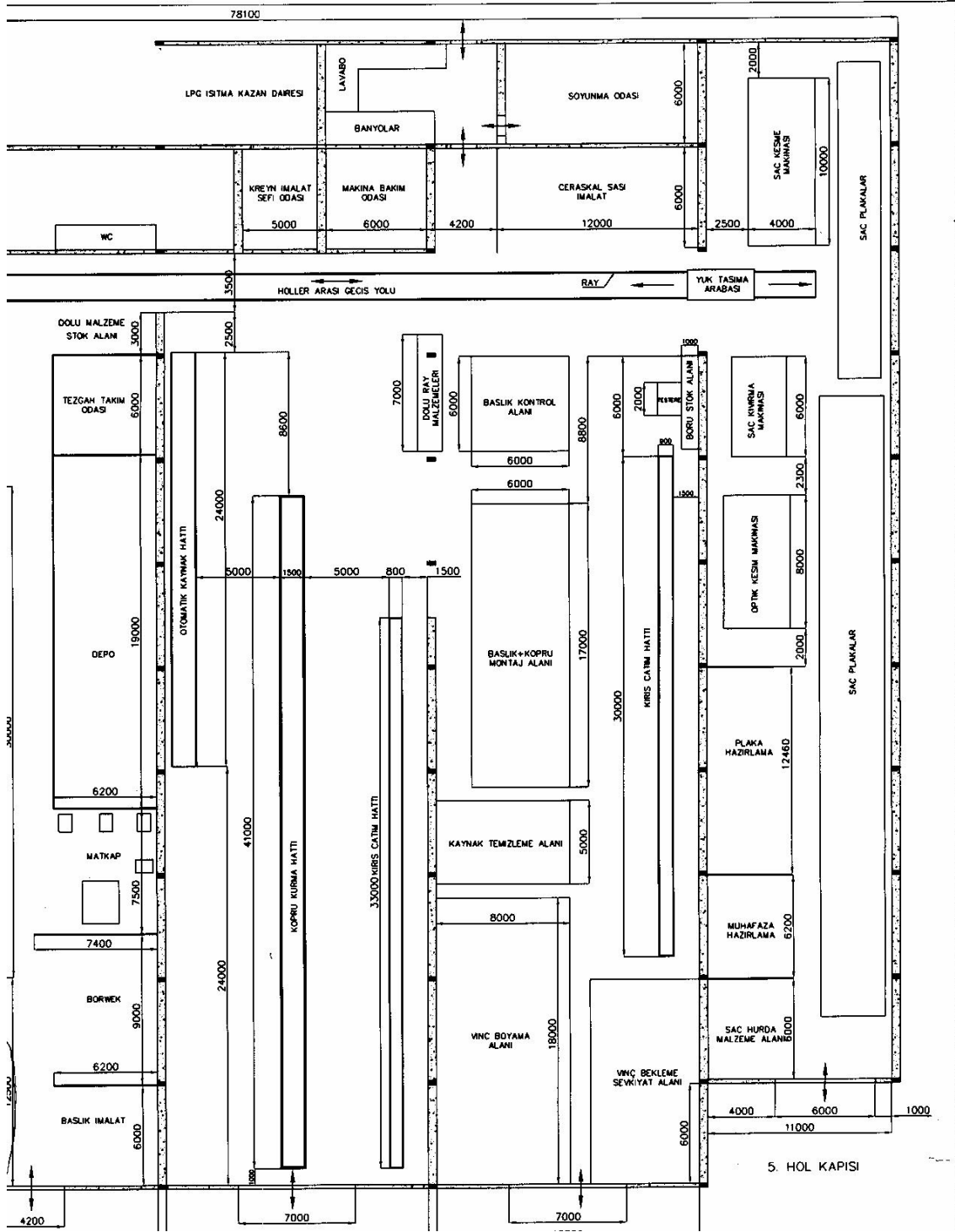
$$\mu(x) = \frac{kx^2}{1+kx^2} = \frac{1}{1+\frac{1}{kx^2}}, \quad k > 1 \quad (27)$$



EK.2: Vinç Atölyesinin 1, 2 ve 3. Holler Mevut Detaylı Yerleşim Düzeni.



EK.3: Vinç Atölyesinin 3, 4 ve 5. Holler Mevut Detaylı Yerleşim Düzeni.



ÖZGEÇMİŞİM

1968 yılında Kütahya’da doğdum. Kütahya Atatürk İlkokulu’nu, Kütahya Lisesi Ortaokulu’nu ve Kütahya Endüstri Meslek Lisesi Torna-Tesviye bölümünü bitirdim. Anadolu Üniversitesi Kütahya İ.İ.B.Fakültesi İşletme Bölümü’nden 1990 yılında mezun oldum. Amerika Birleşik Devletleri, Illinois Institute of Technology’de 1996 yılında Üretim Yönetimi ve Pazarlama ağırlıklı genel işletme yüksek lisans eğitimimi tamamladım. Prof. Dr. Feray Odman Çelikçapa’nın danışmanlığında “Hücreyel Üretim: Hücrelerin Oluşturulmasında Kullanılan Yöntemlerin Analizi ve Bir Vinç Atölyesinde Uygulama” konulu teze başladım.

