

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
YÖNETİM BİLİMİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SİPARİŞE DAYALI ÜRETİM HÜCRELERİNİN
MODELLENMESİ VE
METAL SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

Nedret ERBOY

Danışman
Prof. Dr. Şevkinaz GÜMÜŞOĞLU

2010

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “ **Siparişe Dayalı Üretim Hücrelerinin Modellenmesi ve Metal Sektöründe Bir Uygulama**” adlı çalışmanın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

.../.../.....

Nedret ERBOY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi Siparişe Dayalı Üretim Hücrelerinin Modellenmesi ve Metal Sektöründe Bir Uygulama

Nedret ERBOY

Dokuz Eylül Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı
Yönetim Bilimi Programı

Rekabetin kıyasıya yaşandığı ve tüketici istek ve ihtiyaçlarının sürekli değişim gösterdiği günümüz şartlarında, bu rekabete ayak uydurmak için işletmeler üretim sistemlerine esneklik ve verimlilik kazandırmak için çözümler aramaya başlamışlardır. Yaşam standartlarının yükselmesiyle birlikte tüketici talep ve ihtiyaçlarının farklılaşması, teknolojik gelişmelerin desteğiyle pek çok ürün alternatifinin ortaya çıkması, firmaları müşteri odaklı olmaya yöneltmiştir. Çalışmanın birinci bölümünde tam zamanında üretim ile müşteri taleplerinin zamanında karşılanması ve üretim sürecinde değer yaratmayan faaliyetleri elimine ederek maliyetleri azaltmak amaçlanmaktadır.

Siparişe dayalı üretim sistemlerinde talepteki belirsizlikler parça çeşitliliği, parçaların farklı işlem süreleri, gördükleri işlem sayıları üretimde karmaşık bir üretim akışına sebep olmaktadır. Bu nedenle üretim planlama ve kontrolünde zorluklar yaşanmakta ve siparişler zamanında karşılanamayarak gecikmeler meydana gelmektedir. Çalışmanın ikinci bölümünde Siparişlerdeki benzer ürünlerin beraber üretilmesini hedefleyen grup teknolojisi ve üretimdeki uygulaması olan hücresel üretim kavramlarından detaylı olarak bahsedilmiş ve firmalara sağladıkları faydalar üzerinde durulmuştur. Çalışmanın üçüncü bölümünde grup teknolojisi ve hücresel üretim uygulaması sonucu oluşan parça aileleri ve üretim hücrelerinin modellenmesinde kullanılan yöntemlerden birisi olan genetik algoritma üzerinde durulmuştur.

Tez kapsamında siparişe dayalı üretim yapan bir firmada gelen farklı siparişlerdeki değişik özellikteki parçalar ele alınarak parça aileleri oluşturmak için oluşturulan model genetik algoritma yöntemi ile çözülmüştür. Uygunluk fonksiyonu olarak gruplar arasındaki sapmaları bulmak için varyasyon katsayısından faydalanılmıştır. Amaç fonksiyonunda sapmalar minimize edilmek istenmiştir. Algoritma Microsoft Visual Studio C# 2.0 dili ile programlanmıştır. Algoritmanın çalıştırılması sonucu parça aileleri elde edilmiş ve oluşan parça aileleri sonucunda oluşturulabilecek makine hücreleri için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Tam Zamanında Üretim, Siparişe Dayalı Üretim, Grup Teknolojisi, Hücresel Üretim, Genetik Algoritma

ABSTRACT

Master Thesis

**Modeling The Manufacturing Cells Which Is Based On Make To Order
And Application On Metal Sector**

Nedret ERBOY

**Dokuz Eylul University
Institute Of Social Sciences
Department of Business Administration
Management Science Program**

In today's conditions in which there is a cutthroat competition and constant changes in demands and needs of customers, enterprises have started to look for solutions to make their manufacturing systems flexible and profitable to keep up with this competition. Since life standards have expanded and many alternative products have emerged via technology, companies have a tendency to have a customer-oriented policy. In the first chapter of this study, it is aimed to decrease the expenditures by eliminating the factors which are not valuable in manufacturing process and to meet the demands with the just in time manufacturing.

In make to order systems, the ambiguity in demands, range of products, different processing time of the pieces and the number of processes they go through cause a complex flow of manufacture. For this reason, there are problems in planning and controlling the manufacturing and delays occur since the orders are not supplied on time. In the second chapter of the study, group technology which aims to produce the similar products at the same time and the concept of manufacturing cell is mentioned in a detailed way. The benefits of these on companies are emphasized. In the third chapter of this study, the component family which is the result of group technology and the practising of manufacturing cell and genetic algorithm which is one of the methods used in modeling manufacturing cells are mentioned.

On the scope of the thesis, in a company which does make to order, by taking up the pieces with different features in various orders, the model which is used to compose component families is solved by genetic algorithm method . In order to minimize the deviation between the groups, coefficient of variation is used as a objective function. Algorithm is programmed with Microsoft Visual Studio C# 2.0. Component families are obtained by processing the algorithm and as a result of these part families, suggestions have been made for the forming of machine cells.

Key Words: Just in Time, Make To Order, Group Technology, Cellular Manufacturing, Genetic Algorithm

SİPARİŞE DAYALI ÜRETİM HÜCRELERİNİN MODELLENMESİ VE METAL SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

TEZ ONAY SAYFASI	ii
YEMİN METNİ.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	xi
ŞEKİL VE TABLO LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

SİPARİŞE DAYALI ÜRETİM HÜCRELERİNDE TAM ZAMANINDA ÜRETİM

1.1. TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMİNİN ORTAYA ÇIKIŞI.....	5
1.2. TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMİ KURAMSAL ÇERÇEVESİ.....	6
1.3. TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMİ KAVRAMI.....	8
1.4. TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMİNİN DAYANDIĞI TEMELLER	10
1.5. TAM ZAMANINDA ÜRETİM YAKLAŞIMININ HEDEFLERİ.....	14
1.5.1. Sıfır Hata.....	15
1.5.2. Sıfır İsrar	15
1.5.3. Sıfır Envanter	16
1.5.4. Sıfır Hazırlık Zamanı	17

1.5.5. Sıfır Temin Süresi	18
1.5.6. Sıfır Parça Taşıma	18
1.6. İTME VE ÇEKME SİSTEMLERİ	21
1.6.1. İtme Sistemleri.....	21
1.6.2. Çekme Sistemleri	22
1.6.3. İtme ve Çekme Sistemlerinin Karşılaştırılması	23
1.6.4. Tam Zamanında Üretim Sisteminde Kanban	24
1.6.5. Kanban Çeşitleri.....	25
1.6.5.1. Çekme Kanbanı.....	26
1.6.5.2. Üretim Kanbanı	27
Tedarikçi Kanbanı.....	28
Acil İhtiyaç Kanbanı	28
Özel Kanban.....	28
İşaret (Sinyal) Kanbanı	29
Malzeme Kanbanı	29
Elektirik Kanbanı	30
1.7. TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMİNİN FAYDALARI	32
1.8. SİPARİŞE DAYALI ÜRETİM SİSTEMLERİ.....	35
1.9. TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMİ – SİPARİŞE DAYALI ÜRETİM – GRUP TEKNOLOJİSİ ARASINDAKİ İLİŞKİ	39

İKİNCİ BÖLÜM

HÜCRESEL ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE ALGORİTMALAR

2.1. ÜRETİM SİSTEMLERİ VE HÜCRESEL ÜRETİM.....	42
2.2. GRUP TEKNOLOJİSİ.....	46
2.2.1. Grup Teknolojisinin Tarihi Gelişimi.....	46

2.2.2. Grup Teknolojisi Kavramı	48
2.2.3. Grup Teknolojisinin Başlıca Kavramları	49
2.2.3.1 Sınıflandırma.....	49
2.2.3.2. Parça Ailelerinin Oluşturulması.....	50
2.2.3.2.1. El – Göz Araştırması	52
2.2.3.3.2. Üretim Akış Analizi	52
2.2.3.2.3. Sınıflandırma ve Kodlama Analizi.....	54
2.2.3.3. Basitleştirme.....	55
2.2.3.4. Standardizasyon	56
2.2.4. Grup Teknolojisinin Avantajları	56
2.3. GRUP TEKNOLOJİSİ VE HÜCRESEL ÜRETİMİN SİSTEMİNİN ÜRETİM SİSTEMLERİNE FAYDALARI	59
2.4. HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ	61
2.4.1. Hücresel Üretim Sistemlerinin Tasarımı.....	65
2.4.2. Hücre Tanımlaması	68
2.4.3. Hücre Oluşturma ve Hücre Oluşturma Yönteminin Seçimi	69
2.4.4. Hücre Oluşturma Yöntemleri.....	71
2.4.4.1. Tanımlayıcı Yöntemler	72
2.4.4.2. Kümeleme Analizini Temel Alan Yöntemler	73
2.4.4.3. Matematiksel Programlama Yöntemleri	79
2.4.4.4. Grafik Bölümleme Yöntemleri	82
2.4.4.5. Yeni Geliştirilen Diğer Yöntemler ve Algoritmalar	82
2.4.4.5.1. Tavlama Benzetimi	82
2.4.4.5.2. Tabu Araştırması.....	83
2.4.4.5.3. Yapay Sinir Ağları	85
2.4.4.5.4. Genetik Algoritma.....	86

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GENETİK ALGORİTMA

3.1. GENEL AÇIKLAMA	87
3.2 GENETİK ALGORİTMA KAVRAMI	89
3.3 GENETİK ALGORİTMALARDA KULLANILAN TEMEL KAVRAMLAR ..	91
3.3.1. Gen ve Kromozom Yapısı.....	91
3.3.2. Popülasyon ve Başlangıç Popülasyonu	91
3.3.3. Uygunluk Fonksiyonu	92
3.3.4. Seçim.....	92
3.3.4.1. Rulet Tekerleği Seçimi.....	93
3.3.4.2. Rank Seçimi	94
3.3.4.3. Kararlı Durum	95
3.3.4.4. Boltzmann Seçimi	96
3.3.4.5. Elitizm	96
Turnuva Seçimi	97
Orantılı Seçim	97
Sıralı Seçim	97
3.3.5. Durdurma (Termination) Kriteri	97
3.4. GENETİK ALGORİTMALARIN AŞAMALARI	98
3.5. GENETİK ALGORİTMA OPERATÖRLERİ	101
3.5.1. Yeniden Üretim.....	101
3.5.2. Çaprazlama.....	102
Tek Noktalı Çaprazlama	102
Çok Noktalı Çaprazlama	103
Pozisyona Dayalı Çaprazlama.....	103
Sıraya Dayalı Çaprazlama.....	104
Kısmi Planlı Çaprazlama	104

3.5.3. Mutasyon.....	105
3.6. GENETİK ALGORİTMADA KODLAMA	107
3.7. GENETİK ALGORİTMA PARAMETRELERİ	108
3.8. GENETİK ALGORİTMADA ŞEMA TEOREMİ.....	110
3.9. GENETİK ALGORİTMANIN KULLANIM ALANLARI.....	113

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

SİPARİŞE DAYALI ÜRETİM HÜCRELERİNDE GENETİK ALGORİTMA UYGULAMASI

4.1. Firmanın Tanıtımı	122
4.2. Araştırma ve Yöntem	125
4.3. Problemin Tanımı	126
4.4. Uygulamada Kullanılacak Veriler.....	126
4.5. Problemin Modellenmesi	128
4.6. Problemin Genetik Algoritma İle Çözümü	132
4.6.1. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması.....	133
4.6.2. Uygunluk Fonksiyonu ve Uygunluk Değerleri	134
4.6.3. Rulet Tekerleği Seçimi.....	137
4.6.4. Çaprazlama Operatörünün Uygulanması	139
4.6.5. Mutasyon Operatörünün Uygulanması	139
4.6.6. Seçim.....	140
SONUÇ VE ÖNERİLER	151
KAYNAKLAR	156
EKLER :Probleme Ait Genetik Algoritma Kodları.....	173

KISALTMALAR

TZÜ	Tam Zamanında Üretim
JIT	Just in Time
GT	Grup Teknolojisi
HÜS	Hücrel Üretim Sistemleri
HTÜS	Hücre Tipi Üretim Sistemi
CMS	Cellular Manufacturing System
BK	Benzerlik Katsayısı
BE	Bağ Enerjisi
GA	Genetik Algoritma

ŞEKİL VE TABLO LİSTESİ

TABLO LİSTESİ

Tablo 1 : Klasik Sistem İle TZÜ Sisteminin Temel Yaklaşımlarına Göre Karşılaştırılması	s:9
Tablo 2 : Genel Amaçlı Bazı Benzerlik Katsayıları.....	s:78
Tablo 3 : Makine Listesi	s:123
Tablo 4 : Uygulamada Kullanılacak Parçaların Sipariş Miktarları	s:127
Tablo 5 : Parça – Grup Matrisi.....	s:134
Tablo 6 : Parçaların Makinelerdeki İşlem Süreleri	s:135
Tablo 7 : Parçaların Toplam Üretim Süreleri.....	s:136
Tablo 8 : Genetik Algoritmada Kullanılan Parametreler	s:143
Tablo 9 : Çeşitli Popülasyon Sayısı ve İterasyonlarla Bulunan Uygunluk Değerleri.....	s:144
Tablo 10 : En İyi Çözümü Veren Matris.....	s:145
Tablo 11 : Genetik Algoritma Sonucu Oluşan Parça Aileleri.....	s:146
Tablo 12 : Parça Makine Matrisi.....	s:147
Tablo 13 : GA Sonucu Oluşan Gruplara Göre Parça-Makine Matrisi	s:149

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 : Tam Zamanında Üretim Sistemindeki Temel Kavramlar ve Sistemler	s:13
Şekil 2 : Çekme Sistemi.....	s:22
Şekil 3 : Çekme Kanbanı	s:27
Şekil 4 : Üretim Kanbanı	s:27
Şekil 5 : Tedarikçi Kanbanı	s:28
Şekil 6 : Acil İhtiyaç Kanbanı	s:28
Şekil 7 : Özel Kanban	s:29
Şekil 8 : İşaret Kanbanı.....	s:29
Şekil 9 : Malzeme Kanbanı.....	s:30
Şekil 10 : Parça ailelerinin üretim operasyonlarına göre belirlenmesi	s:50
Şekil 11 : Parça-Makine İlişkisi Matrisi ve Oluşturulan Parça Aileleri ile Makine Hücreleri.....	s:53
Şekil 12 : Üretim Akış Analizi	s:54
Şekil 13 : Hücresel Üretim İçerisindeki Ürün Akışı.....	s:69
Şekil 14 : Hücre Oluşturma Yöntemlerinin Oluşturulması	s:72
Şekil 15 : Bir Yapay Sinir Ağı.....	s:86
Şekil 16 : Rulet Tekerı Örneği.....	s:94
Şekil 17 : Sıralama Öncesi ve Sonrası Uygunluk ve Dizi Değerleri Grafikleri	s:95
Şekil 18 : Genetik Algoritmanın Akış Diyagramı	s:99
Şekil 19 : Tek Noktalı Çaprazlama.....	s:102
Şekil 20 : Çok Noktalı Çaprazlama	s:103
Şekil 21 : Pozisyona Dayalı Çaprazlama.....	s:103
Şekil 22 : Sıraya Dayalı Çaprazlama	s:104
Şekil 23 : Kısmi Planlı Çaprazlama.....	s:104

Şekil 24 : Çift Mutasyon.....	s:105
Şekil 25 : Üretim Çizelgelemede Kullanılan Mutasyon Operatörleri	s:106
Şekil 26 : Problemin Akış Diyagramı.....	s:142
Şekil 27 : Uygunluk Değeri Değişim Grafiği	s:144
Şekil 28 : Parça Ailelerinin Belirlenmesi Sonucu Oluşan Hücreler	s:15

GİRİŞ

21. yüzyıl globalleşen dünyada değişimin öne çıkması ve bu değişimin sonucu olarak piyasa koşullarının, tüketici istek ve ihtiyaçlarının sürekli gözden geçirilmesi zorunluluğu doğmaktadır. Tüketici istek ve ihtiyaçlarındaki bu değişim sonucu imalat sanayinde rekabet gün geçtikçe artmaktadır. İşletmeler oluşan bu rekabete ayak uydurmak için işletme içinde değişikliklere gitmektedirler. İşletmelerin kuruluş amacı kar elde etmektir ancak yoğun rekabet nedeniyle firmalar karlılıklarını arttırmak için fiyatlarda değişiklik yapmak yerine maliyetlerini düşürme ve kalite çabası üzerinde durmaktadırlar. Rakipleri üzerinde üstünlük elde etmeyi amaçlayan firmalar için başlarda rekabet unsuru satışlar, maliyet iken günümüzde rekabet unsuru olarak kalite ön plana çıkmaktadır. Bu noktada müşterilerin istekleri firmalara yön vermeye başlamıştır. Firmalar müşterinin istediği kalitede ve şekilde üretim yaparak kendilerine müşteri çekmeye çalışmakta ve piyasanın rekabet koşullarına ayak uydurabilmektedirler.

Müşteri odaklı üretimi benimseyen firmalara üretim süreçlerini müşterinin istediği ürünler doğrultusunda düzenlemeye giderek maliyetlerini azaltmaya çalışmaktadırlar. Siparişe dayalı üretim yapan işletmelerde her müşterinin istediği ürünler farklı olmakta bu da üretilecek ürünlerin sayısının ve çeşidinin fazla olmasına neden olmaktadır. Ürün çeşitliliği artarken bu kadar çeşitteki ürünü müşterinin istediği tarihte üretiminin tamamlanması da zorlaşmaktadır. Tüm bu zorlukları hafifletmek ve müşteri odaklı olarak üretim yapabilmek için firmalar grup teknolojisi ve hücreli üretim gibi üretim felsefelerine yönelmeye başlamışlardır. İşte piyasalardaki bu rekabet ortamında sistemlerinin yeniden tasarlanması ve üretimin sistemlerinin etkinliklerini arttırmak için yapılan tüm uygulamalar kabul görmeye başlamıştır.

Rekabet ortamında üretim sistemlerinde yeniden yapılanmanın önem kazandığı bu bilgiler dahilinde gerçekleşen tez çalışmasının birinci bölümünde

siparişe dayalı üretim sistemlerinde tam zamanında üretim kavramı ele alınmıştır. İlk olarak Toyota tarafından kullanılmaya başlanan tam zamanında üretim Japon firmaların karlarını maksimize etmek için ve kıt kaynaklardan en üst düzeyde faydalanabilmek için ortaya koydukları bir üretim felsefesidir. Tam zamanında üretim kavramı parçaların, gerekli olduğu miktarlarda, gerekli görülen kalite düzeyinde, gerekli olduğu zaman ve yerde üretilmesi durumudur. Piyasalarda artan rekabet koşullarına ayak uydurmak için firma üretim sürecinde değer yaratmayan tüm işlemleri elimine etmek zorundadır. Üretim sürecindeki değer yaratmayan aktivitelerin başında oluşan ara stoklar yer almaktadır. Stoğa dayalı üretim yapan firmalarda ek maliyetler oluşmaktadır. Bu yüzden firmalar stoksuz üretime yani siparişe dayalı üretime yönelmişlerdir. Çalışmanın bu bölümünde tam zamanında üretimin dayandığı temellerden, işletmelere olan faydalarından ve kanban uygulamalarından bahsedilmiştir. Ayrıca sipariş üzerine üretim yapan firmalarda tam zamanında üretim felsefesinin öneminden bahsedilmiştir. Siparişe dayalı üretim yapan müşteri odaklı firmalarda istenilen kalite ve düzeyde üretim için tam zamanında üretim felsefesi açıklanmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde rekabetin arttığı piyasalarda müşteri beklentilerine hızlı bir şekilde cevap verebilmek için uygulanan grup teknolojisi ve hücreli üretim kavramlarından bahsedilmiştir. Gelen bir çok siparişi istenilen tarihte üretimini sağlamak için üretimde bazı değişiklikler yapılması gerekmektedir. Siparişlerdeki benzer ürünlerin beraber üretilmesini hedefleyen grup teknolojisi kavramı üretim süreçlerindeki parçaların üretiminde ve tasarımında benzerliklerden faydalanan bir üretim felsefesidir. Artan rekabet koşullarında ürün çeşitliliği artmış ve üretim süreçleri karmaşık bir hal almıştır. Bu karmaşık yapıyı çözmek için yeni üretim felsefeleri ortaya koyulmaktadır. Bunlardan bir tanesi olan grup teknolojisi, üretime konu olacak parçaları tasarım ve / veya imalat özelliklerine göre benzer olarak nitelendiren ve üretim sürecinde bu benzerliklerden faydalar edinmeyi amaçlayan bir imalat felsefesidir. Hücreli üretim ise grup teknolojisinin atölye düzeyine uygulanmasıdır. Piyasalardaki rekabet ortamında firmalar rakiplerine göre bir adım daha öne geçmek ve karlılıklarını arttırmak için fiyatlarını arttırmak yerine maliyetlerini düşürmeyi hedeflemektedir. Üretimde verimliliği sağlamak için

parçaları tasarım, imalat ve işlevlerine göre parça aileleri, bu parçaları işleyecek makineleri de makine grupları şeklinde kümelendirmeye çalışan hücresel imalatın imalat ortamlarına sağladığı temel fayda, büyük ve karmaşık imalat sistemlerini küçük ve kontrolü kolay alt sistemlere ayrıştırmasıdır. Bu bölümde grup teknolojisi ve hücresel üretim kavramları incelenmiş, bunların uygulamaları ve firmaya sağladığı faydalar üzerinde durulmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde grup teknolojisi ve hücresel üretim uygulaması sonucu oluşan üretim hücrelerinin modellenmesinde kullanılan yöntemlerden birisi olan genetik algoritma üzerinde durulmuştur. Darwin'in evrim teorisine dayanan genetik algoritmalar optimizasyon problemlerinde hızlı bir şekilde çözüme ulaşmayı sağlarlar. Bu bölümde genetik algoritmaların aşamaları tek tek ve detaylı bir şekilde açıklanmış ve problemlere uygulamalarından bahsedilmiştir. Bu bölümde üretim sistemlerinin verimliliğini arttırmak için uygulanan grup teknolojisi ve hücresel üretim sistemlerinde kullanılan genetik algoritmalar belirlenen bir amaç fonksiyonu doğrultusunda üretim sistemlerinin tasarımı için kullanılan genetik algoritma sonucunda elde edilen veriler son bölümde açıklanmıştır. Bu çalışmada genetik algoritma yöntemi ile farklı siparişlerdeki farklı üretim özelliklerine sahip olan parçaların toplam üretim sürelerine göre gruplandırılarak parça aileleri oluşturulmuştur.

Çalışmanın dördüncü ve son bölümü uygulama çalışmasını kapsamaktadır. Siparişe dayalı üretim yapan firmada gelen farklı siparişlerdeki ürünler çeşitlilik göstermektedir. Oluşan bu ürün çeşitliliği üretim sistemi üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Aynı zamanda gelen siparişlerin aynı anda üretim hattına koyulması, üretim planlarının yapılması firma için büyük sorun oluşturmaktadır. Aynı zamanda siparişler müşterilerin istediği kalitede ve zamanda üretilmek istenmektedir. Bu sorunu çözmek için parça grupları oluşturmanın üretimdeki olumsuzluklara çözüm bulmada yardımcı olacağı düşünülmüş ve genetik algoritma kullanılarak parça aileleri oluşturulmuştur. Bu aşamada firmadan gelen siparişler ile ilgili üretilecek parçalar, parçaların hangi işlemlerden geçtiği, hangi makinelerde işlem gördüğü ve makinelerdeki işlem süreleri gibi bilgiler alınmıştır. Her bir parça için makinelerde

gördüğü işlem süreleri ile sipariş miktarları çarpılarak toplam üretim süreleri bulunmuştur. Bulunan toplam üretim süreleri algoritmada kullanılmıştır. Algoritma parçaların toplam üretim sürelerine göre gruplara ayrılması üzerine oluşturulmuştur. Bu bölümün son kısmında ise algoritma sonucu elde edilen veriler açıklanmış ve oluşan gruplar sonucunda oluşturulabilecek makine hücreleri için önerilerde bulunulmuştur.

BİRİNCİ BÖLÜM

SİPARİŞE DAYALI ÜRETİM HÜCRELERİNDE TAM ZAMANINDA ÜRETİM

1.1. TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMİNİN ORTAYA ÇIKIŞI

Tam zamanında üretim kayıpları minimize etmek için Toyota'nın kullandığı üretim felsefesidir. Tam zamanında üretim sistemi kanban tarafından kontrol edilen bir alt sistemdir. (Benton ve Shin, 1998:415). Tam zamanında üretim sisteminin neden ortaya çıktığını anlayabilmek için Japonya'nın kültürü ve tarihi hakkında biraz bilgi sahibi olmamız önemlidir.

Japonya, minimum kaynaklara ve geniş popülasyona sahip küçük bir ülkedir. Bu nedenle Japonlar her zaman kaynakları, boş yerleri, zamanı ve işgücünü boşa harcamamak için dikkatli olmuştur. Bu yüzden Japonlar karı maksimize etmek ya da kullanılabilir sınırlı kaynaklardan faydalanabilmek için motive olmuşlardır. Sonuç olarak, Japonların çalışma alışkanlıkları israfı en aza indirmeye ve aralarında saygıyı devam ettirmeye eğilimlidir (Meredith, 1992:529).

İlk kez Toyota Motor Firması Başkanı, Taiichi Ohno tarafından 1940 yıllarında geliştirilip uygulanmaya konan tam zamanında üretim (TZÜ) yaklaşımı, Japonların savaş sonrası içinde buldukları ekonomik koşulların bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır (Acar, 1992:85). Savaştan sonra, zaten sınırlı olan doğal kaynaklara, işgücü ve sermaye kaynaklarının da yetersizliği ilave edilince Japonya, iktisadi varlığını devam ettirebilmek için sınırlı durumdaki kaynakları mümkün olan en düşük maliyetle kullanmayı öğrenmek durumunda kalmıştır. Bu felsefe aslında Amerikan imalat sistemindeki temel ilkelerin Japonya ortamında şekillendirilmesiyle geliştirilmiştir. Taiichi Ohno öncelikle Amerikan süper market fikrinden etkilenmiş ve süper marketlerin işletilmesindeki temel ilkeler tam zamanında üretim sisteminin kavramsal alt yapısını oluşturmuştur. Bilindiği gibi bir süpermarkette ara aşamalar yoktur ve müşteriler doğrudan çok sayıda farklı ürünle karşı karşıya gelmektedir. Bu

arada bozuk, kalitesiz ürünler ile aranan bir malın bulunmaması, değiştirme, iade gibi sorunlar doğrudan müşterilere yansımaktadır. Genellikle boşalan raflar bir mal için sipariş verme noktasını belirlerken, büyük hacimli ürünler için stok alanları ayrılmıştır (Demiral, 2006:3). 1971 petrol krizi sonrasında just in time (JIT) felsefesinin önemi diğer Japon işletmelerince de anlaşılmış ve ülke genelinde uygulama alanı bulmuştur. 1980'lerden sonra dünyada kendini gösteren küreselleşme ve bunun getirdiği bazı sorunlar TZÜ'nün yeniden ele alınmasına sebep olmuştur (Bulut, 2006:1). Bu felsefeye dayalı üretim 1980'lerin başından itibaren Amerika ve Avrupa 'da da uygulanmaya başlanmış ve hızla bütün dünyaya yayılmıştır. Bugün dünyaca ünlü General Motors, Apple Computer ve IBM firmaları bu yöntemi uygulamaktadırlar. Japon şirketlerinin başarılı olması, JIT (Just In Time) üretim sistemine olan ilgiyi arttırmıştır. Ancak Japonya dışında bu sistem, genellikle bir stok kontrol sistemi olarak tanınmıştır (Demir ve Gündüz, 2005:120).

1.2. TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMİ KURAMSAL ÇERÇEVESİ

Gülsün ve arkadaşları (1994) tam zamanında üretim sisteminin performansını etkileyen faktörler ve ekonomik çalışma alanlarının belirlenmesi üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Farklı üretim yönetim teknikleri için hazırlık süresi, işlem süresi, parti büyüklüğü ve talep dalgalanması gibi belirlenen faktörler altında ekonomik çalışma alanlarının tespit edilerek, hangi şartlar için bir tekniğin diğerine tercih edileceğinin belirlenmesine çalışılmıştır. Gunasekaran ve Lyu (1997), Tayvan'da bulunan ve farklı çeşitlerde otomobil lambası üreten küçük bir işletmede TZÜ uygulaması yapmışlardır. Sonuç olarak büyük ölçekli işletmelerin, TZÜ sistemini uygulayarak, sürekli gelişmişte olduklarını ve başarıya ulaştıklarını, KOBİ'lerin ise, ülke ekonomisi üzerinde büyük bir rol oynadıkları halde, TZÜ sistemini dikkate almadıklarını belirlemişlerdir. Whitson (1997) yaptığı çalışmada sağlık sektöründe TZÜ sisteminin incelemiştir Sağlık sektöründeki TZÜ yaklaşımının ve uygulamalarının, diğer sektörlerdeki kadar başarılı ve gelişmekte olduğunu gözlemlemiştir. McLachlin (1997), tam zamanında üretim sisteminin uygulanması sürecinde yönetim karar yetkisinin önemini araştırmıştır. TZÜ sistemini uygulayan altı tesis üzerinde bir araştırma yapmıştır. Chandra ve Kodali (1998) TZÜ sisteminin Hindistan endüstrisindeki yerini incelemişler ve sistemin faydalarını koymuşlardır.

Aladağ (1999) Tam Zamanında Üretim ortamında, tedarikçilere yönelik çok ölçütlü karar analizi yapmıştır. Tedarikçileri; zamanında, uygun kalitede teslim ve fiyat ölçütlerine dayanan bir değerlendirmeyle belirlemiştir. Daha sonra firmanın kalite, teslim ve fiyat hedeflerindeki başarı oranlarını yükseltmek üzere tedarikçilerden sağlanması gereken satın alma oranları analiz edilmiştir.

Chan (1999) belirlenen kanban sayısının tam zamanında üretim sistemlerindeki performansını incelemiştir. Bilgisayar destekli simülasyon modellerini kullanarak tam zamanında üretimin iki çeşidi olan çekme ve hibrid sistemlerini analiz etmiştir. Performans ölçütü olarak üretim sürecindeki stokları ve üretim gecikme zamanlarını dikkate almıştır. Sipariş oranı, üretim süresi ve kanban sayısı gibi parametreleri göz önünde bulundurarak analizlerini yapmış ve olası kanban sayısını belirlemiştir. Gupta ve Nakashima (2000), makalelerinde tam zamanında üretim sistemlerini tedarikçi kanbanı ile analiz etmişlerdir ve tam zamanında üretim sistemini uygulayan ve birçok tedarikçi ile çalışan bir firmanın tedarikçilerini tedarikçi kanbanı ile kontrol etme performansını varyans analizi kullanarak ölçmeye çalışmışlardır. Cua ve ark. (2001) sürekli gelişim ve israfın önlenmesi gibi ortak temel amaçlara sahip olan; Tam Zamanında Üretim Toplam Kalite Yönetimi ve Toplam Üretken Bakım sistemlerinin uygulamalarını ve imalat performansını üzerinde yarattıkları etkileri analiz etmişler ve bu üç sistemin birlikte kullanımının daha etkin bir performans sağladığını savunmuşlardır. Ahmad ve arkadaşları (2003) Tam Zamanında Üretim sistemlerinde kalite yönetimi, ürün teknolojisi, iş bütünleştirme sistemi ve insan kaynakları yönetimi politikaları çalışmalarının uygulama etkilerini analiz etmişlerdir. Elektronik, makine ve ulaştırma olmak üzere üç sektörü içine alan A.B.D., İtalya ve Japonya'da yerleşik 110 tesis üzerinde araştırma yapmışlar yapısal çalışmaların TZÜ uygulamaları ve tesisin rekabetçiliği arasındaki ilişkiye yön verdiği ortaya çıkarmışlardır. Firuzan (2004) çalışmasında tam zamanında üretim sistemi bütün yönleriyle ele almış, General Motor firmasının Türkiye'deki montaj fabrikasında tam zamanında üretim sistemi uygulaması aşamalar halinde açıklanmıştır. Bu çalışmada firmada tam zamanında üretim sisteminin kullanımı ile üretimde karmaşıklığın giderildiği, maliyetlerin önemli düzeyde azaltıldığı ve kalitenin en üst düzeyde gerçekleştiği gösterilmeye

çalışılmıştır. Demir (2006) yılında yazdığı yüksek lisans tezinde tam zamanında üretim sistemlerinde kanban kullanımını araştırmış ve tam zamanında üretim sistemini uygulayan otomotiv sektöründe yer alan bir firmada kanban uygulamıştır.

1.3. TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMİ KAVRAMI

Tam zamanında üretim felsefesinin temeli üretim sürecine değer katmayan her türlü şeyin elimine edilmesine dayanmaktadır. Tam zamanında üretimin için başlangıç noktası değerdir. Değer sadece nihai müşteri tarafından tanımlanabilir. Değer tanımının anlamlı olabilmesi için, müşterinin ihtiyaçlarını belli bir zamanda belli fiyattan karşılayan belli bir ürün (mal, hizmet ya da sıklıkla ikisinin birleşimi) cinsinden ifade edilmesi gerekir.

Servislerin ve ürünlerin üretiminde oluşan israftan bahsederken, bu süreçte değer yaratmayan her şeyi tanımlamış oluruz. Depolanan, kontrol edilen ya da geciken, kuyrukta bekleyen ürünler ve kusurlu ürünler değer yaratmazlar. Bunlar %100 israftırlar. Ayrıca müşterinin isteğine uymayan ürünlerde değer yaratmazlar. Tam zamanında üretim daha hızlı teslim zamanını ve yarı mamulleri azaltmaya izin verdiği için işlenen hammadde miktarına hız kazandırır (Heizer ve Rander, 2004:596).

Tam Zamanında Üretim, “en az kaynakla, en kısa zamanda, en ucuz ve hatasız üretimi, müşteri talebini de bire bir uyabilecek /yanıt verebilecek şekilde, en az israfla (veya israfsız), ve nihayet tüm üretim faktörlerini en esnek şekilde kullanıp, potansiyellerinin tümünden yararlanarak nasıl gerçekleştiririz“ arayışının bir sonucudur (Paksoy ve Kaya, 2004:280). Gerçekte bu yöntem; stoksuz, yani sıfır stokla üretime karşılık gelmektedir. Dolayısıyla diğer stok kontrol sistemlerinden ayrılmaktadır. JIT’i, şirketin bütün bölümlerini etkileyen satın alma, mühendislik, pazarlama, personel, kalite-kontrol, müşteri ve satıcı arasındaki ilişkiyi de belirleyerek israfın azaltılması, verimliliğin artırılması olan bir üretim sistemi olarak tanımlamak mümkündür (Demir ve Gündüz, 2005:120).

Tam Zamanında Üretim ürünleri üretmekte tüketilen ilk madde, malzemeler ve ara ürünler ile nihai ürün stoklarının veya bunlar için tüketilen kaynakların minimum olması esasına dayanmaktadır. TZÜ sisteminin temelinde, malzemeleri, ara mamulleri ve mamulleri tam ihtiyaç olduğu zaman yaratmak veya teslim almak/teslim etmek bulunmaktadır. TZÜ felsefesinin diğer bir temel amacı; israfın bütün çeşitlerine karşı amansız bir mücadele verirken toplam süreç maliyetini minimize etmek ve doğru zamanda doğru miktarda ürün ve hizmetleri dağıtarak müşterileri memnun etmektir. JIT istenilen kalitede, istenilen zamanda, istenilenin yapılması anlamına gelmektedir (Won ve vd., 2001:2).

Tam zamanında üretimin hedefi üretimde üretkenliği engelleyen, müşterilere gereksiz maliyetler yükleyen veya firmanın rekabet gücünü tehlikeye sokan her türlü elemanı ortadan kaldırmaktır (Bulut, 2006:3).

Tablo 1 : Klasik Sistem ile TZÜ Sisteminin Temel Yaklaşımlarına Göre Karşılaştırılması

KLASİK YAKLAŞIM	TZÜ YAKLAŞIMI
Kalite > Kontrolle yönelik > Hataların önceden kabulü > Bölümlerin sorumluluğu	Kalite > Güvence/önlemeye yönelik > Sıfır hata hedefi > Kişilerin sorumluluğu
Stok > Tampon olarak kaçınılmaz > Parametreler veri olarak alınır	Stok > Her seviyede enazlanır/yok edilir > Parametreler uzun dönemde değişken olarak görülür.
Satın Alma > Çok sayıda tedarikçi > Fiyat ağırlıklı > Büyük kafileler > Kısa/orta dönemli kontroller > Ayır firma ilişkileri	Satın Alma > Bir ya da az sayıda tedarikçi > Kalite/teslim performansı ağırlıklı > Küçük kafileler > Uzun dönemli kontratlar > Kooperasyona yönelik ilişkiler
Çizelgeleme > İtme sistemi > Büyük kafileler > Ara stoklar > Uzun hazırlık zamanları > Hızlı üretim	Çizelgeleme > Çekme sistemi > Küçük kafileler > Çok az ara stoklar > Kısa hazırlık zamanları > Dengeli üretim
Fabrika Yerleşimi > Ürün ve süreç dayalı > Konveyör kontrollü montaj	Fabrika Yerleşimi > Grup teknoloji ve U yerleşim > Esnek montaj hatları
Endüstriyel İlişkiler > İşten çıkartma/yeniden alma > Tek fonksiyonlu çalışan > Miktar dayalı > Hiyerarşik ilişkiler	Endüstriyel İlişkileri > Uzun dönemli istihdam > Çok fonksiyonlu çalışan > Yaratıcılığa (öneriye) dayalı > Katılımcı ilişkiler
Sistem Öncelikleri > En az maliyet > Yüksek kapasite kullanımı > En az birim üretim maliyeti > Ara stoklar > Kalite kontrolü > Miktar/fiyatı ilişkisine duyarlı	Sistem Öncelikleri > Kalite güvencesi > En az stok seviyeleri > Üretimde esneklik > Kısa üretim ön süreleri > Müşteri/hizmet ilişkisine duyarlı

(Kaynak :Kanat ve Güner, 2006 : 278)

1.4. TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMİNİN DAYANDIĞI TEMELLER

Tam zamanında üretim işletmelerde birçok alanda kolaylık sağlamak, maliyetleri düşürmek, kaliteyi arttırmak gibi amaçları gerçekleştirmek için uygulanır. Bu amaçları gerçekleştirirken tam zamanında üretimin dayandığı temelleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (İpek, 1995:17) :

1. Ürünleri ekonomik üretime yönelik tasarlamak: Ürün dizayn edilirken, temin edilebilen üretim araçları ve süreçleri göz önünde bulundurulmalıdır. Gereksiz karmaşık işlemler kaldırılmalı ve ürün en az maliyetle üretilecek şekilde dizayn edilmelidir. Ürün dizaynında; modüler yapı ve basitlik mühendisin rehberi olmalıdır.
2. İmalat akışını kolaylaştırmak için işyeri düzenlemesi yapmak: İşyeri düzenlemede; malzeme hareketlerini en aza indirecek veya ortadan kaldıracak değişiklikler yapılmalıdır. İmalat ön sürelerinin (temin süresi) %90'ını işlevi üretim olmayan süreçler oluşturmaktadır.
3. Çalışanların katılımını sağlayacağı programlar oluşturmak: İmalat sürecine çalışanların bilgisini katan ve çalışanları motive edici programlar oluşturulmalıdır.
4. Doğru veriyi elde etmeye yönelik çalışmalar yapmak: Hiçbir sistem yanlış veri ile çalışamaz. Verilerin doğruluğu ve kesinliğini sağlamak için sorumlu insanlar atanmalı ve doğruluğu ölçmek için programlar oluşturulmalıdır.
5. Kağıt çalışmasını azaltmak: Çok fazla kopyalanmış rapor zamanla güncelliğini yitirir ve karar verme aşamasında geçersiz hale gelir. Veriyi güncelleştirmek, anında veriyi alabilmek ve etkileşimli karar verme için gerçek zamanlı ve çevrimiçi sistemler kullanılmalıdır.

6. Iskartayı azaltmak: Iskartaların oluşması; öncelikle kapasite, işgücü ve malzemenin israf edilmesidir. Iskartanın maliyeti, üretilen ürünün değerinden daha fazladır. Gerçek maliyet, aynı zamanda yeniden çizelgeleme, yeniden sipariş, sevkiyat, kayıp önsüreleri vb. maliyetleri içerir.
7. Stokları azaltmak: Aşırı stoğu ortadan kaldırmak gerekir. Çünkü bu aşırı stok sadece gereksiz bir maliyet oluşturmaz aynı zamanda da işletme içindeki diğer problemleri de gizler. Bu stoklar çok fazla kişinin istihdam edilmesine, çok çeşitli güvenlik stoklarına ve üretim sürecinde oluşan stoklara neden olmaktadır. Bu yüzden stokları en az düzeye düşürmek gereklidir.
8. Bütün alanlarda gelişmeyi sağlamak: Varılacak hedefler ortaya konmalı ve bunlar başarıldığı zaman daha büyük hedefler ortaya konmalıdır. Örnek olarak verilerin % 100 doğruluğunu sağlamak, sıfır ıskarta, sıfır stok düzeyine ulaşmaya çalışmak gibi. Bu hedeflere, gerçek problemler (kalite problemleri, programdaki gecikmeler, siparişlerin gecikmesi, vb.) çözülerek ulaşılabilir.

Toyota Üretim Sistemi, istenilen kalitede, istenilen miktarda ve müşterinin istediği zamanda üretim sistemi esasına dayanmaktadır. Ayrıca üretim sistemi kişilere, çeşitliliğe rağmen sistemin içinde olmalarını, problemleri tanırken ve düzeltirken standart yollara başvurmalarını ve standart işleri yapan çalışanlara temiz, düzenli, ergonomik, güvenli bir çalışma ortamı kazandırır. Toyota Üretim Sistemi bu gereksinimleri maliyeti minimize etme amacına ulaşmak için kullanır. Toyota Üretim Sistemi başarısını dört kurala dayandırmıştır (Won vd., 2001:2) :

- Kural 1: Bütün işler zamanında yapılmış, bölümlendirilmiş, tüm içerik ve çıktı(ürün) belirlenmiş olmalıdır.
- Kural 2: Her müşteri – tedarikçi ilişkileri direkt olmalı ve talep edilenlere karşı verilen cevaplar evet ya da hayır şeklinde kesin olmalıdır.

- Kural 3: Her ürün ve servisin ortaya çıkması için gereken yollar basit ve direk olmalıdır.
- Kural 4: Her gelişme bilimsel metotlarla uyum içinde olmalı ve organizasyonda bu konuda yetkin kişilerin gözetimi altında olmalıdır.

Tam zamanında üretim ortamında üretimin tüm aşamalarında israfın ortadan kaldırılması hedefine ulaşabilmek için, aşağıda belirtilen ikincil hedeflerin gerçekleştirilmesi gereklidir (Kanat ve Güner, 2006:275).

1. Miktar ve çeşit açısından talepteki günlük ve aylık dalgalanmalara sistemin adaptasyonunu sağlamak üzere kalite kontrol fonksiyonunun geliştirilmesi,
2. Her sürecin, sonraki süreçlere sadece iyi (hatasız) parçaları göndermesini sağlamak üzere kalite güvencesi sisteminin kurulması,
3. Sistemin insan kaynağını kullanarak, maliyet azaltma hedefine ulaşabilmesini sağlamak üzere insana saygının egemen olduğu bir örgüt kültürünün oluşturulması.

TZÜ sisteminin çıktıları maliyetler, kalite ve insana saygı olarak özetlenebilir. TZÜ sistemi, bu çıktıların elde edilmesinde dört temel kavramdan yararlanmaktadır:

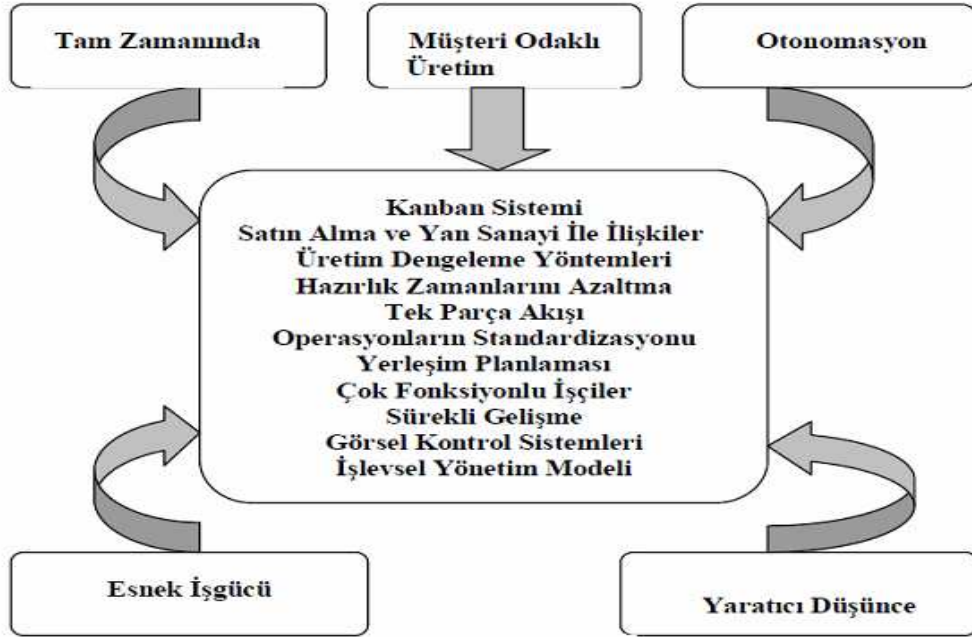
Tam zamanında kavramı, sadece gerekli parçaların, gerekli miktarlarda, gerekli olduğu zaman üretilmesi durumunu açıklar.

Otonomasyon kavramı, otonom hata kontrolü olarak tanımlanabilir. Otonomasyon, hatalı parçaların üretim akışına karışıp sonraki süreçlerde üretimi kesintiye uğratmasını engelleyerek bir problemle karşılaşıldığında derhal müdahale edilmesi ve böylece kök nedenin bulunmasının sağlanması, “tam zamanında” kavramını destekler.

Esnek İşgücü kavramı, talep dalgalanmaları karşısında departmanlardaki işgücü sayısının değişimli kullanılabilmesidir.

Yaratıcı Düşünce kavramı ise çalışanların önerileri ile sürekli gelişmenin ve çalışanın işe doğrudan katılımının sağlanmasıdır.

Bu kavramlara ilave olarak yoğun küresel rekabetin yaşandığı tekstil ve konfeksiyon sektörünün moda bağlılığı nedeni ile hızlı değişmesi gereken yapısını organize etmek için müşteri odaklı üretim beşinci kavram olarak değerlendirilmelidir. TZÜ ortamında bu beş kavramın gerçekleştirilebilmesi ise Şekil 1’de belirtilen sistemlerin devreye girmesi ile sağlanmaktadır.



Şekil 1: TZÜ Sistemindeki Temel Kavramlar ve Sistemler

(Kaynak : Kanat ve Güner, 2006:275)

1.5. TAM ZAMANINDA ÜRETİM YAKLAŞIMININ HEDEFLERİ

Tam zamanında üretim (TZÜ) kusursuz, verimli bir üretim için bir üretim sistemi amaçlar. Sadece gereken kalemleri, gereken zaman ve miktarlarda üretmeyi amaçlar. Bu durum, tam zamanında üretimin üretime yaklaşımının en basit ifadesidir. İşletmeler üretimde esneklik artışını sağlamak, kullanılan malzemeyi azaltmak, kalite artışını sağlamak, içinde bulunduğu sektörde, işte ilerlemek, işletmenin verimliliğini arttırmak ve tüm üretim maliyetlerini maliyetlerin azaltmak için tam zamanında üretim yaklaşımını benimser.

Tam zamanında üretim (JİT) sistemlerinde sisteme hammadde girişinden, ürün oluşumu ve nihai ürün çıkışına kadar geçen süre beş aşamadan meydana gelir. Bu aşamalar şu şekilde sıralanabilir :

1. Aşama İşleme Süresi: Hammaddenin sisteme girip nihai ürün çıkışına kadar ürün üzerinde çalışılan süre.
2. Aşama Kontrol Süresi: İstenilen kalitede ürün elde edilmesi, eğer ürün bu seviyede değilse istenilen kaliteye gelinceye kadar yapılan ürünü iyileştirme çalışmaları için harcanan süre.
3. Aşama Taşıma Süresi: Hammaddenin ve yarı işlenmiş mamulün iş istasyonları arasında bir yerden diğer yere taşınması için geçen süre.
4. Aşama Bekleme Süresi: Ürünün, işlem görme, taşıma, kontrol gibi unsurları için beklediği süredir.
5. Aşama Depolama Süresi: Yarı mamul ve mamullerin işlem görme ve/veya sevk edilme için stok kapsamına alınıp bekletildiği süredir.

Bu aşamalardan sadece işleme süresi ürünün değerini arttıran ve bununla ilgili çalışmaları kapsayan aşamadır. Diğer dört aşama maliyeti arttıran unsurlar içerir. Bu nedenle tam zamanında üretimin hedefi, işleme süresi dışındaki süreleri en aza indirgeyerek ya da tamamen yok ederek, maliyeti düşürmektir.

Kısacası bir çeşit üretim yöntemi olan tam zamanında üretimin amaçları; sıfır hazırlık (makina) zamanı, sıfır stok, sıfır hata, sıfır bozulma/durma (makinanın), sıfır bekleme zamanı (parçalar için), sıfır israf, sıfır taşıma şeklinde sıfırlarla ifade edilebilmektedir (Rastogi, 1995:95)

1.5.1. Sıfır Hata

Geleneksel imalat yönetiminde sıfır hata hedefi nadiren düşünülür. Geleneksel sistemlerdeki verilen önem, muayene sistemleri, kontrol kartları ve üretilen kalemler için kabul edilebilir kalite seviyeleri üzerinde gibidir. Bunun altında yatan düşünce, belli seviyede kabul edilemez bir ürünün kaçınılmaz olduğu ve önem verilmesi gereken noktanın müşteri beklentisi ve şartnamaya uygun, kabul edilebilir veya erişilebilir bir seviyeye varmak olduğudur. Bu, ilk ve son kez kusurların nedenlerini yok etmeyi amaçlayan, dolayısıyla imalat sürecinin bütün safhalarında mükemmelliği elde etme arayışı içinde olan, tam zamanında üretim yaklaşımıyla ters düşer (İpek, 1995:25).

Firmalar, içinde buldukları piyasalarda rekabet avantajı sağlayabilmek için müşterilerin beklentilerini tam olarak ve müşterilerin istedikleri zamanda karşılayabilmeleri gerekir. Bunun için firmaların hizmetlerini, ürünlerini, iş süreçlerini sürekli olarak geliştirmeleri gerekir. Sürekli gelişme modern üretim felsefesinin önemli bir ögesidir ve yine modern üretim felsefesi içerisinde yer alan tam zamanında üretim (TZÜ) ve toplam kalite yönetiminin (TKY) temelini oluşturur. Toplam kalite yönetimi, temel olarak kalite kontrolü işlevini kalite kontrolü departmanlarından alıp üretim sürecinde, yani montaj hattında iş yapan çalışanlara yüklemeye dayanır. Süreç içerisinde herkesin kendi yaptığı işin kalitesinden sorumlu olması ve üretim bandında bir önceki işten kendisine, kendisinin de bir sonraki çalışana hatasız iş teslim ederek üretimde sıfır hata hedefi gerçekleştirilir.

1.5.2. Sıfır İsrar

İsrafları yok etmede satın alma fonksiyonunun büyük etkisi vardır. Satın alma, toplam kalite yönetimi ve tam zamanında üretimin geleneksel araçlarını kullanarak, kendi iş süreçlerini analiz ederek ve bu süreçlerde katma değer yaratmayan tüm faaliyetleri israf kabul ederek ortadan kaldırabilir. Toplam kalite yönetimi, temel olarak kalite kontrolü işlevini kalite kontrolü departmanlarından alıp üretim sürecinde yer alan çalışanlara yükler. Süreç içinde herkesin kendi yaptığı işin kalitesinden sorumlu olması ve üretim bandında bir önceki işten kendisine, kendisinin de bir sonraki çalışana hatasız iş teslim edilir. Böylece sonraki süreçlere hatasız parçalar gönderilir. Sistem içerisindeki çalışanların ürettikleri ürünlerin kalitesinden sorumlu olmasını sağlamak için insana saygının egemen olduğu bir örgüt kültürü de yaratılmalıdır.

1.5.3. Sıfır Envanter

Envanterler çoğu durumda, satın alınan kalemler ve hammaddeler konusunda satıcı belirsizliklerine karşı bir tampon olarak görülür. Satıcıların zamanında teslimat yapmayabileceği düşüncesi, ara stokların, atölye yöneticileri tarafından işin belirsizliğine karşı bir sigorta, pazarlama ve satış fonksiyonu tarafından beklenmedik bir müşteri siparişine karşı tampon olarak görülmesine neden olmaktadır (İpek, 1995:20).

Tam zamanında üretim çekme sistemine dayalı bir üretim sistemidir. Çekme kavramı ardışık üretim süreçlerinde ve de tedarikçilerle ilgili olarak kullanılır. Bir ürün talebi geldiğinde bu talep son istasyona iletilir ve kanban kartları ile istasyonlar arası malzeme çekimi sağlanır. Çekme sistemi sadece ihtiyaç olduğunda küçük partilerden oluşan malzemelerin üretilmesini sağlar. Bu sistem problemleri gizleyen stokların oluşumunu engeller (Güner ve Karaca, 2004:443).

Tam zamanında üretim felsefesinde stoklar en büyük israf kaynağı olarak görülür. Firmalar tedarikçilerine duydukları güvensizlikten dolayı elde emniyet stoğu

ve yarı işlenmiş mamul bulundurma politikası izler. Bu sorunu ortadan kaldırmak için toplam kalite yönetimi ve tam zamanında üretimi benimseyen firmalar tedarikçi seçimine, tedarikçi sayısının azaltılmasına ve hammadde kalitesini arttırmak için tedarikçilerin ürünün tasarım sürecine erken safhalarda katılmalarını sağlama yoluna gitmelidirler. Toplam kalite yönetimi ve tam zamanında üretim odaklı üretimde müşteriye sunulan değeri arttırmak, sipariş sürelerini kısaltmak ve sürekli gelişimin yaşandığı bir süreç yaratmak amacıyla tedarikçilerle güçlü ilişkiler kurulmalıdır. Ayrıca üretimde çekme sistemi kullanılarakda oluşan gereksiz stoklar önlenir ve stoklara yapılan yatırım azaltılır.

İmalatçı, perakendecilerin stok taşıma maliyetlerini en küçükleme için ürünlerini küçük miktarlarda sevk etmek ve aynı zamanda kendi maliyetlerini de düşürmek için küçük miktarlarda ve sık bir şekilde hammadde temin yoluna gidilmelidir (Güner ve Karaca, 2004:444).

1.5.4. Sıfır Hazırlık Zamanı

Rekabet koşullarının arttığı piyasalarda işletmeler ürünlerin müşteri isteklerine uygun kalitede, fiyatta ve istenilen zamanda karşılayarak rakipleri karşısında avantaj sağlamaya çalışırlar. Müşterilerin isteklerine göre talepte meydana gelen miktar ve kalite yönlü değişiklikler üretimde zorluklar yaşanmasına sebep olmaktadır. Özellikle sipariş tipi üretim yapan firmalarda ürün çeşitliliği ve sık sık güncellenen talepler, özellikle hazırlık sürelerinin farklı üretim sıralamalarına göre değiştirmektedir. Bu durum üretim çizelgelerini, hazırlık sürelerini azaltacak şekilde yapmayı güçleştirmektedir.

Sıfır hazırlık zamanı ve bir parti boyutu kavramları birbirleriyle ilişkilidir. Hazırlık zamanları sıfıra yaklaşıyorsa, bu, yığınlar halinde üretimin hiçbir avantajı olmadığını belirtir. Ekonomik sipariş miktarı veya ekonomik yığın miktarı yaklaşımının ardındaki düşünce, eldeki stok maliyetleri ve hazırlık maliyetleri arasındaki ilişkiyi etkileyerek, envanterin toplam tutarını minimize etmektir (İpek, 1995:21).

1.5.5. Sıfır Temin Süresi

Üretim/dağıtım sistemi büyüdükçe, ürün çeşidi arttıkça tedarik, talep ve ürüne ilişkin faktörlerdeki belirsizlik ve aralarındaki ilişkinin karmaşıklığı stok bulundurmaya zorunlu kılar (Çelebi ve Bayraktar, 2009:62). Bu yüzden işletmeler kendilerine minimum maliyeti sağlayacak optimum stok miktarını belirlemelidirler. Müşteriden gelen talebin eş zamanlı olarak tedarikçi firmalara gitmesi üretimde kullanılan hammaddelerin tam zamanında üretim sürecine verilmesiyle hammadde temin süreleri minimuma hatta sıfıra ingirebilir. Bu sistem itme sistemi olarak adlandırılmaktadır. Dağıtım ağlarında itme sistemi yaygın olarak kullanılır. Tedarikçi firma kendi stok seviyelerini yönetmek ve bayilere yapılacak dağıtımların zaman ve büyüklüklerini belirlemek için son tüketiciden alınan talep bilgilerini kullanır.

Sıfır temin süresine yaklaşmak için ürünler, imalat sistemi ve prosesler hızlı sipariş çıktısı sağlayacak şekilde dizayn edilmelidir (İpek, 1995:22). Geleneksel yaklaşımlar ürün ve süreç dizaynına ayrı ayrı davranmak eğilimindedir. Tam zamanında üretim felsefesi lojistik bir yaklaşım olarak işletmedeki aktiviteler arasındaki karşılıklı dayanışmayı etkiler. Temin zamanını mutlak minimuma düşürmek ya da sıfır yapmak için sürekli uğraşan bir üretim sistemi, talepteki dalgalanmalara hızlı cevap verebilmelidir yani esnek bir yapıya sahip olmalıdır. Üretimdeki bu esneklik işletmeyi rakipleri karşısında avantajlı konuma getirir.

1.5.6. Sıfır Parça Taşıma

Yüksek kaliteyi minimum maliyette ve en kısa sürede müşteriye sunmayı hedefleyen firmaların malzemeyi akılcı biçimde sağlaması ve kullanması gerekmektedir. Tüm bu şartları sağlayabilmek için işletmelerin işletme içindeki operasyonları etkin koordine etmeleri ve güvenilir tedarikçilerle çalışmaları gerekir. Bu anlamda materyal yönetimi işletmeler için önemli bir konudur. Materyal yönetimi geniş anlamda, malzeme akışının planlanması, organizasyonu ve kontrolüdür. Materyal yönetiminde hangi materyalin hangi koşullar altında nerede bulunması gerektiği üzerinde durulur. Üretimde kullanılan hammaddenin, malzeme, makine vb.

üretim noktasına getirilmesidir. Materyal yönetiminin ilgi alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Gümüőöglu ve Demir, 2003:607) ;

- Satın alma
- Firmaya nakil
- Üretim ve envanter kontrolü
- Fabrika dışına nakil
- Fabrika dışı depolama
- Dağıtım

Üretim sistemlerinde kullanılan malzeme taşıma sistemi birkaç istasyon arasında iş parçalarının taşınmasında, malzemelerin depolanmasında ve depolanan malzemelerin yerinden alınmasında kullanılmaktadır.

Üretim ve montaj işlemlerinde hammaddenin iş istasyonlarına taşınması, yarı mamulün taşınması, parça taşıma, parça birleştirme, parça muayenesi, nihai malların depoya taşınması gibi katma değer yaratmayan birçok işlem vardır. Tam zamanında üretim sistemi üretim ve montaj sistemlerinde, hammadde, yarı işlenmiş mamulün iş istasyonları arasında ve nihai malların depolanacağı yer arasındaki mesafelerin kısıtlanmasını ve buna bağılı olarak taşıma maliyetlerini düşürmeyi hedefler. Üretim sistemleri parça taşımayı minimize edecek şekilde tasarlanırsa montaj zamanlarında, ve makinaların bekleme zamanlarında önemli azalmalar olur.

Üretim sistemlerinin başarısı stokların ve üretimin aşamalarının doğru bir şekilde planlanmasına bağılıdır. Üretimde kullanılan hammaddelerin, yarı işlenmiş mamüllerin, stoklar gibi materyallerin istenilen zamanda üretim alanında bulunmalarını sağlamak amacıyla 1970'li yıllarda MRP (Material Requirement Planning) kavramı ortaya atılmıştır. MRP, ana üretim programına göre tamamlanmış malların üretilmesi için materyal ve parçaların doğru miktarda ve doğru zamanda

Üretim alanında mevcut olmasını sağlar (Demir ve Gmoğlu, 2003:705). MRP ,retim içindeki stoklarla ilgili “Ne, ne zaman, ne kadar sipariş edilecek?” ve “Ne zaman teslim edilecek?” sorularını yanıtlayarak stokları minimize edip envanter yatırımlarını en aza indirger.

TZÜ sisteminin gemis uygulamaları yok etmek gibi bir iddiası yoktur. Kendi içinde entegre bir sistem olmasına ragmen, uygulamada kurulusun bütün birimlerini içine alması gerekmeyebilir. Ancak TZÜ, yan sanayi iliskilerinden teslimata kadar, üretimle ilgili her aşamada, geleneksel yaklaşıma ters debilecek yeni kavram ve davranış değişiklikleri gerektiren bir sistemdir.

Tam Zamanında retim ortamında; üretim tüm aşamalarında israfın ortadan kaldırılması hedefine ulaşabilmek için, aşağıda belirtilen ikincil hedeflerin gerçekleştirilmesi gereklidir (Bulut, 2006:4):

- 1- Miktar ve esit açısından talepteki günlük ve aylık dalgalanmalara sistemin uyumunu sağlamak üzere kalite kontrol fonksiyonunun geliştirilmesi,
- 2- Her sürecin, sonraki süreçlere sadece hatasız parçaları göndermesini sağlamak üzere; kalite güvence sisteminin kurulması,
- 3- Sistemin insan kaynağını kullanarak maliyet azaltma hedefine ulaabilmesini sağlamak üzere, insana saygının egemen olduğu bir örgüt kültürünün olusturulması,
- 4- Kaynakların etkili kullanımı.

1.6. İTME VE ÇEKME SİSTEMLERİ

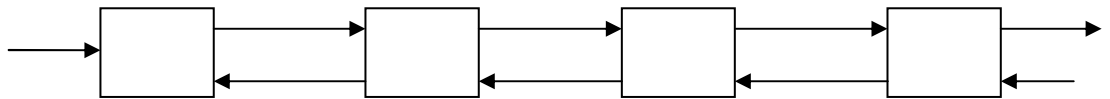
Üretim kontrol sistemleri çeken ve iten sistemler olarak iki temel grupta sınıflandırılabilir (Bulut, 2006:4). Bu sınıflamada, geleneksel üretim sistemleri itme sistemi grubunda yer alırken, tam zamanında üretim sistemi çekme sisteminde yer almaktadır. Tam zamanında üretim sistemi malzemenin akışı yönüyle klasik üretim sistemlerinden ayrılmaktadır. Klasik üretim sistemlerinde sistemde hangi malzemenin nerede ve ne kadar olması gerektiği önceden tahmin edilir. Tam zamanında üretim sisteminde ise hangi malzemenin ne zaman nerede olacağına ihtiyaç anında karar verilir. Böylece gerekli malzeme ve parçalar bir önceki üretim noktasından veya o stoktan o anda çekilir. Japonlar tarafından önerilen tam zamanında üretim sisteminde, üretimin her aşamasındaki aşırı stokları önlemek amacıyla bir sonraki üretim aşamasında yarı ürünlerin işlenmeye başladığı an gerekli olan ara ürün bir önceki üretim aşamasından talep edilir ya da çekilir. Böylece her aşama bir sonraki aşamanın ihtiyacı olan talebi karşılamak için tam zamanında üretim yapar (Karaoğlan vd., 2006:181).

1.6.1. İtme Sistemi

İtme sisteminde, üretim programına göre üretilmesi gereken miktar işlem sırasındaki ilk iş istasyonuna bildirilir. Bu iş istasyonunda gerekli işlemler sağlandıktan sonra, parçalar takip eden iş istasyonuna gönderilir ve bu işlem üretim tamamlanıncaya kadar devam eder. İtme sisteminde üretici istasyon, kullanıcı istasyonun bu parçalara gerçekten ihtiyacı olup olmadığını dikkate almaksızın onları itmektedir. İtme sistemi çoğu zaman üretim ve kullanım miktarları arasındaki farklılık nedeniyle iş istasyonları arasında gereksiz yarı bitmiş ürün stoklarına neden olmaktadır. Ayrıca malzemenin gerek duyulan iş istasyonlarına erken veya geç varması, üretim sürecinin uzaması, maliyetlerin artması ve müşteri memnuniyetsizliği gibi problemlere neden olmaktadır (Huang, 1996; akt. Demiral, 2006:4)

1.6.2. Çekme Sistemi

JIT (just in time) stok yönetimi hakkında bazı yanlışlıklar mevcuttur. Sistemin yalnızca bir stok kontrol sistemi gibi düşünülmesi yanlışlıkların en büyüğüdür. JIT sistemleri stokları kontrol eder ancak bu sistemin tek ve esas fonksiyonu değildir. Tam zamanında üretimin temelindeki genel düşünce çekme sistemidir. Çekme sistemleri herhangi bir imalat noktasında belirli bir zamanda ihtiyaç duyulan miktarda malzeme bulunmasını gerektirir (Aytekin, 2009:105). Bu sistem birimlerin ihtiyaç olduğu anda ihtiyaç olduğu yerden çekilmesidir. Çekme sistemi kavramı hızlı üretim süreçlerinde ve tedarikçilerde kullanılır (Heizer ve Rander, 2004:596). Bu sistemde sonraki süreç önceki sürecin deposundan, sadece kullandığı hız, miktar ve zamanda parçaları talep eder ve çeker, talep üretim hattının sonunda ortaya çıkar. Yani yarı ürünler sadece sonraki istasyondan talep geldiğinde, önceki istasyondan çekilir (Bulut, 2006:5). Bu işlem hammadde kaynaklarına kadar devam eder. Talep son aşamaya ulaştığında, ürünü oluşturacak bileşenlerin üretimi, uygunluğu yönünden kontrol edilir. Eğer uygunsa, üretim başlar, eğer değilse gerekli olan parçalar için bir talep önceki aşamaya iletilir. Bu tip bir durumda, bir önceki aşamadan gelen gerekli parçalar bu aşamanın üretimini başlatır. Bu sistemde her safhada sadece sınırlı miktarda stok tutulur (Bulut, 2006:5). Çekme sisteminin yapısı Şekil 2'deki gibidir.



□ : İş İstasyonu ; → : Parça Akışı ; ← : Kanban Akışı

Şekil 3 : Çekme Sistemi

Kaynak : Shahla vd., 2002: 18

Çekme sisteminde üretici ve kullanıcı istasyonları arasında doğrudan bir ilişki söz konusudur. Çekme sisteminde, iş istasyonları arasında malzeme ihtiyaçları ile

ilgili bilgi akışını sağlamak için kanban veya benzeri bir araç kullanılır (Gaury ve Pierreval, 2000:159). Çekme sisteminin temel özelliği kontrol bilgisinin malzeme akışıyla ters yönde hareket etmesidir. Çekme sistemleri, TZÜ kavramı ile yeni ürünün ve gerekli miktarının sadece gerektiği zaman üretilmesi gerektiği esasına dayanmaktadır.

1.6.3. İtme ve Çekme Sistemlerinin Karşılaştırılması

Üretim kontrol ve bilgi sistemi olan kanban sistemi içinde bulunan bilginin hattın başından sonuna doğru aktığı itme sistemleri ile bilginin hattın sonundan başına doğru aktığı çekme sistemleri arasında birçok fark vardır. Bu iki sistem arasındaki farklar şu şekilde sıralanabilir :

- 1) Çekme sisteminde mevcut talebe göre üretim yapılırken, itme sistemlerinde talep tahminlerine bakılarak üretim yapılmaktadır. (Schiedejans, 1993: 71-72)
- 2) İtme sisteminde, bilgi ve malzeme akışı ilk iş istasyonundan son iş istasyonuna doğru aynı yöndeyken, çekme sisteminde, bilgi ve malzeme akışı zıt yöndedir ve üretim programı ile ilgili bilgi akışı, son istasyondan ilk istasyona doğru olacaktır. Çekme sisteminde, iş istasyonları arasında malzeme ihtiyaçları ile ilgili bilgi akışını sağlamak için kanban veya benzeri bir araç kullanılır (Gaury ve Pierreval, 2000:159).
- 3) Çekme sistemleri, süreç içi stogun istenmeyen birikimini, başka bir ifadeyle işlerin gereksiz yere baslatılmasını, problemler ve hatalar ortaya çıkmadan önce çok sayıda hatalı parçanın üretilmesini engelleyen yöntemlere sahiptir. Oysa itme sistemlerinde üretim hızı ve stok düzeyini tüm durumlar için incelemek ve takip etmek zor olduğundan, safhalar arasında emniyet stokları tutulmakta ve üretim çizelgesi bu stokları da içerecek şekilde hazırlanmaktadır (Planert ve Best, 1986:28)

- 4) İtme sistemlerinde üretim planlama kontrol kısmı ile her is istasyonu arasında ayrı bir bilgi akışı vardır. Çekme sistemlerinde ise merkezden sadece son montaj hücresine iş emri verilmekte, önceki hücreler üretimlerini bu son montaj hücresine göre ayarlamaktadırlar (Krajewski vd. 1987, akt. Demiral, 2006:8)
- 5) İş istasyonlarının işlem zamanlarının birbirlerine göre çok fazla değişkenlik göstermesi sonucunda, çekme sistemlerindeki çıktı oranının itme sistemlerine göre daha hızlı düşeceği Sarker ve Fitzimmons tarafından gösterilmiştir (Sarker ve Fitzimmons, 1989:1716).

1.6.4. Tam Zamanında Üretim Sisteminde Kanban

Küçük parti büyüklüklerini elde etmenin tek yolu stokları iş istasyonlarına itmek yerine gerekli olduğunda almaktır. Bu sistem çekme sistemi olarak adlandırılmıştır ve ideal parti büyüklüğü tektir (Heizer ve Rander, 2004:605). İtme sistemleri geleneksel üretim sistemlerinde kullanılır. Talepte meydana gelen dalgalanmalara ya da üretim sürecinde oluşan aksaklıklara hızlı bir şekilde uyum sağlamak kolay değildir. Bu sorunlar üretim sürecinde esnekliği gerektirir. İtme sistemlerinde bu esneklik olmadığı için süreçler arasında yüksek miktarlarda stok bulundurulur talepteki dalgalanma ya da süreçte oluşan aksaklık giderilmeye çalışılır. İtme sistemlerinde üretim ve stok kontrolü geçmiş yılların taleplerine bakılarak oluşturulan talep tahminlerine göre oluşturulduğu için tam zamanında üretim felsefesine uygun değildir.

Tam zamanında üretim sistemi (just in time) sistemi bir çekme sistemidir. Talep üretim hattının sonuna gelir. Talep son istasyona ulaştığında, ürünü oluşturmak için gerekli olan parçaların elde bulunup bulunmadığına bakılır. Eğer elde bulunuyorsa bu istasyondaki üretime hemen başlanır; aksi takdirde, gerekli sayıda parçayı çekmek için bir önceki istasyona talepte bulunulur. Böyle bir durumda, bu istasyondaki üretim ancak bir önceki istasyondan gerekli parçalar buraya ulaştığında başlar. Benzer şekilde, buradaki prosedür üretimin ilk aşamasına kadar uygulanarak tüm üretim hattı boyunca düzgün bir parça akışı sağlanır (Shahla vd., 2002:18).

Tam zamanında üretim sisteminin esası, birbirini takip eden üretim faaliyetlerinin koordine edilmesine dayanır (Demiral, 2006:19). Tam zamanında üretim sisteminde, bir iş merkezinde çalışan işgören, ihtiyaç duyulan malzeme ve parçaları kaynağına giderek alır ve bu parçalarla ilgili işi yerine getirir. Tam zamanında üretim sisteminin uygulanabilmesi için planlananların belirli dönemler itibarıyla yapılmış olması gerekir (Tütek vd, 1991:8). Bu sistemde hangi parçadan ne miktarda üretileceği ve ne kadar malzeme gerektiği kartlar üzerinde belirtilir. Japonlar bu sistemi Japonca kart anlamına gelen “kanban” olarak adlandırmışlardır.

Toyota tarafından geliştirilen kanban sistemi, bir üretim ortamında malzeme hareketinin ve üretimin sadece o parçanın kullanıcıları tarafından yönlendirildiği bir bilgi sistemidir. Üretim, yetki kartlarıyla kontrol altında tutularak fazla üretim engellenir. Üretim çizelgesi sadece son istasyona gönderilir ve buralara çizelge bilgileri kanban aracılığıyla iletilir (Karmarker,1988;akt. Demiral, 2006:20). Tam zamanında üretim felsefesinde, iş istasyonları arasındaki stok seviyeleri kanban kartları aracılığıyla belirlenir. Kanban kartlarının üstünde genellikle yer alan bilgiler şöyledir ;

- taşınacak parça miktarı,
- iş tipi
- kullanıldığı yer
- parça adı
- parçanın tanımı
- kanban numarası
- kanbanın teslim edileceği iş istasyonunun yeri.

1.6.5. Kanban Çeşitleri

Kanbanlar kullanıldıkları yere ya da amacına göre isimlendirilirler. Kanban sisteminde temel olarak çekme kanbanı ve üretim kanbanı olmak üzere iki çeşit kart kullanılmaktadır (Demiral, 2006:20). En çok kullanılan bu iki kanban çeşidinin yanında üretimde kullanılacak olan malzemenin zamanında tedarikçiden elde

edilmesini sağlana tedarikçi kanbanı, talepteki ani değişiklikleri üretimde uygulayabilmek için kullanılan acil ihtiyaç kanbanı, parti üretiminde malzeme gereksinimi için kullanılan malzeme kanbanı, yine parti üretiminde kullanılan işaret kanbanı vardır. Kanban çeşitleri aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

1.6.5.1. Çekme Kanbanı

Bir sonraki istasyonun, bir önceki istasyondan çekmek istediği parça cinsi ve miktarını belirleyen ve parça /malzeme çekmek için kullanılan karttır. Çekme kanbanı bir istasyondan diğerine hareket eden parçaya eslik eder. Çekme kanbanında raf no, parça no, parça adı, önceki sürecin adı, sonraki sürecin adı, kapasite, kutu tipi, dolasımdaki çekme numarası gibi bilgiler yer alır (Demiral, 2006:20). Çekme kanbanı montaj hattından başlayarak, iş istasyonları arasında ve fabrika ile tedarikçiler arasında ürün çekmede kullanılır.

İzleyen safha üretim yapmak üzere kendi ara stoğundan üretim kanbanı ile parça çektiğinde, elindeki üretim kanbanını çektiği parçalara ya da taşıyıcıya iliştirirken, parçalar ya da taşıyıcı üzerinde bulunan çekim kanbanını, kanban toplama kutusuna bırakır. Belirli periyotlarla, kanbanlar toplanarak izlenen safha ön stoguna, bu stoktan izleyen safha için parça çekmek üzere götürülür. İzlenen safha ara stoğundan eldeki kanban miktarı kadar parça çekilirken, çekim kanbanları, çekilen parçalara ya da taşıyıcılara iliştirilir. Parçalar ya da taşıyıcılar üzerindeki üretim kanbanları izlenen safhada üretim için is emri olarak izlenen safha kanban kutusuna bırakılır. Çekilen parçalar, izleyen safha ön stoguna götürülerek islenmek üzere izleyen safha ara stoğuna depolanır.

Çekme kanban kartı Şekil 3’de gösterilmektedir.

Raf No:A61			Önceki İşlem	
Parça No: P 447			Çerçeve Hazırlama	
Parça İsmi Iskemle Çerçeve B			Sonraki İşlem	
Kutu 10	Kapasitesi	Kutu Tipi : A	Çıkarılan No	Montaj

Şekil 3: Çekme Kanbanı
(Kaynak : Demir, 2006:43)

1.6.5.2. Üretim Kanbanı

Bir önceki istasyonun üretmesi gereken parça cinsi ve miktarını belirler. Üretim kanbanının görevi önceki sürece parça üretmesi için sipariş vermektir. Belirli bir iş istasyonunda üretilen parçalar, taşıyıcılara konularak ve her bir taşıyıcıya kanban iliştilmiş durumla ilgili safhanın ara stok alanına alınır. Söz konusu safhayı izleyen safha, bu safhanın ara stoğundan taşıyıcı ile parça çektiğinde, çektiği taşıyıcının kanbanı, kanban kutusuna bırakır. Bu şekilde kanban birikimi oluşur. İlgili safhanın elemanı belirli aralıklarla kanban kutusundan kanbanları toplayarak, çizelgeleme tablosu üzerine geliş sırasına göre dizer. Bu tablo aynı zamanda bu safhada yapılacak işlerin iş sıralarını yani iş çizelgelemesini vermektedir. Çizelgeleme tablosundan sırayla alınan kanban üzerinde yer alan bilgilere göre hangi çeşit ürünün ne miktarda yapılacağı belirlenerek üretim safhasına geçilir. Üretim kanbanı üretime geçiş için sinyal verir ve her bir iş istasyonunda ve tedarikçilerde üretime geçilmesini sağlar. Üretim kanban kartı örneği Şekil 4’de gösterilmektedir.

Stok Raf No: F26-18 Parça Arka No:A5-34	Operasyon Talaşlı imalat SB-8
No: 56790-321	
Parça Adı:	
Araba Tipi:Sx50BC	

Şekil 4: Üretim Kanbanı
(Kaynak :Demir, 2006:45)

Üretimde sık olarak kullanılan çekme kanbanı ve üretim kanbanı dışında daha az sıklıkla kullanılan kanban çeşitleri bulunmaktadır.Çekme ve üretim kanbanı dışında üretimde kullanılan kanban çeşitleri şu şekildedir.

Tedarikçi Kanbanı : Üretimde dışarıdan tedarik edilecek parçaların teslimi konusunda taşeron firmalardan istenen talimatları içeren bir çeşit çekme kanbanıdır. Düzgün iş akışı ancak küçük parti üretimi ile mümkün olduğundan tedarikçi kanbanı ile parça girişi her gün sık sık yapılmalıdır. Bundan dolayı, Tedarikçi Kanbanında teslim süreleri açık olarak yazılmalıdır (Demir, 2006:45).

Teslim Zamanı	Teslim edilecek depo rafı		Teslim alan firmanın adı
	Parça No.	Araba tipi	
Taşeron firmanın adı	Parça Adı.	Kapı tipi	
Taşeron depo raf no.	Nihai ürün No.	Kapasite	
	Satın alınan parça Kanbanı		

Şekil 5: Tedarikçi Kanbanı
(Kaynak : Demir, 2006:45)

Acil İhtiyaç Kanbanı :Bu tür kanbanlar kusurlu bir iş, ekstra eklemeler veya talepte ani değişimler sonucunda geçici olarak dağıtılan ve iş sona erdiğinde hemen toplatılan kanbanlardır. Bu tip için hem çekme hem de üretim kanbanları mevcuttur (Demir, 2006:45).

Üretim Kanbanı			Hücre (PROSES)
Depo	Nihai ürün No:		
Parça No.			
Parça Adı:			
Araba Tipi	Kap kapasitesi	Dağıtım No:	

Şekil 6: Acil İhtiyaç Kanbanı
(Kaynak : Demir, 2006:46)

Özel Kanban : Sipariş üretimi için hazırlanan ve her sipariş için dağıtılıp toplanan bir kanban çeşididir. Özel kanban çeşidi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Demir, 2006:46).

Üretim Kanbanı			Hücre
Depo	Nihai ürün No:		
Parça No:			
Parça Adı:			
Araba Tipi	Kap Kapasitesi	Dağıtım No:	

Şekil 7: Özel Kanban
(Kaynak :Demir, 2006:46)

İşaret (Sinyal) Kanbanı : Bir çeşit üretim kanbanıdır. Parti üretiminin, siparişe yönelik üretim yerini aldığı durumdan, bir işaret kanbanı, parti içindeki bir kutuya etiketlenir. Eğer bu kanbanın etiketlendiği konumdan daha düşük seviyede çekme yapılırsa üretim kanbanı, işaret kanbanının uyarısı ile devreye sokulur (Demir, 2006:47).

Parti miktarı	Parça adı	Yeniden sipariş noktası
Palet no.	Parça no.	Palet no.
	Depo	
	Kullanılan marka	

Şekil 8: İşaret Kanbanı
(Kaynak : Demir, 2006:47)

Malzeme Kanbanı : Bu tip kanban, parti üretiminde malzeme gereksinimi için kullanılır. Eğer yeniden sipariş noktası, işaret kanbanından daha yüksek kurulu ise, bölümdeki üretim sorun olmaya başlamadan önce malzeme gereksinimi sağlanabilir (Demir, 2006:48).

- Kanbanların sayısından fazla miktarda parça çekilmesine izin verilmemelidir.
- Parçaya daima bir kanban yapıştırılmış olmalıdır.

Kural 2: Önceki süreç sonraki süreç tarafından çekilen miktarda üretim yapılmalıdır. Bu kuralın uygulanabilmesi için, birlikte uygulanması gereken diğer kurallar aşağıda verilmiştir:

- Kanbanların sayısından daha fazla üretim yapılmasına izin verilmemelidir.
- Önceki süreçte farklı parçaların üretimi söz konusuysa, bunların üretimi kanbanların geliş sırasına uygun olarak yapılmalıdır.
- Her istasyon bir sonrakini besleyecek kadar kapasiteye sahip olmalıdır.
- Bir önceki istasyon bir sonrakine düzenli üretim çerçevesinde belirlenen malı zamanında vermelidir.

Kural 3: Hatalı parçalar sonraki sürece kesinlikle gönderilmemelidir. Üretim hattı üzerinde, herhangi bir istasyonda hatalı parçalar bulunması, ara stokların büyük ölçüde azaltılmış olduğu bu ortamdan üretim akısını durduracak ve hatalı parçalar önceki istasyona geri gönderilecektir. Hatalı parça üzerindeki problem çözülmeden üretime devam edilmez.

Kural 4: Kanban sayısı en azlanmalıdır. Stok düzeyini belirlediği için, tam zamanında üretimde amaç bu sayıyı mümkün olan en alt düzeyde tutabilmektir.

Kural 5: Kanban talepteki ufak dalgalanmalar karşısında üretim hızını ayarlamak amacıyla kullanılmalıdır. Üretim planını, işletmeye uygulayan, kanban büyük değişikliklere tepki vermez. Dolayısıyla düzgün üretim sağlanmalı ki, bundan sonraki sapmalar tespit edilsin. Süreç dengeli ve mantıklı olmalıdır. Hatalı parça

üretimini engelleyecek süreçler düzenlenmelidir. Çünkü hatalı parça bulunması halinde bir sonraki istasyona gönderilemez ve gerekli malı (ürün, yarı bitmiş ürün, hammadde) sağlayamama riski oluşur.

1.7. TAM ZAMANINDA ÜRETİMİN FAYDALARI

Yukarıdaki bölümler bahsettiğimiz gibi tam zamanında üretimin alanın ve stoğun azaltılması, teslim zamanlarının kısaltılması, daha az kusurlu ürün, kalitenin artması, problemi belirlemede ve çözümede etkili olması gibi birçok olası faydaları bulunmaktadır. Genel olarak tam zamanında üretimin faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Maliyet Azaltmak : Maliyetler stok azaltma, kusurlu ürünün azaltılması, daha az fire, daha az alan, müşteri ve mühendislerle ilgili olarak daha az değişiklik, çalışma zamanını azaltma, daha az yeniden işleme, sabit giderlerin azaltılması gibi birçok yolla minimize edilebilir. En fazla maliyet düşürmeyi sağlayan kategori stokların ve kusurlu ürünlerin azaltılmasıdır (Heizer ve Rander, 2004:545). TZÜ, üretim sürecindeki israfı ortaya çıkarmakta ve böylece işletmenin bu israfı ortadan kaldırmasına yardım etmektedir. TZÜ, bir işletmenin ürününe değer katan faaliyetlere odaklanmasına yardım etmekte ve değer katmayan faaliyetleri yapmamasına yardım ederek verimliliği artırmaktadır (Deluzio, 1993:13).

Geliri Arttırmak : Gelirler genel olarak müşteriye sunulan servisin iyi ve kaliteli olmasıyla artar. Müşterinin ihtiyaçlarına hızlı bir şekilde cevap verebilmek gibi. Ek olarak gelirler yeni ürün ve servislerde daha hızlı olacaktır (Heizer, Rander, 2004:546).

İşgücü Düzenlemesi : Tam zamanında üretimi gerçekleştiren şirketlerde çalışanlar işlerinden daha çok memnunnlardır. Takım çalışmasını tercih ederler ve böylelikle problemler ortaya çıkmaz. Ayrıca tam zamanında üretimin esnekliği içinde daha

rahat çalışırlar ve işlerinde kendilerini geliştirmekten hoşlanırlar.Tüm bunlar verimliliği arttıran etkenlerdir (Heizer ve Rander, 2004:546).

Esneklik : Sistem, aynı ürün ailesinde yer alan ürünlerin birinden diğerine kolaylıkla kaydırılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Talepte meydana gelen dalgalanmalara hızlı bir şekilde cevap verilerek ürün çeşitliliği sağlanıp müşterinin isteği karşılanabilir. Bu özellik, sistemde çeşit esnekliği yaratmaktadır.

Ön Süreleri Azaltmak : Tam zamanında üretimin temel amacı stoksuz çalışmaktır. Stokları azaltmak için üretim küçük partiler halinde ve devamlı olmalıdır. Parti hacminin küçülmesi parti sayısını arttıracaktır. Küçük partiler halinde üretim ise ancak hazırlık süreleri azaltılarak sağlanabilir. Hazırlık süresinin uzaması ile maliyetleri yükseltir, yarı mamüle ve ürün stoklarına bağlanan sermaye miktarı artar (İpek, 1995:53).

Hizmet Etkinliği : Tam zamanında üretim felsefesini benimseyen firmalarda müşterinin istekleri öncelikli olarak gelmektedir. Ürünleri/hizmetleri müşterilerin isteği şekilde, istediği kalitede ve istediği tarihte üreterek tüm işletme kaynakları müşteri isteklerine uygun olarak kullanırlar. Müşteri odaklı olarak hizmette etkinlik sağlamaktadırlar.

Yukarıda saydığımız faydaların dışında tam zamanında üretiminin faydaları detaylandırılabilir. İşletmeler tam zamanında üretim felsefesini benimseyerek üretim sistemlerinde meydana gelen aksaklıkları en kısa sürede gidererek müşteri taleplerini eksiksiz ve tam zamanında karşılayabilir. Tam zamanında üretim felsefesinin faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir :

1. Sistemde her türlü israf azaltılır ve hatalar ortadan kaldırılır.
2. Stok düzeyleri önemli ölçüde düşürülmekte, hatta bazı durumlarda sıfıra indirilmektedir.
3. Stoksuz çalışma sonucu üretimle ilgili sorunlar ortadan kaldırılmaktadır.

4. Stoksuz çalışma nedeniyle stok denetim sistemlerine ihtiyaç duyulmamakta bu da atölye düzeyinde denetim faaliyetini büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır.
5. Ürün kalitesi yükselmekte, fireler azalmakta, verimlilik yükselmektedir. Firelerin azalmasının nedeni, küçük partiler halinde üretim sayesinde iş istasyonlarında işlenmekte olan mamülün nihai ürün halini alıncaya kadar kalite kontrolün bu istasyonlarda yapılarak hatalı parçaların daha erken tespit edilebilmesidir.
6. Küçük partiler halinde üretim nedeniyle, stokların ve malzeme taşıma araçlarının kapladığı alan azalmaktadır.
7. Stoksuz çalışma, ilk seferinde hatasız üretim, toplam koruyucu bakım gibi ilke ve özellikleri nedeniyle, tam zamanında üretim sistemlerinde üretim düşük maliyetle gerçekleştirilebilmektedir.

Tam zamanında üretim sistemi sağladığı faydalardan dolayı günümüzde birçok sektörde uygulanmaya başlanmıştır. Tekstil piyasasının müşteri istekleri doğrultusunda üretim yapma anlayışı kazanması ile tekstil sektöründe tam zamanında üretim sistemlerini görebiliriz. Son yıllarda müşteri isteğine uygun tekstil ürünleri üretilirken kaliteden uzaklaştıkları görülmektedir. Tekstil sektöründe müşteri isteklerinin çok hızlı değiştiği günümüzde firmalar talepteki değişikliklere hızlı cevap verebilmek için kullandıkları kumaşın, ipliğin kalitesini düşürerek, şık sadece göze ve moda hitap eden kalitesiz ürünler üretmeye başlamışlardır.

Sağlık sektöründe artan yeni yasalar, teknolojik gelişmeler sonucu artan maliyetlerin düşürülmek istenmeye çalışılması ile JİT uygulamalarına ağırlık verilmeye başlanmıştır. Hastane işletmelerinde stok yönetimi ve tedarik sistemi, toplam maliyetlerin %30 – 40'ını oluşturmaktadır. Teknoloji, çalışma sermayesinin etkin kullanılması isteği, yasal zorunluluklar, hastane içerisindeki süreçlerin

denetimlerinin yapılması ve tam kontrolü isteği hastane yönetimlerini yeni arayışlara yöneltmektedir (Aytekin, 2009:102). Bu arayışlar sonucunda hastane işletmelerinde JİT sistemi uygulanmaya başlanmış ve bu uygulamalar olumlu sonuçlar doğurmuştur. Birçok uygulamada malzemelerin merkez depoya gelmesi ve ilgili alana ulaştırılması esnasında ortaya çıkabilecek olan beklemler, ulaştırmadan kaynaklanan israf, fazla ya da eksik stoklardan kaynaklanan stok maliyetleri, hatalı ürünlerden kaynaklanan israf ve süreçte meydana gelebilecek aksaklıklardan kaynaklanan israflar ortadan kalkmıştır.

1960'lı yılların sonlarında Japonya'da otomotiv sektöründe büyük gelişmeler meydana gelmiştir. Üretimde kullanılmaya başlanan esnek üretim ve yalın üretim sistemleri ile otomotiv sanayisinde oldukça gelişmiş olan ABD ve Avrupa otomotiv sanayisine göre rekabet üstünlüğü sağlanmıştır. Yalın/esnek üretim sistemlerinde Tam zamanında üretimde tedarik zinciri yönetimi önemlidir. Sık aralıklarla ve düşük miktarlarda, üretimde lazım olduğu zamanda hammadde temini yapıldığından, işletme içi stoklar minimize edilir. Büyük firmalar Japonya'nın elde ettiği bu başarıdan sonra talepte olabilecek dalgalanmalar ya da tüketici tercihlerinde meydana gelen değişimlerden çok fazla etkilenmeyecek şekilde mamül çeşitliliğine gidebilecek bir fabrika içi yapılanmaya gitmişlerdir. Tam zamanında üretim felsefesini uygulamaya başladıktan sonra otomotiv firmaları üretim hattında daha az stok buldurmaya başlamışlar, günde 3 - 5 kez girdi tedariki yapmaya başlamışlardır.

1.8. SİPARİŞE DAYALI ÜRETİM SİSTEMLERİ

Üretim sürecinin belirli aşamalarında oluşan stoklar hammadde, mamul ve malzeme stokları şeklinde sınıflandırılabilir. Hangi tipten olursa olsun, bu stokların bulundurulmasının işletmeler için avantajları ve dezavantajları vardır. Dezavantajların başında, stok buldurmanın sebep olduğu maliyetler gelir. Son yıllarda rekabetin artması ile birlikte işletmelerin üretim maliyetlerini azaltmaları bir zorunluluk haline almış; bu da dikkatleri stoklama maliyetleri üzerinde yoğunlaştırmıştır. Stokların avantajlarından azami ölçüde yararlanmak ve

dezavantajlarından bir ölçüde kurtulabilmek için işletme yöneticisine düşen görev mümkün olduğu ölçüde az ama üretim sürecinde hiçbir aksaklığa neden olmayacak kadar çok yani, tam gerektiği kadar stok bulundurmayı sağlamaktır (Özgüven ve Çalışkan, 2002:1-2). Rekabetçi baskılar ve devam eden gelişme, büyüme çabaları birçok firmanın üretim-stok ilişkilerini gözden geçirmelerine neden olmaktadır. “Sıfır stok “ hedefine ulaşmaya çalışan dünyadaki büyük şirketler, bitmiş ürün stoklarının hangi durumlarda optimum olup olmadığını belirlemek için koşulları araştırmaya başlamışlardır. Eğer bitmiş ürün stokları üretim için elde tutuluyorsa üretimin stoğa dayalı üretim olduğunu diğer türlü siparişe dayalı üretim olduğunu söyleyebiliriz (Risa ve Decroix, 1998: 705).

Stoğa üretim; ürün çeşidinin az olduğu, büyük partiler halinde üretimin yapıldığı, pazardaki değişimlere göre ürünün çeşitlendirildiği, pazardaki ürün çeşidinin yavaş değişiminden dolayı özel tezgah, materyal ve işgücü kullanımına olanak sağlayan, ürünlerin standart oluşundan dolayı talep tahminlerinin istatistiksel yöntemlerle yapılabildiği, fiyatın pazar koşullarına bağlı olarak üretici tarafından belirlendiği, gelen taleplerin stoktan karşılanmasından dolayı teslim süresinin kısa olduğu üretim tipidir.

Sipariş üzerine üretim ise; ürün çeşitliliğinin pazar koşullarından daha çok müşterinin isteğine bağlı olarak değiştiği, çok fazla sayıda ürün çeşidinin olduğu, müşteri odaklı yapılan üretimden ve müşteri isteklerinin sık sık değişmesinden dolayı esnek işgücü, tezgah, materyal kullanımını zorunlu kılan, üretim tahminlerinin müşteri taleplerine dayanılarak yapıldığı, uzun dönemli üretim planlarının yapılamadığı ve fiyatın müşteri ile birlikte belirlendiği, teslim süresinin müşteri ile birlikte karar verildiği üretim tipidir.

Siparişe dayalı üretim yüksek düzeyde ürün çeşitliliğini kapsayan ve üretim miktarının düşük olduğu belirli siparişleri karşılamak üzere yapılan üretim tipidir. Kısıtlı ürün portfolyosunun üretilmesine odaklanılmıştır (Gupta ve Benjaafar, 2000:2). Siparişe dayalı üretimde ilk olarak müşteriden talep gelir sonra talebin özellikleri belirlenerek üretim planlama yapılır. Siparişe dayalı üretimde bütün

maddeler ve bileşen parçaları müşterinin siparişine göre temin edilmek zorundadır. Müşteri siparişleri, kurum içinde yapılacak olan üretimde bileşen parçaları ve hammaddelerin tedarik edilmesi aşamasında tedarik zinciri hareketlerini başlatır ve gerekli girdiler temin edilir (Kolisch, 2001:12).

Artan rekabet koşulları, firmaları, müşteri isteklerini eksiksiz yerine getirmeye zorlamaktadır. Müşterinin talep ettiği hizmet veya ürünü, istenen kalite düzeyinde, düşük maliyetle ve talep edilen zamanda teslim etmek olarak özetlenebilecek bu istekleri eksiksiz karşılamak zordur (Sağır ve Saraç, 2007:13). Ürünlerin müşteri isteklerine uygun kalite fiyatta, istenilen zamanda karşılanması, işletmenin rakipleri karşısında rekabet üstünlüğü elde etmesini sağlar (Kocamaz, 2009:174). Rekabetçi öncelik teslim süresinin kısalığıdır (Soman vd. 2002:223).

Stoğa dayalı üretim yapmak ürünlerin sayısı yüksek olduğunda pratik değildir ve maliyetlidir. Stoklar aynı zamanda taleplerin stokastik ya da üretilen ürünlerden farklı bir yapıda olduğu durumlarda risklidir (Gupta ve Benjaafar, 2000:2). Müşterinin talebini karşılamak için yeniden üretim yaparsak stok maliyetimiz oluşur ve bu maliyetten kaçınmak içinde müşteri isteklerine karşılık veremeyiz. Fakat bir işletme üretim tipini sipariş odaklı olarak belirlerse tüketicilerin kendi isteklerine göre özelleştirilmiş ürünleri satın almalarına izin verir.

Siparişe dayalı üretimde esneklik fazladır. Bugün iş çevrelerinde, müşterilerin taleplerini hızlı bir şekilde karşılama esnekliğine sahip olan üretici firmalar geniş ürün çeşitliliği sunmaktadır ve rekabet avantajlarından yararlanmaktadır. Bununla birlikte yüksek ürün çeşitliliği ve hızlı cevap verme süresi önemlidir (Gupta ve Benjaafar, 2000:2). Bu sistemlerde kullanılan tezgahlar çok işlemlili olup bir çok değişik işlemi yapabilmektedir. Böylece her tezgaha bir işçi yerine her tezgahta çalışabilecek işçi tipi ortaya çıkmaktadır (Taşkın, 2006:18-19).

Siparişe dayalı üretimde ara stoklar ve iş akışı yüksektir. Siparişe dayalı üretim yapan işletmelerde talepteki değişkenlik üretimin bazı safhalarında sorunların oluşmasına neden olur. Talebin düzensiz oluşu, üretim programlarının sürekli değişmesine neden olmakta, bu ise beklenmeyen hazırlık zamanlarını ortaya

çıkartmaktadır. (Kocamaz, 2009:174). Fakat üretimin yinelemesinden dolayı bazı avantajları vardır. Üretimde karşılaşılabilecek zorluklar önceden görülebilir ve planlama çalışmaları daha etkin bir şekilde yapılabilir (Şaştım, 2009:6).

Siparişe dayalı üretim yapan firmalarda üretim planlama, stoğa dayalı çalışan firmalarınkinden daha zordur (Özdamar ve Yazgaç, 1996:30). Müşterilerin ihtiyaç ve isteklerini karşılama aşamasında talepteki miktar ve kalite yönündeki değişikliklerin üretime olan yansımada zorluklar yaşanır (Kocamaz, 2009:174). Yüksek düzeyde imalat ara stokları, düşük tezgah ve işçi kullanımı, yüksek iş akışı, denetim güçlükleri üretim safhasında yönetimin karşılaştığı ana sorunlardandır (Taşkın, 2006:18-19). Bundan dolayı gelecekteki talebi tahmin etmek olası değildir.

Üretim planlaması siparişin fiilen yerine getirilmesine ve ortalama cevap süresi ve ortalama sipariş gecikmesi gibi performans ölçütleri sipariş odaklı olduğu için siparişe dayalı üretim yapan firmalar gelen talepler için teslim zamanlarını belirlemelidirler. (Soman vd., 2002:223). Talebin teslim süresi siparişin geliş süresi ile teslim süresi arasında geçen üretim süresine bağlıdır. Benzer üretim süreleri olan nihai ürünlerin hiyerarşik planlama sistemlerinde ürün aileleri oluşturulmuştur (Özdamar ve Yazgaç, 1996:30).

Literatürde siparişe dayalı üretim üzerine yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Federgruen ve Katalan(1999) siparişe dayalı üretimdeki öğeleri stoğa dayalı üretim sistemlerine ekleyerek bunun nasıl bir etki yaratacağını incelemişlerdir. analitik metotları kullanarak bu düşüncenin performans ölçütlerini nasıl optimize edeceğini göstermişlerdir. Daha sonrada çeşitli performans ölçütlerinin rassal olarak önceliklerine bakmışlardır. Gupta ve Benjaafar (2000) ölçülebilir kapasitenin olduğu ve stok gecikme zamanlarının tahmini olduğu çevrelerde stoğa dayalı üretim ve siparişe dayalı üretim sistemlerinde gecikme farklarını maliyet ve fayda açısından incelemişlerdir. Özgüven ve Çalışkan (2002) çalışmalarında sabit endeksli malzemelerden farklı boylarda kesilmek yolu ile elde edilen parçaları kullanarak çok sayıda ürünü siparişe göre üreten işletmeler için, kesme işlemi sonunda meydana gelen firenin minimize edilmesini hedef alan ve Achalz-Konrad tarafından

geliştirilmiş olan bir en kısa yörünge modelini kısaca tanıtmışlardır. Ayrıca aynı probleme çözüm getiren bir karma tamsayılı programlama modeli önerilmişlerdir. Soman ve arkadaşları (2004), yiyecek üretimi yapan firmalarda hem stoğa dayalı üretimi hem de siparişe dayalı üretimi aynı anda uygulayarak sonuçlarını tartışmışlardır. Bu çalışmada üretim yönetiminin önemi üzerinde durmuşlardır. Şahin ve Robinson (2005), stoğa dayalı üretim yapan firmalarda tedarikçiler ve üretici arasındaki ilişkinin ve bilgi paylaşımının, fiziksel hammadde akışının sistem performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Defregger ve Kuhn (2007) yaptıkları çalışmada kısıtlı stok kapasitesinde siparişe dayalı üretimde maliyet yönetimini incelemişlerdir. Siparişlerin rassal olarak geldiği bir firmada hangi siparişin kabul edilip hangisinin kabul edilmeyeceğine Markov karar sürecini kullanarak karar vermişlerdir. Chang ve Lu (2009), matematiksel modeller kullanarak tek iş istasyonuna sahip siparişe dayalı ve stoğa dayalı üretim yapan bir üretim sistemini modellemişlerdir.

1.9. TAM ZAMANINDA ÜRETİM – GRUP TEKNOLOJİSİ - HÜCRESEL ÜRETİM ARASINDAKİ İLİŞKİ

Fordist üretim örgütlenmesi, bir hat boyunca yapılan kitlesel üretime dayanır. Bu üretim modelinde her işgören bir bant (hat) boyunca basitleşmiş belli bir iş yapar ve bu basit iş sürekli tekrar eder. Fordist üretim modelinde, basit ve tekdüze yapısı işin giderek monotonlaşmasına yol açar. Bu da işgörenlerin yaptıkları işten haz duymalarını ve doyuma ulaşmalarını engeller (Memduhoğlu, 2007:2).

"Talebe göre üretim"i ifade eden tam zamanında üretim, sıfır stokla ve müşteri siparişine göre üretimi, ürünleri ne erken ne de geç, tam zamanında teslim etmeyi amaçlayan bir düşüncedir (Zapfel, 1998:700)

Tam zamanında üretim ile şirketlerin amacı son müşteri ile tedarikçiler arasındaki akışı kesintisiz ve sorunsuz bir şekilde sağlamaktır. Tam zamanında üretimin hedefi stoktan mümkün olduğu kadar kaçınmak, son ürünleri üretmek ve bunları istenilen zamanda teslim etmektir (Zapfel, 1998:701).Çünkü ürün sayısı fazla

olduğunda stoklu çalışmak maliyetli ve pratik değildir. Talep değişken ya da müşteriden üretilen ürünlerin dışında bir istek geldiğinde stoklu çalışılması çok risklidir (Gupta ve Benjaafar, 2000:2). Bu yüzden yöneticiler stok maliyetlerini en aza indirmek ve rekabet üstünlüğü sağlamak için müşterilerin isteklerine mümkün olduğu kadar kısa zamanda karşılık verip tam zamanında üretim yapabilmek için sıfır stok ya da minimum stoğu amaçlayan siparişe dayalı üretim sistemlerine yönelirler (Federgruen ve Katalan, 1999:980).

Tam zamanında üretimi; ürün tasarımı, süreç tasarımı, personel/organizasyonel faktörler oluşturur. Tam zamanında üretimin yapı taşları arasında süreç tasarımı aşamasında talep büyüklüklerinin belirlenmesi, hazırlık zamanlarının azaltılması, stokların azaltılması, üretimdeki esneklik, üretim hücreleri, iş yükünün iş istasyonlarına dengeli dağıtımı ve süreçteki hataları önleyici metotlar yer alır. Ürün tasarımı ve üretiminde ürünler arasındaki benzerliklerden faydalanarak, ürünleri benzerliklerine göre gruplandırmak şirketlere birçok yönden kolaylık sağlamaktadır.

Grup teknolojisi üretim süreçlerindeki parçaların üretiminde ve tasarımında benzerliklerden faydalanan bir üretim felsefesidir (Günasekaran vd., 1994:217). Buradaki anlayış, çok sayıda yapım yerine az sayıda oluşturulan ailelerle çalışmak suretiyle verimliliği arttırmaktır. Bu amaçla üretim teçhizatı, makine grupları ya da hücrelere ayrılıp iş akışı, yeni duruma göre düzenlenmektedir (Erdem ve Gökşen, 2003:101). Grup teknolojisinin son yıllardaki en önemli uygulaması hücreli üretim sistemlerinin tasarımındadır. Hücreli Üretim grup teknolojisinin atölye düzeyine uygulanmasıdır. Hücreli üretimde parçalar, parça aileleri biçimde ve makineler, makine hücreleri biçiminde gruplandırılarak üretim hücreleri oluşturulur. Parça ailelerinin ve makine hücrelerinin biçimlendirilmesi hücreli üretim sistemlerinin tasarımındaki ilk basamaktır (Günasekaran vd., 1994:217). Üretim hücreleri benzer parçaları işleyecek ekipmanlardan oluşan üretim birimleridir. Makine hücreleri birçok eş makineden oluşur (Choi vd., 1997:765). Hücreli üretim tam zamanında üretime olanak sağlamaktadır. Bu felsefenin altında, küçük miktarlardaki sipariş

seviyelerine göre ürünler belirlenir. Sistemi yöneten dinamik iş çevrelerinden ve kısa hazırlık zamanlarından dolayı bu mümkündür (Reynolds, 1998:90) .

Siparişe dayalı üretim yapan işletmelerde üretimde sürekli akışın sağlanması için işletmelerin fonksiyonel düzenlemeden grup teknolojisi yerleşim düzenine geçmeleri gerekmektedir. Grup teknolojisi bir takım benzer özelliklere sahip olan parçaları gruplandırarak üretim sürecindeki gereksiz zaman ve emekleri yok etmek için kullanılan bir yaklaşımdır. Hücreli üretimde ise üretilecek olan parçaların işlem benzerliklerine ve işlem gördükleri makinelere göre gruplara ayrılırlar. Makine gruplarına “hücre” adı verilir. Grup teknolojisinin ve hücreli üretimin etkinliği için makineler arasındaki parça taşımaların az, işlemler arasındaki mesafelerin kısa olması gerekmektedir. Grup teknolojisi düzenine göre yerleştirilen fabrikalarda işgörenlerin etkinliği de büyük önem taşımaktadır. Oluşturulan her bir hücreye atanan kalifiye işgörenin olması gerekmektedir. Tam zamanında üretim sistemi, grup teknolojisini kullanarak tüm işletmelerde kullanılabilir hale gelebilir. Asıl amacı fabrika içindeki malzeme akışının basitleştirilmesi olan grup teknolojisinin bundan başka parça temin sürelerini kısaltma, makine önündeki kuyruk oluşumunu önleme, kalite düzeyini yükseltme, işçi maliyetini düşürme, monotonluğu giderme ve yarı mamül stok miktarlarını azaltma gibi yararları vardır (İpek, 1995:55).

Grup teknolojisi ve üretimde uygulaması olan hücreli üretimde müşteri odaklı çalışılmaktadır. Müşteriden gelen taleplerin farklılığına göre üretim sistemlerinde değişiklikler yapılarak istenilen kalite düzeyinde ve müşterinin istediği tarihte ürünlerin üretimi sağlanır. Üretim sistemlerini bu felsefelerle göre düzenleyen firmalarda gerekli olan hammadde gerektiği zamanda ve gereken yerde ihtiyaç duyulan miktar kadar bulunur. uygulanmasında destek sağlayan hücreli üretim algoritmaları ve grup teknolojisi modellerinden alınan destek ile tam zamanında üretim felsefesinin üretimin başarısı sağlanır. Bu çalışmada özellikle hücreli üretim algoritmaları bir sonraki bölümde incelenecektir.

İKİNCİ BÖLÜM

HÜCRESEL ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE ALGORİTMALAR

2.1. ÜRETİM SİSTEMLERİ VE HÜCRESEL ÜRETİM

Küreselleşmenin etkisi ile işletmeler arası rekabet çok önemli boyutlara ulaşmıştır. İşletmeler rekabet koşullarına ayak uydurabilmek için yeni çözümler bulmaya yönelmişlerdir. İşletmelerin bu değişen rekabet koşullarına uyum sağlamasında en önemli unsurlardan birisi, üretim sistemleridir. Üretim sisteminin tüketici isteklerine hızlı bir şekilde ve istenen kalitede cevap verebilmesi, üretim sisteminin yüksek seviyede otomasyonunu ve aynı zamanda üretim sisteminin esnekliğinin yüksek olmasını gerektirmektedir. Bir üretim sistemi rekabet için kalite, hız, esneklik ve sürekli gelişim özelliklerine sahip olması gerekmektedir (Gersil, 2007:108). Bilindiği gibi üretim sistemleri genel olarak şu şekilde sınıflandırılır.

1. Seri üretim
2. Atölye tipi üretim
3. Proje tipi üretim
4. Hücre tipi üretim

Üretim sistemlerini ayrıca bir kerede üretilmesi gereken yığın miktarı ve üretim hacmine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma şu şekildedir (Yaman,1997: 3):

1. Bireysel üretim
2. Yığın (parti) üretim
3. Kitle Üretim

Bu sınıflandırmaların birçok avantajları ve dezavantajları vardır. Değişen ürün çeşitlerinin adaptasyonunda üretim sistemlerinin ne şekilde biçimlendirileceği

çok açık değildir. Bu problemi çözmek için yazarlar, sistem yapılandırma kolaylık olması için ve ürün işlem atamalarında stratejik karar verme aracı olarak hücrel üretim sistemlerini uygulamaya başlamışlardır (Kondoh, Umeda vd, 2000:347). Geleneksel üretim sistemleri ve tam zamanında üretimin yanısıra Grup Teknolojisi (GT) fikrinden hareketle yeni bir üretim sistemi tipi geliştirilmiştir. Bu üretim tipi "Hücre Tipi Üretim (Cellular Manufacturing System -CMS)" olarak isimlendirilmektedir. Hücre tipi üretim sistemi (HTÜS), sistem içinde benzer üretim karakterlerine sahip parçaların gruplandırılarak, bu parçalar grubunun tamamen üretimi için işlem, işgören ve özellikle makina, araç-gereçleri gruplarının var olduğu veya oluşturulduğu sistemlerdir. HTÜS’de, gruplardaki tüm tesis ve birimler, grup içine giren tüm parçaları yeterli bir seviyede üretmek üzere düzenlenmişlerdir. Artan rekabet koşullarına uyum sağlamak adına hücrel üretim sistemi geleneksel üretim sistemlerinin geliştirilmesiyle oluşmuştur. Bundan dolayı geleneksel üretim sistemleri ve hücrel üretim sistemleri arasında bazı benzerlikler ve farklılıklar bulunmaktadır.

Yığın üretimde üretim üçüncü şahısların yani müşterilerin gereksinimlerini karşılamaya yönelik yapılmaktadır. Elde edilen ürünün diğer bireylere satışı ve bir kar amacı söz konusudur. Üretimde iş bölümü, işin tekrarı, uzmanlaşma, standartlaşma ve makineleşme gibi özelliklere belli bir dereceye gereksinim duyulmakta ve uygulanmaktadır. Piyasanın ve müşterinin talebine göre üretim miktarı düzenlenir. Talebi karşılamaya yönelik farklı tipte ürünler üretilir (Yaman, 1997:4). Grup teknolojisi parçaların sınıflandırılması ve gruplandırılması yoluyla her bir gruba benzer teknolojik operasyonların uygulanması şeklinde yapılan imalattır. Bu metodun en önemli sonucu dar amaçlı bir durumda geniş amaçlı bir üretim ile sağlanan tasarrufların elde edilmesidir. Grup teknolojisi parçalar ve süreçler arasındaki benzerlikleri göz önüne alarak yığın tipi üretimi, küçük partili üretime adapte etmeye çalışan yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu nedenle GT yığın üretim ve sipariş üretimi alanlarında oldukça önemlidir. Grup teknolojinin atölye düzeyinde uygulaması olan hücrel üretim sistemlerinde, ekonomik yararlarını başarmak amacıyla parçalar, parça-aileleri oluşturmak için birlikte tanımlanıp gruplandırılmaktadır.

Seri üretim aynı tip bir üründen sürekli olarak yüksek miktarlarda talep olması halinde uygulanmasının ekonomik olduğu bir üretim sistemidir. Hücresel üretimde olduğu gibi bu üretim sisteminde de genel ve özel amaçlı tezgâhlar ürünün operasyonları ile doğru orantılı olarak seri şekilde atölye içerisine yerleştirilir ve hammadde bir uçtan hatta girerek diğer uçtan ürün çıkar (www.enm.blogcu.com, 15.05.2010). Hücresel üretimde oluşturulan hücreler içerisindeki makineler benzer ürünlerin üretilmesinde kullanılır. Benzer işler bu makine hücrelerine atanır. Seri üretimde de makine ve araç gereçler özel amaçlı olduklarından sadece belirli işler için yüklenirler. Seri üretimde ürün çeşitliliği azdır ve çok sayıda mamul vardır. Hücresel üretimde sipariş üzerine üretim yapılır ve sipariş süreleri sürekli olmayabilir. Bu nedenle de süreklilik söz konusu olmayabilir. Ayrıca hücresel üretimde ürün çeşitliliği fazladır. Gelen her siparişe göre de bu çeşitlilik değişebilir.

Atölye tipi üretim sistemi sipariş üzerine çalışan bir üretim sistemidir. Gelen siparişler sistem içerisinde amaca uygun olarak çeşitli bölüm ve iş istasyonları izleyerek dönüşüm işlemine uğrarlar. Atölye tipi üretim sisteminde, sisteme giren farklı siparişler, alternatif makinelerden boş olanlarında veya boş yoksa makineler arasında kuyruğa alınmak suretiyle üretime sokulurlar. Atölye tipi üretimde genellikle üretilen ürün miktarı düşük, çeşidi fazladır. Karmaşık iş akışı ve ürün sayısının çokluğu, iş hazırlama faaliyetleri, malzeme istekleri, iş takibi ve kontrolüne ilişkin eylemleri artıracaktır. İş yükü dengesinde ortaya çıkabilecek aksaklıklar, iş istasyonlarında beklemelere ve ara stokların artmasına sebep olacaktır. Bir makinenin çok çeşitli işler için hazırlanması, ayarlanması, yüklenmesi ve boşaltılması için gerekli zamanın yüksek olması, toplam üretim zamanının uzamasına, farklı işlerin farklı işlem bölümlerinde yapıyor olması, taşıma miktarlarının ve mesafelerinin artmasına sebep olur (www.enmblogcu.com, 15.05.2010). Bu problemleri ve aksaklıkları ortadan kaldırmak için grup teknolojisinin atölye tipi üretime uygulanan hücresel üretim felsefesi ortaya atılmıştır. Ara stokların oluşmaması ve iş istasyonlarında yarı işlenmiş mamüllerin beklememesi için makine hücreleri oluşturularak gelen siparişlerdeki üretilecek ürünler çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılarak, bu gruplar makine hücrelerinde üretilirler.

Geleneksel üretim sistemleri ile Hücresel üretim sistemleri arasındaki en önemli fark fabrika yerleşim düzenidir. Hücresel üretim ve tam zamanında üretimde grup düzenleme uygulanırken, diğerlerinde ürüne göre ve sabit konumlu düzenleme yapılmaktadır. Tam zamanında üretim tipi sıfır stokla üretime dayanmaktadır. Yani stok kontrolü üretim aşamasında yapılır. Hücresel üretim sisteminde ise stok kontrolü yerine üretim akışının kontrolü yapılmaktadır. Hücresel üretim sistemlerine detaylı bir şekilde bölüm'de ele alınmaktadır. Doğal olarak hücresel üretim sistemlerini açıklamadan önce grup teknolojisi felsefesinin iyi bilinmesinin önemi ortadadır. Grup teknolojisi felsefesinin üretimdeki uygulaması hücresel üretimdir (Hassan vd., 1998:3).

Hücresel Üretim Sistemleri, benzer parçaları tanımlayarak birlikte gruplandırmak suretiyle üretim etkinliğinin artırılması amacıyla kurulan grup teknolojisinin atölye düzenine uygulanması olarak da ifade edilmektedir (Gökşen, 1997:360-371). Grup teknolojisi felsefesinde parçaların geometrik ve üretim açısından benzerlikleri göz önüne alınarak gruplandırılması temeline dayanır. Bu gruplandırmanın amacı müşteri istediği kalitede ve istediği zamanda isteklerini karşılamak için ürünlerin daha etkin, hızlı ve verimli bir şekilde üretimini mümkün kılmaktır. Grup teknolojisi kullanılarak üretilen küçük parçaların ve bunların oluşturduğu küçük sistemlerin verimli ve kontrol edilebilir olması, bu küçük sistemlerden oluşan daha büyük sistemlerin başarısında büyük rol oynar.

Bir firmada grup teknolojisi uygulanarak parçaların benzerliklerine göre gruplandırılması ve bu parça ailelerini işleyecek olan makinelerin bir araya getirilerek makine hücrelerinin oluşturulması, üretim sürecinde kullanılan makineler yeterli yüklenerken planlanmış makine kapasitelerine ulaşılır. Aynı anda gelen birçok sipariş makine hücrelerine dengeli olarak dağıtılır. Böylelikle gelen siparişler arası zamandan kaynaklanan makine bekleme süreleri azaltılmış olur.

2.2. GRUP TEKNOLOJİSİ

Son yıllarda firmalar karlılıklarını arttırmak amacıyla daha fazla müşteri çekmek istemekte ve büyümek istemektedirler. Bu duruma sahip olan firmaların yolu müşteri odaklılıktan geçmektedir. Küreselleşmenin etkisi ile müşteri isteklerine göre mamul üretmek hedef haline gelmekte ve bir anlamda atölye tipi üretim gerçek olmaktadır. Müşteri isteklerini karşılamak için firmaların esnek, piyasadaki değişikliklere uyum sağlayan, dinamik bir yapıya sahip olmaları zorunluluk haline gelmiştir. Departmanlar arasında bilgi akışının etkin hale getirilerek müşteri odaklı bir üretim sistemi tasarlanması firmalara büyük avantajlar sağlamaktadır. Firmalar müşterileri kendilerine çekebilmek için ürün çeşitliliğini arttırmalı, kaliteli ürünler ortaya çıkarmalı, tasarımda farklılık yaratmalı ve siparişleri müşterinin istediği zamanda piyasaya çıkarmalıdır. Tam zamanında üretim felsefesini üretimde uygulayabilmek için grup teknolojisi ve hücreli üretim kavramları ortaya çıkmıştır. Üretim sistemlerinin verimliliği firmaların piyasadaki rekabet edebilme güçleri ile doğru orantılıdır. Üretimde verimliliği sağlamak için grup teknolojisi felsefesi büyük önem taşımaktadır.

2.2.1. Grup Teknolojisinin Tarihi Gelişimi:

İşletmeler artan rekabet koşullarına ayak uydurmak için üretim sistemlerinde ve fabrika içerisinde birçok düzenlemeye gitmişlerdir. Bu düzenlemeler arasında ilk olarak “İşyerinin Düzenini” dikkate alınmalıdır. İş yeri düzeni, binaların, tesislerin başlangıç tasarımından araç ve gereçlerin yeri ve hareketine değin olan tüm işleri kapsamaktadır ve bazı durumlarda işletmenin devamlılığı için kritik bir etken olabilmektedir. İş yeri verimliliğinin artırılmasıyla, çıktı kalite ve sayısının yükseltilmesi, iş yeri düzeninin en genel amacıdır. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi için işletme, kendisine en uygun gelen üretim anlayışını saptamalıdır. Gelişen teknoloji ve globalleşme hareketleri ile yeni üretim anlayışları ortaya konulmaya başlamıştır. Endüstride rekabetin artması, sürekli değişim gösteren müşteri istek ve ihtiyaçlarına cevap verecek esnekliğe ve duyarlılığa sahip imalat ortamlarına gereksinimi daha belirgin hale getirmiştir. Grup teknolojisi firmaların tüm bu

gelişmelere, rekabet koşullarına, değişen isteklere cevap verebilmesi için geliştirilmiş bir anlayıştır. Grup teknolojisi, sürekli değişim gösteren müşteri istek ve ihtiyaçlarına paralel olarak ortaya çıkan küçük hacimli, çok ürünlü ve sürekli ürün değişikliklerine maruz kalan üretim sistemlerine esneklik ve verimlilik kazandırmak üzere ortaya çıkan bir felsefedir.

Tarihte grup teknolojisi kavramı resmen ifade edilmemekle birlikte yüzyıllardır kullanılmaktadır. İmalattaki ilk kayıtlı uygulamalarından biri, yönetimin öncüsü Taylor tarafından yapıldı. Taylor, girişimlerdeki verimliliği geliştirmek için bazı işler arasında benzerlik olduğunu ve işlerin benzer niteliklerinin sınıflandırılabilirliğini fark etti. Daha çok son yıllar olmak üzere birçok şirket, hücreler şeklinde tezgâhları gruplama ve takımlama grubu oluşturma gibi resmi grup teknolojisi terimlerini daha fazla uygulamıştır. Bir Rus olan S.P Mitrafanov'un "Grup Teknolojisi'nin Bilimsel Prensipleri"adlı kitabının basıldığı 1965'e kadar imalatta grup teknolojisi uygulamasının gayri resmi tanımı görülmedi (www.enm.blogcu.com, 10.05.2010).

1960'larda Batı Almanya ve Büyük Britanya, grup teknolojisi tekniklerinde ciddi çalışmalar başlattı ve diğer birçok ülke bunu takip etti. 1960'dan itibaren Hollanda, İsviçre, Belçika, İsveç, Amerika, Japonya ve batı Almanya grup teknolojisini uygulamaya başlamıştır. Fakat 1970'lerin sonlarında İngiliz üreticiler ve Birleşik Krallık grup teknolojisini kullanmamaya başlamıştır. Bu durum grup teknolojisinin avantajlarının yanında birçok problemi de beraberinde getirmesinden kaynaklanmıştır. 1963'de Sovyetler Birliğinde grup teknolojisi uygulamalarının başarısı, Sovyet endüstrisinin artan araçları için bir plan neşretmeyi hükümete kabul ettirdi. 1970'lerde Japon hükümeti, grup teknolojisi uygulamalarına mali destek başlattı. Amerika'da ise grup teknolojisi üretim performansını artırma tekniği olarak uygulanmaya başlandı (Chan, 1981:24) .

2.2.2. Grup Teknolojisi Kavramı

Grup Teknolojisi, ürün tasarımı ve üretimde ürünler arasındaki benzerliklerden faydalanarak, ürünleri benzerliklerine göre gruplandırmaya dayanan yeni bir üretim felsefesidir. Grup teknolojisi kavramı çok basittir; birbiri ile benzer ya da ilgili olan parçaları tanımlayarak bir araya getirmek, üretimin ve tasarımın her aşamasında benzerliklerin avantajlarından faydalanarak gruplar oluşturmaktır (Rachamadugu ve Tu, 1997:1).

Ürün sayısının artması ve ürünlerin belli zaman aralıklarında küçük ya da orta büyüklükte partiler halinde üretilmesi, günümüzde atölye tipi üretimin giderek yaygınlaşmasına neden olmuştur. Ürün sayısının çokluğu ürüne göre düzenlemeyi zorlaştırmıştır. Bu nedenle atölye tipi üretimde fonksiyonel ve ürüne göre yerleştirmenin sorunları ve bu sorunların çözümü giderek önem kazanmış ve grup düzenlemeye geçişi gerektirmiştir (Erdem ve Gökşen, 2003:101). Atölyelerde genellikle, küçük partiler halinde çok çeşitli parça tasarımları üretilir ve bu parça tasarımlarından bir kısmının benzer özelliklerde olduğu görülür. (Rachamadugu ve Tu, 1997:1).

Grup teknolojisi müşteri taleplerini göz önüne alarak gelen siparişlere göre partiler halinde üretimi daha verimli hale getiren ve aynı zamanda işletmenin tasarım ve üretim fonksiyonlarının bütünleştirilmesini sağlayan bir üretim felsefesidir. Grup teknolojisi atölye tipi üretimin dizaynını ve esnek üretim sistemlerini kapsayan bir çok endüstride kullanılan bir kümeleme yaklaşımıdır (Malakooti vd., 2004:1769). Grup teknolojisinin atölye tipi üretim yapan firmalarda uygulanması daha az makine ve işgücü sağladığı için verimliliği artırır.

Ürünlerin sayısının ve çeşitlerinin hızla çoğalması, daha küçük miktarlı büyüklüklerle sonuçlanması, talebin büyümesi, yüksek hassasiyette çalışan daha ekonomik vasıtalara olan ihtiyaçların ortaya çıkması, artan malzeme çeşidiyle çalışma ihtiyacının büyümesi, iş verimliliğinin artmasından dolayı malzeme

maliyetinin toplam ürün maliyetine olan oranının artması, sıfır hata felsefesinin benimsenmesi, üretim maliyetlerinin azaltılması ve üretim hızının artırılması amacıyla tüm imalat fonksiyonlarına karşı iletişimin arttırılmak istenmesi günümüz sanayi kuruluşlarında GT 'nin uygulanmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Müşteri ihtiyaçları çeşitlendikçe fabrika ortamında entegrasyona gidilmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. İşte bu noktada GT kavramı önem kazanmaktadır. Grup teknolojisi ürün çeşitliliğini aktivitelerin ve ürünlerin belirli benzerliklerini bir araya getirerek fayda sağlanıp yönetilmesine izin veren bir yaklaşımdır (Hassan vd., 1998:3) .

Grup teknolojisinde fonksiyonel ve ürüne göre düzenleme yerine grup düzenleme yapılarak geleneksel üretim sistemlerinin aksaklıkları ortadan kaldırılmıştır.

2.2.3. Grup Teknolojisinin Başlıca Kavramları

Artan rekabet koşulları ile birlikte piyasadaki ürün çeşitliliğini müşterilerin belirlediği, müşteriden gelen talepler doğrultusunda sipariş üzerine üretimin yapıldığı günümüzde talepteki dalgalanmalara hızlı bir şekilde cevap vererek rekabet avantajı yakalamak isteyen firmalar için üretimde esneklik büyük önem taşımaktadır. Küçük partiler halinde, ürün çeşidinin fazla olduğu üretime olanak sağlayan grup teknolojisi kavramı bu esnekliği sağlayabilmektedir. Uygulamalarda bu esnekliği sağlamak için birçok kavram kullanarak iş yerini grup teknolojisini kullanabiliriz. Tüm grup teknolojisi uygulamaları için önemli olan başlıca dört önemli kavram vardır. Bu kavramları; sınıflandırma, parça ailelerinin oluşturulması, basitleştirme ve standardizasyon şeklinde sıralanabilir.

2.2.3.1. Sınıflandırma

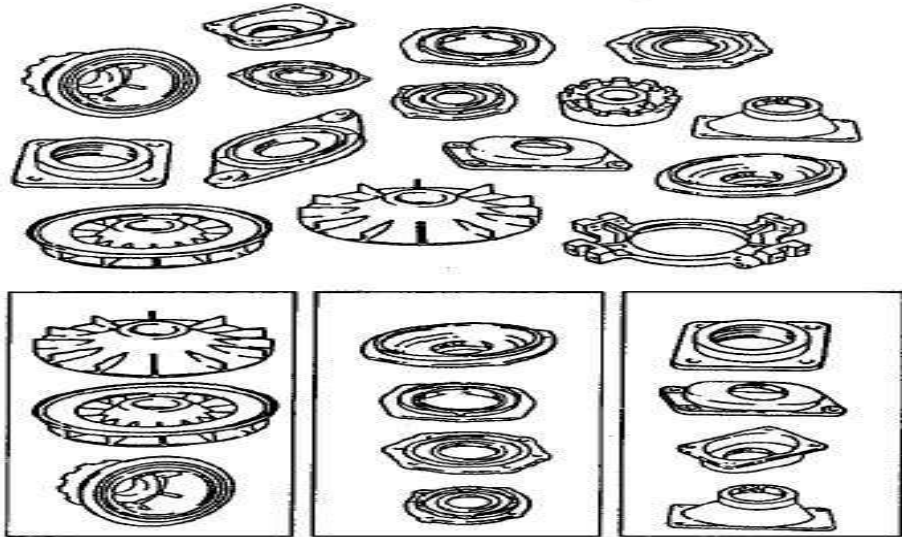
Sınıflandırma ürünler arasındaki benzerlikler ve temel farklılıklar bazı alınarak ürünlerin düzenlenmesidir. Hammaddeler, yarı mamüller ve nihai ürünün oluşmasında kullanılan üretilecek olan tüm materyaller geometrik ve ölçüsel özelliklerine göre, görünüş ve üretim açısından benzer oluşlarına göre ya da üretim açısından farklı görünüş açısından benzer, görünüş açısından farklı üretim açısından

benzerliklerine göre gruplara ayrılabilir. Parçaların geometrik sınıflandırılması parçaların büyüklük ve şekline dayanır. Üretim açısından sınıflandırılması ise; işlemlerin çeşit, sıra ve sayısına dayanır.

2.2.3.2. Parça Ailelerinin Oluşturulması

Uygulanan grup teknolojisinin başarısı büyük ölçüde parça aileleri ve makine hücrelerinin oluşturulmasına bağlıdır. Grup teknolojisine parçaların niteliklerine göre sınıflandırılmasıyla başlanır. Aile, belirli bir amaç açısından ortak karakteristik özellikleri taşıyan parça ya da nesnelerin bir araya getirilmesinden meydana gelir. Grup teknolojisi uygulamalarında benzer parçalar parça aileleri şeklinde düzenlenir ve tanımlanır. Her aile benzer tasarım ve üretim özelliklerine sahip olur. Parça benzerlikleri iki türdedir (Miko ve Mezei, 1999:27) :

- Parçaların tasarım özelliklerine göre aileler oluşturulabilir. (geometrik şekillerine ve büyüklüklerine göre)
- Parçaların üretim özelliklerine göre aileler oluşturulur.



Şekil 10: Parça ailelerinin makine, süreç, işlem gibi üretim operasyonlarına göre belirlenmesi

Parça aileleri oluşturulurken dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. İşletme için önemli olan birçok faktör göz önünde bulundurularak parça aileleri oluşturulmalıdır. Parça aileleri oluşturulurken dikkat edilmesi gereken faktörler şu şekilde sıralanabilir (www.enm.blogcu.com, 24.05.2010)

- Grupların kendilerine yeterli olması gerekir.
- Tezgah kullanım oranlarının yüksek olmalıdır. Maliyet düşmesine rağmen kullanılmayan ya da az kullanılan bir tezgah yöneticilerin hoşuna gitmeyebilir.
- İnsan gücü kullanım oranı yüksek olmalıdır.(tezgah kullanımı yüksek değilse, esnek insan gücü kullanılmalıdır)
- Tezgah hazırlama zamanlarının düşürülmesi gerekir
- İş denetimi ve iş tatmini sağlanmalıdır. İş denetimini grup teknolojisi hücreleri kendi kendine yapar. Üretimin her adımında kontrol sağlanır. İşin basitleştirilmesiyle işçi tatmini sağlanır.
- Grup teknolojisi uygulanan tesisin esnekliğinin korunması gerekir.
- Tesis içi yapılan taşıma işlemlerinin dikkate alınmalıdır. Tesis minimum taşıma maliyetini gerektirecek şekilde dizayn edilmelidir.

Her bir aile benzer tasarım ve imalat özellikleri göstermelidir. Böylece bir ailenin her üyesinin işlem görmesi benzer şekilde olacaktır. Bu da imalatın verimliliğini arttıran bir olgudur. Bu verimlilik, azalan hazırlık zamanları, azalan ara stoklar, daha etkin çizelgeleme, gelişmiş takım kontrolü ve standartlaşmış proses planlarının kullanımı şeklinde ortaya çıkar. Grup teknolojisi uygulamalarında parça aileleri oluşturulurken birçok yöntem uygulanır. Parça ailelerinin oluşturulmasında

kullanılan yöntemleri aşağıdaki gibi elle / gözle araştırma, üretim akış analizi ve sınıflandırma ve kodlama analizi gibi üç ana başlıkta toplanabilir (Yew, 2004:12).

2.2.3.2.1. Elle ve Gözle Araştırma (El-Göz Araştırması)

Parçaların fiziksel özelliklerini bakılarak yapılan gruplandırma tekniğidir. Bu yöntemde başarı gruplamayı yapacak kişinin ölçü, büyüklük ve şekil gibi bazı gruplama ölçütlerini doğru olarak seçmesine ve kullanmasına bağlıdır. Başarılı bir yöntem olmadığından dolayı, grup teknolojisinde parça aileleri oluşturmada çok fazla kullanılmaz.

2.2.3.2.2. Üretim Akış Analizi

Üretim akış analizi grup teknolojisini planlamak için Burbridge tarafından geliştirilmiş bir tekniktir (Modrak, 2009:519). Üretim akış analizi parça ailelerini tanımlamak ve makinaları üzerinde üretim bilgilerini kapsayan rota kartları ile gruplandıran yöntemdir (Yew, 2009:25) . Rota kartları, malzemelerin hammadde deposundan çıkışından, parçaların bitirilmesine kadar tüm üretim işlemlerini gösteren ve işlemlerin zamanının da (hazırlık ve işlem zaman toplamı) verildiği bilgi akış kartlarıdır. Üretim akış analizi üç aşamada tamamlanan bir süreçtir. Bu aşamalar aşağıda açıklanmaktadır.

Fabrika Akış Analizi : İşletmenin genelinde üretim akış analizi ile, işlem bölümlerinin konumları ve büyüklüklerinin saptanmasıdır. İlk olarak fabrikadaki işlem bölümleri tespit edilir. İşlem bölümleri, fabrika içerisindeki her bir işlemin gerçekleştirilebilmesi için kurulan bir tesis grubudur. Bir makine fabrikasında bulunan dökümhane, montaj atölyesi ve torna-tesviye atölyesi işlem bölümlerine örnek olarak verilebilir. Tesis grupları belirlendikten sonra az sayıda tesis yatırımı, birleştirilen birimler arasında malzeme akışının basitleştirilmesini ve parça taşımının minimuma indirgenmesini hedefleyerek işlem birimleri birleştirilir. Daha sonra genel akış çizelgeleri hazırlanır ve her parçanın işlem rota numarası belirlenir ve bunlar gruplandırılır. En son olarakta işlem bölümleri arasında parça akışı düzenlenir.

İşlem Bölümlerinde Gruplama : İşlem bölümlerinde gruplama, fabrika akış analizi ile elde edilen işlem grupları içinde, birbirinden bağımsız, her biri ayrı bir parça ailesini işleyebilecek makine hücrelerinin oluşturulmasıdır. Böylece, grup düzenlemeye veya hücre tipi üretime geçiş yapılır. İşlem bölümünde gruplama işlemine, parça makine ilişki matrisinin oluşturulmasıyla başlanır. Matris, fabrika akış analizi ile elde edilmiş olan ve her bir işlem bölümüne giren parçaların işlem gördüğü makinelere 1, görmediklerine 0 değeri verilerek oluşturulur.

Ortak işlemlerden geçen parçalar, parça aileleri halinde gruplanır. Benzer şekilde, bu ortak işlemleri yapmak için kullanılan tezgâhlar, bir hücre olarak gruplanabilir (www.enm.blogcu.com, 24.05.2010). Şekil 11(a)'da basit bir parça-makine ilişki matrisi verilmiştir. Parça aileleri ve makine hücrelerinin oluşturulmuş şekli Şekil 11(b)'de verilmiştir.

		Makineler					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Parçalar	P1	0	0	0	0	1	1
	P2	0	1	1	1	0	0
	P3	1	0	0	0	1	0
	P4	0	1	1	0	0	0
	P5	0	1	1	1	0	0

(a)

		Makinler					
		M6	M2	M3	M4	M1	M5
Parçalar	P2	1	0	1	0	0	0
	P5	1	1	1	0	0	0
	P4	0	1	1	0	0	0
	P1	0	0	0	0	1	1
	P3	0	0	0	1	1	0

(b)

Şekil 11 : (a)Parça makine ilişkisi matrisi ve (b) oluşturulan parça aileleri ile makine hücreleri

Grup İçi Akış Analizi : Üretim akış analizinin son aşamasında, her grup içinde bulunan makinelerin birbirleri arasındaki konumları incelenir. Grup içi akış analizi makine gruplarının işlem bölümleri içinde yerleşim düzeninin planlanmasıdır. Bunun sonunda makinelerin yerleri belirlenir ve grubun yerleşme planı oluşturulur. Grup içi analizde temel alınan ölçüt, makineler arasında yapılacak olan parça taşıma

mesafesinin minimum olmasıdır. Parçaların üretimi sırasında uğradığı işlemlerin sırasını analiz eden üretim akış analizini aşağıdaki gibi Şekil 12’de gösterebiliriz.

		PARÇA NUMARASI																			
T E Z G A H K O D U		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	A		1									1									
	B	1									1						1				
	C			1	1			1	1	1					1						
	D	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1				1	1
	E						1							1							
	F	1	1									1	1								
	G													1	1					1	1
	H											1	1							1	
	I			1	1		1							1		1					
	J						1									1					
K						1									1						

		PARÇA NUMARASI																				
T E Z G A H K O D U		2	11	1	10	16	18	12	6	3	4	7	8	9	14	15	19	5	13	17		
	H	1	1		1		1															
	D	1	1	1	1		1															
	F	1	1	1	1																	
	A	1	1																			
	B			1	1	1																
	E	Grup 1							1	1												
	D								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
	C	Grup 2							1	1	1	1	1	1	1	1						
	I								1	1	1	1										
	G								1								1			1	1	1
J																			1	1		
K																			Grup 3		1	1

Şekil 12: Üretim Akış Analizi Örneği

Kaynak : www.enm.blogcu.com (10.05.2010)

2.2.3.2.3. Sınıflama ve Kodlama Analizi

Parça aileleri oluşturmak için kullanılan bu metotta her parçanın bireysel tasarım ve/veya imalat özellikleri incelenir. Sınıflandırma, parçaların gruplar halinde veya aileler olarak belli prensipler ve kurallar çerçevesinde kategorize edilmeleri demektir. Amaç benzer parçaları aynı grupta toplamak ve benzemeyen parçalar arasındaki farklılıkları belirlemektir.

Kodlama ise bir parçaya semboller atma işlemidir. Bu semboller parçanın özelliklerini yansıtan anlamlar taşırlar. Her parça için ayrı bir kod kullanılır ve bu kod yalnızca bir parçayı tanımlar.

Sınıflandırma ve kodlamanın amacı, bilginin hızlı ve etkin bir şekilde yeniden elde edilmesini sağlamaktır. Üretim sistemlerinde bilgi; tasarım, planlama ve üretim süreçleri ile ilgili bir çok problem için gereklidir. Özellikle kodlamanın yapılmadığı sistemlerde bilgiye ulaşma, uzun zaman ve maliyet gerektirir. Parçaların sınıflandırılması ve kodlanması işletmeye birçok fayda sağlar. Parça çeşitliliğinde azalma, parça biçimlerinin tanımlanması, ürün ailelerinin ve makine hücrelerinin oluşturulmasını kolaylaştırır. Üretim planlamada da fayda sağlar.

2.2.3.3. Basitleştirme

Basitleştirme mamul çeşidinin işletme için uygun sayıya indirilmesi olarak tanımlanabilir. Bu işlem sonucunda bilgiler ve verilerin üzerindeki kontrolün artırılması amacıyla gereksiz çeşitliliğin azaltılır. Fazla olduğu düşünülen üretim hatları elimine edilir. Böylelikle bir hizmet veya ürünü üretmek için gerekli işlem sayısı azaltılmış olur. İşlem sayısının azalmasıyla birlikte daha az işgücüne, daha az malzemeye, daha az parçaya ihtiyaç duyulur. Böylelikle işçilik, parça taşıma maliyetlerinde azalma gözlenir.

Üretimde basitleştirilmeye gidilerek çeşit sayısının azaltılması ile birçok fayda sağlanabilir. Sağlanacak faydalar şöyle sıralanabilir (www.enm.blogcu.com, 24.05.2010):

- Hammadde, parça ve yarı mamul stok düzeyleri düşer.
- Makine ve teçhizata daha az yatırım yapılır.
- Dizaynın güvenilirliği yüksektir. Hata olasılığı azdır.
- Depolama için daha az alana ihtiyaç duyulur.
- İş programlarının hazırlanması kolaylaşır.
- Muayene ve kontrol etkinliği yükselir.
- Kalifiye eleman ihtiyacı azalır.
- Sipariş alımı ile mamulün teslimi arasındaki süre kısalır.
- Düşürülen maliyet nedeni ile mamulün rekabet gücü yükselir.

2.2.3.4. Standardizasyon

Bir mamulün veya onu oluşturan parçaların; boyut, biçim, performans ve kalite özelliklerine göre içinde bulunduğu sektör, ülke veya da dünya çapında belirlenen tek bir değer almasına standart denir. Standardizasyon ise üretim prosedürleri, parça özellikleri, terminoloji, talimatlar gibi araç ya da nitelikler arasından en iyi ya da tercih edilen niteliklerin seçilmesini ifade eder. Standartlaştırma ile stoklardaki farklı parça sayısı azalır buna bağlı olarak üretimde kullanılan materyallerin değişim oranı düşer. İş akışı basitleştirilerek her türlü kontrol işlemi daha kolay yapılabilir. Böylelikle birim maliyetler azalarak firmalar için toplam maliyette azalma gözlenir.

2.2.4. Grup Teknolojisinin Avantajları:

Üretim sistemlerindeki grup teknolojisinin rolü, verimliliğin ve kalitenin artırılmasına yöneliktir (Günasekaran vd., 1994:217). Bu sebepten dolayı grup teknolojisi uygulandığı şirketlere maddi ve manevi açıdan birçok katkı sağlar. Grup teknolojisinin şirketlere sağladığı katkılar aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

(1) İş akışını basitleştirir:

Grup teknolojisinde iş akışı seri üretim tipine uygun olarak düzenlenir. Bu düzenleme biçiminde, üretime giren hammaddeler, oluşturulan makine hücrelerinde işlenerek ürün haline gelirler. Grup teknolojisinde iş akışı oluşturulan hücreler arasındadır. Bu yüzden akışta bir kolaylık söz konusudur. Hücrelerin yoğunluğu ve bağımsızlığı etkin grup teknolojisinin iki gereksinimidir. Hücre içerisinde benzer özelliklere sahip tüm parçaların üretiminin tamamlandığı bağımsız hücreler, hammadde akışının kolaylaşmasını ve daha iyi üretim kontrolünün yapılmasına olanak sağlar (Adil ve Rajamani, 2000: 305).

(2) Üretim Planlama ve Kontrolünü Kolaylaştırır:

Grup teknolojisini uygulayan bir şirketlere geleneksel süreç odaklı üretimden daha etkin olan ürün odaklı üretime geçme imkanı sunar. Süreç odaklı şirketler belirli süreçlere odaklanır, fakat farklı parçalar, farklı sıralamalarla sürecin farklı kombinasyonlarını kullanır. Karmaşık madde akışı sistemlerinde bu durum, üretim kontrolünde durumu zorlaştırır. Bir diğer yönden, ürün odaklı üretim yapan şirketler belirli ürünlere, parçalara, parça ailelerine odaklanır ve makinelerin ihtiyacı olan bu parça gruplarını üretmeleri tek bir yerden kontrol edilir (Rachamadugu ve Tu, 1997:1).

(3) Taşıma miktarları azdır:

Grup teknolojisinde benzer özellikteki parça aileleri ve oluşturulan her bir aile için makinelerin gruplanması problemi vardır. Makine grupları genellikle hücre olarak tanımlanmaktadır. Makine hücreleri bir araya gelerek tüm üretim hattını oluştururlar. Bu düzenleme içinde parçalar, bir makineden diğerine, bir hücreden diğerine geçerek üretim hattını takip ederler. Makine hücreleri, ürünün üretim hattı içindeki hareketlerine göre düzenlenir ve bu hücrelerin yoğun olması (Nicoletti vd., 1998:3), taşınan parça miktarı ve taşıma mesafesi kısaltır. Daha az miktardaki hammadde ve yarı mamulün, daha kısa mesafelerde taşınması, taşıma yatırımları ve masraflarının az olmasına sebep olacaktır.

(3) Üretim içi stoklar azdır:

Basit iş akışı ile sağlanan makine önündeki iş parçası bekleme veya kuyruk zamanları kısa olacağından ve iç taşıma miktarları büyük yığınların oluşmasını gerektirmeyeceğinden üretim içi stoklar azalacaktır. Üretim içi stokunun azlığı işletmenin stok finansmanına ayıracağı sermaye miktarını düşürecektir.

(4) Hazırlık zamanları azalır :

Hücreler içerisindeki makineler üretilen bir parçadan diğerine çok hızlı geçiş yapabilecek şekilde tasarlanabilir. Hızlı olmayı sağlayan etmen parça ailelerini oluşturan parçaların benzerlikleridir. Hücrelerde, benzer parçaların benzer makinelerde işlenmesi nedeniyle değişiklikler küçük olmakta bu durumda hazırlık zamanlarını kısaltmaktadır (Kara, 2000:27).

(5) Toplam üretim zamanı kısadır :

Parçaları ve makineleri hücreler halinde gruplandırmak işgücünü, hazırlık zamanlarını, makine bakım ve ayarlanma zamanlarını, kuyrukta bekleme süresini, iş akışının basit olmasından dolayı hammadde ve yarı mamul stoklarının tedarik süresini ve taşıma süresini ve üretim sürecindeki işleri azaltacağından dolayı toplam üretim zamanı kısaldır (Günasekaran vd, 1994:217). Toplam üretim zamanının kısalığı, birim zaman içinde daha fazla üretime olanak verecek ve işletmenin üretkenliği artacaktır.

Grup teknolojisinin yukarıda saydığımız özelliklerinin yanında birçok avantajı daha vardır.Bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir ;

- Grup teknolojisi tasarım, mühendislik, pazarlama, tedarikçiler gibi fonksiyonel departmanlar arasında kolay iletişim akışını ve bu departmanlar arasında integrasyonu sağlar (Günasekaran vd., 1994:217).
- Müşterilerin isteklerine hızlı, güvenilir bir şekilde cevap verilmesini sağlar.
- Parça ailelerinin üretiminde işlemler küçük hücrelerde gerçekleştiği için geri bildirim kolay olmaktadır. Küçük parti üretiminin hücre düzeninde, bir iş gören, bir parçayı direkt olarak diğer iş görenden alır. Böylece eğer hatalı ise,işlem neyin yanlış gittiğini anlamak için durdurulur ve kalite geri beslemesi sağlanarak yüksek kaliteye ulaşılır.
- Grup teknolojisi uygulamalarında yüksek kalitede ürünler elde etmek için toplam kalite yönetimine göre iş görenlere daha fazla sorumluluk

yüklenmektedir. İşgörenin işe hakim olarak gerektiğinde müdahale etmesine izin verilmesi, çalışanların güvenlerini yerine getirerek yaptığı işe daha fazla önem vermesine neden olur. Sistemdeki her iş gören, hatalı bir parça gördüğünde ya da kendisi üretim hızına yetişemediğinde, üretim hattını durdurma veya başka iş görenlerden yardım isteme hakkına sahiptir. Bu sistemde iş görenlerin birbirlerine yardım edecekleri ve bir iş görenin birden fazla işi yapabileceği kabul edilir. Bu yaklaşımda çalışanlar, kendisinin yönlendirebileceği bir sistem içinde çalışarak yüksek iş tatmini elde ederler.

- Taşıma maliyetlerini en aza indirmek için hücreler arası ve hücre içi mesafeler en aza indirilir. Oluşturulan hücrelerin birbirine yakın olması, hücre içi makine ve materyallerin yan yana konulması ile fabrika içerisinde daha fazla yer açılmasına neden olacaktır.
- Parçaların kodlanması ile herhangi bir zamanda maliyet tahmin etmek isten bir firma veri tabanından kodlanan parçalar ile ilgili her türlü bilgiye ulaşarak hızlı ve etkin bir maliyetlendirme yapılabilir.
-

2.3. GRUP TEKNOLOJİSİ VE HÜCRESEL ÜRETİMİN ÜRETİM SİSTEMLERİNE FAYDALARI

Grup teknolojisi uygulamasına ilk olarak birbirine benzer parçaların bir araya getirilmesiyle başladığını daha önceki bölümlerde bahsetmiştik. Üretilen parçalardaki benzerlikler makine hazırlık zamanlarının düşmesine neden olur. Üretilen parçalar, bir hücreden diğerine küçük yığınlar halinde taşınacağından dolayı hücreler arası ara stoklar oluşmayacaktır. Ara stokların oluşmamasından dolayı da makineler malzeme beklemesi yüzünden boş beklemeyeceklerdir. Üretim sürecine grup teknolojisi kavramı oturularak iş gören yokluğu nedeniyle üretim sürecinde oluşacak olan aksamalar ortadan kalkacaktır. Grup teknolojisi uygulamalarında iş akışı hücreler arasındadır. Bu hücreler parça taşıma zamanlarını minimuma indirecek şekilde fabrika içinde yerleştirildiğinden dolayı hücreler arasındaki iş akışı kolaylaşacaktır. İş akışının kolaylaşmasına bağlı olarakta üretim planlaması ve

kontrolü kolaylaşır. Grup teknolojisi kavramı içinde parça aileleri makine akışına bağlı olarak oluşturulur. Farklı gruplardaki parça aileleri fabrika ve hücre içerisindeki düzenlemelerin farklı olmasını gerektirir. Yani grup teknolojisi kullanarak oluşturulan parça aileleri hücrelerin tasarımını etkilemektedir.

Hücresel üretimin 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 önlenmesidir. Üçüncüsü ise, sürekli tekrarlanan problemlere ilişkin bilgilerin etkin bir şekilde alınıp depolanmalarıyla, bu bilgilerin yeniden elde edilmeleri için geçen araştırma zamanının azaltılması ve problemin yeniden çözülmesi gereksinimini ortadan kaldırmaktadır (Hyer ve Wemmerlöv, 1984:140).

Yukarıda üç temel başlık altında topladığımız faydaları genişletebiliriz. Bu üç temel unsurdan kaynaklanan alt faydalar elde edilir. Bu faydaları şu şekilde sıralanabilir;

- Parçaların tasarımları aileler şeklinde gruplandırılarak çizildikleri için bunların saklanılmaları ve istenildiklerinde çıkarılıp yeniden kullanılmaları daha kolay ve etkindir (Başaran, 2005:16).
- 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 fiyestürler 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 etkindir. Bütün bunların neticesinde üreticinin tüketici taleplerine cevap verme süresi kısalır (Başaran, 2005:17).

- Her hücre belirli sayıda birbirine benzer parça üzerinde uzmanlaştığı için hücre içi üretilen parçaların kalite kontrolü kolaylaşır. Uzmanlaşılın ve kontrolü kolaylaşın parçalar daha kaliteli üreilmeye başlanır (Başaran, 2005:17).
- Parçaların üretim aşamalarının bir çoğunun ait oldukları hücre içerisinde bitiriliyor olması her türlü sayım ve muhasebe işlemlerini kolaylaştırır.
- Hücreler içerisinde çalışan işgören sayısı azalacağı ve bunlar da bir takım ruhu içerisinde çalışacağı için iş tatmini artar. Artan iş tatmini işgörenlerin verimlilik ve motivasyonlarını artırır (Başaran, 2005:17).
- Hücresel üretimle 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 endirekt işçilik maliyetleri de azalır (Başaran, 2005:17).

Bu avantajlardan yararlanabilmek için önemli olan hücresel üretimin kuruluşu için gerekli olan koşulların aksatılmadan yerine getirilmesidir. Fakat unutulmamalıdır ki, hücresel üretim her iş atölyesine ve ürün çeşidine uygulanması gereken en iyi yöntem olmayabilir. Bazı iş atölyelerinde fonksiyonel yerleşim düzeni daha etkili olabilir (Başaran, 2005:20).

2.4. HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ

İşletme yönetiminin temel fonksiyonlarından biri, işletmede var olan kaynakların önceden saptanmış amaçlar doğrultusunda en verimli şekilde kullanılmasını sağlayacak yöntemleri geliştirmek ve uygulamaktır. Üretim sistemleri; çıktı miktarı, maliyetler (malzeme, emek, dağıtım, stok, vs.), malzeme, mevcut ekipman, işgücü kullanımı, kalite ve mamul güvenilirliği, zamanında teslim etme, yatırımlar (varlıkların dönüşümü), ürün değişimine uyum kabiliyeti ve esnekliği,

miktar değişimine uyum kabiliyeti ve esnekliği gibi unsurları işletme politikası doğrultusunda geręekleřtirmeyi amaçlar. Kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasının sağlayacak olan önemli faktörlerden birisi iş yeri düzenidir. İstenen ürünü üretebilmek amacıyla bir fabrikanın bölümlerinin ya da araç gereçlerinin birbirlerine, sistemin girdi ve çıktılarına uygun olarak düzenlemesine “İşyeri Düzeni” denir (Demir ve Gümüşoğlu, 2003:249).

Verimliliği arttıracak bir şekilde elde bulunan işgücü, materyal gibi kaynakların fabrika içerisinde düzenli bir şekilde bulunması kullanılan üretim sisteminin başarılı olmasını sağlayacaktır. İyi bir iş yeri düzeni, işletmenin üretim süreçlerinde zaman, maliyet, işgücünden tasarruf sağlanabilmesini ve değişen piyasa koşullarına ayak uydurarak üretim sürecinin esneklik kazanmasına ve müşterilerden gelen taleplerin istenilen miktarda ve zamanında üretilmesine olanak sağlar. Tüm bu tasarruflar ve esneklik piyasa koşullarında rakipler arasında önemi rekabet avantajı sağlayacaktır. İşyeri düzeni işletmedeki akış türünü belirtir. Materyallerin, insanların yer değiştirmelerinden doğacak olan maliyetleri ve aktarma uzaklıklarını, taşıma sürelerini minimuma indirir. İşyeri düzeninin temel amacı kapasite ve kalite gereksinimlerinin olabilecek en az maliyet ile karşılayacak bir üretim sisteminin oluşturulmasıdır. İşyeri düzeni fabrika kuruluş yeri seçildikten sonra üretim sürecindeki bölümlerin düzenlenmesi, bu bölümler içerisindeki makine ve gereçlerin düzenlenmesini ve bu düzen içerisindeki iş istasyonlarının tanımlanmasını kapsar. Bölümler içerisindeki makinelerin düzenlenmesi ve iş istasyonlarının tanımlanması aşamasında hücrenel üretim devreye girer. Hücrenel üretim grup teknolojisi kullanılarak oluşturulan parça ailelerini üretecek olan makinelerin parça ailelerine atanarak makine hücrelerinin oluşturulmasında kullanılır. Oluşturulan bu hücreler üretim sürecindeki iş akışını basitleştirmesi için fabrika içerisinde sürece göre dizilirler. İşyerinin bu şekilde düzenlenmesi sonucu üretilen parçanın bir hücreden diğer hücreye gemesi sırasında parça taşıma süresini en aza indirerek işgücü, zaman ve oluşan stoklarda tasarruf edilir. Makinelerin tam kapasite ile çalışmaları sağlanır. Bu yerleşim üretim sisteminin etkinliğini arttıracaktır.

Globalleşen dünyada, üreticilerin ayakta kalabilmeleri için her türlü maliyetlerini en aza düşürmeleri gerekmektedir. Ürün kalitesinin müşterinin istediği şekilde olması, ürün çeşitliliği, esneklik, teslim süresini en aza inmesi ve teslim güvenilirliğini aynı zamanda sağlamak gerçekten zordur ve bu nedenle firmalar kendilerini baskı altında hissetmektedirler. Hücresel üretim, bu zorluklarla başa çıkmak için önerilmiştir (Nomden ve Zee, 2008:439).

Hücresel üretim sistemi, grup teknolojisinin atölye ortamına uygulanmasından doğan bir türevi olup parti üretim tarzında çalışan atölyelerde uygulanmaktadır. Grup teknolojisinde hücresel üretim düzenlemesi özellikle Amerika'da üretime uygulanan bir düzenleme biçimidir. İlk kez Mitrofansu ve A. P. Sokolovski tarafından 1940'lı yılların sonlarında Sovyetler Birliği'nde tanımlanmış ve ilk araştırmalar F. E. Flanders tarafından üretim ve kontrol sorunlarını gidermek için başlatılmıştır (Gümüšoğlu ve Demir, 2003:277) . Hücresel Üretim Sistemi, parçaların, parça aileleri biçiminde ve makinelerin, makine hücreleri biçiminde gruplandığı bir üretim sistemidir. Parça tasarımı ve üretim özelliği benzerliği kümelemeyi, gruplandırmayı başarılı bir şekilde yapmak için kullanılmaktadır. Buradaki temel unsur parça ailelerinin oluşturulmasının ve makinelerin fiziksel olarak gruplandırılmasının aynı zamanda yapılmasıdır.

Hücresel Üretim atölye tipi üretim sistemlerinde kullanılan bir yöntemdir. Atölye tipi üretimde parçaların iş istasyonları arasında defalarca hareket etmesi gerekmektedir. Bu da beraberinde yüksek malzeme akışını, yüksek ara stokları, yüksek hazırlık zamanlarını ve sonuç olarak da yüksek üretim maliyetlerini beraberinde getirmektedir (Kara, 2000:29). Hücresel üretim tüm bu sorunların ortadan kaldırılması için geliştirilmiş bir yöntemdir.

Firmalar hücresel üretim sistemlerini firma için sorun teşkil eden birçok işlemi ortadan kaldırmak ve maliyetleri en aza indirmek için uygularlar. Hücresel üretimin temel uygulanma amaçları şu şekilde sıralanabilir;

- Tedarik, malzeme taşıma ve hazırlık sürelerinin düşürülmesi
- Süreç içinde oluşan ara stokların düşürülmesi
- Parça akışlarını basitleştirilmesi
- Üretim planlama ve kontrolün kolaylaştırılması
- Verimliliğin artırılması
- Kalitenin artırılması

Hücresele imalat, çeşitlilik gösteren ürünleri mümkün olan en az israf ile üretmeye çalışan bir yaklaşımdır. Ekonomik fayda sağlaması amacıyla parçalar, parça-aileleri oluşturmak için birlikte tanımlanıp gruplandırılmaktadır. Grup teknolojisinin atölye tipi üretimde uygulanış şekli olan hücresele üretim ve grup teknolojisi felsefesi çok çeşitli imalat durumlarına uygulanabilmektedir. İşletmelerin grup teknolojisini uygulayabilmeleri için aşağıda belirtilen durumlara sahip olması gerekmektedir.(Mikell P. Groover, Akt :Öztürk, 2007:14)

- Öncelikle geleneksel parti tipi üretimi ve işlevsel yerleşimi kullanan işletme olması gerekir. Çünkü bu işletmelerde malzeme taşıma çoktur, süreç içindeki stok ve üretim süresi yüksektir.
- Parçalar, parça aileleri şeklinde gruplandırılabilir olmalıdır.

Piyasalardaki rekabet koşullarının artması ile birlikte firmalar müşteri isteklerine odaklanarak üretim süreçlerini bu doğrultuda düzenleyerek üretim yapmaya başladılar. Bunun sonucu olarak sipariş odaklı bir üretim ortaya çıkmıştır. Tüketicinin ya da müşteri firmanın miktar, tasarım, zaman, kalite bakımından özel olarak belirlediği mamüllerin ya da mamül gruplarının üretilmesi olarak adlandırılan siparişe dayalı üretimde makine ve işgücü kapasitesinden yararlanma oranı düşüktür. Siparişlerin yığılması söz konusu olabilir. Üretim sürecine siparişler tek tek alınarak siparişlerin kuyrukta bekleme süreleri artar. Hücresele üretim felsefesini uygulayan

bir firmada bu sorunlar ortadan kalkabilmektedir. Oluşturulan makine hücreleri ve bu hücrelerin fabrikadaki tasarımı sayesinde tüketicilerden ya da müşteri firmalardan gelen siparişlerin tek tek üretim sürecine alınması yerine, aynı anda gelen siparişlerin aynı anda üretilmesi söz konusudur. Gelen sipariş içerisindeki parçalar üretim şekillerine ve fiziksel şekillerine göre gruplandırılır. Oluşan bu grupları üretecek makineler belirlenir ve makine hücreleri oluşturulur. Gelen siparişler içerisindeki parçalar bu makinelere atanır ve üretim gerçekleşir. Hücresel Üretim Sistemi kullanılarak gelen birden fazla siparişi aynı anda üretmek mümkün olur.

Hücresel üretim sistemlerinin uygulamalarında ilk aşama makine hücrelerinin oluşturulmasıdır. Hücre oluşturma şu şekilde tanımlanabilir: Eğer üretim makinelerinin sayısı, tipleri ve kapasiteleri, üretilen parçaların sayısı, tipleri ve her parça için üretim rota planları biliniyorsa, makineler ve onlarla ilişkili parçalar hücreler oluşturmak için birlikte gruplandırılır. Burada öncelikle hücre oluşturma için parçaların ve makinelerin sayıları belirlenir. Daha sonra ise parça aileleri ile makine hücreleri belirlenerek ve parça aileleri işlenecekleri makine hücresine atanır. Sonuç olarak uygulamada hücre oluşturmada verilecek kararları üç başlık altında toplamak mümkündür : Parça ailelerinin belirlenmesi, makine hücrelerinin belirlenmesi, hücrelerin ailelere atanması ya da ailelerin hücelere atanması. Bu üç karar hücre oluşturma probleminin alt problemlerini oluşturmaktadır ve birbirleriyle ilişkilidir (Hassan vd., 1998:4)

2.4.1. Hücresel Üretim Sistemlerinin Tasarımı

Hücresel üretim sistemlerinin tasarımı genellikle iki ana gruplamaya dayanır : Parça - aile biçimi ve makine - hücre biçimi. Parça – aile biçimi, parçaların benzer geometrik yapılarına ya da sürecin gerektirdiği tasarım ve üretim için benzerliklerinin avantajlarına göre yapılan gruplandırma biçimidir (Wemmerlov & Hyer, 1987;Akt Wang, 2003:1607). Parça tasarımı ve üretim özelliği hücreler oluşturulurken kümelemeyi başarabilmek için kullanılmaktadır. Makine - hücre biçimi ise benzer olmayan makineleri bir araya getirir ve bunları bir ya da daha fazla parça ailesinin üretimine atar (Wang, 2003:1607). Hücrelerin geleneksel tanımı, ürün

ailelerinin üretilmesinde kullanılan benzer olmayan makinelerin beraber gruplanmasının öneminin vurgulanmasıyla birlikte başarılı hücreler için gerekli olan basitleştirilmelerin yapılabilmesidir (Yauch ve Steudel, 2002:593) . Parça - aile ve makine – hücre biçimlerine mevcut yaklaşımlar birçok farklı açıdan sınıflandırılabilir. Çözüme ulaşmak için sırasıyla aşağıdaki üç yaklaşım kullanılır (Wang, 2003:1607) :

- 1) İlk olarak makine hücrelerinin biçimlendirilmesi makine hücrelerine ve süreç bilgilerine göre parça ailelerinin oluşturulması
- 2) Parça ailelerinin biçimlendirilmesi ve süreç bilgisine ve parça ailelerine göre makine hücrelerinin oluşturulması
- 3) Makine hücrelerinin ve parça ailelerinin eş zamanlı olarak biçimlendirilmesi

Üretimde kullanılan maddelerin ve araçlardan parça aileleri oluşturularak ya da benzer süreçlere sahip olan ürünlerin benzer performansı olan kalemler arasında iş akışı yaratılarak ve zaman, yer ve bilgi açısından birbirine bağlanarak başarılı hücreler oluşturulabilir. Bununla birlikte, örgüt kültürü, güçlü bariyerleri değiştirmede rol oynar ve hücrelerin nasıl dizayn edileceğini ve uygulanacağını etkiler. İşgörenlerin hücre içerisindeki görevlerini düzgün bir şekilde yerine getirmelerini sağlamak yönetimin en önemli görevlerinden birisidir ve sağlamada hücre içerisinde yer alan zaman – yer – bilgi kavramları ile birlikte iş tatmini sağlar. Çalışanları ve görevleri hücre içinde bir araya getiren üç kritik bağ aşağıdaki gibi sıralanabilir (Yauch ve Steudel, 2002:593-594) :

Zaman : Birbirine bağlı işler arasındaki nakil ve bekleme süresidir. Bu sürelerin minimize edilmesi maliyet açısından bir avantaj sağlarken iş görenlerin tatminini de arttırmaktadır.

Yer : Oluşturulan makine hücreleri fabrika içerisinde hücreler arasındaki parça taşıma süresini en aza indirecek şekilde birleştirilmelidir. Böylelikle hem iş gören tatmini sağlanır hem de taşıma maliyetleri minimum edilerek toplam maliyet düşülür

ve ayrıca fabrika içerisindeki toplam kullanım alanı azaltılır. Bütün hücre görevleri birbirine fiziksel yakınlıklarına göre gerçekleştirilir.

Bilgi : Hücre aktivitelerinden sorumlu olan çalışanlar ve makineler hücrelerdeki görevlerin düzenlenmesiyle ilgili bilgilere sahiptirler (Hyer ve Brown, 1999:561). Hücresel üretim kaliteyi geliştirmek için gereken araçları temin ederken ürün gruplarını geliştiren esnek üretim çalışanlarına odaklanmayı içerir. Üretim süreçlerinin verimliliği çalışanların hücresel üretim takımları içinde yer almasıyla gelir . Hücrelerin etkin olması için, herkes hücre içindeki her işi öğrenmelidir ve görevleri bu bilgiye göre devam ettirmelidirler (Reynolds, 1998:89-90).

Üretim hücrelerinin uygulanması birçok tasarım kararlarını içermektedir. Bu kararlar insanla ilgili olan (hücre lideri kim olacak gibi) ve teknik (parça ailelerini ve makineleri hücrelere dağıtmak gibi) kararlardır (Chakravorty ve Hales, 2008:153). Grup teknolojisi kapsamında makine akışına bağlı olarak oluşturulan farklı parça aileleri farklı düzenlemeleri gerektirecektir. Yani, parça ailelerinin oluşturulma biçimi hücrenin ne şekilde tasarlanacağını etkiler. Yukarıda açıklanan zaman - yer – bilgi gibi üç kritik bağ kullanılarak başarılı bir hücre oluşturma süreci aşağıdaki gibi 4 aşamaya ayrılmıştır (Yauch ve Steudel, 2002:594) :

Düzenleme: Hücre kavramı; parça-makine spektrumlarını analiz ederek ve onları oluşturulan makine gruplarında üretilecek olan parça ailelerine ayırmaktır.

Tasarım : Tasarım hücre işlem parametrelerinin belirlenmesinde; parti büyüklüklerini, operatör sayısını, hücre liderinin kim olacağını, çapraz eğitim seviyesini, iş istasyonları arasındaki stok miktarlarını, hücre düzenini içerir.

Uygulama: Hücrelerin yaratılması hücre biçimlerinde ve dizaynlarında değişikliklerinin yapılması eylemleridir.

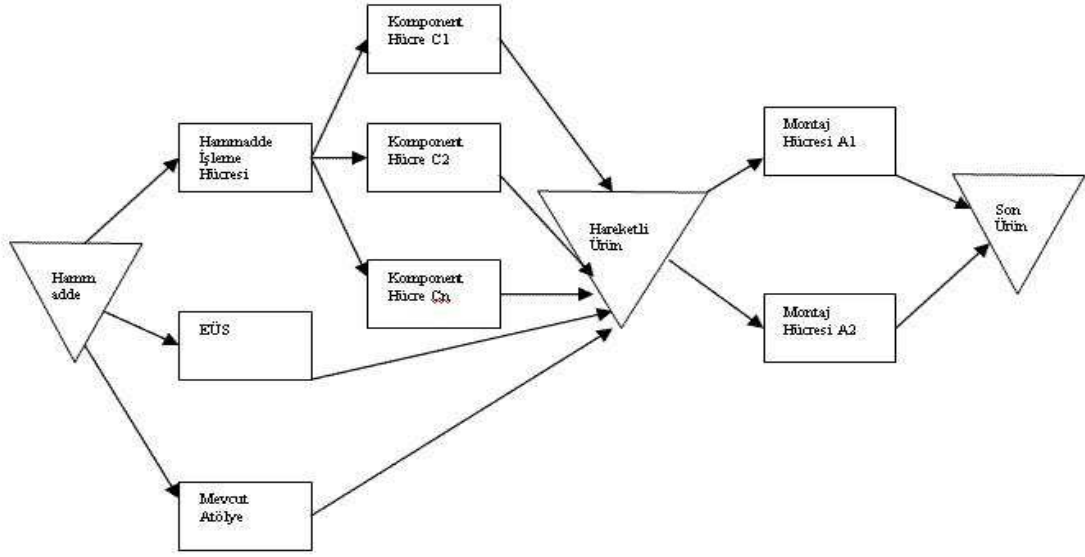
Operasyon: Hücreler içindeki günlük çalışmalar ve ürünlerin imalatını ifade eder.

Yukarıda sayılan dört aşamanın etkin bir şekilde uygulanabilmesi için hücrelerin ne şekilde dizayn edileceğine karar verilmesi gerekir. Bu karar üretimdeki başarı, müşteri memnuniyeti ve yönetim için önemli bir karardır. Makine hücreleri oluşturulduktan ve parça aileleri bu hücrelere atandıktan sonraki aşama hücrenin tanımlanması aşamasıdır.

2.4.2. Hücre Tanımlaması

Prototip hücreler üretim bölümlerinde düzenlenmiş “U” ya da “L” biçimlerine sahiptir. Bu biçimlemeler hammaddeleri taşıma zamanını azaltır ve küçük miktarların üretiminin kolayca yönetilmesine izin verir (Reynolds, 1998:90). 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. Böylelikle atölyeye yalın bir iş akışı egemen olur (Başaran, 2005:17).

Hücre içerisindeki ve hücreler arası ürün akışı hücrelerin “U” ve “L” dizaynlarına göre farklılık göstermekle birlikte amaç ürün akışını düzenli bir şekilde yaparak üretimdeki taşıma, zaman, fazla stok, ara stok, bekleme gibi işlemler minimize edilir. Bir hücresel üretim sistemi içerisindeki ürün akışı Şekil 13’deki gibi gösterilebilir .



Şekil 13: Hüresel Üretim İçerisindeki Ürün Akışı

Kaynak: www.enm.blogcu.com(10.05.2010)

2.4.3. Hücre Oluşturma ve Hücre Oluşturma Yönteminin Seçimi

Parça ailelerinin ve makine hücrelerinin oluşturulmasının grup teknolojisi ve onun üretim aşaması olan hüresel imalatın en önemli kısmıdır. Grup teknolojisi uygulamalarının en önemli alanı, sınıflandırma ve kodlama, süreç planlama, parça aileleri ve makine hücre dizaynı, grup teknolojisi düzenlemesi ve grup planlamasıdır (Gen ve Cheng, 2000:390). Makine hücreleri ya da diğer bir deyişle imalat hücreleri, bir ya da birkaç parça ailesini işlemek üzere gerekli makinelerin (torna, freze, matkap, CNC vb.) bir araya getirildiği ve ilgili işlem ekipmanlarının ve malzemelerinin manuel yani çalışanlar vasıtasıyla ya da otomatik yani robotlar, konveyörler vb. taşıma sistemleriyle taşınıp işleme hazır hale getirildiği imalat ortamlarıdır (Babalı, 2007:29). Hücre oluşturma, hüresel üretim sistemlerinin tasarımının ilk aşamasıdır. Bir üretim hücresi, belirlenen bir grup parçanın ailesinin üretimi için tasarlanmış ve düzenlenmiş makinelerden oluşan bir küme veya grup olarak tanımlanır. Oluşturulan parça aileleri hüresel imalata uygunluk açısından analiz edildikten sonra hücreler belirlenir. Bu aşamada her parça için tahmin edilen talep düzeyi ve her hücre için gerekli makine ve aletler saptanır. Belirlenen

saptamalar, hücreler arası iş yüklerinin, depolanması ve gelecekte esnekliğin sağlanması açısından gereklidir. Hücre tasarımında hücrelerarası makine paylaşımı söz konusu olmadığından, tüm hücrelerin tamamlanabilmesi için ilave makine alımları gündeme gelebilir. Oluşturulan hücrelerin verimliliği grup teknolojisi uygulamalarının da başarısını belirler.

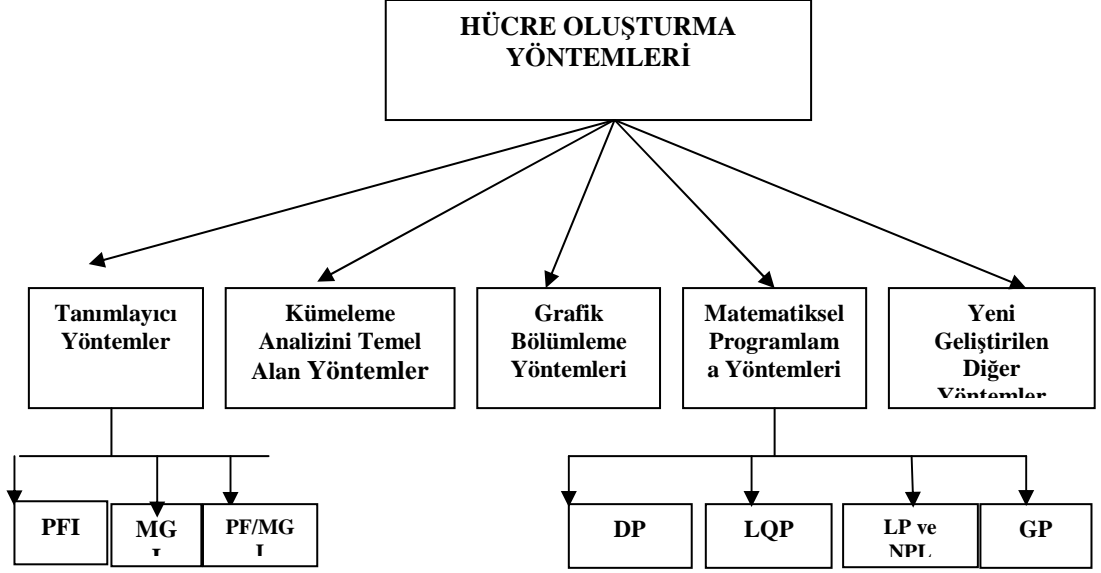
Literatürde grup teknolojisi ve hücreyel üretim sistemleri üzerine birçok çalışma mevcuttur. Chan (1981) doktora tezinde üretim felsefesi olarak grup teknolojisini incelemiştir. Wemmerlöv ve Hyer (1989) üretim hücrelerinin farklı makinelerin oluşturduğu küme ya da parça ailelerinin üretimine atanmış üretim hücreleri olduğunu belirtmişlerdir. Parçaların üretim, şekil makine kapasitelerine göre benzerliklerini incelemiştir. Hassan ve arkadaşları (1998) ilk çalışmalarında olarak hücreyel üretim sistemleri içerisindeki hücre tasarımını incelemiştir. Hücreyel üretim sistemlerinin ana yapısını akışını anlatmışlardır. Hücre tasarımı problemlerinde kullanılan matematiksel modelleri kapsamlı olarak incelemiştir. Berardi ve arkadaşları (1998) hücreyel üretimde alternatif makine kümeleri oluşturmak için matematiksel programlama kullanmışlardır. Kullandıkları bu yaklaşımın alternatif başlangıç matrisler arasındaki farklılıklara göre toplam maliyet üzerindeki etkisini incelemiştir. Arieh (1998) uzaklık matrisine göre parçaların grup teknolojisine dayalı parça kodlanmasını ele almıştır. Berardia ve arkadaşları (1999) hücreyel üretimde alternatif makine kümelemesini hesaplamak için matematiksel programlamadan yararlanmışlardır. Kondoh ve diğerleri (2000) üretim tesislerinin tanımlanmasının en büyük problemlerden birisi olduğunu belirtmişlerdir. Bu problemi çözmek için hücreyel üretim sistemlerini tanıtmışlardır. Çalışmalarında hücreyel üretim için bir model tanıtmışlar ve bir algoritim oluşturmuşlardır. Wang (2003) hücreyel üretimin tasarımı için gerçekleştirilen makine hücreleri ve parça aileleri için doğrusal görevlendirme algoritması kullanmışlardır. Benzerliklerine göre parça aileleri ve makine hücreleri oluşturmuşlardır. Malakooti ve Yang (2004) ana hücre tasarımı düşüncesine ek olarak süreç, üretim planlama kavramlarını da ekleyerek grup teknolojisi problemlerine başka bir bütünleşik yaklaşım ile çözüm bulmaya çalışmışlardır. Bu yaklaşım ile hücre tasarımı, süreç planlama ve üretim planlamaya çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşım hücrelerarası parça akışlarını minimize ederken makine – parça hücrelerinin ve parça süreç planlarını

tanımlamak için kullanılmıştır. Hachicha ve arkadaşları (2006), hücresele üretim sistemlerindeki en büyük problemin parça aileleri ve makine gruplarını belirlenmesi ve bunları üretim hücrelerine atanması olduğunu belirtmişlerdir. Makalelerinde hücre problemini çözmek için korelasyon analizine dayanan çok değişkenli yaklaşımı kullanmışlardır. Bu yaklaşım iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada korelasyon matrisi faktör matrisi olarak kullanılır. İkinci aşamada ise Temel Bileşen analizi eigen değerlerini ve vektörünü bulmakta kullanılır. Birden çok performans kriterine dayanarak yapılan bu çalışmada kullanılan yaklaşımın etkili ve pratik olduğu görülmüştür.

2.4.4. Hücre Oluşturma Yöntemleri

Hücresele üretim felsefesinin temelindeki düşünce sıraları / üretim için bekleyen parçaları akıllı bir şekilde bölümlere ayırma, süreçteki verimlilik, çizelgeleme ve verimliliğin azalmasını sağlayan kayıpları taşımaktır. Önceden tahmin edilemeyen talepler firmanın ürün hattını bölümlere ayırma yeteneğini azaltır. Ortaya konulan son model talep seviyelerindeki değişime, ürün çeşidine, ürün dizaynına ve dağıtıma göre esnek bir model olmalıdır (Selim vd, 1998: 6). Bugüne kadar geliştirilen ve literatürde yer alan birçok hücre oluşturma yöntemi mevcuttur. Makine hücre dizaynları kombinasyonel optimizasyon problemleri arasında sınıflandırılır. Çünkü parça – makine matrisi n tane satır, m tane sütundan oluşmaktadır ve $n!$ ve $m!$ kadar farklı şekilde oluşturulabilir. Hücre oluşturma problemleri grafik bölümlendirme, dizilişe dayalı, sınır ağları, matematiksel programlama ve diğer sezgisel yöntemler ile çözülebilir. Bu yöntemlerin hepsinde hücre içi ve hücreler arası taşımalar minimize edilmeye, hücrelerin bağımsızlığı, alternatif süreç planları, makine kapasiteleri maksimize edilmeye çalışılır (Gen ve Cheng, 2000:393).

Hücre oluşturma yöntemleri Şekil 14’de gösterildiği gibi beş başlık altında ele alınmaktadır:



Şekil 14 : Hücre Oluşturma Yöntemlerinin Sınıflandırılması

(Kaynak: Selim vd, 1998:7)

2.4.4.1. Tanımlayıcı Yöntemler

Hücre oluşturmada tanımlayıcı yöntemlerle parçalar ve makineler ayrı ayrı ya da aynı anda başka bir ifade ile eşzamanlı olarak gruplandırılır. Tanımlayıcı yöntemler üç ana başlık altında ele alınabilir. Birincisi parça ailesinin (PFI) belirlenmesini sağlar. Burada hücre oluşturma süreci, öncelikle parça ailelerinin belirlenmesiyle başlar, daha sonra bu ailelere makineler tahsis edilir. İkincisi, makine gruplarının (MGI) belirlenmesini sağlar. Burada hücre oluşturma süreci, öncelikle makine gruplarının belirlenmesiyle başlar, daha sonra bu gruplara parça aileleri tahsis edilir. Üçüncüsü ise parça aileleri ve makine gruplarının (PF/MG) belirlenmesini sağlar. Burada ise parça aileleri ve makine gruplarının belirlenmesi eşzamanlı olarak yapılır (Selim vd., 1998:7).

2.4.4.2. Kümeleme Analizini Temel Alan Yöntemler

Kümeleme analizi verilen grup halindeki elemanları ortak özelliklerini göz önüne alarak ayrıntılı bir şekilde optimum bölümlere ayırmayı kapsar (Rao, 1971:622). Hücre oluşturma yöntemi olarak kümeleme analizinde karmaşık veri setlerindeki yapıyı tanımlamak için aşağıda açıklanan yöntemlerden yararlanır. Kümeleme analizinde amaç nesnelere ya da onların özelliklerini kümeler içinde gruplamaktır (Selim vd., 1998:8).

Derece Sırası Kümeleme (ROC); Derece sırası kümelendirme tekniğinde parçaların rota kartlarındaki bilgiler ışığında parçaların işlem ihtiyaçlarını göstermek üzere makine – parça matrisi (0 – 1 matrisi) oluşturulmaktadır. Daha sonra oluşturulan bu matrise King Algoritması uygulanarak parça aileleri ve makine grupları belirlenmektedir. Derece sırası kümelendirme (ROC) algoritmasının temel hedefi, makine – parça matrisini köşegenel bloklara ayırarak birbirinden tamamen ayrılabilir makine – parça kümeleri elde etmektir. Yöntemin basitliği, bilgisayar uygulamalarında da kolaylıkla uygulanabilecek analitik bir yapıya sahip olması, makine gruplarını ve parça ailelerini es zamanlı olarak oluşturması, hızlı yakınsama ve düşük hesaplama süreleri gibi olumlu özellikleri de yöntemin avantajları arasında gösterilebilir. Derece sırası kümelendirme tekniğinin yukarıda sayılan avantajlarının yanında bir takım dezavantajları da söz konusudur. Tekniğin ürettiği sonuçların kalitesinin başlangıç matrisine duyarlı olması, başlangıç matrisinin temel kaynağı olan parça üretim rota kartlarının önemini daha da arttırmaktadır (Babalı, 2007:89). King algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Babalı, 2007:36-37).

Adım 1 : Makine – parça matrisinin her satırı için sırası ile (soldan sağa doğru) giriş değerlerinin ikili ağırlıklarına bakılır. Bunlar toplanarak satırların ondalık eşdeğerleri bulunur. Daha sonra satırlar, ondalık eşdeğerlerinin azalma derecesine göre sıralanır. Aynı değerli her satır için sıralama, elde bulundurma sırasına göre yapılır.

Adım 2 : Eger adım 1' de elde edilen derece sıraları ile, esas matrisin satır sıraları aynıysa işlem sona erer. Aynı değilse adım 3' e geçilir.

Adım 3 : Makine – parça matrisinin satırları, adım 1' de elde edilen derece sıralarına göre yeniden düzenlenir. Her sütun için, sırası ile (yukarıdan aşağıya doğru) giriş değerlerinin ikili ağırlıklarına bakılır. Bunlar toplanarak sütunların ondalık eşdeğerleri bulunur. Daha sonra sütunlar ondalık eşdeğerlerinin azalma derecesine göre sıralanır. Aynı ondalık eşdeğere sahip olan sütunlarda sıralama yapılırken sütun sırası değişmez.

Adım 4 : Eger adım 3' de elde edilen sütunların derece sıraları ile, esas matrisin sütun sıraları aynıysa işlem sona ermiştir. Aynı değilse Adım 5' e geçilir.

Adım 5 : Makine – parça matrisinin sütunları adım 3' de elde edilen derece sıralarına göre yeniden düzenlenir. Ve adım 1' e geri dönülür. Aynı işlem sırası her satır ve sütunda hiçbir değişiklik olmayıncaya kadar devam eder.

Direkt Kümeleme Analizi: Direkt kümelendirme tekniğinin çalışma prensibi de diğer tekniklerde olduğu gibi makine – parça matrisindeki satır ve sütunların yeniden düzenlenmesine dayanır. Bu teknikte kümeleri (hücreleri) oluşturmak üzere matrisin satır ve sütunlarındaki pozitif değerlere (1' lere) bakılarak, satırlar toplam pozitif değer sayısının azaldığı bir sıralama ile yukarıdan aşağıya doğru, sütunlar da toplam pozitif değer sayısının arttığı bir sıralama ile soldan sağa doğru düzenlenmektedir (Babalı, 2007:41)

Değiştirilmiş Derece Sırası Kümelendirme Analizi: Chandrasekharan ve Rajagopalan, derece sırası kümelendirme tekniği üzerinde bir takım gelişmeler ihtiva eden ve derece sırası kümelendirme algoritması ile elde edilen çözümlerin makine – parça matrisinin ilk haline bağımlı olması vb. zayıflıkları ortadan kaldırdığı ileri sürülen Değiştirilmiş Derece Sırası Kümelendirme (MODROC) tekniğini geliştirmişlerdir. MODROC algoritması sonunda elde edilen hücrelere son şeklini vermek üzere, hücreler arasında bir çeşit ilişki ölçütü tanımlanmaktadır. Söz konusu

ilişki ölçütü, parça ailelerini aralarındaki benzerlikleri en büyükleyerek hiyerarşik olarak kümelemek üzere bir çeşit tek bağlantı teknolojisi tarafından kullanılmaktadır (Offodile vd., 1994).

Küme Tanımlama Analizi: Küme tanımlama algoritmasında ilk olarak belirli bir ölçüğe göre en yüksek değeri olan parça seçilir. Bu parçanın işlem gördüğü makineler belirlenir. Üretim aşamalarında bu makinelerin kullanıldığı diğer parçalardan bir küme oluşturulur. Daha sonra hücre içindeki toplam makine sayısı önceden belirlenmiş bir sınırı asmamak koşulu ile oluşturulan kümedeki parçalar en yüksek değerli parçadan başlamak üzere hücreye atanırlar. Bu koşulu çiğneyen parçalar analizden çıkartılırlar. Yeni atamalar sonucu hücreye kazandırılan makinelerde işlenen atanmamış parçalardan yeni bir küme oluşturulur. Bu işlem önceden belirlenmiş hücre içi makine sayısını aşana kadar sürer. Belirli bir hücre tamamlandıktan sonra, kalan parçalar arasından en yüksek değerli parça anahtar olarak seçilir ve yeni bir hücrenin oluşturulması için gereken işlemler yinelenir. Bu döngü bütün parçalar atanıncaya ya da analizden çıkarılıncaya kadar devam eder (Kandiller ve Onur, 1988; akt. Babalı, 2007:42).

Bağ Enerji Yöntemi: Bir matrisin blok-köşegen yapısındaki BE'lerinin toplamı başlangıç matristeki BE'lerinin toplamından daha fazla olacaktır. 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 (Başaran 2005, 53).

Bağ Enerjisi yöntemde kullanılan algoritmanın adımları aşağıdaki sıralanabilir (Başaran, 2005:53)

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 aşağıdaki gibidir.

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

Bu matrislerden BE'si en yüksek olanı seçilir.

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 kullanılarak hesaplanır.

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

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.

Benzerlik Katsayısı Yöntemi: Hiyerarşik kümelemede, parça makine matrisindeki veri öncelikle birkaç geniş hücre içine ayrılır, daha sonra her biri daha küçük gruplara bölünerek parça aileleri ve makine grupları elde edilir. Hiyerarşik kümeleme yöntemlerinde birimlerin birbirleri ile birleştirilmesinde değişik yaklaşımlar uygulanmaktadır (Doğan, 2002:49). Hücrelerin oluşturulmasında kullanılan yöntemlerden en yaygın olanı benzerlik katsayısı yöntemidir.

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. Şimdiye kadar geliştirilmiş genel amaçlı BK'larından belli başlıları Tablo 2'de verilmiştir. BK'ları içerisinde en yaygın kullanılanı "Jaccard" BK'dır (Başaran, 2005:57).

Tablo 2: Genel Amaçlı Bazı Benzerlik Katsayıları.

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 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 ve Yasuda, 2005: 47)

Tek Bağlantılı Kümelendirme Yöntemi : Makineler arası benzerlik katsayılarını kullanan bir yöntemdir. Her bir makineyi ziyaret eden ve her iki makineyi de ziyaret eden parçalardan yola çıkarak makine çiftleri için benzerlik katsayıları hesaplanır. İki makine arasındaki benzerlik katsayısı şu şekilde hesaplanır (Babalı, 2007:46):

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

S_{xy} : X ve Y makineleri arasındaki benzerlik katsayısı

- a : X ve Y makinelerinin her ikisinde birden işlem gören parça sayısı
- b : Yalnızca X makinesinde işlem gören parça sayısı
- c : Yalnızca Y makinesinde işlem gören parça sayısı

Tek bağlantılı kümelendirme algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Babalı, 2007:46).

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

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

2.4.4.3. Matematiksel Programlama Yöntemleri

Yukarıda açıklanan iki hücre oluşturma yöntemi sezgiseldir. Bu yöntemler parça makine matrisinin yapısından etkilenirler. Ancak en iyi çözümü bulmayı garanti etmezler. Bu nedenle en iyi çözümü sağlayabilen yeni modeller geliştirilmiştir. Matematiksel programlama modelleri üretim hücreleri oluşturmada kullanılan en iyi yöntemlerden bir tanesidir (Gen ve Cheng, 2000:395).

Matematiksel programlama yöntemleri, dört grup içinde sınıflandırılabilir. Bunlar doğrusal ve doğrusal olmayan programlama (LP ve NLP), kuadratik programlama (QP), dinamik programlama (DP) ve hedef programlamadır (GP) (Selim vd., 1998:9).

Doğrusal programlama; belli bir amacı gerçekleştirmek için sınırlı kaynakların etkin kullanımını ve çeşitli seçenekler arasında en uygun dağılımını sağlayan matematiksel bir tekniktir. Model doğrusal kısıtlar altında doğrusal fonksiyonun değerini minimize ya da maksimize etmeye çalışır (Karacabey,10.05.2010). Bir

doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibi lineer olan bir amaç fonksiyonuna ve kısıtlara sahiptir. Ayrıca değişkenlerin negatif olmama kısıtı da vardır.

Amaç Fonksiyonu : Maksimize / Minimize $Z = c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + c_3 \cdot x_3 + \dots + c_n \cdot x_n$

$$Z_{\text{enb/enk}} = \sum_{j=1}^n C_j x_j$$

Kısıtlar :

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq \geq b_2$$

... ..

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq \geq b_m$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j (\leq, =, \geq) b_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, m)$$

Negatif olmama koşulu :

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \quad \text{veya kısaca } x_j \geq 0 \quad (j=1, 2, 3, \dots, n)$$

Doğrusal Olmayan Programlama; Bir optimizasyon probleminde, amaç fonksiyonuyla kısıtların bazıları ya da tümü doğrusal olmayan ifadelerse bu problem, doğrusal olmayan programlama problemidir. Doğrusal olmayan programlama problemi, genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir (Gürsu ve İnce, 2009:3)

Amaç Fonksiyonu : Min,max $f(x_1, 2, 3, \dots, n)$

$$\text{Kısıtlar } \left\{ \begin{array}{l} g_1(x_{1,2,3,\dots,n}) (\leq, = \text{ veya } \geq) b_1 \\ g_2(x_{1,2,3,\dots,n}) (\leq, = \text{ veya } \geq) b_2 \\ \dots \\ g_m(x_{1,2,3,\dots,n}) (\leq, = \text{ veya } \geq) b_m \end{array} \right.$$

Hedef Programlama ; Hedef programlama, birden fazla amaç için belirlenebilen hedef değerlerinden aşağı ve yukarı sapmaları minimize edecek tek bir amaca dönüştüren, çok amaçlı programlama modellerinden biridir (Gümüşoğlu ve Özdemir,

2006:359). Hedef Programlama tekniği hedeflerden sapmayı minimize etmenin yanında bu işlemleri hedefler arasında öncelik ve öneme göre yapan bir tekniktir. Hedefler arasında öncelik ve önem modeline bunlarla ilgili katsayıların eklenmesi ile sağlanmaktadır. Hedef programlamanın genel ifadesi (Ediz ve Yağdıran, 2009:50)

$$\text{Amaç Fonksiyonu : } \mathbf{Min} \quad \sum \sum w_k p_k (d_i^{+(-)})$$

Kısıtlar :

$$\begin{aligned} g_i & \leq d_i^- - d_i^+ = b_i \\ g_k & \geq 0 & i = 1, 2, \dots, m \\ x_j, d_j^-, d_j^+ & \geq 0 & k = 1, 2, \dots, p \\ d_i^- & \geq 0 \\ d_i^+ & \geq 0 \end{aligned}$$

şeklinde-dir. Burada p_k hedefin öncelik sırasını w_k ise ağırlık katsayısını ifade etmektedir. b_i hedef değerlerini, d_i^- ve d_i^+ ifadeleri ise sırasıyla hedeften negatif ve pozitif sapmaları tanımlamaktadır.

Dinamik Programlama; Ekonomik hayatta, şu an verilen kararlar geçmişte alınan kararlardan etkilendiğinden ve gelecekte alınacak kararlar da bugünden etkileneceğinden, karar verme süreçleri dinamik özellikler taşımaktadır. Çok amaçlı dinamik programlama modeline, hedef programlama modeli temelinde yaklaşım dinamik amaç programlamanın yapısını oluşturmaktadır. Hedef programlama problemlerinde, hedef değerinden pozitif ve negatif sapmalar (d^+ ve d^-) belirlenmektedir. Dinamik amaç programlama modelinin amaç fonksiyonu, çok amaçlı hedef değerlerinden pozitif ve negatif sapmaların $d^+(j)$ ve $d^-(j)$, pozitif-ağırlık katsayı vektörü ve negatif-ceza katsayı vektörü (C^+ ve c^-) değerleri dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Dinamik programlama modeli aşağıdaki gibi modellenir (Gümüšođlu ve Özdemir, 2006: 364) :

$$\mathbf{min} \left\{ \left(\sum_{k=1}^K c^+ d^+(j) + (c^- d^-(j)) \right) : j \in J \right\}$$

2.4.4.4. Grafik Bölümleme Yöntemleri

Parça aileleri, makine hücrelerinde işlem gören parçaların, en büyük yoğunluk kuralına bağlı olarak bir araya getirilmesiyle oluşturulur (<http://www.genelbilge.com>, 22.03.2010). Grafik bölümleme yönteminde parça makine matrisi grafik formülasyonu şeklinde gösterilir. Bu grafikte makineler ve/veya parçalar düğümlerde gösterilir ve parçaların islenmesine göre bu düğümler birleştirilir. Örneğin bir nolu parça bir nolu makinede isleniyorsa bu grafikte $P1 \longrightarrow M1$ şeklinde gösterilir. Bu yöntemler imalat hücrelerini belirlemek için makine - makine ya da makine - parça grafiğinden alt grafikler ayırmayı amaçlar. Düğümlerin ve çizgilerin gösterilmesine bağlı olarak, grafiğin üç tipi kullanılabilir. Bunlar iki kısımlı grafik, geçişli grafik ve sınırlı grafik (Selim vd.,1998:9).

2.4.4.5. Yeni Geliştirilen Diğer Yöntemler ve Algoritmalar

Hücre oluşturma problemi optimizasyon probleminin bir kombinasyonudur. Optimizasyon algoritmaları uzun bir hesaplama zamanı ile yerel bir optimal çözüm sağlarlar. Bu algoritmalar başlangıç çözüme, girdi parça makine matrisinin gruplanabilirliğine ve belirlenecek hücre sayısına duyarlıdır. Bu dezavantajları giderecek yeni yöntemler son zamanlarda ortaya çıkmıştır. Literatürdeki yeni yöntemler tavlama benzetimi, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları, tabu araştırması gibi algoritmalarlardır .

2.4.4.5.1. Tavlama Benzetimi

Tavlama Benzetimi kombinatoriyal optimizasyon tekniğidir. Tavlama Benzetimi algoritması genellikle yüksek sıcaklıktaki ilk çözümle başlar ve her bir sıcaklıkta akıl karıştırır. Yüksek sıcaklıklarda birçok hareket kabul edilebilir ve sistem kendi farklı çözüm aralıklarında özgürce hareket eder. Diğer bir yandan düşük sıcaklıklarda doyumsuz bir algoritma gibi hareket eder (Srivastava ve Chen, 1993:287). Tavlama Benzetimi ismi, katıların fiziksel tavlama süreci ile olan

benzerlikten ileri gelmektedir. Tavlama Benzetimini belli bir kombinatoriyal optimizasyon problemine uyarlamak için verilmesi gereken bir takım kararlar vardır. Bu kararlar, probleme özgü ve tavlama planına özgü kararlar olarak ikiye ayrılabilir (Arıkan ve Erol, 2005:143).

Tavlama Benzetimi rassal olarak çalışır. Uygunluk fonksiyonunu düşüren değerleri kabul etmez. Sonuç bir olasılık ile kabul edilir. Tavlama Benzetimi algoritmaları aşağıdaki elementlerle birlikte süreç yapısının ve süreç gereklerinin tavlama sürecine bağlıdır (Özdağoğlu, 2008:360) :

- Olası sonuçların yeniden gösterimi,
- Çözümdeki rassal değişikliklerin üretilmesi,
- Problemin fonksiyonunun değerlendirilmesi,
- Tavlama çizelgelemesi

Tavlama Benzetimi algoritması için gerekli olan bazı parametreler vardır. Geleneksel Tavlama Benzetimi Algoritması aşağıda sayılan bu kritik parametrelerle çalışır fakat problemin yapısına göre gerekli görüldüğünde farklı parametreler eklenebilir. Tavlama çizelgelemesinde kullanılan parametreler şu şekilde sıralanabilir (Özdağoğlu, 2008:361):

- 1) Başlangıç sıcaklığı (T_0);
- 2) Sonlandırma kriteri olarak son sıcaklık (T_f);
- 3) Sıcaklığın azaltılması için gerekli kurallar.

2.4.4.5.2. Tabu Araştırması

Tabu araştırması, grafik teorisi ve karık tamsayılı programlama problemleri arasında uygulamaları olan kombinatoriyal optimizasyon problemlerin çözümünde kullanılan bir stratejidir. Tabu Araştırması lineer programlama algoritması gibi birçok metodun kullanılabilir hale getirilme prosedürüdür (Glover, 1989:190).

Tabu araştırması sistematik şekilde var olan çizelgelemeden daha kötü, seçilmesi olası olan çözümlere izin verir. Tabu araştırması zıtlıklara engel olmak için yasaklanmış kısıtlama listesini devam ettirir ya da bazen kesin hareketleri yineler (Kavrukkoca, 2003:27).

Tabu Araştırması'nın en önemli özelliklerinden biri, benzer çözümlerin tekrarlı şekilde yeniden incelenmesini önlemek üzere oluşturulan bir tabu listesine (tabu list) sahip olmasıdır. Belirli kriterleri sağlamayan ve diğerlerine göre kalitesi düşük olan çözümler bu liste içine dahil edilir ve araştırmanın yeniden bu çözümler üzerine yönelmesi engellenmiş olur. Tabu listesinin kullanımı sayesinde algoritma, aynı kalitesiz çözümleri yeniden değerlendirmeye almayacağından, önemli bir zaman kazanımı sağlar.

Tabu listesine dahil edilecek olan çözümlerin belirlenmesi bazı tabu şartlarına (tabu conditions) göre yapılır. Tabu listesine konulacak çözümlerin belirlenmesinde tabu şartları göz önünde bulundurulur. Bu şartlar iki önemli faktöre dayalıdır. Bunlar, yakınlık hafızası (recency memory) ve sıklık hafızasıdır (frequency memory). Yakınlık ve sıklık hafızaları sırasıyla bir çözümün en son ne zaman ve hangi sıklıkla denendiğine ilişkin bilgileri saklarlar. Bu bilgiler, problemin yapısına göre oluşturulan bazı şartlar doğrultusunda değerlendirilir ve ilgili çözümün tabu listesine alınıp alınmayacağına karar verilir (Bağış, 2003:516). Tabu araştırması algoritmasının adımlarının basit şekilde tanımı şöyledir:

1. İlk var olan sonucun seçilmesi ve tabu listesi
2. Mevcut çözümün komşusunun değerlendirilmesi ve komşudaki var olan sonucun en iyi yasak olmayan çözümün güncellenmesi
3. Yeni çözümün niteliklerinin eklenmesi ya da düzensizliğin tabu listesine uygulanması

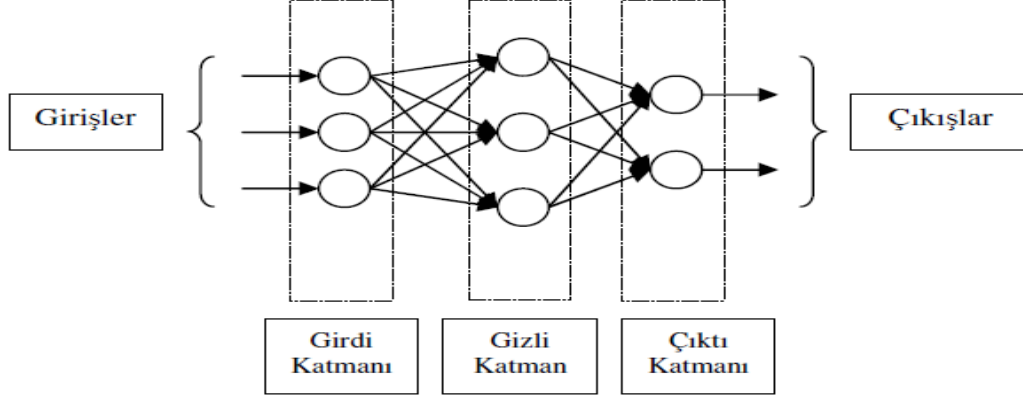
4. Eğer maksimum iterasyon numarasına ulaşılmışsa algoritma durdurulur, aksi takdirde parametrelerin güncellenmesi ve 2. basamağa gidilmesi

2.4.4.5.3. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları teorisinin temeli biyolojiye dayanmaktadır. Sinir ağları beynin sayısal modelidir. Sinir ağı modelleri genellikle paralel bir şekilde işlenen ve birbirine bağlanan nöronların birçok basit parçalara dağıtılarak hesaplandığını varsayar. Sinir ağlarının en önemli özelliği, deneyimlerden yararlanarak öğrenebilmesidir. Yapay sinir ağları, bir başka deyişle, biyolojik sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programlarıdır (Elmas, 2003:23). Yapay sinir ağının yapısında, nöron (yapay sinir hücresi), bağlantılar ve öğrenme algoritması olmak üzere üç bileşen bulunur. Nöron, bir yapay sinir ağının temel işlem elemanıdır. Ağ içerisinde yer alan nöronlar, probleme etki eden faktörlere göre bir veya birden fazla girdi alırlar ve problemde beklenen sonuç sayısı kadar çıktı verirler. Nöronların birbirleriyle bağlantılar aracılığıyla bir araya gelmeleri yapay sinir ağını oluşturmaktadır (Çuhadar vd, 2009:102).

Yapay sinir ağları, ağırlıklandırılmış şekilde birbirlerine bağlanmış bir çok işlem elemanlarından (nöronlar) oluşan matematiksel sistemlerdir. Bir işlem elemanı, aslında sık sık transfer fonksiyonu olarak anılan bir denklemdir. Bu işlem elemanı, diğer nöronlardan sinyalleri alır; bunları birleştirir, dönüştürür ve sayısal bir sonuç ortaya çıkartır. Genelde, işlem elemanları kabaca gerçek nöronlara karşılık gelirler ve bir ağ içinde birbirlerine bağlanırlar; bu yapı da sinir ağlarını oluşturmaktadır (Usta, 2007:24). Hücrel yapay sinir ağları hücrelerden meydana gelmiş ve her bir hücre en yakınındaki hücre ile etkileşim ve komşuluk ilişkisi içerisinde bulunan dinamik yapay sinir ağı modelidir. Hücrel yapay sinir ağları, ilk olarak 1988 yılında Leon Chua ve Lin Yang tarafından ortaya atılmıştır (Chua ve Yang, 1988:1257). En çok kullanılan sinir ağı ileri bildirimli olan çok katmanlı algılayıcılardır. Bütün işaretler ağ içindeki girdilerden çıktılara doğru ilerlerler. İleri beslemeli ağlar girdi ve çıktı arasında statik eşleme yaparlar. Nöronların çıktılarının aynı nöronlar tarafından beslendiği yinelenen ağlar, dinamik hafızaya sahiptirler (Pham ve Pham, 1999:941).

Yapay sinir ağı girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere üç bölümden oluşur. Bir sinir ağı modeli Şekil 15’de gösterilmiştir.



Şekil 15: Bir Yapay Sinir Ağı

Kaynak : Çuhadar vd., 2009: 102

2.4.4.5.4. GENETİK ALGORİTMA

Genetik algoritma doğal evrimden esinlenen stokastik optimizasyon yöntemidir. Bununla birlikte genetik algoritmanın uygulanabilir olması için, problem için verilen potansiyel çözümler in kromozom olarak bilinen sayı dizilerince temsil edilebilir olması gerekir ve her bir kromozomun uygun ya da iyi olması gerekir. Genetik algoritma bir seferde grup ya da popülasyon kromozomlarının üzerinde çalışır (Pham ve Pham, 1999:942). Yeniden üretim, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik algoritma operatörleri mevcut popülasyondan yeni ve gelişmiş popülasyon yaratmak için kullanılır (Kannan ve Shunmugam, 2008:795). Yeniden üretim var olan nesilden, popülasyondan rastgele seçimler yapılarak yeni nesil oluşturulmasıdır. Çaprazlama, popülasyon içinden yeni yapılar oluşturmak için kromozomların nasıl seçileceğini tanımlar (Zhaoqing ve diğ., 2009:6166). Mutasyon, varolan kromozomlardan rastgele seçimler yapılarak yeni popülasyonun oluşturulmasıdır.

Genetik Algoritma zor optimizasyon problemlerini çözmek için mühendislik alanında kullanılmaya başlanmıştır. Geometrik programlama, dinamik programlama

ve kuadratik programlama gibi geleneksel optimizasyon teknikleri ile karşılaştırıldığında genetik algoritma, sınırlı optimal çözümlere göre daha ayrıntılı çözümler sunar (Zhaoqing ve diğ., 2009:6166).

Üretim hücrelerinin modellenmesinde yukarıda saydığımız algoritmaların bir çoğu kullanılmaktadır. Uygulama bölümünde siparişe dayalı üretim hücrelerinin modellenmesinde metal sektöründe sık olarak kullanılan genetik algoritma kullanılacaktır. Üçüncü bölümde Genetik Algoritma ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GENETİK ALGORİTMA

3.1. GENEL AÇIKLAMA

Evrım bir canlı popülasyonundan genlerdeki mutasyon, çevresel değişiklikler, göçler, çeşitli canlılar arasındaki gen aktarımı sonucu yeni bir popülasyon oluşmasıdır. Biyolojik evrim canlı türlerinin nesilden nesile kalıtsal değişime uğrayarak ilk halinden farklı özellikler kazanmasıdır. Darwin evrim kuramını doğal seçilim adını verdiği sürece dayandırmıştır. Doğal seçilimin üç temel bileşeni bulunur. Genetik karakterlerin devamını sağlayan kalıtım, farklı karakterlerin popülasyondaki zenginliğini sağlayan çeşitlilik ve bu çeşitli karakterlerden doğadaki koşullara en uygun olanının hayatta kalmasını sağlayan seçilimdir. Bu temeller doğrultusunda Darwin'e göre aynı türden olan canlılardan daha çok işe yarar özelliklere sahip olan canlılar hayatta kalma yarışında avantajlı duruma geçiyor ve bu nedenle soyunu devam ettirme şansını arttırıyordu. Evrim teorisine göre bir canlı popülasyonunda çeşitli karakteristikler mevcuttur ve bu değişken karakteristikler popülasyondaki bireyler tarafından yeni doğanlara aktarılır canlılar ölenlerin yerine geçecek sayıdan daha fazla yavrularlar, ortalamada popülasyon rakamları genelde sabit kalır, hiçbir popülasyon sonsuza kadar büyüme göstermez.

Genetik Algoritma (GA), bir mühendis ve aynı zamanda bir biyolog olan John Holland tarafından 1965'te ortaya atılmış bir yöntemdir. Holland, Darwin'in Evrim Teorisi'ni ve "Güçlü olan hayatta kalır" prensibini en iyileme sürecine uyarlamıştır. Genetik Algoritma'nın kökeni Charles Darwin'e dayanır. Darwin, 1859 yılında "Türlerin Kökeni" eserinde su tezleri öne sürdü (Beasley, 1993:1) :

1. Türler sürekli bir gelişme içindedir.
2. İnsanların ataları maymunlar olabilir.

3. Organizmaların üreme potansiyeli yüksektir ama hayatta kalan birey oranı çok düşüktür.
4. Bir türün bireyleri arasındaki değişimler çok yüksektir.
5. Bireyler arasındaki bu çeşitlilik kalıtsal olarak ebeveynlerden çocuklara aktarılır.

Günümüzdeki rekabet koşulları firmaları karşılaştıkları sorunlara hızlı ve kolay bir şekilde çözmesine yardımcı olacak yeni çözüm yöntemleri arayışına sokmuştur. Bu nedenlerden dolayı birçok optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir. Genetik algoritmalar evrimsel algoritma yaklaşımlarından olan algoritmalardır. Uygulamadaki başarısından dolayı sürekli geliştirilmektedirler. Temeli 1975 yılında John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Genetik algoritmaların ortaya çıkışından sonra birçok birçok bilimsel çalışma yapılmış, geliştirilmiş ve birçok alanda uygulanmaya başlanmıştır. Holland'dan sonra Genetik Algoritma'ların gelişimi 1985 yılında Holland'ın doktora öğrencisi inşaat mühendisi David E. Goldberg ile devam etmiştir. Goldberg, Genetik algoritmanın teoriden pratiğe dönüştürülemez tabusunu yıkmış ve 1989'da yayınlanan "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning" adlı kitabında genetik algoritma içeren 83 uygulama göstermiştir (Altay, 2007:8).

Genetik algoritma rassal olarak üretilen kromozomlardan oluşan popülasyonla başlar ve genetik operatörler uygulanarak daha iyi kromozomların elde edilmesiyle devam eder (Herrera vd., 1996:3). Bir canlının doğada sağ kalabilmesi, genlerinin doğaya ne kadar uygun olduğuyla doğru orantılıdır (Beasley vd, 1993:1).

3.2. GENETİK ALGORİTMA KAVRAMI

Genetik algoritma, rassal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan sezgisel bir arama tekniğidir (Goldberg, 1989:10). Algoritma mevcut popülasyondan genlerini çocuklarına aktaracak olan aile adı verilen bireyleri seçer popülasyondan seçilen aile bireyleri bir sonraki

popülasyondaki çocukları üretmek için kullanır. Algoritma genel olarak yüksek uygunluk değerlerine sahip olan bireyleri seçer. (Hall, 2005:25). Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritmalar, yalnızca amaç fonksiyonuna ihtiyaç duyarlar. Çözüm uzayının belirli bir kısmını tarayarak etkin arama yaparlar ve diğer yöntemlere göre çok daha kısa sürede çözüme ulaşırlar (Goldberg, 1989:11).

Genetik algoritma bir sonraki nesil için üç farklı çeşitte çocuk üretir. Bunlardan ilki elit çocuklardır. Elit çocuklar mevcut nesil içerisindeki en iyi uygunluk değerine sahip olan bireylerdir. İkinci olarak çaprazlama çocuklar üretir. Çaprazlama yoluyla oluşan çocuklar karşılıklı olarak bir araya gelen aile bireylerinden rassal olarak genlerin seçilerek yer değiştirmesiyle oluşurlar. Üçüncü olarak mutasyon yoluyla meydana gelen çocuklar vardır. Bir bireydeki rassal değişikliklerden ya da mutasyondan sonra oluşan çocuklardır (Hall, 2005:25).

Doğal seçilime dayalı biyolojik evrimi temel alan optimizasyon problemlerini çözmeye yarayan bir metod olan genetik algoritmalar, klasik optimizasyon algoritmalarından dört temel noktada ayrılır (Sinreich ve Samakh, 1999:83).

- Genetik algoritma parametrelerin kendileri ile değil, parametre takımının kodlanmış bir haliyle uğraşırlar.
- Genetik algoritma aramaya tek bir noktada değil, bir nokta ailesinden başlarlar. Dolayısıyla yerel bir optimuma takılmadan çalışabilirler.
- Genetik algoritma amaç fonksiyonunun (objective function) türevlerini ve bir takım ek bilgileri değil, doğrudan amaç fonksiyonunun kendisini kullanırlar.
- Genetik algoritma da deterministik değil rastlantısal geçici kurallar kullanılır.

3.3. GENETİK ALGORİTMALARDA KULLANILAN TEMEL KAVRAMLAR

Genetik algoritmaların başarılı bir şekilde çalışmasında algoritma yapısında kullanılan kavramların iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu kavramlar aşağıda açıklanmıştır.

3.3.1. Gen ve Kromozom Yapısı

Gen yapısında kendi başına birer genetik bilgi taşıyan en ufak yapı birimidir. Bu küçük yapıların bir araya gelmesiyle bütün bir çözüm kümesini oluşturan kromozom (dizi) meydana gelir. Bir genin içerdiği bilgi sadece ikili tabandaki sayıları içerebileceği gibi onluk taban ve onaltılık tabandaki sayı değerlerini de içerebilir. Bu bakımdan gen içeriği büyük önem taşımaktadır. Genler bireyin karakterini ögesidir.

Kromozom ise bir ya da birden fazla genin bir araya gelerek problemin çözümüne ait tüm bilgiyi içeren dizilerdir. Kromozomlar yeni nesiller oluşturarak değişikliklere uğrar (Nabiyev, 2005:633). Dizi olarak tanımlanırlar. Kromozomların bir araya gelmesiyle popülasyon oluşur. Popülasyondaki her bir bireye kromozom, kromozomdaki her bir bilgiye gen denir. Kromozomun hangi kısmının ne anlam taşıyacağı, ne tür bilgi içereceği genetik algoritma yaklaşımlarında büyük önem taşımaktadır.

3.3.2. Popülasyon ve Başlangıç Popülasyonu

Popülasyon, çözüm bilgilerini taşıyan kromozomların bir araya gelmesiyle oluşan olası çözüm grubudur. Popülasyon evrimin içerisinde doğal seçim şeklinde yer alır (Herrera vd, 1996:3). Popülasyonun içerisindeki birey sayısı genetik algoritma çözümlerini doğrudan etkilemektedir. Fazla sayıdaki kromozom problemin çözüm süresini uzatırken, az sayıdaki kromozom çözüme ulaşmamızı engeller.

Popülasyon içerisindeki birey sayısı problemin özelliğine göre belirlenir. Başarılı her popülasyon yeni nesil olarak adlandırılır (Hall, 2005:21).

Genetik algoritmayı diğer sezgisel arama yöntemlerinden ayıran bir özellik; çözümü noktadan noktaya değil noktaların oluşturduğu popülasyon içinde aramasıdır (Elmas, 2007:389). Evrim sürecine başlamadan önce başlangıç popülasyonu geliştirilmelidir. Başlangıç popülasyonu oluşturma genetik algoritmaların ilk aşamasıdır. Başlangıç operasyonu rassal olarak ya da spesifik algoritmaya göre üretilebilir (Kavrukkoca, 2003:38). Popülasyon birden fazla genin bir araya gelerek oluşturduğu diziler yani kromozomlardan oluşur. Kromozomlar mümkün çözüm alternatiflerinin kodlarını taşır. Kromozomlar aynı zamanda yer aldığı popülasyon için birer bireydirler (Aydemir, 2009:41).

3.3.3. Uygunluk Fonksiyonu

Genetik algoritmalarda en önemli faktörlerden birisi uygunluk değeridir. Uygunluk fonksiyonu problemin maksimum veya minimum olmasına göre her problem için özel olarak belirlenir (Bolat, 2006:15). Uygunluk fonksiyonu her jenerasyon için popülasyonun içindeki her kromozomun uygunluk değerini hesaplar. Bireyin hayatta kalma durumunu yani uyumunu gösteren değerdir. Yüksek değerler bireyin hayatta kalma olasılığının daha yüksek olduğunu belirtir. Genetik algoritmada amaç fonksiyonunu ifade eder. Kromozomların, çözümde gösterdikleri başarı derecesini belirleyen bir değerlendirme işlemidir. Uygunluk değeri popülasyonda yer alan her bir bireye ait çözümün hesap değeridir. Hangi kromozomların bir sonraki nesle taşınacağı ve hangi kromozomların yok olacağı uygunluk değerlerinin büyüklüğüne göre karar verilir (Elmas, 2007:389). Çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksekse yaşama ve çoğalma o kadar fazladır.

3.3.4. Seçim

Kromozomların bir araya gelmesiyle oluşan popülasyon içinden hayatta kalabilen ya da en iyi özelliklere sahip olan canlıların seçilmesidir. Genetik

algoritmaların dayandığı prensip Darwin'in doğal seçilimidir (Gen ve Cheng, 2000:9). Uygunluk değerinin hesaplanması adımından sonra mevcut kuşaktan yeni bir popülasyon yaratılmalıdır. Seçim işlemi, bir sonraki kuşak için yavru üretmek amacıyla hangi ailelerin yer alması gerektiğine karar vermektedir (Emel ve Taşkın, 2002:134). Uygunluk değerine göre daha iyi uygunluk değerine sahip kromozomların seçilme ihtimalleri daha fazladır (Elmas, 2007:390). Topluluk içerisinde uygunluk fonksiyonuna göre iyi olanı seçerek popülasyon büyüklüğünü belirlerken birçok seçim yönteminden faydalanır. Genetik algoritmada uygun kromozomları seçmek için Rulet Tekerli Seçimi, Turnuva Seçimi, Sıralama Seçimi gibi birçok yöntem kullanılır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz.

3.3.4.1. Rulet Tekerleği Seçimi (Roulette Wheel Selection)

Genetik algoritmalarda en yaygın olarak kullanılan seçim mekanizması rulet tekerleği seçimidir. Bu seçimde çember n adet parçacığa bölünmüştür. Her aralık bir kromozomu temsil eder. Her kromozomun uygunluk değeri toplam uygunluk değerine bölünür. Bu şekilde popülasyon içindeki her kromozomun çözüm kümesi içindeki $[0 - 1]$ arasındaki değerleri bulunur. Kromozomlar toplam uygunluk değerine göre yüzdelik olarak çemberde temsil edilirler. Tekrar üreme için rulet tekerleğinin döndürülmesi gerekir. Bunun için sıfırla topla uygunluk değeri arasında rastgele bir sayı üretilerek bu sayının tekerleğin hangi parçasına karşılık geldiğine bakılarak kromozom seçilir. Çemberin bir defa döndürülmesi ile bir sonraki nesle aktarılacak olan kromozomların bir tanesi seçilmiş olur (Elmas, 2007:391). Bireylerin uygunluk fonksiyonlarına göre rulet tekerleğinde kaplayacakları hacim belirlenir, uygunluk fonksiyonu yüksek olanların rulet tekerleğinde daha fazla hacimler kaplaması beklenir. Böylelikle rulet tekerleği çevrildiğinde uygunluk fonksiyonu yüksek olan bireylerin seçilme şansı yükselmiş olur. (<http://www.optisu.com/tr/secme.htm>, 21.04.2010). Bu yöntemin adımları şu şekildedir (Deb, 2001)

Adım 1: Tüm fonksiyonlar için uygunluk fonksiyonun aldığı değer diğer bir deyişle uygunluk değeri (f_i) hesaplanır.

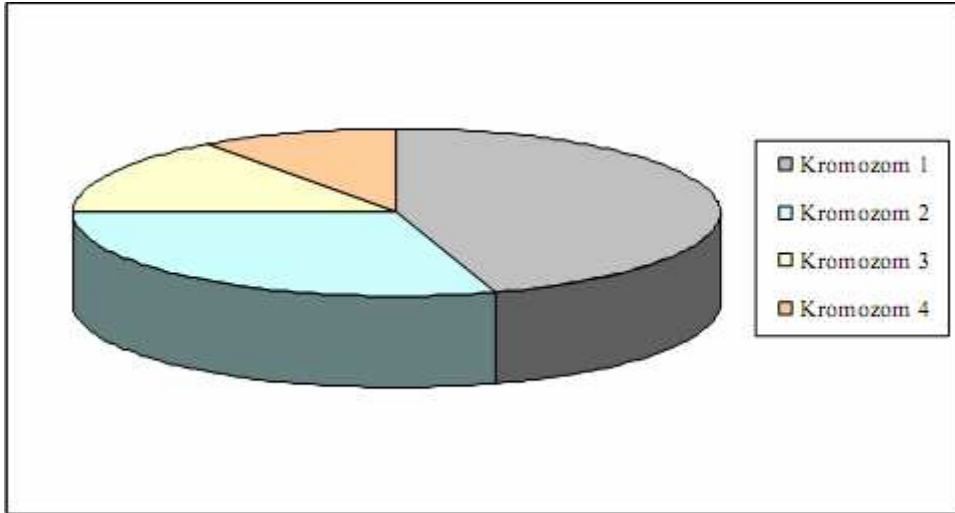
Adım 2: Uygunluk değerinin toplamı ($\sum f$) bulunur.

Adım 3: Bireylerin seçilme olasılığı $p_i = f_i / \sum f$ hesaplanır.

Adım 4: Her birey için bu olasılık değerleri sınır alınarak rassal sayı aralıkları belirlenir.

Adım 5: Birey sayısı kadar rassal sayı atılır.

Adım 6: Rassal sayılara karşılık gelen kromozomlar yeni bireyler olarak alınır.

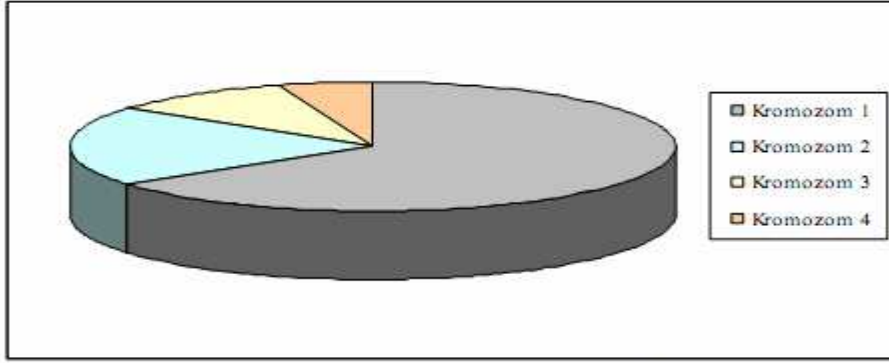


Şekil 16 : Rulet tekeri örneği

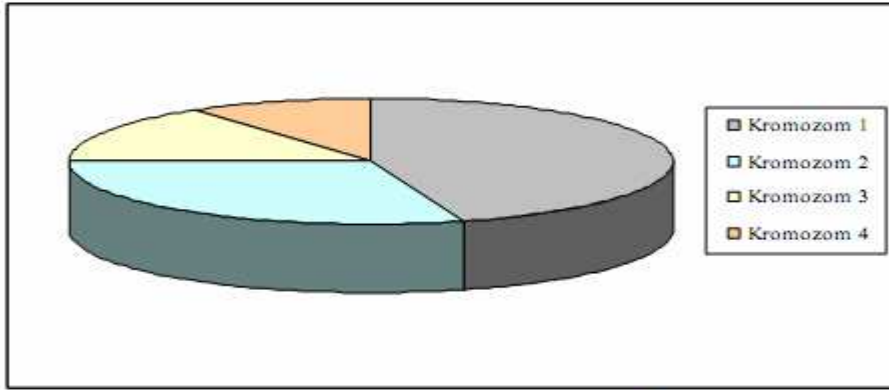
3.3.4.2. Rank Seçimi

Uygunluklar çok fazla değişken olduğunda rulet tekerleği seçim yöntemi ile sağlıklı bir populasyon oluşturulamaz. En iyi kromozom uygunluğu tüm rulet tekerleğinin %90'ı ise diğer kromozomların seçilme şansları çok az olacaktır (Obitko, 1998:22). Bundan dolayı rank seçimi kullanılabilir.

Rank seçimi önce popülasyonu sıralar ve daha sonra her kromozom, uygunluğu bu sıralamadan sonra alır. Kromozomlardan en kötüsü 1 uygunluğunu, ikinci en kötü 2 ve en iyisi N uygunluk değerini alır. N popülasyondaki kromozom sayısıdır. Uygunluk sıraya göre belirlendiği zaman durum değişmektedir. Bu şekilde tüm kromozomların seçilme şansı olacaktır. En iyi diziden başlanır ve bir orantılı seçim yöntemi kullanarak yeni popülasyon oluşturulur. Şekil 18’te sıralama öncesi ve sonrası uygunluk ve dizi değerleri grafikleri verilmiştir.



a. Sıralama Öncesi Durum (Uygunluk Grafiği)



b. Sıralama Sonrası Durum (Sıra Sayısı Grafiği)

Şekil 17 : Sıralama öncesi ve sonrası uygunluk ve dizi değerleri grafikleri

3.3.4.3. Kararlı Durum (Steady State)

Ebeveyn seçiminde belirgin bir metot değildir. Bu seçim yönteminin temel mantığı, seçilen büyük kromozom parçalarının yeni nesiller için hayatta kaldığının kabul edilmesidir. Genetik algoritmada her bir nesilde seçilen birkaç iyi ya da yüksek

uygunluğa sahip kromozomlar ile yeni oğul kromozomlar üretilir. Sonra bazı kötü ya da düşük uygunluktaki kromozomlar kaldırılır ve yeni oğullar ile yer değiştirirler. Böylece popülasyonun kalan miktarı yeni nesile aktarılır (Obitko, 1998:23).

3.3.4.4. Boltzmann Seçimi

Bu yöntem bir bireyin bir sonraki nesle aktarılma olasılığını şu şekilde hesaplar:

$$p_i = e^{-\frac{\beta \cdot f_i}{\sigma}}$$

Burada σ uygunluk değerlerinin standart sapmasıyken β karar verici tarafından seçilen bir sıcaklık parametresidir. Bu yöntem olasılıklar arasında orantı sağlamak için kullanılmaktadır ve bu formül sonucu çıkan olasılıklar dogrusal olarak değil ivmeli olarak artmaktadır. Bu olasılık değerleri arasındaki oran β değerinin ayarlanmasıyla belirlenir (Elyased, 2006:15).

3.3.4.5. Elitizm

Uygunluk seçiminde kullanılan çeşitli yöntemler ile eski popülasyonun yenilenmesi gerçekleştirilebilir. Burada nesil stratejisi kapsamında, mevcut popülasyondaki kromozomlar ile üreme sonucu elde edilmiş oğullar (offspring) tamamen yer değiştirir. Popülasyonun en iyi kromozomu da yenilendiğinden dolayı bir sonraki popülasyonda yer alamaz ve bu yüzden nesil stratejisi elitizm (en uygun) stratejisiyle beraber kullanılmaktadır. Elitizm stratejisinde ise, mevcut popülasyondaki en iyi kromozomlar hiçbir zaman değişmemektedir ve bu yüzden üreme için en iyi çözüm her zaman mevcut popülasyonda kalmaktadır (Emel ve Taşkın, 2002:136).

Rulet tekerleği seçimi, kararlı durum ve rank seçimi yöntemlerinin dışında yaygın olarak kullanılmayan seçim yöntemleri vardır. Turnuva seçimi, Orantılı seçim, Sıralı seçim bu yöntemler arasındadır.

Turnuva Seçimi : Populasyondan rastgele bir grup kromozom seçilir. Grup içindeki en iyi uygunluk değerine sahip kromozom yeni popülasyona kopyalanır. Popülasyon büyüklüğüne ulaşılıncaya kadar bu işlem devam eder (Elmas, 2007:393). Bu yöntemde kromozomlar bir eslesme havuzuna atarak eşleştirilirler. Bu eşleşmelerden galip çıkan birey güçlü birey olarak tanımlanır ve bir sonraki nesle geğmesi istenir.

Orantılı Seçim : Orantılı seçim bireyleri onların uygunluk değerlerine göre seçer. Popülasyondan bireylerin seçilme olasılığı onun amaç ya da evrim fonksiyon değerinin tüm neslin beklenen amaç değerine oranıdır (Kavukkoca, 2003:39).

Sıralı Seçim : Popülasyondaki kromozomlar uygunluk değerlerine göre iyiden kötüye doğru sıralanırlar. En iyi kromozomdan başlanarak bir azalan işlev yardımıyla kromozomlara kopya sayısı belirlenir. Bir fonksiyon yardımıyla atanan kopya sayıları yeni popülasyonun oluşturulmasında kullanılır (Elmas, 2007:393).

3.3.5. Durdurma (Termination) Kriteri

Bu süreç, önceden belirlenen bir hedefe ulaşılıncaya kadar devam eder. Uygulamada bir sonlandırma kriterine ihtiyaç vardır. İstenen hassasiyet derecesine göre de maksimum iterasyon sayısı belirlenebilmekte ve iterasyon bu sayıya ulaştığında döngü durdurulabilmektedir (Emel ve Taşkın, 2002:135). Genetik algoritma genel olarak algoritmanın durması için beş tane durum belirler (Hall, 2005:27).

- Nesil : Algoritma nesil sayısı neslin değerine ulaştığı zaman durdurulur.
- Zaman Limiti : Algoritma belirlenen zamana ulaştığı zaman durdurulur.
- Uygunluk Limiti : Mevcut popülasyondaki en iyi uygunluk değeri belirlenen uygunluk değeri limitinden az ya da eşit olduğunda durdurulur.

- Durdurma Nesli: Algoritma artarda gelen nesillerin büyüklüklerinde hiçbir değişiklik ve gelişme olmadığı zaman durdurulur.
- Durdurma Zamanı : Algoritma belirlenen zaman aralıklarında hiçbir değişiklik ve gelişme olmadığı zaman durdurulur.

3.4. GENETİK ALGORİTMALARIN AŞAMALARI

Optimizasyon problemlerinde kullanılan Genetik Algoritma uygulamalarında üç ana aşama mevcuttur. Bunları şu şekilde sıralanabilir (Papadrakakis ve Lagaros, 1994:3).

Aşama 1 : Başlatma

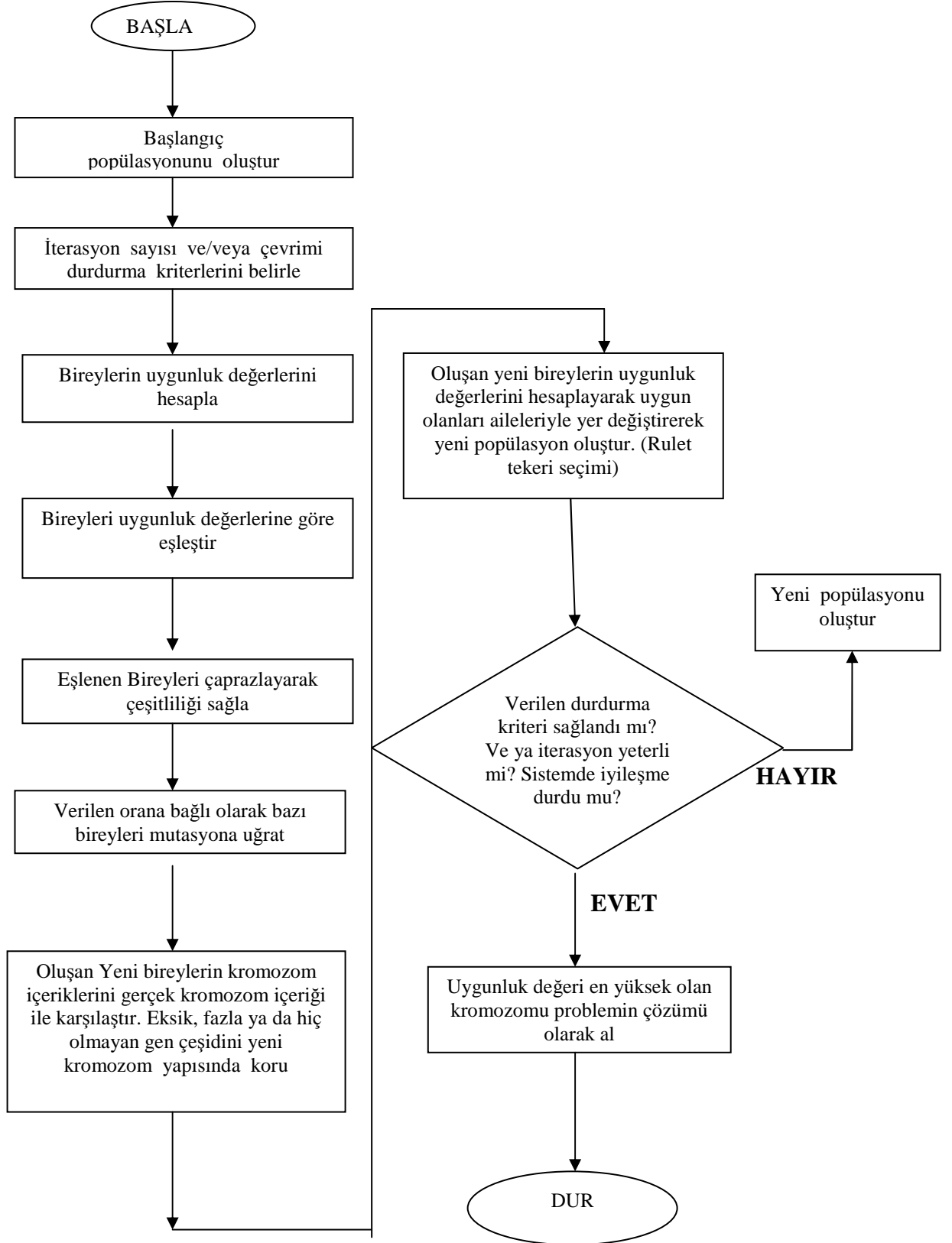
Genetik Algoritma uygulamalarının ilk aşaması başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıdır. Birçok çalışmada başlangıç popülasyonu rassal olarak oluşturulur. Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra, başlangıç popülasyon içindeki her eleman diğer elemanlarla karşılaştırılmak amacı ile değerlendirilir.

Aşama 2 : Seçim

Seçim operatörü varolan popülasyona ara popülasyonu oluşturmak için uygulanır. Başlangıç popülasyondaki ilk üretim yeni jenerasyonlar oluşturulurken ara popülasyon için dikkate alınır .

Aşama 3 : Üretim

Bir sonraki neslin ailelerini oluşturmak için çaprazlama ve mutasyon operatörleri ara popülasyona uygulanır. Şu anki popülasyondan yeni popülasyon elde etmedeki süreç genetik algoritmanın uygulanmasında tek bir neslin oluşturulmasını kapsar. Eğer sonlandırma kriterleri yeterli ise prosedüre son verilir , yeterli değilse aşama 1'e dönülür.



Şekil 18: Genetik Algoritmanın Akış Diyagramı

Kaynak : Elmas , 2007 : 401

Genetik algoritmanın aşamalarını biraz daha detaylandırırsak standart bir genetik algoritma yöntemi aşağıdaki gibi verilebilir (Korukoğlu ve İşçi, 2003:193) :

1. Adım : Olası çözümlerin kodlandığı bir çözüm grubu oluşturulur. Çözüm grubuna biyolojideki benzerliği edeniyle populasyon, çözümlerin kodları da kromozom olarak adlandırılır. Bu adıma populasyonda bulunan birey sayısını belirleyerek başlanır. Bu sayı için bir standart yoktur. Genel olarak önerilen 100-300 aralığında bir büyüklüktür. Büyüklük seçiminde yapılan işlemlerin karmaşıklığı ve aramanın derinliği önemlidir. Populasyon bu işlemde sonra rasgele oluşturulur.

2. Adım : Her kromozomun ne kadar iyi olduğu bulunur. Kromozomların ne kadar iyi olduğunu bulan fonksiyona uygunluk fonksiyonu denir. Bu fonksiyon işletilerek kromozomların uygunluklarının bulunması ise hesaplama (evaluation) adı verilir. Bu fonksiyon genetik algoritmanın beynini oluşturmaktadır. Genetik Algoritmada probleme özel çalışan tek kısım bu fonksiyondur. Çoğu zaman GA'nın başarısı bu fonksiyonun verimli ve hassas olmasına bağlı olmaktadır.

3. Adım : Bu kromozomlar eşleyerek yeniden kopyalama ve değiştirme operatörleri uygulanır. Bu sayede yeni bir populasyon oluşturulur. Kromozomların eşlenmesi kromozomların uygunluk değerlerine göre yapılır. Bu seçimi yapmak için rulet tekerleği seçimi, turnuva seçimi gibi seçme yöntemleri vardır.

4. Adım : Yeni kromozomlara yer açmak için eski kromozomlar ortadan kaldırılır. Eski kromozomlar çıkartılarak sabit büyüklükte bir populasyon sağlanır.

5. Adım : Tüm kromozomların uygunlukları tekrar hesaplanır. Tüm kromozomlar yeniden hesaplanarak yeni populasyonun başarısı bulunur.

6. Adım : GA defalarca çalıştırılarak çok sayıda populasyon oluşturulup hesaplanır. Eğer zaman dolmamışsa 3. adıma gidilir.

7. Adım : O ana kadar bulunan en iyi kromozom sonuçtur. Çünkü populasyonların hesaplanmasında en iyi bireyler saklanmıştır.

3.5. GENETİK ALGORİTMA OPERATÖRLERİ

Genetik algoritmaların temel amacı iyi bireyleri bir sonraki nesillere aktararak uygunluk değeri yüksek bir popülasyon elde etmektir. Genetik algoritmalar kötü bireyleri ya da uygun olmayan çözümleri operatörleri sayesinde elimine ederler. Her yeni nesilde kromozomların iyiliği ölçülür. Her kromozom amaç fonksiyonuna yerleştirilerek vermiş olduğu sonuç hesaplanır. Bir sonraki nesil oluşturulurken, bazı kromozomlar yeniden üretilir, çaprazlanır ve mutasyona uğratılır (Nabiyev, 2005:633). Algoritma bir döngü içerisinde durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder. Kullanılan genetik operatörler, varolan populasyon üzerine uygulanan işlemlerdir. Bu işlemlerin amacı daha iyi özelliğe sahip yeni nesiller üretmek ve arama algoritmasının alanını genişletmektir. Genetik algoritmada üç standart operatör kullanılır. Bu operatörler (Korukoğlu ve İşçi, 2003:195):

-Yeniden Üretim (Reproduction)

-Çaprazlama (Crossover)

-Mutasyon (Mutation)

3.5.1. Yeniden Üretim (Reproduction)

Yeniden üretme operatörü, hazır topluluktan uygun olan bireylerin seçilmesi ve bunların sonraki topluluğa kopyalanarak hayatta kalmalarıyla ilgilidir. Topluluk uzayındaki her bir bireyin uygunlukları baz alınarak ne kadar sayıda kopyasının olacağına karar verilir. En iyi bireylerden daha fazla kopya alınır, en kötü bireylerden kopya alınmaz. Bu hayatta kalmak için uygunluk stratejisinin Genetik Algoritmaya sağladığı avantajdır.

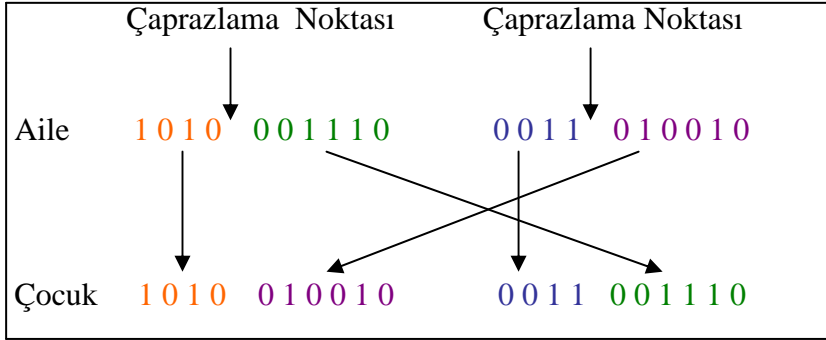
Nesil Üretimi (Generational Reproduction): Varolan nesilin yerine yeniden nesil oluşturmak.

Kararlı Durum Üretimi(Steady-State Reproduction): Sadece nesildeki birkaç birey yeni bireylerle yer değiştirir. Yeniden üretim sonucunda elde edilen ara nesil, çaprazlama ve mutasyon genetik operatörleri kullanılarak yeni nesil elde etmede kullanılır.

3.5.2. Çaprazlama (Crossover)

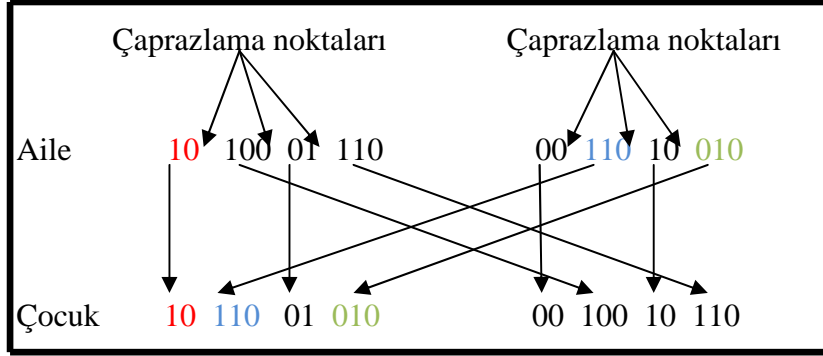
Çaprazlama operatörü Genetik Algoritmalarındaki en önemli operatördür. İki kromozomun genlerinin karşılıklı olarak değiştirilerek yeni popülasyonun oluşmasını sağlayan genetik algoritma operatörüdür. Çaprazlama işlemi genel olarak ikili kromozomların parçalarının değiş tokuşu şeklinde gerçekleştirilir. Farklı uygulamalarda farklı kodlama yöntemleri kullanıldığı için farklı çaprazlama yöntemleri kullanılır, tek noktalı çaprazlama, çok noktalı çaprazlama, ve üniform çaprazlama gibi çaprazlama yöntemleri vardır.

Tek Noktalı Çaprazlama : Bu çaprazlama operatöründe rastgele bir çaprazlama noktası seçilir. Karşılıklı olarak bir araya getirilen iki kromozomda çaprazlama noktasındaki bölümler yer değiştirilerek iki yeni birey oluşturulur.



Şekil 19 : Tek Noktalı Çaprazlama

Çok Noktalı Çaprazlama : Bu çaprazlama operatöründe kromozom üzerinde birden fazla çaprazlama noktası rastgele olarak belirlenir. Bir araya getirilen iki kromozomda çaprazlama noktaları arasında kalan bölümler yer değiştirilerek iki yeni birey oluşturulur (Elmas, 2007:394).



Şekil 20: Çok Noktalı Çaprazlama

Genetik algoritma problemlerinde ilk olarak kullanılan yöntemler tek noktalı çaprazlama ile çok noktalı çaprazlamadır. Fakat bu çaprazlama yöntemleri her optimizasyon problemlerinde sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Bu yüzden yeni problemlere uygun çaprazlama yöntemleri oluşturulmuştur. Atölye çizelgeleme gibi kısıtlı optimizasyon problemlerinde kullanılmak üzere probleme uygun olarak pozisyona dayalı çaprazlama, sıraya dayalı çaprazlama ve kısmi planlı çaprazlama gibibazı yöntemler geliştirilmiştir (Elmas, 2007:394).

Pozisyona Dayalı Çaprazlama : Bu tür çaprazlamada ilk olarak rastgele 0 ve 1 kodlarından oluşan bir kalıp kromozom belirlenir. Dizide kodların gösterdiği bazı noktalar sabit kalırken diğer genler karşılıklı iki birey arasında değiştirilir (Elmas, 2007:395). Şekil 22’de kalıp kromozomda 1’lerin gösterdiği değerler sabit kalarak diğer değerler yer değiştirmektedir.

1. Aile	345624310	1.Çocuk	316628320
2. Aile	316358923	2.Çocuk	345354913
Kalıp	011001010		

Şekil 21: Pozisyona Dayalı Çaprazlama

Sıraya Dayalı Çaprazlama : Kalıp üzerinde 1'lerin gösterdiği değerler çaprazlamada kullanılacak olan değerleri belirtir. Şekil 23'de gösterildiği gibi 2.aileden sırasıyla 7, 2, 3 değerleri çaprazlanacak olan genlerdir. 1.ailede bulunan 2, 3, 7 değerleriyle aynı sıralı olacak şekilde yer değiştirilir. Aynı işlem 1'lerin 1.ailede gösterdiği değerlerin 2. aileye aktarılmasıyla tamamlanır (Elmas, 2007:395).

1. Aile	123456789045	1. Çocuk	172456389045
2. Aile	746128353196	2. Çocuk	146528373196
Kalıp	100010100000		

Şekil 22 : Sıraya Dayalı Çaprazlama

Kısmi Planlı Çaprazlama : İki kromozomdan rastgele bir aralık belirlenir. Bu aralıktaki değerler yer değiştirilir. Yer değiştirme sonunda kromozomda aynı olan değerler değiştirilen değerlerle tamamlanır (Elmas, 2007:396).

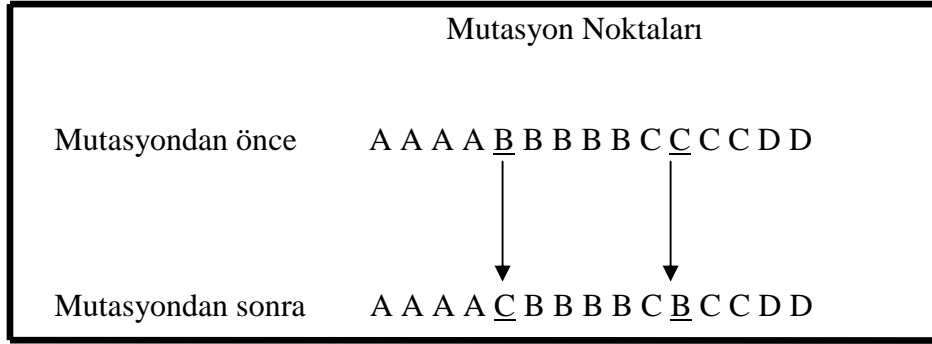
1. Aile	28 645 713	1. Çocuk	28 213 713
2. Aile	87 213 456	2. Çocuk	87 645 456
		1. Çocuk	68 213 745
		2. Çocuk	87 645 123

Şekil 23: Kısmi Planlı Çaprazlama

Gen takası ile toplumda çeşitlilik sağlanır (Nabiyev, 2005:635). Popülasyonda en iyi özelliklerin bir araya gelmesi kolaylaşır. Amaç, aile kromozom genlerinin yerini değiştirerek çocuk kromozomlar üretmek ve böylece varolan uygunluk değeri daha yüksek olan kromozomlar elde etmektir.

3.5.2. Mutasyon (Mutation)

Mutasyon genetik algoritmalarındaki operasyonda karar verici olarak ikinci derecede rol oynar. Amaç, varolan bir kromozomun genlerinin bir ya da bir kaçının yerlerini değiştirerek yeni kromozom oluşturmaktır. Yeniden ve sürekli yeni nesil üretimi sonucunda belirli bir süre sonra nesildeki kromozomlar birbirini tekrarlama konumuna gelebilir ve bunun sonucunda farklı kromozom üretimi durabilir veya çok azalabilir. İşte bu sebeple nesildeki kromozomların çeşitliliğini arttırmak için kromozomlardan bazıları mutasyona uğrattılır. Her bir kromozomun popülasyon içindeki yeri mutasyon oranı olarak tanımlanan olasılıkla belirlenir (Herrera, 1996:7).



Şekil 24 : Çift Mutasyon

Altı çizili elementler mutasyon için rastgele seçilirler. Mutasyon sonucunda asıl (orijinal) toplulukta olmayan özellikler kazanılabilir, dolayısıyla bu genetik algoritmanın hızlıca bir sonuca ulaşmasını önler.

Üretim çizelgeleme açısından değerlendirdiğinde; Murata vd. tarafından mutasyon yöntemleri genel olarak beş farklı şekilde sınıflandırılmıştır (Engin, 2001:72):

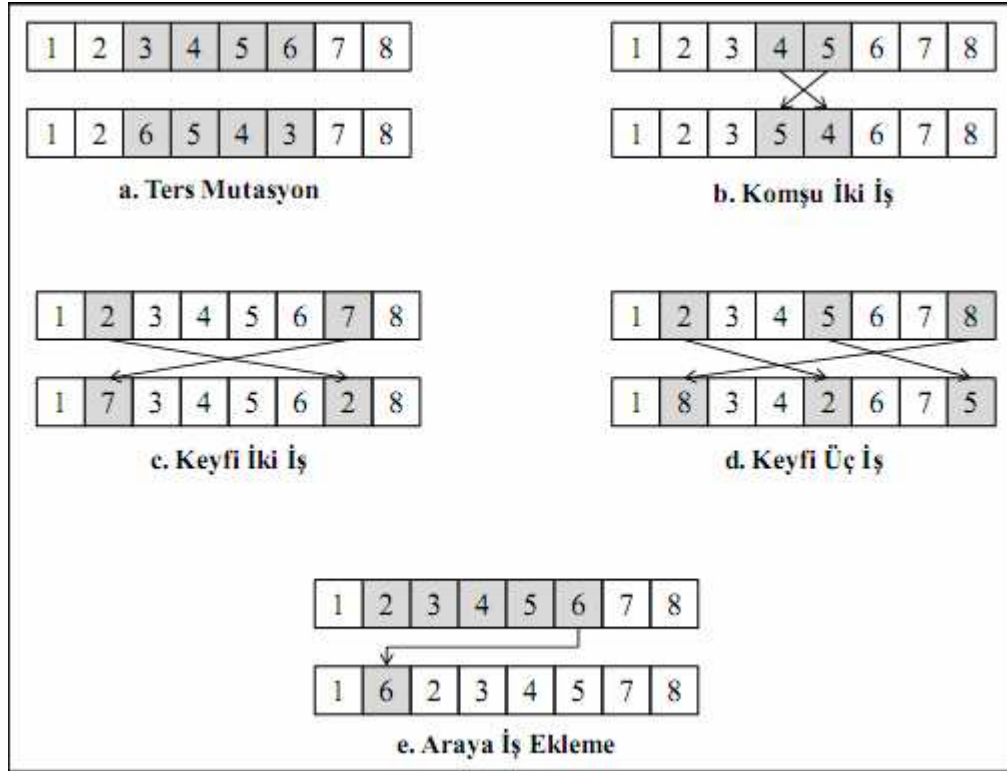
- Ters Mutasyon: Bir bireyde rassal olarak iki pozisyon seçilir, bu iki pozisyondaki alt diziler ters çevrilir (Şekil 25a).

- Komşu İki İş Değiştirme: Rassal olarak iki komşu iş yer değiştirebilir (Şekil 25b).

- Keyfi İki İş Değiştirme: Rassal olarak seçilen iki iş değiştirilebilir. Özel bir durum olarak, değiştirilebilen iki komşu işi bu mutasyon içerir (Şekil 25c).

- Keyfi Üç İş Değiştirme: Rassal seçilen üç iş keyfi olarak değiştirilir (Şekil 25d).

- Araya İş Ekleyerek Değiştirme: Rassal olarak seçilen bir kaydırma noktasında kromozomdaki bir iş kaydırılır ve diğer bir pozisyona yerleştirilir. Komşu iki iş değiştirme yönteminin özel bir durumudur. Keyfi üç iş değiştirmeyele bir kesişime sahiptir (Şekil 25e).



Şekil 25 : Üretim çizelgelemede kullanılan mutasyon operatörleri

Kaynak : Aydemir, 2009: 47

3.6. GENETİK ALGORİTMADA KODLAMA

Genetik Algoritmaların uygulanmasındaki ilk adım, problem için arama uzayını en iyi temsil eden kodlama yapısının seçilmesidir. Kromozomların kodlanması probleme göre değişmektedir. Kullanılan kodlama yöntemleri aşağıda verilmiştir.

İkili Kodlama : Bu yöntem en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Burada her kromozom, 0 ve 1'lerden oluşan bir bit dizisidir ve ikili diziyle ifade edilir. Bu dizideki her bit, çözümün bir özelliğini taşır (Nabiyev, 2005:635). İkili kodlama için kromozom örneğini aşağıdaki gibi verebiliriz.

Kromozom A : 110010100110

Kromozom B : 001010111010

Gri Kodlama: 0-1 ikili kodlamadan farklı Hamming Uzaklığı kavramını geliştirmesidir. Sayıları ikili sistemde yazmaya başlandığında ilk olarak Hamming Uzaklığı ölçülür. Hamming Uzaklığı, kromozomdaki değişen genlerin sayısını gösterir. Oysa ikili kodlamada aradaki Hamming Uzaklığı'nın 1 olması istenir. 0-7 arası sayıların gri kodlamada gösterimi aşağıda verilmistir (Goldberg, 1989:25)

Harf Kodlama: 0-1 ikili kodlamanın kullanılmak istenmediği durumlarda kullanılır. Örneğin [0-15] aralığındaki değerler, ikili kodlama dışında İngiliz Alfabeti'ndeki [A-O] harfleri ile kodlanabilir (Goldberg, 1989 :25).

Permütasyon Kodlama : Bu kodlama proje çizelgeleme ve gezgin satıcı problemi gibi sıralama problemlerinde kullanılır. Bu kodlamada her kromozom bir numaralar dizisidir. Permütasyon kodlama türünde, kromozomun uzunluğu tasarım değişkenlerinin sayısına eşittir (Erdal, 2007:33).

3.7. GENETİK ALGORİTMA PARAMETRELERİ

Parametreler, genetik algoritma performansını önemli ölçüde etkilemektedirler. Bundan dolayı genetik algoritmalarda parametre seçimi önemlidir. Genetik algoritmaların parametreleri; çaprazlama olasılığı, mutasyon olasılığı, popülasyon büyüklüğü, seçim, kuşak aralığı ve fonksiyon ölçeklemesi gibi genel parametrelerdir. Bu parametreleri şu şekilde açıklayabiliriz (Sinreich, 1999:89) :

- **Populasyon Büyüklüğü:** Genetik algoritma kullanıcısı tarafından verilen en önemli kararlardan birisidir. Bu değer çok küçük olduğunda, genetik algoritma yerel bir optimuma takılabilmektedir. Populasyonun çok büyük olması ise çözüme ulaşma zamanını arttırmaktadır. Bu konuda Goldberg 1985’de, yalnızca kromozom uzunluğuna bağlı bir populasyon büyüklüğü hesaplama yöntemi önermiştir. Ayrıca Schaffer ve arkadaşları 1989’da çok sayıda test fonksiyonları üzerinde yaptıkları araştırmalar sonucunda, 20-50 arası bir populasyon büyüklüğünün iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

- **Çaprazlama Olasılığı:** Çaprazlamanın amacı, mevcut iyi kromozomların özelliklerini birleştirerek daha uygun kromozomlar yaratmaktır. Kromozom çiftleri P_c olasılığı ile çaprazlamaya uğramak üzere seçilirler. Çaprazlama oranı, çaprazlama operatörünün kullanım sıklığını kontrol eder. Her popülasyonda, $P_c \cdot l \cdot N$ adet kromozoma çaprazlama uygulanır (Elmas, 2007:394). Buradaki l kromozomdaki gen sayısını, N ise popülasyondaki kromozom sayısını ifade etmektedir. Çaprazlamanın artması, yapı bloklarının artmasına neden olmakta fakat aynı zamanda bazı iyi kromozomların da bozulma olasılığını arttırmaktadır.

- **Mutasyon Olasılığı:** Mutasyonun amacı popülasyondaki genetik çeşitliliği korumaktır. Mutasyon $P(m)$ olasılığı ile bir kromozomdaki her bitte meydana gelebilir (Emel ve Taşkın, 2002:135). Kromozom parçalarının ne kadar sıklıkla mutasyon geçireceğini belirtir. Eğer mutasyon yoksa yavrular çaprazlamadan hemen sonra değiştirilmeden üretilir (veya doğrudan kopyalanır). Eğer mutasyon varsa, yavruların kromozomlarının bir veya daha fazla parçası değişir. Eğer mutasyon

olasılığı %100 ise tüm kromozom değişecektir. %0 ise hiçbir şey değişmez. Mutasyon genellikle genetik algoritmanın yerel aşırılıklara düşmesini engeller. Mutasyonlar çok sık oluşmamalıdır, çünkü genetik algoritma rasgele aramaya dönüşebilir (www.yapayzeka.org, 06.07.2010).

- **Kuşak Aralığı:** Her kuşaktaki yeni kromozom oranına kuşak aralığı denmektedir. Genetik operatörler için kaç tane kromozomun seçildiğini gösterir. Yüksek bir değer bir çok kromozomun yer değiştirdiği anlamına gelmektedir (Emel ve Taşkın, 2002:136)

- **Seçim Stratejisi:** Eski kuşağı yenilemenin çeşitli yöntemleri mevcuttur. Kuşaksal stratejide, mevcut popülasyondaki kromozomlar tamamen yavrular ile yer değiştirir. Popülasyonun en iyi kromozomu da yenilediğinden dolayı bir sonraki kuşağa aktarılamaz ve bu yüzden bu strateji en uygun (elitist) stratejisiyle beraber kullanılmaktadır. En uygun stratejisinde, popülasyondaki en iyi kromozomlar hiçbir zaman yenilenmemektedir, bundan dolayı çoğalma için en iyi çözüm her zaman elverişlidir. Denge durumu stratejisinde ise, her kuşakta yalnızca birkaç kromozom yenilenmektedir. Genellikle, yeni kromozomlar popülasyona katıldığında en kötü kromozomlar yenilenir (Emel ve Taşkın, 2002:136)

- **Fonksiyon Ölçeklemesi:** Doğrusal ölçekleme, üstsel ölçekleme gibi yöntemler mevcuttur. Probleme göre en uygun ölçekleme yönteminin seçilmesi genetik algoritmanın etkin işlemesi açısından önem taşımaktadır (Emel ve Taşkın, 2002:136).

Çaprazlama oranı yüksek olmalıdır. Buna karşılık mutasyon oranı çok düşük olmalıdır. Çok büyük popülasyon büyüklüğü genellikle genetik algoritma değerini arttırmaz. İyi popülasyon büyüklüğü yaklaşık olarak 20-30 olmalıdır, bununla birlikte bazen 50-100 daha iyi sonuç verebilir. Seçim için genellikle rulet tekerleği kullanılır, bunun yanı sıra rank seçimi, kararlı durum (steady state) ve elitizm gibi seçim yöntemleri de kullanılmaktadır.

3.8. GENETİK ALGORİTMADA ŞEMA TEOREMİ

Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre üstünlükleri olan genetik algoritmalar parametre kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanırlar. Bu üstünlükler genetik algoritmaların arama yapısı ile ilgilidir. Genetik algoritmaların arama yapısı alt dizi teoremine dayanmaktadır. John Holland genetik algoritma çalışmalarını açıklamak için “schema (şema)” kuramını ortaya atmıştır. Bu kuram genetik algoritmaların başarısını açıklamak için en başarılı teorem olarak kullanılır. Genel olarak genetik algoritma ikili kodlama (binary strings) sistemi üzerinde çalışır (Korukoğlu ve İşçi, 2003:194)

Alt diziler, genetik algoritmaların davranışlarını açıklamak için kullanılan teorik yapılardır. Bir alt dizi, belirli dizi kümeleri arasındaki benzerliği tanımlayan bir dizidir. Örneğin A alt dizisi, ilk konumunda 1, ikinci ve dördüncü konumunda 0 değeri olan kromozomlar kümesi içindir.

$$A = 1 0 * 0 *$$

* sembolü dizinin o konumundaki hangi değeri aldığına önemli olmadığı anlamındadır. Yani dizi o konumda “0” veya “1” değeri alabilir.

Bu şemaya uygun aşağıdaki ikili diziler yazılabilir :

10000 , 10100, 10101, 10001

Alt dizilerin iki özelliği mevcuttur. Bu özellikler aşağıda verilmiştir (Goldberg, 1989:28-29) :

1. Alt dizi derecesi: Bir H alt dizisinin derecesi $o(H)$ ile gösterilir ve mevcut alt dizi kalıbında bulunan sabit konumların sayısıdır. Bu sayı ikili alfabede 0 ve 1 değerlerinin sayısının toplamına eşittir.

2. Alt dizi uzunluğu: Bir H alt dizisinin uzunluğu $\delta(H)$ ile gösterilir ve mevcut alt dizi kalıbında bulunan belirli ilk ve son konumlar arasındaki uzaklıktır.

Alt dizi derecesi ve alt dizi uzunluğu kavramlarının genetik algoritmaların temel teoreminde son derece önemli bir yeri vardır. Alt dizi derecesi düşük, alt dizi uzunluğu kısa olan diziler “yapı blokları” olarak adlandırılır. John Holland, genetik algoritmaların işleyişinde uygun yapı bloklarının tanımlanmasını ve bu yapı bloklarının daha uygun yapı blokları elde etmek amacıyla birleştirilmesini önermektedir. Bu fikir yapı blokları hipotezi olarak bilinmektedir.

Genetik algoritmanın temel teoremi ise şöyle açıklanmaktadır (Yeniay, 2001: 41):

Populasyon ortalamasının üstünde uyum gücü gösteren, kısa uzunluğa ve düşük dereceye sahip alt diziler zamanın ilerlemesiyle üstsel olarak çoğalırlar. Bu çoğalma, genetik işlemler aracılığı ile gerçekleşmektedir ve sonucunda ana-babadan daha üstün özellikler taşıyan bireyler ortaya çıkmaktadır. Bu çözüm kalitesinin kuşaktan kuşağa artması iki nedene bağlanmaktadır. Bu nedenler şöyle açıklanabilir (İşlier, 2001: 146):

- Başarısız olan bireylerin üreme şansları azaltıldığı için kötüye gidiş zorlaşmaktadır.
- Genetik algoritmaların yapısı kötüye gidişi engellemekle kalmamakta, genetik algoritmaların temel teoremi uyarınca, zaman içinde hızlı bir iyiye gidiş de sağlayabilmektedir.

Genetik algoritmalar yapısı gereği, kötü bireyleri yani uygun olmayan çözümleri, operatörleri sayesinde elemektedir. Şema teoreminde çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörler kullanılabilir. Bu operatörlerin etkisi şu şekilde açıklanmaktadır.

t . nesilde $P(t)$ popülasyonu, P_j ($j= 1, 2, 3, 4, \dots, N$) kromozomdan oluşmuştur ve popülasyon içinde yer alan H şemasının m tane örneği vardır. Bu durum;

$m = m(H, t)$ olarak ifade edilir.

Üreme sürecinde bir kromozom kendi uygunluk değerine kopyalanır veya popülasyon içerisindeki bir P_i dizisi;

$$P_i = \frac{f_i}{\sum f_i} \quad \text{olasılığı ile seçilir.}$$

Burada f_i , P_i kromozomunun uygunluk değerini $\sum f_i$ ise t . nesilde popülasyondaki kromozomların toplam uygunluk değerini ifade etmektedir. N boyutlu $P(t)$ popülasyonunun

$(t + 1)$. Nesilde içerdiği H şemasının karakteristiği;

$m = m(H, t+1)$ olur.

Bu eşitlik t . nesil dikkate alınarak;

$$m = (H, t+1) = m(H, t) \cdot N \cdot \frac{f(H)}{\sum f_i} \quad \text{Şeklinde yazılabilir. Burada } f(H), t. \text{ nesilde } H$$

şeması ile gösterilen kromozomun ortalama uygunluk değeridir. Popülasyonun ortalama uygunluk değeri;

$$\bar{f} = \frac{\sum f_i}{N} \quad \text{şeklinde yazıldığında kopya ile çoğalan şemanın büyüme değeri;}$$

$$m(H, t+1) = m(H, t) \cdot \frac{f(H)}{\bar{f}} \quad \text{olmaktadır.}$$

Yukarıda verilen formüldende anlaşılacağı gibi şemanın ortalama uygunluk değerinin popülasyonun ortalama uygunluk değerine oranı kadar şema büyümektedir.

Çaprazlama işlemi sonucunda şemanın hayatta kalma olasılığı ;

$$P_s = 1 - \frac{\delta(H)}{L - 1} \quad \delta(H) = \text{şema uzunluğudur.}$$

Kullanılan çaprazlama olasılığı p_c olarak tanımlanırsa, çaprazlama işlemi sonucunda şemanın hayatta kalma olasılığı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$P_s \geq 1 - p_c \cdot \frac{\delta(H)}{L - 1}$$

3.9. GENETİK ALGORİTMANIN KULLANIM ALANLARI

Günümüzde genetik algoritma birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Deneysel çalışmalarda optimizasyon aşamasında, endüstriyel uygulamalarda ve sınıflandırmalarda uygulanmaktadır. Uygulama alanları içerisinde; Atölye Çizelgeleme, Yapay Sinir Ağları Tasarımı, Görüntü Kontrolü, Elektronik Devre Tasarımı, Optimizasyon, Uzman Sistemler, Paketleme Problemleri, Makine ve Robot Öğrenmesi, Gezgin Satıcı Problemi, Ekonomik Model Çıkarma v.b sayılabilir (Mitchell ve Forest, 1994:3). İnşaat mühendisliği alanında en çok optimizasyon amaçlı olarak kullanılmakta ve diğer klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında iyi sonuç verdiği görülmektedir (Yurtçu ve İçağa, 2006:51).

Genetik algoritmaların uygulama alanları optimizasyon problemleri, bilgi sistemleri problemleri, ekonomik ve sosyal model oluşturma, mekanik öğrenme, üretim, finans ve pazarlama gibi işletmelerin fonksiyonel alanlardaki bir çok farklı iş probleminin çözümünde ve optimizasyonu, kaynak tahsisi, atölye çizelgelemesi, makine parça gruplaması ve bilgisayar ağ tasarımı gibi şeklinde sıralanabilir. Genetik algoritmanın uygulama alanları aşağıda detaylı olarak verilmiştir

- **Optimizasyon**

Bir arama yöntemi olan genetik algoritmalar, farklı bilim dallarındaki optimizasyon problemlerini çözmeye kullanılmaktadır. Genetik algoritmaların uygulandığı optimizasyon problemleri, fonksiyon optimizasyonu ve birleşik (combinatorial) optimizasyonu altında toplanabilir (<http://www.doc.ic.ac.uk>, 10.05.2010).

Genetik algoritma araştırmalarının önemli bir bölümü fonksiyon optimizasyonu ile ilgilidir. Genetik algoritmalar, geleneksel optimizasyon tekniklerine göre zor, süreksiz ve gürültü içeren fonksiyonları çözmeye daha etkindirler (Beasley vd., 1993: 13). Gezgin satıcı problemi, araç rotalama problemi, Çinli postacı problemi, iş atölyesi çizelgeleme problemi, atama problemi, yerleşim tasarımı problemi ve sırt çantası problemi birleşik optimizasyon problemlerine örnektir (Hoffman ve Padberg: 1-4).

- **Mekanik Öğrenme**

Mekanik öğrenme; ilki, gözlenmiş bir veri takımını anlamak ve yorumlamak, ikincisi de görülmemiş objelerin özelliklerini tahmin etmek olan iki temel amaç için model kurmayı amaçlar. Parametrik istatistikten ziyade çok büyük veri takımlarının yönetimi üzerinde çalışır. Kullandığı metotların çoğu dağılımdan bağımsız metotlar olarak sınıflanabilir. Uygun model seçimi için işe problem hakkındaki varsayımlarla başlanmaz. Onun yerine uygun model yapısını belirlemek için doğrudan mevcut veriden hareketle bir araç kutusu yaklaşımı kullanır (Wehenkel:2009: 3).

Basit dizi kurallarını öğrenen bir mekanik öğrenme sistemi olan sınıflama sisteminin kural ve mesaj sistemi, özel bir üretim sistemi olarak adlandırılabilir. Bu üretim sistemi, “eğer-sonra” kural yapısını kullanır. Bir üretim kuralı, “eğer” yapısından sonra belirtilen durum için, “sonra” yapısından sonra gelen faaliyetin gerçekleştirilmesini içerir. Genetik algoritmalar ayrıca, sinir ağlarında ve proteinin yapısal analizinde de kullanılmaktadır (Goldberg, 1989: 221 - 222).

- **Ekonomik ve Sosyal Sistem Modelleri**

Bir sistemi ölçen ampirik olarak gözlenmiş değişkenler arasındaki matematiksel ilişkiyi keşfetme problemi ekonomide en önemli problemlerden biridir. Pratikte gözlenmiş veri gürültü içerebilir ve kapsanan ilişkileri kesin ve açık bir şekilde açıklayacak bir yol bilinmeyebilir. Bu tip problemler, sembolik sistem tanımlama, kara kutu, veri madenciliği ve modelleme problemleri olarak bilinir. Eğer keşfedilen model, sistemin durum değişkenlerinin gelecek değerlerini tahmin etme için kullanılacaksa problem öngörüleme problemi adını alır. Geleneksel doğrusal, kuadratik ve üstsel regresyon modellerinde sapma hataları minimize edilerek fonksiyonlara uygun sayısal katsayılar bulunur. Buradaki yaklaşım, model seçildikten sonra uygun sayısal katsayıların aranmasıdır. Gerçek problem ise verinin değerlendirilmesi için hangi tip modelin uygun olduğunun kararıdır (Emel ve Taşkın, 2002:140).

Genetik algoritmalar yenilik sürecinin modellenmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Ayrıca genetik algoritmaların, fiyat verme stratejilerinin gelişim süreçlerini ve kazanç getiren pazarların ortaya çıkış süreçlerini modelleme alanlarında da kullanımları oldukça yaygındır. Genetik algoritmalar sosyal sistemlerin evrimsel yönlerini anlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak işbirliğinin evrimi, iletişimin evrimi ve karıncalardaki iz takibi davranışının evrimi verilmektedir (<http://www.doc.ic.ac.uk>, 10.05.2010).

- **Finans**

Genetik algoritmalar, finansal modelleme uygulamaları için son derece uygundur. Genetik algoritmalar amaç fonksiyonu odaklıdır. Finans problemlerinde genel olarak, amaç fonksiyonları tahmin etme gücüne veya bir kıyaslama sonucuna bağlı getirilerdeki gelişmeleri içerir. Kullanılan araç ve problemler arasında mükemmel bir eşleşme mevcuttur. Özellikle hisse senedi fiyatlarındaki değişim kalıplarını tahmin etmede ve bulmada, kaynak tahsisi ve uluslararası sermaye tahsisi

stratejilerini belirlemede genetik algoritmalar kullanılabilir (http://www.doc.ic.ac.uk,10.05.2010). Bu yaklaşımla, kısıtlanmış portföy optimizasyonu, endeks izleme, işlem maliyetleri ve risk tercihleri kısıtlarının da katıldığı çok dönemli portföy yönetim sistemlerinin kurulması, yine minimum işlem lotlu portföy seçimi problemlerin çözümü yapılabilmektedir. Müşterilerinin kredi değerliliğini ölçmede, yatırım araçlarının performansını belirlemede, işletmedeki mali kayıpların araştırılmasında, finansal opsiyonların geliştirilmesinde kullanılan veri madenciliğine uygulanabilmektedir. Müşteri kredi değerliliğini ölçme, kredi kartı puanlama, piyasalar ile ilgili tahminleri ve şirketlerdeki iflas tahminlerini yapma genetik algoritmaların en sık uygulandığı finans problemlerindedir. Ayrıca, çözüm performansı açısından finans problemlerindeki genetik algoritma çözümleri yasaklı arama, tavlama benzetimi arama metotları ile karşılaştırılmakta ve o probleme uygun çözüm yöntemi önerilmektedir. Genetik algoritmaların optimal kaynak tahsisi problemlerine uygulanması ile ortalama-varyans optimumundan farklı çözüm yöntemi geliştirilmiş ve kuadratik optimizasyona genetik algoritmalar uygulanmış olmaktadır (Emel ve Taşkın, 2002:141) .Salhieh ve Kamrani (1999) modülleri tanımlamak için kümeleme tekniği geliştirmişlerdir. Daha sonra problem için genetik algoritmayı tanımlamışlar ve sayısal sonuçlar bulmuşlardır. Genetik algoritmalar finans uygulamalarında da yaygın kullanım alanına sahiptir

Finans problemlerinin çözümünde genetik algoritmalar, bulanık ve yapay sinir ağları yaklaşımlarıyla birlikte kullanılmaktadır. Yumuşak hesaplama ve hibrid genetik algoritma yaklaşımı sık görülmektedir (Schlottmann, 2001: 2).

- **Pazarlama**

Tüketicilere ait verileri analiz etmek, çeşitli tüketici kalıpları çıkarmak ve bu kalıplara dayanarak pazarlama stratejileri uygulamak, pazarlamanın en önemli fonksiyonlarından biridir. Tüketicilerin profilleri çıkarılarak, belirli satın alma kalıpları yakalanabilmektedir. Ancak tüketici profilini çıkarabilmek için, çok büyük veri tabanlarını işletme amaçları doğrultusunda hızlı ve etkin biçimde kullanmak gerekmektedir. Burada kullanılan teknik veri madenciliğidir. Veri madenciliği, çok

geniş veri tabanlarından veriyi süzme tekniğidir. Pazarı ve tüketiciyi tanımda son derece önemli rol oynayan veri madenciliği, veriyi bilgiye bilgiyi de güvenli kararlara dönüştürür. Veri madenciliğinin verimlilik, karlılık, müşteri tatmini ve rekabet edebilme yeteneği gibi yaşamsal konularda işletme üzerinde çok önemli etkileri bulunmaktadır. Rekabet edebilme yeteneği karar alma kalitesine bağlıdır ve bundan dolayı işletmeler sürekli karar kalitelerini geliştirmeye çalışırlar. Veri madenciliğinde kullanılan tekniklerden birisi de genetik algoritmadır. Genetik algoritma tabanlı yaklaşım kullanılarak veri yığınlarından modeller elde edilmektedir (Bhattacharyya, 1999: 248-249).

- **Montaj Hattı Dengeleme Problemi**

Montaj işlemi endüstrilerde çok önemli bir rol oynamaktadır. Nof ve arkadaşlarının 1997'de yayınlanan çalışmalara göre üretilen mamullerin montajı, toplam üretim zamanının % 50'sine, toplam birim üretim maliyetinin % 20'sine ve işçilik maliyetlerinin % 30-% 50'sine karşılık gelmektedir. Bundan dolayı montaj hattı dengeleme problemi, firmalar açısından yaşamsal öneme sahiptir (Lit vd., 2001: 3623). Bu konuda literatürde birçok çalışma mevcuttur. Kesintürk ve Küçük (2006) montaj hattı dengelemede genetik algoritmanın etkinliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında problemin yapısı gereği permütasyon kodlamayı kullanmışlardır. İstasyon bazında yapıyı kurmak için kromozom matris şeklinde oluşturulmuştur. Tek noktalı çaprazlamayı kullanarak çaprazlama olasılığı kullanmayarak ebevyn kromozomlardan en iyi uygunluk değerlerine göre bieryler yeni nesile aktarılmışlardır. Çalışmalarında çevrim süresi sabit kabul edilerek gerekli istasyon sayısının minimize edilmesi yani istasyon verimliliklerinin maksimize edilmesi amaçlanmışlardır. Elde edilen sonuçlar fabrikadaki dengeleme sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve fabrikada yer alan gerçek verimlilik değeri ile aynı değere ulaşıldığı görülmüştür. Genetik algoritma kullanılarak yapılan dengeleme ile daha iyi bir verimlilik değerine ulaşamamışlardır.

- **Çizelgeleme Problemi**

Genel olarak genetik algoritmalar, çizelgeleme problemlerine optima yakın çözüm bulmuşlardır. Fakat çözüm bulma süreleri diğer çözüm yöntemlerine göre oldukça hızlı olmuştur (<http://www.doc.ic.ac.uk>,10.05.2010).

Genetik algoritmaların çizelgeleme problemine ilk uygulama çalışması, Davis tarafından 1985 yılında yapılmıştır. 1987’de Liepins ve arkadaşları, belirli teslim tarihleri ve işlem süreleri olan işlerin çizelgenmesi problemini araştırmışlardır. Bu problem en basit çizelgeleme problemi adlandırılmaktadır. 1993’de Gupta ve arkadaşları, akış zamanını minimize etme amacını taşıyan tek makine modeli üzerindeki çalışmalarını yayınlamışlardır. Lee ve Kim 1995’de gecikme ve sarkma cezalarını da modele katan çalışmalarını sunmuşlardır. Cheng ve arkadaşları gene aynı yıl, özdeş paralel makinalardan oluşan model üzerindeki çalışmalarını yayınlamışlardır (Wadhwa ve Chopra, 2000: 2). Bunun dışında; iş atölyesi çizelgelemesi problemi için Biegel ve Davern’nin 1990’da, akış atölyesi problemi için Badami ve Parks’ın 1991’de, süreç planlama problemi için Vancza ve Markus’un 1991’de yayınlanmış çalışmaları bulunmaktadır (Yeniay, 2001: 43). Wang ve diğerleri (1999) gruplandırılmış parçaları tek bir makinede üretmek için çizelgeleme çalışması yapmışlardır. İlk olarak matematiksel olarak tanımlamışlardır ve optimal çözüm için gerekli olan koşulları belirlemişlerdir. Kaya ve engin (2009) operasyonel sabit iş çizelgeleme problemlerinin, meta sezgisel yöntemlerden olan genetik algoritmalar ve tavlama benzetimi ile çözümünü için bir model önerilmiştir. Örnek bir problem, genetik algoritma ve tavlama benzetimi ile çözülmüştür.

- **Taşıma Problemi**

Taşıma problemi; tedarikçilerden tüketicilere, talebi karşılamak üzere, minimum maliyetle tek tipte mamul gönderilmesini içermektedir. m tane tedarikçi ve n tane de tüketici mevcuttur. Tek tedarikçiden her bir tüketiciye bir birim mamul ulaştırma maliyeti bilinmektedir. Problem, tüm talebin karşılanması ve maliyet minimizasyonu şartıyla mamulün arz yerinden talep yerine optimum tahsisini sağlamaktır. Son zamanlarda, çeşitli taşıma problemlerinin çözümü için evrimsel

(evolutionary) yaklaşımlarla çözüm önerileri sunulmaktadır. Michalewicz ve arkadaşları, doğrusal ve doğrusal olmayan taşıma problemleri için genetik algoritma kullanımını ilk öneren araştırmacılarıdır. Ayrıca, Gen ve Li de genetik algoritmaları taşıma problemlerinin çözümü için kullanmışlardır (Gen, 2000: 297).

- **Gezgin Satıcı Problemi**

Gezgin satıcı probleminde amaç, katedilen toplam mesafeyi minimize eden bir yolculuk planı oluşturmaktır. Birçok problem tipi gezgin satıcı problemi gibi modellenebilmektedir. Bunlara örnek olarak; devre tasarımı, posta taşıyıcılarının havayolu uçaklarının, okul otobüslerinin rotalarının bulunması verilebilir (<http://www.doc.ic.ac.uk,10.05.2010>). Gezgin satıcı probleminin bir özelliği de değişken sayısı artıkça üstsel artış gösteren zaman ihtiyacı içinde çözüme ulaştırılabilesidir. Fakat şehir sayısı artıkça algoritmanın hesaplama için gereksinim duyduğu zaman daha da büyük bir oranda artmaktadır. Herhangi bir problem için kullanılan algoritmanın en yaygın performans ölçütü, algoritmanın çözüme ulaşma süresidir. Gezgin satıcı gibi değişken sayısı artıkça çözüm zamanı üstsel olarak artan problemlerde bu daha da önemlidir. Sonuç olarak optimale yakın ve kabul edilebilir bir çözüm bulunmaktadır (Engin, 2001: 9).

- **Hücresel Üretim Problemi**

Hücresel üretimde üretilecek olan parçalar gruplandırılarak parça aileleri oluşturulur. Buna eş zamanlı olarak parça ailelerini üretecek makineler parçalara göre gruplandırılarak makine hücreleri oluşturulur. Daha sonra parça aileleri oluşturulan makine hücrelerini atanır. Hücreler arası ve hücreler içi yerleşim hammaddelerin, ara stokların taşınmasını en aza indirecek şekilde tasarlanır. Genetik algoritmalar, hücreler arası taşımanın minimum olduğu bir hücrelerin oluşturulmasının amaçlanmasında kullanılabilir. Bu konuda Venugopal'ın 1999'daki çalışması, hücresel üretim konusu için uygulanmış çözüm tekniklerinin genel bir değerlendirmesini içermektedir (Brown ve Sumichrast, 2001: 3654). Plaquin ve Pierreval (2000), makine hücreleri oluşturmak üzere maksimum hücre boyutlarını, birlikte ve birbirinden ayrı olarak gruplanması gereken makineleri ve

hücrelerde bulunması gereken anahtar makineleri hesaba katan bir genetik algoritma modeli geliştirmişlerdir. Söz konusu araştırmacılar, yaptıkları çalışmada toplam olarak 61 adet 8 makineden oluşan 7 adet makine hücresi belirlemişlerdir. Gonçalves ve Resende (2004) üretim hücreleri oluşturmak için evrimsel algoritmayı ele almışlardır. Problem tam sayılı programlama olarak modellenmiştir ve çözüm metodolojisi olarak genetik algoritma önerilmiştir. Filho ve Tiberti (2006) hücre düzenlemesi için genetik algoritmayı kullanmışlardır. Makine kodlaması yerine grup kodlamasını kullanmışlardır. İterasyonlar sonucunda algoritma grup yapısını açığa çıkarmıştır. Sharif ve arkadaşları (2008), grup teknolojisi problemlerini tanımlayarak bu problemi çözmek için literatürdeki farklı yaklaşımları sınıflandırmışlardır. Parça parametreleri ve makineler göz önüne alınarak her bir parça için en iyi makine genetik algoritma yöntemi ile bulunmuştur. Daha sonra parça- makine matrisinden makineler ve parçalar gruplandırılarak hücreler oluşturulmuştur. Ve diğer tekniklerle genetik algoritma yönteminin karşılaştırması verilmiştir.

- **Ürün Ailesi Oluşturma Problemi**

Genetik algoritmalar ürün aileleri oluşturma problemlerinde yaygın olarak kullanılırlar. Üretimde kolaylık sağlamak için ürünler sipariş miktarlarına, gördükleri işlemlere, toplam üretim sürelerine, benzer üretim özelliklerine göre, benzer geometrik yapılarına göre gruplara ayrılırlar. Bu gruplar oluşturulurken genetik algoritmadan yararlanılabilir. Genetik algoritmalar kesin bir sonuç vermezler fakat algoritmanın yapısı gereği kısa zamanda en iyi çözüme yakın sonuçlar verebilir. Literatürde bu konuda yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Balakrishman ve Jacob (1996) pazardaki ürün potansiyelini ölçmek için ürün ailesi tasarımı için performans ölçütlerini belirlemişlerdir ve genetik algoritmanın performansını değerlendirmişlerdir. Çalışmada ürün tasarımında genetik algoritmaların nasıl uygulanacağı üzerine ve dinamik programlama ile genetik algoritmanın sonuçlarının karşılaştırılması üzerine ve parametre seçimlerinde genetik algoritmanın duyarlılığı üzerine odaklanılmıştır. Tiihonen ve diğerleri (1998) kavramsal parça, kaynak, fonksiyonlara dayalı konfigürasyonel ürün ailesi tasarımı için model geliştirmişlerdir. Geniş ürün çeşitliliğinin yönetimi üzerinde durmuşlardır. Selim et al. (1998) hücre

biçimlendirmek için kapsamlı matematiksel model önermişler ve ilk araştırma için sınıflandırmaya dayanan bir metadoloji oluşturmuşlardır. Çalışmalarında hücrel üretimi ve hücre tasarımı üzerinde durmuşlardır. Mevcut çalışmaların eksiklikleri üzerinde durarak daha sonra yapılacak çalışmalar için yol gösterici bilgiler vermişlerdir. Kota ve diğerleri (2000) ürün ailelerinde ortak özellikler, ortak ölçüler geliştirmişlerdir. Amaç modeller arasında müşteri seçimlerini göz önüne almayarak değer yaratmayan değişkenleri minimize etmektir. Uddin ve Shanker (2002) her parçanın birden fazla üretim sürecinden geçtiği gruplama problemini ele almışlardır. Çalışmalarında dört makine – beş parça, altı makine – on parça ve yirmi makine – yirmi parçadan oluşan üç farklı veri seti için bağımsız hücreler oluşturmak üzere bir çeşit genetik algoritma geliştirmişlerdir. Söz konusu algoritmanın en çarpıcı yanı, her parçaya ait birden fazla işlem rotasını dikkate almasıdır. De Weck ve diğerleri (2003) ürün ailelerindeki karlılığı maksimize ederek zaman ve maliyeti geliştirerek ürün aileleri oluşturmuşlardır. Simpson ve D'Souza (2004) aile içindeki ürünlerin ortaklıkların bireysel performanslarını göz önüne alarak ürün ailesi tasarımı için ve ürün aileleri için genetik algoritma yaklaşımını kullanmışlardır. Jiao ve diğerleri (2006), genetik algoritma kullanarak ürün aileleri oluşturmayı hedeflemişlerdir. Genel kodlama şemasını çeşitli ürün ailesi oluşturma senaryolarına uyarlamak için geliştirmişlerdir. Genetik algoritma tasarımı ve uygulamalarını sonuçlar bölümünde tartışmışlardır. Kannan ve Shunmugam (2008) üç boyutlu sac levhaları bükme için üretim planları yapılırken uygun araçların ve yerlerin seçilmesinin önemi üzerinde durmuşlardır. Aynı doğrultuda olan bükmelerin tek bir operasyonla olabileceğini ve farklı araç ve gereçlerin orta düzeydeki parçaların tekrar kullanabileceğini söylemişlerdir. Birbiri ardına gelen bu şekildeki parçaların üretimlerinin planlanmasının zaman alıcı ve can sıkıcı bir iş olduğu üzerinde durmuşlardır. Bu çalışmalarında üç boyutlu sac levhaların bükülmesinde elitist genetik algoritmayı kullanarak parça taşımalarını minimuma indirmeyi ve optimal bükme sırasını bulmayı amaçlamışlardır. Önerilen bükme sırası planı C ++ programında geliştirilmiştir. Kullanılan genetik algoritma optimal sonuca ulaştırmıştır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

SİPARİŞE DAYALI ÜRETİM HÜCRELERİNDE GENETİK ALGORİTMA UYGULAMASI

Bu bölümde metal sektöründe faaliyet gösteren bir firmada gelen siparişlerdeki üretilecek olan parçalar bir önceki bölümde değinilen genetik algoritma yöntemi ile gruplandırılarak parça aileleri oluşturulmuştur. Geliştirilen genetik algoritma yaklaşımının adımları, bileşenleri ve algoritmanın parametre değerleri verilmiştir. Son olarakta problemin çözümü için geliştirilen C# 2.0'da yazılan genetik algoritmanın sonuçları verilmiştir.

4.1. Firmanın Tanıtımı

1996 yılında İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesinde kurulmuş olan firma sac şekillendirme alanında faaliyet göstermektedir. 1996 yılında 1 punch ve 1 abkant press ile faaliyete geçmiş olan firma günümüzde 35.000 m²'si kapalı, toplam 50.000 m²'lik fabrikada yılda 8000 ton sac işlenmektedir. Firma ürünlerini birçok ülkeye ihraç etmektedir. Firma sipariş üzerine üretim yapmaktadır. Tamamen müşteri talebi doğrultusunda sıfır hata felsefesini benimseyen firma sac üzerine her türlü siparişi gerçekleştirmektedir. İlk kez talep edilen ürünlerin yanı sıra daha önce üretilmiş ürünler için de sipariş alıp üretim yapmaktadır. Firma müşterilerine kesme, delme, perfore delme, bükme, kaynak, montaj ve boya süreçlerinin hepsini içeren komple bir hizmet sunmaktadır. Projelerin imalat safhalarında, bütünüyle bilgisayar ortamında CAD-CAM 3D çizim programlarıyla çalışan uzman bir departmana sahiptir. Üretim sürecinde de bilgisayar desteğiyle çalışarak gelişmiş CAM programı ve CNC tezgahlar sayesinde hatasız üretim gerçekleştirmektedir. Teknolojideki gelişim ve değişimi yakalayarak varlığını devam ettirebileceğine inanan firmanın kaynak mühendisleri, üretim mühendisleri firmanın makine mühendisleri, makine ressamaları, teknikerler ve diğer çalışanlarla beraber 400'ü aşkın çalışanı bulunmaktadır. Firmanın hizmet verdiği başlıca sektörler, iklimlendirme ve havalandırma, gaz türbin sistemleri metal aksamları, beyaz eşya, elektrik-elektronik

endüstriyel soğutucuların metal aksamaları olarak sıralanabilir. Elektrik panelleri, elektronik ekipman kutuları, makine kabinleri, HVAC endüstrisi için panel parçalar, otomobil ve makine endüstrisi için parçalar, özel tasarım ürünler firmanın ürettiği ürünler içerisinde yer almaktadır. Firmada universal CNC tezgahları bulunmaktadır. Firmanın elinde farklı işlemler için kullanılan her makineden birden fazla bulunmaktadır. Tablo 3’da firmanın elinde bulunan makinelerin listesi ve adetleri verilmektedir.

Tablo 3: Makine Listesi

Makine	Adet
Testere kesim	3 adet
CNC Punch	7 adet
Lazer	4 adet
Giyotin	4 adet
Plazma	1 adet
El plazması	2 adet
Abkant	17 adet
Silindir	2 adet
Hidrolik Pres	2 adet
Eksantrik Pres	2 adet
Hidrolik Çekme Pres	1 adet
Kaynak Makinesi	30 adet
Kaynak Robotu	2 adet
Soğuk Punta Makinesi	3 adet
Boya (Robot ve Tabanca)	3 adet

Şirketin misyonu sunmuş olduğu kalite ve hizmetin tek değerlendircisinin müşteri olduğu bilinciyle; müşterilerinin taleplerini teknolojiyi takip ederek cevaplamak, yüksek verimlilikte, istenen zamanda, en uygun kalite ve maliyetle ürün sunmak ve üretim sonrası sorumluluğu taşımak, çalışanların memnuniyetini hedefleyerek sürekli gelişmek ve büyüme. Bu misyon gereğince 2003 yılında kalite yönetim sistemi bağımsız belgelendirme kuruluşu olan TUV Sudwest ‘dan ISO 9001 belgesini almıştır.

Firma bilgisayar sistemlerinde, CNC makineleriyle tam uyumlu CAD-CAM üç boyutlu çizim ve tasarım programları kullanmaktadır. Böylelikle müşteriden gelen istekler doğrultusunda ürün geliştirmeye tasarım aşamasında başlamaktadır. CNC punch pres makineleri ile kesme, delme ve perfore işlemlerini; 1500 mm genişlikteki yumuşak metal levhalarda 6 mm, paslanmaz çelik levhalarda 4 mm kalınlığa kadar uygulamaktadır. Bakır alüminyum, galvaniz ve plastik levhalarda da aynı işlemleri gerçekleştirmektedir. Lazer kesim makinelerinde maksimum sac kalınlığı, yumuşak çelik için 20 mm, paslanmaz çelik için 15 mm, alüminyum için ise 10 mm'dir. Makinelerinde, 12 m uzunluk ve 10 mm kalınlığa kadar metal levhalar üzerinde her türlü şekilde, istenen açılarda bükme işlemini gerçekleştirebilmektedir. Saatte 300 m² boya kapasitesine sahip tam otomatik, elektro-statik yağ ve toz boya makinesi bulunmaktadır. Birkaç parçanın birleşmesi ile oluşan ürünler montaj işlemine tabi tutulmaktadır. Ürettikleri ürünleri müşterilerine ulaştırmak için firmanın kendi sevkiyat bölümü mevcuttur.

Firmada kurulu Kalite Yönetim Sistemi, uygunsuzlukları önleme ve bunun için gerekli olan firma içi ve geri besleme kanallarını oluşturma prensiplerinde kurulmuş ve geliştirilme olanakları ile yapılandırılmıştır. Kalite politikası çerçevesinde personelin yaratıcılıklarını ve inisiyatiflerini geliştirmek ve sorumluluk duygusuna sahip olmalarını sağlamaktadırlar. Her personelin, yaptığı işlerin kalitesinin bir başkası tarafından kontrol edilerek değil, spesifikasyonlara uygun çalışarak oluşturulabileceği bilincine sahip olmasını sağlamaktadır. Firma üretimlerini müşteri odaklı gerçekleştirmektedir. En üst düzeyde müşteri tatmini sağlayacak, güvenilir olacak ve müşteriye bir değer sunacak şekilde üretimlerini meydana getirmektedir. Hammadde temin ettiği tedarikçileri uzun dönemli ve karşılıklı iyi niyet ve dürüstlük esasına dayalı açık ilişkiler kurarak az sayıda tedarikçi ile çalışmaktadır.

Diğer sektörlere temel oluşturan ve ileri teknoloji gerektiren makine – metal sektörü, Avrupa Birliği Ülkeleri'nin de temel ekonomisini oluşturmaktadır. Bu nedenle en fazla yetişmiş elemana ihtiyaç duyan ve istihdam sağlayan sektör konumundadır. Çalışanlarının eğitimine büyük bir önem veren firma eğitimin ilerisi için bir yatırım olduğunu düşünmektedir.

4.2. Araştırma ve Yöntem

Metal sektöründe sac şekillendirme üstüne faaliyet gösteren firmada yapılan uygulamanın temel amacı, gelen siparişlerdeki üretilecek olan parçaların toplam üretim sürelerinin benzerliklerine göre gruplandırarak parça aileleri oluşturmak ve bu parça ailelerini aynı üretim hattında üretmektir. Bu yöntemle üretim süresi bakımından farklılık gösteren parçalar, beraber aynı üretim hattına girmeyecek ve buna bağlı verimlilik kaybı yaşanmayacaktır. Siparişlerdeki parçaların toplam üretim sürelerine göre gruplandırılmasıyla, gelen farklı siparişlerin müşterilerin istedikleri tarihte hazır olmaları sağlanacaktır .

Problemin doğru bir şekilde anlaşılması ve modellenmesi için gelen siparişlerin detaylarının; müşterinin nasıl bir ürün istediğinin, ürünlerin ebatlarının bilinmesi gerekir. Müşterinin istediği ürünlerin resimlerini ve ebatlarını göndermesi firma için üretim planlamada kolaylık sağlamaktadır. Siparişler geldikten sonra üç boyutlu çizim ve tasarım programları kullanılarak ürünün üç boyutlu teknik resmi çizilir. Firma müşteriden gelen istekler doğrultusunda ürün geliştirmeye tasarım aşamasında başlamaktadır. Çizimler yapıldıktan sonra planlama bölümünde her bir parça için içerisinde parçaya ait boyut, resim, sipariş adedi, hangi makinelerde işleneceği ve bu makinelerdeki işlem süreleri, hangi süreçlerden geçeceği, hangi hammaddenin kullanılacağı, gibi bilgilerin olduğu ürün dosyaları hazırlanır. En son aşama gelen farklı siparişler içerisindeki parçaların gruplandırılarak ürün aileleri oluşturma aşamasıdır. Bu aşamada, ürünler toplam üretim sürelerine göre gruplandırılırlar ve üretime başlanır. Bu çalışmada ürün aileleri oluşturmak için geliştirilen modelin temelinde, karmaşık karar verme problemlerinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden olan genetik algoritma kullanılacaktır.

4.3. Problemin Tanımı

Genel olarak, işletmeler iki farklı problemle karşı karşıya kalmaktadırlar. Birincisi, müşteriyi tatmin edecek bir teslim zamanının belirlenmesi, ikincisi ise, siparişlerin istenen teslim zamanlarında teslim edilebilmesi için nasıl üretimlerinin yapılacağına karar verilmesidir. Uygulama yapılan fabrikada çok farklı tipte ve sayıda ürün üretilmektedir. Önerilen modelin çalışma prensiplerini göstermek amacıyla, üretimin karakteristiklerini temsil etmek üzere, aynı anda gelmek koşuluyla seçilen iki siparişin verileri toplanmıştır. Etkin bir üretim tipi geliştirilerek siparişlerdeki gecikmelerin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda ise öncelikle üretim hattında farklı iki siparişteki parçaların toplam üretim sürelerine göre gruplandırılarak, beraber işlem görmeleri sağlanmaktadır. Örneğin, yeni siparişlerin makinelerle atanmaları gerçekleştirilirken siparişteki ürünler ile aynı ya da benzer ürünü üreten makinelerle atanması hedeflenir. Bu amaçla çalışmada genetik algoritma kullanılarak parça grupları oluşturulmuştur. Kullanılan uygunluk fonksiyonu ile parçaların içinde buldukları gruplar arasındaki sapmaların minimize edilmesi amaçlanmıştır.

4.4. Uygulamada Kullanılacak Veriler

Uygulama sırasında gelen iki siparişteki üretime girecek olan parçalar seçilmiştir. Fabrikanın kesim, büküm, kaynak, boyama, montaj ve paketleme bölümleri bulunmaktadır. Bu bölümler punch, giyotin, plazma, abkant, kaynak, boya gibi universal CNC tezgahlardan oluşmaktadır. Uygulamada kullanılacak parça sayısı 28'dir. Her bir ürün için paketleme ortak istasyondur. İşletmede makineler arası mesafe fazla değildir. Parçaların işlem sıraları birbirlerine benzer değildir. Uygulamada kullanılacak gerekli olan veriler şu şekildedir.

- Ürünlerden kaç adet sipariş edildiği,
- Parçaların hangi işlemlerden geçeceği,
- Parçaların hangi makinelerde şekillendirileceği,
- Ürünlerin her bir makinede gördüğü işlem süreleri.

Tablo 4’de uygulamada kullanılacak parçalar (P1, P2 şeklinde numaralandırılarak), ve her bir parçadan ne kadar sipariş edildiği gösterilmektedir. Bu tür yöntemlerde en çok kullanılan matris türü, bu uygulamada da kullanılacak olan ve yöntemlerin başlangıcını oluşturan 0-1 tamsayılı matrisidir. Bu matris parçalarla içinde bulunacakları grupları ilişkilendirmektedir.

Tablo 4: Uygulamada Kullanılacak parçaların sipariş miktarları

Parça Kodu	Sipariş Kodu	Sipariş Miktarı
P1	6810-01 ALT ŞASE YAN SACI	5
P2	6810-02 ALT ŞASE SACI	5
P3	6810-03 ALT ŞASE YAN SACI	5
P4	6810-04 ALT ŞASE YAN SACI	5
P5	6810-11 KÖŞE DİKME - ÖN / ARKA SAĞ	9
P6	6810-14 ÜST KAPAK	3
P7	6810-15 ARKA KAPAK	3
P8	6810-16 İÇ PANJUR	3
P9	6810-21 ÇERÇEVE	3
P10	6810-37 PARÇA YAPIMI	3
P11	6810-43 ELEKTRİK PANOSU SACI	3
P12	6810-45 DAVLUMBAZ	3
P13	6810-47	3
P14	6810-60	3
P15	6810-66 PARÇA YAPIMI	6
P16	7757-19 KARTER AYAKLARI PARÇA YAPIMI	50
P17	7757-30 PARÇA YAPIMI	10
P18	7813-12 KELEPÇE	50
P19	ESR.01.315.000.063	20
P20	ESR.01.056.000.095	20
P21	ESR.01.088.000.045	5
P22	ESR.02.107.000.062	5
P23	ESR.02.107.000.059	20
P24	ESR.02.212.000.016	30

Parça Kodu	Sipariş Kodu	Sipariş Miktarı
P25	ESR.02.033.000.030	30
P26	ESR.01.055.000.007	30
P27	ESR.01.088.000.010	20
P28	ESR.02.33.00.031	20

4.5. Problemin Modellenmesi

Genetik algoritmanın uygulanması için gerekli olan en önemli unsurlardan bir tanesi uygunluk fonksiyonunun tanımlanmasıdır. Bu uygulama için amaç fonksiyonu geliştirilirken amaç fonksiyonunda oluşturulan ürün aileleri arasında sapmanın minimizasyonu amaçlanmıştır. Çalışmada iki boyutlu matris üzerinde çalışma yapılmıştır. Örnek olarak seçilen dört grup ve 28 parça ile 28x4'lük bir matris oluşturulmuştur. İki boyutlu matris kromozom(birey) olarak kabul edilir. Grup – parça matrisindeki 1'ler parçanın o grup içinde olduğunu 0'lar ise parçanın o gruba ait olmadığını göstermektedir. Makinelerdeki işlem süreleri ile sipariş miktarları çarpılarak parçaların toplam üretim süreleri bulunmuştur. Amaç toplam üretim sürelerine göre oluşturulan parça ailelerinin dengede olmasını sağlayarak sipariş sürelerindeki toplam gecikmeyi minimize etmektir. Genetik algoritma kullanılarak döngüler içerisinde uygunluk fonksiyonu değerini minimum değeri alacak şekilde kromozomlar oluşturularak parça aileleri oluşturulmak istenmiştir. Bu uygulamada iki adet siparişe ait olan parçalar aynı anda üretilmek istenmektedir. Genetik algoritma kullanılarak 4 adet parça grubunun oluşturulmasının uygun olacağı öngörülmüştür. Grup sayısı modelin bir kısıtını oluşturmamakla beraber farklı sayılarda gruplar oluşturulabilir.

Öncelikle problemin amaç fonksiyonunu ve kısıtlarının bir model şeklinde gösterilmesi problem açısından bize yol gösterici olacaktır. Aşağıda amaç fonksiyonundan ve kısıtlardan oluşan sipariş sürelerine göre parça ailesi oluşturma problemine ilişkin model görülmektedir.

$P_{(i,j)}$ = Parça – grup matrisi

$$P_{i,j} = \begin{cases} 1, & i \text{ parçası } j \text{ grubunda yer alıyorsa} \\ 0, & i \text{ parçası } j \text{ grubunda yer almıyorsa} \end{cases}$$

$P_i = [P_1, P_2, P_3, \dots, P_{28}]$ P = parça 2 adet siparişe ait olan üretilecek parçalar

$G_i = [G_1, G_2, G_3, G_4]$ G = grup parçaların içinde bulunması istenen gruplar

W_i = Her bir parça için toplam üretim süresi

S_i = Her bir parça için sipariş miktarı

t_i = Parçaların makinelerdeki işlem süreleri

μ = Toplam üretim sürelerinin ortalaması

N = Grup içerisindeki parça sayısı

σ_k = Her bir grubun standart sapması

$k = \{\text{grup1, grup2, grup3, grup4}\}$

N = Grup içerisinde yer alan parça sayısı

W_{ik} = Bir grup içerisinde yer alan her bir parçanın toplam üretim süresi

μ = Bir grup içerisinde yer alan parçaların toplam üretim sürelerinin ortalaması

Bir parça sadece bir grupta bulunabilir.

İlk olarak gelen iki siparişe ait olan parçaların hammaddesi olan sacların işlem gördükleri kesme, bükme, kaynak, montaj, boya, paketlenme gibi bölümlerdeki işlem süreleri göz önüne alınarak sipariş miktarlarıyla birlikte her bir parçanın toplam üretim süresi bulunmuştur. Toplam üretim süresi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$W_i = S_i \times \sum_{j=1}^M t_j \quad (1)$$

i : Parça sayısı $i = \{1, 2, 3, 4, \dots, 28\}$

Çalışmada uygunluk fonksiyonu olarak varyasyon katsayısı kullanılmıştır. Kavrukkoca (2003) yaptığı çalışmada uygunluk fonksiyonu tanımlanması sırasında sipariş büyüklükleri ile ilgili amaç için varyasyon katsayısından yararlanmıştır. Parçaların toplam üretim süreleri bulunduktan sonra oluşturulan parça – grup

matrisinde grupların parçaların her bir makinede gördüğü işlem sürelerine göre dengede olup olmadığının her bir grup içerisinde yer alan parçaların toplam üretim sürelerinin varyasyon katsayıları hesaplanmıştır.

Varyasyon Katsayısı : Bir veri serisinin özetlenmesinde ortalama ve standart sapma birlikte bildirilmektedir. Bir anlamda, eğer ortalama verilerinin merkezi olarak kullanılan ölçü ise, standart sapma veri yayılımının doğal ölçüsüdür. Standart Sapma: Gözlemlerin ortalamalar etrafında ne uzaklıkta toplandığını ve ondan ne kadar uzaklaştıklarını gösteren bir dağılım ölçüsüdür. Verilerin dağılımını ölçmenin bir yolu, her bir gözlemin aritmetik ortalamadan ne kadar sapma gösterdiğine bakmaktır. Bazı anakütle değerleri ortalamadan yüksek, bazıları düşük olacağı için farkların kimisi artı, kimisi eksi değerli çıkacaktır. Bu farklar birbirlerini götürürler. Ancak yayıklığı ölçmeye çalışırken bir gözlem ile ortalama arasındaki farkın işaretine bakılmaz (Newbold, 2000:17). Standart sapmayı ortalamaya böler ve bunu yüzde olarak ifade edersek de varyasyon katsayısını buluruz. Bir veri serisi için varyasyon katsayısı standart sapma ile ortalama arasındaki orandır. Varyasyon katsayısı, standart sapma dağılımının yaygınlığını gösteren bir ölçümdür.

Standart sapma (veya varyans) bir değişim ölçüsü olarak iki gruba ait gözlemlere bakarak hangi grubun daha homojen olduğunun belirlenmesinde her zaman yeterli bir ölçü olmayabilir. Çünkü bazen yapılan ölçümlerin büyüklüğü standart sapmayı ortalamadan daha fazla etkileyebilir. Bu gibi durumlarda, yani gözlem değerlerinin büyüklüğünden ileri gelen farklılığı ortadan kaldırmak hem de farklı ölçü birimi ile ifade edilmiş gözlem değerlerini karşılaştırılabilir duruma getirmek için varyasyon katsayısı (değişim katsayısı) kullanılır.

Bu çalışmada varyasyon katsayısı uygunluk fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. Oluşturulan parça – grup matrislerinde oluşturulan grupların toplam üretim sürelerine göre gruplar arasındaki sapmaların ne kadar olduğu öğrenilmek istenmiştir. Birey olarak kabul edilen her parça – grup matrisinde oluşturulan dört grubun dengede olup olmadığı ise her bir grup için hesaplanan değerlerin varyasyon katsayısına bakılarak karar verilmiştir. Buradaki amaç toplam

üretim sürelerine göre gruplar arasındaki sapmaları minimize etmektir. Varyasyon değeri en küçük olan birey çözüm bireyimiz olacaktır.

Grup – parça matrislerinin her biri bir birey olarak kabul edilmektedir. Daha sonra her bir ürün ailesi için hesaplanan varyasyon katsayılarının tekrar varyasyonları hesaplanarak sapmaların minimuma indirilmesi istenmiştir. Varyasyon katsayısı; standart sapmanın ortalamaya göre nasıl bir değişim gösterdiğini belirtir. Oluşturulan uygunluk fonksiyonunun amacı da ürün ailelerindeki ortalamaya göre sapmaları minimize etmektir. Böylelikle toplam üretim süresine göre müşterilerden gelen farklı siparişleri aynı anda üretim hattına sokarak siparişlerin istenilen tarihte tam zamanında üretilmesi amaçlanmıştır.

Varyasyon katsayısını bulmak için ilk olarak grup içerisinde yer alan (1) değerine sahip olan parçaların toplam üretim süreleri alınarak ortalamaları bulunmuştur. Ortalamalar aşağıda verilen formülle hesaplanır.

$$\mu = \sum_{i=1}^N X_i \div N \quad (2)$$

μ = Toplam üretim sürelerinin ortalaması

X_i = Grup içerisinde yer alan her bir parçanın toplam üretim süresi

N = Grup içerisindeki (1) ile kodlanmış parça sayısı

Varyans katsayısını hesaplayabilmek için ikinci aşama olarak dağılımdaki tüm değerlerin aritmetik ortalamaya olan uzaklıklarını ortalamasını yani standart sapmasını bulmamız gerekmektedir (1) ile kodlanmış bireylerin toplam üretim sürelerinin standart sapmaları aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}} \quad (3)$$

σ = Her bir grubun standart sapması

N = Grup içerisinde (1) ile kodlanmış parça sayısı

X_i = Grup içerisinde yer alan her bir parçanın toplam üretim süresi

μ = Toplam üretim sürelerinin ortalaması

Her bir grup için varyasyon katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Cv = \frac{\sigma}{\mu}$$

Dağılımdaki tüm değerlerin standart sapmalarının değerlerin ortalamasına bölümü bize varyasyon katsayısını verir. Oluşturulan ürün ailelerinin dengede olup olmadığını belirlemek için her bir ürün ailesinin varyasyon katsayıları hesaplanır. Varyasyon katsayısı toplam üretim sürelerine göre parça ailelerinin oluşturulmasının etkinliğini vermektedir. Varyasyon katsayısı aynı zamanda bizim amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır. (2) ve (3) denklemlerde her bir grup için hesaplanan değerler ele alınarak her bir grup için bulunan varyasyon katsayılarının tekrar standart sapma/ortalama alınarak her bir bireyin (kromozomun) uygunluk değerleri bulunur.

Problemin uygunluk / amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir;

$$Cv = f(x) \min = \frac{\sigma(Cv_1, Cv_2, Cv_3, Cv_4)}{\mu(Cv_1, Cv_2, Cv_3, Cv_4)}$$

4.6. Problemin Genetik Algoritma ile Çözümü

Genetik algoritma uygulamalarında ilk adım olarak başlangıç popülasyonu oluşturulur. Başlangıç popülasyon sayısı problemin yapısına göre değişmektedir. Bu çalışmada başlangıç popülasyonu 20 kromozomdan oluşmaktadır. Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra belirlenen uygunluk fonksiyonuna göre her bir kromozomun uygunluk değerleri hesaplanır. Uygunluk değerleri hesaplanan kromozomlar arasından rastgele seçilen bireyler arasında çaprazlama operatörü uygulanır. Daha sonra çeşitliliğin sağlanması ve tekrarın önlenmesi için mutasyon operatörü uygulanır. Seçim yöntemlerinden birisi kullanılarak yeni nesilde yer alacak bireyler seçilirler. Belli bir durdurma kriteri belirlenir ve bu kritere ulaşıncaya kadar adımlar tekrar edilir. Problemin çözülmesi amacıyla bu çalışma kapsamında geliştirilen ve probleme özgü bilgileri kullanan genetik algoritmanın adımları aşağıda verilmiştir.

4.6.1. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Üçüncü bölümde ele alındığı gibi genetik algoritmalar parametreler yerine bunların kodlanmış şekli olan kromozomlar ile çalışırlar. Başlangıç popülasyonu oluşturmak genetik algoritmaların ilk adımıdır. Genetik algoritma, başlangıç popülasyonu olarak rassal olarak belirlenmiş büyük bir kromozom kümesi ile başlar. Başlangıç popülasyonu oluştururken birkaç yol uygulanabilir. Birçok genetik algoritma uygulamasında başlangıç popülasyonunun rassal olarak oluşturulduğu gözlenmektedir. Bu çalışmada da başlangıç popülasyonu rassal olarak oluşturulmuştur. Bilindiği gibi popülasyon büyüklüğünün seçimi genetik algoritmanın verimini önemli bir oranda etkilemektedir. Literatürde öngörülen başlangıç popülasyonundaki birey sayısı 20 ile 100 arasında değişmektedir. Bu çalışmada başlangıç popülasyonu 20 adet bireyden(kromozomdan) oluşmaktadır. Kromozomlar parça – grup matrisleridir. Başlangıç popülasyonunda yer alan bir kromozom örnek olarak Tablo 5’de verilmiştir. Matriste (1) ile kodlanan yer parçanın o grup içerisinde yer aldığını göstermektedir. (0) ile gösterilen yer ise parçanın o grupta yer almadığını göstermektedir. Örneğin P1 parçası grup3 içerisinde yer almaktadır. Başlangıç popülasyonu bu şekilde rastgele oluşturulan 20 adet kromozomdan oluşmaktadır. Uygulamada “1” lerin birarada gruplanması yapılarak dört grup oluşturulması önerilmektedir.

Tablo 5 : Parça – Grup Matrisi

KROMOZOM					
	Grup1	Grup2	Grup3	Grup4	Toplam İşlem Süresi
P1	0	0	1	0	575
P2	0	0	0	1	535
P3	0	0	1	0	240
P4	1	0	0	0	270
P5	1	0	0	0	1197
P6	0	1	0	0	768
P7	1	0	0	0	1221
P8	0	0	0	1	870
P9	0	0	1	0	354
P10	0	1	0	0	180
P11	1	0	0	0	204
P12	0	0	0	1	1800
P13	0	0	1	0	258
P14	0	1	0	0	555
P15	0	0	0	1	1428
P16	1	0	0	0	3000
P17	0	1	0	0	530
P18	0	0	1	0	17250
P19	0	0	1	0	3600
P20	0	0	1	0	4200
P21	0	1	0	0	275
P22	0	1	0	0	3900
P23	1	0	0	0	14400
P24	0	0	0	1	14400
P25	0	1	0	0	7650
P26	1	0	0	0	9000
P27	0	0	1	0	9400
P28	0	0	0	1	3500

4.6.2. Uygunluk Fonksiyonu ve Uygunluk Değerleri

Uygunluk fonksiyonu, genetik algoritmanın en temel yapısıdır ve kromozomların ne kadar iyi bir çözüm verdiğini gösterir. Problemdeki uygunluk fonksiyonu parçaların teslim sürelerini minimum düzeye çekmeyi amaçlamaktadır. İlk olarak her bir parçanın sipariş miktarı ile her bir bölümde makinelerde gördüğü işlem süreleriyle çarpılarak toplam üretim süreleri bulunmuştur. Bu hesaplamalar Excel 2007’de yapılmıştır. Her bir parçanın makinelerdeki işlem süreleri (toplam üretim süreleri) ve sipariş miktarları Tablo’6 de verilmiştir.

Tablo 6: Parçaların Makinelerdeki İşlem Süreleri

PARÇALARIN MAKİNELERDEKİ İŞLEM SÜRELERİ											
BÖLÜMLER		KESİM				BÜKME	KAYNAK	MONTAJ		BOYA	PAKETLEME
Parçalar	Sip. Mik.	Punch	Lazer	Plazma	Giyotin	Abkant	Gazaltı	Somun Çekme	Klavuz Çekme	Boyama	
P1	5	45	-	-	-	60	-	-	-	-	10
P2	5	37	-	-	-	60	-	-	-	-	10
P3	5	28	-	-	-	15	-	-	-	-	5
P4	5	34	-	-	-	15	-	-	-	-	5
P5	9	52	-	-	-	66	-	-	-	-	15
P6	3	186	-	-	-	30	-	-	-	-	40
P7	3	257	-	-	-	90	-	-	-	-	60
P8	3	180	-	-	-	80	-	-	-	-	30
P9	3	38	-	-	-	70	-	-	-	-	10
P10	3	35	-	-	-	15	-	-	-	-	10
P11	3	32	-	-	-	30	-	-	-	-	6
P12	3	220	-	-	-	320	-	-	-	-	60
P13	3		-	-	40	40	-	-	-	-	6
P14	3	65	-	-	-	90	-	-	-	-	30
P15	6	208	-	-	-		-	-	-	-	30
P16	50	-	-	30	-	20	-	-	-	-	10
P17	10	43	-	-	-		-	-	-	-	10
P18	50	265	-	-	-	30	-	-	-	-	50
P19	20	-	30	-	-	30	-	-	-	90	30
P20	20	-	60	-	-		-	-	-	90	60
P21	5	-	15	-	-	5	-	15	-	15	5
P22	5	-	60	-	-	-	600	-	-	60	60
P23	20	-	120	-	-	-	300	-	180	60	60
P24	30	-	60	-	-	-	300	-	-	60	60
P25	30	-	15	-	-	-	120	-	-	60	60
P26	30	-	120	-	-	120	-	-	-	-	60
P27	20	-	300	-	-	50	-	-	-	60	60
P28	20	-	60	-	-	-	35	-	-	40	40

Parçaların her bir makinede işlem görerek bir parça için toplam üretim süresi parçaların makinelerdeki işlem süreleri ile sipariş miktarının çarpımı şeklinde bulunur. Parçaların toplam üretim süreleri aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\sum_{i=1}^P Wi = Si \times \sum_{j=1}^M ti$$

W_i = Her bir parça için toplam işlem süresi

P = Parça sayısı ; $i=1,2,3,\dots,28$

S_i = Her bir parça için sipariş miktarı

t_i = Parçaların makinelerdeki işlem süreleri

M = Makine sayısı ; $j=1,2,3,\dots,8$

Tablo 6’de verilere dayalı olarak hesaplanan toplam üretim süreleri Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 7: Parçaların Toplam Üretim Süreleri

Parçalar	sipariş miktarı x std. Zaman
P1	575
P2	535
P3	240
P4	270
P5	1197
P6	768
P7	1221
P8	870
P9	354
P10	180
P11	204
P12	1800
P13	258
P14	555
P15	1428
P16	3000
P17	530
P18	17250
P19	3600
P20	4200
P21	275
P22	3900
P23	14400
P24	14400
P25	7650
P26	9000
P27	9400
P28	3500

4.6.3. Rulet Tekerleği Seçimi

Ele alınan problemde genetik algoritma yöntemi ile ürün aileleri oluşturulmuştur. Rassal olarak belirlenen popülasyon büyüklüğü 20 olan parça – grup matrislerinden oluşan başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra yeni bireyler üretmek için kullanılan rulet tekerleği seçimi bu çalışmada çaprazlanacak olan bireylerin eşleştirilmesinde kullanılmıştır. Çaprazlama operatörünü uygulamadan önce ilk olarak oluşturulan popülasyondan hangi bireyler arasında çaprazlama yapılacağına kadar vermek için popülasyondaki bireylere rulet tekeri seçim uygulanmıştır. Rulet tekerleği seçim yönteminde oluşturulan rulet çarkında yüksek uygunluk değerine sahip olan bireylerin seçilme olasılıkları daha yüksektir. Çalışmada iyi bireyler korunarak bir sonraki nesle aktarılmak istenmektedir. Yüksek uygunluk değerine sahip olan bireylerin seçilip çaprazlama işlemi uygulanarak daha düşük uygunluk değerine sahip olan bireylerin oluşturularak daha iyi bireylerin elde edilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca rulet tekerleği yöntemi literatürde en çok kullanılan seçim yöntemi olduğu için çaprazlanacak olan bireylerin karar verilmesinde bu yöntem kullanılmıştır. Rulet tekeri seçim yöntemi uygulanarak rassal olarak hangi bireylerin çaprazlanacağına karar verilmiştir. Problemdaki amaç parça – grup matrisinin varyasyon katsayısına göre dengede olup olmadığına karar verilmesidir.. Parça – grup matrisindeki sapmaları minimize etmek için oluşturulan amaç fonksiyonuyla her bir matris için uygunluk değerleri hesaplanmıştır. Rulet tekerleği yöntemi ile çaprazlanacak olan bireylere karar vermek için popülasyondaki bireylerin uygunluk değerleri toplanır. Bireylerin toplam uygunluk değerleri aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\sum_{i=1}^N f_i$$

f_i : Her bir bireyin uygunluk değeri

N : Popülasyondaki birey sayısı

Bireylerin uygunluk değerlerinin toplamı bulunduktan sonra popülasyondaki tüm bireylerin uygunluk değerleri toplam uygunluk değerine bölünerek her bireyin

rulet tekerleği üzerinde seçilme olasılığı hesaplanır. Seçilme olasılığı [0 – 1] aralığında bir değerdir. Toplam seçilme olasılığı ise her zaman 1'e eşittir. Her bireyin seçilme olasılığı aşağıdaki verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$KP_i = P_i \div \sum_{i=2}^N f_i$$

P_i : Bir bireyin seçilme olasılığı

f_i : i . Elemanın uygunluk değeri

N : Birey sayısı

Bireylerin rulet tekerleği üzerine yerleştirilmesi her bir bireyin seçilme olasılıklarının birbirine eklenerek rulet tekerleği üzerinde gösterilmesiyle gerçekleşir. Bireyler seçilme olasılıklarına göre rulet tekerleği üzerine yerleştirildikten sonra [0 – 1] aralığında rastgele sayı üretilir. Bu çalışmada popülasyon büyüklüğü 20'dir ve sabit tutulmaktadır. Üretilen rassal sayılar da popülasyon büyüklüğü kadardır. Rastgele üretilen bu sayı rulet tekerleği üzerinde hangi aralığa düşüyorsa o birey seçilmiş olur. Rulet tekerleği yönteminde bireylerin seçilme olasılıkları bulunduğundan sonra rassal aralıkları oluşturmak için bireylerin kümülatif olasılıkları hesaplanır. Bireylerin kümülatif olasılıkları ise, N popülasyondaki birey sayısı olmak üzere;

$$KP_i = P_i + \sum_{i=2}^N P_i$$

formülü ile hesaplanır. Oluşturulan popülasyondan bireylerin seçilerek yeni bireyler üretilmede çaprazlama operatörünün uygulanması için bireylere rulet çarkı uygulanır. Bu maksatla ilk bireyden başlamak üzere her birey için "0" ile "1" arasında rastgele bir x sayısı üretilir. $X < KP_i$ şartını sağlayan KP_i değerine karşılık gelen bireyler arasında çaprazlama yapılır. Çaprazlama yapılacak olan bireylerin bulunmasından sonra bireyler ikili gruplara ayrılarak ebeveyn olarak kabul edilir ve bunlara kendi aralarında çaprazlama işlemi uygulanarak yeni bireyler elde edilir.

4.6.4. Çaprazlama Operatörünün Uygulanması

Rulet tekerleği ile çaprazlanacak olan bireylerin seçilmesinden sonra çaprazlama operatörüne geçilir. Çaprazlama operatörü farklı yapıya sahip yeni nesiller oluşturmak için kullanılmıştır. Çaprazlama, iki ebeveyn kromozomun belirlenen kesimlerinin karşılıklı değişimleri sonucu ebeveynlerinin özelliklerini taşıyan benzer yavru kromozomların oluşturulması işlemdir. Uygulamada problemin ve kodlama sisteminin yapısına uygun olarak çok noktalı çaprazlama yöntemi kullanılmıştır. İki noktalı çaprazlama yöntemi uygulanırken tesadüfi olarak bir çaprazlama noktası belirlenir. Bu noktaya kadar olan kısım birinci ebeveynden alınır. Kalan kısım ikinci ebeveynden alınır. Bunu yaparken birinci ebeveynden alınmayan genler ikinci ebeveynde tespit edilir ve aynı sırada yavruya kopyalanır. Bu şekilde çaprazlama işlemi tamamlanmıştır.

Çaprazlama belli bir olasılığa (aprazlama olasılığı) bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu değer genellikle 0,6 ile 0,9 arasında değişmektedir. Uygulamamızda aprazlama olasılığı kullanılmayıp elde edilen yeni kromozomlar ile ebeveyn kromozomlardan en iyi uygunluk değerini veren bireyler yeni jenerasyona aktarılmıştır. Yeni popülasyona başlangıç popülasyonundaki birey sayısı kadar birey seçilir. Uygulamada çok noktalı çaprazlama operatörü kullanılmıştır.

4.6.5. Mutasyon Operatörünün Uygulanması

Mutasyon, kromozomun tesadüfi olarak seçilen bir noktasında gerçekleştirilen değişikliklerdir. İkili kodlamada bu işlem gen değerleri 1 ise 0, 0 ise 1 olarak değiştirilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Mutasyon operatörü, bir daha elde edilemeyecek sonuçların kaybına karşı koruma sağlamaktadır (Goldberg, 1989: 14). Uygulamadaki mutasyonun amacı aynı tür kromozomların kendini tekrarlamaması için bir sonraki nesile aktarılacak olan bireyler üzerinde değişiklik yapmaktır. Tesadüfi olarak mutasyon noktaları belirlenmiştir ve bu noktalardaki 1 değerleri 0 ya da 0 değerleri 1 yapılmıştır. Kromozomların aşırı bozulma ihtimaline karşın jenerasyondaki en iyi uygunluk değerine sahip kromozom yeni jenerasyona doğrudan

aktarılmıştır. Mutasyonu işleminin her yapılışından sonra uygunluk değerleri hesaplanmış ve bir önceki uygunluk değerinden yüksek değere sahip olan bireyler çözüme alınmamıştır. Bu çalışmada her beş çaprazlama sonunda bir mutasyon işlemi yapılmıştır. Kromozomda 28 satırdan rastgele seçilen dört satırdaki değerler değiştirilmiştir. Mutasyon olasılığı $1 / 28$ 'dir.

4.6.6. Seçim

Genetik algoritmalarda seçim kriterinin belirlenmesi problemin yapısına göre değişmektedir. Örneğin maksimizasyon problemlerinde popülasyonda bir veya birkaç birey dışında yüksek uygunluk değerine sahip olan bireyler varsa uygulanan genetik operatörler sonucunda elde edilen bireylerle optimum çözüme ulaşamayacaktır. Bu durum ise popülasyonun potansiyel olarak daha iyi bireylerin oluşmasına engel olacaktır. Diğer taraftan popülasyondaki tüm bireyler uygunluk değerleri açısından birbirlerine çok benziyorlarsa, seçim olasılıkları da birbirlerine çok yakın olacaktır. Belirtilen problemlerin oluşmaması için bu çalışmada 3.3.4'de açıklanan sıralı seçim yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada bireylerin uygunluk değeri hesaplanmış ve bu değerlerin minimum olması istenmiştir. İyi bireylerin çözümden çıkmaması istenmektedir. Dolayısıyla bu amaç doğrultusunda uygulamaya hizmet eden sıralı seçim yöntemi tercih edilmiştir. Çaprazlama ve mutasyon sonucu oluşan bireylerin uygunluk değerleri hesaplanmış ve bireylerin uygunluk değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. En düşük uygunluk değerine sahip olan ilk 20 birey bir sonraki nesle aktarılmıştır ve en iyi olan çözümler ile çözüm aramaya devam edilmiştir. İterasyon sayısına ulaşılmamışsa bu en iyi popülasyon bir sonraki iterasyon için başlangıç popülasyonu olarak atanır.

Uygulamadaki amaç uygunluk fonksiyonunu minimum yapmaktır. Parça ailelerinin oluşturulmasında oluşan gruplar arasındaki sapmalar minimize edilmek istenmektedir.

Sipariş sürelerine göre parça ailesi oluşturmada kullanılan genetik algoritmanın adımları aşağıdaki gibidir.

Adım 1: $m \times n$ boyundaki parça-grup matrisleri oluşturarak başlangıç popülasyonunu oluştur.

$m=28$; $n=4$ m :parça sayısı, n :grup sayısı

28 parça ve 4 gruptan oluşan 20 bireylik 28×4 'lük başlangıç popülasyonunu rassal olarak oluştur. Başlangıç popülasyonunda her parça sadece bir grup içerisinde yer alabilir. Eğer parça bir grup içerisinde yer alıyorsa "1", yer almıyorsa "0" olarak kodlanır.

Adım 2 : Her bir birey için toplam üretim sürelerini kullanarak uygunluk değerini hesapla.

Adım 3 : Oluşturulan başlangıç popülasyonuna çaprazlama yapılacak olan bireylerin seçimi için rulet tekeri yöntemini uygula.

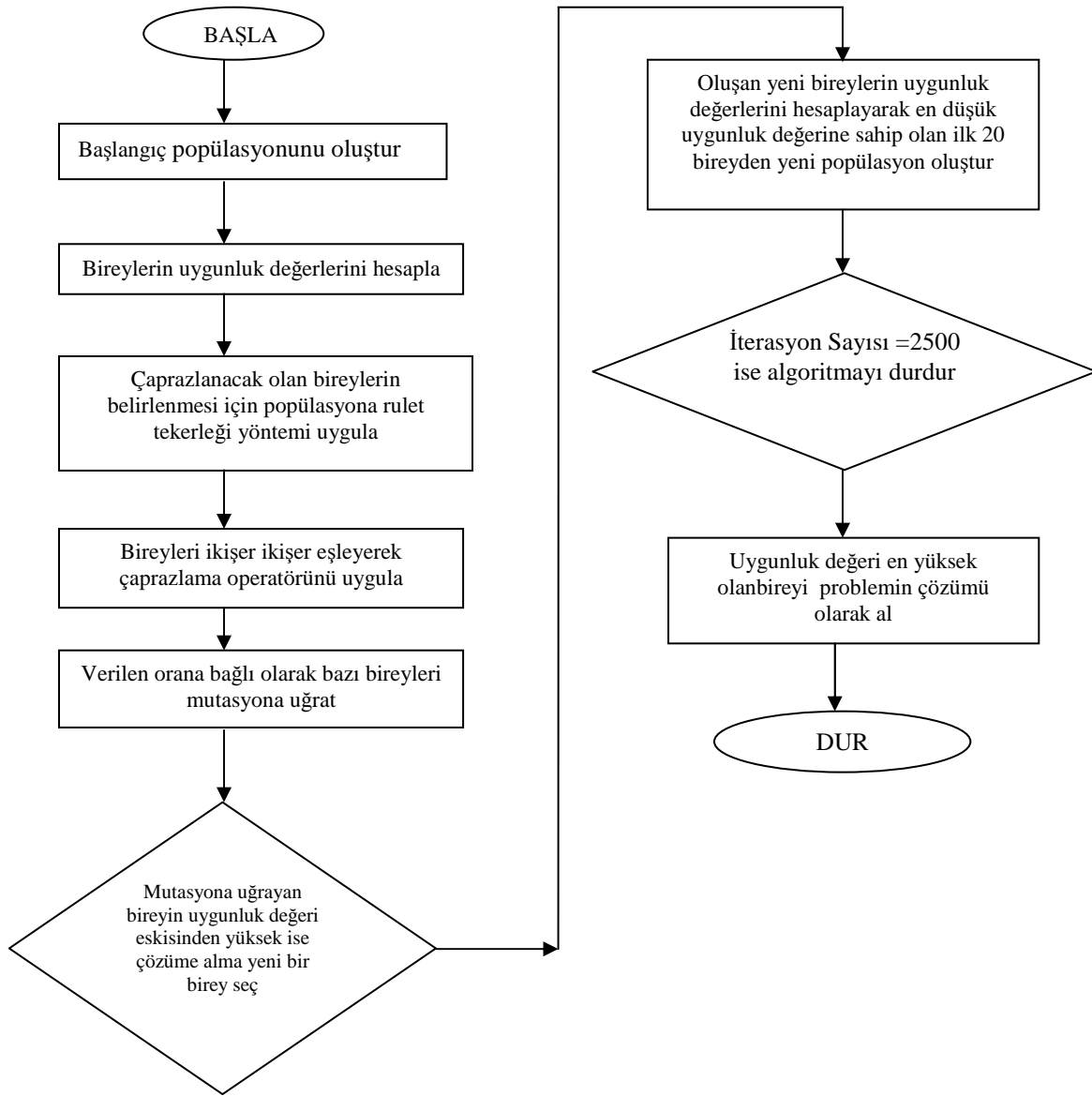
Adım 4 : Rulet Tekerli yöntemi ile belirlenen bireyleri ikişerli olarak gruplandırarak çaprazlama operatörünü uygula. Daha sonra mutasyon operatörünü uygula.

Adım 5 : Çaprazlama ve mutasyon sonucu oluşan ara nesildeki bireylerin uygunluk değerlerini hesapla ve en küçük uygunluk değerine sahip olan ilk 20 bireyden yeni nesil oluştur.

Adım 6 : Eğer 2500 döngü olan durdurma kriteri sağlanmamışsa dur.

Probleme uygun olarak geliştirilen genetik algoritmanın akış diyagramı aşağıdaki gibidir.

Uygulama için Microsoft Visual Studio C# 2.0 programlama dili kullanılmıştır. Probleme uygun olarak geliştirilen genetik algoritmanın akış diyagramı aşağıdaki gibidir.



Şekil 26: Problemin Akış Diyagramı

Daha önce belirtildiği gibi algoritmayı programlamak için nesne tabanlı programlama dili olan Microsoft Visual Studio C# 2.0 dili kullanılmıştır. Algoritma 1.86 GHz ve 512 MB RAM özelliklerine sahip olan bilgisayarda çalıştırılmıştır. Algoritmanın çalıştırılmasıyla en iyi sonuç 3 dakika 18 saniyede elde edilmiştir. Yazılım öncelikle kullanıcı tarafından girilen sayı kadar rastsal olarak başlangıç popülasyonunu oluşturmakta ve amaç fonksiyonunu ($fmin$) hesaplamaktadır. Ayrıca yazılımda döngü sayısı da kullanıcı tarafından girilebilmektedir. Geliştirilen yazılım algoritmasını kısaca özetleyecek olursak; rassal olarak girilen sayı kadar parça – grup

matrislerinden oluşan kromozomlar ve popülasyon ile genetik algoritma adımları izlenir. Çaprazlama yapılacak bireyler rulet tekeri seçim yöntemiyle seçilerek ve kendi aralarında ikişer ikişer gruplandırılarak çaprazlama yapılır. Her beş çaprazlamadan sonra mutasyon işlemi uygulanır. Mutasyona uğratılan bireylerin yeni uygunluk değerleri eskisinden daha yüksek ise o birey mutasyona uğratılmaz ve rassal olarak yeni bir birey seçilir. Daha sonra uygunluk değerleri küçükten büyüğe sıralanır ve en düşük uygunluk değerine sahip ilk 20 birey bir sonraki nesile aktarılır. Algoritma programın başlangıcında girilen iterasyon sayısı kadar devam eder. İterasyon sonucu elde edilen matris uygun çözüm olarak kabul edilir. Algoritmada bazı parametreler kullanılmıştır. Tablo 7’de genetik algoritma çözümünde kullanılan parametre operatörlerinin değerleri verilmiştir.

Tablo 8: Genetik Algoritmada Kullanılan Parametreler

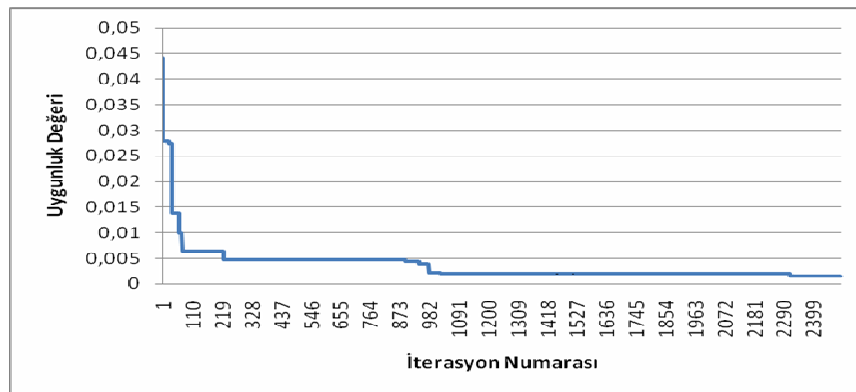
Başlangıç Popülasyon Sayısı	20
Tekrar Sayısı	2500
Çaprazlama Operatörü	Çok Noktalı Çaprazlama
Mutasyon Operatörü	Keyfi dört iş değiştirme
Seçim	Sıralı Seçim

Algoritmada birçok iterasyon denenmiştir. 1.86 GHz ve 512 MB RAM özellikli bir bilgisayarda C# 2.0 programı ile çalıştırılan algoritmada çeşitli popülasyon sayısında ve iterasyonda deneme yapılmış ve uygunluk değerleri bulunmuştur. Yapılan bu denemeler Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9: Çeşitli popülasyon sayısı ve iterasyonlarla bulunan uygunluk değerleri

Popülasyon Sayısı	İterasyon Sayısı	Uygunluk Değeri
20	100	0,011159362
	500	0,00269118
	1000	0,005597571
	1500	0,002129779
	2000	0,002851822
50	100	0,013398517
	500	0,003203717
	1000	0,003921585
	1500	0,002881975
	2000	0,003847822
100	100	0,008184973
	500	0,003675241
	1000	0,006050488
	1500	0,002941334
	2000	0,003021929

Değişik popülasyon sayısı ve iterasyon sayısı ile yapılan denemelere göre uygunluk değerlerinin değişimlerini görmek mümkündür. Örnek olarak aldığımız 20 popülasyon sayısı ve 2500 iterasyon sonucu elde edilen en iyi uygunluk değeri 0,00158654506100208 değeridir. 2316. iterasyonda en iyi uygunluk değerine ulaşılmıştır. Bu denemede uygunluk değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 27’de gösterilmektedir.



Şekil 27: Uygunluk Değeri Değişim Grafiği

Yapılan denemeler sonucunda yazılan programın 20 adet başlangıç bireyi ve 2500 defa çalıştırılması sonucu en iyi uygunluk değerine ulaşılmıştır. 2500 iterasyon sonucu uygunluk değeri 0,000986524429332587 bulunmuştur. En iyi uygunluk değerini veren en iyi parça – grup matrisi Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10: En iyi çözümü veren matris

	GRUP1	GRUP2	GRUP3	GRUP4
P1	1	0	0	0
P2	1	0	0	0
P3	0	0	1	0
P4	0	1	0	0
P5	0	0	0	1
P6	0	1	0	0
P7	0	0	0	1
P8	1	0	0	0
P9	0	0	0	1
P10	0	0	0	1
P11	0	0	1	0
P12	0	0	0	1
P13	0	0	1	0
P14	0	1	0	0
P15	0	1	0	0
P16	0	1	0	0
P17	0	1	0	0
P18	0	1	0	0
P19	0	0	1	0
P20	0	0	0	1
P21	1	0	0	0
P22	0	1	0	0
P23	0	0	0	1
P24	1	0	0	0
P25	1	0	0	0
P26	0	1	0	0
P27	0	0	1	0
P28	0	0	0	1

Algoritmanın 2500 defa çalıştırılması sonucu elde edilen çözüm matrisine göre oluşan parça aileleri Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11: Genetik algoritma sonucu oluşan parça aileleri

Grup No	Parça Ailesi
Grup 1	P1, P2, P8, P21, P24, P25
Grup 2	P4, P6, P14, P15, P16, P17, P18, P22, P26
Grup 3	P3, P11, P13, P19, P27
Grup 4	P5, P7, P9, P10, P12, P20, P23, P28

Oluşan bu tabloya göre; P1, P2, P8, P21, P24, P25 parçaları grup 1 içerisinde, P4, P6, P14, P15, P16, P17, P18, P22, P26 parçaları grup 2 içerisinde; P3, P11, P13, P19, P27 parçaları grup 3 içerisinde; P5, P7, P9, P10, P12, P20, P23, P28 parçaları grup 4 içerisinde yer aldığı gözlenmiştir. Birden fazla gelen siparişteki üretilecek olan parçaların benzer özelliklerine, işlem sürelerine göre gruplara ayrılmasıyla firmanın siparişlere cevap verme süresi hızlanacaktır. Böylelikle müşteri talepleri müşterinin istediği tarihte ve istediği şekilde karşılanacaktır. Rekabetin hızla arttığı piyasalarda müşteri odaklı olarak çalışan firmaların üstünlüğü göz ardı edilememektedir. Buna bağlı olarak müşteri memnuniyeti siparişlerin hızlı ve kaliteli bir şekilde üretilmesi ile doğru orantılı olacaktır. Yapılan bu çalışma hücre oluşturma problemlerinin ilk aşamasını olan ürün grubu oluşturmayı amaçlamıştır. Grup teknolojisi ve bunun atölye ortamındaki uygulaması olan hücreli üretimin başarısı büyük ölçüde parça ailelerinin oluşturulmasına bağlıdır. Oluşturulan parça aileleri ile firmada imalatta verimlilik artacaktır. Ara stoklar oluşmayacaktır ve makinelerin hazırlık zamanlarında belirgin bir azalma görülecektir. Ayrıca daha etkin üretim planlama yapılabilir. Süreç odaklı üretimi benimseyen bu firmada ürün gruplarının oluşturulmasıyla birlikte ürün odaklı çalışılmaya başlanabilir. Parça ailelerinin oluşturulmasıyla beraber fabrika içerisindeki karmaşık hammadde akışı basit bir hal alacaktır. Bununla birlikte üretimdeki verimliliğin artırılması beklenmektedir. Bir sonraki aşama olan makine hücreleri oluşturma aşamasında oluşturulan makine hücreleri içerisindeki makinelerde üretilen bir parçadan diğerine geçişin hızlı olması

sağlanmalıdır. Oluşturulan dört adet parça ailesi ile parça ailelerinin üretim süreleri bakımından benzer olması nedeniyle makinelerde parçaların hızla ilerlemesi sağlanabilir. Bu durum makinelerdeki hazırlık zamanlarını azaltarak siparişlerin en hızlı şekilde üretilmesini sağlayacaktır. İş akışının basit olması, kuyrukta bekleme süresinin azalması, hammadde ve yarı mamul tedarik süresinin kısalmasıyla toplam üretim zamanı azalacaktır. Toplam üretim süresinin azalması ile firmanın üretkenliğinin artması beklenmektedir.

Parçaların hangi makinelerde işlem gördüklerini gösteren parça – makine matrisi Tablo 12’de verilmiştir. Tabloda 1 ile kodlanan yerler parçanın o makinede işlem gördüklerini 0 ile kodlanan yerler parçanın o makinede işlem görmediğini göstermektedir.

Tablo 12: Parça - Makine Matrisi

	Punch	Lazer	Plazma	Giyotin	Abkant	Kaynak	Montaj	Boya
P1	1	0	0	0	1	0	0	0
P2	1	0	0	0	1	0	0	0
P3	1	0	0	0	1	0	0	0
P4	1	0	0	0	1	0	0	0
P5	1	0	0	0	1	0	0	0
P6	1	0	0	0	1	0	0	0
P7	1	0	0	0	1	0	0	0
P8	1	0	0	0	1	0	0	0
P9	1	0	0	0	1	0	0	0
P10	1	0	0	0	1	0	0	0
P11	1	0	0	0	1	0	0	0
P12	1	0	0	0	1	0	0	0
P13	0	0	0	1	1	0	0	0
P14	1	0	0	0	1	0	0	0
P15	1	0	0	0	0	0	0	0
P16	0	0	1	0	1	0	0	0
P17	1	0	0	0	0	0	0	0
P18	1	0	0	0	1	0	0	0
P19	0	1	0	0	1	0	0	1
P20	0	1	0	0	0	0	0	1
P21	0	1	0	0	1	0	1	1
P22	0	1	0	0	0	1	0	1
P23	0	1	0	0	0	1	1	1
P24	0	1	0	0	0	1	0	1
P25	0	1	0	0	0	1	0	1
P26	0	1	0	0	1	0	0	0
P27	0	1	0	0	1	0	0	1
P28	0	1	0	0	0	1	0	1

Parça ailelerinin oluşturulmasından sonra elde edilen parça – makine matrisine göre 1. grupta yer alan P1, P2, P8, P21, P24, P25 parçaları punch ve lazerde kesim, abkantda büküm, boya ve kaynak ve montaj işlemlerini görmektedir. 2. Grupta yer alan P4, P6, P14, P15, P16, P17, P18, P22, P26 parçaları punch, lazer ve plazmada kesim, abkantda büküm, boya, kaynak işlemlerini görmektedir. 3. grupta yer alan P3, P11, P13, P19, P27 parçaları punch, lazerde ve giyotinde kesim, abkantda büküm, boya işlemlerini görmektedir. 4. grupta yer alan P5, P7, P9, P10, P12, P20, P23, P28 parçaları punch makinesinde kesim, abkantda büküm, lazerde kesim, boya, kaynak ve montajda işlem görmektedir.

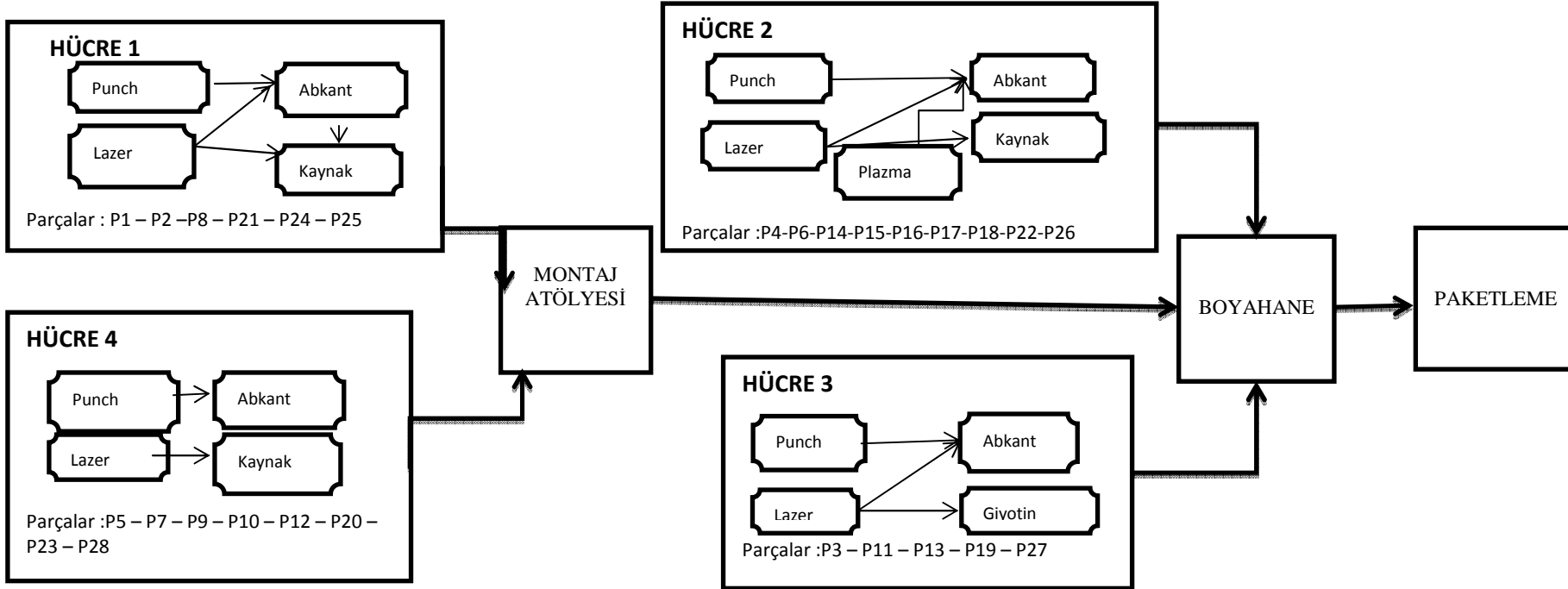
Firma makine bakımından sıkıntı yaşamamaktadır. Firmanın elinde birçok makineden sayıca fazla bulunmaktadır. Firmanın sahip olduğu makinelerin listesi Tablo 3’de verilmiştir. Ayrıca firmada iki adet montaj atölyesi, üç adet kumlama tesisi bulunmaktadır.

Genetik algoritma ile oluşturulan ürün gruplarına göre parça ailelerinin işlem gördüğü parça – makine matrisi Tablo 13’de gösterilmiştir. Bu tabloya göre birinci grupta yer alan P1, P2, P8, P21, P24, P25 parçalarını üretmek için punch, abkant, lazer, kaynak makinelerinden oluşan bir makine hücresi oluşturulabilir. İkinci grupta yer alan P4, P6, P14, P15, P16, P17, P18, P22, P26 parçalarını üretmek için ise punch, abkant, lazer, kaynak ve plazma’dan oluşan makine hücresi oluşturulabilir. Üçüncü grupta yer alan P3, P11, P13, P19, P27 parçalarını üretmek için punch, abkant, lazer, giyotinden oluşan makine hücresi oluşturulabilir. Dördüncü grupta yer alan P5, P7, P9, P10, P12, P20, P23, P28 parçalarını üretmek için ise punch, abkant, lazer, kaynaktan oluşan bir makine hücresi oluşturulabilir. Daha sonra birinci ve dördüncü grupta üretilecek olan parçalar montaj atölyesine gönderilebilir. Ve tüm gruplarda boyama işleminden geçecek olan parçalar ise direk boya bölümüne aktarılabilir. Parça ailesi sonucu oluşan hücreler Şekil 28’de verilmiştir.

Tablo 13 : GA Sonucu Oluşan Gruplara Göre Parça-Makine Matrisi

		Punch	Abkant	Lazer	Boya	Kaynak	Montaj	Punch	Abkant	Lazer	Boya	Kaynak	Plazma	Punch	Abkant	Lazer	Boya	Giyotin	Punch	Abkant	Lazer	Boya	Kaynak	Montaj
GRUP 1	P1	1	1	0	0	0	0																	
	P2	1	1	0	0	0	0																	
	P8	1	1	0	0	0	0																	
	P21	0	1	1	1	0	1																	
	P24	0	0	1	1	1	0																	
	P25	0	0	1	1	1	0																	
GRUP 2	P4							1	1	0	0	0	0											
	P6							1	1	0	0	0	0											
	P14							1	1	0	0	0	0											
	P15							1	0	0	0	0	0											
	P16							0	1	0	0	0	0	1										
	P17							1	0	0	0	0	0	0										
	P18							1	1	0	0	0	0	0										
	P22							0	0	1	1	1	0											
	P26							0	1	1	0	0	0											
GRUP 3	P3													1	1	0	0	0						
	P11													1	1	0	0	0						
	P13													0	1	0	0	1						
	P19													0	1	1	1	0						
	P27													0	1	1	1	0						
GRUP 4	P5																		1	1	0	0	0	0
	P7																		1	1	0	0	0	0
	P9																		1	1	0	0	0	0
	P10																		1	1	0	0	0	0
	P12																		1	1	0	0	0	0
	P20																		0	0	1	1	0	0
	P23																		0	0	1	1	1	1
	P28																		0	0	1	1	1	0

Şekil 28: Parça Ailelerinin belirlenmesi Sonucunda Oluşan Hücreler



SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmanın birinci bölümünde tam zamanında üretim sistemlerinden bahsedilmiştir. Tam zamanında üretim parçaların, gerekli olduğu miktarlarda, gerekli görülen kalite düzeyinde, gerekli olduğu zaman ve yerde üretilmesi durumudur. Piyasalarda artan rekabet koşullarına ayak uydurmak için firma elindeki kıt kaynakları en iyi şekilde kullanmak zorundadır. Bu yüzden kıt kaynakların yönetiminde gerektirdiği gibi , pazar payını dikkate alarak stoğa yönelmeden üretim yapılmalıdır. Çünkü stoğa dayalı üretim firma için ek maliyet oluşturmaktadır. Bu bölümde tam zamanında üretimin dayandığı temellerden, işletmelere olan faydalarından bahsedilmiştir. Ayrıca sipariş üzerine üretim yapan firmalarda tam zamanında üretim önemli bir yer tutmaktadır. Bu tarz üretimde siparişler müşterinin istediği sürede ve istediği kalitede üretilmek zorundadır. Firma tamamen müşteri odaklı olarak çalışmaktadır.. Birinci bölümün son kısmında da siparişe dayalı üretimden bahsedilmiş ve bunun tam zamanında üretim ile olan ilişki açıklanmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde grup teknolojisi ve hüresel üretim kavramlarından bahsedilmiştir. Tam zamanında üretim içerisinde ürün tasarımı, süreç tasarımı gibi kavramlardan bahsedilmektedir. Ürün tasarımı aşamasında gelen siparişlerdeki farklı ürünlerin üretim planları yapılırken kolaylık sağlanması açısından grup teknolojisi kavramı ortaya çıkmaktadır. Artan rekabet koşullarında ürün çeşitliliği artmış ve üretim süreçleri karmaşık bir hal almıştır. Bu karmaşık yapıyı çözmek için yeni üretim felsefeleri ortaya koyulmaktadır. Bunlardan bir tanesi olan grup teknolojisi, üretime konu olacak parçaları tasarım ve / veya imalat özelliklerine göre benzer olarak nitelendiren ve üretim sürecinde bu benzerliklerden faydalar edinmeyi amaçlayan bir imalat felsefesidir. Ürün aileleri ile zamandan tasarruf sağlanarak üretimdeki verimliliğin artırılması amaçlanmaktadır. Hüresel üretim ise grup teknolojisinin atölye düzeyine uygulanmasıdır. Piyasalardaki rekabet ortamında firmalar rakiplerine göre bir adım daha öne geçmek ve karlılıklarını arttırmak için fiyatlarını arttırmak yerine maliyetlerini düşürmeyi hedeflemektedir. Parçaları tasarım, imalat ve işlevlerine göre parça aileleri, bu parçaları işleyecek makineleri de

makine grupları şeklinde kümelendirmeye çalışan hücresel imalatın imalat ortamlarına sağladığı temel fayda, büyük ve karmaşık imalat sistemlerini küçük ve kontrolü kolay alt sistemlere ayrıştırmasıdır. Bu bölümde grup teknolojisi ve hücresel üretim kavramları incelenmiş, bunların uygulamaları ve firmaya sağladığı faydalar üzerinde durulmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde genetik algoritma kavramından bahsedilmiştir. Genetik algoritmanın temeli Darwin'in evrim teorisine dayanmaktadır. Doğal seçime dayalı biyolojik evrimi temel alan optimizasyon problemlerini çözmeye yarayan genetik algoritmalar birçok alanda kullanılmaktadır. Optimizasyon problemlerini modellemek için kullanılan genetik algoritmalar kötü bireyleri ya da uygun olmayan çözümleri operatörleri sayesinde elimine ederler. Genetik algoritmada yeniden üretim, çaprazlama ve mutasyon olmak üzere üç operatör kullanılır. Çaprazlamanın amacı mevcut iyi kromozomların özelliklerini birleştirerek daha uygun kromozomlar yaratmaktır. Mutasyonun amacı popülasyondaki genetik çeşitliliği korumaktır. Yeni nesil üretiminde uygun olan bireylerin seçilip bir sonraki nesile aktarılması söz konusudur. Genetik algoritma uygulamalarında ilk olarak başlangıç popülasyonu oluşturulur. Oluşturulan bu popülasyondaki bireylerin belirlenen uygunluk fonksiyonu ile uygunluk değerleri hesaplanır. Daha sonra çaprazlama ve mutasyon operatörleri uygulanarak popülasyonda çeşitlilik sağlanır ve tekrar bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak iyi bireyler bir sonraki nesile aktarılır. Bu döngü belirlenen durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder. Bu bölümde genetik algoritmalar detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Genetik algoritmanın aşamaları tek tek açıklanmış ve problemlere uygulamalarından bahsedilmiştir

Çalışmanın dördüncü ve son bölümü uygulama çalışmasını kapsamaktadır. Siparişe dayalı üretim yapan firmada gelen farklı siparişlerdeki ürün çeşitlilik göstermektedir. Oluşan bu ürün çeşitliliği üretim sistemi üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Aynı zamanda gelen siparişlerin aynı anda üretim hattına koyulması, üretim planlarının yapılması firma için büyük sorun oluşturmaktadır. Ayrıca siparişler müşterilerin istediği kalitede ve zamanda üretilmek

istenmektedir. İlgili firmada, bu durum bir karar verme problemi olarak ele alınmıştır.

Bu sorunu çözmek için genetik algoritma kullanılarak parça aileleri oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada tam zamanında üretim sisteminin bir hedefi olan sıfır stok, siparişe dayalı üretim yapan firmada üretim sürecinde uygulanmıştır. Bu aşamada firmadan gelen sipariş bilgileri alınmıştır. Bu bilgiler içerisinde sipariş içerisinde yer alan üretilecek parçalar, parçaların hangi işlemlerden geçtiği, hangi makinelerde işlem gördüğü ve makinelerdeki işlem süreleri yer almaktadır. Her bir parça için makinelerde gördüğü işlem süreleri ile sipariş miktarları çarpılarak toplam üretim süreleri bulunmuştur. Bulunan toplam üretim süreleri algoritmada kullanılmıştır. Algoritma parçaların toplam üretim sürelerine göre gruplara ayrılması üzerine oluşturulmuştur.

Algoritma, sistemdeki farklı siparişlerdeki parçaların toplam üretim sürelerine göre ürün aileleri oluşturulmuş ve gruplar arasındaki sapmaların minimum olması şeklinde tanımlanmıştır. Bu çalışmada seçilen sipariş üzerine üretim sac şekillendirme fabrikasına ait sipariş ve farklı siparişlerdeki parçaların üretim bilgileri ve sipariş miktar bilgileri alınarak her bir parça için toplam üretim süreleri hesaplanmıştır. Parçaların üretim sürelerine göre ürün aileleri oluşturulmuştur. Parça - grup matrisleri oluşturularak genetik algoritmanın uygulanması sonucunda parça aileleri oluşturulmuştur. Algoritma 1.86 GHz ve 512 MB RAM özelliklerine sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. C# 2.0 programlama dili ile oluşturulan algoritma sonucunda yapılan birçok denemeden sonra başlangıç popülasyonun 20 adet bireyden oluşmasına ve döngü sayısının 2500 olmasına karar verilmiştir. Algoritmanın çalıştırılması sonucu en iyi uygunluk değeri 3 dakika 18 saniyede elde edilmiştir. Algoritmada rulet tekeri yöntemi çaprazlanacak olan bireylerin belirlenmesi için kullanılmıştır. Çaprazlamada çok noktalı çaprazlama yöntemi kullanılmıştır. Algoritmada çaprazlama olasılığı kullanılmamıştır. Mutasyon operatöründe ise parça – grup matrisindeki dört adet satır rastgele seçilmiş ve bu satırlar mutasyona uğratılmıştır. Her beş çaprazlamadan sonra beş adet bireye mutasyon uygulanmıştır. En iyi sonuçlar bu parametreler doğrultusunda elde edilmiştir.

Uygulamada özel bir parametre optimizasyonu çalışması yapılmamıştır. 20 adet başlangıç popülasyonu ve 2500 döngü sonucunda uygunluk değeri 0,000986524429332587 olarak elde edilmiştir. Bu uygunluk değerine sahip olan matrisde parçalar sapmalar minimum olacak şekilde gruplanmıştır.

Literatürde özellikle, yalnızca parça ailelerinin oluşturulmasına odaklanmış az sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Bir parçanın kesinlikle yalnızca bir parça ailesine ait olacağı ve bu parçanın hiçbir özelliğinin başka bir parça ailesine benzemediğini söylemek çok zordur. Bu çalışmada oluşturulan parça – grup matrislerinin genetik algoritma kullanılarak parçaların toplam üretim sürelerine gruplar oluşturularak gruplar arasındaki sapmaların minimum olması amaçlanmıştır. Genetik algoritma çözümü sonucunda elde edilen çözüm matrisinde parçalar minimum sapma olacak şekilde gruplara ayrılmışlardır. Sac üzerine faaliyet gösteren fabrika üzerinde yapılan bu çalışmanın temel amacı gelen siparişlerdeki gecikme sürelerini en aza indirmek için farklı siparişlerdeki parçaları gruplandırarak üretimdeki verimliliği arttırmak ve müşterilere en kısa sürede cevap vermektir. Yapılan bu uygulamada aynı anda gelen siparişlerdeki parçaların aynı anda, beklemeden üretim hattına sokulabileceği görülmüştür. Böylelikle proses içi stok seviyeleri ve imalat süreleri ve sipariş teslim süreleri düşecektir. Ayrıca üretim ve makine kullanım oranları ve kalite artacaktır. Uygulamanın bir sonraki aşaması olarak parçaların işlem görecekları makinelere göre makine grupları oluşturulabilir. Oluşturulan parça aileleri bu makine hücrelerine atanabilir. Bir parça aynı hürede bulunmayan birden çok makine işlem görmektedir. Bu makineler arasında parça taşımalarında sorun yaratacaktır. Bu olumsuzluk uygulama yapılan fabrika için söz konusu değildir. Çünkü firmanın elinde aynı makineden birden fazla bulunmaktadır. Bu avantaj göz önünde bulundurularak paralel makine hücreleri oluşturulabilir. Böylelikle de makinelerde oluşan kuyruklar giderilebilir. Ayrıca fabrikada grup teknolojisi yerleşim düzeni uygulanarak makineler arası parça taşıma süreleri minimuma indirilebilir. Bu üretim sistemindeki parçaların üretim süreleri, işlemler için sırada bekleme, makinelerin ve parçaların hazırlanması ve de en önemlisi parçaların taşınımı gibi verimsiz faaliyetler giderilebilir. Büyük ve karmaşık bir imalat sisteminin küçük ve kontrolü kolay alt sistemlere dönüşümü sağlanarak etkin bir üretim planlama ve kontrol sağlanabilir dolayısıyla da verimlilik artabilir. Fakat

bu durumun bir de olumsuz yanı bulunmaktadır. Parçaların makinelerde sıra beklememesi ve personel ve makinelerin meşgul edilebilmesi için her makine çeşidinden fazla sayılarda bulunmasıyla ve buna bağlı olarak paralel hücrelerin oluşturulmasıyla fabrikanın kullanım alanı hayli daralabilir, makine başına düşen parça sayısının azlığından dolayı makineler kapasite altı çalışmakta ve makinelerin yatırım maliyetleri yükselebilir. Bu noktada yönetimin vereceği karar önemlidir.

Siparişe dayalı üretim yapan ve tam zamanında üretim felsefesini uygulayan ya da uygulamak isteyen, üretim sistemlerini grup teknolojisi ve hücreli imalat sistemi ile tanıştırmayı amaçlayan işletmelere zaman, kalite, müşteri memnuniyeti ve fabrika içi düzenlemede yeniden yapılanmalarında temel teşkil edebilecek bu uygulama kapsamında ürün aileleri oluşturmak için kullanılan genetik algoritma yöntemi, diğer yöntemlere göre kısa sürede etkin sonuçlar üretebilen, ürettiği sonuç ve sağladığı faydaların kolaylıkla anlaşılıp yorumlanabilen ve amaca en yakın sonuçlar verebilen bir yöntemdir. Bir çok alanda kullanımı gitgide yaygınlaşmaktadır. Genetik algoritma bu uygulamada parçaların işlem sürelerini kümelendirme kriteri olarak kullanarak sapmaların minimize edildiği parça aileleri oluşturmada kullanılmıştır.

Geleneksel imalat sistemlerini hücreli imalata dönüştürmede ilk adım olan parça ailelerinin oluşumlarının ele alındığı ve sonuç ve faydalarının ortaya konduğu bu çalışma, gelecekte bu yönde yapılacak olan çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir. Birden fazla imalat karakteristigini göz önünde bulundurarak parça aileleri ve makine hücreleri oluşturmada ve parça ailelerinin makine hücrelerine atanmasında etkinlik, verimlilik ve grup teknolojisinden üst düzeyde faydalar edinmeyi sağlayacak çalışmalara temel teşkil edebilecek niteliktedir.

KAYNAKLAR

Acar ,D., Ömürbek , N., Eroğlu, A.H. , (2006), “Tam Zamanında Üretim Sisteminin Tekstil Sektöründeki Uygulama Boyutları” C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 7, Sayı 1

Acar, Nesime (1992), "Tam Zamanında Üretim Ve Kanban Sistemi" , Verimlilik Dergisi 1992/3, MPM Yayını, Ankara.

Adil, G. K. and Rajamani, D. (2000), "The trade off between intra cell and inter cell moves in group technology cell formation" Journal of Manufacturing Systems, Vol:19 Issue:5,p: 305-317

Ahmad, S.; Schroeder, R. G.; Sinha, K. K. (2003), “The Role of Infrastructure Practices in The Effectiveness of JIT Practices: Implications for Plant Competitiveness, Journal of Engineering and Technology Management, Vol 20, pp 161–191.

Aladağ, Z. (1999), “Tam Zamanında Üretim Ortamında Tedarikçilere Yönelik Bir Çok Ölçütlü Karar Analizi”, Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XX. Ulusal Kongresi, Ankara.

Altay, A.(2007), “Genetik Algoritma ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Arieh, David Ben (1998), “Analysis of A Distributed Group Technology Methodology”, Computers Ind. Engineering Vol: 35 No:1-2

Arıkan, M. ve Erol S. (2005), “Esnek İmalat Sistemleri’nde Parça Seçimi ve Makina Yükleme Problemi İçin Bir Tavlama Benzetimi Algoritması”, V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi

Aydemir, E. (2009), “Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Öncelik Kuralı Tabanlı Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Simülasyon Destekli Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Aytekin ,S. (2009), “Tam Zamanında Stok Yönetim (just-in-time) Felsefesinin Hastane İşletmelerine Uygulanabilirliği ve bir Üniversite Hastanesi Örneği”, Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi Cilt 12 Sayı 21 ss.102-115

Babalı, E. (2007), “Grup Teknolojisinde Parça Ailesi ve İmalat Hücresi Oluşturma :Bir Örnek İnceleme”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

Bağış, A. (2003), “Geliştirilmiş Tabu Algoritması Kullanılarak Bulanık Denetleyici Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi”, Elektrik -Elektronik – Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, www.emo.org.tr/ekler/4bb657268fd11ef_ek.pdf

Balakrishnan, P.V.S., and Jacob, V.S., (1996), “Genetic Algorithms for Product Design”, Management Science, 42(1): 1105-1117

Başaran Bülent , (2005), “Hücreyel Üretim: Hücrelerin Oluşturulmasında Kullanılan Yöntemlerin Analizi ve Bir Vinç Atölyesinde Uygulama”, Doktora Tezi

Beasley, D., Bull, D. R., Martin, R. R., (1993) “An Overview of Genetic Algorithms Part 1, Fundamentals” http://ralph.cs.cf.ac.uk/papers/GAs/ga_overview1.pdf.

Benton, W.C. , Shin, H , (1998), “Manufacturing planning and control: The evolution of MRP and JIT integration”, European Journal of Operational Research 110 411~140,

Berardi, V. L., Zhang, G, Offodile, O. F. (1998), “A mathematical programming approach to evaluating alternative machine clusters in cellular manufacturing”, Int. J. Production Economics 58 , p: 253 – 264

Bhattacharyya S. (1999), “Direct Marketing Performance Modeling Using Genetic Algorithms”, Journal on Computing, Volume: 11, Issue: 3, s. 248-267.

Bolat, B. (2006), “The Simulation and Optimization of Lift Control Systems with Genetic Algorithms”, Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Araştırma Makalesi

Bulut, O. (2006), “ Tam Zamanında Üretim Sisteminde Bileşke Parti Büyüklüğü Modeli”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi

Chakravorty ,S. S., Hales, D. N., (2008), “The evolution of manufacturing cells: An action research study”, European Journal of Operational Research 188 153–168 , P:153-154

Chan., F.T.S. (1999), “ Effect of Kanban Size on Just – In – Time Manufacturing Systems”, Journal of Materials Processing Technology , No:116, p:146 – 160

Chang, K.H. ve Lu Y.S. (2009), “Queueing Analysis On A Single – Station Make-To-Stock/Make-To-Order Inventory- Production System”, Applied Mathematical Modelling 34, p: 978–991, www.elsevier.com/locate/apm

Chandra, S. ve Kodali, R. (1998), “Justification of Just-In-Time Manufacturing Systems For Indian Industries”, Integrated Manufacturing Systems, Vol :9, N: 5-6, pp 314-323.

Chan H.M. (1981), “Group Technology As A Manufacturing Philosophy”, Extracted from Design & Control of Cellular Manufacturing Systems, Doktora Tezi,

Chandrasekharan, M. P. ve R. Rajagopalan (1987), “ ZODIAC – An Algorithm for Concurrent Formation of Part – Families and Machine – Cells ”,International Journal of Production Research, Vol: 25, No: 6, pp. 835 –850.

Choi , K., Kim, S., Lee, H., Kwon, I. (1997), “An Operation Scheme for Make To Order Job Shop Production Systems”, Computers ind. Engineering , Vol:33, No:3, p:765 -768

Chua ,L. ve Yang ,L. (1988), “Cellular Neural Networks: Theory”, IEEE Transactions on Circuits and Systems, Cilt: 35, Sayı: 10

Cua, K. O.; Mckone, K. E.; Schroeder, R. G., (2001), Relationships Between Implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance, Journal of Operations Management, Vol. 19, pp 675–694.

Çelebi, D. ve Bayraktar ,D. (2009), “Bir Dağıtım Ağında Stokastik Stok Yönetimi Modelinin Oluşturulması ve Doğrulanması”, İTÜ Mühendislik Dergisi, Cilt 8, Sayı 4, S: 60 -70,

Çuhadar , M., Güngör ,İ., Göksu, A. (2009), “Turizm Talebinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini ve Zaman Serisi Yöntemleri ile Karşılaştırmalı Analizi: Antalya İline Yönelik Bir Uygulama”, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt:14, Sayı:1 s.99-114.

Deb, K. “Multi-objective Optimization Using Evolutionary Algorithms”, Wiley: Chichester, 2001

Defregger, F. ve Kuhn, H. (2007), “Revenue Management for a Make-to-order Company with Limited Inventory Capacity” , OR Spectrum No: 29, p:137–156

Demir, C. (2006), “ Tam Zamanında Üretim ve Otomotiv Sektöründe Kanban Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Demir , Ö. ve Gündüz, S. (2005), “Jit’in Üretim Sistemi ve Muhasebe Uygulamaları Üzerindeki Etkileri”; Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları

Demiral Duygu (2006), “Akü İmalatında Tam Zamanında Üretim Sistemi Uygulamalı Sıfır Stok Hedefi Üzerine Model Önerisi”, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

De Weck, O.L., Suh, E.S., and Chang, D., (2003), “Product Family and Platform Portfolio Optimization”, ASME Design Engineering Technical Conferences, DETC03/DAC-48721, Chicago, IL.

Deluzio, Mark C. (1993), "The Tools Of Just-In-Time", Journal Of Cost Management, Vol 17, Issue 2, Summer

Doğan , İ. (2002), “Kümeleme Analizi ile Seleksiyon”, Türk J Vet Anim Sci Sayı: 26,S: 47-53, Tubitak

Ediz, A., Yağdıran, Y. (2009), “ Hedef Programlama Tekniği ile Menü Planlaması”, Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 11 / 1 . 45-74

Elmas Çetin (2003), Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama), Seçkin Yayıncılık, Ankara

Elsayed, T., (2006), Genetic Algorithms Tutorial, *Ders Notları*, California Institute of Technology, <http://www.its.caltech.edu/~tamer/GATutorial.pdf>.(22.03.2010)

Emel, G.G. ve Taşkın, Ç. (2002), ”Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları”, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt:XXI, Sayı:1, s:129 - 152

Engin, O., (2001) “Akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma ile çözüm performansının artırılmasında parametre optimizasyonu.” Doktora Tezi, İ.T.Ü. FBE Endüstri Mühendisliği ABD, İstanbul.

Erdem S., Gökşen Y., (2003), “Hücreyel Üretim Sisteminde Makine-Parça Ailelerinin Oluşturulmasında Dengeli Talep-Kapasite ve Dengesiz Talep-Kapasite Durumunun Analizi”, D.E.Ü.İ.İ.B.F.Dergisi Cilt:18 Sayı:2, ss:99- 111

Federgruen, A. ve Katalan, Z. (1999), “ The Impact of Adding a Make-to-Order Item to a Make-to-Stock Production System “, Management Science Vol. 45, No. 7

Filho, E. G., Tiberti, A. J. (2006), “A Group Genetic Algorithm for the Machine Cell Formation Problem “,Int. J. Production Economics, Vol:102 p: 1–21

Firuzan Esin (2004), “ Tam Zamanında Üretim Sisteminin Bir Şirkette Uygulanması”, Yönetim ve Ekonomi, Cilt:11, Say : 2

Gaury, E. G. A. and Pierreval (2000),” An evolutionary approach to select a pull system among Kanban, Conwip and Hybrid” ,Journal of Intelligent Manufacturing ,11,2,157-167.

Gen, M., Cheng, R., (2000), “Genetic Algorithms & Engineering Optimization”, A Wiley – Interscience Publication John Wiley & Sons, INC

Gersil, A. (2007), “Üretim Sistemleri ve Teknolojilerindeki Gelişmelerin ve Küreselleşmenin Geleneksel Maliyet Muhasebesine Etkileri” <http://dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/42/932/11677.pdf>

Glover ,F. (1989), “Tabu Search – Part 1”, Orsa Journal on Computing, Cilt:1, Sayı:3, Summer

Goldberg D.E., (1989). Genetic algorithms in search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, USA

Gonçalves, J. F. ve Resende, M. G. C. (2004), “ An Evolutionary Algorithm for Manufacturing Cell Formation ”, <http://www.research.att.com/~mgcr/doc/gagt/pdf>.

Gökşen, Y., (1997), “Hücreyel Üretim Sisteminde Makine ve Parçaların Gruplandırılmasında Tamsayı Bir Yaklaşım”, 3. Verimlilik Kongresi, 14/16 Mayıs, Ankara

Gunasekaran, A. ve Lyu J., (1997), “ Implementation of Just-In-Time in a Small Company: A case study ”, Production- Planning and Control, Vol. 8, N: 4, pp 406-412.

Gupta, D. ve Benjaafar S. (2000), “ Make-to-order, Make-to-stock, or Delay Product Differentiation? – A Common Framework for Modeling and Analysis”, Second Revision

Gupta S. M. , Nakashim, K. (2000), “Analysis of a Just-in-Time Production System with Supplier Kanbans”, <http://iris.lib.neu.edu/gupta/pub/20>, 12.07.2010

Gülsün, B. ve Özgürler, M. (1994), “ TZÜ Sisteminin Performansını Etkileyen Faktörler ve Ekonomik Çalışma Alanlarının Belirlenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, s. 14- 18.

Gümüšoğlu, Ş. ve Özdemir A. (2006), “Dinamik Amaç Programlama Modelinin Ürünleri Makinelere Atama Problemine Uygulanması”, Review of Social, Economic & Business Studies, Vol.7/8, p:359-383

Gümüšoğlu, Ş. ve Demir, H. (2003), “Üretim Yönetimi – İşlemler Yönetimi”, Genisletilmiş 6. Basım İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A. S., s. 277.

Günasekaran A., Goyal, S.K., Virtanen I. ve Yli-Olli P. (1994), “ An Investagation into The Application of Group Technology in advanced Manufacturing Systems”, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, Vol:7, No:4, p:215 – 228

Gürsu, B. ve İnce, M. C. (2009), “Çok Boyutlu Kısıtlı Sayısal Optimizasyonda Matlab Optimizasyon Toolbox ve Genetik Algoritma Karşılaştırması: Topraklama Ağı Tasarımı Uygulaması”, 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), 13-15 Mayıs

Hachicha, W , Masmoudi, F. and Haddar, M. (2006), “Principal component analysis model for machine-part cell formation problem in group technology”, The International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Mechanics Tunisia

Hall, Ed, (2005) “Optimization with the Genetic Algorithm/Direct Search Toolbox”, University of Virginia, http://itc.virginia.edu/research/talks/matlab_gads.pdf (01.06.2010),

Heizer, J. ve Render, B “Operations Management”, Phippe Prentice Hall, 2004

Herrera, F., Lozano, M., Verdegay, J.L. (1996), “Tackling Real –Coded Genetic Algorithms: Operators and Tools for Behavioural Analysis”, Air96text; 19:57; No :v

Hoffman K. ve Padberg M., “Combinatorial and Integer Optimization.” <http://iris.gmu.edu/~khoffman/papers/newcomb1.html> , (01.06.2010), s:1-10

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

Hyer, Nancy L., Wemmerlöv, Urban (1989), “ Cellular Manufacturing in the U.S.Industry : A Survey of Users “, **International Journal of Production Research**, Vol:27, No:9, p:1511 -1530

Hyer, N. L., Brown, K. A. , (1999) ,“The discipline of real cells”, **Journal of Operations Management** 17,S: 557–574,

İpek, M. (1995), “Tam Zamanında Üretim Sistemi ve Bir Simülasyon Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi

İşlier, A.A (2001), “Üretim Hücrelerinin Bir Genetik Algoritma Kullanılarak Oluşturulması”, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt:2, Sayı:1, s:137 - 157

Jiao, J., Zhang, Y., Wang Yi (2006), “ A Generic Genetic Algorithm for Product Family Design”, Journal of Intelligent Manufacturing”, Journal of Intelligent Manufacturing

Kanat, S. ve Güner, M. (2006), “Tam Zamanında Üretim Sisteminin Tekstil ve Konfeksiyon Sanayine Uygulanabilirliği”, www.tekstilvekonfeksiyon.com/pdf/20090723101345.pdf

Kannan, T.R., Shunmugam, M.S. (2008), “ Planner for Sheet Metal Components to Obtain Optimal Bend Sequence Using a Genetic Algorithm”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Volume:21 No:7, p:790 – 802

Karacabey, Ali Argun, (10.05.2010) “Doğrusal Programlamanın Temelleri” ,Powerpoint Sunusu, www.editor.ankara.edu.tr/moodle/mod/resource/view.php?id=158

Karaoğlan ,İ., Altıparmak, F., Dengiz ,B. (2007), “Tam Zamanında Üretim Sisteminde Bakım Politikalarının Etkisi” Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 22, No 1, 181-189

Kara Yakup, (2000), “Hücreyel Üretim Sistemi Tasarımında Kullanılan Yapay Zeka Teknikleri ile Sezgisel Yöntemlerin Karşılaştırılması ve Uygulama Analizleri” Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Kavrukkoca, G. (2003), “Single Machine Scheduling with Modern Heuristic Techniques”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü

Kaya, S. , Engin, O. (2009), “Sabit iş çizelgeleme problemleri: Literatür Araştırması ve Meta Sezgisel Yöntemler ile Çözüm Önerisi”, İTÜ dergisi/d mühendislik Cilt:8, Sayı:1, 37-47

Keskintürk, T., Küçük, B. (2006), “ Karışık Modelli Montaj Hatlarının Genetik Algoritma Kullanılarak Dengelenmesi”, Yönetim, Yıl: 17, Sayı: 53, Şubat 2006

Kocamaz, M. (2009), “Üretim Programlama ve Üretim Parti Büyüklüklerinin Toplam Hazırlık Zamanı Üzerine Etkisi : Bir işletme Uygulaması”

Kolisch Rainer, (2001), “Make – to – Order Assembly Management”, Springer, S:12

Kondoh, S., Umeda, Y., Yoshikawa, H. (2000), “Self Organization of Cellular Manufacturing Systems”, CIRP Annals – Manufacturing Technology Vol: 49, Issue: 1, Pages 347-350

Korukoğlu S., İşçi Ö., (2003),“Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulama”, Yönetim ve Ekonomi Dergisi, Cilt:10, Sayı:2, Celal Bayar Üniversitesi

Kota, S., Sethuraman, K., and Miller, R., (2000), “A Metric for Evaluating Design Commonality in Product Families”, Journal of Mechanical Design, 122(4): 403-410

Lit P., Latinne P. , Rekiek B. ve Delchambre A. (2001), “Assembly Planning With An **Ordering** Genetic Algorithm”, International Journal of Production Research, Volume: 39, Number: 16, s. 3623-3640.

Malakooti, B. and Malakooti, NR. and Yang, Z.(2004), “Integrated Group Technology, Cell Formation, Process Planning and Production Planning with Application to the emergency room”, International Journal of Production Research, Vol: 42, Issue : 9, p:1796 – 1786

Mclachlin, R., (1997), “Management Initiatives and Just-in-Time Manufacturing”, Journal of Operations Management, V 15, N 4, pp 271-292.

Memduhoğlu , H. B. (2007), “Post-fordist Üretim Örgütlenmeleri ve İşgörenler Üzerindeki Etkileri” Bilim, Eğitim ve Düşünce Dergisi, Cilt :7, Sayı:4, Aralık

Mikó B., Mezei S.(1999) ,” An Automated Approach of Group Technology”, International Regional DAAAM-CEEPUS Workshop on Intelligent machines and technologies for the 21st century Miskolc, P:27-29

Mitchell, M. ve Forest S. (1994), “Genetic Algorithms and Artificial Life” Vol: 1, No:3, pp:267-289. MIT Press, Cambridge

Modrák, V. (2009), “Case on Manufacturing Cell Formation Using Production Flow Analysis “,World Academy of Science, Engineering and Technology, No:49

Nabiyev, V. V.(2005), “Yapay Zeka / Poblemler – Yöntemler – Algoritma”, Güncelleştirilmiş Geliştirilmiş 2. Baskı, Seçkin Yayıncılık

Newbold, P., “ İşletme ve İktiat İçin İstatistik “, Çeviren:Ümit Şenesen, Prentice – Hall, Inc., Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2000

Nicoletti, S., Nicosia, G., Pacifici, A. (1998), “Group Technology with Flow Shop Cells”, RT- DIA – 33

Nomden, G. ve Zee D. J. (2008),” Virtual cellular manufacturing: Configuring routing flexibility”, Int. J. Production Economics Vol: 112 p:439–451

Offodile, O. Felix, Mehrez ,A. ve Grznar, J. (1994), “ A Taxonomic Review Framework ”, Journal of Manufacturing Systems, Vol: 13, No: 3, pp. 196 – 220.

Obitko, M.(1998), “Introduction to Genetic Algorithms”,
www.saba.kntu.ac.ir/eecd/fatehi/Lectures/.../ga_pdf.pdf

Özdağoğlu, G. (2008), “ A simulated Annealing Appliations On Flowshop Sequencing Problem : A Comparative Case Study”, Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt:22, Sayı:2

Özdamar , L. ve Yazgaç, T. (1997), “Capacity driven due date settings in make-to-order production systems”, Int. J. Production Economics 49 / 29-44

Özğüven, C. ve Çalışkan, F. (2002), “ Sipariş Göre Üretim Yapan İşletmelerde Kısıtlı Malzeme Çeşidi Durumunda Fireyi Minimize Eden Parça Kesim Planının Belirlenmesi Matematiksel Model Önerisi“, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Sayı: 19, Temmuz-Aralık 2002 ss. 1-16.

Öztük, Ö. (2007), “Tasarlanan Hücreyel Üretim SistemininMevcut Üretim Sistemi İle Karşılaştırılması : Ford Otosan Fabrikası ŞAnzuman Üretim Bölümü İçin Bir Uygualama”, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü

Paksoy, T. ve Kaya, İ. (2004) “A Study On Recognition Level And Applicability Of Just-In Time System In Konya Industrial Zone”; Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi

Papadrakakis, M., ve Lagaros, N.D. (1994), “Advanes in Structural Optimization”,
www.citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.101.6430

Pham, D.T. ve Pham, P.T.N. (1999), “Artificial intelligence in engineering”, International Journal of Machine Tools & Manufacture 39 937–949

Planert,G., and Best,T.D. (1986), “MRP,JIT And OPT:what's best?,production and inventory”, Management Journal, 27, 2, 27-29.

Plaquin, M.-F. ve Pierreval, H. (2000), “Cell formation using evolutionary algorithms with certain Constraints”, Int. J. Production Economics Vol:64 p: 267-278

Rachamadugu , R. and Tu, Q. , (1997), “ Period Batch Control for Group Technology - An Improved Procedure” , Computers ind. Engng Vol. 32, No. 1, pp. 1-7, S:1

Rao M.R., (1971), “ Cluster Analysis and Mathematical Programming”, Journal of teh Amerikan Statistical Association, Cilt: 66, Sayı:335, Theory ve Methods Section

Reynolds Kanton T., (1998), “Cellular Manufacturing & The Concept Of Total Quality”, Computers ind. Engng, Vol. 35, Nos 1-2, pp. 89-92, P:90

Risa, A. A. and Decroix, G. A. (1998), “Make-to-order versus make-to-stock in a Production-inventory system with general production times”, IIE Transactions 30, 705- 713

Sağır, M. ve Saraç , T.(2007) , “Hazırlık Zamanı Kaynaklı Üretim Kayıplarını Enazlayan Çok Amaçlı Bir Çizelgeleme Algoritması”, Makina Mühendisleri Odası, Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt: 18 , Sayı: 4, Sayfa: (14-25)

Salhieh, S.M., and Kamrani, A.K., (1999), Macro Level Product Development Using Design For Modularity, Robotics and Computer Integrated-Manufacturing, Vol:15,Issue 4 p:319-329.

Sarker B.R., Fitzimmons J.A. (1989): “The Performance of Push and Pull Systems : A Simulation and Comparative Study”, International Journal of Production Research, V.27, N.10, p.1715-1731.

Schlottmann, F., Seese, D. (2001), "A Hybrid Genetic Quantitative Method For Risk Return Optimisation Of Credit Portfolios.", Institute AIFB University Karlsruhe
Selim, H.M, Askin, R.G. ve Vakharia, A.J. , (1998), "Cell Formation in Group Technology: Review, Evaluation and Directions For Future Research", Computers ind. Engng Vol. 34, No. 1, pp. 3-20, p:7

Shahla, R. A., Baykoç, Ö. F., Ege, Y. (2002), "Kanban Sayısı Ve İşlem Zamanı Dağılımlarının Hücreyel İmalat Ortamındaki Bir JIT Sisteminin Performansı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 4, Sayı: 2, s. 17-27

Sharif, Hatim H., El-Kilany, Khaled S., ve Helaly Mostafa A. (2008), "A Genetic Algorithm Approach to the Group Technology Problem ".,Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2008 Vol II IMECS

Simpson, T.W., and D'Souza, B., (2004), "Assessing Variable Levels of Platform Commonality Within a Product Family Using a Multiobjective Genetic Algorithm", Concurrent Engineering: Research and Applications, Vol:12, Issue:2 p: 119-130

Sinriech D. ve Samakh E. (1999), "A Genetic Approach to the Pickup/Delivery Station Location Problem in Segmented Flow Based Material Handling Systems", Journal of Manufacturing Systems, Volume: 18, Number: 2, s. 81-99.

Soman ,C. A. ve Donk, D. P., Gaalman G. (2002), " Combined Make-To-Order and Make-To-Stock in a Food Production System"

Srivastava, B. and Chen, W. H. (1993), "Part type selection problem in flexible manufacturing systems: tabu search algorithms", Annals of Operations Research Cilt:41, S: 279-297,

Şahin, F. Ve Robinson Jr. (2005), “Information Sharing And Coordination in Make-To-Order Supply Chains “, Journal of Operations Management 23, p:579–598

Şaşım , Ö., (2009), “Siparişe Göre Üretimde Çizelgeleme Kararlarının Uzman Sistemlerle Verilmesi” , Yüksek Lisans Tezi

Taşkın, M. F. (2006), “Önleyici Bakım Politikası Altında Optimum Stok Miktarının Bulanık Mantık Yöntemiyle Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi

Tiihonen, J., Lehtonen, T., Soininen, T., Pulkkinen, A., Sulonen, R., and Riitahuhta, A., (1998), Modeling Configurable Product Families, The 4th WDK Workshop on Product Structuring, Delft Univesity of Technology, Delft, the Netherlands

Tütek, H. ve Öncü, S. (1991) “JIT (Just In Time) Felsefesinin İşletme Fonksiyonları ve Verimlilik Üzerindeki Etkileri”, Verimlilik Dergisi, 4.

Uddin, M. K., Shanke (2002), “Grouping of Parts and Machines in Presence of Alternative Process Routes by Genetic Algorithm”, International Journal of Production Economics, Vol:76, Issue:3, p: 219-228

Usta, A. S. (2007), ”Yapay Sinir Ağları Uygulaması Kullanılarak Üretici Fiyat Endeksi (ÜFE) Değerlerinin Öngörü Modellemesi ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi , Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

Wadhwa S. ve Chopra A. (2000), “A Genetic Algorithm Application: Dynamic Reconfiguration in Agile Manufacturing Systems.”
http://sic.ici.ro/sic2000_4/art01.htm (01.06.2010)

Wang, D., Gen, M., Cheng, R. (1999). .Scheduling Grouped Jobs on Single Machine with Genetic Algorithm., Computers and Industrial Engineering, 36, 309-324.

Wang ,J. (2003) “Formation Of Machine Cells and Part Families in Cellular manufacturing systems using a linear assignment algorithm”, Automatica 39 1607 – 1615

Wehenkel L., “Machine Learning & Datamining.”
<http://www.montefiore.ulg.ac.be/~lwh/> (28/11/2009)

Whitson, D. (1997), “Applying Just-In-Time Systems in Health Care”, IIE-Solutions, V 29, N 8, pp 32-37.

Won J., Cochran D., Johnson H. T., Bouzekouk S., Masha B.(2001), “Rationalizing the Design of the Toyota Production System: A Comparison of Two Approaches”, <http://www.sysdesign.org/publications.htm>, 10.07.2010

Yaman, Hakan (1997), “Üretim Kavramı ve Üretim Sistemleri”,İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Bilgisi Anabilim Dalı Proje ve Yapım Yönetimi Birimi, www2.itu.edu.tr/~yamanhak/ders/yus/YS-not-hf2.pdf

Yauch ,C. A., Steudel, H. J., (2002), “Cellular manufacturing for small businesses: key cultural factors that impact the conversion process”, Journal of Operations Management 20 (2002) 593–617

Yeniay Ö. (2001), “An Overview of Genetic Algorithms”, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt: 2, Sayı: 1, s. 37-49.

Yew , Y. S. (2004), “Production Flow Analysis & Inventory Control for Orford Refrigeration “, University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying, Course ENG4111 and 4112 Research Project,

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

Yurtçu, Ş. ve İcağa, Y. (2006), “Evrimsel Algoritmaların İnşaat Mühendisliği Sistemlerinde Kullanımı”, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi (1) 51 – 59

Zapfel, Günther , (1998), “Customer-order-driven production: An economical concept for responding to demand uncertainty?”, Int. J. Production Economics 56-57 (1998) 699-709, S: 700-701

Zhaoqing, T., Xinmin, L., Zhongqin, L. (2009), “Robust Fixture Layout Design For Multi-Station Sheet Metal Assembly Processes Using A Genetic Algorithm”, International Journal of Production Research, Cilt:47, Sayı:21, S:6159-6176

<http://enm.blogcu.com/grup-teknolojisi-nedir-3/3476912>

Erişim Tarihi 11.03.2010

<http://www.obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/selection.php>

Erişim Tarihi 21.04.2010

<http://www.optisu.com/tr/secme.htm>,

Erişim Tarihi 21.04.2010

<http://www.doc.ic.ac.uk> ,

Erişim Tarihi 10.05.2010

www.genelbilge.com ,

Erişim Tarihi 22.03.2010

www.yapayzeka.org ,

Erişim Tarihi 06.07.2010

EKLER Microsoft Visual C# 2.0. Programlama Dili ile Yazılan Probleme Ait Genetik Algoritma Kodları

(Başlangıç Popülasyonu)

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using System.Threading;
using System.IO;
namespace GAProgram
{
    class Kromozom : IComparable
    {
        private double uygunlukDegeri;
        private byte[,] kod;
        private int siraNo;
        private static double[] fx = new double[28]{ 575, 535, 240,
270,1197,768,1221,870,354,180,204,1800,258,
555,1428,3000,530,17250,3600,4200,275,3900,
14400,14400,7650,9000,9400,3500 };
        #region Özellikler
        public double[] Fx
        {
            get { return fx; }
            set { fx = value; }
        }
        public double UygunlukDegeri
        {
            get { return uygunlukDegeri; }
            set { uygunlukDegeri = value; }
        }
        public byte[,] Kod
        {
            get { return kod; }
            set { kod = value; }
        }
    }
}
```

```

public int SiraNo
{
    get { return siraNo; }
    set { siraNo = value; }
}
#endregion
#region Yapılandırıcılar
public Kromozom()
{
    this.UygunlukDegeri = 0;
    this.SiraNo = 0;
    this.Kod = new byte[28, 4];
}
public Kromozom(byte[,] kod, double uygunlukDegeri, int siraNo)
{
    this.UygunlukDegeri = uygunlukDegeri;
    this.SiraNo = siraNo;
    this.Kod = kod;
}
#endregion
public static double UygunlukDegeriHesapla(byte[,] kod)
{
    double[] gvs = new double[4];
    double varyans = 0;
    double ortalama = 0;
    double toplamdeger = 0;
    int degiskensayisi = 0;
    for (int j = 0; j < 4; j++)
    {
        ortalama = 0;
        degiskensayisi = 0;
        varyans = 0;
        toplamdeger = 0;
        for (int i = 0; i < 28; i++)
        {
            toplamdeger = toplamdeger + fx[i] * kod[i, j];
        }
    }
}

```

```

        degiskensayisi = degiskensayisi + kod[i, j];
    }
    ortalama = toplamdeger / degiskensayisi;
    for (int i = 0; i < 28; i++)
    {
        double m = fx[i] - ortalama;
        varyans = varyans + m * m * kod[i, j];
    }
    varyans = varyans / degiskensayisi;
    gvs[j] = Math.Sqrt(varyans) / ortalama;
}
toplamdeger = 0;
ortalama = (gvs[0] + gvs[1] + gvs[2] + gvs[3]) / 4;
for (int i = 0; i < 4; i++)
{
    double m = gvs[i] - ortalama;
    toplamdeger = toplamdeger + m * m;
    toplamdeger = toplamdeger / 4;
}
return Math.Sqrt(toplamdeger) / ortalama;
}
public static byte[,] RassalKodUret()
{
    Random r = new Random();
    int rand;
    byte[,] rassalKod = new byte[28, 4];
    for (int i = 0; i < 28; i++)
    {
        Thread.Sleep(1);
        rand = r.Next(0, 4);
        for (int j = 0; j < 4; j++)
        {
            rassalKod[i, j] = 0;
        }
        rassalKod[i, rand] = 1;
    }
}

```

```

        return rassalKod;
    }
    public static Kromozom RassalKromozomUret()
    {
        Kromozom kromozom = new Kromozom();
        byte[,] kod = RassalKodUret();
        double uygunlukDegeri = UygunlukDegeriHesapla(kod);
        kromozom.Kod = kod;
        kromozom.UygunlukDegeri = uygunlukDegeri;
        return kromozom;
    }
    public static List<Kromozom> Caprazla(Kromozom kromozom1, Kromozom
kromozom2)
    {
        List<Kromozom> yeniKromozomlar = new List<Kromozom>();
        byte[,] yenikod1 = kromozom1.kod;
        byte[,] yenikod2 = kromozom2.kod;
        for (int i = 4; i < 8; i++)
        {
            for (int j = 0; j < 4; j++)
            {
                yenikod1[i, j] = kromozom2.kod[i, j];
                yenikod2[i, j] = kromozom1.kod[i, j];
            }
        }
        for (int i = 12; i < 16; i++)
        {
            for (int j = 0; j < 4; j++)
            {
                yenikod1[i, j] = kromozom2.kod[i, j];
                yenikod2[i, j] = kromozom1.kod[i, j];
            }
        }
        for (int i = 20; i < 24; i++)
        {
            for (int j = 0; j < 4; j++)

```

```

        {
            yenikod1[i, j] = kromozom2.kod[i, j];
            yenikod2[i, j] = kromozom1.kod[i, j];
        }
    }
    double uygunlukdeg1 = UygunlukDegeriHesapla(yenikod1);
    double uygunlukdeg2 = UygunlukDegeriHesapla(yenikod2);
    yeniKromozomlar.Add(new Kromozom(yenikod1, uygunlukdeg1, 0));
    yeniKromozomlar.Add(new Kromozom(yenikod2, uygunlukdeg2, 0));
    return yeniKromozomlar;
}

public static List<Kromozom> RuletTekeriSecimi(List<Kromozom>
kromozomListesi, int baslangicNo, int kromozomSayisi)
{
    List<Kromozom> yeniKromozomListesi = new List<Kromozom>();
    kromozomListesi.Sort();
    double udt = 0;
    foreach (Kromozom kromozom in kromozomListesi)
    {
        udt = udt + kromozom.uygunlukDegeri;
    }
    double[] so = new double[kromozomSayisi];
    int i = 0;
    foreach (Kromozom kromozom in kromozomListesi)
    {
        so[i] = kromozom.uygunlukDegeri / udt;
        i++;
    }
    i = 0;
    double[] kso = new double[kromozomSayisi];
    foreach (Kromozom kromozom in kromozomListesi)
    {
        if (i == 0)
            kso[i] = so[i];
        else
            kso[i] = so[i] + kso[i - 1];
    }
}

```

```

        i++;
    }
    Random rand = new Random();
    double rassalSayi;
    int kromozom1 = 0;
    int kromozom2 = 0;
    List<Kromozom> kromozomCifti = new List<Kromozom>(2);
    for (int x = 0; x < (kromozomSayisi / 2); x++)
    {
        Thread.Sleep(1);
        rassalSayi = rand.NextDouble();
        for (int k = 0; k < kromozomSayisi; k++)
        {
            if (rassalSayi < kso[k])
            {
                kromozom1 = k;
                break;
            }
        }
        Thread.Sleep(1);
        rassalSayi = rand.NextDouble();
        for (int k = 0; k < kromozomSayisi; k++)
        {
            if (rassalSayi < kso[k])
            {
                kromozom2 = k;
                break;
            }
        }
        kromozomCifti=Caprazla(kromozomListesi[kromozom1],
kromozomListesi[kromozom2]);
        Kromozom yeniKromozom1 = kromozomCifti[0];
        Kromozom yeniKromozom2 = kromozomCifti[1];
        yeniKromozom1.UygunlukDegeri =
UygunlukDegeriHesapla(yeniKromozom1.Kod);
        yeniKromozom1.SiraNo = baslangicNo;

```



```

        yeniKromozom2.UygunlukDegeri
UygunlukDegeriHesapla(yeniKromozom2.Kod);
        yeniKromozom2.SiraNo = baslangicNo + 1;
        baslangicNo = baslangicNo + 2;
        yeniKromozomListesi.Add(yeniKromozom1);
        yeniKromozomListesi.Add(yeniKromozom2);
    }
    foreach (Kromozom kromozom in kromozomListesi)
    {
        yeniKromozomListesi.Add(kromozom);
    }
    yeniKromozomListesi.Sort();
    yeniKromozomListesi.RemoveRange(kromozomSayisi, kromozomSayisi);
    return yeniKromozomListesi;
}

public static List<Kromozom> MutasyonUygula(List<Kromozom>
kromozomListesi, int kromozomSayisi)
{
    int[] dizi = new int[5];
    Random r = new Random();
    int rand;
    for (int i = 0; i < 5; i++)
    {
        while (true)
        {
            Thread.Sleep(1);
            rand = r.Next(0, kromozomListesi.Count);
            if (Array.IndexOf(dizi, rand) == -1)
            {
                dizi[i] = rand;
                break;
            }
        }
    }
    foreach (int i in dizi)
    {

```

```

byte[,] yeniKod = new byte[28, 4];
for (int p = 0; p < 28; p++)
{
    for (int q = 0; q < 4; q++)
    {
        yeniKod[p, q] = kromozomListesi[i].Kod[p, q];
    }
}
int[] satirlar = new int[4];
for (int j = 0; j < 4; j++)
{
    while (true)
    {
        Thread.Sleep(1);
        rand = r.Next(0, 28);
        if (Array.IndexOf(satirlar, rand) == -1)
        {
            satirlar[j] = rand;
            break;
        }
    }
}
foreach (int k in satirlar)
{
    yeniKod[k, 0] = 0;
    yeniKod[k, 1] = 0;
    yeniKod[k, 2] = 0;
    yeniKod[k, 3] = 0;
    Thread.Sleep(1);
    int j = r.Next(0, 4);
    yeniKod[k, j] = 1;
}
double yeniUygunluk = UygunlukDegeriHesapla(yeniKod);
double eskiUygunluk = UygunlukDegeriHesapla(kromozomListesi[i].Kod);
if (yeniUygunluk < eskiUygunluk)
{

```

```

        for (int p = 0; p < 28; p++)
        {
            for (int q = 0; q < 4; q++)
            {
                kromozomListesi[i].Kod[p, q] = yeniKod[p, q];
            }
        }
        kromozomListesi[i].UygunlukDegeri =
UygunlukDegeriHesapla(kromozomListesi[i].Kod);
    }
}
kromozomListesi.Sort();
return kromozomListesi;
}
#region IComparable Members
public int CompareTo(Object obj)
{
    double result;
    Kromozom kromozom = (Kromozom)obj;
    result = this.UygunlukDegeri - kromozom.UygunlukDegeri;
    if (result < 0)
        return -1;
    if (result > 0)
        return 1;
    else
        return 0;
}
#endregion
}
}

```

(Genetik Algoritma Adımları)

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
namespace GAProgram
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            int sayi = 0;
            int kromozomSayisi = 20;
            int mutasyonSayaci = 0;
            Console.Write("Lütfen rulet tekeri için tekrar sayısını girin: ");
            try
            {
                sayi = Int32.Parse(Console.ReadLine().ToString());
            }
            catch
            {
                sayi = 10;
            }
            Console.Write("Lütfen kromozom sayısını girin: ");
            try
            {
                kromozomSayisi=Int32.Parse(Console.ReadLine().ToString());
            }
            catch
            {
                kromozomSayisi = 20;
            }

            Console.WriteLine();
            Console.WriteLine("Başlangıç kromozomları üretiliyor...");
        }
    }
}
```

```

        int baslangicDegeri = kromozomSayisi + 1;
List<Kromozom> kromozomListesi = new List<Kromozom>(kromozomSayisi * 2);

        for (int i = 0; i < kromozomSayisi; i++)
        {
            Kromozom kromozom = Kromozom.RassalKromozomUret();
            kromozomListesi.Add(kromozom);
        }
        kromozomListesi.Sort();
        int n = 0;
        foreach (Kromozom kromozom in kromozomListesi)
        {
            kromozomListesi[n].SiraNo = n + 1;
            n++;
        }
        foreach (Kromozom kr in kromozomListesi)
        {
            Console.WriteLine(kr.SiraNo.ToString() + ". Kromozom: " +
kr.UygunlukDegeri.ToString());
        }
        Console.WriteLine("-----");
        List<Kromozom> donenKromozomListesi = new
List<Kromozom>();
        for (int i = 0; i < sayi; i++)
        {
            kromozomListesi =
Kromozom.RuletTekerisecimi(kromozomListesi, baslangicDegeri,
kromozomSayisi);
            baslangicDegeri = baslangicDegeri + kromozomSayisi;
            foreach (Kromozom kr in kromozomListesi)
            {
                Console.WriteLine(kr.SiraNo.ToString() + ".
Kromozom: " + kr.UygunlukDegeri.ToString());
            }
            Console.WriteLine((i + 1) + ". Rulet tekeri seçiminden
sonra en iyi değer: " +
                kromozomListesi[0].UygunlukDegeri);
        }
    }
}

```

```

        Console.WriteLine();
        Console.WriteLine();
        mutasyonSayaci++;
        if (mutasyonSayaci == 5)
        {
kromozomListesi=Kromozom.MutasyonUygula(kromozomListesi,kromozomSayisi;
            Console.WriteLine("Mutasyon sonucu yeni uygunluk değerleri:");
                foreach (Kromozom kr in kromozomListesi)
                {
                    Console.WriteLine(kr.SiraNo.ToString()
+ ". Kromozom: " + kr.UygunlukDegeri.ToString());
                }
                Console.WriteLine("Mutasyon sonucu en iyi
değer: " + kromozomListesi[0].UygunlukDegeri);
                Console.WriteLine();
                Console.WriteLine();
                mutasyonSayaci = 0;
            }
        }
        Console.WriteLine();
        Console.WriteLine();
        Console.WriteLine("---En İyi Kromozomun Matrisi---");
        for (int i = 0; i < 28; i++)
        {
            for (int j = 0; j < 4; j++)
            {
                Console.Write(" " + kromozomListesi[0].Kod[i, j] + " ");
            }
            Console.WriteLine();
        }
        Console.WriteLine("-----");
        Console.ReadKey();
    }
}
}

```