

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

739866

**SONLU KAPASİTE PLANLAMADA YAPAY SİNİR
AĞLARININ KULLANIMINA YÖNELİK BİR MODEL
TASARIMI**

-139866-

Endüstri Müh. Alev TAŞKIN

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doc. Dr. Ali Fuat GÜNERİ

A. Fuat Güneri



Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL

Hüseyin Başlıgil

Prof. Dr. Bülent DURMUŞOĞLU

Bülent Durmuşoğlu

İSTANBUL, 2003

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÜRETİM PLANLAMA VE ÇİZELGELEME.....	4
2.1 Üretim Planlama ve Kontrolün Tanımı.....	4
2.2 Üretim Planlama ve Kontrol Metotları ve Gelişimi.....	6
2.2.1 Stok Kontrol Politikaları.....	6
2.2.2 Malzeme İhtiyaç Planlaması.....	6
2.2.3 Üretim Kaynakları Planlaması.....	7
2.2.3.1 Ana Üretim Planı.....	8
2.2.3.2 Kaba Kapasite Planlama.....	8
2.2.3.3 Kapasite İhtiyaç Planlaması.....	8
2.2.3.4 Üretim Faaliyet Kontrolü.....	9
2.2.3.5 Üretim Kaynakları Planlaması Yaklaşımının Değerlendirilmesi.....	9
2.2.4 Hiyerarşik Üretim Planlama.....	10
2.2.5 Tam Zamanında Üretim.....	11
2.2.6 Optimize Üretim Teknolojisi.....	12
2.2.7 Sonlu Kapasite Çizelgeleme Yaklaşımı.....	12
2.3 Üretim Çizelgeleme.....	13
2.3.1 Literatür Taraması.....	14
2.3.2 Çizelgeleme Probleminin Tanımlanması.....	17
2.3.3 Üretim Çizelgelemenin Tanımlanması.....	21
2.3.4 Genel Atölye Çizelgeleme Yapısı.....	22
2.3.5 Üretim Çizelgeleme İle İşletme Fonksiyonları Arasındaki Etkileşim.....	25
2.3.5.1 Üretim Çizelgeleme İle Üretim Planlama Arasındaki Etkileşim.....	25
2.3.5.2 Üretim Çizelgeleme İle Satış ve Bütçe Bölümü Arasındaki Etkileşim.....	26
2.3.5.3 Üretim Çizelgeleme İle Atölye Düzeyi Kontrolünün Etkileşimi.....	27
2.3.5.4 Üretim Çizelgeleme İle Satın Alma Bölümünün Etkileşimi.....	28
2.3.5.5 Üretim Çizelgeleme İle Ürün Süreç Geliştirme Bölümünün Etkileşimi.....	28
2.3.5.6 Üretim Çizelgeleme İle Yönetim Fonksiyonunun Etkileşimi.....	28
3. SONLU KAPASİTE PLANLAMA.....	29
3.1 Sonlu Kapasite Çizelgeleme ve Planlama Kavramları.....	29
3.1.1 Sonlu Kapasite Çizelgeleme.....	29
3.1.2 Sonlu Kapasite Planlama.....	30
3.2 Sonlu Kapasite Üretim Planlama Modeli.....	32
3.3 Sonlu ve Sonsoz Çizelgeleme Tekniklerinin Karşılaştırılması.....	33
3.3.1 Geriye Doğru Sonsuz Çizelgeleme.....	34

3.3.2	Geriye Doğru Sonlu Çizelgeleme.....	35
3.3.3	İleriye Doğru Sonlu Çizelgeleme	35
3.3.4	İleriye Doğru Sonsuz Çizelgeleme.....	36
3.4	Sonlu Çizelgeleme Sisteminin İşleyişi	36
3.4.1	Sonlu Çizelgelemenin Düzeyleri.....	37
3.4.2	Sonlu Kapasite Çizelgelemede Veri Gereksinimi	39
3.4.3	Sonlu Kapasite Çizelgeleme Kriterleri.....	39
3.5	Sonlu Kapasite Çizelgeleme Probleminin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları	39
3.5.1	Sonlu Kapasite Çizelgeleme Problemine Simülasyon Yaklaşımı	41
3.5.2	Gelir Tabanlı Kapasite Yönetiminde Sonlu Kapasite Çizelgeleme Problemi.....	50
3.6	Sonlu Kapasite Çizelgeleme Metotlarının Değerlendirilmesi ve Doğru Sistemin Seçilmesi	55
3.7	Bilgisayar Destekli Sonlu Kapasite Çizelgeleme.....	56
3.7.1	Elle Çizelgelemenin Sakıncaları	56
3.7.2	Bilgisayar Destekli Sonlu Kapasite Çizelgelemenin Aşamaları	57
3.7.2.1	Modelleme Seviyesi	58
3.7.2.2	Veri Kaynağı Yönetim Seviyesi.....	58
3.7.2.3	Çizelge Oluşturma Seviyesi	59
3.7.2.4	Kullanıcı Arayüzü Seviyesi.....	60
3.7.3	Sonlu Kapasite Çizelgeleme Yazılım Seçimi ve Uyarlanması	61
3.7.3.1	Çizelgelenmesi Gereken Konular.....	62
3.7.3.2	İkincil Konuların Çizelgelenmesi.....	63
3.7.3.3	Ürün Değişkenliğinin Dikkate Alınması.....	63
3.7.3.4	Üretim Alanı Organizasyonunun Sonlu Kapasite Çizelgeleme Modeline Etkisi..	63
3.7.3.5	Müşteri İhtiyaçlarının Karşlanması	64
3.7.3.6	Raporlamalar ve Operasyonel İhtiyaçlar	64
3.8	Güncel Bazı Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulamaları ve Sonuçları.....	66
3.8.1	Arçelik A.Ş. Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulaması	66
3.8.2	Trakya Otocam Sanayii Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulaması	67
3.8.3	Camiş Ambalaj Sanayii A.Ş. Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulaması	68
4.	YAPAY SİNİR AĞLARI	70
4.1	Temel Kavramlar.....	70
4.1.1	Yapay Zeka.....	70
4.1.2	Biyolojik Sinir Ağları.....	71
4.1.3	Yapay Sinir Ağları.....	74
4.1.3.1	Yapay Sinir Ağlarının Matematik Modeli.....	75
4.1.3.2	Aktivasyon Fonksiyonu Tipleri.....	76
4.2	Yapay Sinir Ağları Mimarisi.....	78
4.2.1	Tam İlişkili ve Hiyerarşik Ağlar	78
4.2.2	İki Katmanlı Yapay Sinir Ağları	79
4.2.3	Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları	80
4.3	Yapay Sinir Ağı Modelleri	80
4.3.1	Yapay Sinir Ağı Modellerinin Sınıflandırılması	80
4.3.2	McCulloch-Pitts Modeli	84
4.3.3	Perceptron Ağı.....	85
4.3.4	Çok Katmanlı Perceptron	90
4.3.5	Stokastik Yapay Sinir Ağları.....	91
4.3.6	Hatayı Geriye Yayıma Ağı.....	91
4.4	Sinir Ağlarının Eğitilmesi ve Öğrenme.....	93

4.4.1	Eğitici Öğrenme	94
4.4.2	Eğitici Öğrenme	97
4.4.3	Tasdikli Öğrenme	97
4.4.4	Topolojik Değişiklikli Öğrenme	97
4.4.5	Skolastik Öğrenme	97
4.4.6	Amaca Göre Öğrenme Prosedürü.....	98
4.4.6.1	Yakınsama	98
4.4.6.2	Bağdaştırma.....	98
4.4.6.3	Desen Tanıma.....	98
4.4.6.4	Öngörme.....	99
4.4.6.5	Kontrol.....	99
4.4.6.6	Sinyal Ayrımsama	100
4.4.7	Öğrenme Algoritmaları	100
4.4.7.1	Hebbian Öğrenimi	100
4.4.7.2	Adaline ve En Küçük Kareler Kuralı	101
4.4.7.3	Genelleştirilmiş Delta Kuralı ve Hata Geriye Yayıma Ağları.....	105
4.5	Yapay Sinir Ağlarının Günlük Yaşamdaki Uygulamaları	113
4.5.1	Finans Dünyası.....	114
4.5.2	Yasa ve Kamu Yönetimi	114
4.5.3	Tıp Alanındaki Uygulamalar.....	115
4.5.4	Tarım	115
4.5.5	Jeoloji	115
4.5.6	Kimya	116
4.5.7	Enformasyon Bilim Dalı	116
4.5.8	Üretime Yönelik Uygulamalar	116
4.6	Yapay Sinir Ağlarının Sonlu Kapasite Çizelgelemede Kullanılması.....	119
4.6.1	Sonlu Kapasite Çizelgeleme Sistemi Tasarımı İçin Temel Bilgiler.....	119
4.6.2	Çok Katmanlı Perceptron Kullanılarak Bir Sonlu Kapasite Çizelgeleme Sistemi Geliştirilmesi	120
4.6.2.1	Problem Çözme Süreci.....	120
4.6.2.2	Örnek Veri.....	121
4.6.2.3	Yerel Minimumu Kontrol İçin Kullanılan Metot.....	122
4.6.2.4	Veri Kodlama	122
4.6.2.5	Çok Katmanlı Perceptron Mimarisi ve Uygulanması	123
5.	SONLU KAPASİTE ÇİZELGELEMEDE YAPAY SİNİR AĞLARININ KULLANIMINA YÖNELİK UYGULAMA	127
5.1	Mercedes Benz Türk A.Ş.'nin Tanıtımı	127
5.2	Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulamasında Kullanılacak Olan Veriler	127
5.3	Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulamasında Kullanılacak Olan Yapay Sinir Ağının Modellenmesi	131
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	135
	KAYNAKLAR.....	137
	EKLER.....	141
Ek 1	Altı İş Beş Makine Sonlu Kapasite Çizelgeleme Problemini Çözen Yazılım	142
Ek 2	Altı İş Beş Makine Sonlu Kapasite Çizelgeleme Problemini Çözen Yapay Sinir Ağının Ağırlık Değerleri	144
Ek 3	Altı İş Beş Makine Sonlu Kapasite Çizelgeleme Problemini Çözen Yapay Sinir	

Ağının Eşik Değerleri.....	156
ÖZGEÇMİŞ	157



KISALTMA LİSTESİ

MİP	Malzeme İhtiyaç Planlaması
ÜKP	Üretim Kaynakları Planlaması
AÜP	Ana Üretim Planı
KİP	Kapasite İhtiyaç Planlaması
ÜFK	Üretim Faaliyet Kontrolü
HÜP	Hiyerarşik Üretim Planlama
TZÜ	Tam Zamanında Üretim
OÜT	Optimize Üretim Teknolojisi
SKÇ	Sonlu Kapasite Çizelgeleme
SKP	Sonlu Kapasite Planlama
EKİZÖ	En Kısa İşlem Zamanlı İş Önceliği Kuralı
EÜS	Esnek Üretim Sistemleri
KKP	Kurumsal Kaynak Planlaması
YSA	Yapay Sinir Ağı
ADALINE	Adaptive Linear Neuron Computer
AELB	Adapte Edilebilir Lineer Birleştirici
EKK	En Küçük Kareler Kuralı
HGYA	Hata Geriye Yayma Ağları
GDK	Genelleştirilmiş Delta Kuralı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Bir üretim planlama süreci.....	5
Şekil 2.2 Üretim kaynakları planlamasının modülleri arasındaki ilişkiler.....	9
Şekil 2.3 Örnek problem ürün ağacı ve operasyon bilgileri.....	19
Şekil 2.4 Örnek problemin ilk çözümünün Gantt şeması.....	20
Şekil 2.5 Örnek problemin ikinci çözümünün Gantt şeması.....	21
Şekil 2.6 Genel atölye çizelgelemede kullanılan zamanlar.....	25
Şekil 3.1 Kapasite kullanım histogramı.....	31
Şekil 3.2 Sonlu kapasite üretim planlama sistemi.....	33
Şekil 3.3 Gantt şeması.....	38
Şekil 3.4 Simülasyon tabanlı bir çizelgeleme modelinin yapısı.....	43
Şekil 4.1 Biyolojik sinir hücresinin genel yapısı.....	72
Şekil 4.2 Nöron tipleri ve görevleri.....	74
Şekil 4.3 Genel bir yapay sinir ağı modeli.....	75
Şekil 4.4 Bir sinir hücresinin yapısı.....	76
Şekil 4.5 Çeşitli YSA modellerinde kullanılan eşik fonksiyonları.....	77
Şekil 4.6 Tam ilişkili ağlar.....	78
Şekil 4.7 Hiyerarşik yapay sinir ağı.....	79
Şekil 4.8 Çeşitli YSA modelleri.....	81
Şekil 4.9 McCulloch-Pitts Modelinde ağ yapılarının önermeler mantığı cümleleri ile ifade edilmesi.....	85
Şekil 4.10 Photoperceptron yönteminin grafik gösterimi.....	86
Şekil 4.11 Perceptron yönteminin venn diyagramları ile gösterimi.....	87
Şekil 4.12 Mantıksal bağlantıların perceptron yapısında gösterimi.....	88
Şekil 4.13 xor mantık işlemcisinin perceptron yapısında ifade edilmesi.....	90
Şekil 4.14 Yapay sinir ağlarının eğitim yöntemlerinin sınıflandırılması.....	94
Şekil 4.15 Hebbian öğrenme kuralının Pavlov deneyi için grafik gösterimi.....	101
Şekil 4.16 İki ağırlık değerinin bir fonksiyonu olan değerinin grafik gösterimi.....	105
Şekil 4.17 Ağırlık yüzeyi.....	108
Şekil 4.18 Sonlu kapasite çizelgeleme süreci.....	121
Şekil 4.19 Çok katmanlı perceptron ağı.....	125
Şekil 5.1 Geliştirilen yapay sinir ağının eğitim grafiği.....	133

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Genel atölye çizelgeleme probleminin yapısı	22
Çizelge 2.2 Operasyon sırası (iş seyri) kartı	23
Çizelge 3.1 Dört temel çizelgeleme tekniğinin karşılaştırılması.....	34
Çizelge 3.2 Simülasyon tabanlı çizelgelemenin faydaları	42
Çizelge 3.3 Sonlu kapasite çizelgeleme yazılımları.....	65
Çizelge 4.1 Geliştirilen yapay sinir ağı modelleri ve özellikleri.....	82
Çizelge 4.2 Bazı mantık işlemcileri için doğruluk tablosu	89
Çizelge 4.3 İki iş için verilen işlem sıraları, işlem süreleri ve işlere ait talep bilgileri	123
Çizelge 4.4 Üç makine için verilen kapasite bilgileri	123
Çizelge 5.1 Çizelgelenecek işlerin işlem sıraları	129
Çizelge 5.2 Çizelgelenecek işlerin her bir makinedeki işlem süreleri	130
Çizelge 5.3 Makine kapasiteleri	130
Çizelge 5.4 İşlere ait talep bilgileri	130
Çizelge 5.5 Sonlu kapasite çizelgeleme uygulama probleminin çözümünü gösteren Gantt şeması	134

ÖNSÖZ

Bu çalışmada sonlu kapasite planlama ve yapay sinir ağları incelenerek; sonlu kapasite planlama problemine yapay sinir ağları ile bir çözüm yaklaşımı sunulmaktadır. Bu amaçla problem yapay sinir ağları vasıtasıyla oluşturulan bir model ile ifade edilmiş, işlerin her makinedeki işlem süreleri, öncelik kısıtları, makine kapasiteleri ve talep girdileri kullanılarak modelin bir bilgisayar programı geliştirilerek ifade edilmesiyle de, her bir makinede istenen iş sıralarına ulaşılmıştır.

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana yol göstererek yardımcı olan başta değerli danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Ali Fuat GÜNERİ'ye, değerli bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünden Ar.Gör. Mutlu Avcı'ya ve operasyon alanlarında gözlem yapma olanağı sağlayan Mercedes Benz Türk A.Ş. Üretim Planlama Mühendisleri Galip Şatır'a, Kadir Yanık'a ve ayrıca, her zaman yanımda olup desteğini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.



ÖZET

Sonlu kapasite planlama, işlerin çizelgelemesinden elde edilen sonuçlara göre üretim işlemlerinin yaklaşık başlangıç ve bitiş zamanlarının ve kaynakların kapasite yüklerinin belirlenmesi olarak adlandırılır. Sonlu kapasite planlama, orta ve uzun dönem kapasite planları için karar desteği sağlar ve sonlu çizelgelemeden daha uzun süreli malzeme ihtiyaçlarını yapılandırır.

Sonlu kapasite planlamanın temeli olan sonlu çizelgeleme üzerinde durulan bu çalışmada, yapay sinir ağları kavramı da incelenerek, sonlu çizelgeleme probleminin çözümünde yapay sinir ağlarının kullanımı üzerinde durulmuş ve bu amaçla bir model geliştirilerek, problemin çözümüne yönelik bir uygulama yapılmıştır.

Bu çalışmada giriş bölümünün ardından ikinci bölümde üretim planlama ve çizelgeleme kavramları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde sonlu kapasite planlama ve çizelgeleme faaliyetleri anlatılmıştır. Bilgisayar destekli sonlu kapasite çizelgeleme hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde yapay sinir ağları üzerinde durulmuş; yapay sinir ağları mimarisi ve modelleri, eğitim ve öğrenme konuları açıklanarak, yapay sinir ağlarının günlük yaşamda kullanımına yer verilmiştir.

Son bölümde operasyonel sorunlardan biri olan sonlu kapasite çizelgeleme problemi her bir makinedeki iş sıraları belirlenecek şekilde yapay sinir ağları ile modellenmiş, modeli istenen sonuca ulaştıracak bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve Mercedes Benz Türk A.Ş.' de uygulama sonucu elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Sonlu kapasite, çizelgeleme, planlama, yapay sinir ağları.

ABSTRACT

Finite capacity planning determines the capacity loads of resources and estimates approximate start and finish times of manufacturing processes by the results gained from work scheduling. Finite capacity planning supplies decision support for middle and long term capacity plans and constructs material requirements on a more long term basis than finite scheduling.

In this thesis finite scheduling, which is the basis of finite capacity planning is considered, and artificial neural networks are applied for the finite capacity planning. Utilisation of artificial neural networks on solving finite scheduling problems are dwelled. Also a model is developed and carried out to solve an application problem.

In this thesis, after introduction, production planning and scheduling terms are examined in second chapter.

In the third chapter, finite capacity planning and scheduling activities are described also computer-aided finite capacity scheduling is introduced.

Artificial neural networks are dwelled on fourth chapter; explaining artificial neural network architecture and models including training and learning subjects with daily usage of artificial neural networks.

In the last chapter, finite capacity planning problem application is implemented in a way to determine job order in each machine using artificial neural networks. The computer program shown in appendix 1 is developed. The application results realized with acquired data from practical and real works of Mercedes Benz Türk A.Ş and showed the validity of the neural networks are concluded.

Keywords: Finite capacity, scheduling, planning, artificial neural networks.

1. GİRİŞ

Endüstriyel işletmelerde global düzeyde yaşanan gelişmelerle üretimin fonksiyonu ve önemi değişmiştir. Üretim sistemlerinin modern hale gelmesi firmaların rekabet gücünü koruyabilmeleri için artık zorunluluk haline gelmiştir. Ancak rekabet gücünü sağlamak, ayakta kalabilmek ve pazar payını koruyup atırmak aynı sabit ürün karması ile mümkün değildir. Müşteri ihtiyaçlarının sürekli değiştiği günümüzde firmaların esnek bir üretim sistemiyle ürün tasarımlarında değişiklikler yaparak, yüksek ürün çeşitliliği ile pazarda yer alabilmektedir.

Yüksek ürün çeşitliliği için ürünler daha küçük partiler halinde üretilmeye başlamış ve daha çok değişik ürünlerin aynı zaman periyodunda üretilmesi zorunluluğu ile karşı karşıya kalınmıştır. Küçük parti büyüklükleri ve ürünlerin çok sayıda olması hem üretim planlamayı hem de atölye düzeyi kontrolünü zorlaştırmıştır. Bu değişiklikler sadece belli endüstri alanlarında görülmemiştir. Bunun delilleri otomotivde, ticari mallarda, elektronik ve beyaz eşya endüstrisinde büyük oranda görülebilmektedir. İşletme yönetimi böyle bir ortamla başa çıkmak için yeni stratejilere gereksinim duymaya başlamıştır.

Bu rekabet ortamında üretim firmaları uzun yıllardır bilgisayar destekli planlama ve kontrol metodları arayışı içindedirler. Böyle bir sistemin ana fonksiyonları şöyle özetlenebilmektedir: Üretilen mamullerin hangisinin ne kadar müşteri siparişlerine ve talep tahminlerine dayandırılmasının gerektiğinin belirlemek, parti büyüklüğünü içeren malzeme ihtiyaçlarını planlamak, envanter kontrolü, çizelgeleme ve sırasal işler, kapasiteyi planlamak ve dengelemek, amaç performansını kontrol etmek ve sapmalar olursa önlemler almak.

Bu işlevleri sağlamak için ilk ilerleme, envanter kontrol alanında, gelişmiş satın alma politikalarını bilgisayar kullanarak uygulamak olmuştur. Daha sonra ortaya çıkan Malzeme İhtiyaç Planlaması, envanter kontrol yaklaşımının geliştirilmesinin yanında üretim planlamasının da yapılabilmesini sağlamıştır. Malzeme ihtiyaç planlaması sistemi üzerinde kapalı çevrim üretim yönelimi sistemi oluşturabilmek için uzun süre çalışılmıştır. Ticareti ve şirketin finansal fonksiyonlarını kapsaması için ek özellikler temel sisteme eklenmiştir. Sonuçta ortaya çıkan sistem Üretim Kaynakları Planlaması olarak adlandırılmıştır. Bu, üretim planlama ve kontrolde önemli bir gelişme olduğundan üretim kaynakları planlaması en fazla uygulanan üretim yönetim sistemi olmuştur.

Malzeme ihtiyaç planlaması uygulamaları zamanla eleştiriler almaya başlamıştır. Tam Zamanında Üretim gibi yeni felsefeler, malzeme ihtiyaç planlaması sistemine alternatif olarak

ortaya çıkmıştır. Tam zamanında üretim sadece üretim planlama aracı değil aynı zamanda süreç dizayn felsefesidir. Planlama ihtiyacını azaltmak için süreç dizaynının basitleştirilmesi felsefesi geniş kabul görmüştür. Bununla birlikte Kanban olarak adlandırılan tam zamanında üretimin atölye düzeyi kontrol metodu, tekrarlanan üretim durumları için tek yaklaşımdır. Fakat tam zamanında üretim, malzeme ihtiyaç planlamasının üretim planlama ve kontrol sistemlerindeki merkezi rolünün yerini alamamıştır.

Malzeme ihtiyaç planlamasına alternatif bir teknoloji olarak Optimize Üretim Teknolojisi ortaya çıkarmıştır. Optimize üretim teknolojisi, sabit üretim tedarik sürelerini konu edinmiştir ve üretimi çizeleyleyebilmek için bir algoritma ortaya koymuştur. Her ne kadar optimize üretim teknolojisi, malzeme ihtiyaç planlamasının bazı yönlerini geliştirmiş görünse de, hiçbir zaman malzeme ihtiyaç planlamasının yerini alamamıştır.

Malzeme ihtiyaç planlaması sistemleri uygulamada geniş kabul görmekle birlikte, bünyesinde bir çok eksiklikler taşımaktadır. Bu eksiklikler şu şekilde açıklanabilir: Malzeme ihtiyaç planlaması sisteminin çalıştırılması uzun zaman alabilir, sabit tedarik süreleri kullanılır, sonuçları kapasiteye karşı hassas ve uygulanabilir değildir, önceden belirlenmiş ortalama üretim zamanları yanıltıcıdır, darboğaz kaynakların durumu göz ardı edilir, özellikle operasyon sırasına bağımlı hazırlık zamanlarının söz konusu olduğu durumlarda malzeme ihtiyaç planlaması modülleri yetersiz kalmaktadır.

Bilgi teknolojisindeki gelişmelerle, Sonlu Kapasite Planlama yaklaşımı ortaya çıkmıştır. Sonlu kapasite planlama, malzeme ihtiyaç planlamasının sabit tedarik süre kabullerinin üstesinden geldiği ve yeterince detaylı veri sağladığı, uygulanabilir ve detaylı üretim çizelgeleri ürettiği için önemli oranda ilgi görmüştür. Sonlu kapasite planlama, işlerin çizelgelemesinden elde edilen sonuçlara göre üretim işlerinin yaklaşık başlangıç-bitiş zamanlarının ve kaynakların kapasite yüklerinin belirlenmesini sağlar.

Mevcut bilgisayarlarla ve algoritmalarla çözülemeyen ya da iyi sonuçlar alınamayan, fakat insan beyninin kolayca yapabildiği karmaşık problemlere çözümler üretmek için son yıllarda yapılan araştırmalar sonucu, yeni bir bilgi işleme yöntemi olarak Yapay Sinir Ağları doğmuştur.

Yapay sinir ağları, çeşitli bağlantılarla birbirine bağlı birimlerden oluşmuş sistemlerdir. Her birim, basitleştirilmiş bir sinir hücresinin özelliklerini taşır. Sinir ağları sinir sisteminin parçalarının benzetimin yapmakta ve beynin işleyişine ilişkin genel kuralları sınamakta

kullanılır. Sinirsel ağ içindeki birimler, her birinin belli işlevi olan katmanlar şeklinde örgütlenmiştir, ki bu yapıya yapay sinir ağı mimarisi denir.

Sonlu kapasite çizelgeleme problemine yapay sinir ağlarının çözüm mantığıyla yaklaşmak, literatürde eksikliği hissedilen bir nokta olarak karşımıza çıkmaktadır. Oysa yapay sinir ağları çeşitli modellerde yapılandırılarak ve eğitim algoritmaları kullanılarak, eğitilmekte ve ardından istenen sorulara kısa sürelerde yanıtlar alınması mümkün olabilmektedir. İnsani yargı sistemlerine yakınlığı ile bilinen yapay sinir ağlarının sonlu kapasite çizelgelemede kullanılması için çizelgeleme kavramının çok iyi yerleşmesi ve işletme kaynaklarının kısıtlarının bilincinde olunması gerekmektedir.



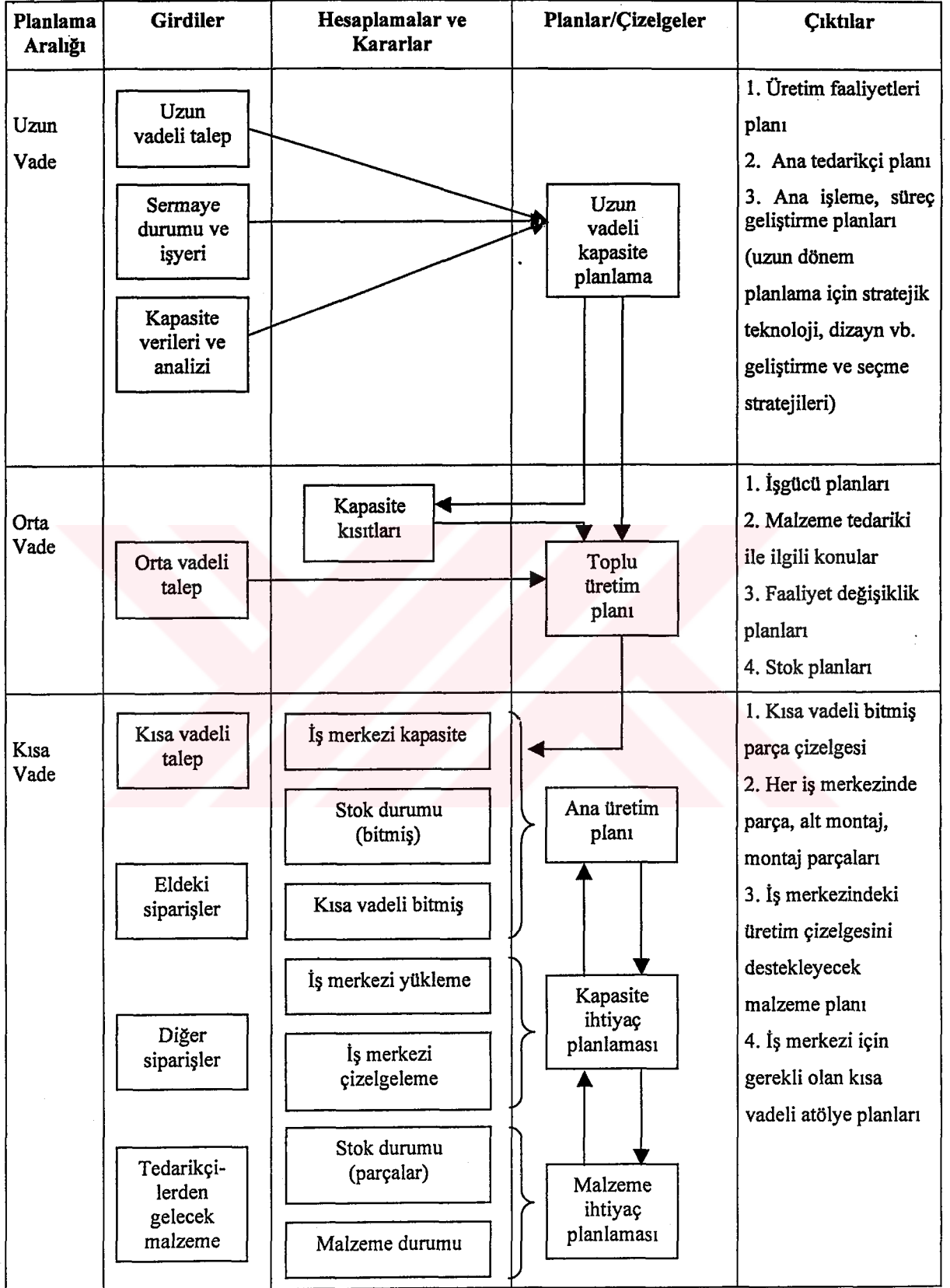
2. ÜRETİM PLANLAMA ve ÇİZELGELEME

2.1 Üretim Planlama ve Kontrolün Tanımı

Üretim, en yalın tanımıyla yaratılan değerdir. Üretim planlama ve kontrol ise bir üretim yönetimi etkinliği olarak üretilecek ürünü belirlemek, üretim için donanım gerecin gereğini saptamak ve ürünlerin istenen kalite ve maliyette istenen sürede, doğru zamanlarda ve istenen miktarlarda oluşumunu sağlayacak çizelgeleme programlama çalışmalarını kapsar. Diğer bir ifadeyle gelecekteki faaliyetlerin (veya miktarlarının) düzeylerini veya limitlerini belirleyen ve gerekli zamanlarda önlem alan fonksiyona üretim planlama ve kontrol denir. Görüldüğü üzere Üretim Planlama ve Kontrol, planlama ve kontrol olmak üzere iki ana faaliyetten oluşmaktadır. Üretim planlama, ne zaman, nerede ve hangi olanaklar ile üretim yapılacağı ile ilgilenirken; üretim kontrol planlanan üretime uygunluğu denetler ve aksaklıkları gidermeye çalışır. Üretim planlamanın aşamaları şu şekilde ifade edilebilir (Kobu, 1999):

1. Üretim planının kapsayacağı zaman aralığı tespit edilir,
2. Ekonomik stok düzeyleri hesaplanır,
3. Talep tahminleri yapılır,
4. Plan dönemi başındaki ve sonundaki stok düzeyleri belirlenir,
5. Başlangıç ve bitiş stokları arasındaki fark bulunur,
6. Planlama dönemi içinde üretilmesi gereken miktar bulunur,
7. Üretilmesi gereken miktar dönem dilimlerine dağıtılır.

Üretim planlama, farklı organizasyonel düzeylerde ve değişik zaman aralıklarını içerecek şekilde oluşur. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi işletmenin üst yönetimi uzun vadeli kapasite planlarını oluşturur. Bu yüksek düzeyli planlar genellikle üretim hatları, fabrikalar, pazarlarla ilgili olup yıl ölçeğindedir. Bir aşağı düzeyde operasyondan sorumlu yöneticiler orta vadeli planlar oluşturur. Bu planlar ürünlerin ayrıntılı planlar yerine toplu üretim miktarlarını içerir. Kısa vadeli planlar (çizelgeler) fabrika düzeyinde oluşturulur ve ayrıntılı olarak ürünlerin üretim miktarlarını ve üretilecekleri zamanları içerir. Haftalık ya da aylık olabilir.



Şekil 2.1 Bir üretim planlama süreci (Bahroun vd., 2000)

2.2 Üretim Planlama ve Kontrol Metotları ve Gelişimi

2.2.1 Stok Kontrol Politikaları

Üretim Planlama uygulamalarını geliştirmek amacıyla bilgisayar kullanım çalışmaları ilk önce stok kontrol alanında uygulanmıştır. Daha önceki yaklaşımlarda, sipariş yenilemelerini minimize eden ve stok taşıma maliyetlerini değiştirmeye çalışan “Ekonomik Sipariş Miktarı” modeline dayanan gelişmiş satın alma politikaları için istatistiksel varsayımlar oluşturulmuş; ancak stoklar tamamen önlenememiş, fakat güvenilir bir faktöre indirilmiştir. Öte yandan bilgisayarlaşma, işletmelerde daha önceden mamul olarak görüntülenen sipariş politikalarını ürün ve bölümlere genişletme imkanı tanımıştır. Zaman aşama talepli daha gelişmiş modeller öne sürülmüştür. Yeni zaman aşamalı modellerde dinamik plan algoritmaları kullanılmıştır. Bu algoritmalar, tekrar doluların miktarını ve zamanını, sabit tutar kısıtlaması ve önceden belirlenmiş sipariş seviyeleri olmadan belirtmektedir.

2.2.2 Malzeme İhtiyaç Planlaması

Stok kontrol yaklaşımları, stok parçalarının yeniden dolularının birbirinden bağımsız olarak planlanabileceğini varsayar. Öte yandan bileşen parçalara olan talebin ana ürüne olan talebe bağlı olduğuna işaret eder. Bu bağımlılık birleşen parçalar (komponent) için iyi tanımlanmış talep örneği yerine toplu talep kullanımına yol açar ve ihtiyaçlar tablosundan üst seviye parçalar için zaman parça ihtiyaçları hesaplamak mümkündür.

Bu gözlemler, malzeme ihtiyaç planlamasının gelişmesine ve özellikle iş kontrolünün ve satın alma siparişlerinin bir ürün altında birleşmesine yol açmıştır.

Malzeme ihtiyaç planlaması (MİP) sistemi için girdi, üst seviye parçalar için Ana Üretim Planı'dır. Bir prosedür seti her bir parça için net gereksinimlerin çizelgesini oluşturabilmek için bu ana üretim planı uygulanır, ilk olarak sistem her bir parçanın net ihtiyaçlarını, programlanmış siparişler ve eldeki stokları göz önüne alarak ortaya çıkarır. Sonra, net ihtiyaçlarını parti büyüklüğünü kullanarak planlanmış siparişe çevrilir. Daha sonra planmış sipariş tedarik süresi kullanılarak ihtiyaç tarihi geriye doğru programlanır. Son olarak ana üretim programı malzeme ilişkileri listelerine yazılarak kullanıcılar yönlendirilir

Üretimde değişim sürekli olduğu için MİP sistemi bu değişiklikleri barındırmak zorundadır. MİP sistemi içerisinde tekrar planlama yaklaşımları iki ana başlık altında toplanabilir:

Bunlar yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya doğru planlama yöntemleridir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi açıklanabilir:

1. Yukarıdan Aşağıya Planlama:

Yukarıdan aşağıya planlama sistem tarafından MİP prosedürünün uygulanmasıdır. Yukarıdan aşağıya planlama ya tekrar planlama veya net-değişim esaslıdır. Tekrar planlama ile MİP'in net ihtiyaçlar ve planlanan siparişlerde meydana gelen her güncellemede prosedür baştan sona tekrar çalıştırılır. Diğer yandan net-değişim yaklaşımında kısmısal bir patlama olduğundan sadece bu değişimden etkilenen bölümlerin ayarlaması yapılır. Tekrar planlama çok fazla veriyi işlemeyi içerdiğinden bu sistemler haftalık ve aylık çalıştırılır. Net-değişim yaklaşımı tekrar planlamanın sürekli yapılamaması zayıflığının üstesinden gelse de bu yaklaşım hatalara karşı savunmasız durumdadır.

2. Aşağıdan Yukarıya Planlama:

Yukarıdan aşağıya planlamada sistem değişime tepki olarak planlama yapsa da aşağıdan yukarıya planlamada planlamacı prosesi kendi yönetir. İhtiyaçları sabitleştirmek aşağıdan yukarıya planlamanın birinci metodudur. Sabitleştirmeyle kullanıcı beklenmeyen bir durumda toplam ihtiyaçlar için talep kaynakları tanımlamasını yapabilir. Kullanıcı için tek seviye veya toplam sabitleştirme imkanı vardır. Toplam sabitleştirme pratikte üretim ve malzemeler için iyi çizelgeler üretmede oldukça pahalıdır. Bir olayın sonuçları için iyileştirici hareketleri sabitleştirme ne sondan geriye doğru izleme işleminin planlanmış sipariş tekniğidir.

İç ve dış tedarikçilerden dağıtımların zamanın ayarlanması envanter kontrol alanında ileriye doğru büyük bir adımdır. Bununla birlikte MİP prosedürü uygun malzeme ve parça kazançlarına dayandırılmıştır ve üretim kapasitesini bir kısıt olarak dikkate almamıştır.

2.2.3 Üretim Kaynakları Planlaması

Karar desteğinin yayılımıyla, MİP'de yapılan kabullere yakın ve birkaç modülden oluşan hiyerarşik bir planlama sistemi yapılandırılmıştır. Böylece Üretim Kaynakları Planlaması (ÜKP) bütünün değişik seviyelerinde kaynak ihtiyaçlarının kontrol edildiği kapalı çevrim bir üretim planlama ve kontrol sistemi olarak ortaya çıkmıştır.

Aşağıda ÜKP'nin değişik modüllerinin geniş bir özeti verilmektedir.

2.2.3.1 Ana Üretim Planı

Ana üretim planı (AÜP), şirketin ne üretmeyi planladığını göstermek üzere satış tahminleri, malzeme mevcudiyeti, kapasite mevcudiyeti, yönetim politikaları ve şirket amaçlarının dikkate alınmasıyla oluşturulur. Genellikle sistemin oluşturduğu tahmin, manuel tahmin ve gerçek müşteri siparişleri planı talep tahminine ulaşmak için basit bir prosedürle birleştirilir.

MİP'e çok benzer bir işlem tahmin edilen talep ana üretim çizelgesi ve mevcut envanter üzerine uygulanarak eldeki ve kullanılabilir envanterin çıktısı elde edilir. Önerilen AÜP kilitlenip üretim için serbest bırakılmadan önce yapılması gereken uygulanabilirlikteki Kaba Kapasite Planlama modülüne de taşınabilir (Yetiş, 1993).

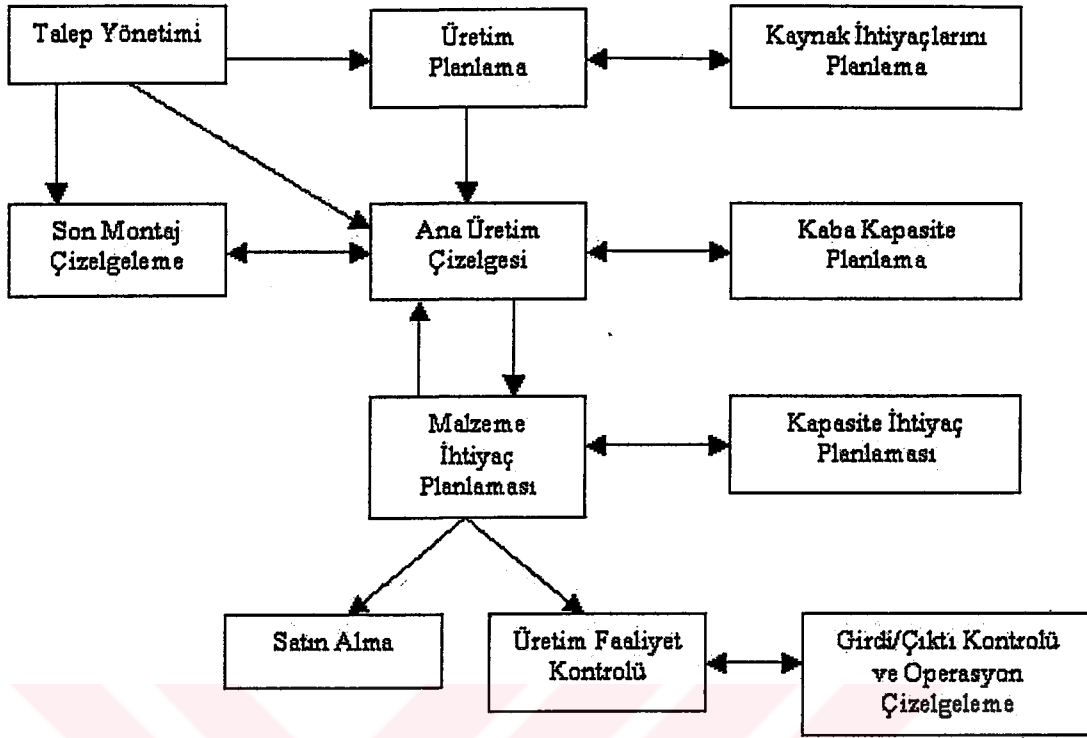
2.2.3.2 Kaba Kapasite Planlama

Kaba kapasite planlama ana üretim planlamanın kapasite bazında uygulanabilir olduğunu garantilemek için birkaç anahtar kaynak üzerinde yapılan hızlı bir kontroldür. Her ana çizelgelenen madde çeşitli anahtar faaliyetlerin kapasitesini açıklayan ilgili kaynak listesi ve/veya her bir maddeyi üretmek için gereken insanı kapsar. Tedarik süresi dengeleme kapasite gereksinimlerine ulaşip AÜP'yi genişletmek için kaynak listesi aracılığıyla kullanılır. Fakat bileşen parça envanteri hesaba katılmamıştır. Eğer yapılabilmesi olanaklı gözüküyorsa bu kaynak ayarlamaları veya AÜP'deki ayarlamalar aracılığıyla çözülür (Fogarty vd., 1991; Nahmias, 1997).

2.2.3.3 Kapasite İhtiyaç Planlaması

Ana üretim planının gereksinimlerini karşılamak için MİP planlı tedarik süresi üzerine dayalı iş emirleri üretilir. Buna rağmen bu planı yaratırken herhangi bir kapasite aksaklığını göz ardı eder. Bu noktada MİP çıktılarının fizibilitesini sağlamak için başka bir araca ihtiyaç duyulur. Kapasite ihtiyaç planlaması (KİP), üretim faaliyet kontrolünde belirtilen yönlendirmeler aracılığıyla planlanan üretim emirlerini genişletir ve profilini oluşturur. Daha sonra arzulan kapasite şu andaki mevcut kapasite ile karşılaştırılır ve fazla yükleme ile az yükleme durumu belirlenir. Daha sonra planlayıcı fizibilitesizliği önlemek için fazla zaman gibi gerekli çıkar yol hareketini yapar (Fogarty vd., 1991).

Kaynak İhtiyaç Planlaması, Kaba Kapasite Planlama ve KİP arasındaki ilişkiler Şekil 2.2'deki gibi ifade edilebilir (Yetiş, 1993).



Şekil 2.2 Üretim kaynakları planlamasının modülleri arasındaki ilişkiler (Yetiş, 1993)

2.2.3.4 Üretim Faaliyet Kontrolü

Parçaların yönlendirilmesi, iş merkezi ve standart zaman bilgisi ÜKP sisteminin üretim faaliyet kontrol modülü (ÜFK) içinde açıklanmıştır. Kapasite ihtiyaç planlaması sistemine benzeyen çizelgeleme prosedürü planlı operasyon başlama zamanının belirlenmesinde kullanılır. Dahası gönderme listelerindeki üretim emirlerinin önceliklerinin belirlenmesi aşama yolu fonksiyonları üzerindeki çalışmayla olanaklı kılınır.

2.2.3.5 Üretim Kaynakları Planlaması Yaklaşımının Değerlendirilmesi

ÜKP, malzemelerin planlama ve kontrolü aşamasındaki bir sonraki adımdır ve göstermiştir ki hiyerarşik planlama AÜP, MİP, ÜFK gibi üretim prosesinin temsili detayının çoklu seviyesiyle, üretim sistem çeşitliliği ve karmaşıklığı ile başa çıkmanın etkili bir yoludur. Dahası kullanıcılara öğretmiştir ki bilgisayar ve üretim veri tabanı aracılığıyla değişik üretim fonksiyonlarındaki bir çok insanın işi daha iyi koordine edilebilmektedir ve bir çok ortak bilgi paylaşılabilir. Sonuç olarak MİP/ÜKP ikilisi en çok kullanılan büyük ölçekli üretim yönetim sistemi olmuştur.

MİP sistemindeki ana zorluk, üretim çevrelerinde sıkça gerek duyulan yeniden çizelgelemedir. Tipik MİP çalışması uzun zaman alır ve genellikle haftalık bazda kullanılır.

Aşağıdan yukarı planlama sabitleştirme gereksinimleri de bu problemi çözmez. Çünkü sabitleştirme gereksinimleri veri işleme maliyetine eklenir .

Bir çok kişi MİP yaklaşımının esas zayıflığının tedarik zamanı belirleme olarak görmektedir. Sabit tedarik süresi, tedarik süresinin çizelgeden ve parti boyutundan bağımsız olması demektir. Ne var ki gerçek hayatta tedarik süresi hem yığın boyutuna hem de sipariş kuyruk zamanına bağlıdır. Diğer yandan kapasite yönetimini kullanıcıya bırakma fikrini hiçbir zaman iyi çalışmamıştır. KİP, birçok durumda planlayıcıyı detaylarla boğmaktadır. Bu nedenden dolayı etkileşimli planlamayı mümkün kılmaz, esas olarak bir soruşturma aracı olarak kullanılır.

Sonuç olarak MİP'in sonuçları kapasiteye karşı hassas ve uygulanabilir olmamaktadır. Ancak MİP düşüncesi felsefi kriterlerle de kabul edilmiştir. MİP'in gerekli gördüğü öneriler paradigması üretim yönetim sisteminde basit tekniklerle kullanılır ve bu sayede bilgisayarca hangi kararların verildiğini ve insanların ne derecede buna karıştığı, müdahale ettiği kolaylıkla anlaşılabilir. Bu yüzden sonlu yükleme algoritması yeterince sezgisel ve anlaşılması muhtemelen zor olduğundan MİP kullananlar ona sıcak bakmamışlardır. Fakat imalat sistemi yüksek mühendislik, otomatik ve önceden bilinen bir program haline gelmeye ve prosesi yöneten kişiler daha bilgili olmaya başlayınca, bu, adapte edilmesi için çok gerekli olmayan sonsuz yükleme/karar destek stratejisi, üretimi çizelgelemek için yetersiz ve gereksiz hale dönüşmüştür (Pak, 1998).

2.2.4 Hiyerarşik Üretim Planlama

Üretim Planlama organizasyon içinde oldukça kompleks bir takım karar alma aşamalarını içerir. Planlama prosesinin çeşitli hiyerarşik karar aşamalarına bölüdüğü hiyerarşik planlama bu karmaşıklığı basitleştiren etkili bir yöntemdir.

ÜKP teorik olarak hiyerarşik planlama kavramı içerisinde yer alır. Hiyerarşik planlama üzerine öncü teorik çalışmalar Hax ve Meal tarafından ortaya atılmıştır.

Hiyerarşik Üretim Planlama (HÜP), kapsamlı üretim planlama problemlerini matematiksel modüllerle açıklayan alt problemlere çeviren bir sistemdir. Bununla beraber literatürde belirtilen HÜP'ün üretim problemleri, MİP'in toplam planlama problemlerinden daha kolay gözükmemektedir. Diğer yandan optimizasyon problemleri küçük bir rol oynuyor ve hiyerarşik düzeyler arasındaki bağlantılar ÜKP'de formüle edilmiyordu. Bu iki yaklaşımın sınırlamalarına göre literatürde karma metotlar üretilmiştir (Çelikçapa, 1999).

Bunun yanında hiyerarşik üretim planlama uygulamaları ile ilgili farklı örnekler literatürde bulunmaktadır. Çini endüstrisinde Liberatore ve Miller (1985), atölye işlemlerinde Gelders ve Steelandt (1980), süt tozu üretiminde Ruttner (1993) ve gıda üretiminde Allen ve Schuster (1994) konularında örnek uygulamalar içermektedirler.

2.2.5 Tam Zamanında Üretim

1980 yılları Japonların dünya piyasalarındaki başarıları ile göze çarpmıştır. Japonların bu başarısı onların üretim proseslerine bir ilgi oluşturdu ve tam zamanında üretim (TZÜ) diğer üretim yöntemlerine meydan okumaya başladı.

TZÜ felsefesinin arkasındaki düşünceler şöyle özetlenebilir (Kaya, 1996);

- Stok tutmak maliyetlidir,
- Güvenilir olmayan satış tahminleri nedeniyle mamul stokları satılamaz,
- Stoklar üretim sisteminin verimliliğini azaltır.

Sonuç olarak mümkün olduğu kadar stok tutma sebeplerinden kaçınılacak bir mantık zinciri yeniden organize edilmelidir. TZÜ sistemleri bu amacı yerine getirmek için üç yaklaşım içerir (Kaya, 1996):

- Üretimde TZÜ felsefi yaklaşımı,
- TZÜ üretim sistemini planlamak ve dizayn etmek için teknikler,
- TZÜ sisteminde atölye düzeyi kontrol için teknikler.

TZÜ felsefesi sadece stokların azaltılması değil aynı zamanda üretim sürecinin geliştirilmesidir. TZÜ üretim sisteminin planlaması ve dizaynı için teknikler şunları içerir:

- Hazırlık zamanlarının kısaltılması,
- Malzeme akışının karmaşıklığının azaltılması,
- Talepteki dalgalanmalara cevap verebilmek için kapasite esnekliği,
- Üretim miktarlarındaki değişimlerin azaltılması,
- TZÜ kavramına tedarikçilerin de entegre edilmesi,
- Koruyucu bakım, kalite kontrol vb. için etkili sistemler ile üretim prosesin

güvenirliliğini arttırmak (Kaya, 1996).

TZÜ'nün tipik üretim kontrol sistemi, basitleştirilmiş iş yükü kontrol sistemi olarak adlandırılabilir. Kanban sistemidir. Üretim sistemini basitleştirmek için geliştirilen teknikler değişik durumlarda uygun olsa bile sorgulanan şey, kanbanın tekrarlayan üretimlerden karmaşık olan sistemlere başarı ile uygulanabilir olup olmadığıdır.

2.2.6 Optimize Üretim Teknolojisi

1980'lerde MİP'e meydan okumuş diğer önemli felsefe Optimize Üretim Teknolojisi (OÜT)'dir. Sistem üretim çizelgeleri üretme felsefesini sağlamak için bir sistem temeli ve yayılım paketi ile yapılandırılmış felsefeden oluşur. OÜT, mamul ve malzemelerin akışı kavramı üzerine kurulmuştur ve dolayısıyla üretim sisteminin performansı sistemdeki darboğazlar ile belirlenir (Emanet, 1997).

OÜT'nin planlama felsefesi 9 OÜT kuralı olarak özetlenebilir:

1. Kapasite değil akış dengelenir,
2. Bir aşamanın darboğazsız kullanımı sadece onun potansiyeli ile değil diğer sistem sınırlamaları ile belirlenir,
3. Kullanım ve çalıştırma kavramları eş anlamlı değildir,
4. Bir darboğazda bir saatlik kayıp, tüm sistemde bir saatlik kayıp demektir,
5. Darboğaz olmadan bir saatlik kazanç sadece bir hayaldir,
6. Darboğazlar sistemdeki stoklardan kaynaklanır,
7. Bir seferde transfer edilen yığın büyüklüğü bir seferde işlem gören yığın büyüklüğüne eşit olmamalıdır,
8. İşlem gören yığın büyüklüğü sabit değil, değişken olmalıdır,
9. Çizelgeler, tüm kısıtlar dikkate alınarak eş zamanlı olarak oluşturulmalıdır.
10. Termin tarihleri çizelge sonuçlarına göre belirlenir.

2.2.7 Sonlu Kapasite Çizelgeleme Yaklaşımı

1990'ların başlarında bilgi teknolojisindeki gelişmelerle ortaya çıkan Sonlu Kapasite Çizelgeleme (SKÇ) sistemleri, üretim sisteminin fiziksel ve teknolojik sınırlamalarını dikkate

olarak ve alternatif proses metotlarını hesaba katıp, değerlendiren dolaylı ve uygulanabilir üretim çizelgeleri ortaya koydular .

Çoğu üretim çizelgeleme problemleri gibi SKÇ problemleri tamsayılı lineer programların karışımı olarak modellenebilir veya dinamik programlama, dal-sınır algoritmaları gibi yöneylem teknikleri kullanılarak çözülebilir. Bu tarz yaklaşımlarda tipik bir amaç, operasyonlarda ki teknolojik sınırlamalar ve kaynakların mevcudiyetini gösteren sınırlamalar kümesinin minimize edilmesidir.

Hesaplama karmaşıklığı açısından böyle problemlerde kısıtların birleştirilmesi oldukça zor olmaktadır. Sonuçta optimizasyon tekniklerinden birinin kullanılmasıyla optimum çözümün bulunması çok gelişmiş bilgisayarlarda bile çok uzun sürmektedir. Bu yüzden bir çözüm olarak bu modellerin basitleştirilmiş versiyonlarıyla birleştirilmiş sezgisel algoritmalar yarı optimum fakat yeterince etkili çözümler ortaya koymaktadır.

SKÇ ile elde edilen çizelge hem zamanları hem de kaynaklardaki operasyon sıralamasını içermektedir. Ayrıca bu sistemler kolaylıkla ek siparişler, kapasitedeki varyanslar ve malzemelerin mevcudiyeti gibi seçilmiş faktörlere göre bütün üretim planını sebep-sonuç analizi doğrultusunda test edebilir. Sonuç olarak SKÇ'nin çıktıları üretimde direkt olarak kullanılabilir (Değertekin, 1999).

OÜT için yapılan bazı eleştiriler, SKÇ için de yapılmaktadır. SKÇ'de üretim organizasyonlarının organizasyonel yapısıyla bağlantılı olarak karar seviyeleri hiyerarşisi sağlanamamaktadır. Ayrıca bu sistemler bütün planlama dönemlerinde elde edilemeyen talep bilgileri, detaylı üretim prosesi açıklamaları, kaynakların kapasiteleri ve malzemelerin mevcudiyeti gibi bilgilere ihtiyaç duymaktadır. Sonuç olarak işletmelerde SKÇ uygulamaları ÜKP sisteminin atölye düzeyi kontrol modülü olarak uygulanmakta ve makine yüklemeleri ve operasyon sıralama bilgilerini üretmektedir (Ekşi, 2001).

2.3 Üretim Çizelgeleme

Bu kısımda; işlem zamanları dahilinde, kaynak tahsis etme ile ilgili karar verme prosesi olarak tanımlanabilecek çizelgeleme konusu ele alınmıştır. Çizelgelemenin amacı, belirlenen planlama periyodu içerisinde gerçekleştirilecek işler için kaynakların nasıl kullanılacağına karar verilmesidir.

Bu kısımda ilk olarak çizelgeleme konusunda genel bilgilerin derlenmesi açısından literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra çizelgeleme probleminin tanıtımına ve genel atölye

çizelgeleme yapısına yer verilmiştir. Son olarak da üretim çizelgelemenin diğer işletme fonksiyonlarıyla ilişkisi anlatılmıştır.

2.3.1 Literatür Taraması

Bu bölümde araştırma boyunca yararlanılan çeşitli makale, konferans seminer, broşür, vb. kaynaklardan elde edilen özet-içerik bilgileri, ilgili konularda yapılan çalışmalardan örnekler verebilmek ve bundan sonra yapılacak çalışmalara yön vermek amacıyla aşağıda özetlenmiştir.

Bir dizi araştırmacı, çizelgeleme modülünün kalbi olarak simülasyon esaslı bir çizelge oluşturucu kullanma yoluna gitmişlerdir. Bu kavram, en az on yıl öncesine dayanmaktadır (Riane vd., 2001).

Dinamik atölye çizelgeleme, simülasyon tekniklerini kullanan araçlardan biri olarak Lawrence M. Wein ve Jihang Ou tarafından ortaya konmuştur. Araştırmanın amacı, işlem zamanı dağılımı ile ilgili olarak yapılan varsayımların ve çizelgeleyicinin işlem zamanlarına ilişkin bilgisinin dinamik atölye probleminin sonucuna etkisini tespit etmektir.

Üç ayrı dinamik atölye çizelgeleme problemi, biri deterministik altısı stokastik olmak üzere toplam yedi ayrı senaryoda test edilmiştir. Deterministik senaryo, Conway de dahil olmak üzere çok sayıda araştırmacı tarafından simülasyon çalışmalarında ele alınmıştır. Bu çalışmalarda üstel işlem zamanları kullanılmaktadır ve zamanlar kullanıcı tarafından gözlenebilmektedir. Altı stokastik senaryo ise işlem zamanlarının üstel olduğu ve yalnızca ortalamanın çizelgelemeci tarafından bilindiği durumları kapsamaktadır. Çalışmada iki kural test edilmiştir: En Kısa İşlem Zamanlı İş Önceliği (EKİZÖ) Kuralı ve Brownian analizinden alınan kuyruk modelleri ile ilgili model. Deterministik senaryoda EKİZÖ kuralı iyi sonuç vermesine karşın, Brownian kuralları altı stokastik senaryoda üç problemin tamamı için EKİZÖ'den daha iyi sonuç vermiştir.

Fonksiyonel organizasyon yapılı imalat sistemlerinde merkezi bir denetimcinin yokluğu ve emir-komuta ilişkisinin eksikliği merkezi çizelgelemeye engel olmaktadır. Neil A. Puffie ve Vitlal das V. Prabhu tarafından yapılan çalışmada bu sistemler için tamamen dağıtılmış çizelge yöntemi anlatılmaktadır. Sistem elemanları, birleşik bir çizelgeleme sezgiselini kullanarak sürekli olarak gerçek zamanlı noktasal deneme çizelgeleri oluşturmakta ve uygulama için en iyi çizelgeyi seçmektedir. Deneme çizelgecileri, gerçek sistem yazılımının kopyası olan yazılımı kullanan zaman ölçekli ayrık simülasyonlarla değerlendirilmektedir.

Toplam belirsizlikleri elimine edip, arızaları ve diğer beklenmeyen olayları da göz önüne alarak her simülasyon başlangıcında gerçek atölye durum bilgileri bu sisteme kopyalanmaktadır (Conway, 1991).

Atölye tipi üretim çizelgeleme problemine daha detaylı bir bakış, Lawrence M. Wein ve Philippe B. Chevalier'den gelmiştir. Tanımladıkları atölye tipi üretim çizelgeleme problemi üç dinamik kararı içerir (Kim vd., 2003):

- a- Fabrikaya gelen siparişlere termin verilmesi,
- b- İşlerin atölyeye gönderilmesi,
- c- Atölyedeki her iki iş istasyonunda işlerin sıralanması.

Atölye çok sınıflı kuyruk modeli olarak yapılandırılmıştır ve amacı hem üretim içi stokların azaltılması, hem de geciken işlerin oranına ilişkin üst sınır kısıtı gereğince işlerin teslim zamanına ait imalat ön zamanının (teslim zamanı-siparişin geliş zamanı) azaltılmasıdır. Bu probleme iki adımlı genel bir yaklaşım önerilmektedir:

- (1) İşleri belirlenen zamanlarda tamamlayarak üretim içi stokları minimize edecek şekilde iş serbest bırakmak ve iş sıralamak,
- (2) Adım (1)'deki kurallara bağlı kalarak, iş gecikmesi kısıtı da göz önüne alınarak teslim zamanını minimize edecek terminlerin belirlenmesi.

Yapılan bir simülasyon çalışması iki ayrı iş yükünde, bir atölyede farklı termin belirleme, iş serbest bırakma ve iş sıralama kuralları kombinasyonunda bu yaklaşımın kolaylıkla uygulanabildiği görülmüştür. Bu çalışma sonucunda üç çizelgeleme ilkesi önerilmektedir (Kim vd., 2003):

1. İlke: Ortalama teslim zamanında önemli bir azalma sağlamak için işlerin yapısı, iş serbest bırakma ve iş sıralama kurallarına ilişkin bilgiler atölye geri besleme sisteminden alınabilmelidir.
2. İlke: Darboğaza neden olan istasyonlarda iş yükünün düzenlenmesi, atölyenin çıktı miktarını etkilemeden üretim içi stokları azaltır.
3. İlke: Sistem performansı üzerinde odaklanılarak ve iş sıralama yaparken teslim zamanlarını göz ardı ederek daha iyi teslim zamanı performansı elde edilebilmektedir.

Min Hee Kim ve Yeong-Dae Kim tarafından Esnek Üretim Sistemleri için geliştirilen simülasyon esaslı gerçek zamanlı çizelgeleme metodolojisinde, ayrık olaylar simülasyon

verilerine dayanan bir mekanizma geliştirilmiştir. Bu çizelgelemede mekanizmasının ana bileşenleri, bir simülasyon mekanizması ve gerçek zamanlı kontrol sistemidir. Simülasyon mekanizması, iş serbest bırakma kurallarını değerlendirmekte ve verilen bir kriter için en iyi çözümü veren kuralı seçmektedir. Gerçek zamanlı kontrol sistemi atölyeyi periyodik olarak izler ve sistem performansını kontrol eder. Seçilen kural, gerçekleşen performans değeri ile tahmin edilen değer arasındaki fark belirlenmiş bir limiti aşana kadar kullanılır (Kim, 2003).

Limit aşıldığında, yeni bir kural seçimi için simülasyon mekanizmasında kalan yeni bir simülasyon gerçekleştirilir. Esnek Üretim Sistemleri (EÜS) için, çok çeşitli çizelgeleme ve kontrol metotları önerilmiştir. Yamamoto ve Nof bilgisayar destekli imalat sistemlerinin gerçek zamanlı kontrolü için, bir çizelgeleme/yeniden çizelgeleme metodu önermektedir. Bu yöntemde, çalışma periyodunun başlangıcında bir başlangıç çizelgesi oluşturulmakta ve önemli değişiklikler ortaya çıktıkça revize edilmektedir.

Churc ve Uzsoy, tek makine ve paralel makine modellerinde yeniden çizelgeleme için periyodik ve olay esaslı kuralları incelemiştir. Bu çizelgeleme/yeniden çizelgeleme metotları dinamik çizelgeleme problemini, ilerleyen zaman ekseninde çözülen bir dizi durağan problem olarak ele almaktadır.

Raman, Rachanadugu ve Talbot da bu tip dinamik çizelgeleme problemi için prosedürler incelemiştir. Bunların yanı sıra, Yih ve Thesen gerçek zamanlı çizelgeleme problemini Kısmi-Markov Karar Modelleri olarak formüle etmiştir. Gerçek zamanlı çizelgeleme için yapay zeka tekniklerini kullanan çok sayıda yöntem vardır ki Maimon; Maley, Ruiz-Maley ve Solberg; Sann ve Salgame tarafından gerçekleştirilenler bunlardan birkaçıdır. Maley, Ruiz-Meir ve Solberg bilgisayar destekli üretim sistemlerinin çizelgelenmesi ve kontrolü için bir kapalı-düğüm yapısı tanımlamışlardır.

Sarin ve Salgame ise dinamik çizelgeleme için kullanıcı ara yüzlü, gerçek zamanlı, bilgi tabanlı bir yaklaşımı geliştirmiştir. Maimon üç seviyeli bir kontrol sistemi önermektedir: Çizelgeleme seviyesi, haberleşme seviyesi, ve işlem sırası seviyesi. Shaw ise çizelgelemeyi iki seviyeli karar verme prosesi olarak görmektedir: Uygun hücrelere işlerin atanması hücre içinde çizelgelenmesi, benzer bir iki-seviyeli hiyerarşik yapı Mohd, Jose ve Mulligan tarafından önerilmektedir.

Simülasyon, esnek üretim sistemlerinin tasarımında uygulanması ve işletilmesi için etkili bir yaklaşım olarak görülmektedir. Bunun yanı sıra imalat sistemlerinin gerçek zamanlı çizelgelenmesi için bir karar destek sistemi olarak da kullanılır.

Çok makinalı atölye tipi üretimde işlerin dinamik bir yaklaşımla çizelgelenmesi için, Godwin J. Udo bir simülasyon çalışmasında teslim zamanı atama kurallarını tespit etmeye çalışmıştır. İş yükü bilgileri, atölye performansının değerlendirilmesinde üç ana ölçüye göre ele alınmaktadır; ortalama iş gecikmesi, geciken işlerin yüzdesi ve gecikme varyansı. Bu çalışmada farklı teslim zamanı tespit etme metotları ve sıralama kurallarının kombinasyonları belirli bir kritere göre karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda iş yükü kümülatif dağılım fonksiyonunun kullanılmasından, ya da atölyedeki sıkışıklığı haber veren bilgileri göz ardı etmeden daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür.

1988 yılında Leachman ve Gascon tarafından tanıtılan Dinamik Çevrim Uzunlukları sezgisel yaklaşımı tek makina çok iş üretim sistemleri için etkin bir çizelge oluşturmakla idi. 1994 yılında ise Jose F. Goçalves, Roben C. Leachman, Andre Gascon ve Zhong K. Xiong değişken zamanlı, stokastik talebe sahip n-iş m-makina üretim sistemleri için sezgisel çizelgeleme yöntemi geliştirmişlerdir. Yayımlanan makalelerinde problemin m-makine kısmı için bir sezgisel çizelgeleme yaklaşımı getirilmiştir. İşlerin makinelere atanması ve gelecek dönemin çizelgesinin hazırlanması için Dinamik Çevrim Uzunlukları Sezgiseli kavramlarını lineer olmayan tam sayılı optimizasyon modeli ile birleştirilmişlerdir. Bu kuralın simülasyon çalışmalarında performansı test edilip olumlu bir sonuç alınmıştır (Kim, 2003).

Üretim çizelgeleme probleminin çözümünde kullanılan araçlardan birisi de uzman sistemlerdir. Bugüne kadar geliştirilen uzman sistemlerin çoğu ne sınıflandırılabiliriyordu, ne de gerçek zamanlı kontrole izin veriyordu. Uzman sistem yaklaşımı ile ayırık olaylar simülasyonunu birleştirerek oluşturulan ilk kontrol mekanizması Stu-Yuog David Wu ve Richard A-Wu ve Richard A.Wysk tarafından önerilmiştir. Bu modelde simülasyon, uzman sistem tarafından öne sürülen çeşitli kontrol alternatiflerini değerlendirerek seçim yapmak için kullanılmıştır. Simülasyon sonucu tavsiye edilen tüm alternatifler için, bir performans ölçüsü belirlenebilir. Daha sonra, belirlenen bu ölçüt uyarınca, esnek imalat hücrelerinde gerekli önlemler alınır. Araştırmalar bu yöntemin, iş atama ve öncelik kuralları ile karşılaştırıldığında %2,3 ile %29,3 daha avantajlı olduğunu göstermiştir.

2.3.2 Çizelgeleme Probleminin Tanımlanması

Çizelgeleme, görev zamanları dahilinde, kaynak tahsis etme ile ilgili karar verme prosesidir. Amaç, belirlenen planlama periyodu içerisinde gerçekleştirilecek işler için kaynakların nasıl kullanılacağına karar verilmesidir. Çizelgeleme problemi bir kuyruk problemi olarak da

tanımlanır. Nasıl tanımlanırsa tanımlansın, çizelgeleme hem matematiksel bir problem olarak hem de uygulamadaki sorunları açısından yöneylem araştırmasının en zor alanlarından biridir.

Bazı araştırmacılar tarafından da çizelgeleme, atölyede mevcut işleri yerine getirmek üzere, bunların belli bir zaman süresince imalat kaynaklarına atanması olarak tanımlanmaktadır. Kaynaklar, üretim birimlerindeki makineler, havaalanında hizmet veren çalışanlar, taşımacılık işlemine kullanılan kamyonlar ve sürücüler, yazılım uyarlanması çalışan danışmanlar ve hatta bilgiyi işleyen bilgisayardaki bilgi işlemciler olabilir. Benzer olarak görevler de bir üretim işleminden, projedeki bir duruşa, bir taşımacılık işlemine veya bir bilgisayar programının çalıştırılmasına kadar değişik alanlarda olabilir.

Çizelgeleme üretimden dağıtıma ve lojistiğe kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir. Taşımacılık, inşaat veya yazılım geliştirme projelerinin yönetimi veya eğitim kuruluşlarında ders programlarının hazırlanması gibi uygulamalar özel çizelgeleme uygulamalarıdır.

Çizelgeleme fonksiyonunu üretim planlama ve kontrol sisteminin bir parçası (alt modülü) olarak ele alırsak, çizelgeleme, diğer üretim planlama ve kontrolü sistem elemanlarının modüllerinin çıktılarını girdi olarak kullanan ve kontrol modülüne girdi olacak verileri üreten bir modüldür. Bu modülün en önemli girdisi, atölyede imal edilmesi istenen mamullerin miktar ve zamanlarıdır.

Bu işlemin gerçekleştirilmesi ile atölyeye imal edilecek mamuller için sipariş açılmış olur. Siparişlerin alınmasından sonra, bunların operasyonlarının belirlenen hedefler doğrultusunda imalatlarına ne zaman başlanacağı veya bitirileceği ve hangi sırayla gerçekleştirileceği tespit edilir. Çizelgeleme olarak adlandırılan bu işlemden sonra, siparişler atölyeye serbest bırakılırlar.

Siparişlerin atölyeye serbest bırakılmasından, imal edilerek atölyeyi terk edinceye kadar olan işlemler ise imalat kontrol fonksiyonu tarafından yürütülürler [8].

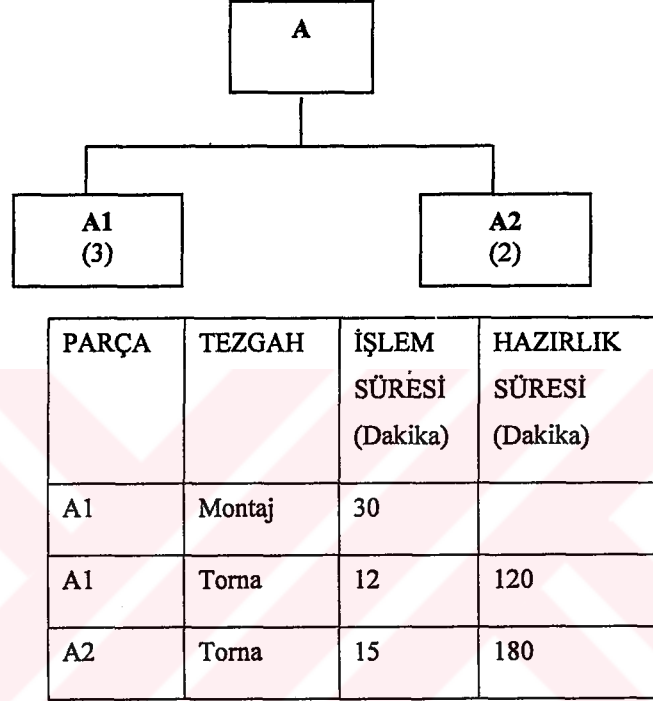
Çizelgeleme problemi, tanımını yapmak ve karşılaşılan güçlükleri ortaya koymak açısından basit bir örnekle açıklamakta yarar vardır. Bir atölyede imal edilen A mamulü, 3 adet A1 parçası ile 2 adet A2 parçasının montajından meydana gelmektedir.

A1 ve A2 parçaları yan sanayiden ham döküm olarak gelmekte ve atölyede torna tezgahında işlenmektedir.

Bu mamulden ayın 20'sinde 100 adet ve ayın 30'nda 50 adet talep edilmektedir. Ay başında olduğumuzu ve A mamulünden elimizde hiç bulunmadığını A1 ve A2 hammaddelerinden ise

yeteri kadar bulundurulduğunu farz edelim. A1 ve A2 parçalarını işleyecek torna sayısı ise bir tanedir.

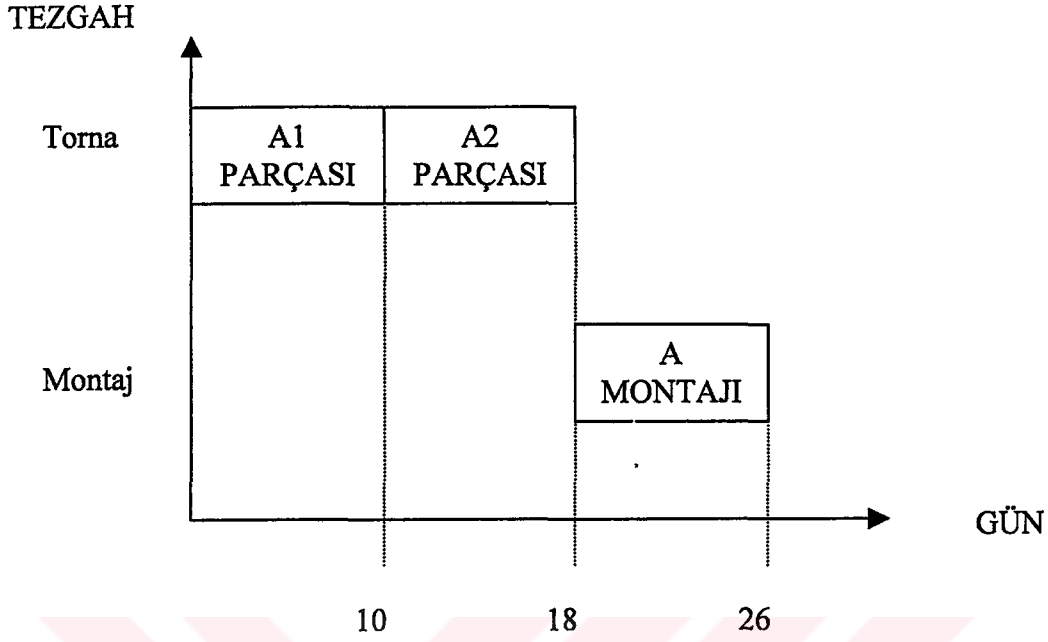
İlk sipariş miktarı olan 100 adet A mamulünü ayın 20'sine kadar üretmek mümkün müdür? Önce A1'i tornada işlersek; $120 + (3 \cdot 100 \cdot 12) = 3720 \text{ dk} = 62 \text{ saat}$. A2 parçasının toplam üretim süresi ise; $180 + (2 \cdot 100 \cdot 15) = 3180 \text{ dk} = 53 \text{ saat}$.



Şekil 2.3 Örnek problem ürün ağacı ve operasyon bilgileri (Ekşi, 2001)

Üretim bu parti büyüklükleri ile yapılırsa ham dökümlerin işlenip montaja hazır hale gelmesi 115 saatte gerçekleşir. Ortalama 6,5 saatlik vardiyalardan ve günde bir vardiya olarak hesaplandığında yaklaşık 18 günlük bir üretim süresi gerekir.

Buna ek olarak bitmiş mamul A'nın montaj süresi hesaplanırsa; $100 \cdot 30 = 3000 \text{ dk} = 50 \text{ saat} = 8 \text{ gün}$ yapar. Görüldüğü gibi toplam olarak 26 gün gerektiren bu işlemleri aybaşı başında başlayıp aynı ayın 20'sine yetiştirme olanağı yoktur. Şekil 2.4'de bu çizelgelemenin Gantt şeması verilmiştir.



Şekil 2.4 Örnek problemin ilk çözümünün Gantt şeması (Ekşi, 2001)

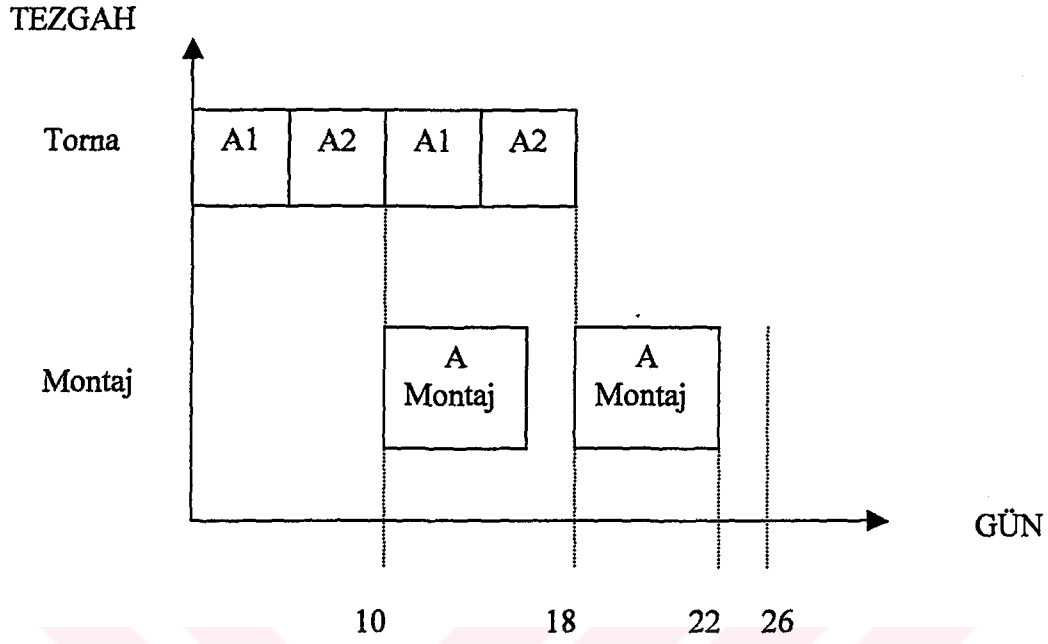
Bu durumda ne gibi tedbirler alınabilir?

- Vardiya sayısını artırma,
- Parti büyüklüklerini bölme.

İlk seçeneğin imkanlar dahilinde olup olmadığı ve getireceği mali yükün incelenmesi gerekir.

İkinci seçenek için, Tornada önce 150 adet A1 üretmek sonra 100 adet A2 üretmek ve bunları sırayla tekrarlamak. Böylece ilk 30 adet A'nın montajına başlamak. Bu durumda toplam üretim süresi yaklaşık olarak 4 gün kısalmır (Şekil 2.5).

İkinci seçenek toplam sürenin 4 gün kılmasına karşılık, torna A1 ve A2 parçalarıyla birer kere daha hazırlandığı için, ilk seçeneğe göre torna tezgahı 5 saatlik daha fazla işgal edilmektedir. Aynı şekilde parti büyüklüklerini yine yarıya indirirsek toplam süre yaklaşık 2 gün daha azalmaktadır. Buna karşılık toplam tezgah hazırlama süresi 15 saate çıkmakta ve montaj dahil her işleme üçer kere başlandığından atölye kontrolü açısından çeşitli güçlükler doğabilmektedir. Gerçek hayatta karşılaşılan problemler bir çok yönden daha karmaşıktır (Ekşi, 2001).



Şekil 2.5 Örnek problemin ikinci çözümünün Gantt şeması (Ekşi, 2001)

2.3.3 Üretim Çizelgelemenin Tanımlanması

Üretim çizelgeleme, planlama periyodunda, müşteri taleplerini gerçekleştirmek için işletme kaynaklarının nasıl kullanılacağına belirlenmesi şeklinde tanımlanabilir.

Kaynaklar, makineler, iş istasyonları, araçlar, operatörler, hammadde, enerji vb. gibidir. Görevler ise müşteri taleplerini karşılamak için yapılması gereken operasyonlardır. Üretimdeki çizelgeleme problemi, teknolojik ve fiziksel kısıtlar altında, operasyonların sıralanması ve zamanlanmasıdır (Moon vd., 2002).

Klasik çizelgeleme teorisinin başarısı çoğu üretim çevrelerinde yetersiz kalmaktadır. Üretim çizelgeleme ve tesisi yükleme işlemi çok az işletmede birinci derecedeki hat yöneticileri tarafından gerçekleştirilmektedir. Çoğu sektörde bu görev vardiya sorumluları, ustabaşılar gibi üretim elemanlarına verilmiştir. Bu kişiler kendi kişisel tecrübeleri ile karar vermektedirler ve bu kararların işletmenin genel performansı üzerindeki etkisi araştırılmamaktadır (Çelikçapa, 1999).

2.3.4 Genel Atölye Çizelgeleme Yapısı

Genel atölye çizelgeleme problemi “m” adet tezgahta (M_1, M_2, M_m) işlenmek üzere “n” tane işin (I_1, I_2, \dots, I_n) atanması ve bir çizelge elde edilmesi şeklinde tanımlanır. Bu yapı Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Bir işin bir tezgahta işlenmesi, “operasyon” olarak adlandırılır ve j. makinada işlenen i. işin operasyonu O_{ij} ile gösterilir. Her bir iş farklı işlem sırasına sahiptir. Buna “iş seyri” veya “rota” denir. Bir parçanın hangi operasyonlardan hangi sırayla geçeceğini gösteren böyle bir kart Çizelge 2.2’de verilmiştir (Mallik, 2000).

Çizelge 2.1 Genel atölye çizelgeleme probleminin yapısı

İşler	Operasyon Sırası
I_1	$M_1 M_2 M_3 \dots M_m$
I_2	$M_m M_3 M_5 \dots M_1$
.	.
.	.
.	.
I_n	$M_5 M_m M_1 \dots M_3$

Her bir operasyon (O_{ij}) için belli bir zamana gerek duyulur ve bu zaman “işlem zamanı olarak adlandırılır. P_{ij} , j. makinada i. iş için işlem zamanını gösterir. Ayrıca, tezgahın operasyona hazırlanması için geçen “hazırlık süresi”, iş parçasının bir tezgahtan diğerine başka bir operasyon için taşınması sırasında geçen “taşınma süresi” ile parçanın bir tezgahta operasyon başlamadan önce tezgah önünde “bekleme süresi”, diğer göz önüne alınması gereken sürelerdir.

W_{ij} , i işi için için j. operasyonundan önceki bekleme süresini gösterir. Hazırlık süreleri üretim planlama ve kontrolü amaçlı çalışmalarda genelde işlem süreleri içerisinde ilave edilirler. Çünkü tezgahın hazırlanmak üzere meşgul edilmesi gerçekleştirilecek olan işlem içindir.

Çizelge 2.2 Operasyon sırası (iş seyri) kartı

Oper. No	Açıklama	Tezgah Cinsi No	Tertibat ve Takım	Haz. Süresi	İşlem Süresi
10	Kesme (883×75×1)	Giyotin 15/008		3,00	0,15
20	Şablona göre	El ile	Nokta, Şablon	0,50	1,65
	Pergelle markalama		Pergel		
30	Markalamaya göre	Elk. El mak, 15/010			2,05
	Elektrikli el makası ile kesme	Abkant 15/013		1,50	1,25
40					

Genel atölye çizelgeleme ortamında görülen diğer terimler ve tanımları ise şöyledir.

Teslim zamanı: I_i işinin teslim edilmesi gereken (söz verilen) zamandır. D_i ile gösterilir.

Hazır olunan zaman: I_i işinin, işlemlerine başlanılabilmesi için elverişli olduğu zamandır. R_i ile gösterilir.

Tahsis süresi: I_i işine, işlemlerinin gerçekleştirilmesi için hazır olunan zaman ile teslim zamanı arasında tahsis edilen süredir. (2.1)'de ifade edildiği gibi A_i ile gösterilir.

$$A_i = D_i - R_i \quad (2.1)$$

Toplam işlem süresi: I_i işinin işlemlerinin sürelerinin toplamıdır. (2.2)'deki gibi P_i ile gösterilir.

$$P_i = \sum_{j=1}^m P_{ij} \quad (2.2)$$

Toplam bekleme süresi: I_i işinin tüm işlemlerinden önceki bekleme sürelerinin toplamıdır. W_i ile gösterilir.

$$W_i = N \sum_{j=1}^m W_{ij} \quad (2.3)$$

Tamamlanma zamanı: I_i işinin son işleminin tamamlandığı zamandır. C_i ile gösterilir.

$$C_i = R_i + W_i + P_i \quad (2.4)$$

Akış zamanı: I_i işinin atölyede toplam bulunduğu süredir. F_i ile gösterilir ve (2.5)'de belirtilmiştir.

$$F_i = C_i - R_i \quad (2.5)$$

Gecikme süresi: I_i işinin bitiş zamanı ile söz verilen teslim zamanı arasındaki farktır. L_i ile gösterilir.

$$L_i = C_i - D_i \quad (2.6)$$

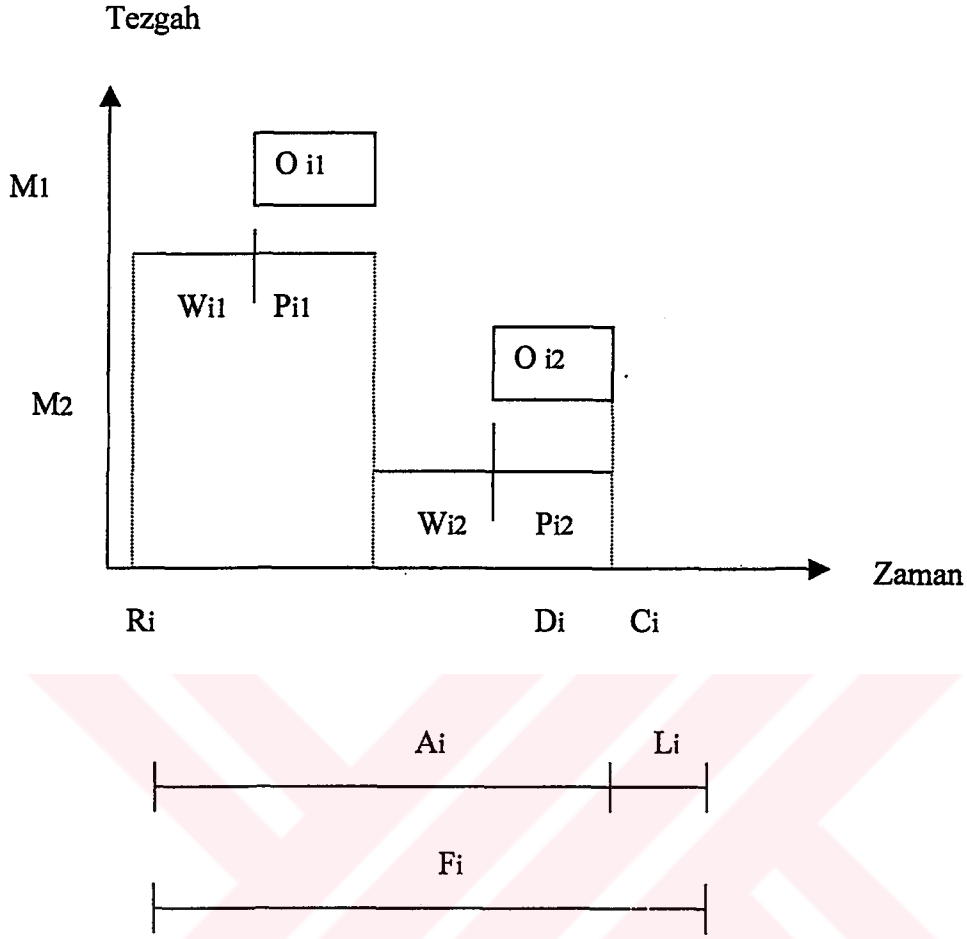
Tehir süresi (pozitif gecikme): I_i işinin gecikmesi artı değer aldığından gecikmeye eşit, eksi ise sıfıra eşittir. T_i ile gösterilir.

$$T_i = \max(L_i, 0) \quad (2.7)$$

Serbest süre: I_i işinin bitirilmesi gereken teslim zamanı ile toplam işlem süresi arasındaki farka eşit olan süredir. S_i ile gösterilir ve (2.8)'de verilmektedir.

$$S_i = D_i - P_i \quad (2.8)$$

İki operasyonlu (M1, M2) bir iş (I_i) için yukarıdaki süre ve zamanların açıklaması bir Gantt diyagramı üzerinde Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 Genel atölye çizelgelemede kullanılan zamanlar (Tolunbike, 2001)

2.3.5 Üretim Çizelgeleme İle İşletme Fonksiyonları Arasındaki Etkileşim

2.3.5.1 Üretim Çizelgeleme İle Üretim Planlama Arasındaki Etkileşim

Bu iki süreç uzun ve kısa dönemli üretim planlanmaya göre verimliliği arttıracak yönde birbirini etkilerler. Çizelgeleme üretim planlama sürecini uygulamaya yaklaştırarak, planların fizibil olup olmadığını kanıtlar. Üretim çizelgeleme işlemi ile operasyonel düzeyde bir uygunsuzluk tespit edildiğinde, planlama işlemi tarafından stratejik düzeyde gereken tedbirler alınır.

Bu nedenden dolayı, gerçekçi ve güvenilir bir üretim planı oluşturabilmek için planlama işleminin çizelgeleme işlemi ile senkronize olması gerekir. Bu yaklaşım müşteri isteklerinin yerine getirilirken, işletmenin stratejik düzeyde hazırladığı planların operasyonel düzeyde uygulanması sırasında, uygulanabilir olmayan bir durumla karşılaşma riskinden korur.

Planlama departmanı üretim çizelgelemede anahtar rolü üstlenmektedir. İşletmede üretim süreçleri ile ilgili detaylı bilgilere planlama bölümü sahiptir ve veri altyapı sisteminin oluşturulmasını ve yönltilmesini sağlayabilir. Bu veriler kaynaklar, ürünler, rotalar ve malzemeler hakkında bilgiler içerir.

Planlama yetkilileri üretimi planlar ve üretim çizelgeleri oluştururlar. Satış görevlileri tarafından sağlanan müşteri talepleri ve stok kontrol görevlileri tarafından sağlanan malzeme ihtiyaç planları, çizelgeleme süreci için girdi oluştururlar.

Planlama yetkilileri üretim çizelgeleme sistemi yardımıyla veya elle, planlama periyodunu belirlerler ve bu periyotla çizelgeler oluştururlar. Alternatif çizelgelerin değerlendirmesi için istatistiki karşılaştırmalar ve değerlendirme kriterleri belirlerler. Bu kriterler ve istatistiklere göre performans değerlendirme kriterleri oluşturulur. Eğer gerekli ise, arzu edilen çizelgelemenin oluşturulması için gelişme yolları araştırılır ve çizelgenin üretime verilip verilmeyeceğine karar verilir.

Planlamacılar, satış görevlileri ile satış planları hakkında görüşürler. Benzer olarak malzeme ihtiyaç planı da gözden geçirilir. Planlama yetkilileri gelişen değişiklikler sonucunda mevcut çizelgenin geçerli olup olmadığına karar verip gerekirse yeniden çizelge oluştururlar.

Aynı zamanda üretim yetkilileri ile görüşülür ve gerçekleşen üretim kontrol edilir. Arıza duruşları gibi aksaklıklar ve gerçekleşen üretim verileri takip edilir. Bu verilere göre gerçekleşen olayların yeniden çizelgeleme gerektirip gerektirmediğine karar verilir.

Planlama bölümü çizelge sonuçlarına göre gerekirse orta ve uzun vadeli üretim planlarını da günceller. Kısa periyotlu çizelgeleme faaliyetlerinin yanında planlamacılar ayrıca simülasyon analizleri ile müşteri siparişlerinin maksimum olduğu durumları stok oluşturma stratejilerini, yeni ürün üretme ya da dış kaynakları kullanma fırsatlarını dikkate alarak gelecekteki üretim planlarını geliştirirler.

Planlama bölümü gerçekleşen çizelge istatistikleri ile üretimin performansını üst yönetime raporlarlar. Bunun yanında simülasyon senaryo sonuçlarını da üst yönetime sunarlar (Ekşi, 2001).

2.3.5.2 Üretim Çizelgeleme İle Satış ve Bütçe Bölümü Arasındaki Etkileşim

Satış yetkilileri, müşteri işlemlerini siparişe dönüştürerek üretim için talep oluştururlar. Satış işlemlerini gerçekleştirirler. Müşterilere üretim termini ile ilgili bilgi verirken, planlama

departmanını da müşteri siparişlerindeki erteleme, iptal etme, önceliklendirme miktar azaltma veya artırma konusunda bilgilendirirler.

Üretim çizelgeleme, satış bölümünün oluşturduğu tahmini veya gerçekleşmiş sipariş bilgilerini ana girdi verisi olarak kabul eder. Planlama işleminin uygulanabilir olup olmadığı kanıtlandığı gibi, termin yöntemine göre oluşturulmuş olan satış planlarının uygulanabilirliğini onaya koyar. Özellikle gecikmeler yaşandığında çizelgeleme sonuçları kullanılarak, yüksek kayıplar doğabilecek durumlarda, termin konusunda daha sağlıklı sözler verilebilir.

Diğer yandan satış planlarındaki gecikme, iptal etme, miktar azaltma, miktar artırma veya önceliklendirme gibi güncellemeler çizelgeyi direkt etkiler ve yeniden çizelgeleme gerekebilir.

2.3.5.3 Üretim Çizelgeleme İle Atölye Düzeyi Kontrolünün Etkileşimi

Atölye düzeyi kontrol işlemleri üretim, hazırlık, taşıma, kalite kontrol gibi fiziksel işlemlerdir. Çizelgeleme sonuçları, atölye işlemlerine sıralama, zamanlama işlem talimatları yoluyla yön verilmesinde ve kontrol edilmesinde kullanılır.

Üretim görevlileri işletmenin kontrolünden sorumludur. Gerçekleşen proses zamanları, hurda oranları, kaynak verimlilikleri ve diğer konularda planlama bölümünü bilgilendirirler. Dahası makine arıza duruşları, malzeme yokluğu gibi beklenmedik durumları planlama bölümünde raporlarlar.

Üretim çizelgeleme ile atölye düzeyi kontrol işlemleri birbirlerini çeşitli aşamalarda etkilerler. Bu etkileşimde, çizelge ile atölyenin gerçek durumunun senkronize olmasına yoğunlaşılır. İlk aşama, herhangi bir çizelgeleme yapmadan önce atölyenin mevcut durumunun onaya çıkarılmasıdır. Üretim, sürekli bir işlem olduğundan, herhangi bir "t" anında işlemlerin bir kısmı tamamlanmış, bir kısmı başlamak üzere fakat bir kısmı da kısmen tamamlanmıştır. Çizelgelemenin bu tip henüz tamamlanma durumunda olan üretim işlemlerini de dikkate alması gerekir.

Üretim çizelgeleme, gerçek üretimin beklendiği şekilde olacağını kabul eder. İşlem zamanları, ortalama makine kullanımı, beklenen hurda, arıza duruşları gibi hesaplamalar bu kabule göre yapılır. Bu parametrelerin hiçbiri gerçek zamanlı üretimdeki değişikliklere duyarlı değildir. Operasyonlar daha uzun sürebilir, kaynak verimlilikleri teorik değerlerden farklı olabilir veya hurda oranının artmasından dolayı planlanan miktardan daha az üretim yapılabilir. Bu

nedenle, çizelgeme ile gerçek üretim bilgilerinin senkronize olması ve uygulama ile ilgili daha doğru gelecek tahminleri üretebilmek için üretim çizelgeleme sık sık güncellenir.

Ayrıca arıza duruşları, operasyon hataları, hammadde eksikliği ya da malzeme kalitesinin düşüklüğü nedeni ile meydana gelen aksamalar sonucunda çizelgeleme sonuçları tutarsızlaşır. Bu nedenle yeniden çizelgeleme yapmak gerekir.

2.3.5.4 Üretim Çizelgeleme ile Satın Alma Bölümünün Etkileşimi

Satın alma bölümü malzeme ihtiyaç planını oluşturur. İhtiyaç planları ile gerçekleştirme durumlarını takip eder, talep edilen miktarlardaki artış yada azalışta, teslim günündeki gecikme ya da erken teslimler konusunda planlama bölümünü bilgilendirir.

Üretim çizelgeleme mevcut kaynaklar ve erişim kısıtları ile malzeme ediniminin gerçekleşmesini sağlar. Öte yandan hammadde planlamada meydana gelen iptal, erteleme, miktar arttırma ya da azaltma gibi değişiklikler çizelgelemenin yeniden yapılmasını gerektirir.

2.3.5.5 Üretim Çizelgeleme ile Ürün Süreç Geliştirme Bölümünün Etkileşimi

Sistem analistleri gerçekleşen çizelge analizlerini ve iş etüdü analizlerini oluştururlar. Kapasite kullanımı ve darboğaz tespiti konularına yoğunlaşırlar. Eğer mümkünse, üretimi dikkate alarak yerleşimin değiştirilmesi ile malzeme akış alternatiflerini ve süreç geliştirmelerini araştırırlar.

Periyodik olarak yapılan çizelgeleme faaliyetleri, sistem analistleri için üretim sistemindeki darboğazları tespit etmek için çok önemli bir kaynak oluşturur. Darboğazların yanı sıra, malzeme akışındaki verimsizlikler simülasyon analizleri ile tespit edilip çözülebilir. Üretim çizelgeleme ile gerçekleşmiş üretim arasındaki farklara ait geçmiş kayıtlar ürün proses geliştirme prosedürlerine üretim verimliliğini attırmak için yön verirler.

2.3.5.6 Üretim Çizelgeleme İle Yönetim Fonksiyonunun Etkileşimi

Planlama bölümünün ve sistem analistlerinin raporları doğrultusunda eğer gerekli ve uygun ise teknolojik yatırımlara karar verirler. Daha önemlisi, simülasyon senaryo sonuçlarına göre satış ve promosyon stratejilerinin oluşturulması aşamasında karar verme prosesinde kilit rol oynarlar (Ekşi, 2001).

3. SONLU KAPASİTE PLANLAMA

Bu bölümde; tüm kaynakların gerçek kapasitelerini, ne zaman sonlandıklarını ve bu kaynakların her bir operasyonda ne şekilde kullanacağına dair tüm detayları göz önüne alan bir süreç olan sonlu kapasite planlama konusu ayrıntılı olarak incelenmektedir.

Sonlu kapasite planlamanın tanımı ve amacına yer verildikten sonra, sonlu kapasite üretim planlama modeli, sonlu kapasite çizelgelemenin tanımı, sonlu ve sonsuz çizelgeleme tekniklerinin karşılaştırılması, sonlu çizelgeleme sistemlerinin işleyişi ile sonlu çizelgeleme algoritmaları ve çözüm yöntemleri anlatılmıştır.

3.1 Sonlu Kapasite Çizelgeleme ve Planlama Kavramları

3.1.1 Sonlu Kapasite Çizelgeleme

Çizelgeleme, operasyonların, belli bir hedef kritere göre (geç kalan iş sayısını minimumda tutmak, hazırlık sayısını minimumda tutmak gibi) kısıtlar göz önünde bulundurularak kaynaklar üzerinde sıralanması ve atanan operasyonların başlangıç ve bitiş zamanlarının belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Kısıtların göz önüne alınması (kaynak kısıtları, malzeme teminindeki aksamalar, düzenli bakımlar, arızalar, vb.), oluşturulan Gantt şemasını daha uyulabilir hale getirir. Sistem kısıtlarını göz önüne alarak yapılan bu işlem ise “sonlu kapasite çizelgeleme (SKÇ)” olarak adlandırılır (Zozom, 1998).

Kaynakların etkin kullanımına bağlı olan yüksek verimlilik, sonlu kapasiteli çizelgelemenin ilgilendiği başlıca konudur.

SKÇ sistemleri geçtiğimiz 10 yıl içinde evrimleşip olgunlaşmışlardır. SKÇ sistemlerinin ortaya çıkışı, sadık kurumsal kaynak planlaması (KKP) kullanıcıları arasında yoğun tartışmalar yapılmasına sebep olmuştur. Ardından aslında iki sistem arasında bir zıtlık olmadığını ortaya koymuşlardır. KKP sistemleri, malzeme ve belli bir seviyeye kadar da planlama problemlerini çözmekte; SKÇ ise sadece çizelgeleme problemleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Buradan da anlaşıldığı üzere SKÇ sistemleri, KKP sistemlerinin ortağı konumundadır. Buradan hareketle günümüzde birçok KKP yazılımcısı firma, farklı stratejiler uygulayarak SKÇ sistemlerini bünyelerine katıp mevcut sistemleri ile entegre ederek pazara girmişlerdir (Parker, 1994).

SKÇ sistemlerinin çizelgeleme problemine bakış açısı kısaca şöyle özetlenebilir:

Veri: Bir grup iş ve sınırlı kaynak grubu.

Aranan: İyi bir çizelge.

Şunu tekrar belirtmek gerekir ki amaç, optimal çözümden farklı olarak iyi bir çözüm bulmaktır. Bunun iki nedeni vardır:

1. Büyük çizelgeleme problemleri makul süreler içinde optimal çözüme sahip olamazlar.
2. Optimize yaklaşımda bir çok kriter vardır ve bunlar kendi içlerinde bile çok farklılaşarak değişik performans öncelikleriyle ilgili çözümler üretmeye çalışırlar.

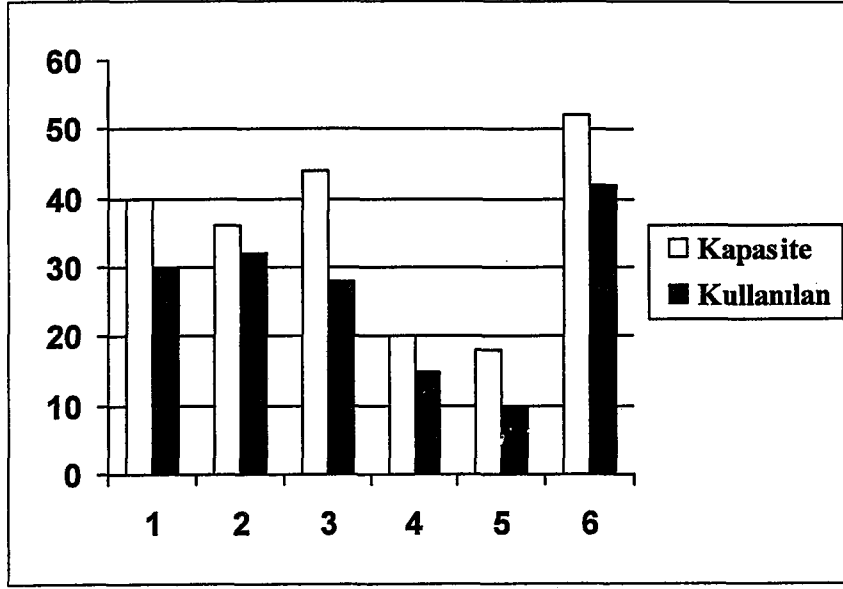
Bu sorunları başarılı bir şekilde çözmeye yönelik önemli üstünlükleri bulunan SKÇ sistemlerinin bir işletmeye kurulabilmesi ve işletilebilmesi ciddi bir disiplin gerektirmektedir.

3.1.2 Sonlu Kapasite Planlama

Sonlu kapasite planlama (SKP), işlerin çizelgelemesinden elde edilen sonuçlara göre üretim işlerinin yaklaşık başlangıç ve bitiş zamanlarının ve kaynakların kapasite yüklerinin belirlenmesi olarak adlandırılır. Orta ve uzun dönem üretim ihtiyaçları da ürünlerden çok ürün grupları bakımından ele alınmalıdır. Sonuç olarak bu aşamada rotaların sonlu kapasite çizelgelemede (SKÇ) gerekli olduğu gibi detaylı olmasına ihtiyaç yoktur (Sen, 2000).

Operasyonların kaynak ve kaynak gruplarının değil, kapasitenin ne kadarını kapsadığının tanımlanması gerekir. Kapasite planlama, sonlu kapasiteyi ayrık zaman grupları olarak kabul eder ve aynı anda hem kaynak hem de kaynak gruplarının kapasite sınırlarını dikkate alır. Bu modülün sonuçları en iyi şekilde Şekil 3.1'de de sunulan, kaynak kapasite kullanım histogramında görülebilir. Ayrıca iş temelli Gantt şeması da bu amaçlar için kullanılabilir.

Orta ve kısa dönem veri detayı şartlarıyla sonlu kapasiteyi uygulamak imkansızlaşmaktadır. Bu yapılmaya çalışılınca da doğru olmayan veya gerekli olmayan keyfi veri detayları oluşturulması gerekmektedir. Bununla birlikte tam bir sonlu kapasite planlama sistemi, mevcut olan detaydaki bilgiyi kullanarak işlem yapacak yeteneğe sahip olmalıdır. Böyle bir yaklaşım sonlu kapasite çizelgeleme ve kapasite planlama gibi birbiriyle sıkı sıkıya entegre iki modülün kapsanmasını önermektedir (Quinn ve Novels, 2001).



Şekil 3.1 Kapasite kullanım histogramı (Quinn ve Novels, 2001)

Sonlu planlama, kaynaklardaki üretim çizelgesinin saptanması olarak tanımlanabilir, ki ancak böylece üretim uygulanabilir ve onu destekleyen fonksiyonlar senkronize çalışabilir. Bu modül, sonlu kapasite çizelgeleme ve kapasite planlama denen iki alt modülden oluşmaktadır. Sonlu kapasite çizelgeleme detaylı çizelgeler oluşturarak atölyedeki üretimi yönlendirir. Kısa dönem malzeme ihtiyaçları da bu alt modülün çıktıları kullanılarak belirlenir. Sonlu kapasite planlama, yaklaşık bilgilerle bu çizelgeyi ve uzun dönem için diğer çizelgeleri hazırlar. Orta ve uzun dönem kapasite planları için karar desteği sağlar ve SKÇ'den daha uzun tedarik süreli malzeme ihtiyaçlarını yapılandırır (Sen, 2000).

Sonuçta, tüm kaynakların gerçek kapasitelerini, ne zaman sonlandıklarını ve bu kaynakların her bir operasyonda ne şekilde kullanacağına dair tüm detayları göz önüne aldığı için bu sürece "Sonlu Kapasite Planlama" adı verilir [2].

Kapasite planlama sonuçları, kullanıcıya orta vadede karşılaşılabileceği muhtemel darboğaz durumlarını göstermede ve böyle durumlar için muhtemel alternatif çözümleri değerlendirmede yardımcı olur.

Kapasite planlama modülü algoritması, gecikmeleri ve çalışılan proses envanterini minimize etmek amacıyla dizayn edilir. Algoritma ilk önce uzun dönem üretim ihtiyaçları için operasyonları geriye doğru yükler ve ikinci kez ileri doğru operasyonları bir daha geri dönülemeyecek şekilde çizelgeler (Nahmias, 1997).

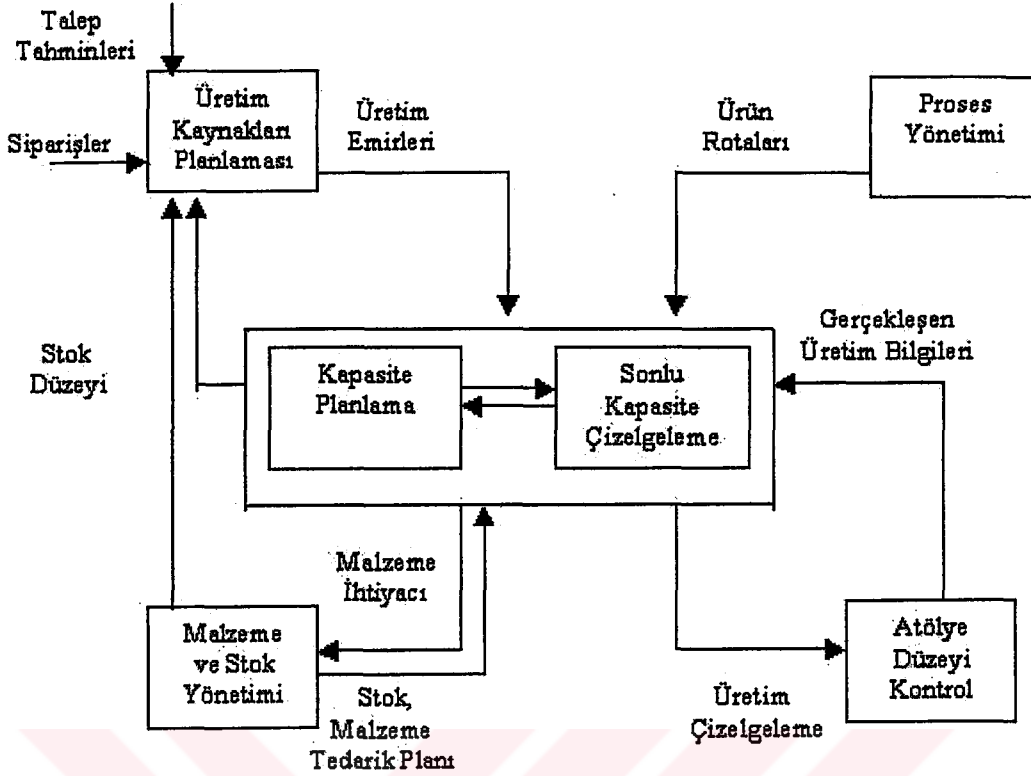
Gerçekleşeni takip edebilmek önemlidir, ama bu bilgiler bu detayda önceden üretilebilseydi, SKP'nin aşağıda belirtilen amaçlarına ulaşılabilirdi (Ekşi, 2001):

- Daha doğru kararlar alınabilirdi,
- Olası sorunlar önceden saptanıp önlem alınabilirdi,
- Bu bilgi, üretimi yönlendirmek için kullanılabilirdi.

3.2 Sonlu Kapasite Üretim Planlama Modeli

Browne'un (1988) belirttiği gibi MİP/ÜKP paradigması, hiyerarşik planlamanın, üretim sistemlerinin karmaşıklığıyla başa çıkmak için oldukça etkili bir yol olduğunu göstermiştir. Bundan başka, “bir bilgisayar ve üretim veri tabanı, çok değişik üretim fonksiyonlarındaki insanların çalışmalarının daha iyi koordine edilebileceğini ve bölümlerin ortak bilgilerinin paylaşılabilirliğini” öğretmiştir. Bu yüzden, şirketlerin diğer fonksiyonlarıyla entegre bir hiyerarşik planlama sistemi, bugünün rekabet piyasalarında üretimi yönetmek için uygun bir çözüm olacaktır.

Tam bir üretim yönetimi sistemi, üretim çizelgeleme ve kapasite planlanmadan daha farklı fonksiyonlara sahiptir. Modülleri arasındaki etkileşimlerin de belirtildiği böyle bir üretim yönetimi sistemi Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2 Sonlu kapasite üretim planlama sistemi (Browne, 1988)

Sistem karar noktalarının hiyerarşisine göre düzenlemiştir. İlk karar noktası kısa ve uzun dönem üretim siparişlerine, müşteri siparişleri, envanter ve şirket politikalarına dayanarak karar verildiği “Üretim Kaynakları Planlaması”dır. İlk aşamada belirlenen üretim siparişleri SKÇ ve kapasite planlamayı içeren ikinci aşamada üretim çizelgeleri haline getirilir. Sonra atölye düzeyi kontrol modülü üretim çizelgelerine göre çalıştırılır ve gerçekleştirilmiş üretim verileri bilgileri elde edilir. Bu sırada malzeme yönetimi modülü, sonlu planlamanın sonuçlarına göre üretim için gerekli malzemenin sağlanması ve elde etme maliyetinin minimize edilmesi gibi kriterleri sağlamak için çalıştırılır. Üretim ve kaynak yönetimi modülü diğer modüllere proses planları ve onarılabilen kaynaklar gibi gerekli bilgileri sağlar.

3.3 Sonlu ve Sonsuz Çizelgeleme Tekniklerinin Karşılaştırılması

Sonsuz kapasite çizelgeleme, (1) sistemdeki diğer işleri, (2) işi tamamlamak için uygun kapasiteyi, ve (3) iş merkezi için önceden planlanmış işleri dikkate almayan bir çizelgeleme sistemidir. Standart taşımayı, kuyruk zamanını ve böylece dolaylı olarak da kapasite kısıtlarını dikkate alır. Bu prosedür, planlanan zamanları kullanan ve sistemdeki atölye ve işler için detaylı bilgileri saklamaktan kaçınmayı sağlayan bir çizelgelemeyi meydana getirir.

Sonlu kapasite çizelgeleme ise şu anlama gelir; (1) bir iş merkezine önceden belirlenmiş miktarı aşmayacak şekilde çizelgelenen iş miktarı, (2) önceden çizelgelenmiş işlemlere göre kapasite uygunluğunun belirlenmesi, ve de (3) yeterli kapasite yoksa hangi işlerin tekrar çizelgelenmesi gerektiğine karar verecek (genelde atama öncelikli) bir mekanizma. Sonlu çizelgelemenin sonucu, genelde gerçek atölye şartlarına dayalı acil operasyonların başlangıç ve bitiş zamanlarını içeren çok detaylı bir çizelgelemedir (Sen, 2000).

Sonlu ve sonsuz çizelgelemeyi ifade eden dört temel çizelgeleme tekniği Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1 Dört temel çizelgeleme tekniğinin karşılaştırılması (Sen, 2000)

Çizelgeleme Tekniği	Başlama Mantığı		Bilgi İhtiyacı					
	İlk operasyondan itibaren	Son operasyondan itibaren	Proses Zamanı	Teslim Tarihi	Operasyon Sırası	Atölye Çzlg. Profili	Sipariş Önceliği	Standart taşıma ve kuyruk zamanı
Geri Sonsuz Çizelgeleme		✓	✓	✓	✓			✓
Geri Sonlu Çizelgeleme		✓	✓	✓	✓	✓	✓	
İleri Sonlu Çizelgeleme	✓		✓		✓	✓	✓	
İleri Sonsuz Çizelgeleme	✓		✓		✓			✓

3.3.1 Geriye Doğru Sonsuz Çizelgeleme

Geriye çizelgeleme, bir işi mümkün olduğunca geç çizelgelemeyi dikkate alır. Teslim zamanı bilinen iş verildiğinde, çizelgeleme mantığı, bu işin son operasyonunun çizelgeleme günü tamamlanmış olması gerektiğini dikkate alır. Daha sonra geriye doğru ilk operasyonun başlama zamanını atar. Eğer bir işin başlama zamanı çoktan geçmişse, çizelgeleme sonucu uygun değildir (Albritton, 1999; Sen, 2000).

Gerçek kapasite uygunluğu, geriye doğru sonsuz çizelgelemede dikkate alınan bir nokta değildir ve bu sebeple daha önce de tartışıldığı gibi kapasite, standart kuyruk zamanları vasıtasıyla dolaylı olarak dikkate alınır. Öncelik kuralları, geriye doğru sonsuz çizelgelemede, işlenmek üzere işleri makinelere atamada kullanılır.

Geriye sonsuz çizelgeleme tahmin edilen işlem zamanlarını, operasyon sıralarını, iş teslim tarihlerini ve standart hareket ve kuyruk zamanlarını kullanır. Daha önce de belirtildiği gibi açıkça kapasite bilgilerini gerektirmez.

3.3.2 Geriye Doğru Sonlu Çizelgeleme

Geriye doğru sonsuz çizelgelemeye benzer olarak geriye sonlu çizelgelemenin mantığı, işin atandığı teslim tarihinden başlayarak, son operasyondan başlayarak çalışır. Bununla beraber, geriye sonsuz çizelgelemeden farklı olarak, her operasyonu gerekli makineye uygun kapasitelerle atamaya çalışır. Eğer yeterli kapasite yoksa, bütün operasyonlar fizibil olarak atanana kadar zaman içinde bir üst kademede ilerler. Daha az önemli olan işler, daha önemli işler için yer açar. Bazen gerilimi azaltmak için çizelge az miktardaki acil zaman periyotları için durdurulabilir.

Geriye doğru sonlu çizelgeleme kullanmanın sonucu, acil operasyonların başlangıç ve bitiş zamanlarının yer aldığı gerçek atölye koşullarına dayanan detaylı bir çizelgelemedir.

3.3.3 İleriye Doğru Sonlu Çizelgeleme

APICS sözlüğü ileriye doğru sonlu çizelgelemeyi “ilk periyottan son periyoda doğru kapasite sınırlarını dikkate alarak bir çizelgeleme meydana getiren bir teknik” olarak tarif eder. Vollman ve diğerleri (1997), ileriye çizelgelemeyi kapasite uygun olduğu sürece yükleme yapan bir yaklaşım olarak tanımlar. Daha az önemli olan işler, daha önemli işler için yer açar.

İleriye doğru sonlu çizelgeleme ile bir iş, ilk operasyondan başlayarak zaman içinde ilerleyerek çizelgelenir, böylece müşterilere ulaştırma tarihleri bildirilebilir. Bu müşterilere teslim tarihini iletme yaklaşımı Optimize Üretim Teknolojilerinde (OÜT) kullanılır, ki bu teknoloji de ileri doğru sonlu çizelgelemeyi darboğaz oluşturan iş merkezini çizelgelemede ve diğer iş merkezlerini darboğaz oluşturanın yanında çizelgelemeye yönelik olarak çalışır.

İleriye doğru sonlu çizelgeleme, geriye doğru sonlu çizelgelemeye göre daha az bilgiyi kullanır. İşlem zamanı bilgisini, operasyon sıralarını, sipariş önceliklerini ve iş merkezlerinin yükleme bilgilerini kullanır.

3.3.4 İleriye Doğru Sonsuz Çizelgeleme

İleriye doğru sonsuz çizelgeleme, bu terimler arasında en az bilgi gereksinimine ihtiyaç duyanıdır. İşlerin işlem zamanı bilgisini, operasyon sıralarını, standart hareket ve kuyruk zamanlarını kullanır.

Çizelgeleme operasyonu ilk operasyondan başlayarak, gerçek kapasite uygunluğunu dikkate alarak zaman içinde ilerler. Öncelik kuralları, bekleyen işler havuzuna işleri sevk etmede kullanılır (Sen, 2000).

3.4 Sonlu Çizelgeleme Sistemlerinin İşleyişi

Sonlu çizelgeleme, kısaca, gerçek kaynak kapasitelerine dayalı bir çizelge oluşturmayı amaçlar. Malzeme ihtiyaç planlaması (MİP) tabanlı sistemlerin temel referans noktası malzemedir. Bundan farklı olarak sonlu çizelgeleme sistemleri konuya üretim kaynakları açısından yaklaşır.

Sonlu çizelgeleyici sistemlerin girdileri önceki kısımda bahsedilen kapasite ihtiyaç planlama sistemlerinin girdilerinden farklı değildir. Sistemler girdi olarak planlı ve açık iş emirlerini alır ve bunları teslim zamanları ve öncelikler bazında sıralamaya tabii tutarlar. Sıralanmış bu siparişleri çeşitli kuralları, çeşitli algoritmaları uygulayarak çizelgelerler. Bu kurallardan bazıları şunlardır (Liu, 1998):

- İleri çizelgeleme (mümkün olan en erken zamana),
- Geri çizelgeleme (mümkün olan en geç zamana),
- Darboğaz çizelgeleme (Darboğaz kaynak için ileri çizelgeleme, ardından önceki operasyonlar için geri çizelgeleme ve sonraki operasyonlar için ileri çizelgeleme).

Bu çizelgeleme yapılırken algoritmalar birçok faktörü göz önüne almak zorundadırlar.

- Sistemdeki mevcut iş yükleri,
- İşleri birleştirerek hazırlık sürelerini azaltma,
- İşleri bölerek iş akışını hızlandırma,
- Kalıp ve takımlar, kritik malzemeler gibi ikincil kısıt kaynakları göz önüne alma.

3.4.1 Sonlu Çizelgelemenin Düzeyleri

Sonlu çizelgeleme araçları özellikle bilgi işlem teknolojisinin gelişmesi ve maliyetlerin düşmesi ile yaygınlaşma imkanı bulmuştur. Bu araçlar, çizelgeledikleri faaliyetlerin genişliğine göre üç sınıfa ayrılabilir (Ekşi, 2001):

- Tek iş merkezi,
- Bir fabrikadaki çoklu iş merkezleri,
- Tedarik zinciri bazında çoklu fabrikalar.

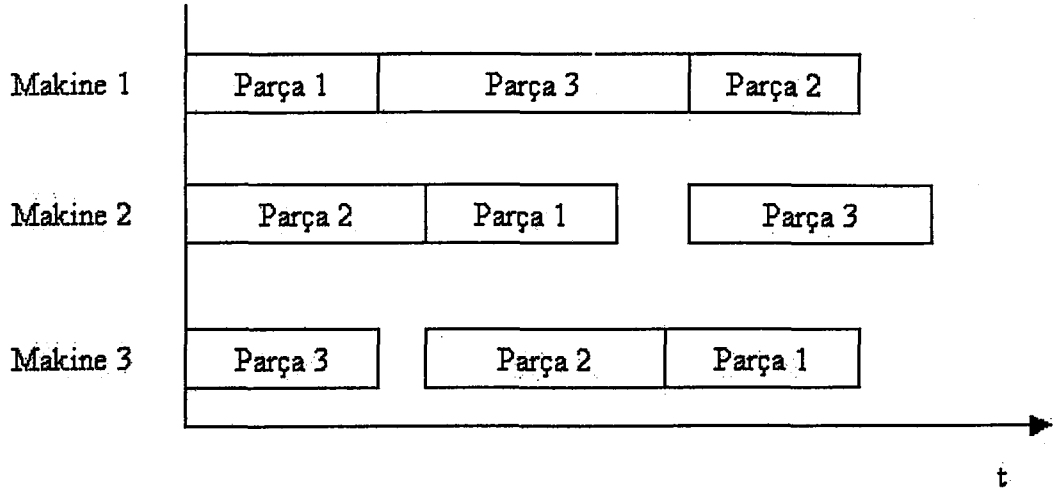
SKÇ, ürünleri üretmek için gerekli olan operasyonların başlangıç ve bitiş zamanlarını belirleme işlemidir. Detaylı ve esnek üretim çizelgeleri üretim sisteminin fiziksel ve teknolojik kısıtlarını hesaba katılarak oluşturulur.

Kırk beş üretim işletmesinde bilgisayar destekli çizelgeleme yaklaşımının uygulanması ile ilgili olarak yapılan araştırmada, aşağıdaki dört konunun azaltılmasının amaçlandığı belirtilmiştir. Bunlar (Durmuşoğlu, 1995):

1. Termin sapmalarının minimize edilmesi,
2. Erişim zamanlarının minimize edilmesi,
3. Toplam hazırlık ve maliyetlerin minimize edilmesi,
4. Ara stokların minimize edilmesi,
5. Makine kullanımının maksimize edilmesidir.

Bir operasyon için alternatif üretim metotları, kullanılan çizelgeleme algoritması kriterlerine göre değerlendirilir ve seçilir. Çizelgeleme, kaynaklardaki operasyonların sıralanması ve bunların gerçekleştirilmesi için kaynakların tüketimini içerir. Bu modülün çıktısı en iyi Gantt şeması ile ortaya konulabilir, ki örnek bir Gantt şeması Şekil 3.3'de verilmektedir.

SKÇ sistemleri kolaylıkla siparişler, kapasitedeki varyanslar ve malzemenin mevcudiyeti gibi seçilmiş faktörlere göre üretim planını sebep-sonuç analizi doğrultusunda test edebilir. Bununla birlikte, bu sistemler kısa dönem talepleri, üretim proseslerinin detaylı açıklaması, kaynakların kapasitesi ve kaynakların mevcudiyeti gibi konularda tam ve kesin bilgiye ihtiyaç duymaktadır (Weintraub vd., 1997).



Şekil 3.3 Gantt şeması (Ekşi, 2001)

Kapasite planlama modülünde, sonlu kapasite çizelgeleme doğru ve kesin verilerin mevcut olduğu kısa dönem üretim çizelgeleri için kullanılmaktadır. Girdi verilerdeki kesinlik sonucunda SKÇ'den elde edilen çizelgeler, atölyede üretimin uygulanması için yeterince detaylıdır.

Çizelgeleme yaklaşımı detaylı, gerçekçi, senkronize ve amaç merkezli optimizasyonu sağlamalıdır. Çizelge tüm üretim kaynaklarını kapsamlı ve ayrıntılı olarak zaman bazlı operasyonları tanımlamalıdır. Değişiklikler karşısında esnek olmalı ve maliyet azaltımı konusunda gözle görünür faydalar sağlamalıdır (Allen ve Schuster, 1994).

Hesaplama karmaşıklığı açısından bakıldığında; bu problemler pek çok alt bileşenden oluşur ve orta ölçekli bir problemin bile çözümünde, optimizasyon teknikleriyle en gelişmiş bilgisayarlar kullanıldığında dahi, optimal sonucu elde etmek çok fazla zaman alır. Çare, anlatılmış olan modellerin basitleştirilmiş uyarlamalarını ve buluşsal algoritmalar kullanarak, optimal altı, ancak tatmin edici ölçüde etkin sonuçlar elde edebilmektedir. Son dönemlerde kabul edilebilir çözümler üretebilmek üzere yapay zeka, yerel arama teknikleri, genetik algoritmalar, kısıt programlama ve OÜT'ye dayalı çözüm teknikleri geliştirilmiştir.

Ancak araştırma sonuçları göstermektedir ki, bu tip buluşsal prosedürlerin başarısı çizelgeleme problemine göre değişmektedir ve belirli bir problemle ilgili performansı önceden tahmin etmek neredeyse imkansızdır. Bu nedenle, çizelgeleme sisteminin üretim sisteminin geniş bir aralığında uygulanabilir olması için, çizelgeleme sisteminin bünyesinde farklı çözüm teknikleri barındırması ve özelleştirilmiş algoritmaları desteklemesi gerekmektedir (Değertekin, 1999).

3.4.2 Sonlu Kapasite Çizelgelemede Veri Gereksinimi

Toplu olarak bakıldığında, çizelgeleme için aşağıdaki veri gruplarına ihtiyaç duyulur (Tolunbike, 2001):

- Zaman birimleri,
- Yenilenebilir ve tüketilen kaynak atamaları,
- Vardiya çeşitleri ve kaynak atamaları,
- Ürünler ve ürün ağaçları,
- Rotalar ve operasyon alternatifleri,
- Siparişler.

3.4.3 Sonlu Kapasite Çizelgeleme Kriterleri

Çizelgeler hazırlanırken ve sonuçları analiz edilirken aşağıdaki kriterlerden biri yada birkaçı aynı zamanda kullanılabilir (Ünal, 1999):

- Termin zamanı bağımlı kriterler
 - Toplam geç kalma süresi
 - Toplam geç kalan iş adedi
- Ara stok ve bekleme süresi bağımlı kriterler
 - Toplam akış süresi
 - En geç bitiş zamanı
- JIT kriterleri
 - Ağırlıklı geç kalma ve erken bitme kriteri
- Çok parametrelili kriterler
 - Toplam iş akış süresi ve toplam geç kalma süresi
 - Toplam hazırlık süresi, toplam bekleme süresi ve toplam geç kalma süresi

3.5 Sonlu Kapasite Çizelgeleme Probleminin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

Yöneylem araştırması yöntemini kullanan birçok akademik araştırmacı, yıllar boyu çizelgeleme problemi hakkında çalıştılar. Teorik olarak çizelgeleme problemleri bir makine, paralel makineler, akış tipi, atölye tipi gibi kategorilerde hem deterministik hem de stokastik

olarak modellendiler. Her kategorinin kendi varsayımları, kuralları, kısıtları ve optimum koşulları bulunmaktadır. Basit bir üretim çerçevesinde bile pazarın talebine uyum sağlamak ve tesisi etkin bir biçimde bu talebe uygun olarak yönlendirmek sorun olmaktadır. Üretim yöneticileri ve yöneylem araştırmacıları 1950'li yıllardan beri bu konuda çalışmalar yapmaktadırlar (Çelikçapa, 1999).

Gerçek uygulamalarda (örneğin büyük ölçekli üretim endüstrilerinde) ise karmaşık ve melez yapılar mevcuttur. Teorik modellerle gerçek uygulamalar arasındaki en belirgin farklardan biri, çizelgelemenin statik bir yapı değil sürekli bir proses olmasıdır.

Yeniden çizelgeleme, pratikte çizelgelemenin temel kavramlarından biridir. Beklenmedik olaylar veya eklenen yeni süreçler, mevcut çizelgelere küçük veya büyük modifikasyonlar getirebilir. Yeniden çizelgeleme sıfırdan yeni bir çizelge hazırlayarak değil, mevcut çizelgelemenin üzerine gelişen değişikliklerin yansıtılması ile oluşturulur.

Üretim çizelgelemede birçok endüstride yaygın olan kaynaklar, kapasite, vardiya, arıza sebebiyle duruşlar, hazırlık, hurda, rota, malzeme gibi kavramlar yer alır. Sıkça karşılaşılan kısıtlar arasında kaynak kullanım oranı, termin, hazırlık süresine dayanan sıralama, diğer sıralama kuralları, operasyon bölümlene öncelik kısıtları, makine uygunluk kısıtları sayılabilir. Çizelgeleme problemlerinin birçoğu, işgücünün vardiyalar ve fazla mesailer içinde tahsis edilmesi ile ilişkilidir. İş yükünün fazla ve temrinlerin sıkışık olduğu zamanlarda, sevk tarihlerine uyabilmek için fazla mesai ve ekstra mesailer konulabilir.

Bununla birlikte bu tür kavramların farklı endüstrilerdeki uygulamaları birbirlerinden farklılık gösterir. Örneğin çelik üretimindeki teknolojik kısıtlar sıhhi tesisat üretiminden çok farklılık gösterir ya da çimento üretimi çini üretimine göre çok daha özel ve fazla sayıda prosese sahiptir.

Değişik endüstrilerde, endüstrinin sahip olduğu belirli öncelik ve ağırlıklandırmaya göre çeşitli hedefler tespit edilir. Bu hedeflere hazırlık tekrarının minimizasyonu, kaynak kullanımının maksimizasyonu ya da termin gecikmelerinin minimizasyonu örnek olarak gösterilebilir. Bu hedefler zaman içerisinde birbirleri ile çatışabilir, öncelikler değişebilir. Bu değişiklikler üretimin mevcut durumuna bağlıdır.

Bu nedenden dolayı, üretim çizelgeleme prosesinin kuralları genel olarak her alanda kullanıldığı gibi, her üretim prosesinin özel amaçlı yapıları da bulunmaktadır. Modelleme ve çözüm aşamasında bu özel gereksinimler dikkate alınır.

Süreç olarak zaman dikkate alındığında çizelgeleme aşağıdaki proseslerde kullanılır (Ünal 1999):

Kısa Vade;

- Departman bazında tezgah yüklemeye (detaylı sıralama kapasite analizi),
- Seçme temelli ana hat sıralamasında,
- Kısa tedarik süreli malzeme alım planlamasında,
- Ara stok planlamasında,
- Tek yerleşkede departmanlar arası senkronizasyonda,
- Termin bazlı lot miktarı belirleme ve ürün stok planlamasında.

Orta Vade;

- İş gücü planlamasında,
- Malzeme tedarik planlamasında (uzun tedarik süreli),
- Tedarik zinciri ara stok planlamasında,
- Tedarikçi iş yüklemesinde,
- Finansal planlamada.

3.5.1 Sonlu Kapasite Çizelgeleme Problemine Simülasyon Yaklaşımı

Bugünün iş ortamında üreticiler düşük envanterle çalışan, çabuk tepki veren, geniş bir ürün çeşitliliği meydana getiren sistemlere gerek duymaktadırlar. Bir çok şirket fiziksel kapasite sınırlarına eriştiğinden sonlu kapasite çizelgeleme gittikçe daha önemli bir konu haline gelmektedir (Weintraub vd., 1997).

21. yüzyılda artık üreticiler çevikliği sağlamayı hedeflemektedirler. Çeviklik; çabuk değişen, kırılğan yapıdaki global pazarlar için bireyselleşebilmek, müşterinin değerlerine dayalı üretim ve hizmetlerle getiri sağlayabilmektir.

Çevikliği sağlamak üzere çıkılan yolculukta, geleneksel üreticiler birçok değişiklikler yapmak zorundadırlar. Birçok firma bu konuya odaklanırken, özellikle üretim içi stokları azaltma konusunda cesaretlenmişlerdir. Üretim içi stokları azaltmayı başarmak için alternatif üretim sistemlerine başvurulmuştur. Çeşitli alanlarda, standart itme/çekme üretim sistemlerinde, düzinelerce çalışan birçok küçük, çapraz çalışan takımları halinde yeniden organize edilmişlerdir. Bu dönüşüm esnasında elle desteklenen sistemler ise çok eksik kalmaktadır.

Hızlı yanıt verme sistemi gereksinimi içersindeki sistemlerde, üretim hatlarını daima yeniden düzenleme ihtiyacı duyan mühendislere gelen, çok sayıda ürün çeşitliliğindeki araçlar vardır. Kalem ve kağıt metotları veya basit bilgisayar tablo oluşturma programları dinamik, takım tabanlı sistemlerin dizaynında yetersizdir. Esnek proses simülasyon modelleri yeni takım üretim sistemlerinin hızlı bir şekilde dizaynı için kullanılmaktadır (Tardif ve Earman, 1997).

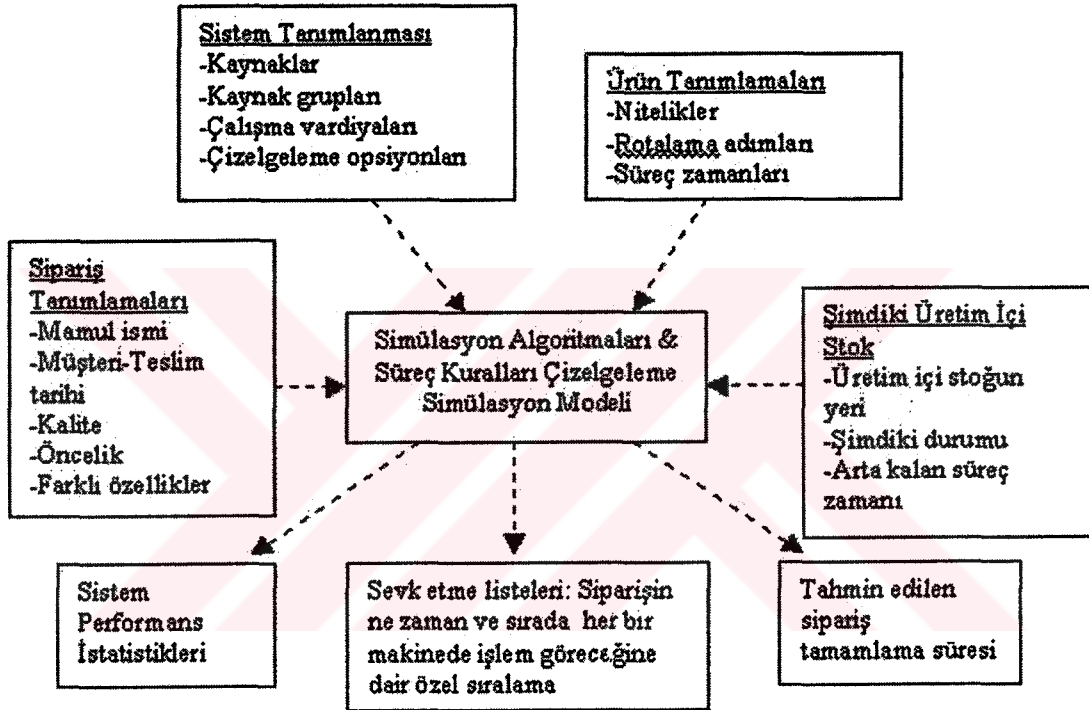
Doğal olarak, güvenli stok miktarı azaltılırken ve genişletilmiş ürün karışımını elde etmek için yapılan değişikliklerin sayısı azalırken, iyileştirme için çabaların odak noktası fabrika seviyesinde çizelgeleme konusuna kaymıştır.

Birçok pek faydası olmayan ve kısmen kişiselleştirilebilen çizelgeleme yazılım paketleri pazarda bulunmaktadır. O halde mühendisler neden kendi simülasyon tabanlı uygulamalarını yaratmaya çalışılmalıdır? Çeşitli “sonlu kapasite” paketleri incelendikten sonra, birçok sektörde, birtakım problemler görülmüştür. Ciddi olan problem pahalı araçların, etkin üretim çizelgelemede kritik olan bazı önemli sistem konularını çözmede yeterli olmadığıdır. Çizelge 3.2’de görülen konulardan dolayı, üreticiler kendi simülasyon tabanlı çizelgeleyicilerini inşa etmeye karar verebilmektedirler.

Çizelge 3.2 Simülasyon tabanlı çizelgelemenin faydaları (Mazziotti ve Horne, 1997)

Farklı, çok seviyeli yönetimin her kaynak için sağlanması.
Kanban sistemlerinde üretim içi stokların sınırlarının idaresi.
Birbirine bağlı süreçleri içeren sistemlerin çizelgeleme kurallarıyla ele alınması.
Çoğu MİP uygulamaları ve uzaktan çizelgeleme paketlerinde daha düşük maliyetli çözümler.
FORTRAN, C veya C++ programlama dillerine göre daha hızlı inşa etme.
Dosya transferinde eski sistemlerle çalışabilme.
“Eğer ise” analizlerine olduğu gibi, günlük özel çizelgelemeye izin verme.
Dönüşümü içeren veya ilerleme tabanlı modeller.
Bilgisayarda çalışma ve tekrar çalışmayı kısa sürede sağlama.

Standart simülasyon uygulaması tam olarak analizler için kullanılır ve model yapısındaki sistem, ürünler, rotalamalar hakkındaki bütün bilgileri içerir. Özel bir simülasyon tabanlı çizelgeleme örneği Şekil 3.4’de sunulmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, girdi verilerinin içeriğidir: Bir sistem tanımlaması, bir ürün tanımlaması, gerçek müşteri siparişlerinin bir listesi ve üretim içi stoğun güncel statüsü; ki bunlar harici dosyalarda yer almıştır. Gerçek simülasyon modeli, verileri değişkenlerden okur, çizelgeleme kuralının mantığını içerir ve Şekil 3.4’de alttaki kutularda gösterilen çıktıları içerir.



Şekil 3.4 Simülasyon tabanlı bir çizelgeleme modelinin yapısı (Mazziotti ve Horne, 1997)

Bilgileri tablolarla programları veya veritabanları gibi harici dosyalarda saklayarak, çizelgeleme senaryosunu modelin gerçek mantığını zedelemeyen kullanıcı için daha kolaydır ve kısa sürer (Mazziotti ve Horne, 1997). “Kullanıcılar”, genelde simülasyon uzmanı olmayan ve bilgisayar konusunda deneyimli olmayan çizelgeleme personelinden olabileceğinden (Rosenwinkel ve Rogers, 1993), bu yapı çizelgeleme aracı için bir koruyuculuk sağlar ve kullanıcıların simülasyon dilini öğrenme zorunluluğunu ortadan kaldırdığından potansiyel kullanıcı sayısı artırılır.

Aşağıda, SKÇ için simülasyon çözümlerini gerçekleştirmeye yönelik olarak kullanılacak birtakım veriler açıklanmaktadır.

Sistem Tanımlanması

Sonlu çizelgelemenin yaklaşımı, basit olarak bir sistemdeki sınırlı kaynakları ve bunların uygunluğunu tanımlayarak bu sınırlar içerisinde üretimin programlanmasını yapmaktır. Bütün süreç simülasyon modelleme projeleri aynı adımla başlar, ki bu, fiziksel sistemin detaylandırmasının uygun bir seviyeden tam olarak tasviridir. Klasik “kaynak”, simülasyon çizelgelemede en önemli noktayı oluştururken, muhtemelen sistemin tanımlandığı dosya, örneğin kaynak grupları veya özel kaynak kategorilendirme ve yapabilirlikler gibi, daha fazla detay içerecektir. Bu tip bilgi daha kompleks kaynak tahsisatını sağlayan planlamanın yapılmasını ve sipariş seçme prosesini kolaylaştıracaktır.

a) Kaynaklar ve Kaynak Grupları

Bir çizelgeleme modelinde, sistem elemanları çizelgelenirken kaynaklara bakılır. Kaynaklar makineler, insanlar, araçlar ve belki de malzeme işleme ekipmanları olabilir. Ürünler süreç içerisinde ilerlerken, yol boyunca hangi kaynakların tanımlanması gerektiği şu sorularla bulunur: Mamuller üretimleri esnasında özel kaynaklar için önceden belirlenmiş bir rota boyunca mı ilerliyor? Ürün, uygun operasyonu sağlayacak herhangi bir kaynağa yönlendirilebilir mi? Bazı siparişler için, üst üste bindirilen ekipman kapasitelerinin veya ürün sınırlamalarının izlenmek zorunda olması şeklinde özel gereksinimler var mı?

Eğer ürünler, rotaları boyunca uygulanan operasyonlarda bir özel kaynak gerektiriyorsa ve belirlenmiş rotadan sapma kesinlikle yoksa, kaynaklar açıkça belirlenebilir. Bu, çizelgeleme mantığının temeli olmakla beraber, birçok sistemin çizelgeleme gereksinimlerini karşılamakta yetersizdir. Genel olarak mamulün bir operasyonunu yapmak için hangi kaynağın seçileceği belirlenmelidir.

Eğer ürünler verilen bir operasyon için eşit yapabilirlikte kaynaklar arasından seçilebiliyorsa kaynaklar, “kaynak grupları” altında birleştirilebilir. Bir kaynak sadece bir gruba atanabilir veya eğer değişik yetenekler değişik ürünlerden daha önemliyse birden fazla gruba da atanabilir. Örneğin, ürünlerin farklı ihtiyaçları gerektiren bir operasyondan geçtiği bir durumda, çok yönlü kaynak grupları bu operasyon için atanabilir. Kaynaklar A, B ve C birbiriyle değişerek ürün 1’e ait operasyon 1’i gerçekleştirmek için; kaynaklar A, D, ve E de aynı operasyon için ürün 15’i oluştururken kullanılabilir. Kaynakları bu şekilde gruplamak, ürün gereksinimleri ve kaynak kapasitelerinin kolayca parçalara ayrılabilirdiği zaman fizibil bir çözüm olacaktır (Akkan, 1997).

Eğer incelenen sistem; ürünleri, geniş limitleri ve şartları olan kaynakları içermekteyse yeterli kaynak gruplarının idaresi çok zor veya tayin edilmesi zor olabilir. Bir alternatif yaklaşım ise, kaynak kapasitelerin saptanmasında ürün gereksinimlerini, sayılan bütün mümkün kaynak gruplarının yerine eşleştirmek olabilir.

b) Kaynak Uygunluğu

Sistem tanımlama dosyası, kaynakların uygunluğunu mutlaka içermelidir, ki böylece çizelgelemesi yapılan üretim, vardiya dışı veya planlanmış çalışılmayan saatlere (koruyucu bakım gibi) denk gelmesin. İhtiyaç duyulan bilgi büyüklüğünü tanımlamak için bu saatlerle kaynakların uygun olduğu saatler arasındaki farklara dikkat edilmelidir. Eğer bütün fabrika alanında bir tek çizelgeleme izleniyorsa sadece bir tanım yeterlidir. Eğer her kaynak fonksiyonu farklı bir zaman tablosundaysa her biri için bir takvim (uygunluk şablonu) kullanmak gerekli olabilir. Sık sık sadece bir takvim tanımlamak ve uygun takvime referans olan her kaynak için bir parametre atamak yeterli olabilir.

c) Ayarlar ve Değişiklikler

Standart süreç sürekliliklerine ek olarak, ayar ve değişiklikler sonlu çizelgeleme için önemlidir ve uygun yapıda tanımlanmalıdır. Eğer ayar zamanları sadece kaynağa özelse (aynı gecikme, özel bir kaynakta işlenmiş herhangi bir süreç için de kullanılabilir), zamanı her kaynak veya kaynak grubu için tanımlamak yeterli olacaktır. Bununla beraber, eğer ayar zamanları kaynak ve ürün için özelse, bir "...üründen ...ürüne" matris her bir kaynak için inşa edilmelidir. Bu yapı, fonksiyonel olarak modelin ardışık bağımlı değişikliklere gereksinim duymasını sağlar, ki bu değişiklikler tekstil ve gıda üretim endüstrilerinde boyama proseslerinde yaygındır. Örneğin, boyama kaplarının temizlenme zamanı renk ilerlemesine bağlıdır; eğer gelecek ürün daha koyu bir renkte işlenecekse, sadece küçük bir ayar gerçekleşir, bununla beraber gelecek renk bir öncekinden daha açıksa temizleme zamanı daha uzundur ve büyük bir ayarı gerektirir (Akkan, 1997).

Ürün Tanımlanması

İkinci giren veri dosyası olan "Ürün Tanımlanması", ürünü benzersiz yapan veya sıralama kararlarında kullanılacak bütün uygulanabilir bilgiyi içermelidir. Bu bilgi ürünün rotalama adımlarını, her operasyon için standart işlemeyi ve operasyonel parti büyüklükleri ile nakletme parti büyüklüklerini içermelidir. Referans dosya, verilen siparişlere ait her bir ürün hakkındaki bilgileri içermelidir.

a) Rotalama

Ürün rotalarının simülasyon çizelgeleme süreci boyunca düzgün olarak sıralanması mutlaka belirtilmelidir. Rotalama, iş yada operasyonların ürünün tamamlanmasını sağlayacak ardışık adımlarını tanımlamalıdır. Her adımla beraber, rotalama, hangi kaynağın (kaynakların) işi tamamlamak için gerekli olduğunu tanımlanmalıdır. Bu da şu şekillerde belirtilebilir: 1) Bir ürünün her operasyon için ihtiyaç duyduğu gerçek kaynağı tanımlamak, 2) seçilen herhangi bir kaynaktan kaynak grubunu tanımlamak, veya 3) her operasyon için gerekli süreç gereksinimlerini listelemek. Belirtilen kaynaklarla ilgili bu yol, ürün süreç gereksinimlerine ve kaynak yeteneklerinin kompleksliğine bağlıdır. Seçenek (3), gerçek rotanın önceden belirlenmediğini anlatır; fakat simülasyon modeli mantığı, bir siparişin sistem boyunca ilerlemesinde kullanılan özel kaynakları saptar. Böyle bir tip, karar tabanlı ve esnek rotalama simülasyon modellerini içerebilir fakat sezgisel araçlarla kullanılamaz (Pinedo, 1995).

b) Süreç Zamanı

Her bir mamulün operasyonunun süreç zamanının, ne kadar zamandan (birim, parti karşılaştırılması) sağlanacağı gösterilmelidir. Eğer operasyon bir birimin işlemiyse, zaman paylaşımı sipariş yada kısmın her bir birimine uygulanmalıdır. Eğer operasyon bir partinin işlemiyse, zaman bir bütün halinde uygulanmalıdır, sağlanan miktara bakmaksızın sipariş büyüklüğü uygun büyüklüğü verir. Alternatif olarak ekipmanın hızını belirtmek daha uygun olabilir. Bu da modele, siparişin niteliklerine göre (büyüklük) gerçek gecikmeyi hesaplama olanağı verir.

c) Operasyon Parti Zamanı

Parti büyüklükleri kesinti olmadan işlenmiş veya aynı zamanda operasyon uygulanan ürünlerin birimlerinin sayılarıyla ilgilidir. Parti büyüklükleri bir operasyon için birimlerin maksimum ve minimum sayıları açısından ifade edilebilir. Mantık, eğer bir siparişteki ünitelerin miktarı minimum miktardan aşağıda veya maksimum miktardan yukarıdaysa uygulanacak kararı içermelidir. Bu durumda sipariş miktarı minimum miktardan aşağıdaysa, ürünlerin minimum miktar sağlanana dek siparişlerin gruplanması yerine getirilmelidir. Sipariş sayısı maksimumdan yüksekse, gerekli alt parti sayısı belirlenmelidir ve bu orijinal siparişe göre bölünmelidir. Bu bilgi eğer parti operasyonları üretim sürecinde varsa, işlem zamanını doğru olarak uygulamada gereklidir (Akkan, 1997).

d) Parti Büyüklüğünü Taşıma

Parti büyüklüğünü taşıma, ürünün bir sonraki operasyon için nakledilmesi gereken o anki operasyonca tamamlanmış, olması gereken birim miktarını belirtir. Eğer ürün bütün operasyon boyunca aynı partide nakledildiyse, parti büyüklüğü her ürün için bir kez belirtilebilir. Bununla beraber miktar her operasyon için farklıdır, bu durumda rota boyunca her operasyon için miktar belirtilmelidir. Bu bilgi, ürünlerin bir grubunun gelecek rotalama adımı için uygun olacağı durumlarda gereklidir.

Müşteri Siparişleri ve Üretim İçi Stoklar

Simülasyon, geleneksel olarak planlama ve faaliyetlerin dizaynında kullanılır ve sistemin günlük operasyonları ve uygulama için daha az tatmin edicidir. Doğal olarak, modellemenin standart tekniği gündeme gelir ve ilk sistem durumları günlük çizelgeleme aracı geliştirmede geçerli bir yaklaşım değildir. Simülasyon tabanlı sonlu çizelgelemede önemli bir bakış açısı da, bunun gerçek talebi (müşteri talepleri) kullanması gerektiğidir ve üretim içi stoklar hakkındaki bilgilerdir. Varış/talep bilgisi istatistiksel dağılımlardan gelen tahminler değildir. MİP sistemlerini veya aktif müşteri sipariş dosyasını sağlamada, satış sipariş süreç sistemlerinin ara yüzleri hazırlanabilir. Müşteri siparişlerinin genel olarak içerdiği önemli veri elemanları: Ürün tanımı, sipariş tanımı, müşteri, ürün parti numarası, miktar, teslim tarihi ve önceliktir. Bu bilgi, simülasyonda, sıralama mantığında parametreler olarak kullanılır. Eğer sistemin sipariş karakteristiklerine dayalı çok sayıda kısıtı varsa, her siparişin niteliği olarak bu karakteristikleri okumak önemlidir (Mallik, 2000).

Standart simülasyon yaklaşımı ilk şartlarla sistemi çalıştırma ile “boş” durumuyla uğraşır ve ısınma periyoduna hazır duruma erişine kadar izin verir. Bu hazır durum şartları günlük çizelgeleme ve planlama operasyonlarıyla ilgili değildir. Tersine, sistemin özel bir zamandaki gerçek durumuyla ilgilenir. Sistemin bu geçici durumu, üretim içi stok dosyasını okuyarak tanımlanır ki bu dosya her siparişin geçici durumunu ve o anki operasyondan arta kalan işlem zamanını tanımlar. Model, sistemin gerçek şimdiki durumunu içermelidir; çünkü her sıralama kararı şimdiki üretim içi stok durumuna ve kaynak uygunluğuna bağlıdır. Üretim içi stok bilgileri toplanabilir ve veriler çizelgeleyicinin çalıştırılmasından önce elle girilebilir veya tercihen modelce okunacak dosyaya bilgileri indirebilen bir üretim içi stok sistemini kullanabilir.

Diğer Veriler

Sistemi doğru olarak çizelgelemek için, diğer bazı faktörlere de ihtiyaç duyulabilmektedir. Aşağıda bahsedilmekte olan iki örnek, simülasyon tabanlı çizelgeleme için dikkate alınması gereken diğer konulardan ikisini içerir.

a) Süreç İçi Stokların Limitleri

Maksimum ve minimum süreç içi stok limitlerini belirlemek isteğe bağlıdır ve ancak çizelgelemeyi meydana getirmede süreç içi stok miktarının kontrolü yapılacak ise gereklidir. Bu limitler, birimlerin sayısı veya sürece girmeyi bekleyen işin değerine göre belirlenebilir. Süreç içi stok miktarını belirlemek, süreç içi stokları düzenlemek ve raflamak, fiziksel alan sorunu olduğunda önemlidir. Yönetim bakış açısından envanteri sağlamak için finansal yatırımı minimum seviyede tutmak önemlidir. Süreç içi stok limitleri normalde sistem tanımlama dosyasını her kaynak için veya kaynak grubu için içermelidir, ürün rotalarının tanımlarını da ancak ürün ve operasyon özelse içermelidir (Mazziotti ve Horne, 1997).

b) Envanter Seviyeleri

Biten mallar ve işlenmemiş envanter seviyeleri çizelgeleme sürecinde dikkate alınmıyorsa, belirtilmelidir. Bu bilgi, eğer, bir ürün ihtiyacı bir siparişin tamamlanması için ve de mamulün üretimi için malzemelerin gereksinimi varsa çok sık olarak kullanılır. Bir çok yerde bu fonksiyonlar MİP sistemlerince gerçekleştirilir. Bununla beraber, eğer bilgiler uygun ve MİP sistemleri yoksa, simülasyon çizelgeleyici bu planı gerçekleştirebilir. MİP sistemlerinin yokluğunda, bu taslaklar yerine getirilmeli ve sık sık elle yapılmalıdır. Çizelgelemenin simülasyonla yapılması, elle çalıştırılan ön işleme, gruplama ve siparişleri serbest bırakma işlemlerini otomatikleştirir. Bu bilgi ürüne özeldir ve ürün tanımlama dosyasını içermelidir veya sadece o anki envanter seviyelerini içeren özel bir dosyada saklanabilir.

Modelleme Konusu

Simülasyon bir çizelgeleme aracı olarak kullanıldığından, siparişleri kaynaklara atayacak karar verme mantığını belirlemek gerekir. Modeli mümkün olduğunca esnek olarak geliştirmek gerekir, ki böylece çizelgeleyici sistem öncelikleri değiştiğinde de kullanılabilir (Weintraub vd., 1997).

Sıralama kararlarının en temel elemanı kuyruğun önceliklerini belirleme kurallıdır. Bu öncelik planları, özel bir kaynak için siparişleri sınıflandırır. Kuyruk öncelik kuralları, tipik olarak sipariş ve ürün niteliklerine benzer (ürün tanımlanması, müşteri tanımına, sipariş tarihi,

öncelik veya proses zamanı gibi). Çizelgeleme seçenekleri, potansiyel sipariş grubu arasından bir sonraki sipariş prosesinin nasıl seçileceğine dair daha gelişmiş bir metottur. Çizelgelenecek potansiyel siparişleri ayıran çok kriterli bir temelin üstüne çok seviyeli karar kurallarının dizaynı mümkündür. En erken teslim tarihli bir siparişi seçmek de mümkündür ve bu, son işlenen ürün ile aynı aracı kullanan sipariş olmalıdır ki böylece hazırlık zamanından kaçınılır. Diğer çizelgeleme seçeneği, gelecek süreç akışının ihtiyaçlarına göre çizelgeleme yapılmasıdır. Örnek olarak; dikiş ürünleri endüstrisinde prosesin ilerlemesi boyunca dikiş merkezlerinde en düşük süreç içi envanter seviyesini sağlayacak tabanlı bir sistemde gelecek sipariş seçilebilir. Amaç bir kesme kaynağı için gerekli olan seviyede talebin işlenmesini ayarlarken, makine boş kalmasını önleyen, ancak süreç içi envanter seviyesini minimum yapan yapıyı sağlamaktır. Diğer seçme sürecinde anlatılacak ilk, ikinci ve üçüncü seçenek sipariş karakteristikleridir. Bu da karşılaştırılmamış kuyruğu ilk tercih, ikinci tercih şeklinde eşleştirme bulununcaya kadar araştırmayı gerektirir (Mazziotti ve Horne, 1997).

Süreç için siparişin seçiminde aynı kriteri sağlayan birden fazla siparişe karşı karşıya gelmek çok yaygındır. Burada bağlantı çözücü mekanizmalar önemlidir. Birçok arama mekanizmalarında arama koşullarını tatmin edecek simülasyon dili ilk madde olarak seçilir. Bağlantı çözücü mekanizmayı bir simülasyondan diğerine değiştirerek çok yönlü çizelgelemeyi (çözümleri) oluşturmak bazı senaryolar için mümkündür (Rosenwinkel ve Rogers, 1993).

Özet olarak, sonlu çizelgeleme oluşumunda bir simülasyon modelinin inşasıyla, sistemin her özelleşmiş alanı için tek olan en önemli kuralların ve çizelgeleme opsiyonlarının tarifi mümkündür. Sipariş sıralama kararları, şimdiki sistem koşullarını dikkate alabilir ve bütün askıdaki siparişlerle karşılaştırılabilir. Çünkü bütün siparişler eşzamanlı olarak takip edilmektedir.

Çizelgeleme Modelinin Uygulanması

Günlük üretim çizelgelerinin oluşturulması, ürün planında, istisnaların iadesi, uzun dönemli planlama ve analiz için bir araç niteliği taşımaktadır. Simülasyon tabanlı çizelgelemenin bu ek yararı, sezgisel modellerde yoktur.

a) Kısa Dönemli Sıralama

Günlük çizelgelemede bir simülasyon uygulaması deterministik bir usulde genelde gerçek müşteri siparişlerini, standart işlem zamanlarını, süreç içi envanter verilerine dayalı şimdiki sistem durumlarını ve kaynak uygunluğunu sağlamalıdır. Çizelgeleme simülatörünün amacı,

her kaynak için çizelgenecek müşteri siparişlerinin gerçek sıralamasına sistemi kısıtlarını dikkate alarak karar vermektir. Çizelgeleme sürecinde modele çeşitli faktörler eklenebilir, fakat ilave edilenler, potansiyel kaynaktaki bozulmaları içermemelidir. Tahmin edilemeyen olayları içermek ve olay gerçekleşene kadar onların sonuçlarını günlük çizelgelemeye empoze etmek gerçekçi değildir.

b) İstisnai Çizelgeleme

Normal planlama süreci, gelecek gün yada hafta için bir çizelgeleme oluşturmak mümkündür. Simülasyon, istenen herhangi bir zamanda ana makinedeki bozulmalar veya parça kıtlıkları gibi aksaklıklar halinde tekrar çalıştırılabilir (Harmonosky, 1995). Bu yolla, model istisna durumlar tabanlı tekrar çizelgeleme için kullanılabilir, ki bu önceden tahmin edilemez olaylar ortaya çıktığında şu sorulara hitap eder: Bir sipariş yeni durumdan dolayı daha geç gidebilir mi? Müşteriyle yeni bir teslim tarihi için görüşülmeli midir? Çizelgelemeye fazla mesai mi eklenmeli veya alternatif kaynaklar mı kullanılmalı? Bu soruları çabuk ve doğru cevaplamak için bir simülasyon tabanlı çizelgeleyici gerekli geri beslemeyi sağlayabilir mi?

c) Uzun Dönemli Planlama

Bir çizelgeleme simülatörü, eğer özel sipariş verisini harici dosyalardan özel verilerin okunmasını veya istatistiksel dağılımları kullanarak model içersinde talebin oluşturulması seçeneğini sağlıyorsa, değerli bir uzun dönemli planlama aracı da olabilir. Çizelgeleyici, uzun dönemli planlama için stokastik usulleri sağlamalıdır. Deterministik usulde açıkça dahil edilemeyen rassal olaylar, modele girebilir ve rassal olarak değiştirilen proses zamanları kullanılabilir. Simülatör sistemin sağlamlığını; talep değişimi için, uzun dönemli satış tahminleri ve ürün karması için, sistem kapasitesi tasarlanan gelecek talebe yeterliyse tayin etmek ve simülasyon çalışmalarında, istisnai çizelgelemede belirlenen soruların analizlerini gerçekleştirmek üzere test edebilir.

3.5.2 Gelir Tabanlı Kapasite Yönetiminde Sonlu Kapasite Çizelgeleme Problemi

Sonlu kapasite çizelgeleme, gelir tabanlı kapasite çizelgelemenin kritik bir ögesi olarak kabul edilebilir. Bu durumda üretimi planlamanın bir yolu, kapasitenin parçalarını müşteri siparişleri geldiğinde rezerve etmek, yani gerçek zamanlı bir planlama yapmaktır. Böyle bir planlama metoduyla zaman çizelgesindeki parçaları oluşturmak amacıyla bu siparişler için yapılacak işlerin çizelgenmesi, kullanılabilir kapasiteyi etkilemektedir. Siparişlerin mevcut çizelgelemenin içine eklenememesi durumunda reddedileceği farz edilerek, siparişleri

reddetmenin şimdiki değerini ve erken bitirme durumunda envanter tutmanın maliyetini minimize edecek bir sistem oluşturulmaya çalışılabilmektedir (Akkan, 1997).

Gelir tabanlı kapasite yönetiminde şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, müşteri isteklerini karşılamak için kaynakların atanması ve böylece gelir ve yararların optimize edilmesine yönelik çabalar görülmektedir.

Gelir tabanlı yönetimin bazı elemanları şunlardır (Akkan, 1997):

1. Gelir üretim potansiyelini optimize etmek,
2. Pazar talebini anlayarak ve tahmin ederek bütün kaynak kapasitelerini etkin olarak atamak,
3. Yararları optimize etmek için talep ve kapasiteyi doğru bir şekilde birleştirmek,
4. Operasyonel karar vermeyi ve günlük kapasite planlamayı sağlamak.

Bu özellikler, sonlu kapasite planlamayı ve çizelgelemeyi gelir tabanlı kapasite idaresinde kritik hale getiren elemanlardır. Kesin kaynak sınırlarının olduğunu kabul etmek ile bir firmanın bütün siparişleri kabul edemeyeceğini ve eğer firmanın bütün yararlarını bozmadan o mamulü zamanında üretilmeyecekse, bazılarını reddetmesi gerektiğini anlaşılır. Bu yaklaşım MİP tabanlı sistemler ile zıttır; çünkü MİP tabanlı sistemler bütün talepleri kabul eder ve işlemleri minimum maliyet ve gecikmeyle gerçekleştirmeye çalışır.

Geleneksel MİP tabanlı sistemlerdeki memnuniyetsizlik, uygulanabilir teslim tarihlerinin verilememesi ve teslimat için yeniden çizelgelemeye imkan veren biçimlerin olmamasıdır. Bu, genel olarak bu sistemlerin kullandığı hiyerarşik böl ve kazan metodu nedeniyle (Mallik, 2000).

Müşteri siparişlerinin reddine izin veren bir sistem, teslim zamanlarının belirlenmesini kolaylaştırmalıdır. Bu da pazarlama departmanına konuyla ilgili üretim kaynaklarına ve diğer verilere anında ulaşmayı sağlayacak bir veri tabanını gerektirir. Söz verildiği tarihte teslim için yeniden çizelgeleme gerekli olduğu için, atölye ortamından gerçek verilerin toplanması da etkin olarak yapılmalıdır.

Malzeme yöneticisinin iki fonksiyonu vardır: İlk olarak, sipariş girişindeki problemleri önler; parti büyüklüklerini ayarlama ve stokların yeniden doldurulmasını gerçekleştirir. İkinci olarak, sipariş girişi ve çizelgeleyici arasında bir mesaj kontrol merkezi görevi görür.

Çizelgeleyiciye siparişlerin çizelgelenmesi için "P" partinin, "N" adet ünitesi, tamamlanma zamanı "D"de bitirilip bitirilemeyeceği sorulduğunda, çizelgeleyici, bu sipariş sırasını mevcut

çizelgeye aktarmak zorundadır. Eğer giriş başarılıysa meydana gelen iş sırasına ait çizelgeleme kabul edilir, aksi halde alternatif bir teslim zamanı oluşturma veya siparişi reddetme durumuna gidilir. Burada dikkat edilmesi gereken, çizelgelemenin sürekli bir zaman içerisinde yapıldığıdır; bu da MİP tabanlı sistemlerden farkını ortaya koyar. Bu nedenle SKÇ'de dönem teslim zamanı terimi, teslim günü teriminden daha çok kullanılabilir (Akkan, 1997).

İş sıraları bir çizelgelemeye eklendiği zaman üretim planı çok detaylı bir şekilde dönüşür. Böylesi bir sonlu çizelgeleme ve planlama sistemin lojistik ve diğer sipariş teslim tarihleri sistemiyle entegre edilebilir ve sonsuz yükleme prensibiyle çalışan, geri planına bir sonlu çizelgeleyici eklenmiş bir MİP tabanlı sistemden daha kısa teslim tarihleri elde edebilir.

Bu kısımdaki problem, gelecek kapasiteyi parçalar halinde rezerve ederek toplam geri çevrilen işlerden kaybı ve erken bitirme zamanından doğacak kayıpları azaltmayı amaçlayan bir sistem içinde incelenmelidir. Satış kaybindan elde edilen zarar, siparişi erken bitirmeden dolayı oluşan satış kaybindan daha fazla olduğundan; amaç geliri maksimize etmektir, ki bu da geri çevrilen siparişi azaltmakla olur.

Siparişle çalışan bir sistem düşünülürse; bu sistem, teslim zamanları ve o an için planlanan çizelgelemeye göre çalışılmaktadır. Başka bir ifadeyle, gerçek zamanlı olarak bir aralığa, (diğer operasyonlar için rezerve edilmiş zamanlar arasındaki boş ve uygun zaman bölümü) Gantt şemasında siparişin teslim zamanından önce olacak şekilde işlem bitiş zamanı eklenir. Bu, iş sırası için kapasite rezervasyonu konusunda gereklidir. Birçok sonlu çizelgeleme aracı, mevcut iş sıralarına ait çizelgelemeyi bu işlem boyunca değiştirmez, çünkü bu bir domino etkisine neden olur (bir operasyona ait ufak bir yanlış, bütün sistemde yeniden çizelgeleme gereksinimini doğurabilir).

Eğer yeni bir siparişin iş sırası, çizelgede veya uygun kapasitede bazı değişiklikler yapmadan çözülemiyorsa, şu sorular incelenmelidir (Sen, 2000):

1. Herhangi bir sipariş (gecikmeye neden olacak veya olmayacak şekilde) bu iş sırasına uydurmak için ertelenebilir mi?
2. Bu iş sırasının reddi gerekebilir mi?
3. Şimdiki çizelge ve yeniden çizelgeleme sonucu meydana gelen arasından iyi olanın seçiminin nasıl yapabiliriz? Örneğin birçok operasyonu daha erken olacak şekilde kaydırmak ve kısa dönemde daha yararlı bir periyot elde ederek uzun dönemde bir siparişi sisteme alabilmek iyi olur mu?

4. Sınırlı yeniden çizelgelemeyle siparişi zamanında tamamlamak yerine, fazla mesai kararı verilebilir mi?

Bu önemli soruların sayısı, bir sipariş sisteme alınmadığında daha da artacaktır. Bir sipariş sisteme alınmadığı durumda yeniden çizelgeleme imkanı varsa da, bu bir takım sorunları da beraberinde getirecektir. İlk olarak, mevcut sistemin ana değişimini belirlemek zor olacaktır. İkinci olarak, olası bir domino etkisine karşın, yeniden çizelgelemeye olayını birkaç operasyonla sınırlı tutmak zor olacaktır. Bu nedenle yeniden çizelgelemeye ihtiyaç duymayacak metotlar bulmak gerekir. Yeniden çizelgelemeden mümkün olduğunca kaçınmak tercih edilmelidir çünkü bu, gerçek zamanlı olarak bir siparişin sisteme aktarılmasında hesaplanacak gereksinimleri yükseltecektir.

Eğer sisteme alınamayan siparişlerin reddedileceğini farz edersek, performansın gerçek ölçüsü, reddedilecek siparişlerin etkisini minimize etmeyle ölçülebilir. Başka bir deyişle; siparişlere ait iş sıralarının yeniden çizelgeleme yapmadan, daha fazla işi kabul ederek, daha çok getiri elde edecek şekilde nasıl oluşturulacağını saptanması gerekir.

Sonlu çizelgeleyicilerin en genel olanı geri ve ileriye doğru olandır. Geriye doğru çizelgelemede operasyonlar verilen teslim zamanına göre en geç olacak şekilde çizelgenir. İleriye doğru çizelgelemede ise siparişe ait işlemlerin atanması en kısa zamanı verecek şekilde yapılır. Geriye doğru çizelgeleme, Gantt şeması üzerinde daha fazla parçalanmış zamana yol açar. Bu da toplamda kapasite yeterli olacaksa bile, büyük ve orta büyüklükteki işlerin reddi anlamına gelir. İleriye doğru çizelgeleme ise, öte yandan, daha fazla envanter taşıma maliyetlerine neden olur; çünkü siparişler teslim zamanından çok daha önce tamamlanır (Kirchmier, 1998).

Bu nedenle amaç, istenen işi erken tamamlamadan dolayı oluşacak envanter tutma maliyetini minimize etmek ve iş reddinden doycak zararları minimize etmektir ve bu ikincisi sistemde daha önemlidir.

Örnek

Tüm bunlar gözönüne alınarak bir örnek vermek gerekirse, gelir tabanlı kapasite yönetiminde sonlu kapasite çizelgeleme problemine yönelik olarak kabul edilen bir modelleme varsayımı aşağıdaki gibi olabilmektedir.

Örnek modelleme varsayımları (Akkan, 1997):

Varsayım 1. Sadece bir iş merkezi vardır.

Varsayım 2. Her iş emri bir gereksinim duyulan teslim zamanı ve en erken atama zamanıyla

gelir. En erken atama zamanı siparişin geldiği günden bir sonraki gündür (Varsayım 6'ya bakınız).

Varsayım 3. Eğer reddedilen zamanlarla karşılaşılacak istenmiyorsa, teslim zamanları önemli kısıtlardır.

Varsayım 4. Bir operasyonu önceden bitirmeye izin verilemez.

Varsayım 5. Parti büyüklükleri sipariş büyüklüğüyle aynıdır.

Varsayım 6. Zaman hattı süreklidir ve yakın ve uzun zamanlı planlama dilimlerine ayrılmıştır. Yakın zamanlıda (genelde “şimdiki zamandan”, gün sonuna kadardır) herhangi bir girişe izin verilmez. Böyle bir girişe izin verilmeyen sistemin amacı, atölye ortamındaki gerilimi minimize etmektir. Burada yakın zamanın içinde şimdiki gün olduğu varsayılır.

Varsayım 7. Zaman hattı çevrim içi ve çevrim dışı bölümlere sahiptir. Örneğin; eğer fabrika tek bir yük taşıyıcıyla çalışıyorsa, her iş günü 8 saatlik çevrim içi bölüm ve bunu izleyen 16 saatlik çevrim dışı bölümden oluşacaktır.

Varsayım 8. Eğer bir sipariş teslim zamanından önce tamamlanırsa, müşteriye önceden gönderilmez ve teslimat tamamlandığı zaman geliri meydana getirilir.

Varsayım 9. Talep süreci sabit ve karardır. Mevsimsellik yoktur.

Sürekli bir zaman çizelgesi ve detaylı bir çizelgeleme, planlama özellikleri için yapıldığından, ücretleri sadece fazla mesai olarak hesaplayamayız. Zamanın parasal değeri bir tanedir ve ayrıca çizelgelemeye ait özelliklerin bir kesin zaman değeri vardır (Conway, 1991). Çizelgelemenin şimdiki zamanına yakın olan kısmı daha önemlidir.

Örneğin bir siparişin reddi 1000 \$ değerindeyse ve bu sipariş 4. günde geliyorsa ve 8. gün de teslim günüyse; 200. günde gelen ve 204. günde teslim edilecek olana göre maliyeti daha fazladır. Çünkü çizelgenin “şimdiki zamana” daha yakın olan kısmı değiştirilmeye daha az müsaittir ve bu nedenle bu kısmın özellikleri (iyi ya da kötü) çizelgelemeyi değerlendirmede ağırlıklı olarak dikkate alınmalıdır. Aslında deterministik olan bir sistem göz önüne alınmıştır (hiç makine arızasının olmadığı, sipariş iptallerinin olmadığı, deterministik toplam proses zamanları, vb.); bu nedenle daha ileriki gelecek için planlanmış zamanın tam olarak planlandığı gibi gerçekleşmesi fazla olası değildir. 204. günde gelen siparişi reddetmek, 4. günde gelene göre daha az kesinlik taşır. Bu nedenle 204. gün için reddetmenin maliyetini hesaplama, 4. güne göre daha az hesaplanabilir.

Bu nedenle, çizelgelemeye ait zaman değerlerinin özelliklerini hesaplamak yerine

formülasyonun şimdiki değerini bir indirim oranı kullanarak hesaplamak yeterli olacaktır, ki bu oran, paranın zaman değerini hesaplayan faiz oranından daha büyük olacaktır.

3.6 Sonlu Kapasite Çizelgeleme Metotlarının Değerlendirilmesi ve Doğru Sistemin Seçilmesi

SKÇ sistemleri tarafından kullanımda öne çıkan çizelgeleme metotları aşağıda belirtilmektedir (Değertekin, 1999):

- İş temelli,
- Kaynak temelli,
- Olay temelli.

Burada hangi metodun ne yaptığından daha önemlisi, metotlar arasındaki fonksiyonellik farklılıklarının karşılaştırılmasıdır.

Yukarıda belirtilen üç modelin içinde iş temelli metod en sezgisel ve uygulanması en kolay olan metottur. En yüksek önceliğe sahip işin en önce yapılması esasıyla hareket edilir, ki burada iş önceliğinin belirlenmesinde birçok kural uygulanmaktadır. Bu metod, blok çizelgeleme esasıyla çalışır ve belirlenen iş önceliklerine göre kaynakları blok halinde revize eder.

Kaynak temelli yaklaşımda amaç, darboğaz yaratan iş istasyonunun çizelgelenmesi ve tezgah kullanım oranlarını maksimize edilmesidir. Diğer bir ifadeyle, kritik kaynakların hiç boş kalmaması sağlanır. İş öncelikleri de bu amaçları sağlayacak şekilde belirlenir. Bununla birlikte kritik olmayan kaynakların çizelgelenmesi için, standartlarının olmaması sebebiyle uygulanması ve diğer metotlarla karşılaştırılması zor olan bir metottur.

Olay temelli metotlar, çizelgelenmenin temeli olarak aktif simülasyon yaklaşımını kullanırlar. Bu yaklaşımda program sadece simülasyon anında sistemin verilerine göre çizelgeleme yapar. Yaklaşımının amacı, atölyeye gerçek zamanlı bakıp, kaynaklar arasındaki boşlukları elimine ederek sistemi yüklemektir.

Yukarıda anlatılan her üç metod da sınırsız kapasiteli yaklaşımlara göre verimliliği artırır; çizelgelemede sabit ve öngörülebilir bir yapı oluşturur.

Üç metodun karşılaştırılmasında çok standartlaşmış yaklaşımlar bulunmamaktadır. Maliyet açısından değerlendirildiğinde, her grup kendi içinde dahi büyük bir değişkenlik göstermektedir.

SKÇ sistemlerini değerlendirmenin en önemli kriteri, kapasite kullanımının ölçülmesidir. SKÇ sistemleri kapasite kullanımını artırır, çizelgelemenin tutarlılığını yükseltir ve azalan çevrim zamanlarını ortaya çıkartır. Çizelgeleme metotlarının karşılaştırılmasının en iyi yolu, şirketin gerçek verisinin bir alt kümesini oluşturarak, alternatif sistemler üzerinde deneme çalışmalarının yapılmasıdır [3].

Hiç bir zaman tek bir SKÇ sistemi en iyi değildir. Önemli olan hazırlanmış verilerle yapılan testler sonucunda şirketin beklentilerine, amaçlarına en yakın sistemi belirlemektir (Tolunbike, 2001).

3.7 Bilgisayar Destekli Sonlu Kapasite Çizelgeleme

Günümüz üretim sistemlerinde, işletmeler, müşteri taleplerini en iyi şekilde tatmin etmek için birbirleriyle yarışmaktadırlar. Dolayısıyla kaynak kullanımının en etkin yollarının bulunması kaçınılmaz bir önem taşımaktadır. Bu nedenle, birçok işletme, üretim problemlerini çözmek için değişik metotlar kullanmışlardır.

Bazı işletmeler, planlama bölümünün hazırladığı haftalık veya aylık periyotlarla oluşturulan elle çizelgeleme faaliyetlerini gerçekleştirirler. Veri tabanı uygulamaları, raporlar veya grafiksel gösterimli teknolojik bilgi alt yapısı ile çalışırlar. Fakat bu çizelgeler, sonuç olarak, insan görüşünü taşır. Bunun sonucu olarak çizelgenin doğasında çeşitli engeller olabileceğine dikkat edilmesi gerekir.

Elle çizelgelemenin sahip olduğu engellerle baş edebilmek için işletmeler bilgisayar destekli çizelgeleme sistemlerini kullanırlar. Bu sistemler satın alınabildiği gibi, iç bünyede de oluşturulabilirler. Bu sistemlerin ana amacı, planlamacıların işini kolaylaştırmak ve bir karar destek aracı olarak hizmet vermektir (Green ve Kiran, 1996).

Çizelgeleme sistemlerinin değişik özellik ve değişik düzeylerde işlem gören türleri bulunmaktadır. Çizelgelemenin karmaşık ve dinamik bir proses olması dolayısıyla, bilgisayar destekli çizelgeleme sistemleri de değişik boyutlarda mevcut ve gelişen ihtiyaçları karşılar hale gelmişlerdir (IMS, 2000a).

3.7.1 Elle Çizelgelemenin Sakıncaları

Geniş bir uygulama alanına sahip olmasına rağmen, elle çizelgelemenin sahip olduğu aşağıdaki engellere işletmelerin dikkat etmeleri gerekir [4]:

1. Elle çizelgeleme, insana bağlı bir süreçtir. Üretim süreçleri ile ilgili ayrıntılı bilgilere sahip olan planlama yetkilileri çizelgeleme yapmaktan sorumludur. Tipik olarak kullanılan metotlar

ve planlama yetkililerinin yaklaşımları, geçmişten gelen pratik tecrübelerle dayanmaktadır. Bu tecrübeler de insanın karar verme mekanizması temeline dayanır. Bu nedenle bu mekanizma analitik olarak açıklanamayacağı için, bu mekanizma sonucu üretilen bilgi, özellikle tecrübesi az olan kişiler tarafından aynı şekilde kabul görmeyebilir. Bu nedenle, işletmelerin bu bilgiye sahip çalışanları kritik duruma geçerler, diğer çalışanlar arasında farklı bir konuma sahip olurlar ve planlama prosesi ağırlıklı olarak kişiye bağlı hale döner.

2. Elle çizelgeleme, performans değerlendirmeden yoksundur. Çizelgeleme oldukça karmaşık bir problemdir. İnsan kapasitesi geniş çaplı problemleri çözebilmesine rağmen, uygulanabilir bir sonuç üretilmesi için çok fazla zaman ve efor sarf edilmesi gerektiğinden dolayı, genellikle üretilen çözüm ile herhangi bir alternatif çözüm karşılaştırılmaz. Elle oluşturulan çizelge başarılı gibi görünmesine rağmen, doğrulama şansı yoktur; ayrıca daha iyi çizelgeler mevcut olabilir.

3. Elle oluşturulan çizelgelerin güncellenmesi geniş ve derin bir çalışmayı gerektirir. Çizelgeleme dinamik ve sürekli bir süreçtir. Yeniden çizelgeleme, uygulamadaki temel kavramlardan birisidir. Beklenmedik gelişmeler, satış planlarının güncellenmesi, ana üretim planının revize edilmesi gibi değişiklikler, mevcut çizelge üzerinde küçük veya büyük boyutta değişiklikler gerektirebilir. Elle çizelgeleme otomatik güncellemeden yoksundur ve bu tip küçük ya da büyük güncellemeler çok fazla zaman ve çaba gerektirir.

4. Elle oluşturulan çizelge çıktıları görsellikten uzaktır. Genellikle, elle çizelgeleme sonuçları bir cetvel ya da liste halinde hazırlanır. Bu liste görsel olmadığı gibi, yerleştirme ve kaynakların kapasite kullanımı gibi değerlendirmeler de sağlamaz.

Gantt şemaları ve kapasite kullanım grafikleri gibi görsel raporların elle hazırlanması ve güncellenmesi çok fazla zaman ve yoğun emek gerektirir. Gantt şemaları ve kapasite kullanım grafikleri gibi raporların yerine herhangi bir modifikasyon gerektirmeyen gerçekleşmiş üretim bilgileri kullanılır.

5. Elle çizelgeleme ile işletmenin diğer sistemleri entegre çalışmazlar.

3.7.2 Bilgisayar Destekli Sonlu Kapasite Çizelgelemenin Aşamaları

Günümüzde daha iyi bir çizelgeleme ihtiyacının artması, piyasada birçok ticari çizelgeleme sisteminin geliştirilmesini ve satılmasını sağlamıştır. Fakat çoğu sistem uzun süre kullanılamaz durumda görünmektedir. Yani, sistemler tamamlandıktan sonra sınırlı bir zaman kullanımında kalmakta ve belli bir süre sonunda vazgeçilmekte veya müşteri ihtiyaçlarını

karşılamağı ğeklinde suçlamalara maruz kalmaktadır. Bunun nedeni, çoğu çizelgeleme sisteminin değişik dizayn ihtiyaçlarına uygun olmamasıdır.

Modern firmalarda merkezi bir bilgisayar ve veri tabanı sistemi bulunmaktadır. Yerel ağ bağlantıları, kişisel bilgisayarlar, iş istasyonları ve veri giriş terminalleri bu merkezi veri tabanına bilgileri taşıır. Çizelgeleme işlemleri gelişmiş bir kişisel bilgisayarda, merkezi veri tabanına bağlı olarak çalışır. Bu veri tabanından bilgileri okur ve oluşan çizelgeler yeniden veri tabanına yazılır (Pinedo, 1995).

Başarılı bir uygulama amaçlayan bilgisayar tabanlı çizelgeleme sistemi dört ana seviyede fonksiyonellik sağlamalıdır (İms, 2000b):

1. Modelleme seviyesi,
2. Veri kaynağı yönetim seviyesi,
3. Çizelge oluşturma seviyesi,
4. Kullanıcı arayüzü seviyesi.

3.7.2.1 Modelleme Seviyesi

Anlaşılmıştır ki, her özel çizelgeleme durumu, özel amaçlar ve endüstri ile ilişkili olan kesin özelliklere sahiptir, ki bu, şirket modelleme detayları gerektirir.

Genel amaçlı bir bilgisayar tabanlı çizelgeleme sisteminin modelleme seviyesi, değişik endüstrilerin özellik ve ihtiyaçlarını karşılayacak derecede esnek olmalıdır. Yani duruma özel ihtiyaçlara göre uygulanabilecek yapıları ayarlamak için gerekli olan özelleştirme çabalarını kolaylaştırmalıdır ve mevcut yapıdaki olası özelleştirmelerde sistem kodunun değiştirilmesine ihtiyaç duyulmalıdır.

Piyasa koşulları sürekli değişiklik gösterdiğinden, modelleme seviyesi gerektiğinde şirket modelinin genişlemesi veya daralmasına imkan sağlamalıdır.

3.7.2.2 Veri Kaynağı Yönetim Seviyesi

Veri kaynağı yönetim seviyesi, üretim süreç alt yapısını gösteren verileri yönetebilecek yeteneklere sahip olmalıdır. Bunun gibi satış, atölye ve malzeme planları gibi dinamik verilerin oluşturulması ve güncellenmesi, bu seviye ile oldukça ilişkilidir.

Veri kaynağı yönetim seviyesinin engellerinden biri, şirketlerin arka plan ve kalıcı sistemlerini değişik yapılarda entegre veya entegre olmayan veri yapılarıyla tutuyor

olmalarıdır. Şuna dikkat edilmelidir ki, her sistem değişik bir veri yapısına sahiptir ve veri okumak ve mekanizmayı beslemek için değişik ara yüzlere ihtiyaç duyabilir.

Örneğin; bir şirket satış verilerini Excel dosyalarında, fakat stok bilgilerini AS/400 temelli uygulamalarda tutuyor olabilir. Planlama elle yapılıyor olabilir ve gerçekleşen üretim, verinin, ayrı bir ilişkisel veri tabanına girilmesine ihtiyaç duyabilir.

Başka bir şirket, bütün entegre işlemleri (satış, dağıtım, malzeme yönetimi ve üretim planlama, vb.) içeren ortak depolamaya uygun tam bir KKP kullanıyor olabilir. Genellikle böyle sistemler tek bir KKP ve tek bir veri tabanında çalışmaktadırlar (Hicks, 1995).

Arayüz yeteneğinin yanında, veri kaynağı yönetim seviyesi, veri girişinin tekrarlanmasını ve verinin farklı sistemlerde tekrarlanmasını engelleyecek yüksek bir entegrasyon düzeyine sahip olmalıdır.

Esneklik ve mevcut yapılarda olabilecek gelecekteki değişikliklerle başa çıkabilmek için genişleyebilme özelliklerinin yanında, değişik bilgi adaları olması ve çizelgeleme sistemi arasında kesintisiz veri akışının sağlanması da veri kaynağı yönetiminin değerlendirme kriterlerinden birisidir.

3.7.2.3 Çizelge Oluşturma Seviyesi

Bilgisayar tabanlı çizelgeleme sisteminin çizelge oluşturma seviyesinin ana amacı, karar destek sistemi olarak hizmet vermesi ve üretim çizelgeleme sürecinde, planlamacıların yerine geçmeden onların tecrübelerinin otomatik fonksiyonlarla uyum içinde olmasıdır.

Her şeyden önce, çizelge oluşturma seviyesi, çizelge oluştururken alternatif çözüm teknikleri geliştirmeyi kolaylaştırır.

Tam sayılı ve karmaşık sayılı programlama, dinamik programlama, vb. gibi yöneylem araştırması teknikleri, çizelgeleme problemlerini çözmeye yaygın olarak kullanılan metotlardır. Bu yaklaşımlarda, tipik ayarlama teknik sınırlamalarını uygulayabilmek için çizelgeleme amaç alanını küçültmek gerekmektedir. Hesaplamadaki karmaşıklık bakımından, böyle problemler ilişkisel yapıdadırlar ve çok kolay problemler için bile optimizasyon tekniklerinden birinin kullanılarak optimal bir çözüm bulunması, çok gelişmiş bilgisayarlarla bile çok uzun zaman almaktadır.

Bir çare olarak, yeterli seviyede etkili çözümler sağlayan bu modellerin basitleştirilmiş buluşsal algoritmaları kullanılmıştır. Sonuçta, yapay zeka temelli gelişmiş çözüm teknikleri ve bölgesel araştırma teknikleri kabul edilebilir çözümler elde etmek için geliştirilmişlerdir.

Araştırmalar göstermiştir ki, sezgisel prosedürlerin başarısı, tamamen probleme bağımlıdır. Değişik çizelgeleme problemleri, değişik kalıplar ve genellikle gizli özelliklere sahip olduğundan, özel bir duruma verecekleri performansı tahmin etmek imkansızdır.

Sonuç olarak, planlamacılar, ellerindeki özel problemi çözmek için alternatif çözüm teknikleri seçme ve test edebilme yeteneğine sahip olmalıdırlar.

Alternatif çizelgeleme algoritmaları bakımından çoğu ticari çizelgeleme sisteminde planlamacı, sistemdeki algoritma kütüphanesindeki algoritmaların listesiyle sınırlı kalmaktadır ve kendi ihtiyaçlarına göre onları değiştirmek için çok az imkana sahiptir. Bu sınırlama, çizelgeleme sistemi uygulayıcılarının başarısızlığının ana nedenlerinden biri olan, yeteri kadar iyi olmayan çizelgelerin oluşturulması ile sonuçlanır [1].

Alternatif ve özelleştirilmiş çözüm metotlarının yanında çözüm oluşturma seviyesi, planlamacıya çeşitli avantajlar sağlamalıdır. Mekanizmanın genel sınırları içerisinde, planlamacıya sınırları aktif ya da pasif hale getirme, yeni sınırlar ekleme konusunda etkileşimli ve esnek bir ortam sağlanmalıdır.

Çizelge oluşturma seviyesi, tekrar çizelgeleme için gerekli araçlarla donatılmış olmalıdır. Tekrar çizelgeleme, temel üretim sürecinin tüm durulara ait özel niteliklerini taşır ve bu yüzden değişik çizelgeleme sistem uygulamalarında kullanılacak genel amaçlı bir tekrar çizelgeleme mekanizması oluşturmak imkansızdır.

Tekrar çizelgeleme, problemin durumuna bağlı olarak planlanması muhtemel çözümleri görebilme imkanı sağlamalıdır. Bunun için, planlamaya, zaman içinde görevleri ileri veya geri hareket ettirme veya bir görevi alternatif süreç kaynaklarına atama, vb. denemeleri yapabilmek imkanı sağlamalıdır. Sonuç olarak, çizelgelemeye benzer olarak tekrar çizelgeleme de planlamacının uzman bilgisini gerektirmektedir.

Yani çizelge oluşturma seviyesi, planlamacıya tekrar çizelgeleme mantığını özelleştirmede, tanımlamada kolaylıklar sağlamalı; ama aynı zamanda planlamacıların geliştirdiği çözümlerin uygulanabilirliğini kontrol etmelidir.

3.7.2.4 Kullanıcı Arayüzü Seviyesi

Çizelgeleme, sonuçların üzerinde etkileşimli ve dinamik güncellemeler gerektirdiğinden, planlamacılar aynı zamanda çok sayıda bilgi kümesini görmek isterler. Bu nedenle, kullanıcı arayüzleri pencere mekanizmalarının geniş bir kullanımını içermelidir. Genellikle, çizelgeleme sistemlerinde kullanıcı arayüzleri, elektronik Gantt şemaları şeklinde düzenlenir.

Genellikle, kullanıcı arayüz seviyesi, çizelgeleme sürecinin sonuçlarını yönetmek ve analiz etmek için düzenlenir. Bu nedenle, kullanıcı arayüz seviyesi, çizelge düzeltme performansını değerlendirme ve neden-sonuç analizleri gibi konularda yardım sağlamalıdır (Quinn ve Novels, 2001).

Performans değerlendirme faaliyetleri, istatistiksel planlama veya gerçekleşmiş çizelge sonuçlarına dayanır. Bundan dolayı, kullanıcı arayüzünün, çizelgenin temelini oluşturan bütün detayları ortaya çıkarmayı sağlaması oldukça önemlidir.

Çizelgeleme sonuçlarına dayanarak planlamacı ortalama iş kuyruk zamanı, çalışma zaman yüzdesi, toplam hazırlık süresi gibi belli bazı performans değerlendirme istatistiklerini formülize etmek ve izlemek ister. Bu tarz istatistikler, matematiksel formülasyonlar veya basit algoritmik adımlara göre hesaplanabilir. Bundan dolayı planlamacılar, ilgilerine göre, istatistikleri ortaya çıkarmak için algoritma ve matematiksel açıklamaları oluşturabilmelidirler.

İstatistiklerin formülasyonu ve ölçümlerinin yanında, performans değerlendirme faaliyetleri veya aynı zamanda şema ve raporlar gibi görsel araçlar da kullanılabilir. Kaynak kullanım grafikleri, kuyruktaki işlerin şeması, vb. bu şemalara örnek olabilir. Bir bilgisayar temelli çizelgeleme sistemi için, kullanıcı arayüz seviyesi esnek ve genişletilebilir olmalıdır. Şema ve rapor oluşturma mekanizmalarına sahip olması oldukça önemlidir.

Gantt şeması, çizelgeleme programlarının en yaygın biçimidir. Gantt şemalarının genel kullanımı, zaman içinde kaynaklara atanan işlerin gösterilmesidir. Şemanın X eksenini zamanı, Y eksenini de kullanılabilir kaynakları gösterir [5].

İşler dikdörtgenlerle ifade edilir. dikdörtgenin uzunluğu, işin süresini belirtir. Dikdörtgen yatay olarak ve sol köşesi işin başlangıç zamanına, sağ köşesi de işin bitiş zamanına gelecek şekilde yerleştirilir. Dikdörtgenin dikey pozisyonu, Y ekseninde kaynağa ayrılan yere göre ayarlanır.

3.7.3 Sonlu Kapasite Çizelgeleme Yazılım Seçimi ve Uyarlanması

SKÇ sistemleri geçen on yılda ortaya çıkmış ve gelişmiş olup, şu anda yüzden fazla yazılım paketi seçeneği mevcuttur. Bu yazılımların kapasiteleri ve fiyatları çeşitlidir. Hiçbir yazılım açıkça görünür şekilde piyasa lideri durumunda değildir. SKÇ sistemlerinin sürekli büyümeleri, başarıları ve sürekli artan sayıdaki uygulamaları giderek daha fazla şirketin bu sistemleri kullanmasına yol açmıştır.

SKÇ sistemlerinin ortaya çıkması, mevcut malzeme ihtiyaç planlaması (MİP), üretim kaynakları planlaması (ÜKP) ve kurumsal kaynak planlaması (KKP) kullanıcılarında tedirginliğe yol açmış ve SKÇ'nin değeri konusundaki tartışmaları alevlendirmiştir. Fakat gerçekte böyle bir tartışmanın olması anlamsızdır. Çünkü MİP malzeme ve biraz da planlamayla ilgilenirken, SKÇ sadece çizelgelemeyle ilgilidir. Aslında SKÇ ve MİP/KKP birlikte kullanılabilir (Güçlü, 1996).

SKÇ'nin değerini kabul ederek, geleneksel çizelgeleme tekniklerinden SKÇ'ye geçerek üretkenlik artırılabilir. Öyle bir geçişin iki önemli sonucu, kısalan bir çevrim zamanı ve teslimat zamanının tahmin edilebilmesidir. Çoğu şirket, SKÇ sistemlerini yerleştirmeyi ve yürütmesini sağlamayı çok fazla zahmetli görmektedir. Fakat SKÇ'ye geçiş yapacak şirketler, mutlaka pazarlarında geleneksel çözümlerle çalışan şirketler üzerinde baskı yaratacaktır (Kirchmier, 1998).

Üretim işletmesinin gerçekten SKÇ'ye ihtiyaç duyup duymadığını tanımlamak, tahmin edilenden daha fazla konu üzerinde düşünmeyi gerektirir. Eğer gerçekten otomatik çizelgeleme yardımına ihtiyaç duyulmuyorsa, paraya ve zamana yapılan yatırım boşa gitmiş olacaktır.

İlk olarak SKÇ fonksiyonları ve daha yüksek seviyelerde listeleme yapan hali hazır MİP/KKP sisteminin etkileşiminin düşünülmesi gerekir. En doğrusu, SKÇ modülü olan ve fabrika ihtiyaçlarını karşılayan bir KKP sisteminin olmasıdır. Ancak genellikle SKÇ paketi başka bir program satıcısından alınır ve böyle durumlarda ara yüz oluşturma çok önemli hale gelir. KKP ve SKÇ arasındaki bütünleşme olmazsa, ilk olarak otomasyon adasının uçurumlarıyla karşı karşıya kalınır ve zaman geçtikçe üst seviye planlama ile detay listeleme arasındaki uçurum gittikçe genişler. KKP ve SKÇ etkileşiminin düzenli olmasını sağlayacak en önemli gereksinim, doğru program seçimidir.

Üst seviye planlama ile ilgili bütünleşme işlemleri çözümlendikten sonra veya en azından sistemin çatısını oluşturmak için kullanıldıktan sonra, SKÇ sisteminin gerçekleştireceği fonksiyonların detaylarının tanımlanması ve öncelik sırasına konulması gerekir. Aşağıda dikkat edilmesi gerekli fonksiyonelliklerin bazıları yer almaktadır [4].

3.7.3.1 Çizelgelenmesi Gereken Konular

Birçok durumda, her şeyin SKÇ sisteminde çizelgelenmesi gerekli değildir. Üst seviye planlamada ihtiyacı karşılayacak derecede çizelgelenen kaynakların SKÇ sisteminde çizelgelenmesi gerekli değildir. Saat başı çizelge değiştirmeyi gerektiren ve darboğaz olan

kaynakların çizelgelenmesinde SKÇ somut sonuçlar getirmektedir. Bu bağlamda üç ana kaynak parçası olan işgücü zamanı, makine zamanı ve malzemenin varlığı ayrı ayrı düşünülmelidir.

3.7.3.2 İkincil Konuların Çizelgelenmesi

Yukarıda adı geçen üç ana parçaya ek olarak, farklı çalışma çevreleri diğer başka şeylerin de çizelgeleme algoritmasına eklenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bakımlar, hassas çalışma merkezleri ve programlı bakım gereksinimleri çizelgeye eklenmelidir. Hassas kalite gerektiren operasyonlarda inceleme ve test faaliyetleri çizelgelemenin bütünüleyici parçalarıdır. Tekrar işleme faaliyetlerinin çizelgenin neresinde yer alacağı, aletlerin hazırlanması ve demirbaşların sistem tarafından çizelgelenmesine gerek duyulup duyulmayacağı konuları da dikkate alınmalıdır. Bazı durumlarda depolama kısıtlayıcı ise, depolama da çizelgelemede yer almalıdır.

3.7.3.3 Ürün Değişkenliğinin Dikkate Alınması

SKÇ'nin karmaşıklığının bir sebebi de ürün değişkenliğinin detay çizelgelemeye olan etkisinin boyutlarının tanımlanması zorunluluğudur.

Eğer ürünler özelliklerine göre değişik kategorilere ayrılabilirse, özelliklere göre gruplamayı destekleyen SKÇ yararlı olabilmektedir. Kural dayalı ürün sıralamanın verimlilik için gerekli olup olmadığı incelenmelidir. Örneğin; ölçütün önemli olduğu durumlarda küçükten büyüğe, rengin önemli olduğu durumlarda koyu renkten açık renge sıralama yapılması.

3.7.3.4 Üretim Alanı Organizasyonunun Sonlu Kapasite Çizelgeleme Modeline Etkisi

Fabrikanın organizasyonu SKÇ'nin nasıl oluşturulacağı konusunda oldukça etkilidir. Farklılaşmış, yığın halinde tekrarlanan ve sürekli akış operasyonlarının her biri ayrı bir çizelgelemeye ihtiyaç duyar. Geleneksel çalışma merkezlerinden daha ziyade, çalışma hücrelerinin kullanılması çizelgeleme metodolojisinde etkilidir. Bütünleştirilmiş çok fabrikalı operasyonlar veya alt kontratlı üretim operasyonları çizelgelemeyi daha da karmaşık hale getirmektedir. Karmaşıklığı artıran diğer konular; üretim hattı yüklemesi ve dengelenmesi, darboğazlarda dinamik tampon mal stoğu kontrolü, otomatik alternatif yönlendirme, otomatik veri toplamanın geri besleme döngüsü ile birleştirilmesidir [4].

3.7.3.5 Müşteri İhtiyaçlarının Karşılanması

SKÇ temel olarak fabrika içi amaçlarla kullanılmasına rağmen, fonksiyonel kararlar müşteri ihtiyaçlarına dayanmalıdır. Ayrıca şu soruların yanıtlanması da önem taşır : Sevkiyat termini önceliklendirmesi hesaba katılıyor mu? Belli siparişlerle bir arada ya da özel bir terimde malzeme talep eden müşteri siparişleri hesaba katılıyor mu? Yeniden plan oluşturmaya ihtiyaç duymadan, sistem yardımı ile hızlandırmayı destekliyor mu? Eğer firma atölye tipi üretim yapıyorsa, SKÇ statü ve maliyetleri takip etmeli mi?

3.7.3.6 Raporlamalar ve Operasyonel İhtiyaçlar

SKÇ farklı şekillerde sunulmaktadır. SKÇ programını seçerken girdilere karşı kapasitenin ölçülmesi gereklidir. Doğru tercih; detay seviyede çizelgeleme yapılması gereken bütün parçalara çizelgeleme yapmayı ve bu çizelge vasıtasıyla üst seviye planlama sistemi ile bütünleşmeyi, müşteri taleplerine cevap vermeyi, üretim sahası organizasyonunun kurulmasını desteklemeyi ve uygulanan iş tarzına en uygun raporlama ihtiyaçlarının cevaplanmasını sağlayacaktır [4].

Sonlu kapasite planlama uygulamasında en belirgin problem, bütün becerisini eski sistem üzerine kurmuş olan personelin direncidir. Burada çözüm, eğitimlere erken başlamaktır. Karar verme mekanizmalarına personelin en erken zamanda katılımı sağlanmalıdır. Bütün seviyelerde eğitim, sonlu kapasite planlama uygulamalarında, zaman ve maliyet tasarrufunda en önemli etkidir.

Geleneksel sonsuz kapasite yaklaşımından, sonlu kapasite planlama yaklaşımına geçişin faydaları çok açıktır. Fakat hangi metodun veya hangi satıcının seçileceği çok belirgin değildir.

Sonlu kapasite planlama sistemlerini değerlendirmedeki en iyi kriter, kapasite kullanım oranı ölçüsüdür. Mevcut bir isteğe (örneğin; sabit kaynaklar ve sabit arz durumunda çevrim zamanını minimize etmek) göre kapasite kullanım oranını maksimize eden sistemler genel performans, artan akış, daha tutarlı planlama, daha kısa akış zamanı bakımından daha iyi sonuç verirler.

Planlama metotlarını karşılaştırmadaki en iyi yöntem, firmanın uygulamasına ait verilerin bir alt kümesini oluşturmaktır. Bu süreç, yakın zamanda, kodlanmış demo olarak adlandırılmıştır. Bu veri, sonra, seçilmiş satıcılara makinelerin okuyabileceği formatta gönderilir. Seçilen satıcılardan alınan sonuçlar karşılaştırılarak karar verilir. Çizelge 3.3'de Amerika'daki SKÇ yazılım şirketlerinin bazıları listelenmiştir.

Çizelge 3.3 Sonlu kapasite çizelgeleme yazılımları (Melnyk, 1998)

Yazılım	Firma	Yazılım	Firma
Agama	CSB Systems Ltd.	IMPACT Encore	Syspro Group
Alliance/MFG for Windows	Alliance Manufacturing Software	Imprimis	Tangible Vision Inc.
ASPROVA	Scheduling System Laboratory Corporation	JBA System 21	JBA International*
AutoSched AP	AutoSimulations	Job Shop Perfect	Micro Perfect*
Avante APS	DataWorks Corporation	JobTime Plus	JobTime Systems Inc.*
BaanSCS Scheduler	Baan Supply Chain Solutions	Leverage	Interval Logic Corporation
Capacity Management System	Manufacturing Management Systems, Inc.*	Manugistics 5	Manugistics Inc.
CFS Manufacturing	CFS Inc.	MAX for Windows	Micro-MRP Inc.
Computer Aided Optimal Production Planning & Sched.	BENDER Management Consultants Inc.*	MIMI	Chesapeake Decision Sciences Inc.
Control	Cincom Systems Inc.*	Mixed Model Scheduler (MMS)	MMS Soft Co.
Custom Order Manufacturing System (COMS)	Information Specialists Inc.	Monitor Factory Management Software	Monitor Systems Inc.
DataModes TM/4	DataModes Inc.	MOVEX	Intentia International
EMIS/2000	ESI/Technologies Inc.*	MPSwin	Bridgeware Inc.*
ERPx	J.D. Edwards World Solutions Company*	MS/X OnTime, TS/X OnTime	TYECIN Syatems Inc.

Factor	Pritsker Corporation*	Navigator	PILOT Systems Inc.
FCPS (Finite Cap. Planning and Scheduling)	MAPICS Inc.	Noah	User Solutions Inc.
GMP (OMP Graphical Manufacturing Planning)	OM Partners	OnTrack FCS	RWT Corporaion
GRASS (Graphical Shop Scheduler)	Lexel Corporation	OPT @ Solution Suite	STG
GRIP	Fygir*	ORTEMS	ORTEMS Americas' Inc.
HarrisData Management System-ERP/MRP II	HarrisData	OrderLinks	Pritsker Corporation*
IMPACT Encore	Syspro Group	Pacemaker	Paragon Management Systems*
Job Shop Perfect	Micro Perfect*	PMSIM	PMSIM Systems A/S
JobTime Plus	JobTime Systems Inc.	Point.Man	Piotpoint Inc.
Leverage	Interval Logic Corporation	Preactor	Preactor Inc.

Not: (*) 1996'dan sonra bilgileri yenilenmemiş ürünler

3.8 Güncel Bazı Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulamaları ve Sonuçları

SKÇ'nin daha iyi anlaşılabilmesi için Türkiye'de SKÇ ile ilgili yazılımları kullanan bazı firmaların gerçekleştirdiği uygulamalar ve problemlere getirilen çözümler aşağıda gösterilmiştir (Imş, 2000b).

3.8.1 Arçelik A.Ş. Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulaması

- **Problem:**

Yeni bir parça için enjeksiyon presi hazırlamak amacıyla gereken zaman; prese tutturulmuş kalıba, malzemeye ve bir önceki işte kullanılmış olan renge bağlıdır. Bu nedenle, enjeksiyona girecek malzemelerde benzerlerin ya da aynı renkte olan parçaların art arda işlem görmesi, hazırlık sürelerini kısaltacağı için önemlidir. Enjeksiyon departmanının sorunu, uzun süren hazırlık süreleri nedeniyle üretim kapasitesinin düşük oranda kullanımıydı. Makine üzerinde

alternatif sıralamalar elle yapılamayacağından dolayı, enjeksiyon aleti üzerinde parçaya göre değişim sık sık yapılmakta, bu da hazırlık süresini uzatmaktaydı.

- **Çözüm:**

Gereksinimler üzerindeki incelemeden sonra, Arçelik A.Ş.'nin ihtiyaçlarını karşılamak için, firmaya özel bir çizelgeleme algoritması tasarlandı. Enjeksiyon departmanını çizelgelemek için, net bileşen gereksinimleri Oracle veri tabanından ASCII dosyasına alındı. Ayrıca, makine, kalıp tanımları ve hazırlık süresi matrisleri ASCII dosyasından alınarak çizelgeleme programına uygun hale getirildi. Program, çizelge bilgilerini ayrı bir ASCII dosyasına yazıyordu. Çizelge basıldı ve uyuşan siparişlerin iş emirleri verildi.

- **Sonuç:**

Gözlenmiştir ki çizelgeleme programı hayata geçtiğinden itibaren, toplam planlama süreci önemli ölçüde gelişme göstermiştir. Şu anda, hiçbir kalıp planlanmadan önce makineye bağlanmamakta ya da makineden sökülmemektedir. Bunun ötesinde, “neden sonuç analizi” nin yardımıyla, planlama ekibi ileriye dönük bakabilmekte ve darboğaz durumlarını önceden tahmin edebilmektedir. Sonuç olarak, hazırlık sürelerinden %20 oranında kazanım sağlanmıştır. Bu da demektir ki, bu süre üretime aktarılmıştır (Ims, 2000b).

3.8.2 Trakya Otocam Sanayii Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulaması

- **Problem:**

Kuruluşundan beri istikrarlı ve hızlı şekilde büyümesinden dolayı Trakya Otocam Fabrikası, tüm üretim sürecinin yönetimi konusundaki güçlüklerle yüz yüze gelmektedir. İlk olarak, teslim performansına bağlı müşteri memnuniyeti düşük seviyede idi ve satış ile üretim departmanları arasında iletişim problemi vardı. Ara stok alanları izlenemiyordu. Gereksiz ve sık ara stok alanı kontrolleri mevcuttu.

Bir diğer problem, bir sonraki aşamadaki üretimi görememenin yol açtığı, üretim makinelerinde parça değiştirmenin sık olmasından ötürü üretim kapasitesinin düşük kullanımıydı. Son olarak, üretim çizelgesinin daha önceden belirlenememesi nedeniyle, kısa ve orta dönem malzeme ihtiyacının belirlenmesi ve malzeme temin planının yönetimi düzgün değildi.

- **Çözüm:**

Proje veri depolamada Oracle ® DBMS kullanılmaktadır. Trakya Otocam Fabrikası tarafından kayıtları tutulan sipariş verileri, üretimi yönetmeye yetecek detaya sahip değildi.

Bu nedenle, sipariş teslimatlarının ve iş emirlerinin planlanması için SKÇ'ye ek bir modül yerleştirildi. Kaynaklar ve işletme içinde mamul üretim rotası veri tabanı ara yüzü yine program tarafından sağlandı.

Sisteme uyarlanmış çizelgeleme algoritması ve kapasite modülü geliştirildi. SKÇ iş emirlerini, kaynakları ve mamul rotasını fabrika veri tabanından okumakta ve çizelgeyi yine fabrika veri tabanına kaydetmektedir. Çizelgenin işlerlik kazanması için iş merkezlerinin önündeki terminallerde gösterilen veri toplama modülü, gerçekleşen üretim verilerini toplayabilmek üzere üçüncü şahıslarca geliştirildi.

- **Sonuç:**

SKÇ proje uygulamasında, fabrikada gerçekleşen tüm faaliyetler kolayca izlenebilmektedir. Neyin ne zaman üretileceği daha önceden belirlenebildiği için, teslim performansı %15 oranında arttı. Şu anda, ara mamul stok miktarı düşmüştür ve çok iyi bir şekilde izlenebilmektedir. SKÇ mekanizmasıyla, hazırlık sürelerinden kaynaklanan üretim kapasitesi kaybı, %10 oranında azalmıştır. Çizelgeleme yoluyla kısa dönem malzeme ihtiyacı belirlenebilmektedir. Sonuç olarak, bir günlük cam levha stoğu tutulmakta ve malzeme açığı görülmemektedir. Orta dönem malzeme ihtiyacıysa kapasite planlama modülüyle belirlenmektedir (Ims, 2000b).

3.8.3 Camış Ambalaj Sanayii A.Ş. Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulaması

- **Problem:**

Camış'te SKÇ uygulanma projesinden önce, planlama ve üretim departmanı arasındaki ilişki, üretim planlama döngüsünde meydana gelen problemler nedeniyle oldukça baskı altındaydı. Her Perşembe günü düzenli olarak, bu departmanlarda çalışanların da katıldığı toplantılar yapılır, ancak bu toplantılar olağan toplantılara benzemez, çalışanların çekişmesiyle geçerdi. İş emirlerinin altındaki işlerin hazırlıklarına harcanan zamanın çok uzun olmasının yanında, doküman akışı çok yoğundu. Bu nedenle, müşteri siparişlerinin maliyetlerini hesaplamada çok başarılı değillerdi. Diğer büyük problemler, üretim aşamasındaydı. Tezgahların hazırlığı üzerinde çok fazla zaman harcanıyordu ve bu zaman kaybı makine önündeki yarı mamul stok seviyesini artırıyordu.

- **Çözüm:**

Camış, veri işleme operasyonlarında Cobol ve Oracle kullanmaktadır. Müşteri siparişleriyle ilgili olarak oluşturulan iş emirlerinin hazırlanması için birincil olarak Basic programlama

dilinde geliştirilmiş bir editör kullanmaktaydılar. Bu editör yerine, CamiŖ'ın veri tabanından verileri okuyan ve bunları SKÇ'ye aktaran yeni bir ara yüz geliştirildi ve uygulamaya konuldu. SKÇ, CamiŖ'ın bilgi sistemiyle bütünleŖik hale geldi. Bu ara yüz yoluyla, SKÇ sipariŖleri bir araya getirerek, bunları üretim için iŖ emrine dönüŖtürmektedir.

Bu süreç sırasında SKÇ ayrıca, mevcut ve yeni iŖ emirleriyle ilgili olarak rapor sunmaktadır. Yukarıda belirtilenlere ek olarak program, yeni sipariŖin maliyetini de mevcut maliyet faktörlerine dayanarak hesaplayabilmektedir. Üretim sonunda program ayrıca operasyonlar sonucunda oluŖan üretim maliyetlerini de hesaplar. Her bir iŖ istasyonundaki terminaller yoluyla üretim merkezinden veri toplarla ve bu veriler SKÇ tarafından bir sonraki çizelgeleme periyodunda operasyonların geri kalanını çizelgelemede ve günlük iŖ emirlerini iŖ istasyonlarına vermede kullanılır.

- **Sonuç:**

CamiŖ Ambalaj'daki SKÇ projesi, iŖletmeye, maliyetlerini önceden hesaplama Ŗansı ve müşteriyle yapılan telefon konuŖması sırasında sipariŖin termin tarihini belirleme Ŗansı vermiŖtir. Bu, zamanında yapılan teslimlerle, doğrudan doğruya müşteri tatminini artırmaktadır.

Operasyonların çizelgelenmesinde optimizasyonu sağlayan iŖletme, kapasite kullanımını da artırmıŖtır. İŖ istasyonlarındaki terminallerin desteğine ek olarak SKÇ Gantt Ŗeması yoluyla gelecekteki operasyonların kayıtları da tutulmaktadır (Ims, 2000b).

4. YAPAY SİNİR AĞLARI

4.1 Temel Kavramlar

4.1.1 Yapay Zeka

Başta Zeus olmak üzere tüm tanrıların öfkesini çeken Prometheus, sadece ateşi çalmakla kalmamış; Olympos'a ait olan zekayı, medeniyetini geliştirebilmesi için insanoğluna hediye etmiştir. Efsaneye göre zekasını böyle kazanan insanoğlu, günümüzde zekasını kullanarak, yapay zeka (artificial intelligence) adı altında toplanan çeşitli araştırma çalışmaları ile, makineleri zeki yapma uğraşı içindedir.

Latince'de zeka kelimesinin karşılığında kullanılan "intellectum", algılama, bilme, anlayış ve tanıma anlamlarına sahiptir. Yapılan çeşitli tanımlamalara göre zeka; algılama, bellek, öğrenme, düşünme, soyutlama ve yeni durumlara uyma gibi bir çok zihinsel yeteneğin bileşimidir [6].

Diğer bir tanıma göre; "zeka, kişinin yeni durum, engel ve sorunlar karşısında deneyimlerinden ve öğrendiklerinden yararlanarak o an için gerekeni yapması, uyum sağlayabilmesi, yeni çözümler bulabilmesi yeteneğidir" (Öztemel, 1996).

Tüm araştırmacıların üzerinde anlaştığı bir tanım olmamakla birlikte, yapay zeka, insana özgü zeka davranışların otomasyonunu araştıran, bilgilerin saklanması ve işlenmesinde veri yapıları, algoritmalar, programlama dilleri ve teknikleri gibi bilgi işlem yöntemlerini kullanan, bilgisayar biliminin bir alt dalıdır.

İnsanlığın en büyük hayallerinden olan düşünen ve öğrenen bir sistem kurma konusunda yüzyıllardır çeşitli çalışmalar yapılmış, kurgu bilim dalları başta olmak üzere konu çeşitli sanat eserlerinde işlenmiştir. Yapay zeka konusunun iyi anlaşılabilmesi, felsefeden bilgisayar bilimine, psikolojiden beynin anatomik yapısına kadar geniş bir yelpaze içinde çeşitli bilim dallarında yapılan çalışmaların izlenmesi ile mümkündür (Öztemel, 1996)

Düşüncenin temel mantık kuralları ile gösteriminin araştırıldığı Aristoteles'in (M.Ö. 384-322) çalışmalarından, Descartes'a (1596-1650) kadar çeşitli düşünürlerin incelemeleri, iki temel sonuca varılmasını sağlamıştır. Descartes ve onu izleyen düşünürlerin oluşturduğu fikir yapısına göre varlık, ruh ve madde olmak üzere iki cevherden oluşmuştur. Bu yaklaşım maddi cevherle ilgili elemanların tamamen maddi, hatta mekanik bir yoldan açıklanabileceği düşüncesini ortaya koymaktadır. Zihni işlemlerin kendine özgü bir varlığı ve kendi

kanunlarının geçerli olduğunu belirten bu düşünce, bilgi kuramı (epistemology), psikoloji gibi dallarla birlikte yapay zekanın da başlangıç kuramını oluşturmuştur.

Ruh ve maddenin birbirinden ayrılması fikri sonucunda, düşünürler insanın oluşumu için gerekli bu iki varlığın nasıl birlikte hareket ettiğinin açıklanması ile ilgilenmiştir. Bu konuda ileri sürülen varsayımlar içerisinde, İskoç düşünürü David Hume'un "anlamak hesaplamaktır" ifadesi ile açıkladığı, zihni işlemlerin de fiziksel işlemler gibi matematik yoluyla ifade edilebileceği fikri, geniş kabul görmüştür. Düşünmenin bir hesaplama işlemi olduğu kabul edildikten sonra, bu işlemin nasıl ifade edilebileceği ve çözülebileceği konusundaki çalışmalar önem kazanmıştır (Cılız, 1995).

1956 yılında John McCarthy tarafından düzenlenen ve Minsky, Newell, Simon, Shannon başta olmak üzere on bilim adamının, iki ay süre ile Dartmouth College'de (New Hampshire, Hannover, ABD) yaptıkları çalışmaların sonucunda, John McCarthy'nin önerisi ile "Artificial Intelligence" ismi ilk kez kullanılmış ve yapay zeka bir araştırma disiplini olarak benimsenmiştir. Oyun programları, otomatik çıkarım ve teorem ispatlama, konuşulan dilin anlaşılması ve modellenmesi, insan davranışlarının modelinin kurulması, yapay zeka için gerekli programlama dil ve ortamlarının geliştirilmesi, makine öğrenimi, robotik, görüntü algılama ve uzman sistemler yapay zeka araştırmaları içerisinde başlıca araştırma dalları olmuşlardır (Zurada, 1992).

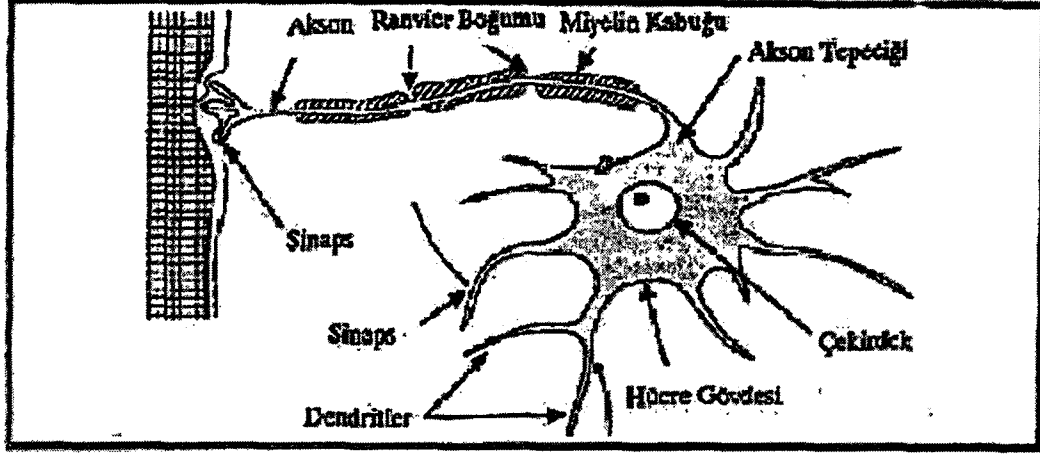
Yapay zeka konusunda yapılan ilk araştırmalarda kuramsal olarak turing makinesi temel alınmıştır. Yapay zeka dalının kurucularından sayılan Newell ve Simon, yapay zekanın temel varsayımını, "genel zeka faaliyetleri için, fiziksel simge sistemleri gerekli ve yeterlidir" tezi ile ifade etmektedir. Bu görüşe göre simgeleri işleyebilen, bilgisayar gibi her hangi bir sistemin zeka unsurlarına sahip olabileceği ifade edilmektedir. Ancak bu alanda çalışanlar, halen hangi fiziksel simge sistemlerinin zeka için gerekli ve yeterli olduğu sorusunu, tam olarak cevaplayamamaktadır. Ayrıca Searle, Winograd, Flores gibi araştırmacılar, zekanın simgelerle ifade edilemeyecek biyolojik bir varlık olduğu görüşü ile bu sistemi reddetmektedir.

1950'li yılların ortalarından başlayarak yapay zeka araştırmaları, simgesel ve simgesel olmayan iki temel yaklaşıma ayrılmıştır (Akpınar,1993).

4.1.2 Biyolojik Sinir Ağları

Sinir sisteminin bir parçası olan ve ortalama 1.5 kilogram ağırlığındaki insan beyinde, binlerce sinir hücresi bulunmaktadır. Öğrenme, hatırlama, düşünme algılama gibi tüm bilişsel

davranışları da içeren, her türlü insan davranışının temelinde nöron hücreleri bulunmaktadır. İşlevleri henüz tanı olarak açıklığa kavuşmayan, ancak nöronların çalışmasını destekleyici ve onları besleyici bir işlevi olduğu düşünülen ikinci bir tip sinir hücresi gliall hücreleridir.



Şekil 4.1 Biyolojik sinir hücresinin genel yapısı (Öztemel, 1996)

Tüm sinir hücrelerine doğuştan sahip olan bir insanın, sinir hücreleri yaşamı içerisinde yenilenmemektedir. Beynin gelişmesi ve ağırlık kazanması, sinir hücrelerinin büyümesi ve aralarında yeni bağlantıların kurulmasından kaynaklanmaktadır. Sinir sistemi içerisinde farklı işlevlere sahip olan beş ayrı sinir hücresi olmakla birlikte, bir sinir hücresi Şekil 4.1'de gösterildiği gibi hücre gövdesi, dendritler ve aksondan meydana gelir. Sinir sisteminde gördüğü işleve göre bir milimetreden daha küçük veya bir metreden daha büyük olan bilgi taşıyıcısı aksonlar, sinir akımının daha süratli olarak akson üzerinden aktarılmasını sağlayan miyelin zarı isimli bir kabukla kaplıdır. Bu kabuk yer yer ranvier boğumu adı verilen noktalarda kesintiye uğramaktadır. Sinir hücrelerinin birbirleriyle iletişim kurması sinaps adı verilen birleşme yerlerinde gerçekleşmektedir (Akpınar, 1993).

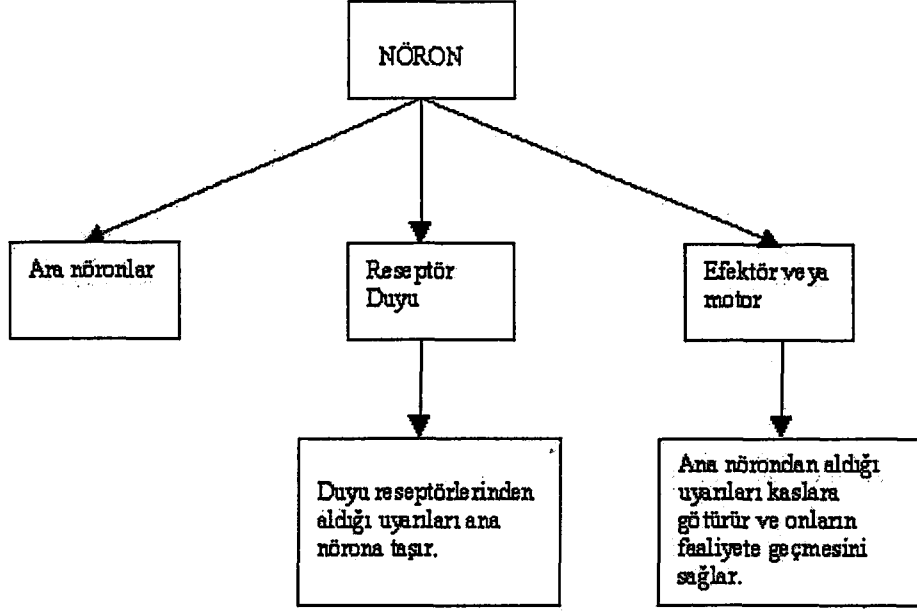
Biyolojik Sinir Hücrelerinin Çalışması

Sinir hücreleri arasındaki iletişim, elektro-kimyasal bir süreç olan sinir akımları ile sağlanmaktadır. Belirli iyonlara karşı geçirgen olan sinir hücresi zarı, bu iyonların bulunduğu hücre içi ve dışı sıvılar arasında, potansiyel bir farkı sodyum-potasyum pompasına benzer bir yapıda korumayı amaçlar. Bu mekanizma içerisinde sinir hücresi zarı sodyum iyonlarının hücre dışına çıkmasını, potasyum iyonlarının ise hücre içine girmesini sağlar. Sıvı içerisinde yer alan klorid gibi diğer tüm iyon tipleri hücre zarından geçebilir. Ancak hücre zarının geçirgenliğine göre çok büyük olan organik iyonlar hücre dışına yayılmadığı için, negatif etkileri ile hücre içine yayılan klorid iyonlarını etkisiz hale getirirler. Bunun sonucunda hücre

dışı sıvıda klorid iyonlarının daha yüksek bir konsantrasyonu oluşur. Hücre zarı potasyum iyonlarını, sodyum iyonlarına göre daha kolay geçirmektedir. Potasyumun kimyasal derecesi potasyum iyonlarının hücre dışına yayılmasına neden olurken, negatif organik iyonlar potasyumu hücre içerisinde tutmak için kuvvetli bir faaliyet gösterir. Bu karşıt güçlerin savaşımı sonucunda, daha fazla sodyum ve klorid iyonları hücre dışında kalırken, daha fazla potasyum ve organik iyonlar hücre içinde kalmakta, bu da bir denge durumuna ulaşılmasını sağlamaktadır. Oluşan bu denge ile hücre içi sıvının daha negatif olması sonucunda, hücre zarında 70-100 milivolt düzeyinde bir potansiyel enerji kalmaktadır [7].

Bu şekilde polarize duruma geçen sinir hücresi, kendisine yakın diğer hücreler tarafından uyarıldığında, hücre zarının geçirgenlik derecesi değişerek, sodyum iyonlarının süratle hücre içerisine dolmasını ve zarın iç kısmının, dışına göre daha pozitif yüklü duruma gelmesini sağlamaktadır. Bu duruma ise hücre zarının depolarize olması denilmektedir. Akson tepeciğinden başlayarak, zarın bir noktasında meydana gelen depolarizasyon, bu noktaya bitişik diğer noktaların da geçirgenlik derecesini değiştirmekte, depolarizasyon durumunun aksonun sonuna kadar zincirleme bir reaksiyon şeklinde devam etmesini, sinirsel akımın hücre gövdesinden, aksonun en ucunda yer alan ve diğer sinir hücrelerinin dendritler) ile ilişki kurabilen sinaptik uçlara kadar aktarılmasını sağlamaktadır.

Sinaptik uçlara gelen sinirsel akını, kalsiyum iyonlarının etkisiyle zarın geçirgenliğini değiştirmekte ve sinaptik keseciklerdeki biyokimyasal maddelerden oluşan sinirsel aktarıcıları etkilemektedir. Etkilenen sinirsel aktarıcılar, 1/2.000.000 santimetre genişliğindeki sinaptik aralıktan geçerek, diğer sinir hücresinin dendritlerine ulaşmaktadır. Sinaptik aktarıcılar bu tür sinaptik birleşmeler sırasında, diğer sinir hücresinde uyarıcı veya engelleyici olmak üzere iki farklı durumun gerçekleşmesine neden olur. Alıcı durumunda bulunan sinir hücresindeki kimyasal faaliyet, bazı iyon örneklerinin daha kolay geçmesini sağlayacak şekilde zarın geçirgenliğini değiştirir. Uyarıcı durumda, hücre zarının geçirgenliğinin değişmesi sonucunda hücre içerisine daha kolay akan pozitif iyonlar, sinir hücresinin depolarize olmasını sağlayıp, bu hücrede de sinirsel bir akımın başlamasına yol açar. Engelleyici durumda ise, negatif iyonlar sinir hücresini daha da polarize ederek, sinirsel akımın durmasını sağlamaktadır (Akpınar, 1993).



Şekil 4.2 Nöron tipleri ve görevleri [6]

Ancak sinir sistemindeki sinir hücrelerinin her birisi, sadece yukarıda belirtilen şekilde tek bir sinir hücresi tarafından uyarılmamaktadır. Bir sinir hücresine, birden fazla sinir hücresi tarafından aynı anda yapılan etkiler, hem uyarıcı hem de engelleyici olabilecektir. Alıcı sinir hücresi, uyarıcı ve engelleyici nitelikteki bu etkileri akson tepciğinde toplar. Elde edilen bu toplam, belirli bir eşik değerinden büyükse, sinirsel akımın bu sinir hücresinde de devamı sağlanır.

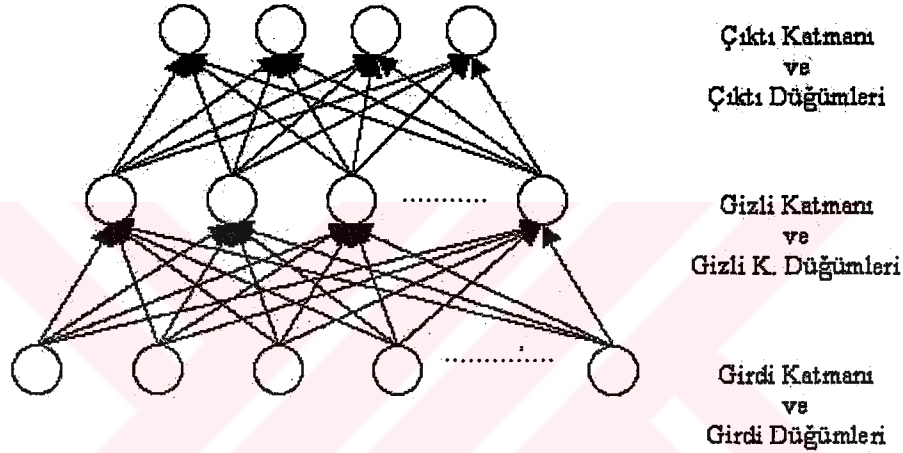
Yüz binlerce sinir hücresinin birbirleriyle ilişki içerisinde bulunması sonucunda, sonsuz denilebilecek sayıda sinaptik birleşme söz konusu olacaktır. Bu sayıdaki sinaptik birleşimi gerçekleştirecek bir bilgisayarın, dünyadan daha büyük bir hacmi kaplayacağı hesaplanmaktadır (Smith, 1995).

4.1.3 Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağı Modelleri, Nöron Ağı Modelleri, İlişkisel Modeller, Paralel Dağıtılmış İşleme Modelleri veya Neuronorfik Sistem gibi değişik şekillerde isimlendirilmektedir. Ancak ismi ne olursa olsun tüm bu modeller, biyolojik sinir sisteminin bilinen yapısını göz önüne alarak, yüksek bir performansın elde edilmesini sağlayacak şekilde basit hesaplama elemanlarının yoğun bağlantılarından meydana gelmiştir. Yapay sinir ağı (YSA) modelleri, paralel ve yüksek hesaplama hızlarının gerekli olduğu ve mevcut en iyi bilgisayar sistemlerinin dahi gerçekleştirmekten oldukça uzak olduğu, özellikle konuşma ve görüntü algılama başta olmak üzere çeşitli sahalarda büyük bir potansiyele sahiptir. Von Neumann

bilgisayarlarında olduğu gibi program komutlarının sırasal olarak icra edilmesi yerine, YSA modelleri bir çok hesaplama elemanının değişken ağırlıklarla birbirlerine bağlanmasını ve yoğun paralel işlemlerin yapılmasını öngören çeşitli varsayımlara dayandırılmaktadır (Simpson, 1990).

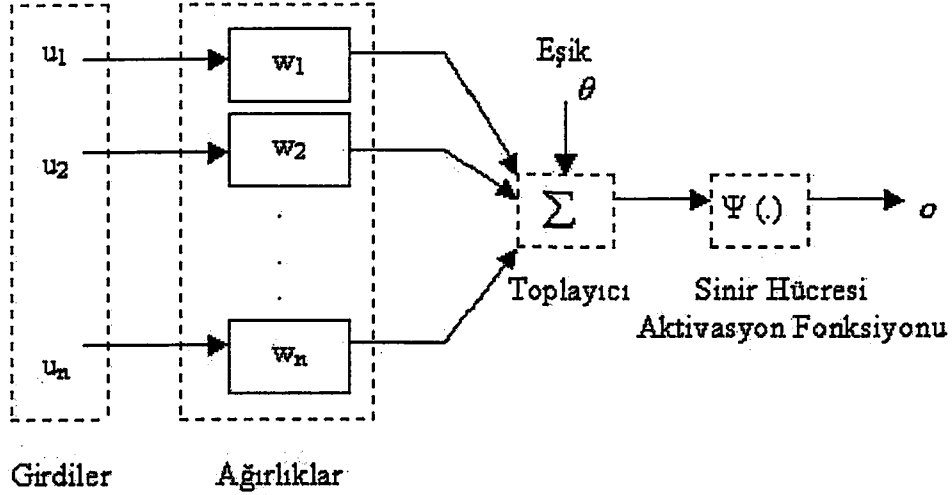
Genel olarak bir YSA modeli Şekil 4.3'de görüldüğü gibi, n adet katman, her katmanda biyolojik sinir hücrelerine benzer işlevi yerine getiren ve değişik sayılarda olabilen hesaplama elemanları, katmanlar boyunca bu hesaplama elemanları arasındaki yoğun bağlantılardan meydana gelmektedir. Çeşitli YSA modellerinde kullanılan hesaplama elemanları; yapay sinir hücresi, düğüm, birim veya işlem elemanı olarak isimlendirilmektedir (Akpınar, 1993).



Şekil 4.3 Genel bir yapay sinir ağı modeli (Akpınar, 1993)

4.1.3.1 Yapay Sinir Ağlarının Matematik Modeli

Sinir hücreleri, sinir ağlarını oluşturan, tek başına ele alındıklarında çok basit işleve sahip işlemcilerdir. Bir sinir hücresi yapısı içerisinde üç ana bölüm bulunur. Bunlar sırasıyla sinapslar, toplayıcı ve aktivasyon fonksiyonudur (Haykin, 1999). Şekil 4.4'de bir sinir hücresinin modeli gösterilmektedir. Bu şekilden de görülebileceği gibi, sinir hücresi girdileri sinaptik bağlantılar üzerindeki ağırlıklar ile çarpılarak bir toplayıcıya uygulanmakta ve elde edilen toplam, sinir hücresinin aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıkışlar hesaplanmaktadır. (4.1) denkleminde ağırlıklı toplamın oluşturulması, (4.2) denkleminde ise sinir hücresi çıkışının hesaplanması verilmektedir (Önder ve Kaynak, 2000):



Şekil 4.4 Bir sinir hücresinin yapısı (Önder ve Kaynak, 2000)

$$S = w_1u_1 + w_2u_2 + \dots + w_nu_n - \theta = \sum_{i=1}^n w_i u_i - \theta \quad (4.1)$$

$$o = \Psi(S) \quad (4.2)$$

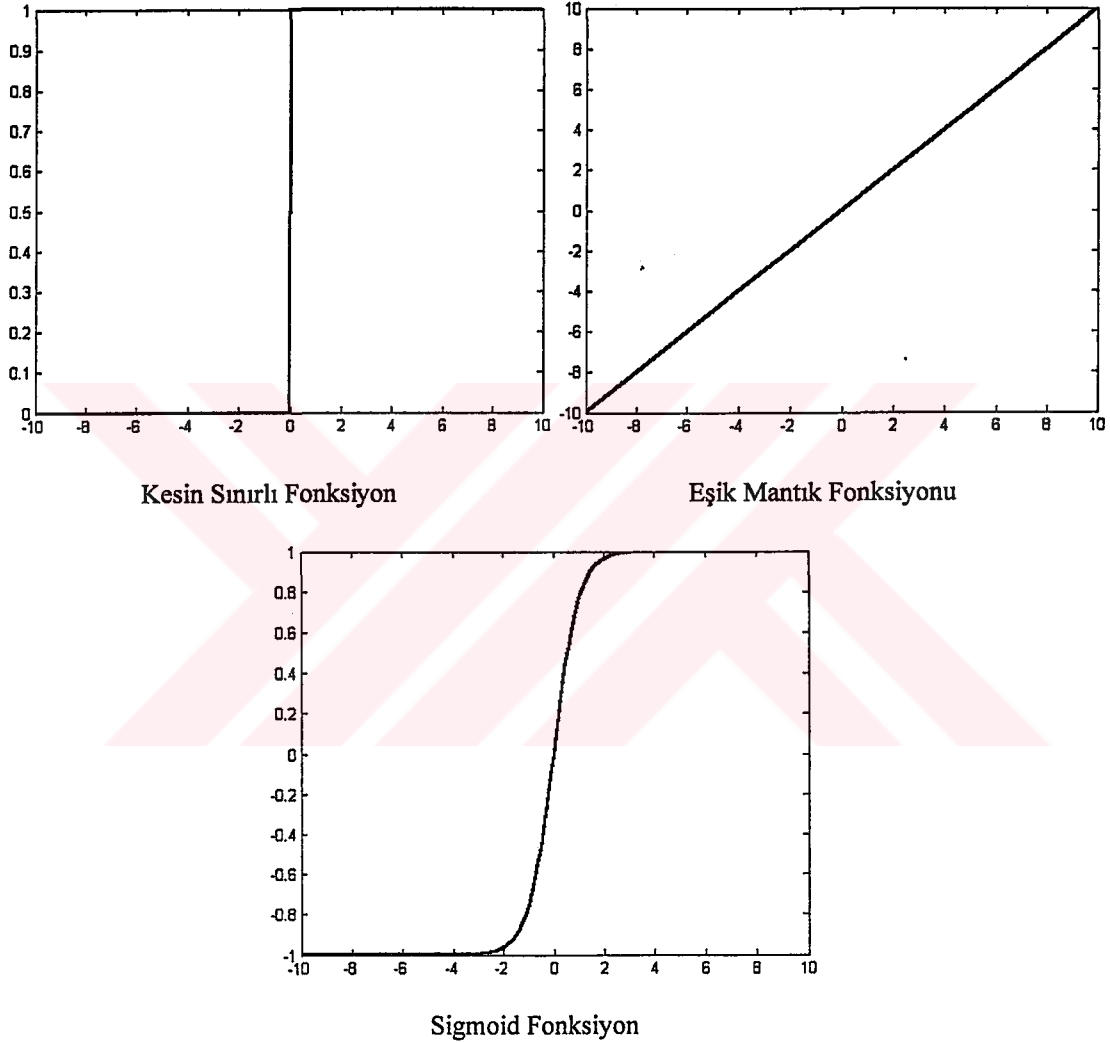
Her bir girdideki değişim, nöron çıkışında belirli bir değişime neden olmakta ve bu değişimin genliği, girdinin etki derecesini belirleyen bağlantı kazançlarına, toplayıcının eşik değerine ve nöron aktivasyon fonksiyonunun tipine bağlı olmaktadır. Burada w_i ile gösterilen kazançlar ağırlık olarak, θ değeri eşik olarak, Ψ fonksiyonu da sinir hücresi aktivasyon fonksiyonu olarak isimlendirilmektedir. Denklem (4.1) ve (4.2)'den de görülebileceği üzere eşik değerinin girdilerden bağımsız olmasından dolayı bütün girdilerin sıfır olduğu durumlarda sinir hücresi çıkışında $\Psi(0)$ yerine $\Psi(\theta)$ değeri gözlenir ki bu da, belirtilen şartlar altında sinir hücresi çıkışının sıfır olması zorunluluğunu ortadan kaldırır. Eşik değerinin kullanımı, pratikte +1 ya da -1 değerine sahip bir girdinin θ ağırlığına sahip bir bağlantı ile toplayıcıya girdiği şeklinde ele alınır.

4.1.3.2 Aktivasyon Fonksiyonu Tipleri

Kullanılan YSA modeline göre çıktı değerinin elde edilmesi için uygulanan doğrusal olmayan fonksiyon Şekil 4.5'de görüldüğü gibi kesin sınırlı, eşik mantık elemanı ve sigmoid düzende olabilmektedir.

Kullanılan modele bağlı olarak bu şekilde çıktı değeri hesaplanan bir düğüm, ağıın içerisinde bağlantılı olduğu düğümlere çıktısını gönderecektir. Bir YSA'nın öğrenim süreci, girdi katmanındaki düğümlere uygulanan girdi değerlerine göre, kabul edilebilir düzeydeki doğru çıktıyı hesaplayacak ağırlık matrisinin oluşturulmasıdır. Bağlantı ağırlıklarının nasıl

düzenleneceği YSA araştırmalarının temel konusu olup, bu düzenleme *Uyum Gösterme (Adaptasyon)* veya *Öğrenme* olarak isimlendirilmektedir. Uyum gösterebilme yeteneği ve sürekli öğrenim, eğitim verilerinin kısıtlı olduğu ve yeni konuşmacılar, yeni kelimeler, yeni şiveler, yeni tümceler ve yeni çevrenin sürekli eklendiği bir sahada en önemli koşuldur. Uyum gösterme aynı zamanda işlem elemanlarının özelliklerinde küçük değişikliklerin giderilebilmesi için belirli bir düzeye kadar sisteme güç kazandırmaktadır.



Şekil 4.5 Çeşitli YSA modellerinde kullanılan eşik fonksiyonları (Akpınar,1993)

Bir düğüm birden fazla düğüm tarafından etkilendiği için, etkileyici düğümlerdeki verilerin yetersiz veya bozuk olması, sistemin tüm performansını etkilemeyecektir. Bu durum YSA'nın klasik bilgi işlem uygulamalarına göre, yetersiz veya bozuk verilerle çalışma sırasında ortaya çıkabilecek hatalara karşı ne kadar esnek olduğunun bir göstergesidir.

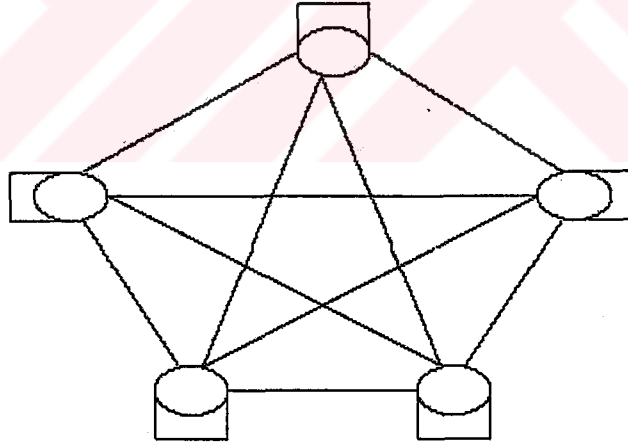
4.2 Yapay Sinir Ağları Mimarisi

4.2.1 Tam İlişkili ve Hiyerarşik Ağlar

Bir sinir ağı belirli bir yapıda ilişkilendirilmiş sinir hücreleri topluluğudur. Bir ağın hesaplama gücü bu ilişkilerle belirlenmektedir. İlişkiler, nöronların çıkışlarını diğerlerinin girişine birleştirmektedir ve bunların da “gücü”, ağırlık katsayıları veya sadece ağırlıkla verilmektedir. Buradan bir sinir hücresinin davranışının diğerine etkisi bu iki sinir hücresi arasındaki ilişkinin ağırlığı yardımı ile olduğu görülmektedir. Bundan dolayı nöron sistemleri çoğu zaman ilişkisel sistemler olarak da adlandırılır (Haykin, 1999).

Yapay sinir ağındaki ilişkilerin düzeni, onun mimarisini teşkil etmektedir. Genelde ilişkilere göre iki sınıf mimarinin mevcut olduğu söylenebilir: (1) Tam İlişkili ve (2) Hiyerarşik Ağlar.

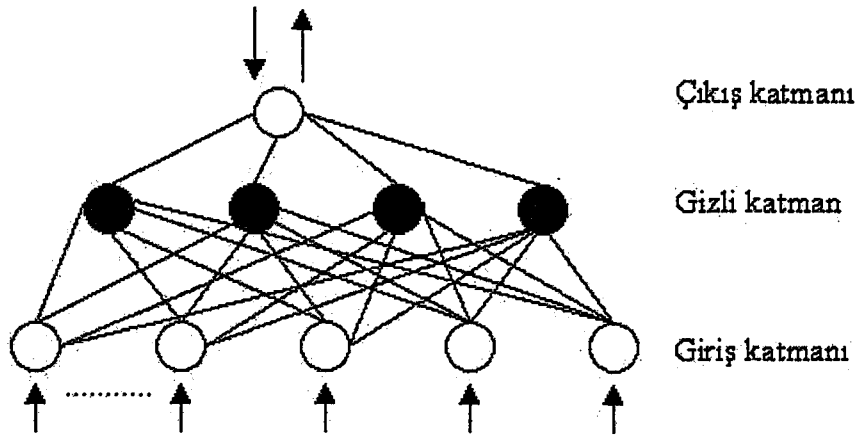
Tam ilişkili konfigürasyonda tüm elemanlar birbiri ile birleştirilmiştir. Yapay sinir ağında bu, her bir sinir hücresi çıkışının diğer tüm sinir hücrelerinin girişleri ile ilişkilendirilmesi demektir. Bundan başka her bir sinir hücresi kendi girişi ile de ilişkilendirilmiştir (kendi kendine ilişki). N sinir hücresi olan böyle bir ağda ilişkilerin sayısı $N \times N$ olacaktır. 5 nörondan oluşan tam ilişkili nöron ağı Şekil 4.6’da gösterilmektedir [6].



Şekil 4.6 Tam ilişkili ağlar [6]

Hiyerarşik yapıda ayrı ayrı sinir hücresi grupları katlara veya seviyelere yerleştirilmiştir. Her bir kattaki sinir hücreleri, önceki ve sonraki katlardaki sinir hücreleriyle ilişkilendirilmiştir. Burada giriş ve çıkış katlarını özel olarak ayırmak gerekmektedir. Giriş katındaki hücreler dış dünyadan sinyalleri alarak diğer katlara iletir. Buna göre de o kattaki sinir hücrelerinin sayısı giriş değişkenlerinin sayısına eşittir. Dış kattaki hücrelerin çıkışları dış dünyaya iletilir. Buradaki sinir hücrelerinin sayısı ise çıkış fonksiyonlarının sayısına eşit olmaktadır. Giriş katı

ile çıkış katı arasında kalan katlara gizli kat (veya katman) denmektedir, çünkü bu kat direk olarak dış dünyaya bağlı değildir.



Şekil 4.7 Hiyerarşik yapay sinir ağı (Geva ve Sitte, 1992; Haykin, 1999, Hush ve Horne, 1993; Lippmann, 1987)

Sinir ağında sinyallerin iletilmesi yönüne göre iki tür ağ mevcuttur: Geri beslemeli ve ileri beslemeli ağlar. İleri beslemeli ağlarda sinyalin yönü yalnız girişten çıkışa doğru yönlendirilmektedir. Geri beslemeli ağlarda ise bundan başka bir katmandaki sinir hücresi kendi kendinden ve katmandaki diğer hücrelerden veya diğer katmandaki hücrelerden sinyal alabilmektedir. Böylece geri beslemeli ağda bir sinir hücresinin çıkış sinyali diğeri yalnızca o andaki, o nöronun girişleri ve bu girişlerin ağırlıkları ile değil, ayrıca bazı nöronların bir önceki süre zarfındaki çıkış değerleri ile belirlenmektedir (Hush ve Horne, 1993).

4.2.2 İki Katmanlı Yapay Sinir Ağları

İki katmanlı yapay sinir ağı öylesine bir hiyerarşik ve ileri beslemeli ağdır bu ağın bir tane giriş katmanı ve bir tane de çıkış katmanı mevcuttur. Giriş katmanı sinyallerin paylaşılması rolünü üstlenir [6].

Bu sinir hücresinden çıkış sinyalleri topluluğu, ağın çıkış vektörü y 'yi teşkil etsin. Bu vektörün boyutu (m) , ağın çıkışlarının sayısına eşit olsun. Benzer şekilde m boyutlu giriş vektörü ve boyutu $n \times m$ olan w ağırlık matrisi de verilmiş olsun. Bu durumda ağın çıkışı ile girişi arasındaki bağılılık aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$y = x \times w$$

Böyle bir ağı aktifleştirmek için lineer fonksiyon kullandığında ona yeni katmanlar eklendikçe, hesaplama gücünün artmadığı görülür. Örneğin yapay sinir ağında, ağırlık matrisleri w_1 ve w_2 olan iki katman olsun. O zaman her bir katman için çıkış:

$$y_1 = x \times w_1 \text{ ve } y_2 = y_1 \times w_2 = x \times w_1 \times w_2 = x.w$$

olmaktadır. Burada $w = w_1 \times w_2$ 'dir. Böylece lineer aktifleşme fonksiyonu kullanan, çok katmanlı ağı ona denk olan iki katmanlı ağa dönüştürmek mümkündür.

4.2.3 Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağında katmanların sayısının artırılması, onun hesaplama gücünün, yani daha karmaşık fonksiyonlar kurma imkanının artmasını sağlar.

Gizli katmanı olmayan, yani iki katmanlı ağ, bir çok problemi çözememektedir.

4.3 Yapay Sinir Ağı Modelleri

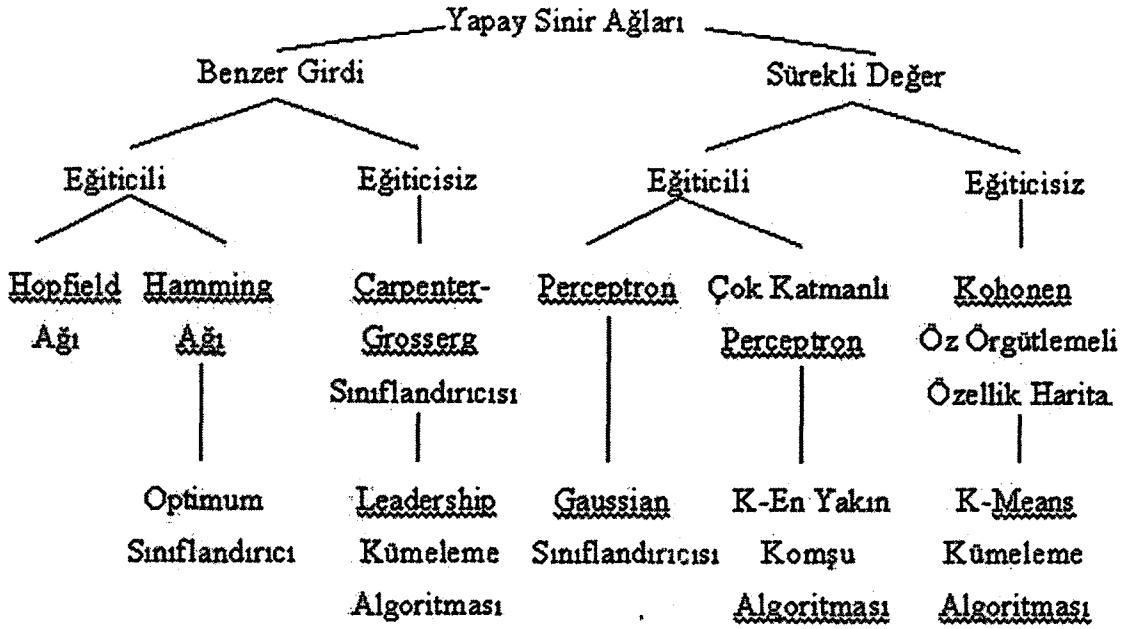
4.3.1 Yapay Sinir Ağı Modellerinin Sınıflandırılması

Genel olarak YSA modellerini (Zurada, 1992),

- Ağın yapısına,
- İleri beslemeli oluşuna,
- Geri beslemeli oluşuna,
- Ağırlık matrislerinin simetrik veya asimetrik oluşuna,
- Ağırlık matrisi değerlerinin sabit veya değişken oluşuna,
- Ağda yer alan düğümlerin özelliklerine,
- Eşik fonksiyonunun deterministik veya stokastik oluşuna,
- Düğüme sadece benzer veya sürekli değerlerin uygulanabilmesine,
- Eğitim veya öğrenme kurallarına

göre sınıflandırmak mümkündür.

Zamandan bağımsız olan örüntülerin sınıflandırılmasında kullanılabilen altı önemli yapay sinir ağının aile ağacı Şekil 4.8'de sunulmuştur. Bu ağaç ilk olarak benzer veya sürekli girdi değerleri ile çalışanlar olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bu ayrım kendi içerisinde eğitimin eğiticili veya eğitici-siz gerçekleştirilmesine göre tekrar ikiye ayrılmıştır.



Şekil 4.8 Çeşitli YSA modelleri (Akpınar,1993)

Hopfield yapay sinir ağı ve perceptron gibi eğitici eğitilen ağlar, çağrışimli bellek veya sınırlandırıcı olarak kullanılmaktadır. Eğitici eğitimde her girdi vektörü için, çıktının ne olacağı baştan sisteme tanımlanmaktadır. Eğitim sırasında verilen çıktı değerlerine göre ağ, fiili çıktıyı olması gereken çıktı ile karşılaştırır ve aradaki farkı gidermek için ağırlıklar matrisi elamanlarının değerlerini değiştirir. Ancak bazı araştırmacılar, bir biyolojik sistem içerisinde uygulanan girdilere karşı gelen çıktının ne olacağı baştan bilinmeyeceği için, bu şekildeki eğitici eğitimin biyolojik kurallara uyumlu olmadığını savunmuş, kendi modellerini bilinen biyolojik kurallarla ters düşmeyecek şekilde kısıtlamışlardır.

Şekil 4.8'de YSA modellerinin altında yer alan klasik algoritmalar, tanımlanan bu ağlarla benzer veya aynı işlevleri yerine getirmektedir. Örneğin Hamming Ağı, tesadüfi olarak verileri bozulmuş benzer örüntüler için, optimum sınıflandırıcı klasik algoritmasının YSA uyarlamasıdır. Aynı şekilde ağırlık değerlerinin ve kullanılan eşik fonksiyonlarının uygun olarak seçilmesi halinde, Perceptron/Gaussian sınıflandırıcısının işlevlerini gerçekleştirebilmektedir. Diğer durumlarda ise YSA algoritmaları, klasik algoritmalarından farklılık göstermektedir. Örneğin perceptron yakınsama süreci ile eğitilen perceptronlar, Gaussian sınıflandırıcısından farklı davranış göstermektedir. Çizelge 4.1'de yeni ağların geliştirilmesine temel teşkil eden ve/veya günümüzde halen çeşitli uygulama alanlarında etkin bir şekilde kullanılan on üç YSA sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Geliştirilen yapay sinir ağı modelleri ve özellikleri (Cılız, 1995)

YSA Adı	Geliştirilenler	İlk Uygulamalar	Sınırları	Yorumlar
Adaptive Resonance Theory	Gail Carpenter Stephen Grossberg	Şekil tanıma, radar veya sonar çıktılarının tanımlanması	Bozuk ve eksik verilere karşı duyarlı	Çok karmaşık
Avalanche	Stephen Grossberg	Sürekli söz tanıma, robot kollarına motor komutları öğretiminde	Hareket dizilerinin aynen tekrarlanması, hızı değiştirmek veya yeni hareket eklemek için basit bir yöntem yok	YSA sınıfı, bütün bu işleri yapabilen tek bir ağı bulunmamakta
Backpropagation (Hata Geriye Yayıma)	Paul Werbos, David Parker David Rumelhart	Yazılı metinden söz sentezi, robot kollarının kontrolü, çeşitli işletme uygulamaları	Eğitici eğitim, girdi ve çıktı örnekleri çok sayıda olmalı	Günümüzde en yaygın kullanılan YSA, öğrenimi kolay, sonuçları etkin
Bidirectional	Bart Kasko	İçeriği adreslenebilir bellek	Düşük saklama yoğunluğu, bilginin düzgün kodlanmasını gerektirir	Öğrenimi en kolay ağı, eğitim için uygun
Boltzmann Makinası Cauchy Makinası	Jeffrey Hinton Terry Sejnowski John Hopkins Harold Szu	Sonar, radar ve görüntüler için şekil tanıma	Uzun eğitim süresi	Basit ağı modelleri
Brain State in a Box	James Anderson	Veri bankalarından bilgi çıkarımı	Bir adımda karar Verme	Parçalanmış girdileri tanıma

Cerbellatron	Andreas Pellionez David Mar James Albus	Robot kolları motor hareketlerinin kontrolü	Girdilerde karmaşık kontrollere gerek duymaktadır	Avalanche Ağı'na benzer. İstenen türden hareketler elde etmek için, farklı ağırlıklar ile bir çok komut dizisi birlikte kullanılabilir
Counter Propagation	Robert Hecht-Nielsen	Görüntü sıkıştırma, istatistik analiz	Çok sayıda düğüm ve bağlantı gereklidir	Hata geriye yayma ağları benzeri, daha basit, daha güçsüz
Hopfield	John Hopfield	Bozuk verilerden bilgi çıkarımı, karakter tanıma	Öğrenme yok, ağırlıklar baştan belirlenir	Geniş ölçüde tümleşik olarak gerçekleştirilebilir
Madaline	Bernard Widrow	Birden fazla Adaline Düğümünden meydana gelir. Uzak telefon görüşmelerinde yankının giderilmesi	Girdi ve çıktı değerleri arasında doğrusal ilişki varsayımına dayanır	Öğrenme kuralları oldukça güçlüdür
Neocognitron	Kunihiko Fukushima	El yazısı karakteri Tanıma	Çok sayıda düğüm ve bağlantı gerekir	Geliştirilen en karmaşık ağ, Kanji karakterlerini tanıyabilir
Perceptron	Frank Rosenblatt	Karakter tanıma	Kanji gibi karmaşık karakterleri tanıyamaz	Bilinen en eski YSA, günümüzde kullanımı yok

Self Organizing Maps-SOM	Teuvo Kohonen		Çok fazla eğitime gerek duyar	Sayısal aerodinamik akış hesaplamalarında birçok algoritmadan daha üstün
-------------------------------------	---------------	--	----------------------------------	---

4.3.2 McCulloch-Pitts Modeli

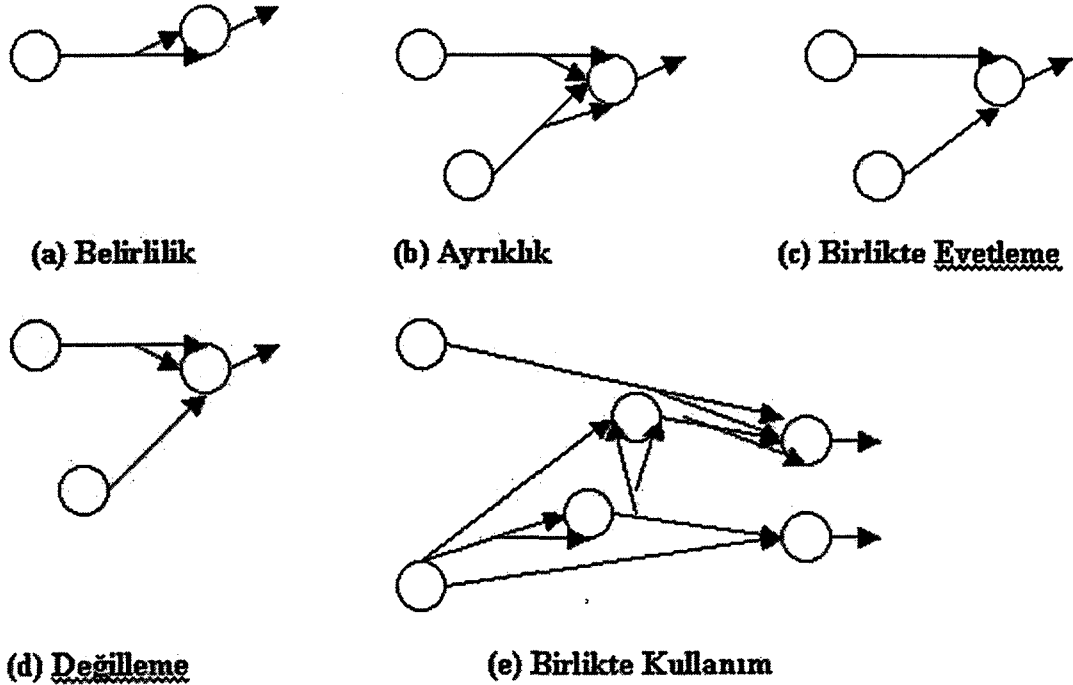
Biyolojik sinir hücrelerinde sinirsel akımın nasıl aktarıldığının ve sinir hücrelerinin birbirlerini nasıl etkilediklerinin görülmesinden sonra, akla gelecek ilk soru, bu kadar basit bir mekanizmanın çeşitli şekillerde birleşerek, beyne üstün yeteneklerini nasıl kazandırdığı olacaktır.

1943 yılında McCulloch ve Pitts tarafından gerçekleştirilen çalışmalar, bu soruya cevap bulmayı amaçlayan ilk önemli girişim sayılmaktadır. Bu çalışmada türevli çıktı veren yapay sinir hücrelerinden oluşturulan bir ağı, hesaplama yeteneğine sahip olduğu gösterilmiştir.

McCulloch-Pitts Kuramı beş temel varsayım üzerine kurulmuştur (Lapedes ve Farber, 1988);

1. Bir sinir hücresinin faaliyetinde, hep veya hiç ilkesi geçerlidir,
2. Bir sonraki sinir hücresinin uyarılması için, birden fazla sabit sayıdaki sinir hücresinin belirli bir zaman dilimi içerisinde uyarılması gerekmektedir,
3. Sinir sistemi içerisindeki tek belirgin gecikme sinaptik gecikmedir,
4. Her hangi bir engelleyici sinapsın faaliyeti, o anda sinir hücresinin uyarılmasını kesinlikle engeller,
5. Ağı iç bağlantılarının yapısı zamana bağlı olarak değişmez,

Birinci varsayım sinir hücresi faaliyetlerini hep veya hiç işlemi olarak belirttiği için, sinir hücreleri 0,1 veya -1,+1 değerleri ile gösterilebilecek ikil hesaplama düzenine sahiptir. Önermeler Mantığı simgeleri kullanılarak $N_i(t)$ ile, i. sinir hücresinin t. zamanda uyarılacağı, $-N_i(t)$ ile ise uyarılmayacağı gösterildiğinde, Şekil 4.9'da yer alan beş basit ağı önermeler mantığı cümleleri ile ifade edilmesi mümkün olacaktır. Şekilde yer alan büyük daireler sinir hücresi gövdelerini, içi dolu küçük daireler uyarıcı bağlantıları, içi boş küçük daireler ise engelleyici uyarıları temsil etmektedir.



Şekil 4.9 McCulloch-Pitts Modelinde ağ yapılarının önermeler mantığı cümleleri ile ifade edilmesi (Simpson, 1990)

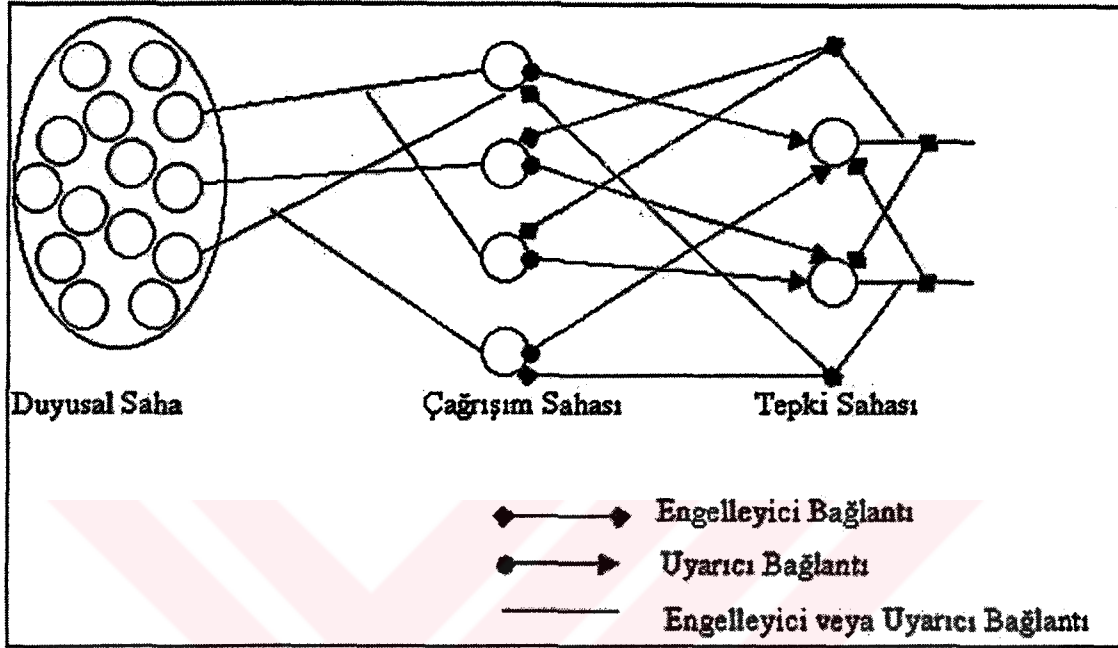
Şekil 4.9 (e)'de yer alan ağ, ilk dört ağın tanımlanmasında kullanılan basit önermeler mantığı cümlelerinin kombinasyonu ile ifade edilebilmektedir. Geri besleme bağlantılarına sahip olmayan her hangi bir ağın belirlilik, ayrıklık ("veya" işlemcisi), birlikte evetleme ("ve" işlemcisi), değilleme olarak isimlendirilen dört basit önermeler mantığı cümlesinin kombinasyonu ile tanımlanabilmesi, McCulloch-Pitts Kuramı'nın en güçlü yanlarından birisini oluşturmaktadır. Daha sonraki bulgulara göre McCulloch-Pitts Kuramı beyin faaliyetlerinin doğru bir modeli olmamakla birlikte, çalışmanın önemi her zaman vurgulanmış, kuram modern bilgisayar biliminin gelişmesinde etkileri olan çeşitli kişilerin düşüncelerine yansımıştır. Anderson ve Rosenfeld'in işaret ettiği diğer bir nokta, sinir hücreleri basit cihazlar olmakla birlikte, uygun bir şekilde birleştirildiğinde ve sinir sistemi içine gömüldüğünde büyük hesaplama gücünü gerçekleştirebilecekleri şeklindedir.

4.3.3 Perceptron Ağı

1950'li yılların sonlarında Cornell Üniversitesi'nden psikolog Frank Rosenblatt'ın Perceptron olarak bilinen çalışması, yapay sinir ağlarının gelişiminde ve aynı zamanda duraklamasında önemli bir yere sahip olmuştur (Vellido vd, 1999).

Rosenblatt (), biyolojik sinir ağlarındaki bağlantıların tesadüfi olarak oluştuğunu ileri sürmüş, bu düşüncenin bir sonucu olarak McCulloch-Pitts Modeli gibi sembolik mantığın kullanıldığı

önceki analizlerin aksine, en uygun aracın Olasılık Teorisi olacağını belirtmiştir. Bu düşüncenin paralelinde herhangi bir şekilde tesadüfi olarak birbirine bağlanan ağların genel özelliklerinin tanımlanabilmesi için. İstatistiksel Ayrılabilirlik ve Perceptron Öğrenme Kuramını geliştirmiştir.



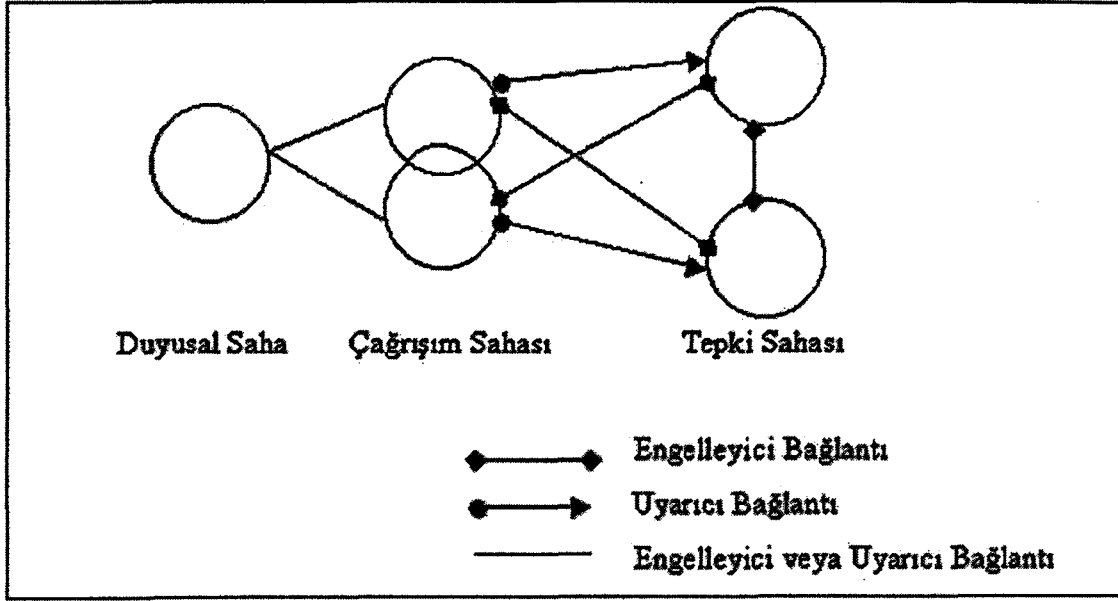
Şekil 4.10 Photoperceptron yönteminin grafik gösterimi (Zurada, 1992)

Şekil 4.10'da örneği görülen Photoperceptron, optik örüntülere tepki veren bir yöntemdir. Bu cihazda ışık, retina yapısı üzerindeki duyuşal noktalara vurmakta, her duyuşal nokta gelen ışığa var veya yok şeklinde tepki göstermektedir. Bir duyuşal noktadan gelen tepkiler çağrışım katmanındaki çağrışım düğümlerine aktarılmakta, her çağrışım düğümü, çağrışım düğümlerinin kaynak kümesi olan duyuşal noktaların tesadüfi bir kümesine bağlanmaktadır. Bu bağlantılar uyarıcı veya engelleyici bir işlev yerine getirmekte ve muhtemel değerleri +1, 0, -1 olabilmektedir. Bir uyarımın örüntüsü retinada belirlediğinde, çağrışım düğümü girdilerinin belirli bir eşik değerini aşması halinde sırasıyla,

- Çağrışım birimi aktif hale getirilmekte,
- Bir çıktı üretilmekte,
- Elde edilen bu çıktı bir sonraki katmanda yer alan düğümlere aktarılmaktadır.

Benzer şekilde, çağrışım düğümleri de tepki katmanındaki tepki düğümlerine bağlantı örüntüsü yine tesadüfi olacak şekilde bağlanmıştır. Ancak tepki katmanından çağrışım

katmanına engelleyici geri besleme bağlantıları ilave edilmiş ve tepki birimleri arasında engelleyici bağlantılar oluşturulmuştur.



Şekil 4.11 Perceptron yönteminin venn diyagramları ile gösterimi (Akpınar, 1993)

Şekil 4.11'de venn diyagramları kullanılarak iki tepki düğümünden meydana gelen basit bir perceptronun tüm bağlantı şeması görülmektedir. Bu grafik, her tepki düğümünün kendi kaynak kümesinin tamamlayıcısı olan çağrışım düğümlerini ve her tepki düğümünün diğerlerini engellediğini göstermektedir. Bu faktörler retinada beliren her uyarım örüntüsü için bir tek kazanan tepki düğümünün oluşmasına yardımcı olmaktadır. Tepki düğümleri, çağrışım düğümlerinde gerçekleştirilene benzeyen bir şekilde tepki göstermektedir. Tepki düğümü girdileri toplamının, belirli bir eşik değerini aşması halinde çıktı değeri +1, aksi halde -1 olmaktadır.

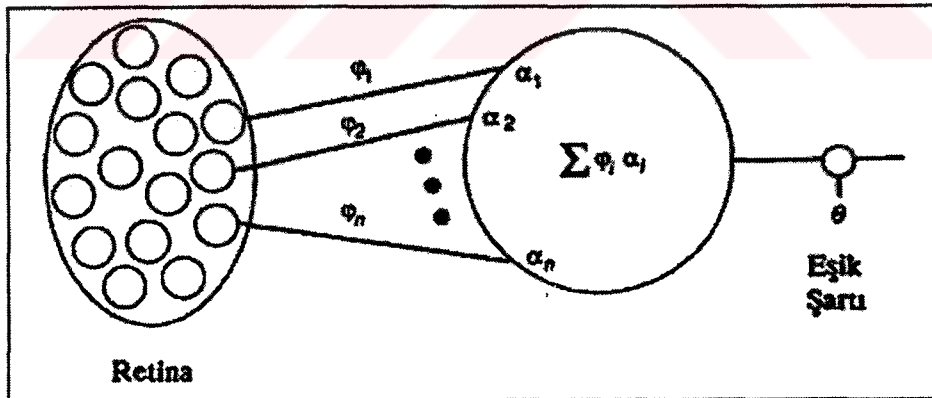
Perceptron ancak belirli bir eğitim sürecinden geçtikten sonra, farklı örüntüleri birbirinden ayırt edebilme yeteneğini kazandığı için öğrenen bir yöntemdir. Verilen bir örüntü için perceptronun doğru tepkilerine katılan veya katılmayan çağrışım düğümlerine bağlı olarak, çağrışım düğümlerinin çıktısı arttığı veya azaldığı için, öğrenme kuvvetlendirici bir işlemi gerçekleştirmektedir. Retinaya bir örüntü uygulanmakta ve bir tepki düğümü aktif hale gelinceye kadar, katmanlar arasında uyarım yayılmaktadır. Doğru tepki düğümünün aktif olması halinde, işleme katılan çağrışım düğümünün çıktı değeri artırılmakta, yanlış bir tepki düğümünün aktif olması halinde ise çıktı değeri azaltılmaktadır (Rumelhart ve McClelland, 1986).

Rosenblatt'ın bu çalışması “Perceptron Yakınsama Kuramı” olarak bilinen önemli bir sonucun ispatını sağlamıştır. Kuram iki farklı sınıfın farklı örüntülerini öğrenen tek bir tepki düğümlü perceptron için ispatlanmıştır. Sınıflandırma perceptron tarafından öğrenilebiliyorsa, anlatılan süreç sonlu sayıdaki eğitim dönemlerinin sonucunda, perceptronun öğrenebileceğini garanti etmektedir (Geva ve Sitte, 1992).

Sistemdeki tepki düğümlerinin sayısına göre, bu veya buna benzeyen bir sistem retinada beliren bir örüntüyü, yeterince birbirine benzeyen örüntüler aynı tepki düğümünü uyaracak şekilde sınıflandırmada kullanılabilir.

Perceptron ve xor Problemi

Minsky ve Papert perceptronun sadece doğrusal ayrılabilir örüntüleri sınıflandırabildiğini, buna karşılık bir çok problemin doğrusal ayrılabilir olmadığını ve bu durumun da perceptron için önemli sınırlamalara neden olduğunu özellikle vurgulamışlardır. Minsky ve Papert tarafından önerilen perceptron yapısı, Rosenblatt'ın önerdiği olasılık yaklaşımını bir kenara iterek, “Yükleme Hesabı” fikrini temel almıştır. Şekil 4.12’de görülen basit perceptron yapısı, genel işlem elemanının oldukça benzeridir. Burada sadece ilave olarak çıktıda bir eşik şartı bulunmakta, net girdi değerinin eşik değerinden büyük olması halinde, cihazın çıktısı +1, aksi halde 0 olmaktadır.



Şekil 4.12 Mantıksal bağlantıların perceptron yapısında gösterimi (Akpınar, 1993)

Her biri retinada bir noktayı temsil eden $\Phi = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n\}$ kümesi içerisinde, retinada i . nokta var durumunda ise $\varphi_i = 1$, aksi halde $\varphi_i = 0$ değerini almaktadır. Girdi elemanlarının her birine $\{\alpha\varphi_1, \alpha\varphi_2, \dots, \alpha\varphi_n\}$ kümesinden bir sayı atandığında θ eşik değeri olmak üzere, $\sum_n \alpha_{\varphi_n} \varphi_n > \theta$ ise ψ çıktısı 1 değerini almaktadır.

Önermeler mantığı içerisinde x_1 , ve x_2 ile gösterilen iki basit önerme, \wedge (ve), \vee (veya), xor gibi mantık işlemcileri kullanılarak bileşik önerme haline getirilebilir. Mantıkta doğruluk tablosu olarak isimlendirilen ve bazı mantık işlemcileri için Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi, mantık işlemcilerinin kullanımı ile elde edilen bileşik önermelerin doğru ya da yanlış olarak yorumlanması, kullanılan mantık işlemcisine bağlıdır. Doğru 1 ile yanlış 0 ile gösterildiğinde, örneğin $x_1 \wedge x_2$ bileşik önermesinin doğru olabilmesi için, her iki basit önermenin de doğru olması gerekmektedir.

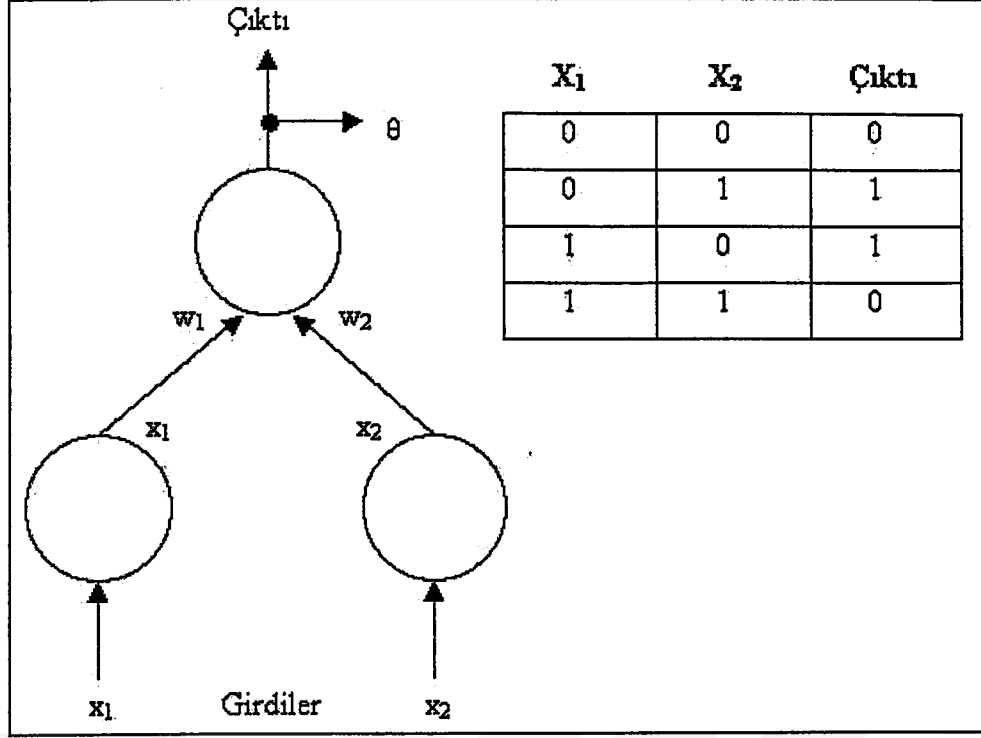
Çizelge 4.2 Bazı mantık işlemcileri için doğruluk tablosu (Simpson, 1990)

X_1	X_2	$X_1 \wedge X_2$	$X_1 \vee X_2$	$X_1 \text{ xor } X_2$
1	1	1	1	0
1	0	0	1	1
0	1	0	1	1
0	0	0	0	0

Tanımlanan x_1 ve x_2 değerleri için aynı tepki düğümünü uyararak doğru sonucu verecek w_1 , w_2 ağırlık değerlerinin ne olacağı sorunun özünü oluşturmaktadır. Perceptron tarafından çözümlenemeyen problemler içerisinde en basitlerinden birisi, xor mantık işlemcisi ile yapılan işlemlerin sınıflandırılmamasıdır. Şekil 4.13’deki ağ yapısında çıktı düğümünün çıktı fonksiyonu, θ eşik değerini göstermek üzere,

$$f(\text{net}) = \begin{cases} \text{net} \geq \theta \Rightarrow 1 \\ \text{net} < \theta \Rightarrow 0 \end{cases}$$

değerlerini alan ve “Doğrusal Eşik Düğümü” olarak isimlendirilen bir eşik fonksiyonudur. Şekil 4.13’te 0 veya 1 değerlerini alabilen, x_1 ve x_2 gibi iki düğüme sahip iki katmanlı ağ yer almaktadır. x_1 ve x_2 , düğümleri girdilerinin her ikisinin de 0 veya 1 değerini alması halinde, xor işlemcisi kullanıldığında çıktı değerinin yanlış olması gerekmektedir.



Şekil 4.13 xor mantık işlemcisinin perceptron yapısında ifade edilmesi (Jondarr, 1996)

Çıktı düğümünün faaliyeti,

$$\text{net} = w_1 \times x_1 + w_2 \times x_2$$

eşitliğinden hesaplanmakta ve $f(\text{net})$ çıktı değeri,

$$f(\text{net}) = \begin{cases} w_1 \times x_1 + w_2 \times x_2 \geq \theta \Rightarrow 1 \\ w_1 \times x_1 + w_2 \times x_2 < \theta \Rightarrow 0 \end{cases}$$

olmaktadır. Problem her girdi değeri çifti için ilgili çıktı değerini bulabilecek ağırlık değerlerinin seçilmesidir. Ancak xor problemini aynı anda gerçekleyecek ağırlık değerlerinin bulunabilmesi mümkün değildir.

4.3.4 Çok Katmanlı Perceptron

Bu tip sinir ağları ilk defa M. Minsky ve S. Papert tarafından 1969 yılında tanıtılmıştır. Bir önceki bölümde anlatılan perceptronun daha gelişmiş bir versiyonudur. Burada girdi ve çıktı kademeleri arasında bir de gizli sinir kademesi vardır. Gelişmiş yapısı sayesinde bu tip sinir ağları xor problemini çözebilmektedir.

Buradaki gizli katmanın fonksiyonu, girdi vektörleri ile sinir ağının çıktısı arasında ilişki kurmaktır. Bu ek kademe sayesinde sinir ağı özellikle girdi değişkenlerinin çok olduğu

durumlarda, istatistiki bilgilerin çıkarımı konusunda kabiliyet kazanmaktadır (Kuo ve Cohen, 1998).

Girdi katmanındaki sinir hücreleri bir sonraki kademedeki sinir hücreleri için girdi sinyali oluşturmaktadırlar. Çıktı katmanındaki sinir hücrelerine ait çıktı ise yapay sinir ağının girdi katmanındaki değerlere karşı ürettiği nihai cevabı oluşturmaktadır.

Girdi katmanında üç tane sinir hücresi, ara katmandaki iki tabakanın ilkinde iki tane, ikincisinde üç tane sinir hücresi ve nihayet çıktı katmanında üç tane çıktı değeri olan sinir ağına basitçe $3 \times 2 \times 3 \times 3$ ' lük bir sinir ağı denir (Parlos vd., 1994).

4.3.5 Stokastik Yapay Sinir Ağları

Gerçek hayatta, gerçek sistemleri etkileyen tüm faktörleri dikkate almak zor olduğundan, böyle sistemlere stokastik sistemler gibi bakılır (Stokastik Yöntem).

Stokastik yapay sinir ağının en yaygın olanı Boltzman makinesi olarak adlanan ağıdır. Bu ağda ağırlık matrisi simetriktir. Boltzman makinesinde nöronların aktifleşmesi stokastiktir. Bu belirli giriş sinyalleri verildiğinde nöronun çıkış sinyali seviyesini direk belirleyen fonksiyonun yerine, nöronun çalışma ihtimalini belirleyen bir ifadenin söz konusu olduğunu göstermektedir [6].

4.3.6 Hatayı Geri Yayma Ağı

Karmaşık örüntülerin sınıflandırılmasında kullanılan etkin YSA modellerinden birisi, ilk olarak Werbos tarafından düzenlenen, daha sonra Parker, Rummelhart ve McClelland tarafından geliştirilen hatayı geri yayma ağıdır (Rumelhart ve McClelland, 1986).

Yayma ve uyum gösterme olmak üzere iki aşamada işlemleri gerçekleştiren hatayı geriye yayma ağı (HGYA), katmanlar arasında tam bir bağlantının bulunduğu çok katmanlı, ileri beslemeli ve eğiticili olarak eğitilen bir YSA modelidir. Bu model içerisinde girdi, gizli ve çıktı olmak üzere üç katman bulunmakla birlikte, problemin özelliklerine göre gizli katman sayısını artırabilmek mümkündür.

Geri besleme bağlantılarının bulunmadığı bu modelde, bir katmandan bir başka katmana, aradaki katmanı atlayarak geçebilmek mümkün değildir. Bir girdi örüntüsü ağın ilk katmanında yer alan düğümlere uygulandığında, en üst katman olan çıktı katmanına erişilinceye kadar, bu örüntü üzerinde çeşitli işlemler gerçekleştirilir. Bu işlemlerin sonucunda elde edilen fiili çıktı, olması gereken çıktı ile karşılaştırılır. Fiili ve olması gereken değerler arasındaki fark, her çıktı düğümü için bir hata sinyali olarak hesaplanır. Hesaplanan hata

sinyalleri, her çıktı düğümüne karşı gelen ara katmandaki düğümlere aktarılır. Böylece ara katmandaki düğümlerin her biri toplam hatanın sadece hesaplanan bir kısmını içerir. Bu süreç her katmandaki düğümler toplam hatanın belirli bir kısmını içerecek şekilde girdi katmanına kadar tekrarlanır. Elde edilen hata sinyalleri temel alınarak, bağlantı ağırlıkları her düğümde yeniden düzenlenir. Bu düzenleme tüm örüntülerin kodlanabileceği bir duruma doğru ağın yakınsamasını sağlar. Girdileri ve çıktıları arasında işlevsel bir ilişkiyi hesaplayabilen yapay sinir ağıları “haritalama ağı” olarak isimlendirilmektedir.

Örneğin ağı öğrenmesine yetecek kez, girdi olarak ilgili düğümlere iki sayı uygulandığında ve bu girdilerin olması gereken çıktı değeri olarak bu sayıların toplamı tanımlandığında, ağ bu işlemi tanıyacak ve eğitim sürecinin sonucunda verilen keyfi iki sayıyı toplamayı öğrenecektir. Böylesine basit bir işlem için yapay sinir ağlarına gerek olmamasına rağmen, yapılan işlemin temel amacı budur. Bu durumda kendi algoritmasını keşfeden bir YSA üstün düzeyde fayda sağlayacaktır.

Ağın eğitimindeki bu süreç ara katmanlardaki düğümlerin, farklı düğümlerin toplam girdi uzayının farklı özelliklerini tanıyacak şekilde, kendilerini organize etmelerini sağlamaktadır. Eğitim sonrasında bozuk veya tam olmayan rasgele girdi örüntüleri verildiğinde, ağın gizli katmanlarındaki düğümler, yeni girdi eğitim sırasında öğrenilen örüntüleri anımsatacak bir örüntüye sahipse, aktif bir çıktı ile cevap vermektedir. Ancak yeni girdi örüntüsü, gizli katman düğümlerinin eğitim sırasında tanıdığı özellikleri içermiyorsa, bu düğümler çıktıyı engelleyici bir eğilime sahip olmaktadır.

Sinyallerin ağ içerisinde farklı katmanlarda yayınımlı sırasında her üst katmanı temsil eden faaliyet örüntüsü, daha alt katmandaki düğümlerce tanınabilen özel bir örüntü gibi düşünülebilir. Üretilen çıktı örüntüsü bir özellik haritası gibi düşünülebilmekte, girdideki bir çok farklı özellik kombinasyonunun varlığı veya yokluğunun belirlenmesine gerek duymaktadır.

Birçok araştırmacı eğitim sırasında HGYA'nın düğümler arasında, eğitim verilerinin yeni örüntü sınıfları organize edecek şekilde, iç ilişkiler geliştirme eğiliminde olduğunu görmüşlerdir. Bu eğilim HGYA'daki tüm gizli katman düğümlerinin eğitimin bir sonucu olarak, girdi örüntülerinin belirli özellikleri ile çağrışımına girdiği varsayımına uzatılabilmektedir (Haykin, 1999).

4.4 Sinir Ağlarının Eğitilmesi ve Öğrenme

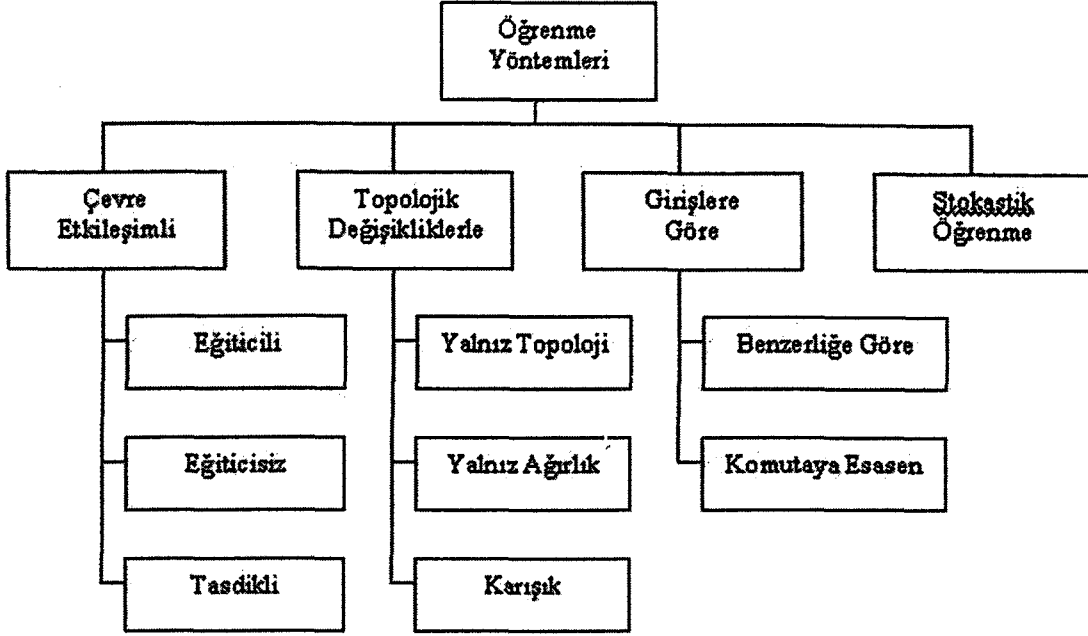
İnsan beyninde bilgi bir sinir hücresinden diğerine dendritler boyunca elektriksel sinyaller şeklinde iletilir. Eğer belli eşik değerleri arasında olan uyarıcı, bir hücre tarafından alınırsa bu sinir hücresi diğer bağlı bütün hücelere iletilmek üzere bir çıktı üretir. Bu şekilde gelen bilgi reaksiyonun meydana geldiği beyin bölgesine doğru iletilir.

İnsan beyninin nasıl öğrendiğini açıklamak oldukça zordur ve bunu tam olarak kimse bilememektedir. Varsayılanına göre öğrenme süreci içinde sinirler arasındaki bağlanma yapısı değişmektedir. Bu sayede belli uyarıcılar sadece belli sinir hücreleri tarafından kabul edilmektedir. Belli bir şeyi bir kere öğrenen hücreler arasında sağlam bir bağlantı oluşur. Bu bağlantı yapısı sayesinde bilgi tekrar hatırlanmaktadır. Ancak böyle bir yapının oluşmasına neden olmuş bir öğrenmeye ait bilgi uzun süre kullanılmazsa ilk başta sağlam olan sinirler arasındaki ilişki zayıflayacaktır. Bunun sonucunda da önceden öğrenilen bir bilgi daha sonra unutulabilmekte veya bulanık olarak hatırlanmaktadır [7].

Daha önce de bahsedildiği gibi yapay sinir ağları, beynin öğrenme yeteneğini simüle etmeye dayalı yapılardır. Fakat YSA'ları da sinir hücreleri arasındaki bağlantı şeklini, yani sinir ağının yapısı değişmezdir. Sinir hücrelerim birbirleriyle ilişkilendiren bağlayıcılar ağırlık değerleriyle karakterize edilir. Bu değerler $[-1, 1]$ arasında değişir.

Öğrenme süreci içinde bu ağırlık değerleri değiştirilerek sinir ağının öğrenmesi sağlanır. Ağırlık değeri, eğer bilgi bağlı sinirler arasında taşıyorsa artacak, bunun aksi durumlarda ise azalacaktır (Öztemel, 1996).

Farklı girdileri öğrenirken ağırlık değerleri dinamik bir şekilde değişerek bir denge değerine ulaşılır. Bu sayede her bir girdi arzulanan çıktıyı üretecektir. Fakat bu garanti edilmiş sonuçlar üretmez. Çünkü bu süreç içinde elimine edilemeyen bir hata unsuru vardır. Sinir ağı inşa edilirken amaca uygun sinir ağı seçilmeli ve yine amaca uygun öğrenme algoritması kullanılmalıdır.



Şekil 4.14 Yapay sinir ağlarının eğitim yöntemlerinin sınıflandırılması [6]

4.4.1 Eğitici Öğrenme

Burada arzulanan çıktı ve buna bizi götüren girdiler hakkında istatistiki veriler mevcuttur. Girdi çıktı çiftleri YSA'na tanıtılarak sinir ağı eğitime çalışılır. Bu amaçla belli "m" girdi takımını sinir ağına tanıtılır. Sinir ağı boyunca işleme tabi tutulan bu girdi değerine karşılık sinir ağınca üretilen cevap arzulananla karşılaştırılır, çıktı ile hedef arasındaki farka bağlı olarak bir hata değeri hesaplanır (Öztemel, 1996).

Bu hata değeri sinir ağının hayali bir eğitici tarafından kontrol edilebilen öğrenme durumuna işaret eder. Daha sonra bu hata değerine bağlı olarak sinirler arasındaki bağlantıların ağırlık değerleri güncellenir.

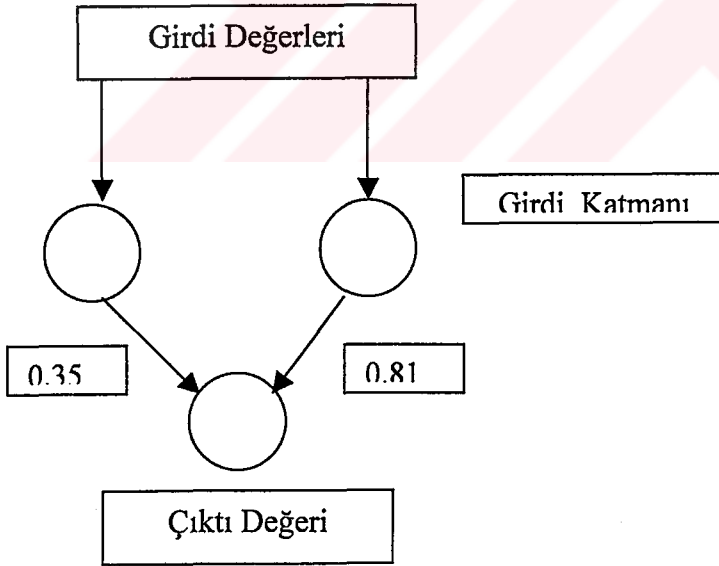
Bu güncelleme sırasında iki aynı teknik kullanılabilir. Birinci metotta sinir ağı içinde yer alan sinir hücrelerinin payına düşen hata kısmı hesaplanmadan ağırlıkların güncellemesi yapılır. Bu yöntemin nasıl işlediği perceptron üzerinde açıklanacaktır, İleri gidişli olarak adlandırılan bu yöntemin nasıl işlediği adım adım aşağıda verilmiştir (Dayhoff, 1990).

1. Sinir ağı içindeki ağırlık değerleri rasgele olarak $[-1, 1]$ aralığında olacak şekilde verilir,
2. İlk eğitim serisini oluşturan ikili sayı düzenindeki girdi değerleri sinir ağının girdi kademesindeki sinirlerine tanıtılır,
3. Her bir izleyen sinir hücresi aktiflenir,

4. Kendisine bağılı sinir hücrelerinin çıktı değerleri ile bağlantıyı sağlayan dendritlerin ağırlık değerleri çarpılır,
5. Bu değerler toplanır,
6. Toplam o sinir hücresine ait çıktı değerine ulaşmak için aktivasyon fonksiyonundan geçirilir,
7. Buraya kadar olan işlemler çıktı kademesine ulaşıncaya kadar tekrar edilir,
8. Hesaplanan çıktı değeri hedefle karşılaştırılır ve hata değeri hesaplanır,
9. Bütün ağırlık değerleri hata değerinin eski ağırlık değerlerine eklenmesiyle güncellenir,
10. 2. adıma geri dönlür,
11. Bu algoritma bütün çıktı desenlerinin kendilerine ait hedef desene uygun olana dek sürer.

Buna ait sayısal bir örnek aşağıda belirtilmektedir:

Kullanılan sinir ağı basitlik açısından aşağıda gösterildiği şekilde iki kademeli bir perceptrondur.



Öğrenilecek desenler

Girdi	Çıktı
i) 0 1	0
ii) 1 1	1

Çıktı sinirinin 1.girdisi	$0 \times 0.35 = 0$
Çıktı sinirinin 2.girdisi	$1 \times 0.81 = 0.81$
Girdilerin toplamı	$0 + 0.81 = 0.81$
Hata değerinin hesaplanması	$0 - 0.81 = -0.81$
1 ağırlığının değişim değeri	$0.25 \times 0 \times (-0.81) = 0$
2 ağırlığının değişim değeri	$0.25 \times 1 \times (-0.81) = -0.2025$
1 ağırlığının güncellenmesi	$0.35 + 0 = 0.35$ (değişim yok)
2 ağırlığının güncellenmesi	$0.81 + (-0.2025) = 0.6075$

Şimdi ikinci desen sinir ağına tanıtılır.

Çıktı sinirinin 1. girdisi	$1 \times 0.35 = 0.35$
Çıktı sinirinin 2. girdisi	$1 \times 0.6075 = 0.6075$
Girdilerin toplamı	$0.35 + 0.6075 = 0.9575$
Hata değerinin hesaplanması	$1 - 0.9575 = 0.0425$
1 ağırlığının değişim değeri	$0.25 \times 1 \times 0.0425 = 0.010625$
2 ağırlığının değişim değeri	$0.25 \times 1 \times 0.0425 = 0.010625$
1 ağırlığının güncellenmesi	$0.35 + 0.10625 = 0.360625$
2 ağırlığının güncellenmesi	$0.6075 + 0.010625 = 0.618125$

bu bir öğrenme adımıdır.

Şimdi her bir desene ait hata değerlerinin karelerinin toplanmasıyla sinir ağının hata değeri hesaplanabilir.

$$\text{Bu değer} = (-0.81)^2 + (0.0425)^2 = 0.657906$$

Buraya kadar olan süreç tekrar edildikçe bu hata değeri gittikçe küçülecektir. Bu süreç sinir ağının hata değerinin "0 (mükemmel)" veya "yaklaşık 0" olduğunda başarılı bir şekilde sonlandırılabilir.

Burada kullanılan aktivasyon fonksiyonu sınırlayıcı olarak adlandırılan bir fonksiyondur. Ayrıca kullanılan öğrenme algoritması ise "Hebbian Öğrenme Kuralıdır" (Smith, 1995).

4.4.2 Eğiticiisiz Öğrenme

Bu tip öğrenmede mevcut bir hedef çıktı değerleri yoktur. Bu tip öğrenmede, öğrenme süreci sonucunun ne olacağı önceden belirlenemez. Öğrenme süreci içinde sınırları birleştiren bağlantıların ağırlıkları verilen girdi değerlerine bağlı olarak belli bir aralık içinde düzenlenir. Burada amaç birbirlerine benzer birimleri belli değer aralıkları içinde gruplamaktır. Kendi kendine organizasyon bir eğiticiisiz öğrenme algoritmasıdır. Kendi kendine organizasyon biyolojik insan beynini simüle etme amacına ulaşmada en uygun öğrenme algoritmasıdır. Bilindiği üzere beynin korteks tabakası farklı bölgelere ayrılmıştır. Her bir bölge belli fonksiyonları yerine getirir. Sinir hücreleri gelen bilgiye göre kendilerini gruplar halinde organize eder. Bu gelen bilgiler tek bir sinir hücresi tarafından alınmakla kalmaz bu sinir hücresinin komşuluğundaki diğer sinir hücreleri de etkiler. Bu organizasyonun sonunda bir çeşit harita ortaya çıkar. Bu harita içinde benzer fonksiyonları yerine getiren birimler ağın haritasının belli alanları içinde temsil edilirler.

Girdi kademesindeki her bir sinir hücresi diğer tüm sinir hücreleriyle ilişkilidir. Nihai ağırlık matrisi girdi değerlerinin harita sınırlarına iletilmesi için kullanılır. Ek olarak harita üzerindeki her bir sinir hücresi diğerleriyle ilişki halindedir. Bu bağlantılar en yüksek aktivasyona sahip sinir hücresi komşuluğundaki hücreleri etkilemek için kullanılır, iki sinir hücresi arasındaki geri besleme miktarı genellikle Gauss fonksiyonu kullanılarak hesaplanmaktadır (Geva ve Sitte, 1992).

4.4.3 Tasdikli Öğrenme

Eğitici ve eğiticiisiz yöntemler arasında yer tutan tasdikli eğitimin temel prensibini tasdik etmektir. Eğer ağa giriş vektörü verildiğinde, ağın davranışı normal ise o zaman tasdik (+1) sinyali verilir, aksi durumda tasdik sinyali (0 veya -1) verilir. Son durumda ağın ağırlık katsayıları değerleri değiştirilir ki bu da tasdik sinyalini elde edinceye dek devam eder.

4.4.4 Topolojik Değişiklikli Öğrenme

Bu yöntemde ağda ilişkili ve ilişkisiz (serbest) nöronlar mevcuttur. Eğitim sürecinde serbest nöronlardan bazıları ağa eklenerek yeni ilişkiler oluşturabilirler. Bunların yardımı ile problemin çözümüne kavuşulur. Yöntem yenidir. Giriş konulan talep yönteminde bir örnek kümesi verilmekte ve bu küme ile eğitim yapılmaktadır.

4.4.5 Skolastik Öğrenme

Eğitici küme nöronların aktifleşme ihtimalinin amaçlı paylanmasıyla oluşmaktadır.

Eğitmenin amacı, elemanların çalışmasının cari ihtimaller paylanması arzu edilene en çok yakınlaştırılmasıdır.

4.4.6 Amaca Göre Öğrenme Prosedürü

Yapay sinir ağının hangi amaç için kullanılacağı, seçilecek öğrenme süreciyle yakından ilişkilidir. Aşağıda amaca göre en uygun öğrenme süreçleri listelenmiştir. (Dayhoff, 1990).

4.4.6.1 Yakınsama

Aşağıdaki şekilde tanımlanmış bir ilişki söz konusu olsun;

$$d = g(x) \quad (4.3)$$

(4.3) eşitliğinde x girdi vektörünü, d de skaler çıktı olsun. $g(x)$ fonksiyonun bilinmediği varsayalım. İstenen $(x_1, d_1), (x_2, d_2), \dots, (x_n, d_n)$ girdi çıktı çiftlerini kullanarak $g(\cdot)$ doğrusal olmayan fonksiyonun bir yakınsamasının YSA ile bulunmasıdır. Bahsedilen yakınsama problemi, x_i girdi vektörü, d_i arzulanan çıktı vektörü $M, 2, \dots, N$ olacak şekilde, eğitimci öğrenme prosedürü için mükemmel bir örnektir.

4.4.6.2 Bağdaştırma

Burada iki tip bağdaştırmadan bahsedilebilir; otomatik ve hetero bağdaştırma. Otomatik bağdaştırmada istenen vektör takımının sinir ağında ve bu vektörlerin ilgili sinir ağına tekrar tekrar tanıtılmasıyla depolanmasıdır. Daha sonra istenen ise, sinir ağında depolanmış orijinal desenlerin çarpıtılmış veya kısmen tanımlanmış bir versiyonun sinir ağına tanıtıldığında, sinir ağının bu belli deseni tanımasıdır.

Hetero bağdaştırmanın otomatik bağdaştırmadan farkı, keyfi olarak alınan girdi desen takımının diğer bir keyfi olarak alınan çıktı desen takımı ile eşleştirilmesidir. Otomatik bağdaştırma eğitimci öğrenme prosedürünü kullanırken, hetero bağdaştırma eğitimci öğrenme prosedürünü kullanır (Hecht-Nielsen, 1990).

4.4.6.3 Desen Tanıma

Burada amaç girdileri belli sayıdaki sınıflar içinde sınıflamaktır. Bu problemi çözmek için sinir ağı belli sınıflara ait olan girdi takımıyla eğitilir. Daha sonrada eğitim sırasında kullanılan desenle aynı popülasyona dahil fakat daha önceden görülmemiş yeni bir desen YSA'na girilir. Çimdi YSA'nın vazifesi yeni deseni doğru olarak sınıflandırmaktır. Burada tarif edilen desen tanıma, bir gözetmenli öğrenme problemidir. Desen tanıma YSA'nın

kullanılmasının en önemli avantajı bu sayede parametrik olmayan sınıflar arasında doğrusal olmayan karar aralıklarının yapılandırılabilir olmasıdır. Bu sayede çok karmaşık sınıflandırma problemlerinin çözümü sağlanabilir. Desen tanıma probleminde gözetimsiz öğrenmenin çok önemli bir rolü vardır. Bu rol özellikle uyarıcı desene ait bir ön bilginin olmadığı durumlarda bunların sınıflandırılması probleminde faydalıdır. Bu gibi bir durumda gözetimsiz öğrenme desen tanıma işleminden önce gelen kümeleme işleminin yapılması rolünü gerçekleştirir.

4.4.6.4 Öngörme

Öngörme veya tahmin etme, en temel ve yaygın amaçtır. Bu süreç belirli bir zaman dilimine ait sinyal işleme problemidir. Burada amaç mevcut geçmiş M takım örneklerin $X(n-1)$, $X(n-2)$, $X(n-m)$ (ki bunlar genellikle zaman içinde belli bir düzende dağılır) varlığı altında güncel örneğin $X(n)$ 'nin tahmin edilmesidir. Bu amaçla kullanılacak sinir ağının eğitimsiz öğrenme algoritmasını kullanacağı açıktır (Rumelhart ve McClelland, 1986).

4.4.6.5 Kontrol

Süreç kontrolü sinir ağlarının kullanıldığı diğer bir alandır. "Nörokontrol" terimi ilk defa Werbos tarafından türetilmiştir. Nörokontrolün ne olduğunu açıklamak için aşağıdaki gibi bilinmeyen ve doğrusal olmayan dinamik bir sistem tanımlanmış olsun.

$$\text{Fabrika, } \{u(t), y(t)\} \quad (4.4)$$

(4.4) eşitliğinde $u(t)$ kontrol girdisi $y(t)$ ise çıktı olsun. Yine aşağıdaki şekilde tanımlanmış bir referans model olduğu kabul edilsin.

$$\text{Ref.Model; } \{r(t), d(t)\} \quad (4.5)$$

(4.5)'de $r(t)$ referans girdisi, $d(t)$ ise arzulanan çıktıdır. Burada amaç bütün $t \geq 0$ için (t zaman değişkeni) öyle bir bağlı kontrol girdisi $u(t)$ bulunsun ki:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |d(t) - y(t)| = 0 \quad (4.6)$$

olsun. Bu durumda fabrika, referans alınan model tarafından belirlenen ve istenen hattı takip edecektir. Gösterilmiştir ki eğitimsiz öğrenmeyi kullanan adaptasyon yeteneğine sahip bir YSA bu amaç için kullanılabilir.

4.4.6 Sinyal Ayrımsama

Sinyal ayrımsama çeşitli istenmeyen unsurların, gürültünün varlığı altında hedeflenen sinyalin yerinin tespit edilmesidir. Radar veya sonar aletlerinin kullanıldığı ortamlarda objelerin yerlerinin tespit edilmesi iki faktör tarafından zorlaştırılmaktadır (Cybenko, 1989):

- Söz konusu hedef sinyalle bilinmeyen bir yönden gelmektedir,
- Sinyal bozucu unsurlara ait istatistikî bilgiler mevcut değildir.

Bu problemleri elemine etmek için bir dizi anten sistemi kullanılmaktadır. Bu antenler geniş yüzeylerini hedefe doğru otomatik olarak döndürmekte ve ayrıca bilinmeyen doğrultulardan gelen sinyalleri de kesmek için bu yön boyunca gelen sinyalleri zayıflatırlar. İnsanlar da bu özelliğe sahiptirler.

4.4.7 Öğrenme Algoritmaları

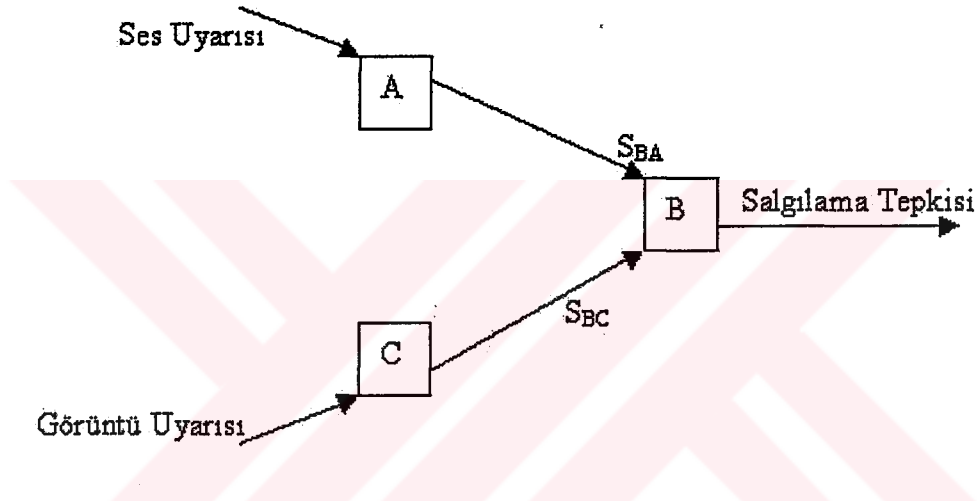
4.4.7.1 Hebbian Öğrenimi

Biyolojik sinir sistemlerinin tüm bilgi ve yetenekleri ile önceden programlanarak doğmadığı açıktır. Zaman içerisinde yaşanan öğrenme süreci sonucunda, sinir sistemi ağı kendisini sürekli düzenleyerek, yeni bilgileri bünyesine katmaktadır. Ancak bu öğrenme sürecinin nasıl gerçekleştiği, karşılaşılan en önemli sorudur. 1949 yılında Donald Hebbian tarafından yayınlanan Organization of Behaviour (Davranışın Organizasyonu) isimli kitapta sunulan ve günümüzde çeşitli YSA mimarilerinde kullanılan bir model, öğrenme sürecinin nasıl gerçekleştiğine cevap arayan önerilerden birisidir. Bu modeldeki temel fikrin kolayca anlaşılabilmesi için, psikolojinin temci deneylerinden birisi olan Pavlov Deneyi'nin hatırlanmasında yarar bulunmaktadır (Koçel, 1983).

Psikoloji kaynaklarında “Öğrenimde Klasik Koşullama” örneği olarak gösterilen bu deney, 1849-1936 yılları arasında yaşayan Rus fizyoloğu İvan Pavlov tarafından köpekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Doğal uyarıcı olan etin verilmesi, köpeğin doğal tepki sonucunda salgılamada bulunmasına neden olmaktadır. Deneyde ise, bir zil sesinden bir kaç saniye sonra köpeğe et verilmiştir. Başlangıçta zil sesine her hangi bir salgılamada bulunmayan köpek, deneyin defalarca tekrarı sonucunda zil sesine tepki göstererek salgılamada bulunmuş, Pavlov köpeğin zil sesine yaptığı salgılama davranışını “Koşullu Tepki” olarak isimlendirmiştir.

Zil sesi ve etin verilmesi sonucunda uyarılan sinir hücrelerinin sırasıyla C ve A ile, salgılama tepkisi veren sinir hücresinin B ile, oluşan iki sinaptik bağlantının ise SBA ve SBC ile simgelandiği üç sinir hücresi ve aralarındaki bağlantı yapısı Şekil 4.15’de görülmektedir.

Doğal uyarıcı olan etin görülmesi sonucunda uyarılan C sinir hücresi, doğal tepki kuralı gereğince salgılama tepkisi veren B sinir hücresini uyaracaktır. Ancak başlangıçta zil sesi gibi A sinir hücresinin uyarılmasını sağlayan ilave bir uyarıcı bulunmadığı için, A sinir hücresinin B sinir hücresini uyarması söz konusu değildir. Buna karşılık, etin gösterilmesi ile uyarılan C sinir hücresinin B sinir hücresini uyarması sırasında, A sinir hücresi zil sesi ile uyarılacak olursa, B sinir hücresinin uyarılmasına A sinir hücresi de katılmış olacaktır. Hebbian, bu durumun yeterli sayıda tekrarlanması halinde, A sinir hücresi ile B sinir hücresi arasında yeni bir düzenlemenin oluştuğunu, A sinir hücresinin B sinir hücresi üzerindeki etkisini artırdığını ve et verilmediği durumda dahi A sinir hücresinin B sinir hücresini uyarabildiğini savunmuştur.



Şekil 4.15 Hebbian öğrenme kuralının Pavlov deneyi için grafik gösterimi (Akpınar,1993)

4.4.7.2 Adaline ve En Küçük Kareler Kuralı

1956 yılında yapay zekanın bir disiplin olarak doğduğu Dartmouth Konferansı'na da katılan, Stanford Üniversitesinden Bernard Widrow ve Stanford Üniversitesi'ndeki öğrencileri, ilk olarak 1960'lı yılların başlarında Adaline (Adaptive Linear Neuron Computer) projesini gerçekleştirmişlerdir. Negatif geri besleme yapısının kullanıldığı Adaline, perceptronun çözümleyemediği bir çok problemin üstesinden gelmiştir. Bu çalışmayı, konuşulan kelimeleri ve görüntü örüntülerini tanıma yeteneğine sahip olan Madaline (Multiple-Neuron) izlemiş, Widrow ve öğrencisi Hoff, yapay sinir ağlarının eğiliminde halen yaygın olarak kullanılan basit öğrenme kurallarını geliştirmişlerdir (Kuo ve Cohen, 1998).

Adaline teknik olarak bir YSA modeli sayılmayan, fakat YSA modellerinin gelişimine önemli katkılarda bulunan ve tek bir düğümden meydana gelen bir cihazdır.

Adaline, genel hesaplama elemanı ile önemli benzerlikler göstermektedir, genel hesaplama elemanı ile Adaline arasında sadece (Hecht-Nielsen, 1990),

- Eşik (bias) değeri olarak ifade edilen w_0 ağırlıklı ve girdi değeri daima 1'e eşit olan ilave bir bağlantının bulunması,
- Çıktı değerinin belirlenmesinde çift kutuplu bir şartın bulunması şeklinde iki farklılık görülmektedir.

Adaline cihazının “Adapte Edilebilir Lineer Birleştirici (AELB)” olarak isimlendirilen bölümünün çıktı değerinin pozitif olması durumunda, Adaline cihazının çıktı değeri +1, negatif olması durumunda ise -1 olmaktadır. AELB bölümünde, genel hesaplama elemanının gerçekleştirdiği işlemlerin aynısı yapılmaktadır: AELB, girdi ve ağırlık vektörlerini kullanarak, çarpımların toplamını hesaplamakta ve tek bir çıktı eğrinin elde edilebilmesi için bir çıktı fonksiyonunu hesaplanan değere uygulanmaktadır. w_0 , eğimin ağırlık değerini simgelemek üzere bu fonksiyon (4.7)'de görülmektedir,

$$y = w_0 + \sum_{j=1}^n w_j x_j \quad (4.7)$$

eşitliği, yapılan bu hesaplamayı ifade etmektedir.

En Küçük Kareler Öğrenme Kuralı

Girdi katmanında yer alan düğümlere x girdi vektörü uygulandığında, y çıktı değerini sonuç olarak verecek olan w ağırlıklar kümesinin belirlenmesi, daha önce de belirtildiği şekilde öğrenme sürecini oluşturmaktadır. Sırasıyla girdi katmanında yer alan düğümlere $\{x_1, x_2, \dots, x_L\}$ girdi vektörleri uygulandığında, hesaplamalar sonucunda her vektörün d_k ($k = 1, \dots, L$) şeklinde tek bir çıktı değeri olacaktır. Öğrenme sürecinin tamamlanabilmesi için aynı sınıfa ait tüm girdi vektörlerini, çıktı değerleri ile bağlantılı kılacak tek bir ağırlık vektörünün bulunması gerekmektedir. Adaline cihazında, ilgili ağırlık vektörünün bulunması için kullanılan yöntem “En Küçük Kareler (EKK) Öğrenme Kuralı” olarak isimlendirilmektedir. Bu yöntemde eğitim kümesinde bulunan girdi vektörleri ve bu vektörlere bağlı olarak elde edilmesi gereken çıktı değerleri, AELB doğru çıktı değerlerini verinceye kadar sisteme uygulanmaktadır. Eğitim olarak isimlendirilen bu uygulama sırasında, uygulanan girdi vektörü için doğru çıktı değerini verecek şekilde, ağırlık vektörü değerleri sürekli olarak yeniden düzenlenmektedir (Akpınar, 1993).

x_k girdi vektörlerini, d_k olması gereken çıktı değerlerini, w^* bu ikisi arasındaki bağlantıyı sağlayacak ağırlık vektörünü temsil ettiğinde ve k . girdi vektörü için tesadüfi bir ağırlık vektörü kullanıldığında, fiili çıktı değeri ile (y_k), elde edilmesi gereken çıktı değeri (d_k) arasında,

$$E_k = d_k - y_k \quad (4.8)$$

yukarıdaki (4.8) eşitliği ile ifade edilen bir hata değeri bulunacaktır. L eğitim kümesindeki girdi vektörlerinin sayısını göstermek üzere, hatanın beklenen değeri,

$$\langle E_k^2 \rangle = 1/2 \sum_{k=1}^L E_k^2 \quad (4.9)$$

olacaktır. (4.8) ve (4.9) eşitliklerinden yararlanarak, (4.10) eşitliği,

$$\langle E_k^2 \rangle = \langle (d_k - w^t x_k)^2 \rangle \quad (4.10)$$

ve eğitim kümesinin istatistiksel olarak durağan olduğu varsayımı altında (4.11) eşitliği,

$$\langle E_k^2 \rangle = \langle d_k^2 \rangle + w^t \langle x_k x_k^t \rangle w - 2 \langle d_k x_k^t \rangle w \quad (4.11)$$

elde edilir. “Girdi İlişki Matrisi” olarak isimlendirilen R matrisi ile $\langle x_k, x_k^t \rangle$, p vektörü ile $\langle d_k x_k^t \rangle$ ve ξ ile $\langle E_k^2 \rangle$ ifade edilecek olursa, yukarıdaki eşitliği (4.12) şeklinde yazmak mümkün olacaktır,

$$\xi = \langle d_k^2 \rangle + w^t R w - 2 p^t w \quad (4.12)$$

(4.12) eşitliğinin türevi sıfıra eşitlenirse, beklenen hata değerini minimize edecek w^* ağırlık vektörü, aşağıdaki eşitliklerdeki gibi, bulunacaktır.

$$\frac{\partial \xi(w)}{\partial w} = 2 R w - 2 p \quad (4.13)$$

$$2 R w^* - 2 p = 0 \quad (4.14)$$

$$R w^* = p \quad (4.15)$$

$$w^* = R^{-1} p \quad (4.16)$$

ξ ' nin skaler bir değer, $\partial \xi(w) / \partial w$ işleminin bir vektör olduğuna dikkat edilmesi gerekmektedir. (4.17) eşitliği ξ değerinin, yine bir vektör olan $\nabla \xi$ gradyenini temsil etmektedir (Leondes, 1998a).

$$\nabla \xi = \left[\frac{\partial \xi}{\partial w_1}, \frac{\partial \xi}{\partial w_2}, \dots, \frac{\partial \xi}{\partial w_n} \right]^t \quad (4.17)$$

Örnek

Bütün yapılan işlemlerin amacı, $\xi(w)$ fonksiyonunun eğimini sıfıra eşitleyecek minimum veya maksimum bir noktanın bulunmasını sağlamaktır. AELB elemanının sadece iki ağırlığa

sahip olduğu aşağıda sunulan örnekte $\xi(w)$ fonksiyonunun grafiği paraboloid olacaktır. ξ değeri ağırlık değerlerinin tüm durumlarda pozitif olabilmesi için, beklenen hatanın konkav olması gerekmektedir. Bu sonuç genel bir çıkarım olup, ağırlık vektörünün boyutlarından etkilenmemektedir. Boyutların ikiden fazla olması durumunda ise paraboloid, yerini hiperparaboloid'e bırakacaktır.

$$R = \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 4 \end{pmatrix} \quad p = \begin{pmatrix} 4 \\ 5 \end{pmatrix}$$

$$\langle d_k^2 \rangle = 10$$

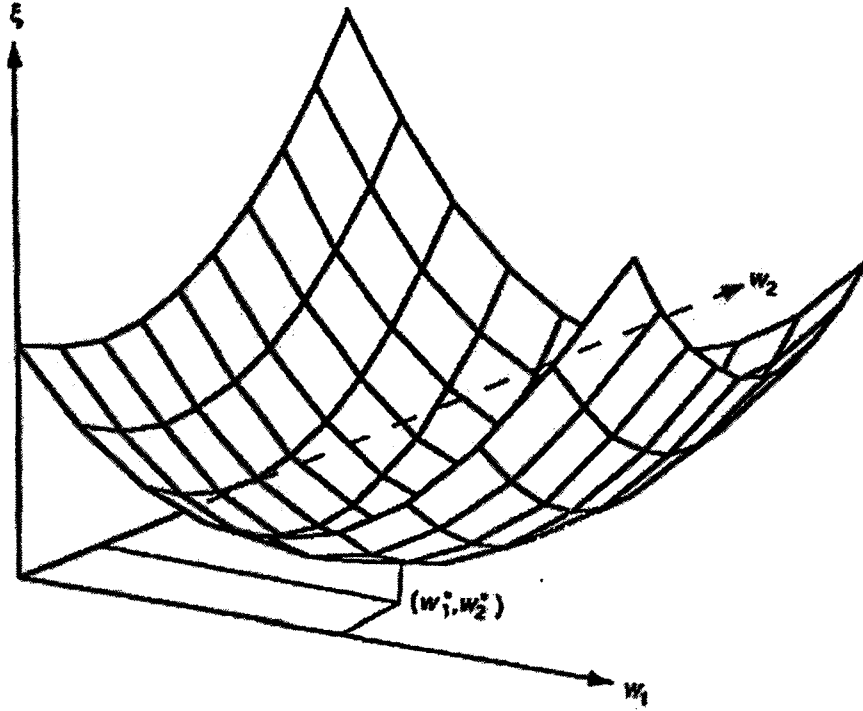
değerlerinin tanımlandığı 2 girdiye sahip bir AELB göz önüne alındığında. R matrisinin tersini hesaplamak yerine, eşitlik kullanılarak optimum ağırlık vektörü bulunabilir.

$$\begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 4 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} w_1^* \\ w_2^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ 5 \end{pmatrix}$$

$$3w_1^* + w_2^* = 4$$

$$w_1^* + 4w_2^* = 5$$

Bu işlemler sonucunda ağırlık vektörü $w^* = (1,1)^t$ şeklinde bulunacaktır. İki ağırlığın bir fonksiyonu olan ξ değerinin grafiği Şekil 4.16'da görülmektedir.



Şekil 4.16 İki ağırlık değerinin bir fonksiyonu olan ξ değerinin grafik gösterimi (Leondes, 1998a)

4.4.7.3 Genelleştirilmiş Delta Kuralı ve Hata Geri Yayma Ağları

Bu kısımda hata geriye yayma ağlarının (HG YA) eğitiminde kullanılan “Genelleştirilmiş Delta Kuralı (GDK)” öğrenim algoritması ve bir önceki kısımda sözel olarak ifade edilen HG YA’daki işlemler, matematik yöntemlerle işlenecektir.

YSA’da öğrenme, bir sınıfa ait çeşitli özellikleri temsil edebilecek ağırlık değerlerinin bulunmasıdır. GDK, Adaline Cihazının incelenmesi sırasında tanımlanan EKK öğrenme kuralının genelleştirilmiş bir şeklidir.

$y = \phi(x) : x \in \mathbb{R}^N, y \in \mathbb{R}^M$ bağıntılarının bulunduğu bir fonksiyonda, $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_p, y_p)$ şeklinde x girdi, y olması gereken çıktı değerlerini gösteren vektör olmak üzere P vektör çiftleri kümesini kullanarak, ağırlık $w = y' = \phi'(x)$ yakınsamasını sağlayacak şekilde eğitilmesi GDK’nın amacını oluşturmaktadır. GDK eğitim için yeterli sayıda ve uygun eğitim vektör çiftlerini kullanarak bu yakınsamayı gerçekleştirmektedir. EKK kuralında doğrusal ayrılabilirlik söz konusu olduğu için, bu kuralın doğrusal olmayan ve çok boyutlu problemlerde kullanımı mümkün değildir. Bu nedenle GDK’da “en küçük adımlar tekniği” isimli basit ve en küçük kareler yönteminin iteratif bir modeli olan bir teknik kullanılmaktadır (Önder ve Kaynak, 2000).

$x_p = (x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pN})^t$ şeklindeki bir girdi vektörü, ağırlık katmanındaki düğümlere uygulandığında, gerekli hesaplamalar yapılarak elde edilen değerler gizli katman düğümlerine yayınırlar. h gizli katmanı, w_{ji}^h j . düğümün i . girdi katman düğümü ile olan bağlantı ağırlığını, θ_j^h eşik değerini göstermek üzere, gizli katmanda j . düğümün net girdi değeri,

$$\text{net}_{pj}^h = \sum_{i=1}^N w_{ji}^h x_{pi} + \theta_j^h \quad (4.18)$$

(4.18) eşitliğinden hesaplanmaktadır. Bu düğüm için faaliyet değerinin net girdi değerine eşit olduğu kabul edildiğinde, bu düğümün çıktı değeri (4.19)'dan,

$$i_{pj} = f_j^h(\text{net}_{pj}^h) \quad (4.19)$$

şeklinde bulunacaktır.

Katmanlarda yer alan düğümler arası bağlantı ağırlıklarının başlangıç değerlerinin belirlenmesi, problemin çözümüne giden yolda ilk adımdır. Bazı yöntemlerin aksine, burada açıklanan teknik iyi bir ilk tahmin yapılmasına bağımlı değildir. Başlangıç ağırlık değerlerinin seçilmesinde, daha sonra tartışılacak olan çeşitli yol gösterici yöntemler bulunmaktadır. Ağırlık eğitimi için izlenmesi gereken temel süreç sırasıyla şu aşamalardan meydana gelmektedir (Feng vd., 2002);

1. Ağa bir girdi vektörü uygulanır ve buna ilişkin çıktı değeri hesaplanır,
2. Olması gereken çıktı değeri ile fiili çıktı değeri karşılaştırılır ve elde edilen fark hata ölçüsü olarak yorumlanır,
3. Hata değerini azaltabilmek için, her ağırlığın hangi yönde (- veya + yönde) değişmesi gerektiği belirlenir,
4. Her ağırlık değerinin değişmesi gereken miktarı hesaplanır,
5. 4.adımda hesaplanan bu miktarlara göre ağırlık değerleri yeniden düzenlenir,
6. Eğitim kümesindeki vektörler için hata değeri kabul edilebilir bir düzeye erişinceye kadar, ilk 5 adım tekrarlanır.

Daha önce anlatılan EKK Kuralının temel denklemi (4.20)'de görüldüğü gibi,

$$w_{(t+1)j} = w_{(t)j} + 2 \mu E_k x_{kj} \quad (4.20)$$

şeklinde dir. Bu denklemde μ pozitif sabiti, x_{kj} k . eğitim vektörünün j . elemanını, E_k ise fiili çıktı ile olması gereken çıktı arasındaki farkı ($E_k = d_k - y_k$) göstermektedir. Benzer bir eşitlik

ağın daha fazla katmandan meydana gelmesi ve çıktı fonksiyonunun doğrusal olmaması halinde de kurulabilmektedir.

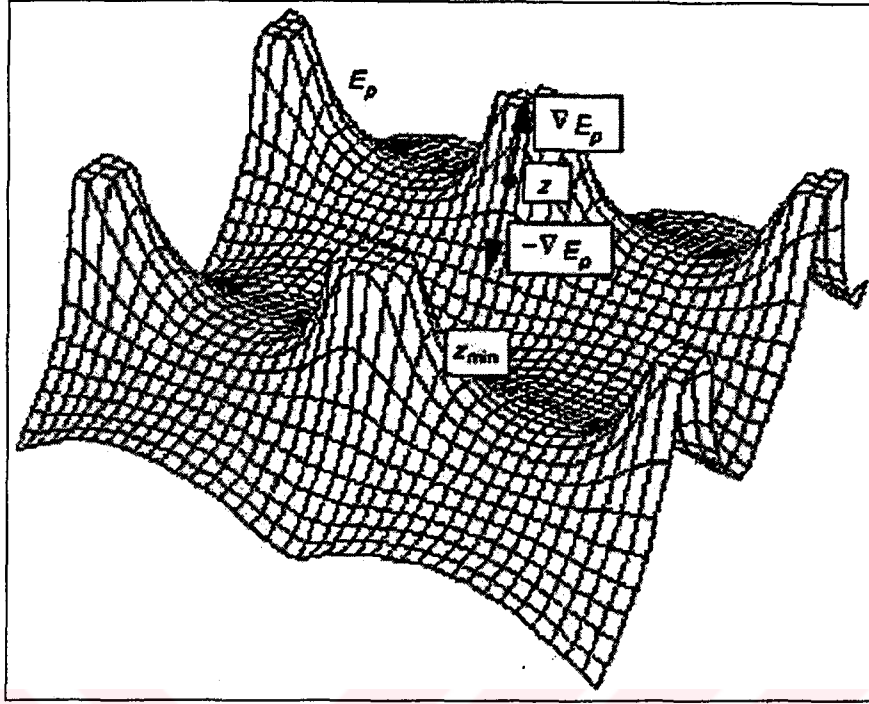
Çıktı Katmanındaki Ağırlıkların Düzenlenmesi

k. girdi vektörü için, d_k olması gereken çıktıyı, y_k fiili çıktıyı gösterdiğinde, $E_k = d_k - y_k$ eşitliği ile elde edilen hata değeri, EKK kuralının türevi alınarak hesaplanmaktadır. Ancak HGYA çok katmanlı olduğu için, E_k şeklindeki tek bir hata değerinin kullanılması yeterli olmayacaktır. Kullanılan simgeler değiştirilerek, "p" p. eğitim vektörünü, "k" k. çıktı düğümünü göstermek üzere tek bir çıktı düğümünün hatası, $\delta_{pk} = (y_{pk} - o_{pk})$ ile ifade edilecektir. Bu durumda y_{pk} olması gereken çıktı değerini, o_{pk} ise fiili çıktı değerini göstermektedir. GDK tarafından minimize edilecek olan hata, tüm çıktı düğümleri için elde edilen hataların karelerinin toplamı olacaktır (Zurada, 1992).

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \delta_{pk}^2 \quad (4.21)$$

(4.21) eşitliğinde kullanılan $\frac{1}{2}$ faktörü, daha sonraki türev hesaplamalarında kolaylık sağlanması amacı ile ilave edilmektedir. En son elde edilen sonuçta keyfi bir sabit olarak kalacağı için kullanımı sonucu etkilemeyecektir (Nyguen ve Widrow, 1990).

Ağırlıkların hangi yönde değişeceğinin belirlenmesi için, w_{kj} ağırlıklarını göz önüne alarak, E_p değerinin negatif gradyeni olan ∇E_p değerinin hesaplanması gerekmektedir. Daha sonra toplam hatayı azaltacak, ağırlık değişikliklerinin hesaplanması gerekmektedir. E_p' yi ağırlık uzayındaki bir yüzey olarak düşünmekte yarar bulunmaktadır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Ağırlık yüzeyi (Akpınar, 1993)

Olayları basitleştirebilmek için ∇E_p 'nin her elemanının ayrı ayrı göz önüne alınması gerekmektedir. (4.21) eşitliğinden ve δ_{pk} 'nin tanımından,

$$E_p = 1/2 \sum_k (y_{pk} - o_{pk})^2 \quad (4.22)$$

ve

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{kj}^o} = -(y_{pk} - o_{pk}) \frac{\partial f_k^o}{\partial(\text{net}_{pk}^o)} \frac{\partial(\text{net}_{pk}^o)}{\partial w_{kj}^o} \quad (4.23)$$

eşitlikleri yazılabilir. Bu aşamada f_k^o 'nin türevinin alınması yerine, basit olarak türevin $f_k^o(\text{net}_{pk}^o)$ şeklinde ifade edilmesi yoluna gidilmektedir.

Negatif gradyenin hesaplanabilmesi için (4.24) eşitliği kullanılır,

$$-\frac{\partial E_p}{\partial w_{kj}^o} = (y_{pk} - o_{pk}) f_k^o{}'(\text{net}_{pk}^o) i_{pj} \quad (4.24)$$

Ağırlık değerlerindeki değişme miktarı, yukarıdaki eşitliğin negatif gradyeni alınarak hesaplanır. Böylece çıktı katmanındaki ağırlıklar (4.25)'den görüldüğü gibi,

$$\nabla_p w_{kj}^o(t) = \eta (y_{pk} - o_{pk}) f_k^o{}' (net_{pk}^o) i_{pj} \quad (4.25)$$

olmak üzere,

$$w_{kj}^o(t+1) = w_{kj}^o(t) + \nabla_p w_{kj}^o(t) \quad (4.26)$$

yukarıdaki gibi (4.26) eşitliğine göre yeniden düzenlenir.

Yukarıdaki eşitliklerde $f_k^o{}'$, f_k^o fonksiyonunun türevi olarak ifade edilmiştir. Çıktı fonksiyonunun iki değişik durumu söz konusudur:

$$a) f_k^o (net_{jk}^o) = net_{jk}^o \quad (4.27)$$

$$b) f_k^o (net_{jk}^o) = (1 + e^{-net_{jk}^o})^{-1} \quad (4.28)$$

(4.27)'de görülen birinci fonksiyon doğrusal çıktı düğümünü tanımlamakta, (4.28)'deki ikinci fonksiyon ise sigmoid fonksiyon olarak isimlendirilmektedir. Kullanılacak çıktı fonksiyonu, elde edilecek çıktı değerlerinin türevli veya parçalı olmasına göre seçilebilir. Örneğin çıktı değerlerinin türevli olması isteniyorsa sigmoid fonksiyon, diğer durumlarda problemin yapısına bağlı olarak doğrusal veya sigmoid çıktı fonksiyon seçilebilir. Birinci fonksiyonda (4.29)'daki gibi (Nyguen ve Widrow, 1990),

$$f_k^o{}' = 1; \quad (4.29)$$

ikinci fonksiyonda ise (4.30)daki gibi,

$$f_k^o{}' = f_k^o (1 - f_k^o) = o_{pk} (1 - o_{pk}) \quad (4.30)$$

olacaktır. Buradan doğrusal çıktı için (4.31),

$$w_{kj}^o(t+1) = w_{kj}^o(t) + \eta (y_{pk} - o_{pk}) i_{pj} \quad (4.31)$$

ve sigmoidal çıktı için (4.32),

$$w_{kj}^o(t+1) = w_{kj}^o(t) + \eta (y_{pk} - o_{pk}) o_{pk} (1 - o_{pk}) i_{pj} \quad (4.32)$$

eşitlikleri kurulur. Ağırlık değerlerinin yeniden düzenlenmesi için kullanılacak olan denklemler (4.33) ve (4.34)'deki gibi tanımlanacaktır,

$$\delta_{pk}^o = (y_{pk} - o_{pk}) f_k^o{}' (net_{pk}^o) \quad (4.33)$$

$$= \delta_{pk} f_k^o{}' (net_{pk}^o) \quad (4.34)$$

Bu durumda, ağırlık değerlerinin yeniden düzenlenmesini sağlayan (4.34) eşitliğinden, $f_k^o{}'$ çıktı fonksiyonunun doğrusal veya sigmoidal olmasından bağımsız olarak (4.35) eşitliği yazılabilir (Simpson, 1990),

$$w_{kj}^o(t+1) = w_{kj}^o(t) + \eta \delta_{pk}^o i_{pj} \quad (4.35)$$

Gizli Katmandaki Ağırlıkların Düzenlenmesi

Çıktı katmanı için yapılan hesaplamaların benzerinin, gizli katman için de tekrarlanması gerekmektedir. Ancak gizli katman düğümlerinin çıktı değerlerinin hata ölçüsünün belirlenmesinde bir problem ortaya çıkmaktadır. Çıktı katmanında, olması gereken çıktı değerleri baştan bilinmektedir. Buna karşılık gizli katmanda bulunan düğümlerin, olması gereken çıktı değerlerinin baştan bilinmesi mümkün değildir. Ancak toplam hata değeri olan E_p 'nin gizli katman düğümlerinin çıktı değerleri ile ilişki içinde olduğu (4.22), yani $E_p = 1 / 2 \sum_k (y_{pk} - o_{pk})^2$ eşitliğine geri dönülerek düşünülebilir (Simpson, 1990):

$$E_p = 1 / 2 \sum_k (y_{pk} - o_{pk})^2 \text{ ve,}$$

$$E_p = 1 / 2 \sum_k (y_{pk} - f_k^o(\text{net}^o_{pk}))^2 \quad (4.36)$$

$$E_p = 1 / 2 \sum_k (y_{pk} - (\sum_j w_{kj}^o i_{pj} + \theta_k^o))^2 \quad (4.37)$$

i_{pj} değeri, (4.18) ve (4.19) eşitliklerinden, gizli katmandaki ağırlık değerlerinin değişimine bağlı olduğundan; gizli katmandaki ağırlık değerlerinin toplam hatası olan E_p 'nin gradyeninin hesaplanması mümkün olacaktır,

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}^h} = \sum_k (y_{pk} - o_{pk}) f_k^o(\text{net}^o_{pk}) w_{kj}^o f_j^h(\text{net}^h_{pj}) x_{pi} \quad (4.38)$$

(4.38) eşitliğinden yararlanılarak, gizli katman ağırlık değerlerinin hesaplanması için,

$$\nabla_p w_{ij}^h = \eta f_j^h(\text{net}^h_{pj}) x_{pi} \sum_k (y_{pk} - o_{pk}) f_k^o(\text{net}^o_{pk}) w_{kj}^o \quad (4.39)$$

eşitliği elde edilir. Önceki kısımda tanımlanan δ_{pk}^o 'nın ilavesi ile (4.39) eşitliği,

$$\nabla_p w_{ij}^h = \eta f_j^h(\text{net}^h_{pj}) x_{pi} \sum_k \delta_{pk}^o w_{kj}^o \quad (4.40)$$

şeklinde (4.40)'daki gibi yazılabilir.

Gizli katmandaki ağırlık değerlerinin yeniden düzenlenmesi çıktı katmanındaki toplam hatayı gösteren δ_{pk}^o değerine bağlı olacaktır. Bu nedenle çıktı katmanındaki bilinen hata değerleri, gizli katmandaki uygun ağırlık değerlerinin belirlenebilmesi için gizli katmana doğru geriye

yayınırlar. Bir gizli katman hata değerin belirlenmesinde (4.41) eşitliği kullanılır (Nyguen ve Widrow, 1990),

$$\delta_{pj}^h = f_j^h, (\text{net}_{pj}^h) \sum_k \delta_{pk}^o w_{kj}^o \quad (4.41)$$

Buradan da çıktı katmanındaki hesaplamalara benzer şekilde gizli katmandaki ağırlık değerlerinin yeniden düzenlenebilmesi için,

$$w_{ji}^h(t+1) = w_{ji}^h(t) + \eta \delta_{pj}^h x_i \quad (4.42)$$

yukarıdaki (4.42) eşitliğini yazmak mümkün olacaktır.

Hata Geriye Yayma Ağlarının Kullanımında Karşılaşılan Sorunlar

Geriye Yayınım Ağının kullanımı sırasında karşılaşılan sorunlardan başlıcaları (Chambers ve Mount-Campell, 2002),

- Eğitim verilerinin nasıl seçileceği,
- Kurulacak ağın katman sayısı ve her katmanda yer verilecek düğüm sayısının ne olması gerektiği,
- Eğitime başlarken ağırlık değerlerinin, öğrenme hızı ve momentum değerlerinin ne olması gerektiği gibi noktalardır.

Eğitim Verilerinin Seçilmesi : HGYA'da yeterli sayıda ve uygun eğitim vektörlerinin seçiminde kesin kurallar bulunmamaktadır. Problemlerin özelliklerine göre yeterli sayıda ve uygun eğitim vektörlerinin seçimi ancak tecrübe ile kazanılabilmektedir. Fakat yine de eğitim vektörlerinin seçimi sırasında kullanılabilir, tavsiye niteliğindeki bir takım kurallardan söz edilebilir.

Genel olarak ağın eğitilebilmesi için elde bulunan tüm verilerin kullanılması her zaman gerekmez. Eğitim kümesi içerisinde yer alan bir miktar vektör, eğitim için kullanıldıktan sonra geriye kalan vektörlerden ağın test edilmesi için yararlanılır. Eğitim sırasında bozuk veya eksik verileri de içeren vektörlerin kullanılması, daima faydalı sonuçlar vermektedir. Eğitilen HGYA'nın gerçek problemler için kullanımı sırasında, bilinmeyen bir takım bozuk veya eksik verilerin ağ tarafından tanınabilmesi böylece sağlanacaktır.

Aynı sınıfa ait olan birçok farklı girdi vektörünün ağa uygulanması durumunda, HGYA, bu vektörler arasındaki anlamlı benzerlikleri genelleme yaparak anahtar olarak öğrenecektir.

HGYA girdi vektörlerinin özel bir sınıfı için yetersiz olarak eğitilirse, bu sınıfın üyeleri gerçek kullanım sırasında tanınmayabilir. Bu nedenle eğitim verileri, gerçek problemin tüm sınıflarını kapsayacak şekilde düzenlenmiş olmalıdır. Eğitim süreci sırasında, eğitim kümesinden vektör çiftlerinin tesadüfi olarak seçimi önem taşımaktadır. Bir sınıf için ağın eğitimini tamamladıktan sonra, bir başka sınıfın eğitimine geçilmesi halinde, ağ önceki sınıfların özelliklerini unutmaya başlayacaktır. Bu nedenle tüm sınıfları kapsayan eğitim vektörlerinin ağa tesadüfi bir sırada uygulanması, ağın öğrenimi için büyük önem taşımaktadır (Haykin, 1999).

Seçilen çıktı fonksiyonunun sigmoidal olması durumunda, elde edilen çıktı değerleri türevli olacağı için, bu değerlerin ölçeklenmesi gerekmektedir. Sigmoidal fonksiyonun özelliği nedeniyle, ağın çıktı değerleri hiç bir zaman 0 veya 1 değerine erişemeyecektir. Bu nedenle en küçük ve en büyük değerlerin sırasıyla 0.1 ve 0.9 değerleri ile temsil edilmesi uygundur. Aynı şekilde Sigmoid fonksiyonunun sınır değerlerinin, örneğin ± 0.4 olacak şekilde değiştirilmesi de mümkündür (Cybenko, 1989).

Kurulacak Ağın Boyutlarının Belirlenmesi : Çok katmanlı bir ağın kullanılması halinde üç katmanlı ağın yeterli olup olmadığı, her katmanda kaç düğüme yer verilmesi gerektiği yine tecrübe sonucunda ve çözülecek problemin özelliklerine bağlı olarak belirlenecektir. Bir çok problemin çözümünde üç katmanlı ağ yeterli olmakla birlikte, ağın daha süratle öğrenebilmesi için ilave katmanların bulunması yerinde olabilir.

Girdi ve çıktı katmanında yer alacak düğümlerin sayısı doğrudan çözülecek problemin yapısına bağlıdır. Girdi vektöründe yer alan elemanların sayısı, girdi katmanının düğüm sayısını, bu vektöre bağlı olarak uygulanan ve olması gereken çıktı değerlerinin tanımlandığı çıktı vektöründeki eleman sayısı, çıktı katmanında yer alması gereken çıktı düğüm sayısını doğrudan belirleyecektir (Nyguen ve Widrow, 1990).

Buna karşılık gizli katmanda yer alacak düğüm sayısını bu kadar kesin bir şekilde belirleyebilmek mümkün değildir. Ancak unutulmaması gereken, gizli katmanda yer alacak her gereksiz düğümün bilgisayar çalışmasını uzatacağı, buna karşılık olması gerekenden daha az düğümün bulunması halinde de ağın öğrenme sürecini gerçekleştiremeyeceğidir. Yüzlerce girdi düğümünün bulunduğu bir ağda, gizli katman düğümlerinin sayısının, girdi düğümlerinin küçük bir yüzdesi olarak belirlenmesi genellikle tercih edilen bir yöntemdir. Gereğinden fazla düğümün tanımlandığı bir durumda, öğrenme süreci izlenerek, gereksiz düğümler elenebilir. Ağın eğitimi sırasında, dönem dönem gizli katmanda bulunan düğümlerin ağırlık değerlerindeki değişimlerin incelenmesi, ağırlık değerleri başlangıçtan

itibaren fazla bir değişiklik göstermeyen gereksiz düğümünün bulunmasını sağlayacaktır. Bu eleme bilgisayar programına ilave edilecek bir takım komutlarla da otomatik olarak gerçekleştirilebilir.

Başlangıç Ağırlık Değerlerinin ve Öğrenme Parametresinin Belirlenmesi : Ağırlık değerleri eğitim sürecinin en başında ± 0.5 değerleri arasında tesadüfi olarak belirlenmelidir. Pratikte çıktı değeri 1 olan fiktif bir düğümle bağlantılı bulunan eğitim için, başlangıç ağırlık değerlerinden farklı bir değerin atanması tercih edilmektedir.

Ağın öğrenme süratini belirleyen η değeri için genellikle 0.05 ile 0.25 arasında küçük bir değerin atanması tercih edilir. Bu değerin gereğinden daha küçük belirlenmesi iterasyon sayısının artmasına, tersi ise gerçek bir minimum noktaya erişilememesine neden olur.

Öğrenme sürecinin süratini, minimum noktadan uzaklaşmayacak şekilde artırabilmek için diğer bir yol, momentum ismi verilen bir tekniğin kullanılmasıdır. $\nabla_p w$ ağırlık değişim değerinin hesaplanması sırasında, önceki değişim değerinin belirli bir yüzdesi, hesaplanan değere ilave edilir. Eklenen bu değer ağırlık değerlerindeki değişimin, aynı yönde gerçekleşmesine katkıda bulunur. Bu durumda çıktı katmanında ağırlık değerlerinin bulunması için kullanılan (4.43) eşitliği (Nyguen ve Widrow, 1990),

$$w_{kj}^o(t+1) = w_{kj}^o(t) + \eta \delta_{pk}^o i_{pj} + \alpha \nabla_p w_{kj}^o(t-1) \quad (4.43)$$

şeklinde yazılacaktır. Bu eşitlikte, α momentum parametresini temsil etmekte ve bu parametreye genellikle 1' den küçük, pozitif bir değer atanmaktadır.

YSA modellerinin kullanımında karşılaşılan diğer bir sorun, ağırlık uzayında bölgesel bir minimum noktaya erişilmesi ve bu noktanın problemin çözüm noktası olarak kabul edilmesidir. Ancak erişilen noktada elde edilen hata değeri kabul edilebilir düzeyde ise, bu noktanın bölgesel veya gerçek minimum olması büyük önem taşımayacaktır. Hata değeri kabul edilebilir bir düzeye erişmeden, ağın eğitimi sona erecek olursa, öğrenme parametresinin değerinin ve/veya gizli katmandaki düğüm sayısının değiştirilmesi faydalı olabilir.

4.5 Yapay Sinir Ağlarının Günlük Yaşamdaki Uygulamaları

Yapay sinir ağları ve uzman sistemler, bugün ulaştıkları teknolojik seviye itibariyle pek çok alanda, zaman, para ve personel tasarrufu sağlayarak insan-uzmanların işlerini kolaylaştırmaktadır. Bu kısımda yapay sinir ağlarının tipik uygulama alanlarına bazı örnekler

verilecektir. Bu sıralamada öncelik veya etkinlik sırası göz önüne alınmamıştır (Vellido vd., 1999).

4.5.1 Finans Dünyası

Sigorta primlerinin hesaplanması temelde bir algoritmik işlem (verilen çeşitli katsayıları hazırlanan formüllere uygulama) olduğu halde durumun karışıklığı ve yoğunluğu YSA'nın tercih edilmesine sebep olabilir.

1. Portföy Yönetimi: Müşteri ne kadar yatırım yapmak istediğini ve ilgisinin güvenli veya riskli kazançlarına yönelik olduğunu belirtir. Bu noktada müşterilerinin parasının nereye yatırılacağı konusunda bir tercihi olup olmadığı konusunda sorular sorulur. YSA, müşterinin daha sonraki isteklerine göre değişebilen bir yatırımlar kümesi tavsiye eder. Bazı gelişmiş ülkelerde (Fransa) müşterilere bu hizmet halen sunulmaktadır.

2. Borçlanma Tavsiyesi: Bu, piyasa tarafından neler verildiğini gösteren çok geniş bir veri kümesine ulaşımı gerektirir. Bu bilgiler çok dağınıktır ve toplanması da kolay değildir. Bir banka temsilcisinin bu bilgilerin hepsini aklında tutması doğal olarak imkansızdır ve deneyimler banka temsilcilerini müşterilerine sadece kendilerince çok iyi bildikleri fonları tavsiye ettiklerini göstermektedir. Bu yüzden finansman ihtiyacına yönelik bir problemde, müşteri, uzman sistemlerin tek bir kontrol yerine daha karışık düzenlemeler sağladığına tanık olmaktadır. US, çalışanlara özel eğitimi gerektiren geleneksel metotlara önemli bir alternatif sağlamaktadır. Bunun sonucu olarak finansal paketlerin satışına YSA'nın çözüm bulması her zaman daha ekonomiktir (Vellido vd., 1999).

3. Borçlanma Riskleri: Bu konu şirketlere olan kredileri kapsamaktadır ve şirketlerin ekonomik durumlarının sağlıklı olup olmadığını inceleyen YSA'nın ilgi alanına girmektedir. Bu yolla bankaların ödünç para vermeleri konusunda üstlendikleri riskler belirlenmektedir.

4.5.2 Yasa ve Kamu Yönetimi

Buradaki sorun yasal dokümanların uygulanması, yorumu ve sözleşme kanun, senet gibi resmi dokümanların hazırlanmasıyla ilgilidir. Önemli olan ilk şey, bireylerin veya firmaların karışık dokümanlarda ne gibi finansal ve diğer çıkarlar bekleyebilecekleri ve bunlar için neler yapabileceklerini bulmalarına yardımcı kapsamaktadır.

İnsanların yaşamlarında; evlenme, emeklilik, şirket kurma vb. gibi bir çok değişiklikler olabilir ve herkesten bu konularda neler yapabileceğini bilmesini beklemek çoğu zaman

haksızlık olur, çünkü resmi prosedürlerin neler olduğunu bu işlerin uzmanı olmayanlar bilemezler.

İşte bu aşamada YSA sadece genel konuya yardım etmekle kalmaz, bir de bu hizmetleri yapan kamu görevlilerine de yardım ederler. Bu husus şüphesiz ki zaman kazandırır ve iki taraf arasındaki haberleşmeyi daha iyi hale getirir. Bu fikirlerle gümrük otoritelerine yardım için, gümrükleme, vergi, taşıma, sigorta ve döviz gibi ihracat yönetiminde kullanılmak üzere YSA geliştirilmiştir (Kim, 2002).

4.5.3 Tıp Alanındaki Uygulamalar

Tıp, YSA' nın ilk olarak geliştirildiği ve son etkili kullanım alanlarından biri olmakla beraber, konusunun kısmen ruhani bir içerik taşıyor olmasından olsa gerek, bazı doktorlar, doktorluk mesleğine hiçbir bilgisayarın ulaşamayacağı konusunda, kesin bir tavır takınmaktadırlar.

Doktorlar, mesleklerinin en onur verici parçası olan teşhis etme uzmanlıklarının makineler aracılığıyla yapılmasına tam ve açık bir tavır almamakla beraber, YSA'nın hasta kayıtlarının tutulması, hatırlatma notlarının hazırlanması ve hastalara gönderilmesi, ilaçların kaydedilmesi gibi rutin işlerde kullanılmalarından dolayı oldukça memnundurlar. Doktorlar ayrıca YSA metotlarının öğretim için sahip oldukları potansiyelin de farkındadırlar.

4.5.4 Tarım

Tarımdaki en önemli problem ürün veriminin artırılmasıdır. Bu da farklı zararlı haşerelerle başarılı bir mücadele ile eş anlamlıdır. Fransa'da uygulanan bir program sayesinde, domates bitkisiyle ilgili olarak 200'den fazla belirtiyi hesaba katarak, 180 ayrı sonuca ulaşabilmektedir.

Gelecekte kuvvetli bir ihtimalle, ayırma ve paketlenme sırasında da sebze ve meyvelerin belirlenmesinde robotlar kullanılacaktır. Ancak bilgisayar görüşü henüz bunu başaracak kadar yeterince geliştirilmemiştir.

4.5.5 Jeoloji

YSA, söz konusu olduğunda en önemli jeolojik uygulamalardan biri, toprak altının mümkün olan en iyi ve güvenilir tanımının elde edilmesidir. Bu alanda YSA kullanımının temel amacı mineral veya diğer değerli ürünlerin yerleri ve kapasiteleri hakkındaki bilgileri netleştirmek veya toprağın yapısı hakkında bilgisizlikten kaynaklanabilecek kazaların meydana gelme şansını azaltmak için kullanılır.

4.5.6 Kimya

1969 yılında üretilen ilk YSA olan “Dendral”, verilen molekül formülü ve kütleli spektrometre analizinin sonuçlarına göre, bir bileşimin yapısını bulabilmektedir. Bu işi en iyi insan-uzmandan bile daha iyi yapar ve bu sistem bir çok araştırmacı tarafından haberleşme ağı üzerinden günlük olarak kullanılmaktadır (Leondes, 1998b).

Bundan başka geliştirilen diğer bir program; organik bileşimlerin sentezi, kozmetik, plastik ve sıvı gibi alanlarda yeni ürünlerin üretilmesinde çok önemli yere sahiptir. Bunların yanında birçok algoritmik sistemler geliştirildi ama bunlar karmaşık ve esnek olmadıklarından, uzman organik kimyagerler tarafından sağlanan büyük yapıları kullanabilecek keşfe yarayan metotların kullanılmasına izin vermezler.

Bu keşfe yarayan yaklaşım, yeni bileşimleri sentezlemek için yeni metotların araştırılması maliyet ve tehlikelerin değerlendirilmesi, diğer çalışanlar tarafından kullanılan metotların araştırılmasını içermektedir.

4.5.7 Enformasyon Bilim Alanı

Enformasyon biliminde çok fazla sayıda YSA geliştirilmemiş olması çok ilginçtir. Aşağıdaki uygulamalar henüz proje veya gelişme aşamasındadırlar.

- Büyük yazılım sistemlerinin seçimi ve kullanımı,
- Program yazma,
- Daha önce geliştirilmiş modüler kütüphanesinden program yaratılması,
- Yazılım başarısızlıklarının analizi,
- Sistem gruplanması,
- Büyük bilgisayar sistemlerinin çalıştırılması,
- Program çevirisi.

4.5.8 Üretime Yönelik Uygulamalar

Herrod “Yapay Zekanın Endüstriyel Uygulamaları” adlı çalışmasında aşağıda belirtilen alanlarda YSA’nın yakın gelecekte fabrikayı geleceğe taşıyacağını belirtmektedir.

1. Teşhiste,
2. Eğitim,
3. Planlama ve çizelgeleme,

4. Proses gözleme,

5. Kontrol ve benzetim

1. Teşhiste: YSA, geçmişte tıp alanında MYCIN gibi teşhis sistemine yardımcı olarak kullanılmışlardır. Aşağıdaki örnek YSA'nın bu amaca yönelik olarak kullanılmasını açıklamaktadır.

CAMPELL SOUPS

Amerika'da Campell Soups şirketinde kullanılan büyük bir sterilizasyon sisteminin tamirinde yardımcı olarak uzman sistem kullanılmaktadır. Bu sistem 68000 kaplık bir kapasiteye sahip olup, bu sistemin durması oldukça yüksek bir maliyete sahiptir. Geçmişte bu sistemin tamiri tesis personeline yapılmakta, bazı durumlarda ise dışarıdan bir uzmanın incelemesine ve karar vermesine gerek duyulmaktaydı. Bu uzman sistem için gerekli olan bilgi temeli bu uzmandan ve eldeki sistemin açılışından kapanışına kadar olan dokümanların incelenmesinin bir araya getirilmesiyle sağlanmıştır. Uzman sistem bir kişisel bilgisayar ortamında geliştirilmiş ve "kişisel danışman" olarak adlandırılmıştır. Bundan sonra uzman olmayan bir mühendis bilgisayardan gerekli talimatları alarak daha önceden bilgisayar görüşüne ihtiyaç duyulan hataları giderebilmektedir. Bu sisteme Kuzey Amerika'daki 8 değişik Campell Soups üretim tesisinde başarı ile kullanılmaktadır.

2. Eğitim: Herrod, bakım mühendislerinin eğitim sahasındaki uygulamalar için sistemler uygun bir başvuru kaynağı olduğunu öneriyor. Ürünlerin çeşitliliğindeki yükselme ile bir mühendisin her bir ürünü nasıl onaracağını hatırlaması umulamaz ve sonuç olarak onarım döngüsünün rehberliği ile mühendisin tekrar eğitimi içinde bir uzman sistem kullanılabilir. Ne yazık ki çalışmanın yapıldığı zamana kadar taranmış literatür bu teklifleri desteklemek için örnek sistemler vermemektedir.

3. Planlama ve Çizelgeleme: Bu konu öncelikle kaynak kullanımı ve öncelik sırası ile ilgilidir. Bu alandaki bir sistem aşağıda tanımlanmıştır.

ISIS

ISIS, Carnegie Mellon Üniversitesinde geliştirilen atölye zamanlamasını çizelgeleyen bir bilgi temelidir. Nesne tabanlı SRL dili kullanılarak geliştirilmiştir. ISIS'te atölye bölgesi girişlerin farklı tipleriyle gösterilir. Emirler, bölümler, makineler, operatörler ve takımlar gibi sınıflandırma hiyerarşisi içinde düzenlenen ve sonucu destekleyen nesnelere, bir nesneyi diğerine aktaran aktiviteler vardır. Örneğin nesnelere makinenin çalışması esnasında, bir takımın makinedeki durumu ile tanımlanabilir. Bu durumun dışındaki bir zaman aralığının

tasarımın girişi de bu durumun içindedir. Nedensellik fikri bu bağlantılı aktivite ve durumlardan izlenir. RSL bu girişleri bir çerçeve tabanlı tasarım kullanarak bir şemaya göre tanımlar. Gerçek çizelgeleme, bir prosesin gidişini (rotasını) belirlenen günler ve kaynak kullanımı gibi çeşitli kısıtları, her operasyon için verilen başlangıç ve bitiş zamanlarını göz önünde bulundurarak parçaların sıralamasını belirler.

4. Proses İzleme: Proses kontrolüne yönelik bir çalışmadır. Kontrolün amacı örneğin bir kimyasal alanın durumunu izlemektir. Önceden karar verilen sınırların dışına çıkan ölçüler olduğu zaman yapılması zorunlu hareketleri yapmak için sık sık geri besleme ve kararlar vardır. Aşağıda bu konuyu açıklayan bir örnek sunulmaktadır .

FACSIM

Facsim, fabrika yerleşim tasarımı için bir bilgi tabanı sistemidir. Aynı zamanda bazı operasyonlar yerleşimin simülasyonunu da sağlar. Fabrika yerleşim problemi, pek çok etkinin bir arada bulunduğu ve bunların ortaklaşa bir çözüm gerektirdiği uzman sistemler için uygun bir çalışma alanıdır. FACSIM fabrika karakteristiklerini nesnelere olarak temsil eder ve nesnelere şunlardan oluşmuştur.

1. Üretim Kaynakları: Makineleri, aletleri, operatörleri, taşıyıcıları içerir,
2. Depolama: Malzeme veya aletlerin depolanacağı yerler. Programdaki işe göre kalıcı ya da geçici olabilir,
3. Bağlantı: Taşıyıcı yollar, su ve güç hatları gibi varlıklar,
4. Kısıtlar ve nesnelere: Sabit varlıkları ayıran mesafeler (direkt veya yollar arasında) için 0 ile 10 arasındaki sayılarla kısıtlar belirtilir,
5. Malzeme: Hammadde, parçalar ve montaj hatları,
6. Kuyruk: Tek parçalı imalat kaynaklarında malzeme parça birleşiminin beklemesi,
7. Operasyon: Bu nesnelere malzeme özelliklerini değiştirmesi,

FACSIM operasyonunda üç temel adım vardır:

1. Girilen tüm kalıcı kısıtların bulunduğu giriş safhasının düzenlenmesi,
2. Fabrikadaki tüm diğer elamanların yerleştirilmesi,
3. Bölüm içerisindeki üniteleri içerir ve sistem her eleman yerleşene kadar devam eder.

Sonuç olarak FACSİM kullanıcı tarafından bir iş yükleme girdisinin dinamik analizi veya benzetimi için yerleşimini sağlar. Benzetim aracılığıyla malzemenin tasarlanan yerleşimindeki akışı izlenebilir ve böylece prosesteki darboğazları bulmak ve sonuçlarını belirlemek mümkündür. Depolama alanındaki başarısızlıklar belirlenebilir ve vinçler veya otomatik kumandalı taşıyıcılar gibi malzeme işleme aletlerinin yararlılığı bu yolla belirlenebilir. FACSİM'in benzetim çıktısı dinamiktir ve programın veya işin zamana göre durumunu görmek için kullanıcıya izin verir. Kuyruk bekleme zamanları, makine verimliliği gibi istatistiksel bilgiler de sağlar. Tek eksik olarak şu söylenebilir ki, FACSİM benzetimin sonuçlarının akıllıca analizini yapamaz ve önerilerde bulunamaz. Örneğin diğer makinenin kapasitesinin yükseltilmesi gibi çaresi bulunabilir darboğaz problemleri için alternatif öneriler veremez.

4.6 Yapay Sinir Ağlarının Sonlu Kapasite Çizelgelemede Kullanılması

4.6.1 Sonlu Kapasite Çizelgeleme Sistemi Tasarımı İçin Temel Bilgiler

Çok Katmanlı Perceptron Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, üretim çizelgeleme problemlerini çözmek için kullanılabilen alternatif hesaplama tekniklerinden birisidir. Çok katmanlı perceptron ağı, en çok kullanılan YSA mimarisidir, ki tahmin, süreç modelleme ve parça ayırma ve sınıflandırma uygulamalarına geniş bir uygunluk göstermektedir. Bir çok katmanlı perceptron sinir ağı; sürecin mevcut yapısından veya gerçek bir problemde üretilen verilerle eğitilebilir. Çok katmanlı perceptron, sınırlı miktarda girdi ve diğer modelleme yöntemlerinden daha az hesaplama ile yeterli kesinlikte çıktılar sağlayabilir.

Çok katmanlı perceptron deneyim verileri ile eğitilir ve haritalama (4.44)'deki gibi uygulanır:

$$f: S^n \rightarrow R^m \quad (4.44)$$

Faaliyet örneği ağa uygulandığında, sistem, sinaptik ağırlıkları yukarıdaki haritalamaya göre değiştirir. Eğitimin ardından, çok katmanlı perceptron ağı bir uzman sistem gibi davranır. Gerçek uygulamalarda ağın mevcut çıktısı, veri örnekleri kümesi ile yaratılan çıktıya en yakın yaklaşımdır.

Atölye Düzeyi

İşlenen atölye düzeyinin özellikleri şöyledir: m makinede $\{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ ve işlenmeyi bekleyen n iş $\{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ vardır. İşlerin izlemesi gereken belli bir sıra vardır. Her bir

makinenin belli kapasiteleri $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ vardır. Ayrıca işlere ait üretilmesi gereken miktarlar, yani talep miktarları da bellidir $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$.

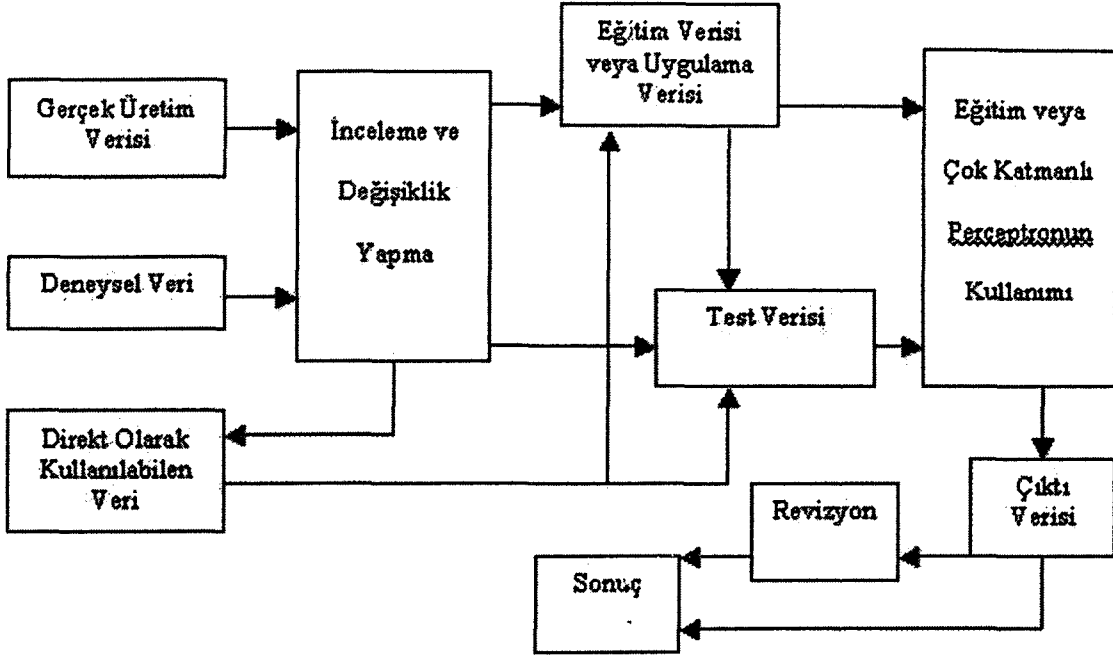
Her bir makine, belli bir zamanda, yalnız ve yalnız bir tek işi işleyebilir. Her bir iş, belli bir zamanda sadece tek bir makinede işlenebilir. Verilen işler ve makineler için; makinelerin işlem sıraları ve işlerin işlem sıraları birbirinden bağımsızdır. Bir makinede bir işin işlenmesine başlandığında operasyon yarıda kesilemez. İşlerin transfer biçimi operasyon esnasında belirlenmelidir, çünkü bir işin bir prosedürü bittiğinde, bir sonraki makineye hemen gönderilmelidir.

4.6.2 Çok Katmanlı Perceptron Kullanılarak Bir Sonlu Kapasite Çizelgeleme Sistemi Geliştirilmesi

4.6.2.1 Problem Çözme Süreci

SKÇ süreci Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Üretim verisi ilk olarak sisteme girer. Veriler incelenir ve değişiklikler yapılır. Ardından eğitim süreci işletilir. Son üretim çizelgesi üretilmeden önce, ilk üretim çizelgesi sağlanır ve revize edilir.

Çok katmanlı perceptron ağlarını işletmeden önce, üç teknik soruna çözüm bulunması gerekmektedir: (1) Veri organizasyonu; (2) yerel minimum çözümün kontrolü; ve (3) ilk çizelgede hataların düzeltilmesi. Bu sorunlar aşağıda incelenmektedir.



Şekil 4.18 Sonlu kapasite çizelgeleme süreci

4.6.2.2 Örnek Veri

Çok katmanlı perceptron metodunun uygulanmasında karşılaşılan zorluklardan biri, örnek verinin eğitim için nasıl organize edileceği ve verilen bir probleme uygun bir algoritmanın nasıl seçileceğidir. Bu nedenle; çok katmanlı perceptronu uygulamadan önce üstesinden gelinmesi gereken ilk problem, örnek verinin nasıl organize edileceğine karar vermektir. Firmada operasyonlar incelendikten sonra, SKÇ için elde edilmesi gereken iki tip kaynak eğitim verisi belirlenmiştir:

(1) *Kurum veritabanı ve mevcut üretim verisi.* Bu tip veriler, gerçek zamanlı işlem gerçekleştirme sistemlerinin tüm çeşitlerinde ve/veya üretim firmasının kullandığı önceki çizelgelerde mevcuttur. Verinin biçimi, çok katmanlı perceptron ağının eğitiminde kullanılanlardan farklı olmaktadır. Bu veri, bu nedenle, bir giriş örnek verisi olarak kullanılmadan önce incelenmeli ve değişiklikler yapılmalıdır.

(2) *Deneysel veri.* En uygun veri, gerçek zamanlı işlem gerçekleştirme sistemi ve/veya üretim firmasının kullandığı önceki çizelgelerden elde edilemiyorsa; üretim yöneticisi ve çizelgeleyici, mevcut üretim faaliyetlerine göre bir çizelge simüle edebilir. Eğer veri kümeleri istenen veri formatına uygun değilse ön işleme gereksinim duyulabilir.

Ön işleme süreci tamamlandıktan sonra, giriş kaynak verisi (veritabanı ve mevcut üretim verisi veya deneysel veri), eğitim verisi olarak kullanılabilir.

4.6.2.3 Yerel Minimumu Kontrol İçin Kullanılan Metot

Hatayı geriye yayma, çok katmanlı perceptronda işlem gören klasik bir algoritmadır. Bu algoritmanın temel zayıflığı, çözümün bir yerel minimum tuzağına kolaylıkla düşebilmesidir. Yerel minimum tuzağına düşmenin garipliği; sistemin, hesaplamanın belirli zamanlardan sonra önceki araştırma alanına geri dönmesi gerçeğinden dolayıdır. Aşağıda buna ilişkin ir varsayım verilmektedir:

$$\text{Adım } t : w(t) = w_t,$$

$$\text{Adım } t+1 : w(t+1) = w(t) + \nabla w_t$$

...

$$\text{Adım } t+n : w(t+n) = w(t+n-1) + \nabla w_{t+n-1}$$

$$= w(t) \ll \text{---- tekrar gözlenir.}$$

Tuzağa düşmüş çözümü yerel minimumun dışına itmek için bazı mekanizmalar kullanılabilir. Örneğin; ağırlık kuyruğu W 'yi kullanarak çözülen bir problem düşünülün. Burada W , belli sayıda ağırlık değerlerini ezberlemek için kullanılır. Uygulama sürecinde çözüm, eğer iki ağırlık değeri eşitse yerel bir minimum tuzağına düşecektir. Bazen, yerel minimum global minimumdur ve diğer zamanlarda hatalar yerel minimumdan ayrıldıktan sonra azaltılamaz. Bu gibi durumlarda, sistem önceki yerel minimuma geri dönmeli ve bir başka kuyruk M , değişen minimum durumu ezberlemelidir.

4.6.2.4 Veri Kodlama

Giriş örnek veri kümesi, tüm işlerin işlem zamanı, işlem sırası ve talep bilgileri ile makinelerin kapasite bilgilerini içermelidir. Çıktı olarak elde edilecek olan çizelge, tüm işlerin her bir makinedeki işlem sıralarını verecektir. İşlem zamanı, bir işin özel bir sürecinin, bir makinede ne kadar zamanda sonlandırılacağını gösterir ve işlem sırası, işin bir makineden diğerine hareket edeceği sırayı gösterir. Ağaç metodu, bu tip bir süreci kodlamada kullanılır. Ağacın tümünün kodlanmasında hibrit parça kodlama metodu kullanılır. Hibrit parça kodlama metodu, işlem zamanını ve işlem sırasını tekil bir parçayla eşzamanlı olarak sunar. Detaylar aşağıdaki gibidir:

(1) *Örnek verinin biçimi.* Girdi: $X (X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_{4n})$ 'tir. Burada X_{4n-3} , işlerin işlem sıraları ve X_{4n-2} ise işlerin işlem süreleridir. Ayrıca, X_{4n-1} işlere ait talep bilgilerini ifade ederken, X_{4n} makinelerin kapasitelerini belirtir.

(2) *Örnek kodlama.* İki işin üç makinede işlendiği bir atölye düzeyi kabul edilsin. İşlere ait işlem sıralarını, işlem sürelerini ve talep bilgileri Çizelge 4.3’de, makinelerin her birine ait kapasite bilgileri Çizelge 4.4’de görülmektedir.

Çizelge 4.3 İki iş için verilen işlem sıraları, işlem süreleri ve işlere ait talep bilgileri

İşler	İşlem Sıraları-İşlem Süreleri (Gün) – Talep		
J1	1-3-50	2-3-75	3-2-100
J2	2-3-75	3-1-100	1-4-50

Çizelge 4.4 Üç makine için verilen kapasite bilgileri

Makine	Kapasite (Adet/Gün)
M1	50
M2	75
M3	100

Bu verilere göre, girdi örneği şu şekilde ifade edilebilir: (1 2 3, 3 3 2, 50 75 100, 50 75 100; 2 3 1, 3 1 4, 75 100 50, 50 75 100). Burada $X_1 = 1 2 3$ ’ün anlamı, birinci işin sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü makinelerden geçerek işleneceğidir. $X_2 = 3 3 2$, birinci işin birinci, ikinci ve üçüncü makinelerde işlenmesi için gereken süreleri ifade eder. $X_3 = 50 75 100$ ifadesi işlere gelen talebi belirtirken, $X_4 = 50 75 100$ birinci, ikinci ve üçüncü makinenin kapasitelerini gösterir. X_5, X_6, X_7, X_8 ifadeleri ise, ikinci işe ait iş sırası, işlem süresi, talep ve makinelerin kapasite bilgilerini gösterir. Yapay sinir ağının eğitilmesiyle elde edilecek olan çıktı, sonlu kapasite çizelgeleme sisteminde her üç makine için de işleri işleme sıralarını gösterecektir. Dolayısıyla, çıktıyı ifade eden Y_j (Y_1, Y_2, \dots, Y_m), makine j ’de ($j = 1, 2, \dots, m$) işlenecek olacak işlerin işlenme sıralarını gösterecektir.

4.6.2.5 Çok Katmanlı Perceptron Mimarisi ve Uygulanması

Parametreler

SKÇ algoritmasında kullanılan uygun parametreler aşağıdaki gibidir:

η : öğrenme hızı, $\eta > 0$

β : momentum parametresi, $0 < \beta < 1$

α : salınım parametresi, $0 < \alpha < 1$

θ : eşik değeri

w: ağırlık değerlerinin matrisi

w(t): t. değişimden sonraki nöronlar arasındaki ağırlık değeri

Δw : ağırlık değişimi

y: amaç düğüm katmanındaki ideal hedef çıktı

y_i : i ünitesinin ideal hedef çıktısı

\hat{y} : gerçek hedef çıktı

\hat{y}_i : i ünitesinin gerçek hedef çıktısı

z: gizli katmanın gerçek çıktısı

z_i : gizli katmandaki i ünitesinin gerçek çıktısı

n: girdi katmanındaki nöronların sayısı

h: gizli katmandaki nöronların sayısı

m: çıktı katmanındaki nöronların sayısı

s: eğitme veri sayısı

λ : gerçek sabit

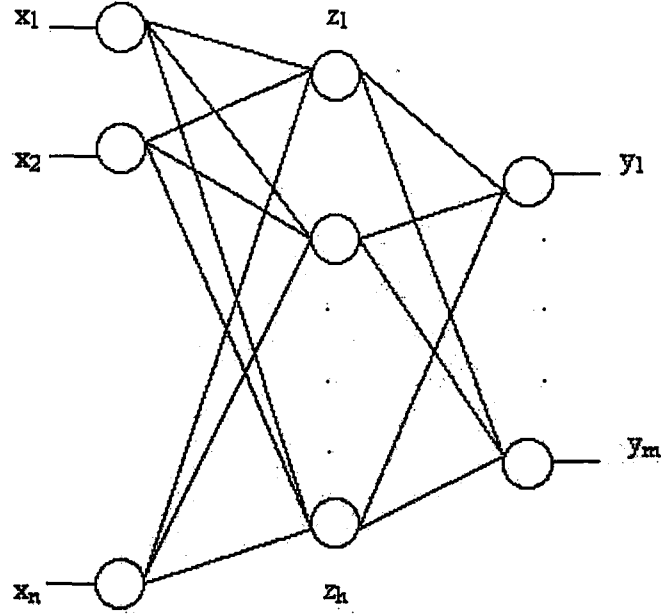
$\psi (*)$: yaklaştığı $f(*)$ 'in haritalamasından bağımsız olan, monoton artan gerçek fonksiyon

ε : pozitif bir sabit

$g_i(*)$: gerçek sürekli fonksiyon

Sistem Yapısı

Çok katmanlı perceptron, $y = f(x)$ 'i haritalamak üzere bir girdi katmanı, bir gizli katman ve bir çıktı katmanından oluşmaktadır. Sistem yapısı Şekil 4.19'da gösterilmektedir.



Şekil 4.19 Çok katmanlı perceptron ağı

Bu yapıda girdi ünitesi, girdi vektörü x 'in her bir bileşenini, gizli katmandaki nöron ünitesine aktarır. Gizli katmandaki düzenleme üniteleri (4.45)'deki girdi/çıkı ilişkisini uygular:

$$Z_k = \sum_{j=1}^n \lambda^k \psi(x_j + k\varepsilon) + k, \quad k = 1, 2, \dots, h. \quad (4.45)$$

Burada Z_k (4.46) denklemi ile hesaplanır,

$$Z_k = \frac{1}{1 + \exp[-(\sum_{j=1}^n W_{kj} X_j + \theta_k)]} \quad (4.46)$$

(4.46)'da W_{kj} gizli ünite k ve girdi ünitesi j arasındaki sinaptik ağırlığı ve θ_k ise, düzenleme ünitesi k 'nın değerini ifade eder.

m çıktı ünitesi, (4.47) eşitliğindeki girdi/çıkı fonksiyonu ile sağlanır,

$$\hat{y}_i = \sum_{k=1}^h g_i(z_k), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.47)$$

Genel olarak (4.48) eşitliğine ulaşılır,

$$g_i(z_k) = W_{ik} Z_k \quad (4.48)$$

(1) Öğrenme Algoritması

Hata fonksiyonu (4.49)'deki gibidir,

$$e(w) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^s \| f(x_k) - \hat{y}_k \|^2 \quad (4.49)$$

Çıktı katmanı için (4.50) eşitliği sözkonusudur,

$$\frac{\partial e(w)}{\partial w_{ik}(t)} = \eta \sum_{r=1}^s [(y_i^r - \hat{y}_i^r) z_k^r] \quad i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, h \quad (4.50)$$

Burada r , örneğin, örnek toplamındaki sıra numarasıdır; y_i^r örneğin ideal değerinin i bileşeninin çıktısıdır; \hat{y}_i^r , r örneğinin mevcut değerinin i bileşeninin çıktısıdır ve y_k^r da, r örneğinin mevcut gizli katmanının k bileşeninin çıktısıdır. Gizli katman için ise (4.51) eşitliği kullanılır,

$$\frac{\partial e(w)}{\partial w_{kj}(t)} = \eta \sum_{r=1}^s \left[\sum_{i=1}^m [(y_i^r - \hat{y}_i^r) w_{ik}(t)] z_k^r (1 - z_k^r) x_j^r \right], \quad (4.51)$$

$j = 1, 2, \dots, n+1; w_{k(n+1)}(t) = \theta_k(t), x_{n+1}^r = 1$

(2) Ağırlıkların Ayarlanması Stratejisi

$$w(t) + \alpha (w(t^*) - w(t)) \quad (4.52)$$

eğer $w(t+1) = w(t^*)$

$$w(t+1) = w(t) - \eta \frac{\partial e(w)}{\partial w(t)} + \beta [w(t) - w(t-1)] = w(t) + \nabla w(t), \quad (4.53)$$

α , rassal bir sayıdır $\in (0,1)$.

(3) Sonuçlarda Değişiklik Yapılması

a) Eğer eğitim sonuçları SKÇ modelleme gereksinimlerini tatmin ederse, mevcut sinir ağı en son SKÇ modeline adapte edilebilir,

b) Eğer eğitim sonuçları gereksinimleri karşılamazsa ve önceden belirlenmiş olan maksimum eğitim zamanı sınırını aşarsa,

(i) eğer minimum kuyruk M' 'de, önceden belirlenmiş hata alt limitine eşit ya da bundan daha küçük bir hata ile bir minimum varsa, mevcut sinir ağı SKÇ modeli olarak kullanılabilir;

(ii) aksi halde, bu eğitim süreci, başarısız bir eğitim olarak ele alınmalıdır.

5. SONLU KAPASİTE ÇİZELGELEMEDE YAPAY SİNİR AĞLARININ KULLANIMINA YÖNELİK UYGULAMA

5.1 Mercedes Benz Türk A.Ş.' nin Tanıtımı

Mercedes Benz Türk, 1967 yılında Daimler Benz AG (%36), Mengerler Ticaret A.Ş. (%32) ve Has Otomotiv (%32) ortaklığı olarak Otomarsan unvanıyla İstanbul'da kurulmuştur.

O302 tipi otobüslerin üretimi, 1968 yılında başlamıştır. Şirket, üretime başladıktan sadece 2 yıl sonra, 1970'de ihracat yapmaya başlamıştır.

1984 yılında Mercedes Benz AG Türkiye Genel Müdürlüğü olan şirket, aynı yıl şirket bünyesine yeni ortaklar katarak, kamyon üretimi için gerekli yeni bir yatırım başlatmıştır.

1986 yılında, Türkiye'nin büyüme potansiyeline paralel olarak Aksaray ilinde kamyon fabrikası üretime geçmiştir.

Kasım 1990'da ticari unvanı Mercedes Benz Türk A.Ş. olarak değişen kuruluş, günümüzde yaklaşık 3280 personel istihdam etmektedir. yoğunlaşan ihracat faaliyetlerini dikkate alarak Davutpaşa fabrikasının yanısıra, İstanbul Hoşdere'de ikinci otobüs fabrikasının temelini 12 Haziran 1993 tarihinde atan Mercedes Benz Türk, Hoşdere Otobüs Fabrikasında 1994 Aralık ayında faaliyete geçmiştir.

Mercedes Benz Türk, kuruluşundan bu yana yaklaşık 29000 otobüs, 31000 kamyon, 1000 midibüs ve gerçek anlamda otomobil ithalatını başlattığı 1989' dan beri yaklaşık 9000 otomobil satışı gerçekleştirmiştir. Mercedes Benz Türk, bugün Hoşdere ve Davutpaşa fabrikalarında şehirlerarası ve belediye tipi otobüsler, Aksaray fabrikasında ise küçük, hafif, orta ağır ve ağır sınıf kamyon ve midibüsler üretmektedir.

Mercedes Benz Türk A.Ş. Aksaray fabrikası 1994 yılında ISO 9002, Davutpaşa ve Hoşdere fabrikaları ise 1995 yılında ISO 9001 kalite belgelerini alarak, Türk otomotiv ana sanayiinde bu belgeleri alan ilk üretim tesisleri oldular.

5.2 Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulamasında Kullanılacak Olan Veriler

Mercedes Benz Türk A.Ş.'de otobüs yapımında kullanılan çok sayıda bileşenden altı tanesi ele alınarak, bunların üretilmesi esnasında kullanılan beş makinede hangi işlem sıralarını izleyeceklerinin belirlenmesi, daha önce de belirtildiği gibi, ulaşılmak istenen sonuç olacaktır.

Sözkonusu altı iş ve beş makinenin neler olduğu aşağıda belirtilmektedir:

M1: Kenar kesme işlemi yapan 60 tonluk pres,

M2: U bükme işlemi yapan 60 tonluk hidrolik pres,

M3: Delik delme işlemi yapan 80 tonluk eksantrik pres,

M4: Kenar boşaltma işlemi yapan 80 tonluk pres,

M5: Sırt formu verme işlemi yapan 200 tonluk eksantrik pres.

M1 makinesi kenar kesme işlemi yapma görevini üstlenmiş olup, daha önceden, rulo halinde firmaya gelen hammaddenin giyotin makas ile belli boyutlarda kesilmesi sonucu elde edilen saç parçaları, işin gerektirdiği daha küçük boyutlara kesmeyi sağlar.

M2 makinesi U bükme işlemi yapmaktadır. Bu işlem hidrolik pres ile olmaktadır. Öncelikle presin kalıbı takılmaktadır. Çünkü daha önceden pres başka parçaları işlemede kullanılmıştır. Takılan kalıp kontrol edildikten sonra parçalar makineye bağlanarak, U profili şeklini alırlar.

M3 makinesi, delik delme işlemi yapan 80 tonluk bir eksantrik prestir. Buradaki delikler belirli çaplarda normal deliklerin yanısıra, uzun delik olarak adlandırılan delikler de delinebilmektedir. Tüm bu işlemleri gerçekleştirmek için, işin özelliklerine de bağlı olarak, makinede çeşitli kalıplar kullanılmaktadır.

M4 makinesi, kenar boşaltma işlemi yapan bir prestir. İşin kenarlarından alınacak olan parçaların boyutlarına ve şekillerine bağlı olarak çeşitli kalıplar kullanılmaktadır.

M5 makinesi ise, sırt formu verme işlemini gerçekleştiren 200 tonluk bir prestir. Bu işlem eksantrik presle yapılmaktadır. İş, daha önce pres'e takılan kalıp üzerine konur (kalıp takılıp kontrol edilir). Kalıp, parçaya profil formu verip, iş için gerekli ideal ölçüler sağlanmış olur.

Mevcut altı işin her biri tüm bu tezgahlara farklı sıralarda uğrayacaktır. İş oluşturulan parçalar üzerinde çeşitli büyüklük ve boyutlarda delik delme, kenar kesme ve boşaltma işlemleri yapılmaktadır. İşlerin üzerinde yapılan işleme göre preslerdeki kalıplar değiştirilmektedir. Örneğin; uzun delik delme kalıbı, 1-4 mm arası kalınlık için, çap×boy olarak 6,5×20, 6,5×25, 6×15 boyutlarında olabilmektedir. Delik delme kalıbı (delik zımbası) da yine 1-4 mm arası kalınlıktaki saclar için, çap olarak 4,5, 5,0, 6,0, vb. boyutunda olabilmektedir. Kenar kesme kalıbı, 1mm kalınlığındaki saclar için 120×150, 3-4 mm kalınlığındaki saclar için 100×200 boyutlarındadır. Kenar boşaltma kalıbı, malzeme kalınlığına göre değişecek şekilde, 70×177, 53×183, 63,5×103, vb. boyutlarında olabilmektedir.

İşlerin hammaddesi, rulolar halinde gelerek, giyotin makasta kesilmesi ile belli boyutlara getirilen saclardan oluşmaktadır. J1 ve J4 işlerinin malzemesi, Mercedes Benz Türk A.Ş.'den alınan bilgiler doğrultusunda, St 03 Z ile gösterilen ve kalınlığı 2 mm' ye kadar olan

galvanizli sacı ifade eden bir malzemedir. Sacın boyutları $2 \times 1200 \times 2400$ şeklindedir. Sacın galvanizli olması, paslanmaya karşı daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Zira J1 ve J4 işleri, diğerlerine göre daha hassas ve paslanmaya karşı daha dayanıklı olması istenen işlerdir. Galvanizli sacın üzerine boya yapılmak suretiyle, paslanmaya karşı dayanıklılığı bir kat daha artırılmaktadır.

J2, J3, J5 ve J6 işlerinin malzemesi, St 1203 ile gösterilen ve kalınlığı 3-4 mm olan sacı ifade eden bir malzemedir. Bu saclar “siyah sac” olarak da adlandırılmakta olup, galvanizle kaplanmamışlardır. Üzerlerine boya yapılmak suretiyle paslanmaya karşı dayanıklılıkları artırılmak istenir. İşlerin malzemeleri kalınlıklarına göre farklılık gösteriyor olup, boyutları $2,5 \times 1200 \times 2400$, $3 \times 1200 \times 2400$, $3,5 \times 1200 \times 2400$ ve $4 \times 1200 \times 2400$ şeklinde gösterilebilmektedir.

Çizelgelemeden önce dikkate alınması gereken bazı faktörler vardır. Bu faktörlerden ilki, işler için tanımlanmış olan işlem sıralarıdır. Yani her bir işin sırasıyla hangi makinelerde işlem göreceği bir veri olarak kabul edilmektedir (teknolojik kısıtlardan ötürü). Çizelge 5.1’de sözkonusu altı işin işlem sıraları verilmektedir.

Çizelge 5.1 Çizelgelenecek işlerin işlem sıraları

İŞLER	İŞLEM SIRALARI				
J1	M1	M2	M3	M4	M5
J2	M2	M3	M1	M4	M5
J3	M5	M4	M1	M3	M2
J4	M2	M3	M4	M5	M1
J5	M4	M1	M5	M2	M3
J6	M3	M5	M2	M1	M4

Dikkate alınacak bir diğer faktör, işlerin makinelerde işlenmesi için gereken işlem süreleridir ve Çizelge 5.2’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.2 Çizelgenecek işlerin her bir makinedeki işlem süreleri

İŞLER	İŞLEM SÜRELERİ (GÜN)				
	M1	M2	M3	M4	M5
J1	3	3	2	4	2
J2	4	3	1	2	2
J3	1	1	2	3	4
J4	3	2	4	3	1
J5	2	3	4	5	1
J6	6	2	1	1	4

Ayrıca makinelerin kapasiteleri ve her bir işin talebi de, çizelgelemede gözönüne alınacak faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır, ki bu faktörlere ait bilgiler de Çizelge 5.3 ve 5.4'de yer almaktadır. Bilindiği gibi, sonlu kapasite çizelgelemenin gerçekleştirilebilmesi için mevcut kapasite ve talep bilgilerinin değerlendirmesi gerekmektedir. Burada makine kapasiteleri, her ürünün her bir kaynaktan aynı miktarda tükettiği kabulü altında değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.3 Makine kapasiteleri

MAKİNE	KAPASİTE (ADET/GÜN)
M1	300
M2	300
M3	300
M4	300
M5	200

Çizelge 5.4 İşlere ait talep bilgileri

İŞ	TALEP (ADET)
J1	200
J2	300
J3	325
J4	150
J5	75
J6	250

5.3 Sonlu Kapasite Çizelgeleme Uygulamasında Kullanılacak Olan Yapay Sinir Ağının Modellenmesi

Mercedes Benz Türk A.Ş.'de, mevcut altı iş ve beş makine için her bir makinede gerçekleşecek olan optimum işlem sıralarının kapasite kısıtları da dikkate alınarak bulunması problemini çözmek üzere yapılandırılan yapay sinir ağı mimarisi Şekil 5.1'de görülmektedir. Ağın çıkışı, yukarıda verilen 6 işin 5 makineden geçiş önceliklerine bağlı olarak, planlama çizelgesine aktarılması için iş sırasını vermektedir. Aşağıda YSA'nın girdi ve çıktı katmanlarında yer alan simgelerin anlamları yer almaktadır:

Girdi Katmanı:

Çizelgelenecek İşlerin İşlem Sıraları (İşlerin İşlem Göreceği Makine Öncelikleri): {J1, J2, J3, J4, J5, J6}

İşlerin Makinelerde İşlenmesi İçin Gereken İşlem Süreleri: {MJ1, MJ2, MJ3, MJ4, MJ5, MJ6}

İşlere Yönelik Talep Bilgileri: {D1, D2, D3, D4, D5, D6}

Makineler İçin Kapasite Bilgileri: {C1, C2, C3, C4, C5}

Çıktı Katmanı:

Her Bir Makinede Sonlu Çizelgeleme Sonucunda Oluşan İşlem Sıraları: {M1, M2, M3, M4, M5}

Modellenen sinir ağının gizli katmanlarında tanjant hiperbolik sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır. Çıkış katmanı ise doğrusal aktivasyon fonksiyonuna sahiptir. Ağ 23 girişe, 12'şer nöronlu iki gizli katmana, 5 adet de çıkışa sahiptir.

Geliştirilen ağı, istenen çizelgeyi verecek şekilde MATLAB 6.0'da hazırlanan programı Ek-1'de verilmiştir. Bu eğitim sonucu Ek-2'de verilen ağırlık ve Ek-3'de verilen eşik değerlerine ulaşmıştır. Ağı önerdiği matematiksel fonksiyon ise, aşağıdaki gibi elde edilebilmektedir.

Ağın önerdiği matematiksel fonksiyon:

x giriş, u birinci katman çıkışı, z ikinci katmanın çıkışı, y de son çıkışı göstermek üzere; ayrıca, w_1 ve b_1 birinci katmanın, sırasıyla, ağırlık ve eşik matrisleri, w_2 ve b_2 ikinci katmanın ağırlık ve eşik matrisleri, w_3 ve b_3 çıkış katmanının ağırlık ve eşik matrisleri olmak üzere elde edilen matematiksel fonksiyon (5.1), (5.2) ve (5.3)'de görülebilmektedir,

$$u = \frac{1}{1 + \exp[-(w_1 \times x_1 + b_1)]} \quad (5.1)$$

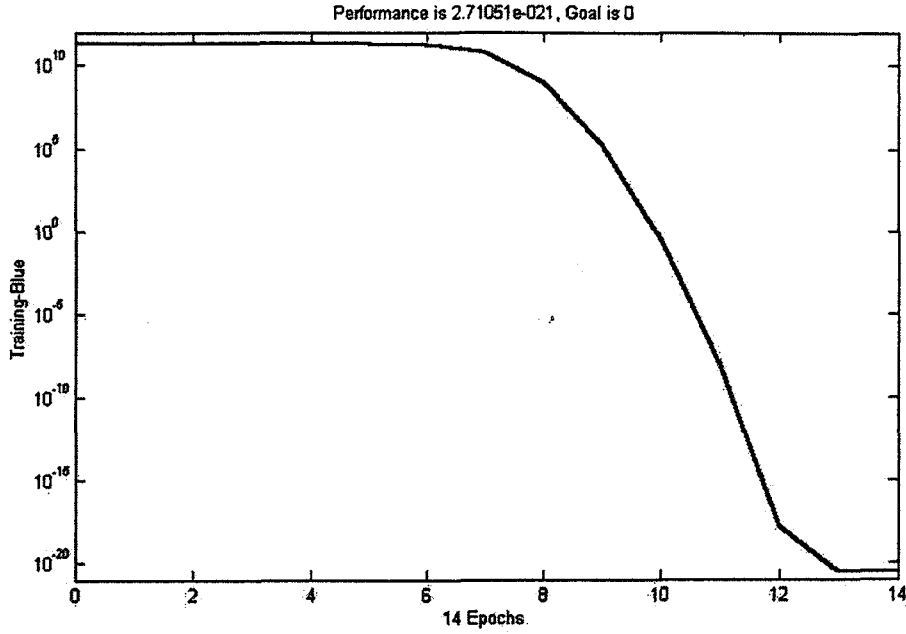
$$z = \frac{1}{1 + \exp[-(w_2 \times u + b_2)]}$$

$$= \frac{1}{1 + \exp[-(w_2 \times \frac{1}{1 + \exp[-(w_1 \times x_1 + b_1)]} + b_2)} \quad (5.2)$$

$$y = w_3 \times z + b_3$$

$$y = \frac{w_3}{1 + \exp[-(w_2 \times \frac{1}{1 + \exp[-(w_1 \times x_1 + b_1)]} + b_2]} + b_3 \quad (5.3)$$

Geliştirilen ağın eğitim grafiği ise, Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Geliştirilen yapay sinir ağının eğitim grafiği

Altı iş ve beş makineden oluşan sonlu kapasite çizelgeleme problemini çözmek üzere yapılandırılan yapay sinir ağında kullanılan parametreler aşağıda belirtilmektedir:

Maksimum eğitim sayısı: 20000

Örnek sayısı : 20

Öğrenme katsayısı : 0.1

Minimum hata : 0

Ağ yapısı : 23-12-6-5

Eğitme sayısı : 14

Eğitim süresi : 15 s

Sonuç olarak, Mercedes Benz Türk A.Ş.'de işlem gören altı işin beş makinedeki iş sıraları, sonlu kapasite çizelgelemede yapay sinir ağları kullanılarak elde edilmiş olup, şu şekildedir:

M1: J1, J5, J2, J3, J6, J4;

M2: J4, J2, J1, J6, J5, J3;

M3: J6, J2, J1, J3, J4, J5;

M4: J5, J3, J1, J2, J4, J6;

M5: J3, J6, J5, J4, J2, J1.

Bu sıralamaya göre hazırlanan Gantt şeması Çizelge 5.5’de görülmektedir. Gantt şemasına göre, 6 işin toplam bitirilme süresi yani çevrim zamanı 21 güne indirgenebilmiştir. Bu çalışma ile, SKÇ’de çevrim süresi optimizasyonu, yapay sinir ağlarının karar vermesi ile sağlanmıştır.

Çizelge 5.5 Sonlu kapasite çizelgeleme uygulama probleminin çözümünü gösteren Gantt şeması

	SÜRE (GÜN)																				
Makine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
M1	1	1	1			5	5	2	2	2	2	3	6	6	6	6	6	6	4	4	4
M2	4	4	2	2	2	1	1	1	6	6	5	5		3							
M3	6					2			1	1			3	3	4	4	4	5	5	5	5
M4	5	5	5	5	5	3	3	3			1	1	1	1		2	2	4	6		
M5	3	3	3	3	6	6	6	6	5	4	4	4	4	2	2	1	1				

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bugünün iş ortamında üreticiler düşük envanterle çalışan, çabuk tepki veren, geniş bir ürün çeşitliliği meydana getiren sistemlere gerek duymaktadırlar. Bir çok şirket fiziksel kapasite sınırlarına eriştiğinden sonlu kapasite çizelgeleme gittikçe daha önemli bir konu haline gelmektedir.

Yüksek ürün çeşitliliği için ürünler daha küçük partiler halinde üretime gereksinim duyulmaktadır. Çok sayıda farklı ürünlerin olması ve küçük parti büyüklükleri üretim planlama ve kontrolünü zorlaştırmaktadır.

Bu çalışma, kaynakların kapasite yüklerinin ve üretim işlerinin yaklaşık başlangıç-bitiş zamanlarının belirlenmesini sağlayan sonlu kapasite planlama yaklaşımının işletme faaliyetlerindeki önemini ve yerinin detaylı bir incelemesini içermektedir.

Sonlu Kapasite Planlama, tüm kaynakların gerçek kapasitelerini, ne zaman sonlandıklarını ve bu kaynakların her bir operasyonda ne şekilde kullanacağına dair tüm detayları göz önüne alan bir yaklaşımdır.

Sonlu Kapasite Planlamanın faydaları ise şöyle özetlenebilir: İşletme için daha doğru kararlar alınabilir, olası sorunları önceden saptayıp önlem alınabilir, buradan elde edilen bilgiler üretimi yönlendirmek için kullanılabilir. Kapasite planlama sonuçları kullanıcıya orta vadede karşılaşılabileceği muhtemel darboğaz durumlarını göstermede ve bu durumlar için muhtemel alternatif çözümleri değerlendirme de yardımcı olur.

Sonlu kapasite planlama sistemlerinin en önemli avantajı gerçekçi ve verimli bir şekilde kullanılacak planlara yer vermesidir. Üretim işletmelerinde verimliliği arttıracığı kesin olan sonlu kapasite planlama yaklaşımına işletmelerin kayıtsız kalmaması gerektiği açıktır.

Bu çalışmada, sonlu kapasite planlamanın gerçekleştirilmesinde yapay sinir ağlarının kullanımı incelenmiştir. Yapay sinir ağları sonlu kapasite planlamada etkili bir plan stratejisi belirlemek için kullanılmıştır.

Uygulamada, ağın verdiği sonuçlar sonlu kapasite planlama için optimum bir sıralama niteliğindedir. Yapay sinir ağları kullanılarak kişilerin katlanması gereken planlama zorlukları giderilmiştir. Bu çalışmada yapılan uygulama her sektöre adapte edilebilir niteliktedir. Bu çalışmada çok katmanlı perceptron yapay sinir ağı kullanılmıştır ve her bir katmandaki ağırlıklar en küçük kareler metodu ile elde edilmiştir. Aynı uygulama için radyal tabanlı ağlar, probabilistik yapay sinir ağları ve genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağları kullanımı için bu çalışma bir basamak niteliğindedir.

Ağa uygulanan girişler genişletilerek, ileriki çalışmalarda daha detaylı sonlu kapasite planlama işlemleri yapılabilecektir. Bu genişletme, giriş olarak işlerin bekleme zamanları, gecikme ve erken bitirmeler, taşımalar, vb. gibi faktörlerin de dikkate alınması ve ayrıca, her işin her kaynaktan farklı miktarlarda tükettiği kabulü ile mümkün olabilmektedir.



KAYNAKLAR

- Akkan, C., (1997), "Finite-Capacity Scheduling for Revenue Based Capacity Management", *European Journal of Operational Research*, 100: 170-179.
- Akpınar, H., (1993), *Yapay Sınır Ağları ve Kredi Taleplerinin Değerlendirilmesinde Bir Uygulama Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Albritton, M., (1999), *Optimal Finite Capacity Production Scheduling with Random Demand, Phd Thesis, Georgia Institute of Technology.*
- Allen, S.J. ve Schuster, E.W., (1994), "Practical Production Scheduling with Capacity Constraints and Dynamic Demand: Family Planning and Disaggregation", *Production and Inventory Management Journal*, 4th. Quarter, 15-21.
- Bahroun, Z., Campagne, J.P. ve Moalla, M., (2000), "The Overlapping Production Planning: A New Approach of Bounded Capacity Management", *International Journal of Production Economics*, 64 (1-3): 21-36.
- Browne, G.R. ve Hax, A.C., (1981), "Disaggregation and Resource Allocation Using Convex Knapsack Problems with Bounded Variables", *Management Science*, 27: 431-441.
- Cambers, M. ve Mount-Campell, C.A., (2002), "Process Optimization via Neural Network Metamodeling", *International Journal of Production Economics*, 79: 93-100.
- Cılız, K., (1995), *Artificial Neural Networks, Ders Notları, Boğaziçi Üniversitesi.*
- Conway, R.W., (1991), "Problems and Implications of Continuous-Time Scheduling", Presented at the Annual Meeting of Production and Operations Management Society, USA.
- Cybenko, G., (1989), "Approximation by Superposition of a Sigmoidal Function", *Math. Control Signal Systems*, 2: 303-314.
- Çelikçapa, F.O., (1999), *Üretim Planlaması, Alfa Basım Dağıtım, İstanbul*
- Dayhoff, J.E., (1990), *Neural Network Architectures, Van Nostrand Reinhold Press, New York.*
- Değertekin, C., (1999), *Kapasite İhtiyaç Planlaması ve Sonlu Çizelgeleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.*
- Durmuşoğlu, B., (1995), *İmalat Yönetim Bilişim Sistemleri ve Hücrel Organizasyon, Üretim Planlaması ve Kontrolü Ders Notları.*
- Ekşi, A., (2001), *Sonlu Kapasite Çizelgeleme Yaklaşımının Üretim Yönetimi İçindeki Yeri, Arayüzleri, Türleri ve Uygulama İpuçları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Emanet, Y., (1997), *Üretim Kaynakları Planlaması ve Optimize Üretim Sistemlerinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Feng, S., Li, L.X., Cen, L. ve Huang, J., (2002), "Using MLP Networks to Design a Production Scheduling System", Article in Press, *Computers and Operations Research*.
- Fogarty, D., Blackstone, J. ve Hoffmann, T.R., (1991), *Production and Inventory Management, South Western Publishing Co., Cincinnati.*
- Geva, S. and Sitte, J., (1992), "A Constructive Method for Multivariate Function Approximation by Multilayer Perceptrons", *IEEE Transactions on Neural Networks*, 3 (4): 621-624.
- Green, J. ve Kiran, A., (1996), "Manufacturers Meet Global Market Demands with FCS Software", *IIE Solutions*, 8: 26-30.

- Güçlü, D., (1996), "MRP II Yazılımlarının Değerlendirilmesi ile İlgili Bir Uygulama", TMMOB Üretim Kaynakları Planlaması Semineri, 37-48.
- Harmonosky, C.M., (1995), "Simulation-Based Real Time Scheduling: Review of Recent Developments". In Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference, eds. C. Alexopoulos, K. Kang, W.R. Lilegdon ve D. Goldsman, 220-225, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, New Jersey.
- Haykin, S., (1999), Neural Networks: A Comprehensive Foundation, Prentice Hall, 2nd Edition, New Jersey.
- Hecht-Nielsen, R., (1990), Neurocomputing, Addison Wesley.
- Hicks, D., (1995), "Enterprise Resources Planning-ERP", IIE Solutions, 8: 12-16.
- Hush, D.R. and Horne, B.G., (1993), "Progress in Supervised Neural Networks", IEEE Signal Processing Magazine, 1: 8-39.
- IMS, (2000a), MMS Finite Capacity Planner, MMS Basic Concepts, IMS Yazılım Danışmanlık & Ticaret Ltd.Şti., İstanbul.
- IMS, (2000b), Success Stories, IMS Yazılım Danışmanlık & Ticaret Ltd.Şti., İstanbul.
- Kaya, D., (1996), Tam Zamanında Üretim Sistemi: Türkçe Makaleler, İstanbul Fren Yayınları:1, İstanbul.
- Kim, K.S., (2002), "Value Management and Common Accounting Performance Measures", Expert Systems with Applications, 22: 331-336.
- Kim, Y.K., Park, K. ve Ko, J., (2003), "A symbiotic evolutionary algorithm for the integration of process planning and job shop scheduling", Computers & Operations Research, 30: 1151-1171.
- Kirchmier, B., (1998), "Finite Capacity Scheduling Methods", APICS-Selection and Application, 8: 38-40.
- Koçel, T., (1983), Yönetim Kavram ve Teknikleri, Uluslararası Eğitim Müdürlüğü Yayınları, İstanbul.
- Kuo, R.J. ve Cohen, P.H., (1998), "Manufacturing Process Control Through Integration of Neural Networks and Fuzzy Model", Fuzzy Sets and Systems, 98: 15-31.
- Lapedes, A. ve Farber, R., (1988), How to Neural Nets Work in Neural Informantion Processing Systems, NewYork.
- Leondes, C.T., (1998a), Neural Network System Techniques and Applications: Optimization Techniques, Academic Press, San Diego, California.
- Leondes, C.T. (1998b), Neural Network System Techniques and Applications: Industrial and Manufacturing Systems, Academic Press, San Diego, California.
- Lippmann, R.P., (1987), "An Introduction to Computing with Neural Nets", IEEE ASSP Magazine, 4: 4-22.
- Liu, K., (1998), "Dispatching Rules for Stochastic Finite Capacity Scheduling", Computers and Industrial Engineering, 35: 113-116.
- Mallik, T.K., (2000), "MRP Based Scheduling vs. Finite Capacity Scheduling", Supply Chain Consultants.
- Mazziotti, B.W. ve Horne, R.E., (1999), "Creating a Flexible, Simulation Based Finite Scheduling Tool", Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference ed. S. Andradottir, K.J. Healy, D.H. Withers ve B.L. Nelson, 853-860, Textile/Clothing Technology Corp.

- Melnyk, S.A., (1998), Finite Capacity Scheduling Softwares, APICS-The Performance Advantage, FCS Software Directory, 8: 60-67.
- Moon, C., Kim, J. ve Hur, S., (2002), "Integrated process planning and scheduling with minimizing total tardiness in multi-plants supply chain", Computers & Industrial Engineering, 43: 331-349.
- Nahmias, S., (1997), Production and Operations Analysis, 3rd. edition, Irwin Publications, Australia.
- Nyguen, D. ve Widrow, B., (1990), "Improving the Learning Speed of 2-Layer Neural Networks by Choosing Initial Values of the Adaptive Weights", International Joint Conference of Neural Networks, 3: pp. 21-26.
- Önder, E.M. ve Kaynak, O., (2000), Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, Boğaziçi University Printhouse, İstanbul.
- Öztemel, E., (1996), "Bilgisayarda Öğrenme ve Yapay Sinir Ağları", Otomasyon, 3: 134-140.
- Pak, C., (1998), "MRP ve ERP Uygulamalarında Başarıya Giden Yol", Otomasyon Dergisi, 10: 25-32.
- Parker, K., (1994), "Evolution Continues in MRP II-Type Systems", Manufacturing Systems, 7: 32-53.
- Parlos, A.G., Chong, K.T. ve Atiya, A.F., (1994), "Application of the Recurrent Multilayer Perceptron in Modelling Complex Process Dynamics", IEEE Trans. Neural Networks, vol. 5, no. 2.
- Pinedo, M., (1995), Scheduling: Theory, Algorithms and Systems, Columbia University, Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Quinn, G. ve Novels, M., (2001), "Analyzing Production Schedules", IIE Solutions, 2:38-42..
- Riane, F., Artiba, A. ve Iassinovski, S., (2001), "An integrated production planning and scheduling system for hybrid flowshop organizations", International Journal of Production Economics, 74: 33-48.
- Rosenwinkel, M.T. ve Rogers, P., (1993), "Simulation-Based Finite Capacity Scheduling: A Case Study". In Proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference, eds. G.W. Evans, Mollaghasemi, E.C. Russel and W.E. Biles, 939-946. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, New Jersey.
- Rumelhart, D.E. ve McClelland, J.L., (1986), Parallel Distributed Processing: Explorations in Microstructure of Cognition, MIT Press.
- Sen, R., (2000), Combining Infinite Capacity Scheduling and Finite Capacity Scheduling: An Experimental Investigation of an Alternative Scheduling Procedure, Phd. Thesis, The Graduate School of Clemson University.
- Simpson, P.K., (1990), Artificial Neural Systems, Pergamon Press.
- Smith, L., (1995), An Introduction to Neural Networks, University of Stirling Press.
- Tardif, V. ve Earman, M.L.S., (1997), "Diagnostic Scheduling in Finite Capacity Production Environments", Computers and Industrial Engineering, 4: 867-878.
- Tolunbike, C., (2001), Üretim Çizelgeleme ve Sonlu Çizelgeleme Sistemiyle Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ünal, A.T., (1999), Sonlu Kapasite Planlama ve Diğer Planlama Teknikleri, Yüksek Lisans

Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Vellido, A., Lisboa, P.J.G. ve Vaughan, J., (1999), "Neural Networks in Business: A Survey of Applications (1992-1998)", Expert Systems with Applications, 17: 51-70.

Weintraub, A., Zozom, A., Hodgson, T. ve Cornier, D., (1997), "A Simulation Based Finite Capacity Scheduling System", Proceedings of 1997 Winter Simulation Conference ed. S. Andradottir, K.J. Healy, D.H. Withers ve B.L. Nelson, 838-844, Department of Industrial Engineering, North Carolina State University.

Yetiş, N., (1993), "Kapasite İhtiyaç Planlaması", Üretim Kaynakları Planlaması Semineri, TMMOB İstanbul Şubesi.

Zozom, A., (1998), "A Finite Capacity Job Shop Planning and Scheduling System", Phd. Thesis, The Graduate Faculty of North Carolina State University.

Zurada, J.M., (1992), Introduction to Artificial Neural Systems, West Publishing, USA.

INTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://www.cybor.co.nz/frames/news/finite.html>

[2] <http://www.uytes.com>

[3] <http://ic-www.arc.nasa.gov>

[4] <http://www.lionhrtpub.com>

[5] <http://www.prescientsystems.com>

[6] http://alaeddin.selcuk.edu.tr/~noval/YSA1/ders_notlari.html

[7] <http://www.msb.mil.tr/arge1/sayi3/yazi09.htm>

[8] <http://www.advancedmanufacturing.com>

EKLER

- Ek 1 Altı İş Beş Makine Sonlu Kapasite Çizelgeleme Problemini Çözen Yazılım
Ek 2 Altı İş Beş Makine Sonlu Kapasite Çizelgeleme Problemini Çözen Yapay Sinir Ağının Ağırlık Değerleri
Ek 3 Altı İş Beş Makine Sonlu Kapasite Çizelgeleme Problemini Çözen Yapay Sinir Ağının Eşik Değerleri



Ek 1 Altı İş Beş Makine Sonlu Kapasite Çizelgeleme Problemini Çözen Yazılım

```

clear all
format long e
function net = newff(pr,s,tf,btf,blf,pf)
if nargin < 2
    net = newnet('newff');
    return
end
if nargin < 4, btf = 'trainlm'; end
if nargin < 5, blf = 'learnqdm'; end
if nargin < 6, pf = 'mse'; end
if (~isa(pr,'double')) | ~isreal(pr) | (size(pr,2) ~= 2)
    error('Giris araligi iki kolon matris degil.')
end
if any(pr(:,1) > pr(:,2))
    error('Giris araliklarinin ikinci satiri ayni sutundaki birinci satirdan daha buyuk degere sahip.')
end
if isa(s,'cell')
    if (size(s,1) ~= 1)
        error('Katman sayisi pozitif tam sayi degil.')
    end
    for i=1:length(s)
        si = s{i};
        if ~isa(si,'double') | ~isreal(si) | any(size(si) ~= 1) | any(si<1) | any(round(si) ~= si)
            error('Katman sayisi pozitif tam sayi degil.')
        end
    end
    s = cell2mat(s);
end
if (~isa(s,'double')) | ~isreal(s) | (size(s,1) ~= 1) | any(s<1) | any(round(s) ~= s)
    error('Katman sayisi pozitif tam sayi degil.')
end
Nl = length(s);
if nargin < 3, tf = {'tansig'}; tf = [tf(ones(1,Nl))]; end
net = network(1,Nl);
net.biasConnect = ones(Nl,1);
net.inputConnect(1,1) = 1;
[j,i] = meshgrid(1:Nl,1:Nl);
net.layerConnect = (j == (i-1));
net.outputConnect(Nl) = 1;
net.targetConnect(Nl) = 1;
net.inputs{1}.range = pr;
for i=1:Nl
    net.layers{i}.size = s(i);
    net.layers{i}.transferFcn = tf{i};
end
net.performFcn = pf;
net.adaptFcn = 'trains';
net.inputWeights{1,1}.learnFcn = blf;

```

```
for i=1:Nl
    net.biases{i}.learnFcn = blf;
    net.layerWeights{i,:}.learnFcn = blf;
end
net.trainFcn = btf;
net.initFcn = 'initlay';
for i=1:Nl
    net.layers{i}.initFcn = 'initnw';
end
net = init(net);

x = textread('alv1.dat','%f,%f,%f,%f,%f,%f,%f,%f,%f,%f,%f,%f');
y = textread('alv2.dat','%f,%f,%f,%f,%f');
l=x'
net = newff([0 55000;0 54000;0 55000;0 54000;0 55000;0 54000;0 55000;0 54000;0 55000;0
54000;0 55000;0 54000;0 250;0 500;0 500;0 200;0 150;0 250;0 500;0 500;0 500;0
300],[12 6 5],{'tansig' 'tansig' 'purelin'});
net.trainParam.epochs = 1000;
net = train(net,l,y);
T= sim(net,l)
```

Ek 2 Altı İş Beş Makine Problemini Çözen Yapay Sinir Ağının Ağırlık Değerleri

Giriş katmanı ağırlık değerleri

Sütun 1

4.366246244762555e+000
7.362451812852870e+000
9.037893130309769e+000
-8.660270871664787e+000
1.698847196291459e+000
2.125885235677776e+000
4.802698955100652e+000
1.309592124109949e+001
-2.983556896551167e+000
7.500612386982639e+000
-1.239853220766759e+001
4.740220713812080e+000

Sütun 2

1.175717106697298e+001
1.982523414491291e+001
2.433676052035106e+001
-2.331996014691948e+001
4.574559216185733e+000
5.724478572416043e+000
1.293250345628787e+001
3.526409187875780e+001
-8.033950648096194e+000
2.019730269084673e+001
-3.338611469267466e+001
1.276422551775911e+001

Sütun 3

8.186020221244288e+000
1.380349500158942e+001
1.694465968529216e+001
-1.623671198652902e+001
3.185071264686705e+000

3.985698429282500e+000
9.004346142191102e+000
2.455289493449438e+001
-5.593695697864257e+000
1.406255121930296e+001
-2.324534906748719e+001
8.887196735754712e+000

Sütun 4

1.111345629197298e+001
1.873982127668330e+001
2.300432045484610e+001
-2.204319103518248e+001
4.324131245215662e+000
5.411042451712454e+000
1.222445753987240e+001
3.333339532490950e+001
-7.594071958014803e+000
1.909152451971025e+001
-3.155823317562003e+001
1.206540185809510e+001

Sütun 5

1.914563264127576e+001
3.228385270277999e+001
3.963053701857809e+001
-3.797475578790986e+001
7.449322654528108e+000
9.321878137880724e+000
2.105958410569750e+001
5.742481603609476e+001
-1.308265111087883e+001
3.288975244795155e+001
-5.436666985448265e+001
2.078555049718375e+001

Sütun 6

1.525121685977475e+001
2.571697822632175e+001

3.156926982915129e+001
-3.025032389081312e+001
5.934063979663105e+000
7.425693355346591e+000
1.677585537537020e+001
4.574403180751862e+001
-1.042151450907239e+001
2.619961973980615e+001
-4.330795854677992e+001
1.655756920566414e+001

Sütun 7

8.294250198756751e+000
1.398598585936564e+001
1.716869780478713e+001
-1.645139004289076e+001
3.227182070046174e+000
4.038410793866267e+000
9.123418130433235e+000
2.487751962600617e+001
-5.667632302343933e+000
1.424844922284231e+001
-2.355267421237935e+001
9.004697143732260e+000

Sütun 8

8.599103489586671e+000
1.450005279037710e+001
1.779975749836084e+001
-1.705608539706094e+001
3.345802394174803e+000
4.186837140262325e+000
9.458760991353056e+000
2.579193293781244e+001
-5.875985755966408e+000
1.477220145350675e+001
-2.441838422973911e+001
9.335667332394609e+000

Sütun 9

1.468599991728371e+001
2.476394555002157e+001
3.039935414472771e+001
-2.912925967199215e+001
5.714147910197341e+000
7.150518279438706e+000
1.615414175926457e+001
4.404880032379397e+001
-1.003529087891299e+001
2.522871848830771e+001
-4.170299419470418e+001
1.594395865524296e+001

Sütun 10

1.843896393699745e+001
3.109228540405232e+001
3.816778242915299e+001
-3.657310499968711e+001
7.174393487928375e+000
8.977788667620725e+000
2.028227366169361e+001
5.530525657682933e+001
-1.259975266292995e+001
3.167578123477577e+001
-5.236000142410090e+001
2.001837532307788e+001

Sütun 11

1.245461179966688e+001
2.100130877692497e+001
2.578048275749062e+001
-2.470335830521315e+001
4.845965431416638e+000
6.064056022810899e+000
1.369970820573148e+001
3.735604811339833e+001
-8.510554699772337e+000

2.139547187261498e+001
-3.536666457535097e+001
1.352142859114310e+001

Sütun 12

5.043873740089898e+000
8.505121469279711e+000
1.044058703113297e+001
-1.000438595435810e+001
1.962502037389423e+000
2.455845057592671e+000
5.548108361309215e+000
1.512849521269988e+001
-3.446586667142477e+000
8.664745174262654e+000
-1.432283789515226e+001
5.475917711464135e+000

Sütun 13

6.681584730545222e-002
1.181089294312577e-001
1.419289220718434e-001
-1.377163453603876e-001
3.107099096069703e-002
3.136755510404014e-002
7.883641277382009e-002
2.087502093626689e-001
-4.999294633166556e-002
1.186712719171686e-001
-2.032300170722121e-001
7.569959510086755e-002

Sütun 14

8.690108237992604e-002
1.480344832586859e-001
1.850585419889199e-001
-1.758602068243245e-001
3.444360482680290e-002
4.144631198942473e-002

9.525459586681917e-002
2.636248140554842e-001
-5.891775707611249e-002
1.533731287657093e-001
-2.524204613829268e-001
9.859783757940696e-002

Sütun 15

1.158305224042600e-001
1.953522393413819e-001
2.378386982126557e-001
-2.280120823021645e-001
4.396963070623255e-002
5.423577231672409e-002
1.254422891406075e-001
3.433112305490629e-001
-7.672731392828133e-002
1.959972339418104e-001
-3.284866927534803e-001
1.241028199424905e-001

Sütun 16

5.512129291000113e-002
9.345592225996516e-002
1.109302006297324e-001
-1.090099982195654e-001
1.901362094917944e-002
2.320285585760874e-002
5.320281721202945e-002
1.579263979836293e-001
-3.461820984143050e-002
8.709577845691285e-002
-1.477805231016819e-001
6.381834379385490e-002

Sütun 17

2.950891038149086e-002
4.858901742545944e-002
5.075184027494945e-002

-5.708308008932821e-002
7.516269939260382e-003
1.572531247288917e-002
3.585381015237316e-002
8.168668347928881e-002
-1.745848281069833e-002
5.008863532281999e-002
-7.102495753249855e-002
3.177085755433003e-002

Sütun 18

7.216131070007974e-002
1.219117755517610e-001
1.508925314203888e-001
-1.404195186062150e-001
2.977917309223955e-002
3.555765365566071e-002
7.618413417685523e-002
2.136618819047973e-001
-4.957441944221935e-002
1.249310694630401e-001
-2.009723759955512e-001
7.246177863302139e-002

Sütun 19

1.068293123272668e-001
1.789785231765743e-001
2.183098905683965e-001
-2.094649912046762e-001
3.975002203140642e-002
5.349187747511511e-002
1.154864239034661e-001
3.166736352582946e-001
-7.190139267626516e-002
1.803282549219097e-001
-3.020024666668533e-001
1.140021765040569e-001

Sütun 20

1.042077960531556e-001
1.772497191805566e-001
2.192051190722556e-001
-2.090601305896739e-001
4.260096466086609e-002
4.977926206112397e-002
1.176649298104443e-001
3.198663286154601e-001
-7.150726816520901e-002
1.840482004056695e-001
-3.006328958588281e-001
1.164775376843437e-001

Sütun 21

1.054593392667912e-001
1.804944330377204e-001
2.189069599853540e-001
-2.123975045667273e-001
4.206045436224958e-002
5.346857438998672e-002
1.152733130700997e-001
3.178599755128866e-001
-7.427448485728422e-002
1.820802491012155e-001
-2.997241650831174e-001
1.146195124895669e-001

Sütun 22

1.050753331786117e-001
1.783194235911033e-001
2.207872057711158e-001
-2.097918362548992e-001
4.284714325281178e-002
5.297406128062833e-002
1.165864162422582e-001
3.188523887533616e-001
-7.443080678643507e-002

1.824395976148240e-001
-3.014896304456538e-001
1.171174672165782e-001

Sütun 23

7.320286482171313e-002
1.190883868382528e-001
1.486939324407792e-001
-1.391587970261682e-001
2.456177403093828e-002
3.201782909485730e-002
7.777238591555755e-002
2.085894411910174e-001
-5.031709917166971e-002
1.203992861607569e-001
-1.980239413578600e-001
7.515100172679858e-002

Gizli katman ağırlık değerleri

Sütun 1

-1.538410702151139e+000
-2.963847171622923e+000
-4.280522676845097e+000
-4.646406967797626e+000
1.224170468212317e+000
-3.169786298215988e+000

Sütun 2

-1.396119983039146e+000
-3.082365550981390e+000
-4.226506023723815e+000
-3.646906118541414e+000
1.978860223094130e+000
-3.159562366441878e+000

Sütun 3

-4.839582525089233e-001
-3.633089870897209e+000

-5.233462352893712e+000

-4.316047079567839e+000

9.537072213339553e-001

-3.106933212340701e+000

Sütun 4

1.966494179865245e+000

2.462963726320018e+000

4.399083720355456e+000

4.247490592475202e+000

-1.161885573235546e+000

2.409593387781221e+000

Sütun 5

-1.089600859497968e+000

-2.826688673477564e+000

-4.282531400252069e+000

-3.570139052229757e+000

1.929295538471337e+000

-2.857868836419725e+000

Sütun 6

-9.344050881309631e-001

-2.564444428675288e+000

-5.187984064120916e+000

-4.692066738305422e+000

1.034960483358703e+000

-2.955792524872703e+000

Sütun 7

-1.508768803120075e+000

-2.181363158179533e+000

-4.840686873096083e+000

-4.913494228217834e+000

1.382073026942670e+000

-2.959111569800984e+000

Sütun 8

-1.637064635183730e+000

-3.737957247081448e+000

-4.169550183131234e+000

-4.516783393012937e+000

6.137290964748696e-001

-3.966525508937357e+000

Sütun 9

1.268037938197038e+000

2.921821697424679e+000

4.207921985089231e+000

4.338232087279852e+000

-1.325186654446179e+000

2.217550501792273e+000

Sütun 10

-1.302138925652743e+000

-3.375341188067687e+000

-4.179273164047257e+000

-3.875185953815253e+000

1.967758180201114e+000

-2.795281721815684e+000

Sütun 11

1.638059921543979e+000

2.672356003232466e+000

5.293271319766585e+000

3.400559087668646e+000

-1.155156095016369e+000

3.165110495814713e+000

Sütun 12

-1.475192129808813e+000

-3.102680310731675e+000

-5.233845665195027e+000

-4.021883524927945e+000

1.883345153101924e+000

-3.776622325570286e+000

Çıkış Katmanı Ağırlık Değerleri

Sütun 1

-2.176721720416895e+004

-6.023838040970949e+004

-8.876396772885619e+004

-7.589394723915334e+004

-5.220309478422269e+004

Sütun 2

-2.176433058388217e+004

-6.023052248076589e+004

-8.875642225153012e+004

-7.588646135175659e+004

-5.219883765732513e+004

Sütun 3

-2.176710668898216e+004

-6.023796148195680e+004

-8.876566289902281e+004

-7.589430163879566e+004

-5.220360164972900e+004

Sütun 4

-2.176492757795055e+004

-6.023264637221074e+004

-8.875972397468102e+004

-7.588799660171632e+004

-5.220085628680790e+004

Sütun 5

2.176704114689893e+004

6.023751327133270e+004

8.876654117993271e+004

7.589456741794430e+004

5.220553356381542e+004

Sütun 6

-2.176608437250831e+004

-6.023767024713818e+004

-8.876525832798431e+004

-7.589369669932235e+004

-5.220303061097420e+004

Ek 3 Altı İş Beş Makine Problemini Çözen Yapay Sinir Ağının Eşik Değerleri**Giriş Katman Eşik Değerleri**

-1.994784000404500e+000
-1.221723874361201e+000
8.859666139172392e-001
-3.209975207975048e+000
1.987722793979302e+000
9.861674407582791e-001
-4.334404464879571e-001
1.579097016216409e-001
-1.069545276140080e+000
-2.827140289803037e-001
-5.293479837579365e-001
-8.903033186605840e-001

Gizli Katman Eşik Değerleri

5.611001161555358e-001
-1.843764653678980e+000
-5.029313534770191e+000
-4.426184805402783e+000
2.186470994236205e+000
-4.700162989098788e+000

Çıkış Katmanı Eşik Değerleri

2.176729242560998e+004
6.023830573688910e+004
8.876742363799716e+004
7.589502905131505e+004
5.220604544712821e+004

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	06.10.1979	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1993-1997	Şehremini Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi
Lisans	1997-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak. Endüstri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2001-2003	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

2001-Devam ediyor YTÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü
Araştırma Görevlisi

