

**TASARIM VE SONRASI UYGULAMALARIN BÜTÜNLEŞMESİ
İÇİN UNSUR TANIMA SİSTEMİ**

DOKTORA TEZİ

Nursel Öztürk

507920111012

100786

100786

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 1 Ekim 1999

Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Eylül 2000

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Murat Dinçmen

4.10.2000 M. Dinçmen

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Gündüz Ulusoy (Sabancı Ü.)

Prof.Dr. M. Bülent Durmuşoğlu (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Füsun Ülengin (İ.T.Ü.)

Doç.Dr. Ertuğrul Karsak (Galatasaray Ü.)

E. Karsak

EYLÜL 2000

ÖNSÖZ

Bilgisayar destekli sistemler, 1980'li yıllardan itibaren endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemleri kullanan işletmeler küresel pazarlarda rakiplerine göre önemli avantajlar elde etmişlerdir. Bununla birlikte, bilgisayar bütünleşik üretim kavramının tam olarak anlaşılmasından dolayı beklenen sonuçlar elde edilememiştir.

1990'lı yıllarda bilgisayar bütünleşik üretim kavramının daha iyi anlaşılmasıyla bilgisayar destekli sistemlere duyulan ilgi artmış ve önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Ancak 2000'li yıllara yaklaştığımız bu günlerde, tasarım ve sonrası uygulamalar arasındaki bağlantının tam olarak kurulamaması nedeniyle, tam otomasyonun sağlanması yönünde henüz yeterli sonuçlar elde edilememiştir. 2000'li yıllarda tam otomasyonun sağlanmasıyla, endüstride çok önemli gelişmelerin olacağı beklenmektedir. Üniversiteler ve endüstrideki çok sayıda araştırmacının çalışmaları bu noktada odaklanmıştır.

Bu tez çalışması, tam otomasyonun sağlanmasına yönelik yapılan çalışmalara katkı olarak tasarım ile tasarım sonrası uygulamaların bütünleşmesini amaçlayan bir çalışmadır.

Bana böylesine önemli ve güncel bir konuda çalışma yapma olanağı tanıyan, tezimi özveriyle kontrol eden ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Murat Dinçmen' e, kendilerinden çok şey öğrendiğim bütün hocalarıma, doktora yapmam sırasında destek veren Uludağ Üniversitesi'ndeki hocam Prof. Dr. Fatih C. Babalık' a, büyük sabır ve anlayış gösteren Bölüm Başkanım Prof. Dr. Erdal Emel' e, bazı çizimlerde yardım eden Öğr.Gör. Necmettin Kaya'ya, her zaman yanımda hissettiğim aileme ve sevgili eşim Prof. Dr. Ferruh Öztürk' e teşekkürü bir borç bilirim.

Eylül, 1999

Nursel Öztürk

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE BİLGİSAYAR DESTEKLİ İMALAT BÜTÜNLEŞMESİ	4
2.1. Bütünleşik Üretim Yapısında Bilgisayar Destekli Tasarım	5
2.2. Bütünleşik Üretim Yapısında Otomasyon ve Veri Paylaşımı	9
2.3. Bütünleşik Üretim İçin Eşzamanlı Mühendislik	12
2.4. Eşzamanlı Mühendislik İçin Unsur Tabanlı Ürün Modelinin Önemi	15
3. CAD MODELLEME TEKNİKLERİ VE VERİ DEĞİŞİMİ	18
3.1. CAD Geometrik Modelleme Teknikleri	19
3.2. CAD Geometrik Model Veri Yapıları	24
3.3. CAD Sistemlerinin Bütünleşme Açısından Değerlendirilmesi	28
3.4. Bilgisayar Destekli Üretim Sistemlerinde Veri Değişimi	31

4. CAD ÜRÜN MODELİNDE UNSUR KULLANIMI VE TANIMA	34
4.1. Unsurlar	34
4.2. Unsur Tabanlı Tasarım	39
4.3. Unsur Tanıma	43
4.4. Unsur Tanıma Alanında Literatürde Yer Alan Çalışmalar	47
4.4.1. Kural Tabanlı Sistemler	49
4.4.2. Çizge Tabanlı Sistemler	51
4.4.3. Gramer Tabanlı Sistemler	56
4.4.4. Ayrıştırma Tabanlı Sistemler	57
4.4.5. Sinirsel Ağ Yaklaşımı ile Unsur Tanıma	61
4.4.6. Unsur Tanıma Sistemlerinin Karşılaştırılması	62
4.5. Unsur Tanımadaki B-rep ve CAD Veri Dosyalarının Kullanımı	64
5. SİNİRSEL AĞLAR	69
5.1. Bir Nöron Modeli	69
5.2. LMS Öğrenme Kuralı	72
5.3. Ağırlıkların Bulunması	76
5.4. Geriye Yayılma Algoritması	78
5.5. Sinirsel Ağlar ile Unsur Tanıma	81
5.5.1. Sinirsel Ağlar ile Sınıflara Ayrıştırma Çalışmaları	87
5.6. CAD Modelinden Bilginin Çıkarımı	89
5.6.1. Çok Katmanlı Sinirsel Ağ İle Sınıflara Ayrıştırma İşlemi	91
6. SİNİRSEL AĞLAR İLE UNSUR TANIMA UYGULAMASI	94
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	116
KAYNAKLAR	123
EK A	133
EK B	138
EK C	151
EK D	169

EK E	184
EK F	195
EK G	206
EK H	210
ÖZGEÇMİŞ	227



KISALTMALAR

- CAD** : Computer Aided Design - Bilgisayar destekli tasarım
CAM : Computer Aided Manufacturing - Bilgisayar destekli imalat
CIM : Computer Integrated Manufacturing - Bilgisayar bütünleşik üretim
CAE : Computer Aided Engineering - Bilgisayar destekli mühendislik
CE : Concurrent Engineering - Eş zamanlı mühendislik
CD : Concurrent Design - Eş zamanlı tasarım
DFM : Design for Manufacturing - İmalat için tasarım
DFA : Design for Assembly - Montaj için tasarım
B-rep : Boundary representation - Sınır temsili
CSG : Constructive Solid Geometry - Yapısal katı geometri
ASV : Alternating Sum of Volumes - Hacimlerin alternatif toplamı
ASVP : Alternating Sum of Volume Partition - Alternatif hacim bölünmesinin toplamı
AAG : Attributed Adjacency Graph - Özellikli komşuluk çizgesi
LMS : Least Mean Square - En küçük karesel ortalama
BP : Back Propagation - Geriye yayılma
ICAM : Integrated Computer Aided Manufacturing - Bütünleşik bilgisayar destekli imalat
CMM : Coordinate Measuring Machines - Koordinat ölçme makinaları
CAPP : Computer Aided Process Planning - Bilgisayar destekli işlem planlama
NC : Numerical Control - Sayısal denetim
CNC : Computerized Numerical Control - Bilgisayarlı sayısal denetim
FMC : Flexible Manufacturing Cells - Esnek imalat hücreleri
FMS : Flexible Manufacturing Systems - Esnek imalat sistemleri
GT : Group Technology - Grup teknolojisi
STEP : Standard for Transfer and Exchange of Product Model Data - Ürün model verisinin değişim standardı
PDES : Product Data Exchange for STEP - STEP tabanlı ürün verisi değişimi
IGES : Initial Graphics Exchange Standard - Grafik değişim standardı
DXF : Drawing Exchange File Format - Çizim Değişim Dosya Formatı
ANSI : American National Standards Institute - Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
ISO : International Standards Organization-Uluslararası Standartlar Organizasyonu

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1	: Unsur tanıma sistemlerinin karşılaştırılması	63
Tablo D.1	: Bir gizli katmanlı ağın unsur tanıma eğitim sonuçları	169
Tablo D.2	: İki gizli katmanlı ağın unsur tanıma eğitim sonuçları	170
Tablo D.3	: Üç gizli katmanlı ağın unsur tanıma eğitim sonuçları	171



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Tasarım adımlarında uygulanan çalışma ve düşünme mekanizması	6
Şekil 2.2	: Tasarım adımlarında ürün modelinin değerlendirilmesi	7
Şekil 2.3	: Ürün yaşam çevrimi süresince çeşitli aşamaların ürün maliyetine olan etkisi	13
Şekil 2.4	: Unsur tabanlı CE yapısı	17
Şekil 3.1	: Bir parçanın CAD tel çerçeve modeli	20
Şekil 3.2	: Bir parçanın CAD yüzey modeli	20
Şekil 3.3	: Bir parçanın CAD katı modeli	21
Şekil 3.4	: Bir parçanın hücrelere ayrıştırma çalışması	22
Şekil 3.5	: Bir parçanın süpürme işlemi ile oluşturulmuş modeli	22
Şekil 3.6	: Bir parçanın B-rep modeli	23
Şekil 3.7	: Bir parçanın CSG ile oluşturulmuş modeli	23
Şekil 3.8	: Bir parçanın topoloji yapısı	25
Şekil 3.9	: Örnek parçanın CAD B-rep yapısı	26
Şekil 3.10	: CSG ile farklı kanal oluşturma işlemleri	27
Şekil 4.1	: Tasarım ve imalat unsurları	36
Şekil 4.2	: Aynı parçanın farklı uygulama unsurları	37
Şekil 4.3	: Unsurlar	38
Şekil 4.4	: Örnek uygulama parçası	40
Şekil 4.5	: İlk objenin oluşturulması	41
Şekil 4.6	: Kanal unsuru ile kesilmiş parça	41
Şekil 4.7	: Kanal ve delik unsuru ile kesilmiş parça	42
Şekil 4.8	: Modelleme işlemi tamamlanmış unsur tabanlı CAD parça modeli	42
Şekil 4.9	: CSG yapısında yer alan boolean işlemleri	45
Şekil 4.10	: Bir parçanın B-rep yapısını oluşturan elemanlar	46
Şekil 4.11	: Kanal unsuru	49
Şekil 4.12	: Farklı kanal unsurları	50
Şekil 4.13	: Çeşitli unsur çizgeleri	53
Şekil 4.14	: Bir parçanın ve unsurlarının AAG çizgeleri	54
Şekil 4.15	: Dört örüntü tanıma vektörü ve deliğin basit gösterimi	56
Şekil 4.16	: Parçanın hücrelere ayrıştırılmış modeli	58
Şekil 4.17	: Ayrıştırma işleminin imalat unsurlarına dönüşümü	60
Şekil 4.18	: ASV yöntemi ile parçanın ayrıştırılması	60
Şekil 4.19	: ASV ile ayrıştırılamayan parça örneği	61
Şekil 4.20	: Örnek CAD parça modeli	65
Şekil 4.21	: Parçanın bir yüzünü oluşturan kenarların gösterimi	65
Şekil 4.22	: Parçanın F1 yüzünde bir kenarı oluşturan köşelerin gösterimi	66
Şekil 4.23	: Nesne yönelimli CAD programlarında B-rep yapıları	68
Şekil 5.1	: Bir nöron modeli	70
Şekil 5.2	: Sigmoid fonksiyonu ve eşik fonksiyonu	71

Şekil 5.3	: İki ağırlığın olduğu bir sistemde hata yüzeyi	74
Şekil 5.4	: İlk ağırlık değerlerinin sebep olduğu hata	75
Şekil 5.5	: Optimum ağırlık değerlerinin eğim düşme yöntemi ile bulunması	75
Şekil 5.6	: Gizli katmansız bir sinirsel ağ yapısı	76
Şekil 5.7	: Bir gizli katmanlı sinirsel ağ yapısı	79
Şekil 5.8	: CAD parça modelinden sinirsel ağ ile unsur çıkarımı	82
Şekil 5.9	: STEP standardı CAD parça modeli	83
Şekil 5.10	: Sinirsel ağ yaklaşımıyla unsur tabanlı CAD modeli oluşturma	84
Şekil 5.11	: Sinirsel ağ yapısı	86
Şekil 6.1	: Bir kör kanal unsur örneği	96
Şekil 6.2	: Kanal eğitim kümesi	98
Şekil 6.3	: Adım eğitim kümesi	99
Şekil 6.4	: Cep eğitim kümesi	100
Şekil 6.5	: Çıkıntı eğitim kümesi	101
Şekil 6.6	: Kör kanal eğitim kümesi	102
Şekil 6.7	: Köşe cep eğitim kümesi	103
Şekil 6.8	: Delik ve kör delik	104
Şekil 6.9	: Testlerin doğruluk seviyesi	106
Şekil 6.10	: Kanal test kümesi	107
Şekil 6.11	: Adım test kümesi	107
Şekil 6.12	: Cep test kümesi	108
Şekil 6.13	: Çıkıntı test kümesi	108
Şekil 6.14	: Kör kanal test kümesi	108
Şekil 6.15	: Köşe cep test kümesi	109
Şekil 6.16	: Dokuz nöronlu bir gizli katmanlı ağın gösterimi	109
Şekil 6.17	: Dokuz nöronlu bir gizli katmanlı ağın hata grafiği	110
Şekil 6.18	: Dokuz nöronlu iki gizli katmanlı ağın gösterimi	111
Şekil 6.19	: Dokuz nöronlu iki gizli katmanlı ağın hata grafiği	112
Şekil 6.20	: Üç gizli katmanlı ağın gösterimi	113
Şekil 6.21	: Üç gizli katmanlı ağın hata grafiği	113
Şekil 7.1	: Katı model topolojik ve geometrik bilgileri yapısı	118
Şekil 7.2	: Önerilen sinirsel ağ tabanlı unsur tanıma sistemi	119
Şekil D.1	: İki gizli katmanlı 10+9+9+8 nöronlu ağ yapısı	172
Şekil D.2	: Deney No.1 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	172
Şekil D.3	: Deney No.2 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	173
Şekil D.4	: Deney No.3 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	173
Şekil D.5	: Deney No.4 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	174
Şekil D.6	: Deney No.5 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	174
Şekil D.7	: Deney No.6 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	175
Şekil D.8	: Deney No.7 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	175
Şekil D.9	: Deney No.8 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	176
Şekil D.10	: Deney No.9 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	176
Şekil D.11	: Deney No.10 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	177
Şekil D.12	: Deney No.11 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	177
Şekil D.13	: Deney No.12 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	178
Şekil D.14	: Deney No.13 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	178
Şekil D.15	: Deney No.14 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	179
Şekil D.16	: Deney No.15 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	179
Şekil D.17	: Deney No.16 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	180
Şekil D.18	: Deney No.17 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	180

Şekil D.19	: Deney No.18 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	181
Şekil D.20	: Deney No.19 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	181
Şekil D.21	: Deney No.20 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	182
Şekil D.22	: Deney No.21 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	182
Şekil D.23	: Deney No.22 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği	183
Şekil F.1	: Birinci örnek parça	195
Şekil F.2	: İkinci örnek parça	196
Şekil F.3	: Üçüncü örnek parça	197
Şekil F.4	: Dördüncü örnek parça	198
Şekil F.5	: Beşinci örnek parça	201
Şekil F.6	: Altıncı örnek parça	202
Şekil F.7	: Yedinci örnek parça	204
Şekil G.1	: Çeşitli unsurlar içeren örnek parça	206
Şekil G.2	: Kör delik ve delik unsurları içeren örnek parça	207
Şekil G.3	: Kör delik, delik ve kanal unsurları içeren örnek parça	208
Şekil G.4	: Delik, adım ve kanal unsurları içeren örnek parça	209
Şekil G.5	: Delik ve adım unsurları içeren örnek parça	209
Şekil H.1	: İki gizli katmanlı ağın gösterimi	210
Şekil H.2	: İki gizli katmanlı eğitilmiş ağın kanal unsur test sonucu	217



SEMBOL LİSTESİ

F	: Yüz
l	: Döngü
e	: Kenar
V	: Köşe
N	: Döğümler kümesi
A	: Yaylar kümesi
T	: A kümesindeki yayların taşıdığı özellikler
V	: Köşeler kümesi
E	: Kenarlar kümesi
F	: Yüzler kümesi
n	: Döğüm
a	: Yay
t	: a yayına ait özellik
P	: Bir parçanın katı model
C	: Parçanın ham şeklinden oluşan dış bükey kabuk
Y_s	: Yüz sayısal değeri
Y_g	: Yüz geometri bilgileri
K_g	: Kenar geometri bilgileri
V_g	: Köşe geometri bilgileri
B(P)	: P parçasının B-rep sınır modeli
ψ	: Temel unsur
R	: Temel unsurların birbirleri ile ilişkileri
G	: Geometri bilgileri
F_{GT}	: Geometri ve topoloji ile ilgili bilgiler
x_j	: Sinirsel ağ girdisi
y_i	: Sinirsel ağ çıktısı
w_{ji}	: Sinirsel ağda ağırlıklar
θ_k	: Eşik
φ()	: Aktivasyon fonksiyonu
d_k	: İstenen çıktı değeri
μ	: Momentum
η	: Öğrenme oranı
E_ℓ	: Herhangi bir ℓ eğitim verisi için hata kareleri toplamı
E	: Genel hata
h_ℓ	: Gizli katman nöronları

TASARIM VE SONRASI UYGULAMALARIN BÜTÜNLEŞMESİ İÇİN UNSUR TANIMA SİSTEMİ

ÖZET

Bu tez çalışması, bilgisayar bütünleşik üretim sistemlerinde, tam otomasyon anlamında bütünleşmenin sağlanabilmesi için, tasarım sonrası uygulamalarda gerekli bilgilerin tasarım modelinden otomatik olarak çıkarılabilmesi amacına yöneliktir.

Son yıllarda çok sayıda araştırmacının üzerinde yoğun olarak çalıştığı bu konuda karşılaşılan zorlukları gidermede katkı oluşturmaya çalışılmıştır. Bu tez çalışmasında unsurlar, tasarım ve sonrası uygulamaların bütünleşmesi amacıyla, kullanım alanına göre parçanın işlevsel özelliklerini içeren bölgeleri olarak tanımlanmıştır.

CAD ürün modelinin unsur tabanlı modele dönüşümü için veri tabanından unsur tanıma yöntemleri ile unsurların çıkarılması gerekmektedir. Unsur tanıma alanında yapılan çalışmalar henüz istenen düzeyde değildir. Bunun sebebi, CAD ürün modeli işlemlerinde kullanılacak tüm unsurları içeren bir yapının oluşturulmasının zorluğudur.

Araştırmacılar çeşitli yöntemler üzerindeki çalışmalarını, önceden tanımlanmamış ilk defa karşılaşılan unsurların tanımı ve unsurlar arası ilişkilerin bulunması konularında devam ettirmektedir. Bu tezde, yüz sayısal değerleri ve öğrenebilme özelliğinden dolayı sinirsel ağ yaklaşımı ile unsur kütüphanesinde yer almayan, ilk defa karşılaşılan unsurların tanınması için bir unsur tanıma sistemi geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında, bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli imalat bütünleşmesi, bilgisayar destekli tasarım (CAD) modelleme teknikleri ve veri değişimi, CAD ürün modelinde unsur kullanımı ve tanıma konularında literatür araştırmaları ile unsur tanımada kullanılan mevcut yöntemler hakkında bilgi verilmektedir. Mevcut yöntemlerin eksiklikleri açıklandıktan sonra sinirsel ağlar ile unsur tanıma önerilmektedir.

Çalışmada, unsurlar sinirsel ağa girdi olacak şekilde kenar, köşe ve yüz bilgileri kullanılarak vektörler haline getirilmiştir. Deneyler sonucu en uygun sinirsel ağ

yapısı bulunmuş ve her unsur sınıfı için hazırlanan eğitim kümeleri ile ağın eğitimi yapılmıştır. Oluşturulan sinirsel ağ, belirlenen unsur sınıflarına ait unsurları kolaylıkla tanıyabilmektedir. Böylece, bilgisayar bütünlük üretim sistemleri için tam otomasyon anlamında bütünlüğün sağlanmasında önemli adımlardan birinin gerçekleştirildiği düşünülmektedir.

Bu konuda devam eden ve gelecekte de devam edeceği düşünülen çalışmalar için öneriler sunulmaktadır.



FEATURE RECOGNITION SYSTEM FOR THE INTEGRATION OF DESIGN AND APPLICATIONS FOLLOWING DESIGN

SUMMARY

In this thesis, a new approach which is capable of extracting information from design database is proposed to automate the integration of the design and applications following design.

Significant contribution of present research is to overcome the shortcomings of information extraction from design database. Recently, several approaches have been proposed to solve the problem. In this research, feature is defined as a region of a part having form and functional aspects such that they can be used to provide a better approach for the integration of design and applications following design.

Feature recognition is vital process to convert CAD product model into feature based model. Most of the existing recognition techniques have only limited capability of recognising features. The problem of feature recognition is generally due to the limited domain of feature representation in the feature library.

Currently, researchers are involved with the problems in the area of feature recognition which are recognition of features which are not included in the feature library and feature relations. In this research, an approach based on neural network and face scores is developed to extract features which may not be in the feature library.

Literature survey outcomes and knowledge about existing approaches related to the integration of computer aided design and manufacturing, CAD modelling techniques and data exchange, the feature representation in CAD and the recognition of features are given through the following chapters. Shortcomings of current feature recognition approaches are presented and neural network technique is proposed to solve the problem.

Features are defined as input vectors in terms of vertices, edges and faces and presented to neural network. Experiments are carried out to determine the optimal network topology over the entire data set. The proposed network is capable of recognising features belong to defined classes. In summary, the contribution of this

research is in the area of computer integrated manufacturing systems to overcome the limitations of present approaches in terms of automation.

The future research directions to enhance the present approach are given as further research suggestions.



1. GİRİŞ

Günümüz küresel pazarlarında rekabet edebilmek için, yüksek kaliteli ürünlerin düşük maliyetlerde ve kısa zamanlarda üretilibilmeleri gerekmektedir. Bu gereksinimlere cevap verebilecek ürünlerin üretilmesi için yeni teknolojilerin uygulanmasının yanında, tasarım ve imalat işlemlerinde bütünleşmenin sağlanmasının gerekli olduğu düşünülmektedir. 1980' lerden başlayarak CAD/CAM/CIM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing / Computer Integrated Manufacturing - Bilgisayar Destekli Tasarım / Bilgisayar Destekli İmalat / Bilgisayar Bütünleşik Üretim) sistemleri, endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve rekabet edebilme açısından önemli gelişmeler elde edilmiştir. Bununla birlikte, CIM sistemlerinin ilk zamanlarda tam olarak anlaşılamaması nedeniyle bazı aksaklıklar yaşanmıştır. 1990' lar, CIM kavramının daha iyi anlaşıldığı ve bu sistemlere duyulan ilginin arttığı yıllardır. Ancak, CIM yapısı içinde bütünleşmenin tam olarak sağlanamaması nedeniyle istenilen sonuçlara ulaşılamamıştır.

CAD, CAM ve CAE (Computer Aided Engineering - Bilgisayar Destekli Mühendislik) alanlarında ayrı ayrı önemli gelişmeler kaydedilmesine rağmen, CAD/CAM/CIM bütünleşmesinde tam otomasyonun sağlanması yönünde henüz yeterli sonuçlar elde edilememiştir. CIM' dan beklenenin elde edilememesinin nedenleri, tasarım sonrası uygulamalarda CAD ürün modeli bilgilerinin otomatik kullanımındaki eksikliklerdir. Tasarım ve sonrası uygulamalar arasındaki bağlantı henüz tam olarak kurulamamıştır. Üniversiteler ve endüstride yapılan birçok çalışmaya rağmen, tasarlanan ürünle ilgili bilgilerin tasarım sonrası uygulamalarda otomatik kullanımı konusunda geliştirilen sistemler yetersiz kalmıştır.

CE (Concurrent Engineering - Eşzamanlı Mühendislik) CIM sistemlerinde bütünleşmenin tam olarak sağlanabilmesi için önerilen ve üzerinde çalışmaların devam ettiği tasarım odaklı paralel çalışmalar içeren bir üretim anlayışıdır. CE

felsefesi CIM içinde yer alan birçok tasarım ve imalat araçlarının kullanımını gerektirir. Ancak, CE' nin çıkış noktası tasarımıdır. CIM yapısında yer alan ortak veri tabanı bütünleşmesi kavramı, CE' de tasarım odaklı kavramı içeren bir yaklaşıma dönüşmüştür. CE felsefesinde DFM (design for manufacturing - imalat için tasarım), DFA (design for assembly - montaj için tasarım), CD (concurrent design - eşzamanlı tasarım) gibi tekniklerin CAD merkezli bütünleşmesi, ürünün kalitesini artırmak, üretim süresini ve maliyetini düşürmek için kullanılmaktadır.

CE' nin temel kavramında yer alan, üretim sistemlerinin CAD merkezli bütünleşmesi için tasarım bilgisinin paylaşımı ve anlaşılması, araştırmacıların son yıllarda üzerinde önemle durdukları bir konudur. CAD ürün modelinin tanımlanmasında ve bu modelden üretimle ilgili bilgilerin otomatik olarak çıkarılmasında karşılaşılan zorluklar çeşitli yöntemlerle giderilmeye çalışılmaktadır. Bu tezde, bu yöndeki çalışmalara bir katkı koyabilmek amacıyla unsur tabanlı ürün modeli ve öğrenebilme özelliğinden dolayı sinirsel ağlar kullanımı önerilmiştir.

Literatürde unsur tabanlı CAD model kullanımına yönelik çalışmalar yer almakla birlikte, tasarım sonrası uygulamalarda kullanılacak bilgilerin model üzerinden çıkarımında ve paylaşımında karşılaşılan zorluklar nedeniyle, elde edilen sonuçlar henüz istenen düzeyde değildir. Son yıllarda, CE yapısında tasarım ve sonrası uygulamalar arasındaki bilginin paylaşımı ve anlaşılması için unsur tanıma teknikleri en iyi yaklaşım olarak kabul edilmektedir. CE felsefesinde yer alan CAD tasarım modelinin üretim sürecinde otomatik olarak kullanılabilmesi için unsur tanıma sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, CAD ürün modelinin unsur tabanlı ürün modeline dönüşümü ve böylece tasarım bilgisinin tasarım sonrası uygulamalarda insan etkileşimi olmadan kullanılabilmesi esas alınmıştır.

Unsur tanım sistemlerinde gözlenen en önemli zorluk, karşılaşılabilecek tüm unsurları içeren bir veri tabanının oluşturulması işleminin olanaksızlığıdır. Unsur tanıma sistemlerinde karşılaşılan bu tür zorlukları gidermek için, bu çalışmada sinirsel ağların kullanımı önerilmektedir. Sinirsel ağlar yaklaşımı, öğrenebilme özelliğinden dolayı daha önce tanımlanmamış unsurların tanınmasında kolaylık sağlamıştır. Karmaşık yüzey unsurlarının tanıma işlemleri için de sinirsel ağlar yaklaşımının kullanılması kolaylıklar sağlayacaktır. Böylece, unsur tanımada ikinci

bir problem olan serbest form yüzeylerin tanınmasında karşılaşılan zorluklar giderilebilir.

Bu çalışma, CAD ve tasarım sonrası uygulamaların bütünleşmesi için daha önce tanımlanmamış unsurların tanınmasına yönelik öncü çalışmalardan birisidir.



2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE BİLGİSAYAR DESTEKLİ İMALAT BÜTÜNLEŞMESİ

1960' lı yıllardan itibaren bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, tasarım ve imalatta bazı düşünce değişiklikleri getirmiş ve yeni mantıkların oluşmasına destek olmuştur. Geleneksel mantıkta fikrin ürün haline dönüşmesi, zaman alıcıdır ve konusunda uzman, deneyimli elemanları gerektirir. Geleneksel tasarım işlemi çeşitli adımlardan oluşan seri bir işlemdir. Bu mantık yapısında, mühendislik hesaplamaları ve üretim planlaması yoğun insan çabası gerektirmekte, çoğu zaman aşırı zaman kaybına ve bazen hatalara sebep olmaktadır. Ürün maliyetini arttıran işlemler, fikrin gerçek anlamda ve doğrulukta ürüne yansımaları engellemektedir.

CAD ve CAM sistemleri, fikirden ürüne giden aşamada dinamik bir ortam yaratmak ve mevcut olumsuzlukları gidermek için geliştirilmiştir. Bilgi teknolojileri alanında, bilginin işlenmesi yönündeki gelişmeler, tasarım ve sonrası uygulamalarda yeni yaklaşımların hızla gelişmesine yardımcı olmuştur.

Literatürde yer alan bilgisayar destekli üretim sistemleri ile ilgili çalışmalar ve uygulamalar incelendiğinde, bilgisayar destekli sistemlerin ayrıık uygulamalarında oldukça başarılı sonuçlar elde edildiği, fakat CIM bütünleşmesi konusunda istenilen sonuçlara ulaşamadığı görülmektedir.

Yeni teknolojilerin üretim sürecine aktarılması aşamalarında CIM, 1980' li yıllardan sonra önemi anlaşılmaya başlamış olan bir bütünleşik üretim sistemi yaklaşımıdır. İlk uygulamalarda CIM sistemlerinden beklenenin elde edilememesinde, CAD/CAM bütünleşmesinin tam olarak sağlanamaması ve CIM yapısının tam olarak anlaşılamaması en önemli etkenlerdir (Conkol, 1991, Conkol, 1994).

CIM ve uygulamaları konusunda literatürde yer alan çalışmalar, CIM yapısındaki en önemli problemin veri değişimi ve verilerden bilgilerin çıkarılması konularındaki

eksiklikler olduğunu göstermektedir. CIM konusunda yapılan çalışmalar ve uygulamalardan elde edilen sonuçların yeterli olmamasında etkili olan faktörler:

- Veri değişimi ve verilerden bilgilerin çıkarımının sağlanamaması,
- Bütünleşik üretim yapısının anlaşılabilmesi,
- CAD' ın bütünleşik üretim yapısı üzerindeki etkisine önem verilmemesidir.

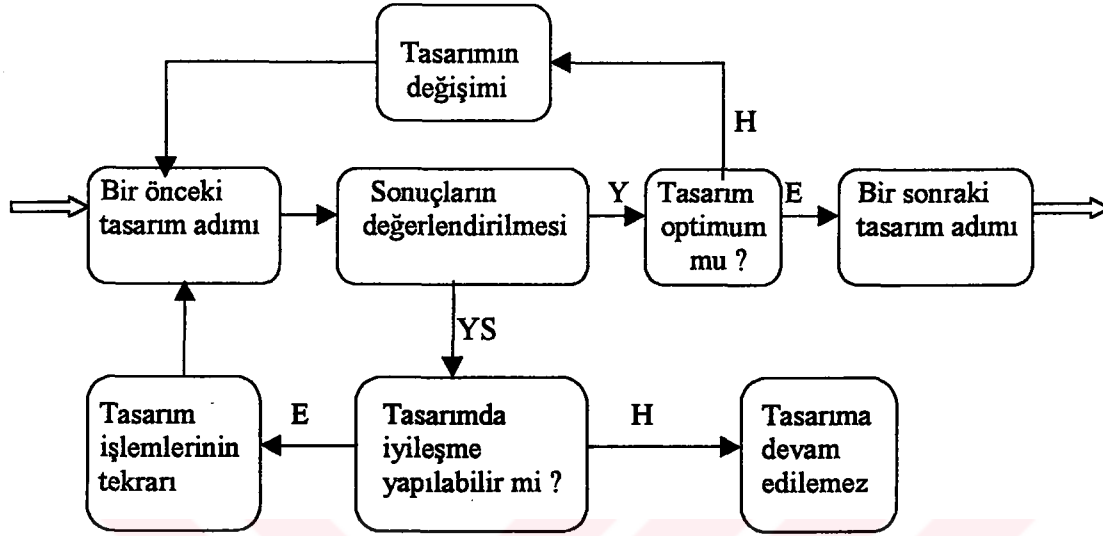
CE, CIM yapısında gözlenen eksikliği gidermek için önerilen ve üzerinde çalışmaların devam ettiği tasarım odaklı bir üretim anlayışıdır (Koenig, 1993). Jo ve diğ. (1993), CE' yi tasarım merkezli üretim sistemi olarak tanımlamışlardır. CAD odaklı CIM yapısı olmadığı takdirde üretim işlemlerinden istenilen sonuçların elde edilemeyeceği ve 21. Yüzyılın, tasarım odaklı sistemlerin geliştirileceği bir dönem olacağı tahmin edilmektedir. Tasarım odaklı sistemlerin başarılı olabilmesi için, CAD modelinin tasarım sonrası uygulamaların gereksinimi olan bilgileri içermesi ve bu bilgilerin algılanmasına olanak veren bilgiyi tanıma ve değerlendirme algoritmalarının oluşturulması gerekmektedir. 1980' lerin sonlarında CIM yapısındaki eksiklikleri gidermek için önerilen CE stratejisi, günümüzde bütünleşik üretim alanında geniş kabul görmeye başlamıştır.

2.1. BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM YAPISINDA BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM

Geleneksel tasarımda, bir seri işlemlerden sonra ürün son biçimine getirilir. Tasarım adımları, problemin tanımı, tasarımdan istenen özelliklerin belirlenmesi ve sonuç tasarımın detaylandırılması olarak tanımlanabilir. Tasarım adımlarında uygulanan düşünme ve çalışma mekanizması; tekrarlayan bilgi alma, işleme ve yeni bilgi verme şeklindedir. Tasarım adımlarında bir sonraki aşamaya geçiş ancak çalışılan aşamada elde edilen sonuçlar yeterli ise yapılır (Şekil 2.1).

Tasarım etkinliği belirli adımlardan geçerek yapılmakta ve yapılan değerlendirmelere göre işlemler tekrar edilmektedir. Yeni bir ürünün oluşturulması için, istekler listesinin belirlenmesinden sonra kavramsallaştırma işlemine başlanır. Temel sorunlara dayalı işlev yapısı tespit edilerek istekler listesi doğrultusunda ilk taslak çalışmaları yapılır. İstekler listesini karşılayacak çeşitli alternatif çözümler içinden

seçilen en uygun çözüm, taslak halinde teknik ve ekonomik olarak değerlendirilir. Kesin çözüm şekli seçilerek son şekillendirme ve detaylandırma yapılır. Tasarım aşamaları sonunda, imalata geçmeden önce modelin prototipi hazırlanır. Bu prototip, ürünün davranışlarını yaklaşık olarak gözlemek için kullanılır.



E : Evet
H : Hayır

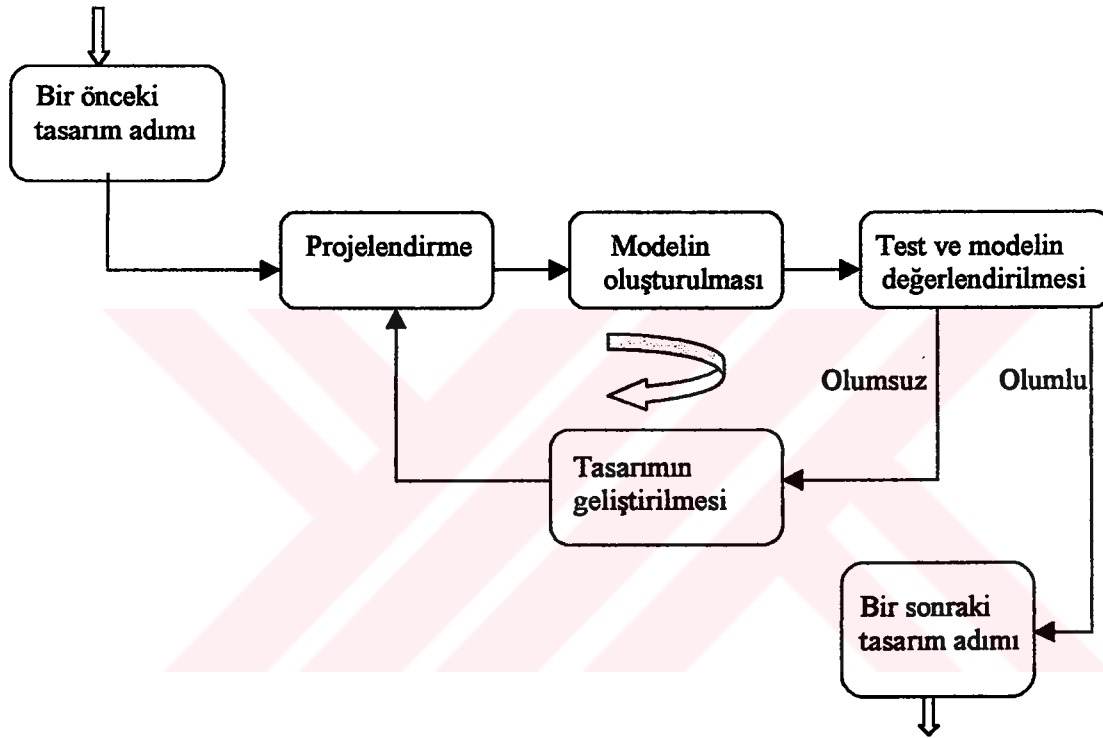
Y : Yeterli
YS : Yetersiz

Şekil 2.1. Tasarım adımlarında uygulanan çalışma ve düşünme mekanizması

Sentez, analiz ve optimizasyon işlemleri için fiziksel anlamda işlemi tanımlayan modellerin çıkarılması gerekir (Şekil 2.2). Bu modeller "Ürün Modeli" olarak tanımlanır. Ön taslak çalışmalarından sonra tasarımın ilk adımlarından birisi, tasarımı tanımlayan ürün modelinin oluşturulmasıdır. Ürün modeli, tasarımın fiziksel değişkenleri arasındaki ilişkiyi veren bilgilerden oluşur. Ürün modeli, sistemin temel özelliklerini vermelidir. Modelin tasarlanan sistem özelliklerini ne ölçüde verdiği, gerçek sistemde yapılan deney ve gözlemlerle elde edilebilir.

Bilgisayar destekli tasarım (CAD), bilgisayar donanım ve yazılımının tasarım adımlarında, tasarımın çalışma ve düşünme mekanizması içinde yer alan işlemlerde kullanımıdır. CAD, özellikle ürün model tanımı ve tasarım işlem adımlarında kullanımı açısından tasarım sürecine büyük katkı sağlamıştır. CAD sistemleri bilgisayarların hızlı işlem gücü, bilgi depolama ve yeni bilgi üretme olanaklarından dolayı tasarımda daha etkin ve verimli çalışma ortamını sağlar.

Tasarımda bilgisayar kullanımının getirdiği dinamizm ve hızın katkıları en çok analiz ve detaylandırma aşamalarında gözlenmiştir. Tasarıma getirilen dinamizm ve esneklik, tasarımcının yaratıcılık gücünü daha iyi kullanabilmesidir. Analitik olarak yapılamayan bir çok analiz, optimizasyon ve benzetim işlemleri CAD sistemlerinde yapılabilir. Bilgisayar destekli sistemlerde ürün modelinin tanımlanması ile zaman alan ve maliyet arttırıcı prototip hazırlama ve test işlemlerine gerek duyulmaksızın imalat öncesi tasarımın kontrolü yapılabilir. Böylece, tekrar işlemleri ve prototip maliyetleri azalabilir.



Şekil 2.2. Tasarım adımlarında ürün modelinin değerlendirilmesi

Özetle, CAD sistemlerinin tasarımda kullanılmasının başlıca nedenleri aşağıda verilmektedir:

1. Tasarım verimliliğini arttırmak: Tasarım maliyetini azaltmak ve tasarım süresini kısaltmak.
2. Tasarım kalitesini geliştirmek: Tasarım hatalarını daha kolay tespit etmek, ayrıntılı analizlere olanak sağlamak ve çeşitli alternatif çözümleri deneyebilmek.

3. İletişimi geliştirmek: Ürün modeli bilgilerinin tasarım ve sonrası uygulamalarda kullanımında, bilgiye erişim yönünde hız ve kolaylık sağlamak.
4. İmalat için veri tabanı oluşturmak: İmalatta kullanılacak ürünle ilgili geometrik ve geometrik olmayan bilgileri bilgisayar veri tabanına depolayabilmek.

Bilgisayar destekli üretim işlemlerinde ürün modelinin tanımı, ürün modelinin tüm işlem adımlarında kullanılması açısından önem taşımaktadır. Tasarım maliyeti ve süresi üzerinde doğrudan etkisi olan geometrik modelin bilgisayar ortamında tanımlanması, analiz, optimizasyon ve imalat detaylarının hatasız ve kısa sürede hazırlanmasına yardımcı olacaktır. Tasarım sürecinde oluşturulan ürün modelinin geometrik ve geometrik olmayan tüm bilgileri içermesi gerekmektedir. Tüm tasarım ve sonrası işlem adımlarında bu model kullanılarak işlem yapılmaktadır.

Günümüz, bütünleşik üretim sistemlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden birisi ürün modelinin tasarım sonrası işlemlerde kullanımında görülmektedir. Ürün modelinin istenilen formatlarda tanımlanamaması, tasarım sonrası uygulamaların bu modele erişiminde ve kullanımında aksaklıklara sebep olmaktadır. CAD ürün modellerinin geliştirilmesi çalışmaları sürmektedir. Çalışmalar veri değişimi ve verinin tanımı alanlarında devam etmektedir. CAD veri değişiminin bütünleşme açısından öneminin vurgulandığı ve CAD/CAM veri değişim standartları ile ilgili çeşitli çalışmalar literatürde yer almaktadır (Hales, 1985, Warthen, 1994, Smith, 1994, Ssemakula ve Satsangi, 1989, Gibbons, 1994). Bu çalışmalarda, ürün modelinin tanımlanması için gerekli standart hazırlama çalışmalarının son durumları incelenmiş ve CIM açısından CAD veri paylaşımında standartlaşmanın önemi üzerinde durulmuştur.

CAD ürün modeli verisinin tasarım ve sonrası farklı bilgisayar destekli sistemler arasında değişimi için PDES (Product Data Exchange for STEP: Standard for Transfer and Exchange of Product Model Data) standardı projesi üzerinde çalışmalar devam etmektedir (Jo ve diğ, 1993, Chang ve diğ. 1998, Chao ve Yeh, 1999). İkinci araştırma alanı olan ürün veri tanımı konusunda CAD modellerinde unsur kullanımı çalışmaları yapılmaktadır (Allada ve Anand, 1996, Lin ve diğ. 1997). Bütünleşik üretim gereksinimlerine cevap verebileceği tahmin edilen unsur kullanımı çalışmalarında en önemli problem unsur tanınması konusundadır.

CAD ürün modeli veri değişimi ve verinin tanımı alanlarındaki çalışmaların sonuçlarının ileride birleştirilmesi ile bütünleşik üretimde tam otomasyonun elde edilebileceği tahmin edilmektedir.

2.2. BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM YAPISINDA OTOMASYON VE VERİ PAYLAŞIMI

Bütünleşik üretim, tüm iş sistemlerinde gerçek zamanda tüm verilere istenilen zamanda ulaşılabilmeyle sağlanabilir. Bunun için imalat işlemlerinde daha iyi kontrol ve yönetim bilgisi gerekir. Bütünleşik üretime gerek duyulması, ürün kalitesini arttırmak ve ürün maliyetlerinin düşürülmek istenmesindendir.

CAD/CAM/CIM sistemlerinin 1980' li yıllardaki mevcut durumu çeşitli araştırmalarda incelenmiş, CIM sistemlerinden henüz istenilen sonuçların elde edilemediği ve bütünleşme yönünde çalışmaların yapılması gerektiği belirtilmiştir. 1980' li yıllarda rekabet edebilme koşullarının ağırlaştığı ve değişik ürünlerin kısa zamanda, yüksek kalitede ve düşük maliyetlerde pazarlara sunulması gereksinimi doğrultusunda CIM yapısında bütünleşmenin önem kazandığı görülmektedir (Savage, 1985, Altıntaş, 1988, Mertins ve Süssenguth, 1991). Main ve Ward (1992) tarafından literatürde yer alan bazı CAD/CAM/CIM uygulamaları incelenmiş, bütünleşme yönünde görülen eksikliğin CAD verilerinin tasarım sonrası uygulamalarda kullanımında karşılaşılan zorluklardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Sheu ve Lin (1993), CAD veri tabanlarının tasarım sonrası uygulamalarda kullanılacak bilgilerin çıkarımına uygun olmadığını belirtmişler, CAD veri yapısının değişimini önermişlerdir. Levy ve diğ. (1991), CIM yapısının başarılı olabilmesi için bütünleşmenin önemi üzerinde durarak, endüstriden çeşitli örnekler vermişlerdir. Sanoff ve Poilevey (1991), CIM için montaj otomasyonunu içeren bir prototip sistem önermişlerdir. Bu çalışmalarında, tasarım bilgisinin paylaşımının üretim planlama ve kontrol için önemini vurgulamışlardır.

CIM sistemlerinin ilk uygulamalarında başarısız olmalarının sebepleri olarak Bontadelli ve Kirby (1991), Wolfe ve Settles (1994) tarafından CIM' ın anlaşılamaması ve teknolojik yetersizlikler gösterilmiş, CIM uygulamalarının etkili olamamasında veri paylaşım ve iletişim eksikliğinin önemi örneklerle verilmiştir.

Ayrıca, CIM yapısının CAD odaklı oluşturulması önerilmiştir. Johnson (1994) ve Edosomwan (1994), CIM uygulamalarında tasarımın önemi üzerinde duran diğer araştırmacılarıdır. CIM yapısının istenen sonuçların elde edilememesinde etkin olduğunu, bu yüzden işletmenin tüm işlevlerini içerecek bir bütünleşme stratejisi gerektiğini belirtmişlerdir.

CIM yapısı ve bilgisayar destekli sistemlerin verimli ve ekonomik kullanılabilmesi için bu sistemlerden beklentilerin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilen benzetim çalışmaları ve CIM yapısı Dinçmen (1990) tarafından verilmiştir. Woodward (1988), CIM uygulamalarında karşılaşılan problemleri verdiği makalesinde, CAD veri değişimi problemi ve CIM organizasyonu için gerekli düzenlemeleri açıklamıştır.

Başarılı bir bütünleşik üretimi gerçekleştirmek için mevcut organizasyonun bütünleşik üretim yapısına uygun şekle dönüştürülmesi ve veri akışının sağlanması gerekir.

Bütünleşik üretimin kurulması için adımlar aşağıda verilmiştir :

- Stratejinin belirlenmesi,
- Üretim işlemlerinin kolaylaştırılması,
- Bütünleşme,
- CIM teknolojisinin uygulanması ve bilgisayar kullanımı.

Tasarım adımlarında olduğu gibi üretimin yönetim ve kontrol işlemlerinde de bilgisayar teknolojisinden faydalanılmaktadır. Üretim birimlerinden verilerin toplanması, işlemlerin kontrolü, işlem planlaması ve NC (Numerical Control - Sayısal Denetim) parça programlarının hazırlanması gibi işlemler bilgisayar ve üretim birimleri arasında dolaylı ve dolaysız yollardan yapılır. CAM ve otomasyon uygulamalarının bugünkü aşamasında gözlenen daha esnek sistemlere yönelme eğilimi ilk olarak 1950' li yıllarda sayısal denetim prensiplerini kullanan makinelerin kullanımı ile başlamıştır. 1960' lı yıllarda NC kontrol birimi işlemlerinin mikro işlemcilerle yapılmasıyla CNC makineler kullanılmaya başlamıştır. Endüstride robot kullanımı CNC makinelerle aynı paralelde robotların geliştirilmesiyle olmuştur. CNC makineler ve robotlardan oluşan imalat birimleri esnek imalat hücreleri (FMC) olarak adlandırılır. Hücrelerin birleşiminden esnek imalat sistemleri (FMS) meydana

gelir. Tüm bu imalat birimlerinin tam otomasyonu ve CAD ile bütünleşmesi için CAD ürün veri değişimi ve paylaşımının imalat birimleriyle istenen doğruluk ve hızda yapılabilmesi gerekir.

CAM yapısının temel elemanları bilgisayarlar ve sayısal denetimli birimlerdir. Bilgisayarlar ve imalat birimleri arasında karşılıklı veri alış verişi CAM' ın en önemli işlevlerindendir. İmalat birimlerinden bilgisayara ve bilgisayardan imalat birimlerine iki yönlü bilgi akışı vardır. Veri toplama ve kontrol işlemleri yanında bilgisayarlar imalat birimlerine destek olacak şekilde kullanılır. Maliyet tahminlerinin çıkarılması, bilgisayar destekli işlem planlama, NC parça programlarının hazırlanması, bilgisayar destekli hat planlaması, malzeme gereksinim planlaması, CAM' ın imalata destek olacak şekilde kullanıldığı alanlardır. Ancak, tüm bu imalat işlemlerinde tasarlanan ürüne ait verilerin değişimi ve tanımı problemlerinin çözülmesi gerekmektedir.

Bilgisayar bütünleşik üretim genel olarak, bir hammaddeyi satışa hazır duruma gelmiş ürüne çeviren bilgisayar kontrollü üretim teknikleri olarak tanımlanabilir. Üretimi esnek imalat sistemleri ile gerçekleştiren imalat modellerinde temel yapıyı FMS, CAD/CAM sistemleri ve kontrol işlemlerini yürüten bilgisayarlar oluşturur. Bu modelin oluşturduğu esnek imalat mantığı CIM olarak adlandırılır.

CIM tanımındaki temel esaslar otomasyon ve bütünleşmedir (Mitchell, 1991). CIM, imalat sistemlerinin tüm seviyelerinde bilgisayar desteği, kontrol ve yüksek seviyeli bütünleşik otomasyon sağlar. CIM' ın hedefi, tam otomasyona geçmiş, programlanabilir birimlerin hakim olduğu üretimi içeren fabrikalardır. CIM, üretimin bütün seviyelerindeki bilgi akışını ve yönetimini içerir. CIM' ın amacı toplam üretim işlemlerini daha üretken ve etkin kılmak, ürün kalitesini arttırmak, maliyeti düşürmek, süreleri kısaltmak, tasarım ve imalat aşamalarında mühendislik uygulamaları açısından daha etkin bir ortam yaratmaktır.

CIM' ın en temel yapı taşlarından biri CAD' dir. CIM için CAD' in işlevi bir ürünün tasarım modelini ve üretim için gerekli olan veri tabanını oluşturmaktır. CIM açısından bakılınca, CAD üretim için bir veri kaynağıdır. Bu veri kaynağı CAD ürün modelidir. Üretilecek parçanın fiziksel boyutları yanında ürün işlem planları ve imalat gibi bilgiler, gerekli olduğu zaman CAD veri tabanından CIM' ın diğer yapı taşlarına aktarılır. Bu nedenle, CIM gibi geniş kapsamlı bir uygulamanın sorunsuz

olması beklenemez. Özellikle CIM' ın geleneksel üretim geleneğini değiştiriyor olması, CIM' ı bazı önemli sorunlarla karşı karşıya bırakmaktadır. Bu sorunlar aşağıda verilmiştir :

- CIM' ın kurulmasında ve uygulanmasında yetersiz planlama,
- Değişik kontrol sistemleri arasındaki iletişim problemi,
- CIM birimleri arasında bütünlüşme için CAD ürün veri değişimi ve tanımında karşılaşılan eksiklikler.

Özetle, CIM stratejisinde en önemli sorunlar, üretim sistemlerinde bütünlüşme için CAD verilerinin değişimi ve verilerden gerekli bilgilerin çıkarımında gözlenen aksaklıklardır. CAD modelinin, tasarım sonrası uygulamalarda otomatik olarak kullanılabilmesi ve bilgilerin çıkarımı bu aksaklıklara çözüm getirecektir. Ürün CAD modelinin CIM birimlerinde kullanımı yönünde çeşitli çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalardan birisi CAD merkezli üretimi ve ürün modeli kullanımını esas alan eşzamanlı mühendisliktir.

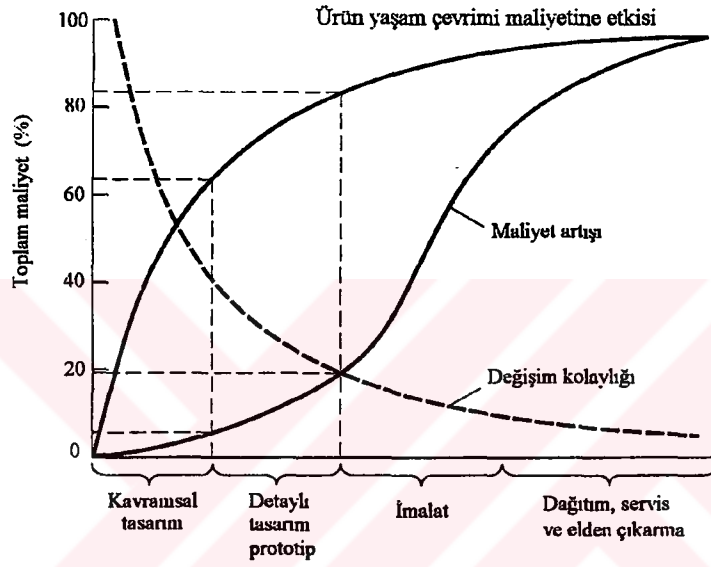
2.3. BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM İÇİN EŞZAMANLI MÜHENDİSLİK

Geleneksel ürün üretim sürecinde, tasarım, analiz, imalat işlemleri, montaj ve pazara sunma gibi sıralı adımlardan oluşan seri işlem yapısı uygulanır. Geleneksel üretim yaklaşımında öngörülen sıralı işlemler tasarım ve tasarımı takip eden diğer işlemler arasında etkileşimli bir iletişime çok uygun değildir. İkinci bir problem, sıralı işlem adımlarında ortaya çıkan değişimlerin maliyet üzerindeki etkisidir. Bu etki eğer değişimler, ürün geliştirme sürecinin sonlarında ortaya çıkarsa daha belirgindir. Ürün yaşam çevrimi süresince çeşitli aşamaların ürün maliyetine olan etkisi Şekil 2.3.' de verilmiştir. Şekil 2.3' de görüldüğü gibi tasarım aşaması maliyet üzerinde etkin rol oynamaktadır.

Üretim sürecinde tasarımın etkinliğı ile ilgili bazı sonuçlar aşağıda verilmiştir (Jo ve diğ., 1993):

- Ürün tasarım maliyeti, toplam ürün maliyetinin sadece % 5' i olduğu halde, üretim maliyetinin % 70' i tasarımdan etkilenir. Bir ürünün üretim maliyetinin % 70' i kavramsal tasarım aşaması sırasında belirlenmektedir.

- Üretim maliyetinin sadece yaklaşık % 20' si parçanın imalat planlama gibi daha sonraki aşamalarındaki değişikliklerden etkilenir.
- Kalite problemlerinin % 40' ının, kötü tasarımın sonucunda olduğu gözlenmiştir.
- İmalat verimliliğinin % 70-80 kadarının tasarım aşamasında belirlendiğine inanılır.



Şekil 2.3. Ürün yaşam çevrimi süresince çeşitli aşamaların ürün maliyetine olan etkisi (Singh, 1996)

Özetle, ürünün toplam yaşam çevrimi maliyetinin % 80-90' ının tasarım aşaması sırasında belirlendiği düşünülürse, etkin imalat açısından amaçlanan nokta, tasarım aşamasında imalatla ilgili bilgilerin kullanılabilmesidir. Böylece, ürün modeli tanımı ile ilgili bilgiler imalat aşamasında otomatik olarak kullanılır. Ürün tasarım adımının; ürün maliyeti, kalitesi, imalat işlemleri, kullanım ve bakım maliyeti üzerinde doğrudan etkisi vardır. Bu nedenle, ürün üretim sürecinde, tasarım merkezli ve paralel işlemlerden oluşan eşzamanlı mühendislik (Concurrent Engineering - CE) olarak adlandırılan yaklaşım gündeme gelmiştir. CE yaklaşımında en önemli nokta imalatla ilgili gereksinimlerin tasarım gereksinimleri ile birlikte düşünülmesidir.

Böylece maliyetin azaltılması, kalitenin yükseltilmesi ve toplam ürün üretim zamanının azaltılması amaçlanmaktadır.

Literatürde CE uygulamalarının değerlendirildiği bir çok çalışmaya rastlanmaktadır. Kovacs ve diğ. (1994), CIM yapısını CE yaklaşımı ile destekleyerek bütünleşme yönünde gelişmeler elde etmişlerdir. Brookes ve Backhouse (1998), Singh ve Wang (1994), Lee ve diğ. (1998) çeşitli endüstri kuruluşlarında CE yapılanması ile elde edilen sonuçları incelemişler ve bütünleşme yönünde başarılı sonuçlar elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Albin ve Crefeld (1994), CE yapılanmasında başarılı olabilmek için önce kurum içinde paralel işlem anlayışı yönünde organizasyon çalışmalarının yapılmasını ve bilgisayar destekli sistemlerin bu yapıyı tamamlayacak şekilde uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir. Kim ve O'Grady (1996), CE sistemlerinde bilgi yönetimi ve paylaşımının önemi üzerinde durdukları çalışmalarında büyük ölçekli işletmeler için iletişim ağ yapısını ele almışlardır.

21. yüzyılın üretim felsefesi olarak tanımlanan CE, ürün geliştirme ve ürün yaşam çevrimi sürecinde çeşitli disiplinlerin bütünleşmesini temel alan bir yaklaşımdır. CE üretim sistemi yapısında CAD merkezli ve ürün modeli etrafında bütünleşmiş üretim işlevleri yer alır. Küresel rekabet şartları, yüksek kalitede ürünlerin, en kısa zamanda ve düşük fiyatlarla pazarlara sunulmasını zorunlu kılmaktadır. Bu şartları sağlamak için geliştirilen CIM sistemlerinin, tasarım odaklı yaklaşımlar içermediği durumlarda, ürün geliştirme ve ürün yaşam çevriminde beklenen gelişmeleri vermediği gözlenmektedir. CE yapısında tasarım verilerinin değişimi ve bilgi çıkarımının önemi, O'Flynn ve Ahmad (1993) ile Landers ve English (1992) tarafından CE teknolojileri konusunda yapılan çalışmalarında vurgulanmaktadır.

Literatür araştırmaları sonucu CE konusunda eksikliklerin CAD ürün modeli verisinin değişimi ve paylaşımında olduğu görülmektedir. CE yapısında CAD merkezli bütünleşme esas alındığı için CAD ürün modelini tanımlayan verilerin sistemler arası paylaşımı ve bu verilerden uygulamalar için anlam taşıyan bilgilerin çıkarılması çok önem taşımaktadır. Bu iki konunun üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar, veri değişim standartları ve CE üretim sürecinde CAD verilerinin kullanımıyla ilgilidir. CE yaklaşımında veri değişimi ve tanımı konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Araştırmalar genellikle ürün veri modeli oluşturma ve PDES/ STEP gibi veri değişim standartları konusundadır. Özellikle, CE

felsefesine uygun veri değişimine olanak verecek PDES/STEP standardı üzerinde çalışmalar devam etmektedir (Liu ve Fischer, 1993, Chao ve Yeh, 1999). Çalışmaların amacı, üretim sürecinde ürün modelini tanımlayan verilerin tasarım sonrası diğer uygulamalarla otomatik bütünleşmesidir. Kao ve Lin (1996), CAD veri paylaşımında mevcut olan eksiklikleri gidermek için STEP tabanlı ürün modeli kullanılmasını önermişlerdir.

CAD katı model sistemlerinde karşılaşılan boyut, toleransların sunumu ve diğer sistemlerle değişimi problemlerini çözmek için, Feng ve Yang (1995) standartlara uyumlu ürün veri modeli oluşturmuşlardır. Eşzamanlı tasarım ve sonrası işlemlerde bütünleşme için parça boyutları, toleranslar gibi önemli verileri içeren, STEP uyumlu bir veri modeli önermişlerdir.

2.4. EŞZAMANLI MÜHENDİSLİK İÇİN UNSUR TABANLI ÜRÜN MODELİNİN ÖNEMİ

CE üretim yapısında CAD verilerinin paylaşımı ve tasarım sonrası uygulamalarda kullanılabilmesi için ürün modelinin bu tür uygulamalara uygun olması gerekmektedir. CAD ürün modeli için çeşitli yaklaşımlar önerilmektedir. Bu yaklaşımlar içinde ürün modelinin unsur tabanlı tanımı ön plana çıkmaktadır (Logar ve Peklenik, 1991, Chamberlain ve diğ., 1993, Duan ve diğ. 1993, Case, 1994, Li ve diğ. 1995). Unsurlar, tasarım açısından bakıldığında ürünün işlevleri ile ilgili özellikleri içeren geometrik elemanlar kümesidir. Tasarım, imalat, montaj gibi kullanıldığı uygulama alanına göre unsurların tanımlaması yapılır (Salomons ve diğ., 1993). CE' nin hedefi ürünün yaşam çevrimi içinde yer alan tüm aşamalarda bütünleşmedir. CIM teknolojisinde elde edilecek başarının, tasarımın tüm sistem bileşenleri üzerindeki etkisine bağlı olduğunun anlaşılması sonucunda CE felsefesinde ürün tasarım aşaması ve ürün modeli verileri temel ilgi odağı olmuştur. Ürün modeli verileri tasarım sonrası uygulamalarda, gerekli bilgilerin otomatik çıkarılması açısından önem taşımaktadır. Bu konuda önerilen yaklaşım, unsur tabanlı ürün modelleriyle çalışılmasıdır.

Molloy ve Browne (1993), Chen ve Wei (1997) tarafından önerilen imalat için unsur tabanlı uzman tasarım sistemleri ile Dağlı ve diğ. (1993) tarafından önerilen sinirsel

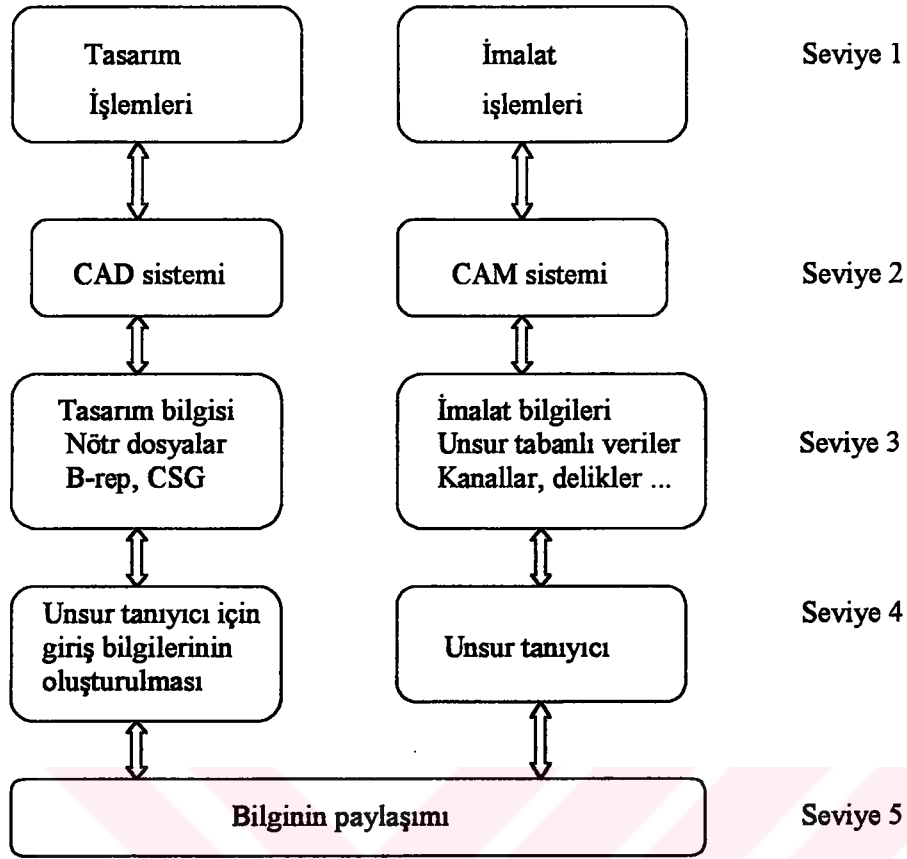
ağ yaklaşımını kullanan unsur tabanlı sistem, bütünleşme ve CAD veri tabanından bilgi çıkarımı yönünde CE gereksinimlerinin unsur kullanımı ile çözümlenebileceği yönündeki ilk çalışmalardandır.

CE yaklaşımı çerçevesinde tasarım ve imalat bütünleşmesi, beş seviye işlemleri şeklinde gösterilebilir:

- Seviye 1:
Tasarım ve imalat işlemlerinin yer aldığı üretim kısmıdır.
- Seviye 2:
CAD ve CAM donanım ve yazılımlarını içerir. CAD parça bilgisinin, imalat ortamına aktarıldığı seviyedir. Sistemlerin uzman gereksinimini ortadan kaldıracak şekilde iletişim kurmalarının istendiği aşamadır.
- Seviye 3:
CAD parça modelini ve imalat bilgilerini içeren bölümdür. CAD sisteminde oluşturulan modelin CAM sistemine aktarımı için uygun formata dönüştüğü kısımdır. İmalat bilgilerinin çıkarımının yapıldığı aşamadır.
- Seviye 4:
Tasarım ve imalat arasındaki ilişkinin sağlanması işlemlerini içeren bölümdür. Dönüşüm ve bilginin paylaşımı için bu bölümde unsur tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Bu tezde, unsur tanıyıcı olarak çok katmanlı sinirsel ağ yapısı kullanılmıştır.
- Seviye 5:
Verilerin farklı sistemler arasında problemsiz taşınabilmesi ve veri paylaşımını yöneten kısımdır.

Beş seviyeden oluşan unsur tabanlı CE yapısı Şekil 2.4' de verilmiştir. Unsur tabanlı CE üretim modeli yapısının dördüncü seviyesini oluşturan unsur tanıyıcı, tasarım sonrası uygulamalar için gerekli bilgi çıkarımını sağlamaktadır.

CAD ürün modelinin üretim sürecinde paylaşılması ve tasarım sonrası uygulamalarda otomatik olarak kullanılabilmesi için unsur tanıma sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Dönüşümün otomatik olarak yapılabilmesi için son yıllarda çeşitli yöntemler denenmektedir.



Şekil 2.4 Unsur tabanlı CE yapısı

Bu çalışmada, CAD ürün modelinin unsur tabanlı ürün modeline dönüşümü ve böylece tasarım bilgisinin tasarım sonrası işlemlerde insan etkileşimi olmadan kullanılabilmesi esas alınmıştır. Unsur tanıyıcı olarak parçanın yüz sayısal değerlerini kullanan sinirsel ağ yaklaşımı önerilmiştir.

3. CAD MODELLEME TEKNİKLERİ VE VERİ DEĞİŞİMİ

CAD sistemlerinde bir parçanın üç boyutlu gösteriminde çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları tel çerçeve (wire frame), yüzey modelleme (surface modelling) ve katı modelleme (solid modelling) dir. Bu tekniklerin içinde tasarım ve sonrası uygulamalar açısından en çok tercih edileni katı modelleme yaklaşımıdır. CAD parça katı modeli, parçayla ilgili geometrik ve topolojik verileri içerir. Bu bilgiler, tam otomasyon için CAD/CAM bütünleşmesi açısından önemlidir.

Bir ürünün CAD ürün modeli oluşturulduğunda, bu modelle ilgili veriler bir veri dosyasında saklanır. Bütünleşik bir sistem yapısında bu veri dosyasının tüm uygulamalarda kullanılabilmesi gerekmektedir. Örneğin, eğer imalat planlama sistemi, tasarım veri dosyasını okuyabilir ve imalatla ilgili gerekli bilgileri otomatik olarak çıkarabilirse bu iki süreç bütünleşmiş kabul edilebilir. Bu aynı zamanda üretim sistemleri arasında veri değişiminin yapılabilirdiği anlamına gelmektedir.

Farklı bilgisayar destekli tasarım ve imalat sistemleri arasında veri aktarımı, bilgisayar veri tabanlarının değişimi ile yapılmaktadır. Bilgisayar veri tabanı, ürünün tasarım ve imalat adımlarında kullanılan ürün modelini tanımlayan bilgilerdir. Veri değişim yöntemlerinin ürün modeli veri değişimi konusunda gereksinimleri karşılayabilmesi için bir veri değişim standardına gereksinim duyulmaktadır.

IGES (Initial Graphics Exchange Standard), CAD sistemlerinde çok yaygın olarak kullanılan bir standarttır. IGES, 1980' de CAD veri değişim standardı olarak geliştirilmiştir. ANSI (American National Standards Institute) Standardı ve daha sonra ISO (International Standards Organization) Standardı olarak kabul görmüştür (Ssemakula ve Satsangi, 1989, Shah ve Mathew, 1991, Chang ve diğ. 1998).

IGES' in eksikliğini gidermek için geliştirilen PDES, tasarımdan üretime bütün aşamalarda ürünün tanınmasını sağlayacak geometrik ve geometrik olmayan bilgileri

içeren, standart veri yapısının oluşturulmasını amaçlayan bir projedir. PDES' in çeşitli disiplinlerle ilgili uygulamaları destekleyecek bir yapıda olmasına çalışılmaktadır. PDES ile ilgili çalışmalar halen devam etmektedir. IGES' e göre daha kapsamlı olan PDES standardının tamamlandığında geniş kabul göreceği tahmin edilmektedir.

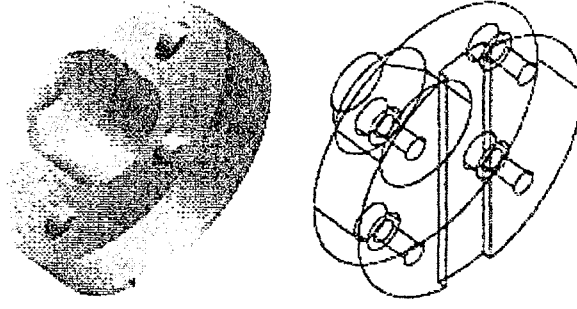
PDES' in oluşum felsefesi, tüm ürün model verisi değişimini amaçladığı için, bütünleşme yönünde çok daha etkili olacağı tahmin edilmektedir. Başlangıçlarında ayrı iki veri değişim standardı olan PDES ve STEP daha sonra birleştirilerek, PDES/STEP olarak tek bir standart geliştirme projesi olarak devam etmektedir.

3.1. CAD GEOMETRİK MODELLEME TEKNİKLERİ

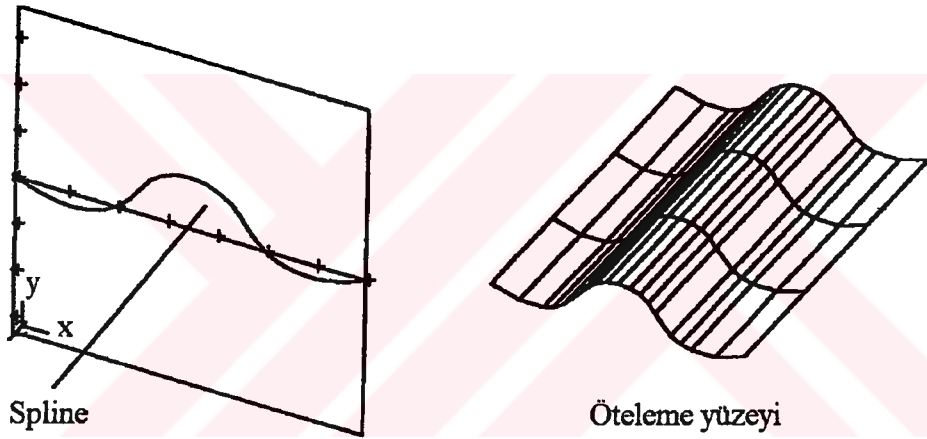
CAD sistemlerinde bir parçanın üç boyutlu gösteriminde kullanılan tel çerçeve (wire frame), yüzey modelleme (surface modelling) ve katı modelleme (solid modelling) tekniklerinin içinde tasarım ve sonrası uygulamalar açısından en çok tercih edileni katı modelleme yaklaşımıdır. Katı modelleme tekniği, gerçek anlamda parçanın bilgisayar ortamında sunumuna olanak sağlar. CAD parça katı modeli, parçayla ilgili geometrik ve topolojik verileri içerir. Bu veriler, tam otomasyon için CAD/CAM bütünleşmesi açısından önemlidir (Shah ve Rogers, 1988).

Bir parçanın tel çerçeve gösterim örneği Şekil 3.1' de verilmiştir. Tel çerçeve modeller, parçanın yüzey bilgilerini içermediği için şekil tam olarak anlaşılamaz. Ayrıca tasarım ve tasarım sonrası analiz, imalat gibi uygulamalarda kullanımı olanaksızdır.

Tel çerçeve tekniğinin eksikliklerini gidermek için yüzey modelleme tekniği geliştirilmiştir. Cismin dış görüntüsünün tanımlanmasını esas alan bu teknik, imalat işlemlerinde kesici yollarının belirlenmesinde tercih edilir. Yüzey modelleme tekniğinin zayıf noktası, parçanın içi ve dışı arasındaki ilişkilere sahip olmamasıdır (Şekil 3.2). Bu nedenle, parçanın hacmi ve kütlesi hesaplanamaz, tasarım sonrası analiz gibi birçok uygulamalarda kullanılamaz.

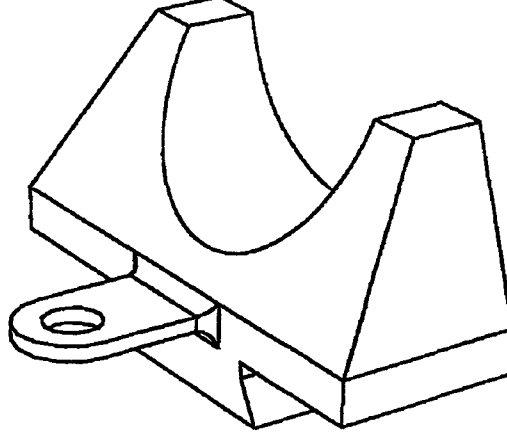


Şekil 3.1. Bir parçanın CAD tel çerçeve modeli (Singh, 1996)



Şekil 3.2. Bir parçanın CAD yüzey modeli

Bu yöntemlerin içinde parçanın tam bir sunumunu verebilen katı modelleme tekniğidir. Katı modelleme tekniği en üst düzey modelleme tekniğidir. Bu teknik ile, gerçek anlamda cismin iç ve dış geometrisinin tanımı yapılmış olur. Tel çerçeve ve yüzey modelleme tekniklerinin zayıf kaldığı birçok nokta, katı modelleme ile giderilmiştir. Katı modellemede parçanın hacim, kütle gibi özellikleri hakkında bilgi edinilebilir ve kesitler alınarak cismin iç geometrik şekli incelenebilir. CAD ve sonrası uygulamalar arasında bütünleşme açısından gerekli olan bir sunum şeklidir. Şekil 3.3' te bir parçanın katı model sunumu verilmiştir.



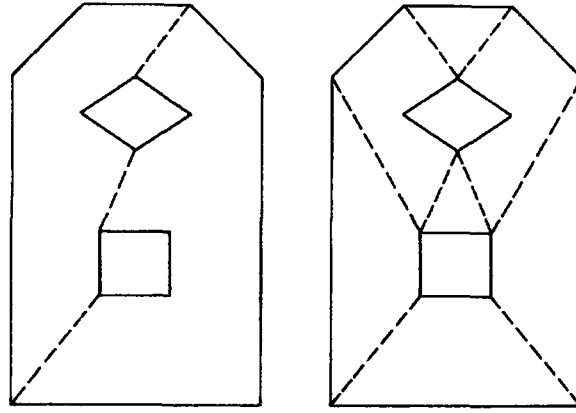
Şekil 3.3. Bir parçanın CAD katı modeli

Bir katı modelleme sisteminde üç boyutlu parçanın oluşturulmasında kullanılan tekniklerden bazıları :

- İlkel örnekleme (Primitive instancing)
- Hücre ayrıştırma (Cell decomposition)
- Süpürme (Sweeping)
- B-rep (Boundary representation - Sınır temsili)
- CSG (Constructive Solid Geometry - Yapısal Katı Geometri)

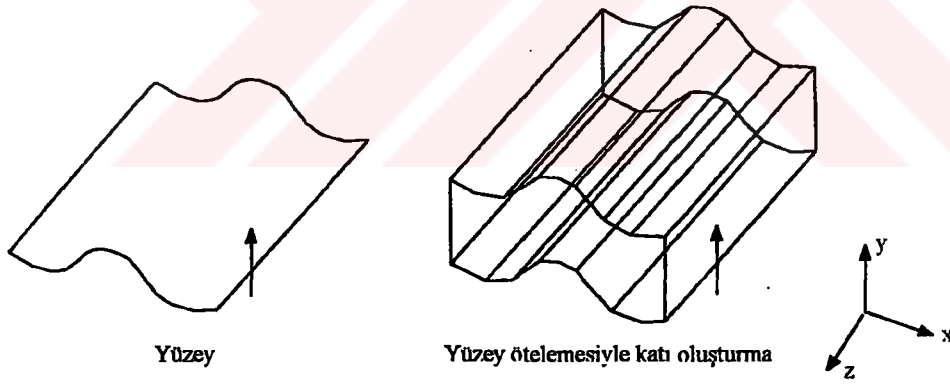
İlkel örnekleme yöntemi, ürün modelinin ilkelerin ölçekli dönüşümlerinin kullanılmasıyla oluşturulmasıdır. Aynı topolojiye sahip fakat farklı geometride parça modellerinin oluşturulması için kullanılır. Bir parçadan farklı parçalar elde edilebilir. Parametreler kullanarak, farklı boyutlarda standart parçaların sunumunda etkin olarak kullanılabilir. Bu yöntem, sistemde tanımlanan ilkelerle sınırlı olduğu için karmaşık parçaların modellenmesi için kullanılamaz.

Hücre ayrıştırma yöntemi, parça modelini tümü parçaya ait küçük hacimlere bölerek tanımlar. Basit parça modelleri için kullanılır (Şekil 3.4). Bu yöntem parçayı yaklaşık olarak tanımladığı için çoğu zaman tercih edilmez.



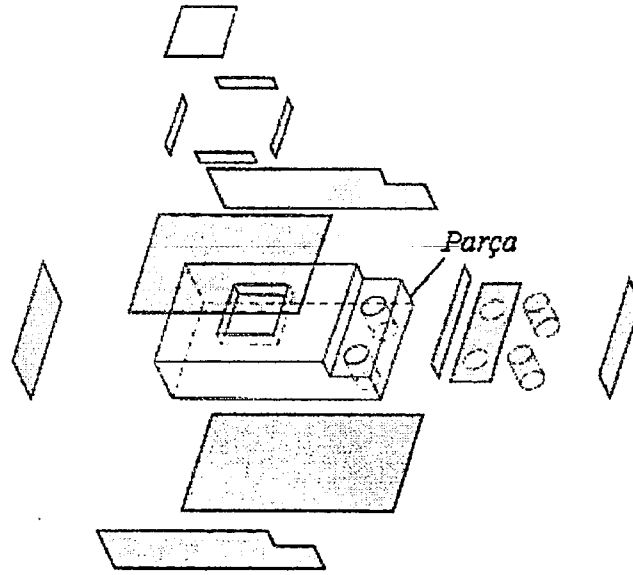
Şekil 3.4. Bir parçanın hücrelere ayrıştırma çalışması (Bedworth ve diğ. 1991)

Süpürme yöntemi, bir profilin bir yörünge üzerinde hareketiyle katı modelin oluşturulmasıdır. Eğrisel yüzeylerin tanımında yaygın olarak kullanılan bu yöntemde yörüngenin ve süpürülecek profillerin tanımlanabilmesi durumunda katı oluşturulur (Şekil 3.5).



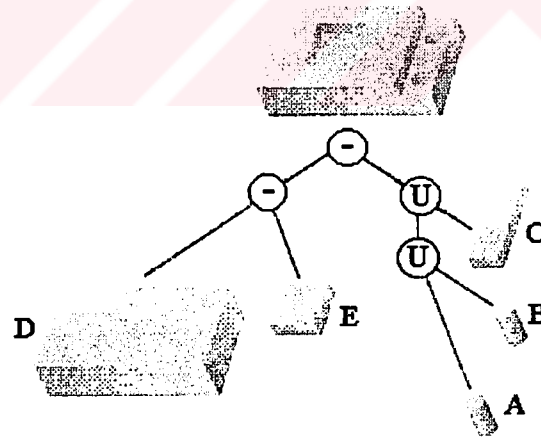
Şekil 3.5. Bir parçanın süpürme işlemi ile oluşturulmuş modeli

Katı modelleme için en çok tercih edilen iki yöntem B-rep ve CSG' dir (Shah, 1991). Uygulamanın yapısına bağlı olarak yöntemlerden biri tercih edilebilir. B-rep yöntemi, parçanın köşe, kenar, yüz tanımlamalarını esas alır (Şekil 3.6). B-rep karmaşık tasarımlarda modelleme için daha uygundur (Wu ve Liu, 1996).



Şekil 3.6. Bir parçanın B-rep modeli (Singh, 1996)

CSG tekniği ise basit parçaların modellenmesinde kullanılır ve kullanımı daha kolaydır (Perng ve diğ., 1990). CSG yaklaşımında, bir katı parça modeli ilkel adı verilen basit katı parçalardan oluşturulur. Boolean işlemleri ile bir parçanın oluşturulması Şekil 3.7' de verilmiştir.



1. $A \cup B$
2. $C \cup (A \cup B)$
3. $D - E$
4. $(D - E) - (C \cup (A \cup B))$

Şekil 3.7. Bir parçanın CSG ile oluşturulmuş modeli (Singh, 1996)

CSG yaklaşımı, parçayı oluşturmak için ilkelleri ve boolean işlemlerini kullanır. Boolean işlemleri, birleşim (union), kesişim (intersection) ve fark (difference) 'dır.

3.2. CAD GEOMETRİK MODEL VERİ YAPILARI

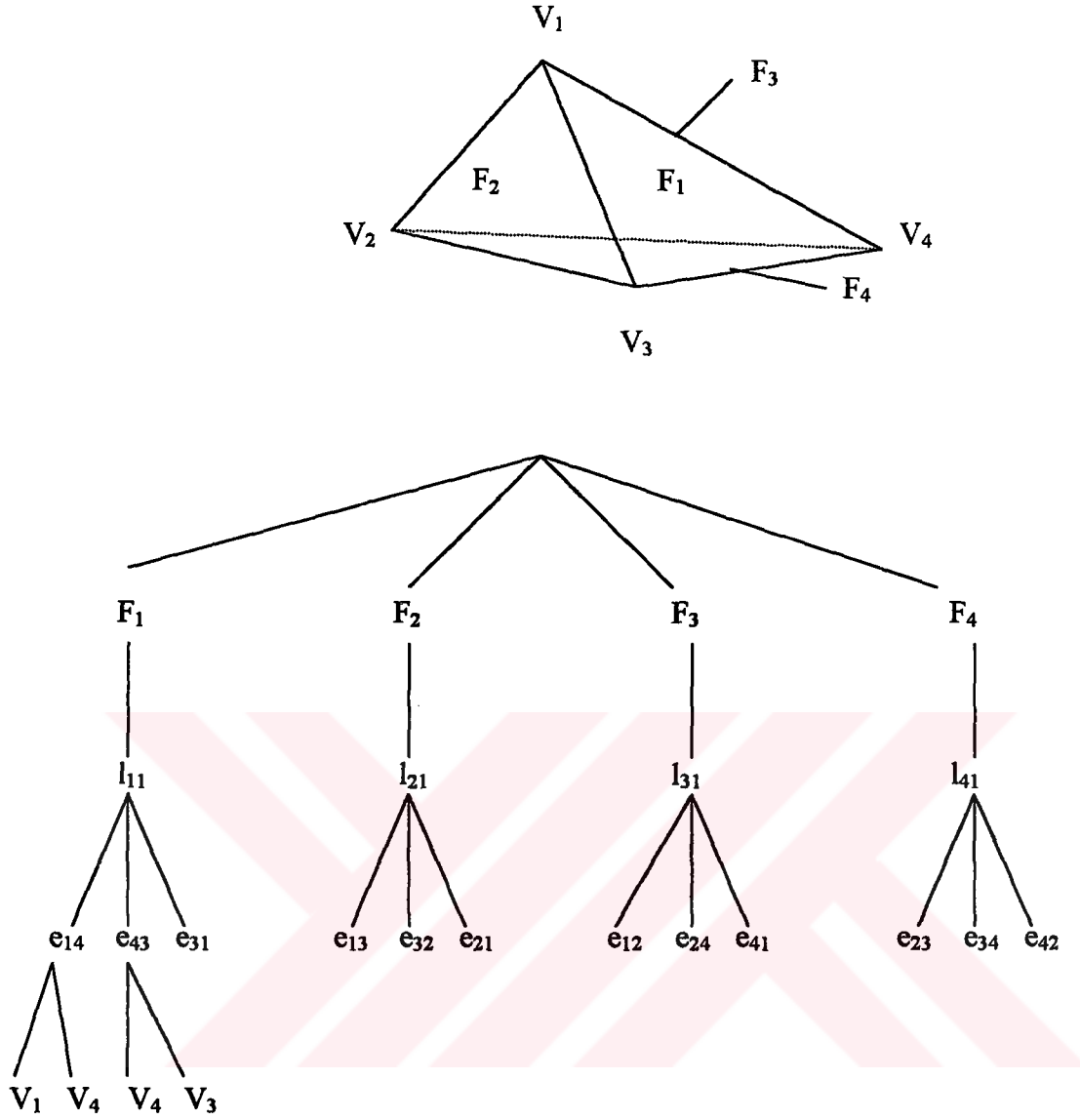
CAD ve sonrası üretim işlemlerinin bütünleşmesinde seçilecek modelleme yöntemi ve veri yapısı çok önemlidir. Üretim sistemlerinde bütünleşme için geometrik verilerin ötesinde, uygulamaya yönelik bilgilerin çıkarılabileceği veri yapılarının seçilmesi gerekir. Bütünleşme açısından bir yöntemi diğerinden üstün olarak tanımlamak için kullanılan kriterler çok açık değildir. Yöntem seçimi genelde, gereksinim duyulan bilgi tipine bağlıdır.

CAD geometrik model veri yapıları parça geometrisi ve topoloji ile ilgili verileri içerirler. Bir parçanın geometrisi ile ilgili temel ilişkilerden oluşan veriler, topoloji verileri olarak tanımlanır. Şekil 3.8.' de bir parçanın topoloji yapısı verilmiştir.

Şekil 3.8' de verilen yüz, döngü, kenar ve köşe yapısı için F , l , e ve V gösterimleri kullanılmıştır. Köşeler kenarları, kenarlar döngüleri ve yüzü oluşturmaktadır. Örneğin, e_{14} kenarı V_1 ve V_4 köşelerinden oluşmaktadır. Bu parça, farklı büyüklükte olsa veya dönüşümlere uğrasa bile temel topolojik ilişkileri her zaman aynı kalır.

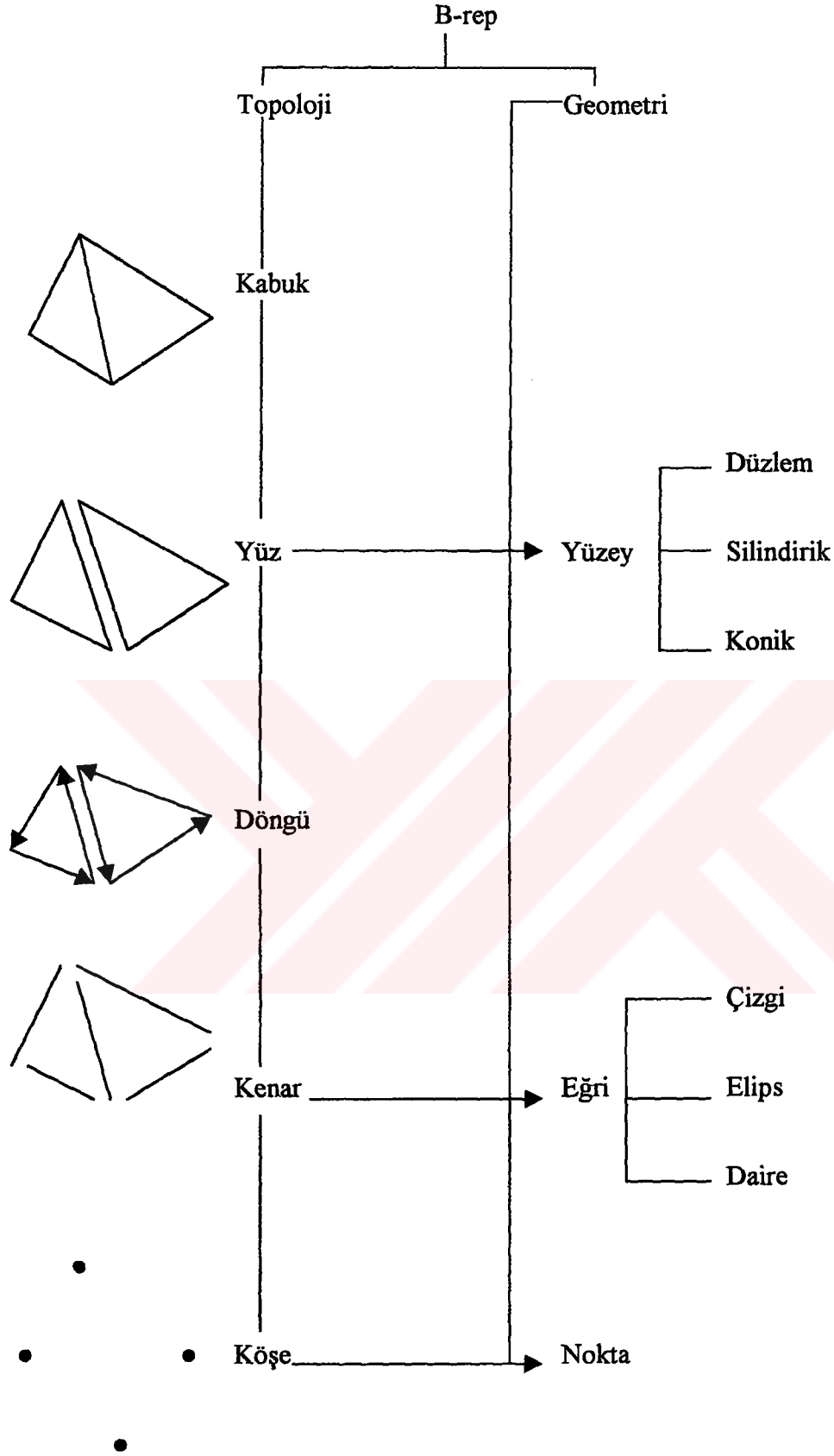
B-rep yaklaşımında, parçanın CAD veri tabanındaki geometrisi ve topolojisinden oluşan bilgiler yer alır. B-rep yapısı, geometri ve topolojiyi oluşturan parça modeli ile ilgili köşeler, kenarlar, yüzler ve bu elemanların ilişkilerini içeren bilgilerden oluşur (Şekil 3.9). Bir döngü (loop), bileşik ve kapalı kenarlar kümesidir. Yüz, kenar ve köşeler B-rep' in temel elemanlarıdır. B-rep yaklaşımında parça modeli, yüzlerin tanımı ile yapılır. Yüzler kenarlarla, kenarlar da köşelerle tanımlanır.

B-rep yaklaşımı, CSG yöntemine göre parça modeliyle ilgili geometri ve topolojiyle ilgili daha detaylı bilgileri içerir. Bu nedenle B-rep, tasarım ve sonrası uygulamalar için CSG yöntemine göre kullanıma daha uygun bir veri yapısı sunar. CAD/CAM konusunda yapılan çalışmalarda B-rep yapısı tercih edilmektedir (Corney ve Clark, 1991, Laakko ve Mantyla, 1993, Allada ve Anand, 1996, Kulkarni ve Pande, 1995).



Şekil 3.8. Bir parçanın topoloji yapısı

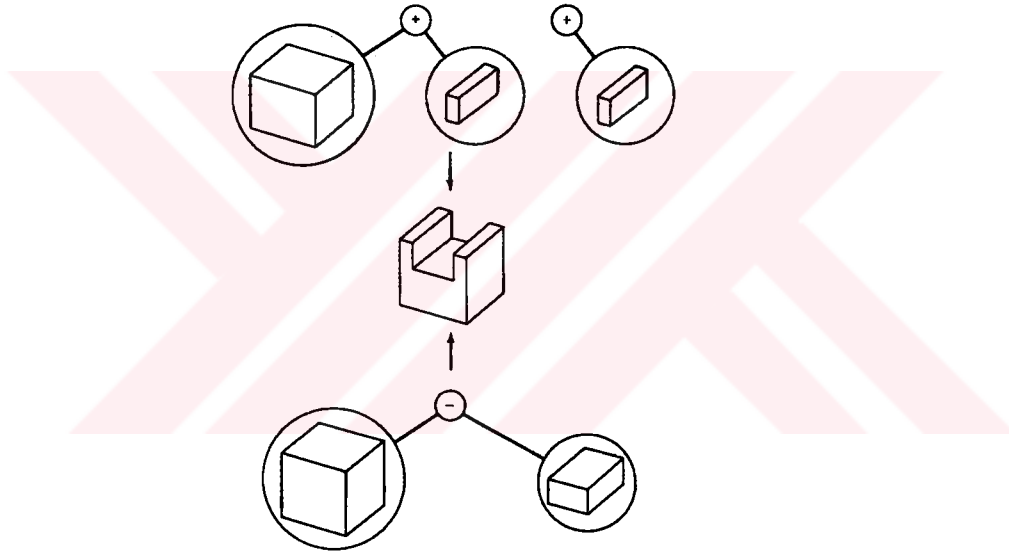
B-rep, gerçek parçayla ilgili tanımlamaları saklar ve parçanın nasıl oluşturulacağından çok, parçanın şekli ile ilgili geometrik ve topolojik bilgileri içerir. CSG ise, parçanın nasıl oluşturulduğu ile ilgili bilgileri saklar. CSG yapısında yer alan bilgiler, ilkeller ve boolean işlemcilerdir. Bu nedenle, B-rep' in yapısı CSG' ye göre daha karmaşıktır ve bilgisayar veri tabanında daha büyük yer kaplar. Her iki yöntemi kullanan CAD modelleme sistemleri de vardır. Bu, daha fazla yere gereksinim duyulması demektir.



Şekil 3.9. Örnek parçanın CAD B-rep yapısı

CSG, parçanın nasıl oluşturulacağı bilgisini içermesi açısından bazı imalat bilgilerinin otomatik olarak çıkarılmasında kolaylık sağlar. Parçanın unsurları CSG yapısında yer alabilir. Örneğin bir delik oluşturulması, bir silindirin çıkarma işleminin yapılmasıdır. Bu durumda bir deliğin tanımı, bir silindirin tanımından türetilmektedir.

CSG yapısının tek olmaması nedeniyle kolaylıkla kullanılamaz. Örneğin bir unsur birçok şekilde oluşturulabilir. Bir kanal, büyük bir bloktan küçük bir bloğun çıkarılmasıyla oluşturulabileceği gibi bir büyük bloğa iki küçük blok eklenmesiyle de yapılabilir (Şekil 3.10). Bu sebeplerden dolayı, B-rep modelleme yaklaşımı unsur tanıma işlemlerinde CSG'ye tercih edilmektedir.



Şekil 3.10. CSG ile farklı kanal oluşturma işlemleri (Bedworth ve diğ. 1991)

İmalat unsurları basit şekiller içerdiğinde, CSG yapısından daha kolay elde edilebilir gibi gözükmektedir. Tasarımcı sadece imalat ilkelerini kullanarak, örneğin bir blok malzemeden başlayarak imalat işlemlerinin benzetimi şeklinde parçayı oluşturur. Bu yapının B-rep'e göre unsur tanımda bazı avantajlar taşıdığı görülmekle beraber önemli iki problemi vardır. Birinci problem, tasarımın kısıtlı imalat olanakları kullanılarak yapılması zorluğu ve ikinci problem, bu unsurların çoğu zaman tasarım sonrası uygulamalar için uygun olmamalarıdır.

3.3. CAD SİSTEMLERİNİN BÜTÜNLEŞME AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

CAD sistemlerinin bütünleşme açısından değerlendirilmesinde en önemli kriter, tasarım sonrası uygulamalarda CAD veri dosyalarının kullanılabilmesi için CAD/CAM/CAE sistemleri arasında veri aktarımının hatasız bir şekilde yapılabilmesidir.

CAD sistemlerinin değerlendirilmesinde ele alınması gereken veri değişim kriterleri:

- Farklı sistemler arasında veri değişimi için gerekli ara birimlerin bulunması. (Ara birimler, doğrudan sistemler arasında veya veri standart formatlarında dönüşüm için olabilir)
- CAD veri dosyalarının sistemler arasında aktarımında hataların oluşmaması, verilerin kaybolmaması veya bozunuma uğramaması.
- CAD veri dosyası değişimiyle ilgili sonuçları belirten rapor dökümanların elde edilebilmesi, değişim sonucunda ilk CAD veri dosyasından farklı olarak oluşan hatalar varsa raporda bu hatalarla ilgili açıklayıcı bilgilerin yer alması.
- CAD veri dosyalarının IGES (Initial Graphics Exchange Standard - Grafik değişim standardı), STEP (Standard for Transfer and Exchange of Product Model Data - Ürün model verisinin değişim standardı), DXF (Drawing Exchange File Format - Çizim değişim dosya formatı) gibi veri aktarım standartlarına başarılı bir şekilde dönüştürülebilmesi.
- IGES, STEP, DXF gibi veri aktarım standartlarında oluşturulmuş dosyaların CAD sistemlerinde başarılı bir şekilde kullanılabilmesi.

Test parçaları kullanılarak yukarıda belirtilen kriterler doğrultusunda CAD programlarının değerlendirmesi yapılabilmektedir. Elde edilen sonuçlar çerçevesinde CAD programlarının performans ve pratikte uygulanabilme kapasitesi belirlenmektedir. İşletmelerin CAD sistemlerine geçiş öncesi bu testleri uygulamaları ve elde edilen CAD veri değişim sonuçlarını değerlendirerek sistem seçimi yapmaları gerekmektedir. Aksi takdirde, işletmeler arası veri aktarımı problemleri gereksiz ek maliyetlere ve zaman kayıplarına sebep olabilir.

Günümüzde, işletmeler ürün model bilgilerini elektronik ortamda veri dosyaları şeklinde saklamakta ve bilgisayar destekli sistemlerinde çeşitli tasarım sonrası işlemlerde kullanmaktadır. CAD veri dosyalarının sistemler arası değişiminde bazı problemler yaşanmakta, hatalar oluşmakta ve hataların giderilebilmesi için CAD modeli üzerinde ek çalışmalar yapılmaktadır. Aynı sistemlerin farklı versiyonlarında bile problemler oluşabilmektedir. Dönüşümü yapılan elemanların özellikleri değişebilmekte, bu nedenle tamir adı verilen işlemler uygulanmaktadır. Henüz çözülmemiş olan bu problemleri gidermek için STEP formatı ile ilgili yoğun çalışmalar sürdürülmektedir. Bu çalışmalar çerçevesinde yazılan protokollar ISO 10303 standardı olarak kabul edilmektedir. Böylece IGES ve DXF standartlarından farklı, ISO tarafından kabul edilen bir standart gelişmektedir.

CAD sistemlerinde veri değişimi için iki yöntem tercih edilmektedir:

1. Dönüşüme uğramadan, doğrudan veri değişimi.
2. Ön ve son işlemciler yardımıyla IGES, STEP, DXF gibi veri dönüşüm standartları yardımıyla veri değişimi.

Doğrudan CAD veri dosyalarının değişimi, dosyaların zaman kaybı olmadan daha hızlı bir şekilde kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak, doğrudan değişim sadece iki sistem arasında geçerli olduğu için çok fazla tercih edilmeyen bir yaklaşımdır. Bir CAD sisteminin diğer farklı CAD sistemleri ile veri değişimi yapabilmesi için gereken ara birim sayısı oldukça fazladır. Örneğin, mevcut bir CAD sistemi, CAD-Sistem-A olarak adlandırılırsa bu sistemin farklı n adet CAD sistemiyle veri değişimi yapabilmesi için n adet ara birime gereksinim duyulmaktadır:

CAD-Sistem-A → Ara birim 1 → CAD-Sistem-1

CAD-Sistem-A → Ara birim 2 → CAD-Sistem-2

CAD-Sistem-A → Ara birim 3 → CAD-Sistem-3

.
.

CAD-Sistem-A → Ara birim n → CAD-Sistem-n

Ön ve son işlemciler yardımıyla IGES, STEP, DXF gibi veri dönüşüm standartları yardımıyla veri değişimi durumunda, iki yönlü veri değişimi yapılabilir. Bir CAD sisteminin diğer farklı CAD sistemleri ile veri değişimi yapabilmesi için gereken ara birim sayısı her standart için bir adettir. Örneğin, bir CAD-Sistem-A' nın farklı n adet CAD sistemiyle STEP formatında veri değişimi yapabilmesi için bir adet ara birime gereksinim duyulmaktadır:

CAD-Sistem-A → Ara birim 1 (STEP) → CAD-Sistem-1

CAD-Sistem-A → Ara birim 1 (STEP) → CAD-Sistem-2

CAD-Sistem-A → Ara birim 1 (STEP) → CAD-Sistem-3

CAD-Sistem-A → Ara birim 1 (STEP) → CAD-Sistem-4

.
.

CAD-Sistem-A → Ara birim 1 (STEP) → CAD-Sistem-n

Yukarıda verilen örnekler iki taraflı veri değişimi için geçerlidir. Örneğin CAD-Sistem-A ile CAD-Sistem-n arasında ters yönlü değişim aşağıdaki gibi olacaktır:

CAD-Sistem-A ← Ara birim 1 (STEP) ← CAD-Sistem-n

CAD sistemlerinin bütünleşme açısından değerlendirilmesinde önemli olan diğer bir kriter, tasarım sonrası uygulamalarda gerekli olan bilgilerin CAD tasarım veri dosyalarından çıkarılmasıdır. Bu konuda gözlenen eksiklikler unsur teknolojisi ile giderilmeye çalışılmaktadır. Mevcut CAD sistemlerinin son yıllarda piyasaya çıkan versiyonlarında unsur tabanlı tasarım modülleri yer almaya başlamıştır. Unsur teknolojisi kullanımının önemi, STEP ISO 10303 standardında imalat unsurlarıyla ilgili protokol geliştirilmesiyle açıkça görülmektedir.

Son yıllarda, CAD programlarının veri tabanlarını oluşturmada oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlayan nesneye yönelik programlama mantığı da CAD veri dosyalarından bilgi çıkarımı konusunda işlem kolaylığı sağlamaktadır. Ancak, bilgilerin çıkarımında önemli bir adım olan, uzmana gerek kalmadan, bilgiden otomatik olarak anlam çıkarma konusunda mevcut CAD programlarında henüz bir ara birim yer almamaktadır. Bunun nedeni unsur tanıma konusunda yapılan çalışmaların henüz istenen sonuçları vermediğidir. Çalışmaların belli bir düzeye ulaşması sonucunda Unsur Tanıma modülleri de, son yıllarda görülen Unsur Tabanlı

Tasarım modülleri gibi CAD sistemlerinde bir ara birim olarak yer almaya başlayabilir.

3.4 BİLGİSAYAR DESTEKLİ ÜRETİM SİSTEMLERİNDE VERİ DEĞİŞİMİ

Bir ürünün CAD modeli oluşturulduğunda, bu modelle ilgili bilgiler bir veri dosyasında saklanır. Bu dosyadaki bilgilerin bir kısmı, modelin boyut ve şekli ile ilgilidir. Bütünleşik bir sistem yapısında bu veri dosyasının tüm uygulamalarda kullanılabilmesi gerekmektedir. Örneğin, eğer imalat planlama sistemi tasarım veri dosyasını okuyabilir ve imalatla ilgili gerekli bilgileri otomatik olarak alırsa bu iki süreç bütünleşmiş kabul edilebilir.

Farklı bilgisayar destekli tasarım ve imalat sistemleri arasında veri aktarımı, bilgisayar veri tabanlarının değişimi ile yapılmaktadır. Bilgisayar veri tabanı, ürünün tasarım ve imalat adımlarında kullanılan ürün modelini tanımlayan bilgilerdir. Ürün modeli verileri, ürün tanımıyla ilgili geometrik ve geometrik olmayan bilgileri içerir. Bu bilgiler, ürün şekli ve tasarım sonrası uygulamaları kapsayan bilgilerdir. Ürün şekil verileri geometrik ve topolojik bilgilerden oluşur. Tasarım sonrası uygulamalarda kullanılan veriler uygulama şekline göre farklılık gösterir. Analiz işlemlerinde kullanılacak veriler analiz verileri, imalat işlemlerinde kullanılacak veriler imalat verileri olarak adlandırılır. Örneğin kütle özelliği bir analiz verisi, parça tolerans değerleri imalat verileridir. Ürün modeli verisi için tasarlanacak veri formatı tüm ürün tanımını içermelidir. Bilgisayar destekli sistemler arasında, veri değişimi için tasarlanan veri formatları ürün model verilerinin değişim gereksinimlerine cevap verebilmelidir.

CAD modeli veri dosyasının tasarım sonrası diğer uygulamalarda kullanımında karşılaşılan problemler aşağıdaki nedenlerden kaynaklanmaktadır :

- Yazılım uyumsuzlukları,
- Donanım uyumsuzlukları,
- Bilginin anlaşılabilmesi.

Yazılım uyumsuzlukları, bilginin paylaşımında karşılaşılan en önemli problemdir. Bunun giderilmesi için standart veri transfer formatları geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Başarılı bir veri paylaşım formatının bazı gereksinimlere cevap verebilmesi gerekir. Standart, temel birimleri kapsamlı ve basit yapıda olmalıdır.

İlk standart çalışmaları sadece geometrik verilerin değişimini temel almıştır. Daha sonraları topoloji ve ürün şekil verisinin ötesinde tasarım sonrası uygulamalara yönelik veri değişimine uygun standartlar üzerinde yoğunlaşmıştır. Bilgisayar destekli üretimde otomasyon ve bütünleşme için, tüm ürün model tanımı verilerini içeren değişim standartlarına gereksinim vardır.

1970'li yılların sonlarında bütünleşmiş bilgisayar destekli imalat (ICAM - Integrated Computer Aided Manufacturing) projesiyle başlatılan farklı bilgisayar destekli sistemler arasında veri değişimi çalışmaları IGES standardının ilk sürümü olan IGES 1.0' ın oluşmasına yardımcı olmuştur (Shah ve Mathew 1991, Molloy ve Browne 1993). İlk veri değişim standartları geometrik veri değişimini destekler. IGES' in daha sonraki sürümleri IGES 2.0 ve IGES 3.0' da topoloji ve analiz veri desteklerine yer verilmiştir. Sürüm 4.0 ise, katı model CSG yapısını ele almıştır. Sürüm 5.0' ın B-rep yapısını içereceği belirtilmektedir.

PDES, IGES' e göre daha detaylı olup, endüstrideki bir çok uygulamayı desteklemesi amaçlanan bir standarttır. PDES, katı model topolojisi, geometrisi ve ayrıca ürün özelliklerini içerecek şekilde geliştirilmektedir. PDES' in geliştirilmesinde amaç, tasarımdan üretime bütün aşamalarda ürünün tanınmasını sağlayacak geometrik ve geometrik olmayan bilgileri içeren bir standart veri yapısının oluşturulmasıdır. PDES' in çeşitli disiplinlerle ilgili uygulamaları destekleyecek bir yapıda olmasına çalışılmaktadır.

IGES' in veri değişim yapısı, bilgisayar destekli otomasyon ve bütünleşme için yetersizdir. Bunun nedeni, IGES' in felsefesinde ürün model tanımlama verisi, temel olarak şekil esas alınarak geliştirilmiştir. PDES' in oluşum felsefesi, tüm ürün model verisi değişimini amaçladığı için otomasyon ve bütünleşme yönünde çok daha etkili olacağı tahmin edilmektedir. PDES' in ürün modeli verisi felsefesi, bilgisayar destekli sistemlerin ürün modelini algılayabilmesi üzerinedir. PDES, IGES' den daha karmaşık ve kapsamlı bir standarttır.

Yeni standartların gelişiminde amaç, tüm ürün modeli tanım verisinin değişimidir. Veri değişim standartlarının geliştirilmesinde temel alınması gereken esaslar :

- Sistemler arasında veri iletişimde veri kaybı olmaması,
- Hız ve maliyet açısından veri yapısının karmaşık olmaması ve veri tabanının bilgisayarda çok büyük yer kaplamaması,
- Veri alma ve veri vermede karmaşık olmayan işlemlerin kullanılması,
- Ürünün tasarım sonrasında kullanılacak bilgilerinin çıkarılmasına olanak veren verileri içermesidir.

Özellikle katı model tekniğinin yaygınlaşmasından sonra, hem geometrik hem de topolojik veri değişimine duyulan gereksinim sonucu çeşitli organizasyonlar farklı çalışmalar yürütmüşlerdir. Tüm ürün modeli verisinin değişimi yönünde benzerlikler içeren çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Ancak, tüm ürün veri değişimine yönelik en önemli standart çalışması, PDES olarak kabul edilmektedir. Veri paylaşımına yönelik çalışmaların durumu Warthen (1994), Smith (1994), Gibbons (1994), Chao ve Yeh (1999) tarafından verilmiştir.

PDES' in, bir ürünün tüm ömür çevrimi içinde yer alan aşamaları kapsayacak ve ileride unsurlarla ilgili verileri içerecek şekilde geliştirilmesi düşünülmektedir. Böylece, unsur çıkarım programları kullanılarak, bütünleşme yönünde uygulama bilgilerinin çıkarılması daha kolay olabilecek ve tam otomasyon sağlanabilecektir.

4. CAD ÜRÜN MODELİNDE UNSUR KULLANIMI VE TANIMA

CIM ve CE' de CAD ürün modeli verilerinin yönetimi ile tasarım verilerinin diğer disiplinlerle paylaşımı küresel bir problemdir (Mertins ve Süssenguth 1991, Kao ve Lin 1996). Bu problemin çözümüne yönelik yapılan çalışmalar içinde, CAD ürün modeli verilerinin tanımında unsur kullanımı en etkin yaklaşımlardan birisidir.

Günümüzde bütünleşik sistemlere yönelik çalışmalar devam etmektedir. Ancak bilginin yönetimi ve bilgi paylaşımı alanında elde edilen sonuçlar henüz istenen düzeyde değildir. Çoğu çözümler, ayrı sistemler üzerinde yapılan çalışmalarla ilgilidir. Bilgi yönetiminde tasarım bilgisinin bilgisayar ortamında nasıl sunulacağı ve tasarım sonrasında yer alan uygulamaların bu bilgiyi nasıl paylaşacakları CIM bütünleşmesi önünde var olan en önemli problemdir. Bu problemin çözümü için ürün tasarımı ile ilgili bilgileri içeren ve bu bilgilerin bütünleşik üretim sistemlerinde otomatik olarak paylaşımına olanak sağlayan teknolojilere gereksinim vardır. Bu gereksinime cevap verebilmek için CE yaklaşımı, tasarımı merkez kabul eden bir bütünleşik üretim sistemi yapısını amaçlamaktadır.

Son zamanlarda araştırmacıların ilgisini çeken ve üzerinde çeşitli çalışmaların devam ettiği teknolojilerden birisi, tasarımda unsur kullanımıdır. CIM bütünleşmesi açısından unsur tabanlı modelleme ve unsur tanıma yöntemlerinin kullanılması gündemdedir. Çalışmalar genelde eksikliğin hissedildiği unsur tanıma teknikleri üzerindedir.

4.1. UNSURLAR

Unsurlar, bir parçanın şekli ve diğer özellikleri ile ilgili bilgi kümeleri olarak tanımlanabilir. Bu kümeler, tasarım, imalat ve montaj gibi aşamalarda çeşitli işlemlerde kullanılabilir. Bu nedenle, unsur teknolojisinin tasarım ve sonrası mühendislik analizleri, işlem planlama, metal işleme, montaj gibi uygulamaların

bütünleşmesi için daha iyi bir yaklaşım olacağı düşünülmektedir. Literatürde tek bir unsur tanımı yoktur. Çeşitli araştırmacılar kullanım alanlarına göre unsur tanımlamaları yapmışlardır:

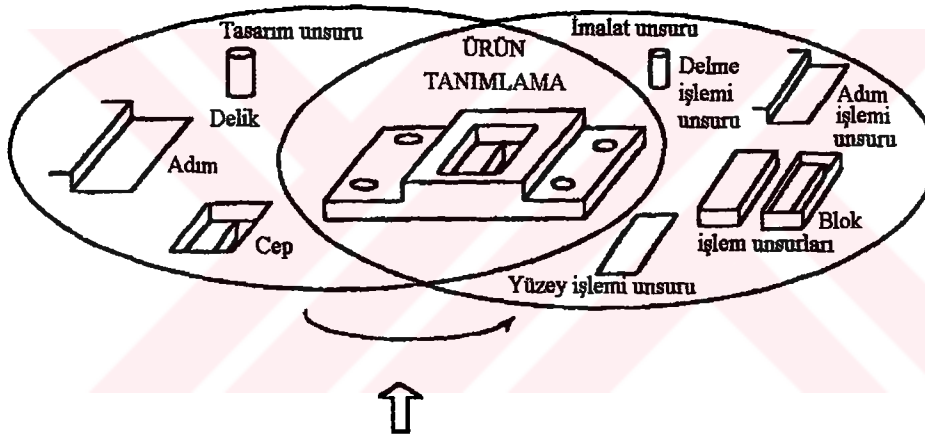
- Unsurlar, bir parçanın şekil ve diğer özelliklerini içeren bilgi kümeleridir (Salomons ve diğ., 1993).
- Unsurlar, imalat işlemleri ile ilgili işlevsel özellikleri içeren parçanın bölgeleridir (Perng ve diğ., 1990).
- Unsurlar, kullanım alanına göre parçanın işlevsel özelliklerini içeren bölgeleridir (Shah, 1991).
- Unsurlar, parçanın tasarım veya imalat özelliklerini içeren bölgeleridir (Chen ve LeClair, 1994).

Literatürde unsurlar genelde iki grupta yer almaktadır; biçim unsurları ve imalat unsurları. Biçim veya form unsurları olarak adlandırılan unsurlar aynı zamanda tasarım unsurları şeklinde tanımlanmaktadır.

Unsurlar, tasarım açısından bakıldığında ürünün işlevleri ile ilgili özellikleri içeren geometrik elemanlar kümesidir. Literatürde unsur tabanlı CAD model kullanımına yönelik çalışmalar yer almakla birlikte, tasarım bilgilerinin model üzerinde tanımlanabilmesi ve paylaşımında karşılaşılan zorluklar nedeniyle, çalışmaların sonuçları henüz istenen düzeyde değildir. Ürün ömrü içinde çeşitli adımlarda bütünleşme için önerilen unsur kavramı, unsur tabanlı tasarım ve unsur tanıma yöntemleriyle ürün modelinin oluşturulmasını gerektirir (Qamhiyah, 1996, Han, 1996).

Unsurların ilk kullanım alanlarından birisi işlem planlamadır. Sonraları çeşitli uygulamalarda kullanılmaya başlamıştır. Tasarım, imalat, montaj gibi çeşitli alanlarda unsurlar kullanılmaktadır (Kappert ve diğ. 1993, Zhang ve Alting, 1994). CAD ve CAPP bütünleşmesi için unsurlarla ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Aldakhilallah ve Ramesh (1997) ile Aldakhilallah ve Ramesh (1999)' in çalışmalarında unsur çıkarımı, işlem planlarının oluşturulması ve takım yaklaşım yönlerinin belirlenmesi konuları işlenmiştir. Zhang ve Alting, (1994), CAD ve CAPP bütünleşmesi açısından işlem planlama konusunda yapılan çalışmaları incelemişler ve unsurların bu çalışmalarda nasıl kullanılabileceğini anlatmışlardır. Chen ve LeClair (1994), işlem planlama için unsur tanıma sistemini kullanmışlardır.

Chamberlain ve diğ. (1993) ile Duan ve diğ. (1993) unsur kütüphanelerini kullanan unsur tabanlı tasarım yaklaşımını, işlem planlamasında operasyonların belirlenmesi için kullanmışlardır. CAD/CAM bütünleşmesinde işlem planlama önemli bir adım olarak kabul edilmektedir. İşlem planlarının hazırlanabilmesi için ürün modelinin analizi gerekir. Bu analizde anahtar eleman unsurlardır. İşlem planını yapanlar, parça üzerindeki işlemleri delik delme, cep, kanal açma şeklinde düşündükleri için imalat unsurları iletişim için doğal bir bağ oluşturmaktadır (Şekil 4.1). Bir unsurun imal edilebilmesi için gereken işlemler belli olduğundan, unsurlar işlem planlamada basitleştirme ve standartlaşma açısından yardımcı olmaktadır. Böylece ürün maliyeti ve temin zamanları azalmaktadır. Aynı zamanda tasarım kalitesinin artması, tasarım ve diğer uygulamalar arasında bağlantının sağlanması unsur tabanlı modellerin avantajıdır.



Şekil 4.1. Tasarım ve imalat unsurları (Li ve diğ. 1995)

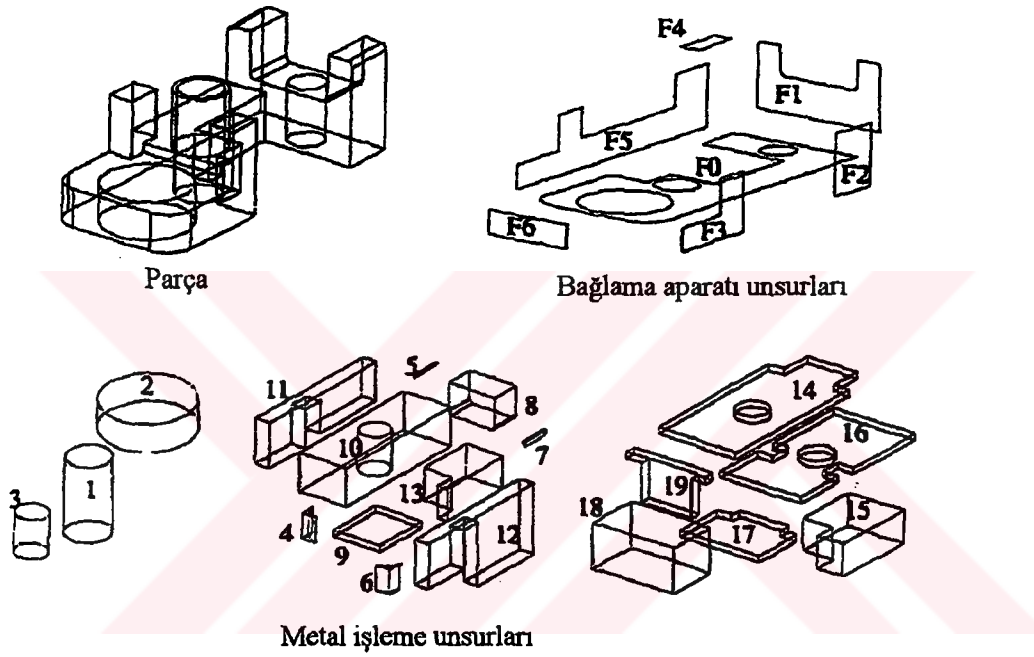
Bir parçanın unsurlarla tanımlanmasında üç yaklaşım vardır:

- Unsur tabanlı tasarım (feature based design) veya unsurlarla tasarım (design by features)
- Unsur tanıma (feature recognition)
- Etkileşimli unsur tanımlı (interactive feature definition)

Bir ürün modelinin unsurlar kullanılarak tasarımı, unsur tabanlı tasarım olarak adlandırılır. Unsur tanıma yaklaşımında unsurlar otomatik veya etkileşimli olarak parça modelinden çıkarılır. Katı veya unsur tabanlı tasarım sistemlerinde unsur

tanıma kullanılabilir. Etkileşimli unsur tanımı yaklaşımında unsurlar, insan yardımıyla etkileşimli olarak tanımlanır.

Unsurlar, kullanım alanlarına göre tanımlanır. Bu tanımlar, imalat unsurları, montaj unsurları, tasarım unsurları, analiz unsurları, gözlem ve ölçme unsurları, metal şekil verme unsurları, bağlama aparat unsurları, kalıp unsurları gibidir. Aynı parçada, uygulamaya bağlı çok çeşitli unsur tanımları yapılabilir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Aynı parçanın farklı uygulama unsurları (Subrahmanyam, 1997)

Bazı unsur tanımları aşağıda verilmiştir:

Cep (pocket) : Bir uçta ilk parça şekliyle kesişen negatif bir hacim olarak tanımlanabilir. Duvar yüzlerine içbükey kenarlarla bağlı bir alt yüz vardır. Duvar yüzleri birbirlerine dışbükey veya içbükey kenarlarla bağlı olabilir. Ayrıca tüm duvar yüzlerine dışbükey kenarlarla bağlı giriş yüzü vardır (Şekil 4.3a).

Çıkıntı (protrusion) : Parçayla bir uçta kesişen pozitif bir hacimdir. Tüm duvar yüzlerine içbükey kenarlarla bağlı olan bir temel yüzü ve tüm duvar yüzlerine

dışbükey kenarlarla bağlı üst yüzü vardır. Tüm duvar yüzler birbirlerine dışbükey veya içbükey kenarlarla bağlıdır (Şekil 4.3b).

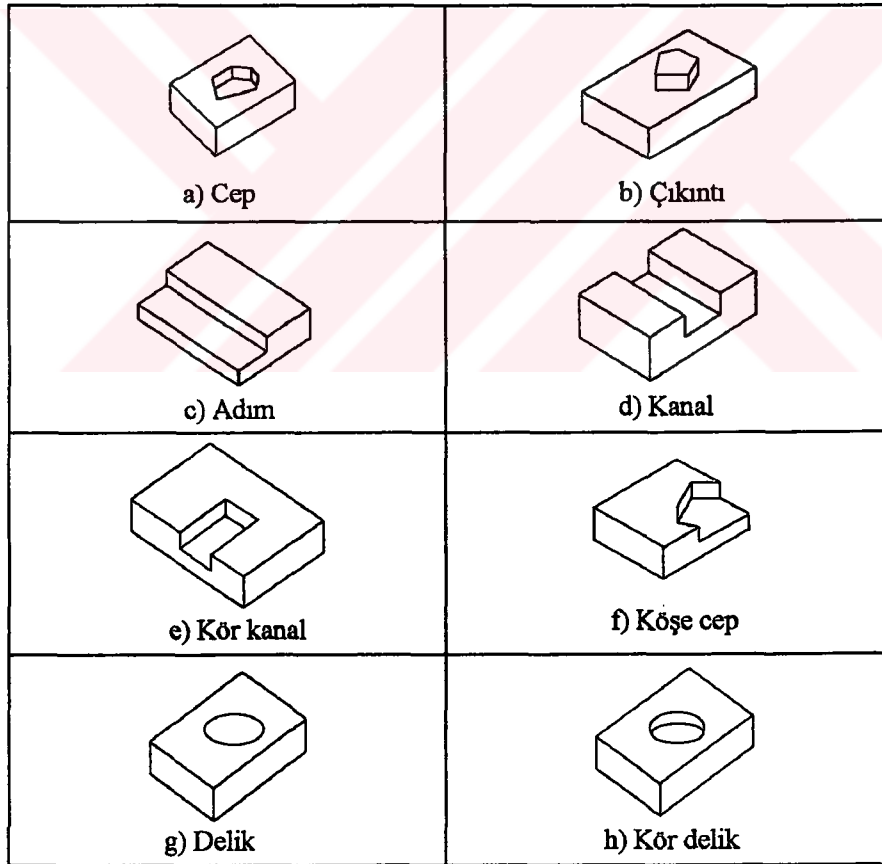
Adım (step) : Girinti unsurlarıdır (Şekil 4.3c).

Kanal (slot) : Bir alt yüzü ile iki veya daha fazla duvar yüzü bulunan girinti şeklindeki unsurlardır (Şekil 4.3d).

Kör kanal (blind slot) : Bu tip unsurlar da girinti unsurlarıdır. Duvar yüzlerin bağlantı zinciri süreklilik gösterir (Şekil 4.3e).

Köşe cep (corner pocket) : Bir alt yüz ile iki veya daha fazla duvar yüz vardır. Duvar yüzler arasındaki bağlantı zinciri süreklidir (Şekil 4.3f).

Delik ve kör delik unsurlarının gösterimi Şekil 4.3g ve 4.3h' de verilmektedir.



Şekil 4.3. Unsurlar

Unsur hem şekil hem de uygulama alanının işlevini taşımalıdır. Unsurlar sınıflanırken şekil ve taşıdıkları işlev göz önüne alınmalıdır :

- İşlevsel özellikleri içeren unsurlar : Birtakım işlevsel özellikler unsurlar tarafından taşınabilir. Örneğin montaj işlemlerinde karşılıklı montaj elemanları unsurları, boyut ve tolerans özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır.
- İmalat unsurları : Unsur, içeriğine göre imalat işlemlerinin seçiminde yardımcı olur. Örneğin, bir delik unsurunun çap ölçüsü ve toleransı verilmişse bu unsuru oluşturmak için aynı çap ölçüsü ve toleransında işlem yapabilecek delik delme araçları seçilir.
- Bağlantı elemanı unsurları : Bağlantı elemanlarının uygulanacağı yüzlerin seçiminde kullanılabilir.
- Montaj unsurları : Karşılıklı ilişkili unsurlar montaj yönlerinin belirlenmesinde kullanılır.
- Manipulator unsurları : İmalat ve montaj sırasında tutucu tarafından tutulması uygun ve montaj sırasında hareketi engellemeyen unsurlar tutma unsurları olarak seçilebilir.
- Metal şekil verme unsurları : Özellikle sac metal işlemlerinde operasyonların seçilmesinde ve sıralanmasında kullanılır.
- Analiz unsurları : Sonlu elemanlar gibi bilgisayar destekli analiz yöntemlerinde kullanılır.
- Kalıp unsurları : Standart kalıp elemanlarının tasarlanmasında kullanılır.
- Tasarım unsurları : Parça CAD modelinin unsurlarla oluşturulması işlemlerinde kullanılır.
- Ölçme unsurları : Geometrik model üzerinden ölçüm alma ve CMM (Coordinate Measuring Machines - Koordinat Ölçme Makinaları) da ölçüm işlemlerinde kullanılır.

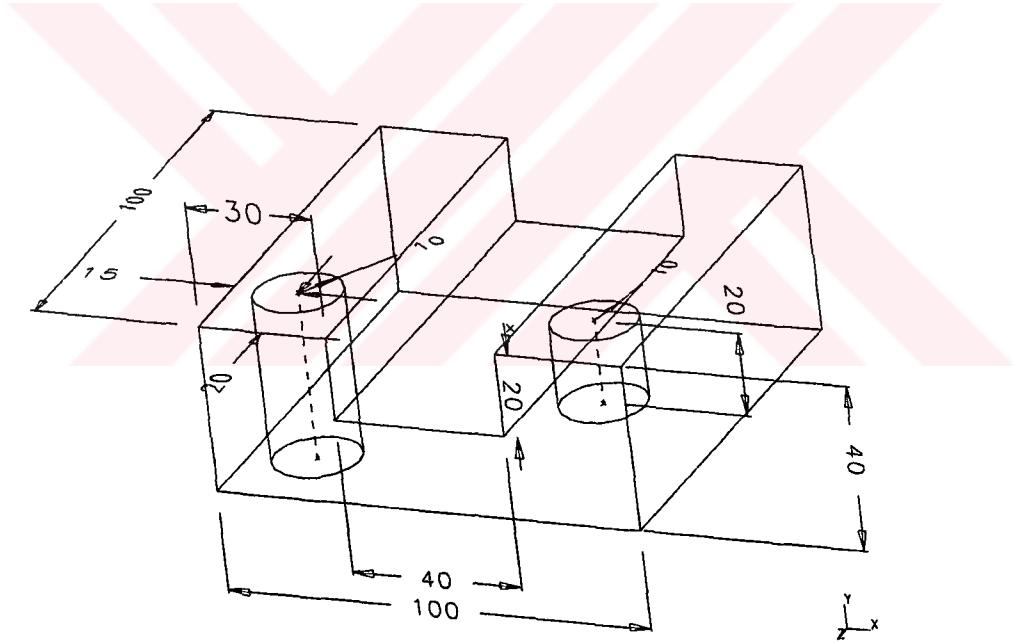
4.2. UNSUR TABANLI TASARIM

CAD parça modelinin unsurlar kullanılarak tasarımı unsur tabanlı tasarım olarak adlandırılır. Unsur kütüphaneleri kullanılarak parçalar modellenir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde unsur tabanlı tasarımda problemler olduğu

görülmüştür (Li ve diğ. 1991, Ishii ve Miller, 1992, Li ve diğ. 1993, Chen ve Wei, 1997). Bu problemler aşağıdaki gibi özetlenebilir :

- Tasarımcı, genelde tasarımını unsurların kullanımını esas alan bir düşünce içinde yapmamaktadır.
- Önceden tanımlanmış belli sayıda unsurların kullanılması zorunluluğu, tasarımcının yaratıcılığını kısıtlamaktadır.
- Unsurların uygulama alanına bağlı olması nedeniyle, ürün modeli verilerinden bilgilerin çıkarılması için ayrı bir unsur tanıma sistemine gereksinim duyulmaktadır.

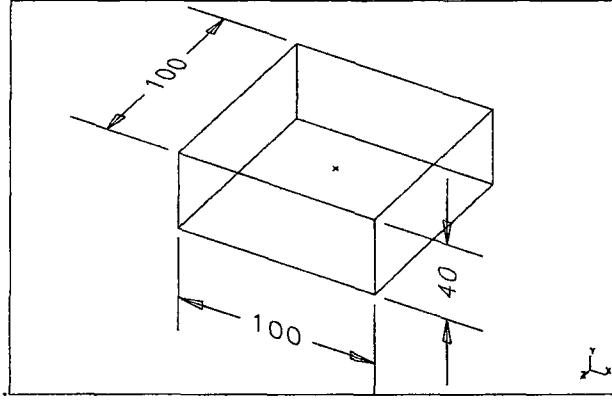
Unsur kütüphanesinde yer alan unsurlar kullanılarak prizmatik bir parça üzerinde bir kanal ve iki delik unsuru kullanılarak oluşturulan unsur tabanlı CAD modelleme çalışması adımları aşağıda verilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Örnek uygulama parçası

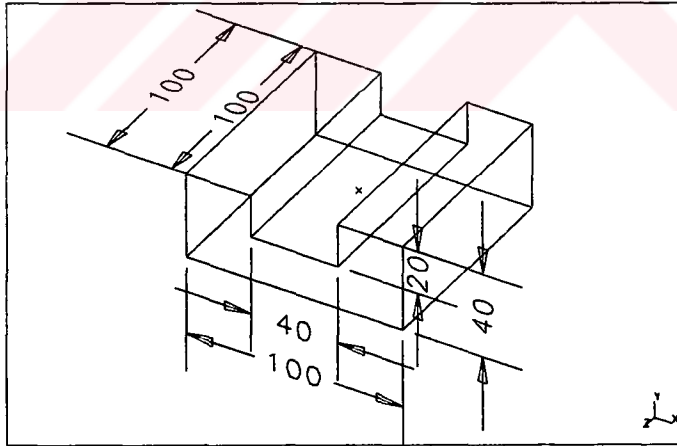
Unsur tabanlı CAD parça modelleme işlem adımları:

- Blok ilkelin seçilerek $x=100$, $y=40$ ve $z=100$ boyutlarında oluşturulması (Şekil 4.5)



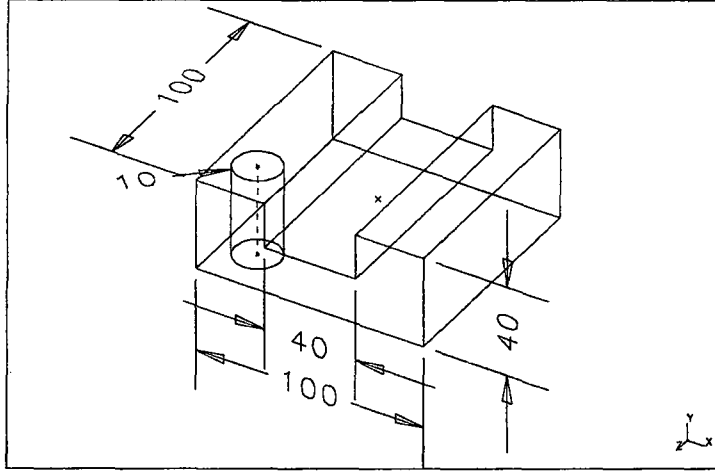
Şekil 4.5. İlk objenin oluşturulması

- Unsur kütüphanesinin açılması
- Unsur kütüphanesinden kanal unsurunun çağırılması
- Kanal unsurunun sorulan parametrelerinin girilmesi
($x=40$, $y=20$, $z=100$ girilir)
- Kanal unsurunun parça üzerindeki yerinin belirlenmesi
(Unsur üst yüzeyi ile blok üst yüzeyi çakıştırılır ve unsur ortaya alınır)
- Kesme işleminin yapılması (Şekil 4.6)



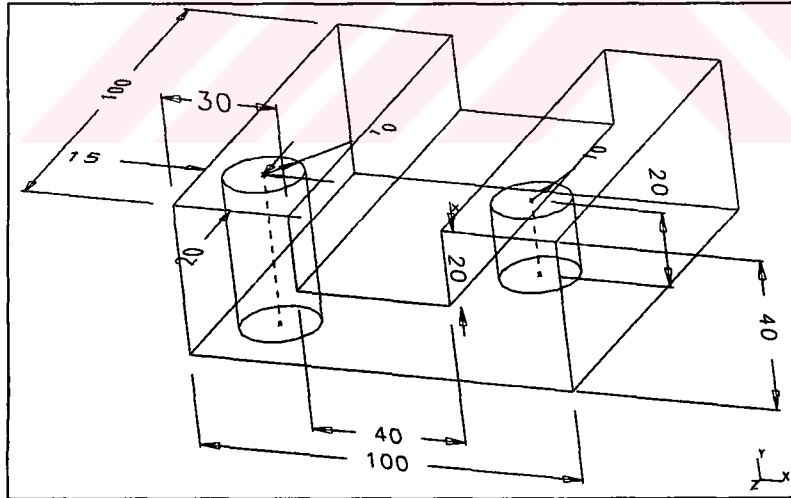
Şekil 4.6. Kanal unsuru ile kesilmiş parça

- Unsur kütüphanesinden delik unsurunun çağırılması
- Delik unsurunun parametrelerinin ve konumunun ayarlanması
($r=10$, $h=40$ ve merkez noktasının kenarlardan olan uzaklığı girilir, Şekil 4.7)



Şekil 4.7. Kanal ve delik unsuru ile kesilmiş parça

- Unsur kütüphanesinden kör delik unsurunun çağrılması
- Kör delik unsurunun parametrelerinin ve konumunun ayarlanması
($r=10$, $h=20$ ve merkez noktasının kenarlardan olan uzaklığı girilir, Şekil 4.8)



Şekil 4.8. Modelleme işlemi tamamlanmış unsur tabanlı CAD parça modeli

Unsur tabanlı tasarım yaklaşımının en önemli eksikliği, tüm ürün modellerini içerecek bir unsur kütüphanesinin oluşturulmasında karşılaşılan zorluklardır. Bu

nedenle, unsur tabanlı tasarım bir takım sakıncaları içerir. Bu sakıncalar, bir unsur tanıma sistemi ile giderilebilir.

4.3. UNSUR TANIMA

Unsur tanıma, tasarım aşamasında ürün modeli veri tabanına aktarılan geometri ve topolojiye ait verilerin kullanılarak uygulama alanına yönelik unsurların bulunması işlemidir. İmalat açısından bakıldığında bu işlem ürün üzerinde yapılacak işlemlerin çıkarılması demektir. Diğer bir deyişle imalat işlemlerinin tanımıdır. CAD parça modelinden imalat ortamında kullanılacak kanal, cep, delik gibi unsurların çıkarımı işlemi imalat unsurlarını tanıma örneğidir. Böylece, gerekli imalat işlemi tanımlanmış ve işlem parametreleri elde edilmiş olur.

Unsur tanımanın amacı, tasarım ve sonrası işlemler arasında bütünleşmenin sağlanmasıdır. CE felsefesinde yer alan tasarım merkezli yaklaşımın üretim sistemleri arasındaki bilgi paylaşımı probleminin, unsur tabanlı CAD modelleri ile çözümlenmesine çalışılmaktadır. Araştırmaların beklenen sonuçları verebilmesi ve CIM bütünleşmesi için gerekli etkenlerden birisi unsur tanıma yöntemlerinin geliştirilmesidir. Böylece, CIM yapısı içinde CE felsefesi de etkin bir rol oynayabilecektir.

Parçadaki unsurları tanımada iki tür bilgiye gereksinim vardır :

- Topoloji : Unsuru oluşturan köşe, kenar ve yüzlerin ilişkileri
- Geometri : Unsuru oluşturan kenar, köşe ve yüzlerle ilgili geometrik bilgiler

Unsur tanıma için sadece topoloji kullanımı yetersizdir. Aynı topolojiye sahip unsurlar farklı geometriye sahip olabilir. Unsur tanıma yöntemleri önce topoloji sonra geometrik bilgileri kullanır.

Literatürde yer alan unsur tanıma yöntemleri :

- Kural tabanlı (rule based) yaklaşımlar
- Çizge tabanlı (graph based) yaklaşımlar

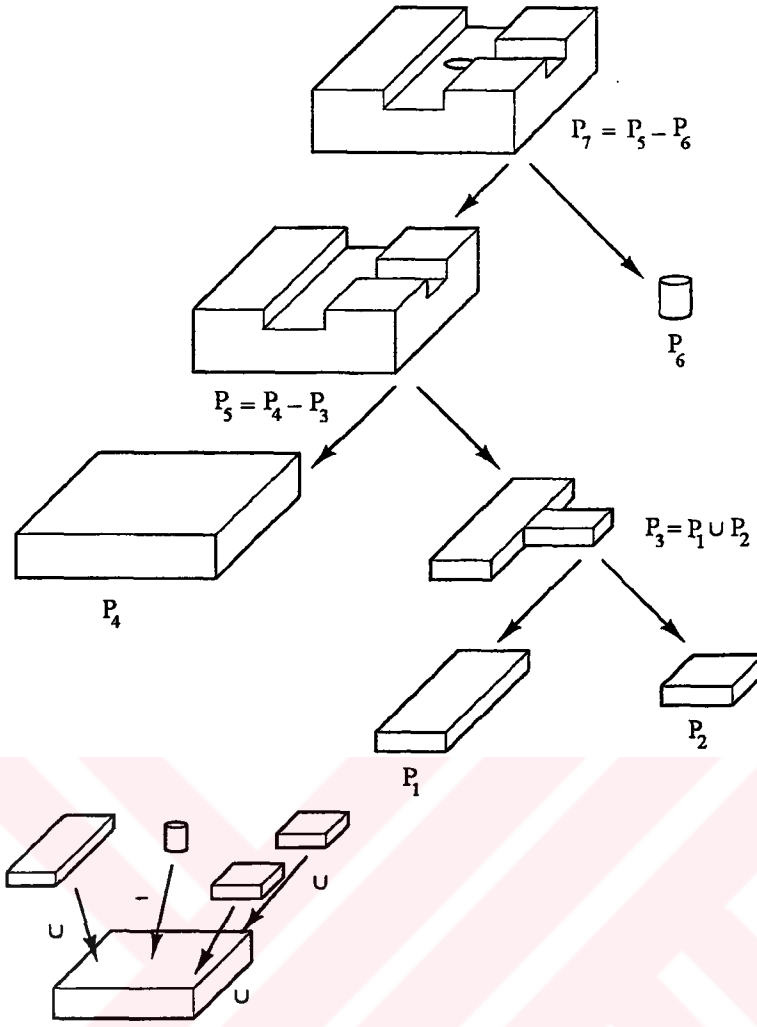
- Ayrıştırma tabanlı (decomposition based) yaklaşımlar
- Gramer tabanlı (syntactic pattern based) yaklaşımlar
- Sinirsel ağ tabanlı (neural network based) yaklaşımlar

Literatürde yer alan unsur tanıma algoritmaları karmaşık yapıda olmaları, bilgisayar ortamında kolay kullanılamamaları ve/veya basit unsurlara uygulanabilmeleri açısından bir takım eksiklikler içermektedir. Bu çalışmada, sinirsel ağlar ve ürün geometrik modelinin bilgisayar ortamında kolay ifade edilmesine yönelik parçanın yüz sayısal değerleri kullanılarak unsur tanıma problemlerinde gözlenen eksikliğin giderilmesine çalışılmıştır.

Unsur tanıma yöntemleri, parçanın CAD ortamında mevcut CSG (constructive solid geometry - yapısal katı geometri) veya B-rep (Boundary representation - sınır temsili) olarak adlandırılan veri yapılarını kullanır. CAD sistemlerinde kullanılan katı modelleme teknikleri, parçaları CSG, B-rep veya her iki yöntemi birlikte kullanarak oluştururlar. Parça geometrisi ve topolojisi ile ilgili tüm bilgiler CSG veya B-rep dosyalarından elde edilebilir.

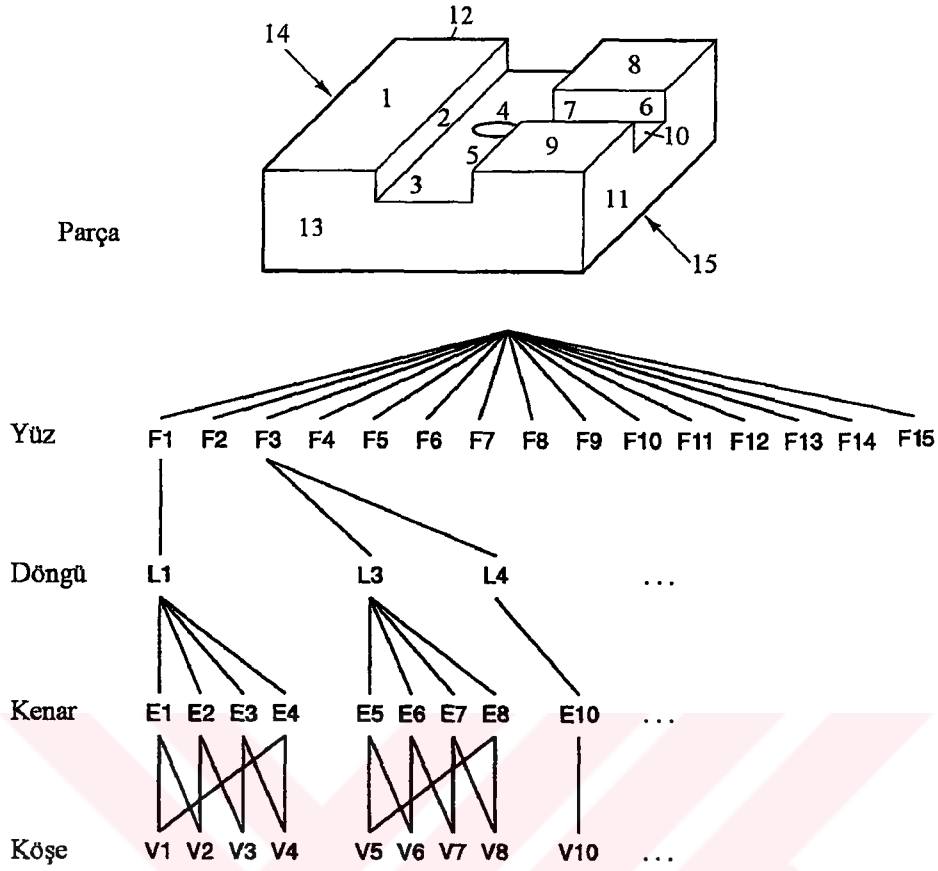
CSG yapısını kullanan unsur tanıma sistemleri alanında yapılan çalışmalar çok fazla değildir (Perng ve diğ. 1990, Shah ve Rogers, 1988, Tsai ve diğ. 1997). CSG yaklaşımında, parça modeli katı ilkelerin boolean işletmenleri kullanılarak birleştirilmesinden oluşur (Şekil 4.9). Perng ve diğ. (1990) geliştirdikleri unsur tanıma sisteminde CSG yapısını kullanmışlardır. CSG yapısı, unsur tanıma yöntemlerinin bazılarında tek bir sonuca ulaşamaması ve çok sayıda işlem gerektiren çıkarım yapılarının olması yüzünden çok tercih edilmeyen bir yaklaşımdır.

B-rep, parçaların tek sunumuna olanak sağladığı için CSG yapısına göre tercih edilen ve en çok kullanılan parça sunum şemasıdır (Laakko ve Mantyla, 1993, Allada ve Anand, 1996, Kulkarni ve Pande, 1995, Sheu ve Lin, 1993, Wu ve Liu, 1996, Fields ve Anderson, 1994). Unsur tanıma algoritmalarının çoğu B-rep yapıları için geliştirilmiştir. B-rep, bir parça şeklini oluşturan köşeler, kenarlar, döngüler, yüzler ve bunların aralarındaki ilişkileri içeren bir yapıya sahiptir. Şekil 4.10' da bir parçanın B-rep yapısının gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.9. CSG yapısında yer alan boolean işlemleri (Chang ve diğ. 1998)

CAD programlarında kullanılan B-rep dosya yapısını oluşturan elemanlar Şekil 4.10' da görülmektedir. Bu elemanlar alt seviye (low level) elemanlardır. Alt seviye elemanlar, analiz, işlem planlama, imalat, montaj, kontrol gibi işlemlerde kullanılacak bilgileri içermezler. Alt seviye elemanlar kenarlar, köşeler ve yüzlerden oluşmaktadır. Unsur tanımanın amacı, bu alt seviye elemanları çeşitli uygulamalarda kullanılabilecek bilgileri içeren üst seviye (high level) elemanlara dönüştürmektir. Üst seviye elemanlar, ürün tasarımı ve sonrası uygulamalarla ilgili bilgileri içerirler. Örneğin, bir delik üst seviye eleman olarak imalat açısından bir anlam taşımaktadır. Bu anlam, bir delik delme tezgahının seçimi, delik delme işleminin seçimi ve delik delme işlemi parametrelerinin belirlenmesidir. Böylece CAD ile imalat, işlem planlama, analiz ve diğer işlemlerle bütünleşme sağlanmaktadır.



Şekil 4.10. Bir parçanın B-rep yapısını oluşturan elemanlar (Chang ve diğ. 1998)

CSG, özellikle unsur tabanlı tasarım için kullanılabilecek bir yapıdır. Bu açıdan farklı bir bakış olarak değerlendirilmesinde fayda vardır. CSG algoritması parçanın işlevsel ve imalatla ilgili bilgilerinden çok parçanın nasıl oluşturulduğu konusunda bilgiler içerir. Ağaç yapısı olarak adlandırılan CSG yapısı, teknik uygulama ile ilgili bilgilerin elde edilebilmesi açısından uygun değildir. Bu, CSG' nin kullanım alanını kısıtlamıştır. B-rep yapısı, bu olumsuzluğu gidermektedir. Bununla beraber, B-rep yapısından unsur tanımlarının elde edilmesinde ve unsurları tanımada kullanılan algoritmalar tam sonuç vermemektedir. Kullanılan algoritmalar karmaşık ve elde edilen sonuçlar açısından yetersizdir. En önemli zorluk, farklı geometrilere sahip unsurları tanımada ortaya çıkmaktadır. Örneğin kural tabanlı bir sistemde tüm unsur geometrilerini içerecek kuralların yazılması olanaksızdır. Ayrıca bu sistemlerde bir unsuru tanımak için aşırı işlem gerektiren arama yöntemlerine gereksinim vardır.

Gramer tabanlı ve çizge tabanlı sistemler en yaygın B-rep yapısını kullanan unsur tanıma algoritmalarıdır. B-rep yapısı, bu sistemlerin unsur tanıma algoritmalarını destekleyen veri tabanını içerir. CSG yapısı genelde hacimsel parçalara ayrıştırma algoritmalarını kullanan unsur tanıma sistemlerini desteklemektedir. B-rep yapısının daha çok tercih edilmesinin bir nedeni de imalat sistemlerinde yüzlerle ilgili bilgilerin B-rep dosya yapısından kolaylıkla çıkarılabilmesidir. Böylece işlem planlama için gerekli bilgiler parçanın CAD modelinden çıkarılabilir.

Literatürde yer alan unsur tanıma yöntemlerindeki yetersizliklerden dolayı yeni yöntemlerin geliştirilmesi konusunda araştırmalar devam etmektedir. Bu tezde, sinirsel ağlar yöntemi kullanılarak unsur tanıma gözlendi bazı olumsuzlukların giderilmesine çalışılmıştır. Sinirsel ağların başarılı olmasındaki en önemli etken, öğretilen unsurlardan elde ettiği bilgiyi, sisteme ilk defa verilen farklı unsurları tanıma kullanabilmesidir. Sinirsel ağların öğrenbilme özelliği, bu tür problemlerde diğer yöntemlere göre tartışılmaz bir üstünlük getirmektedir. Örneğin kural tabanlı bir sistemde her bir yeni unsur için kural oluşturulması gereksinimi sinirsel ağlar kullanımıyla ortadan kalkmaktadır.

4.4. UNSUR TANIMA ALANINDA LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR

Unsur tanıma, tasarım aşamasında ürün modeli veri tabanına aktarılan geometri ve topolojiye ait verilerin kullanılarak uygulama alanına yönelik unsurların bulunması işlemidir. İmalat açısından bakıldığında bu işlem ürün üzerinde yapılacak işlemlerin çıkarılması demektir. Diğer bir deyişle imalat işlemlerinin tanımıdır. CAD parça modelinden imalat ortamında kullanılacak kanal, cep, delik gibi unsurların çıkarımı işlemi, imalat unsurlarını tanıma örneğidir. Böylece, gerekli imalat işlemi tanımlanmış ve işlem parametreleri elde edilmiş olur.

Salomons ve diğ. (1993), unsur alanında yapılan çalışmaları incelemişler ve unsur tanıma yaklaşımının tasarım-imalat bütünleşmesi için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Unsur tanıma yöntemlerinin incelendiği ve karşılaştırmalarının yapıldığı bir çalışma Shah, (1991) tarafından gerçekleştirilmiştir. Unsur tabanlı

modelleme çalışmalarında unsur çıkarımı veya dönüşümleri için unsur tanıma sistemlerine gereksinim vardır. Tasarım unsurlarının imalat unsurlarına dönüştürülmesiyle ilgili bir çalışma Chamberlain ve diğ. (1993) tarafından yapılmıştır. Lin ve diğ. (1997) işlem planlama ve NC kesici takım yolları için kullanılacak imalat unsurlarının, CAD model veri tabanından dönüştürülmesini incelemişlerdir.

Unsur tanıma yöntemlerinde karşılaşılan en önemli eksiklikler, önceden tanımlanmamış bir unsuru tanıma ile kısmi ve karmaşık unsurları tanıma işlemlerinde ortaya çıkmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda bu problemlerin çözümüne yönelik, kural tabanlı, çizge tabanlı, ayrıştırma tabanlı, gramer tabanlı ve sinirsel ağ tabanlı yaklaşımları içeren çeşitli tanıma yöntemleri önerilmektedir. Unsurların tanınması için kullanılacak CAD parça modeli veri yapısı, geliştirilecek algoritmalar açısından önem taşımaktadır. Parça şekliyle ilgili geometri ve topoloji bilgilerinin kolaylıkla çıkarılmasına olanak sağlayan veri yapılarının kullanılması gerekmektedir.

CAD katı modellerin ilk ve son şekillerini karşılaştırarak unsur çıkarımı yapan çalışmalara rastlanmaktadır. Dong ve Parsaei (1993), katı modelin ilk ve son parça şekillerini karşılaştırarak imalat unsurlarının çıkarımına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Unsur tanıma ve unsur tabanlı modelleme tekniklerini bir arada kullanan çalışmalar literatürde yer almaktadır. Laakko ve Mantyla (1993), unsur tabanlı tasarım ve unsur tanıma yaklaşımlarını birlikte kullanan sistem önermişlerdir. Han ve Requicha (1997), unsur tabanlı modelleme ve unsur tanıma yaklaşımlarının birlikte kullanımına yönelik çalışmalarında, CAD veri tabanından unsurları kullanım alanına göre dönüştüren bir sistem geliştirmişlerdir.

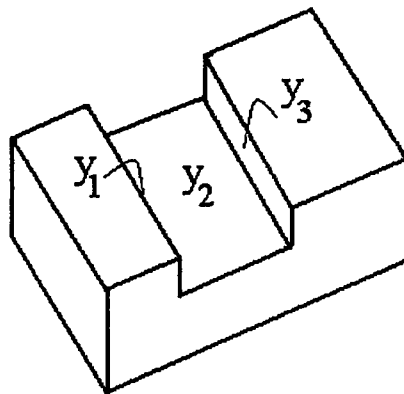
Ancak araştırmacıların belirttiği önemli bir nokta, henüz tasarım ve sonrası uygulamaların bütünleşmesi yönünde tam bir sonuç elde edilemediğidir (Fields ve Anderson, 1994, Trabelsi ve Meeran, 1996, Dürr ve Schramm, 1997, Dong ve Vijayan, 1997, Qamhiyah, 1996, Subrahmanyam, 1997). En olumlu sonuçların öğrenebilme özelliğinden dolayı sinirsel ağ yaklaşımlarıyla sağlanacağı görülmektedir.

4.4.1. Kural Tabanlı Sistemler

Unsur tanıma yöntemlerinden birisi kural tabanlı sistemlerdir. Bu yöntemde unsur tabanlı parça modeli veri yapısında yer alan geometrik ve topolojik bilgiler uygulama alanına göre kullanılır. Kural tabanlı yaklaşımlar unsurlar için tanımlanmış kuralları kullanır (Shah ve Rogers, 1988, Fuh ve diğ. 1992, Nnaji ve diğ. 1993, Wu ve Liu, 1996). Çok sayıda kuralın oluşturulması ve kuralların çıkarılması problemi vardır. Bu nedenle, kural tabanlı sistemler çok tercih edilmezler.

Shah ve Rogers (1988), nesneye yönelimli programlama tekniğini kullanarak CSG ve kurallar kullanan bir unsur tanıma sistemi önermiştir. Önerilen unsur tanıma algoritması GT (Grup Teknolojisi) uygulamaları için geliştirilmiştir. Fuh ve diğ. (1992) tarafından işlem planlaması ve aparat tasarımı çalışmalarında CAD ürün katı modelinden bilgi çıkarımı için kurallar kullanılmıştır. Nnaji ve diğ. (1993) işlem planlaması için unsur tabanlı tasarım ve bilgi çıkarımını yapan kural tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Wu ve Liu (1996) kural tabanlı yaklaşımlar konusunda genel bilgiler vermişlerdir. Bu çalışmalar, çeşitli unsurlara ait çok sayıda kural belirlenmesini ve kural tabanlı unsur çıkarım mekanizması ile çözüm için fazla işlem gerektiğini göstermektedir. Kural tabanlı yaklaşımlar, tüm unsur şekillerini içeren unsur kurallarının oluşturulması zorluğu ve unsurların belirlenmesi için fazla işlem gerektirdiğinden dolayı tercih edilmezler.

Bir kanal unsurunun tanınması için, aşağıda verildiği gibi bir kural yapısı kullanılabilir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Kanal unsuru

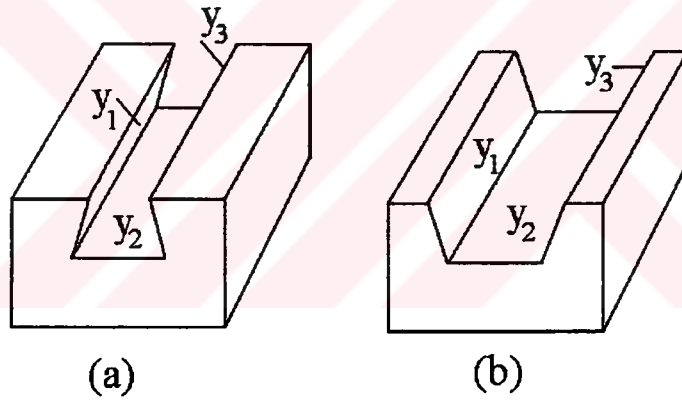
IF

yüz 1 ve yüz 2 ortak kenar içeriyorsa	AND
yüz 2 ve yüz 3 ortak kenar içeriyorsa	AND
yüz 1 ve yüz 2 arasındaki açı 90^0	AND
yüz 2 ve yüz 3 arasındaki açı 90^0	

THEN

yüz 1, yüz 2 ve yüz 3' ün tanımladığı unsur bir kanaldır

Şekil 4.12' de farklı kanal unsurları gösterilmektedir. Bu unsurlar kanalı oluşturan yüzlerin topolojik ve geometrik ilişkileri çerçevesinde tanımlanır. Bu iki kanalın tanımları arasındaki fark, yan yüzlerin kanal alt yüzleri ile oluşturdıkları açının farklı oluşundan ortaya çıkmaktadır. Topolojik bilgileri aynı olmakla beraber, farklı geometrik özellikler içerirler.



Şekil 4.12. Farklı kanal unsurları

Şekil 4.12' de verilen farklı kanalların tanınması için gereken kurallar Şekil 4.11' deki kanal unsuru için yazılan kuraldan farklı olacaktır :

Şekil 4.12 (a) kanal unsuru için kural :

IF

yüz 1 ve yüz 2 ortak kenar içeriyorsa	AND
yüz 2 ve yüz 3 ortak kenar içeriyorsa	AND
yüz 1 ve yüz 2 arasındaki açı $< 90^0$	AND

yüz 2 ve yüz 3 arasındaki açı $< 90^0$

THEN

yüz 1, yüz 2 ve yüz 3' ün tanımladığı unsur bir kanaldır

Şekil 4.12 (b) kanal unsuru için kural :

IF

yüz 1 ve yüz 2 ortak kenar içeriyorsa AND

yüz 2 ve yüz 3 ortak kenar içeriyorsa AND

yüz 1 ve yüz 2 arasındaki açı $> 90^0$ AND

yüz 2 ve yüz 3 arasındaki açı $> 90^0$

THEN

yüz 1, yüz 2 ve yüz 3' ün tanımladığı unsur bir kanaldır

Her bir unsur için tüm kuralların araştırılması uzun işlemler gerektirmesinin yanında farklı unsur yapıları için kural yazılmasındaki problemler, kural tabanlı sistemlerin kullanımını kısıtlamaktadır.

4.4.2. Çizge Tabanlı Sistemler

Çizge tabanlı sistemler, unsurları çıkarmak için alt çizgelerin bulunması yaklaşımını kullanır (Corney ve Clark, 1991, Joshi ve Chang, 1988, Fields ve Anderson, 1994). Bu yaklaşımda, bir parça düğümler (yüzler) ve yaylar (kenarlar) ile temsil edilir. Her bir yay dışbükeylik veya içbükeylik bilgisi içerir. Çizge tabanlı yaklaşımla ilgili ilk çalışmalar Joshi ve Chang (1988), tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarında AAG (Attributed Adjacency Graph - Özellikli komşuluk çizgesi) parça şekil çizgesini kullanmışlardır.

AAG, kenarlar ve yüzler arasındaki ilişkiyi temel alan bir gösterim şeklidir. Bu çizgede her bir yay dışbükeylik veya içbükeylik kodlarını içerir (Joshi ve Chang, 1988, Qamhiyah, 1996). Çizge tabanlı sistemlerin dezavantajları, çizgelerin

oluşturulması için kapsamlı bir işlem öncesi çalışmayı gerektirmesidir. Ayrıca, çizgeden alt çizgelerin bulunması için ek işlemlere gereksinim vardır.

Corney ve Clark (1991), sadece basit unsurları tanıyabilen ürün modelinin yüz, kenar ve köşelerinin oluşturduğu çizgeleri kullanan bir unsur tanıma sistemi önermişlerdir. Fields ve Anderson (1994), B-rep ve çizge yöntemini kullanan bir yaklaşım sunmuşlardır.

Joshi ve Chang (1988) unsur tanıma için çizge tabanlı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımda parçanın B-rep yapısı, AAG ye dönüştürülür. Çizge tabanlı sistemler, unsurun çizgesinin katı model veri tabanında çakışan alt çizgesinin bulunmasına dayanan bir tanıma sistemi kullanır.

Çizge tabanlı yaklaşımda unsur tanıma üç adımda yapılır :

- Tanınacak parçanın çizge tabanlı sunumunun oluşturulması,
- Unsurların tanımı,
- Çizge tabanlı parça sunumunda yer alan unsurların çıkarılması.

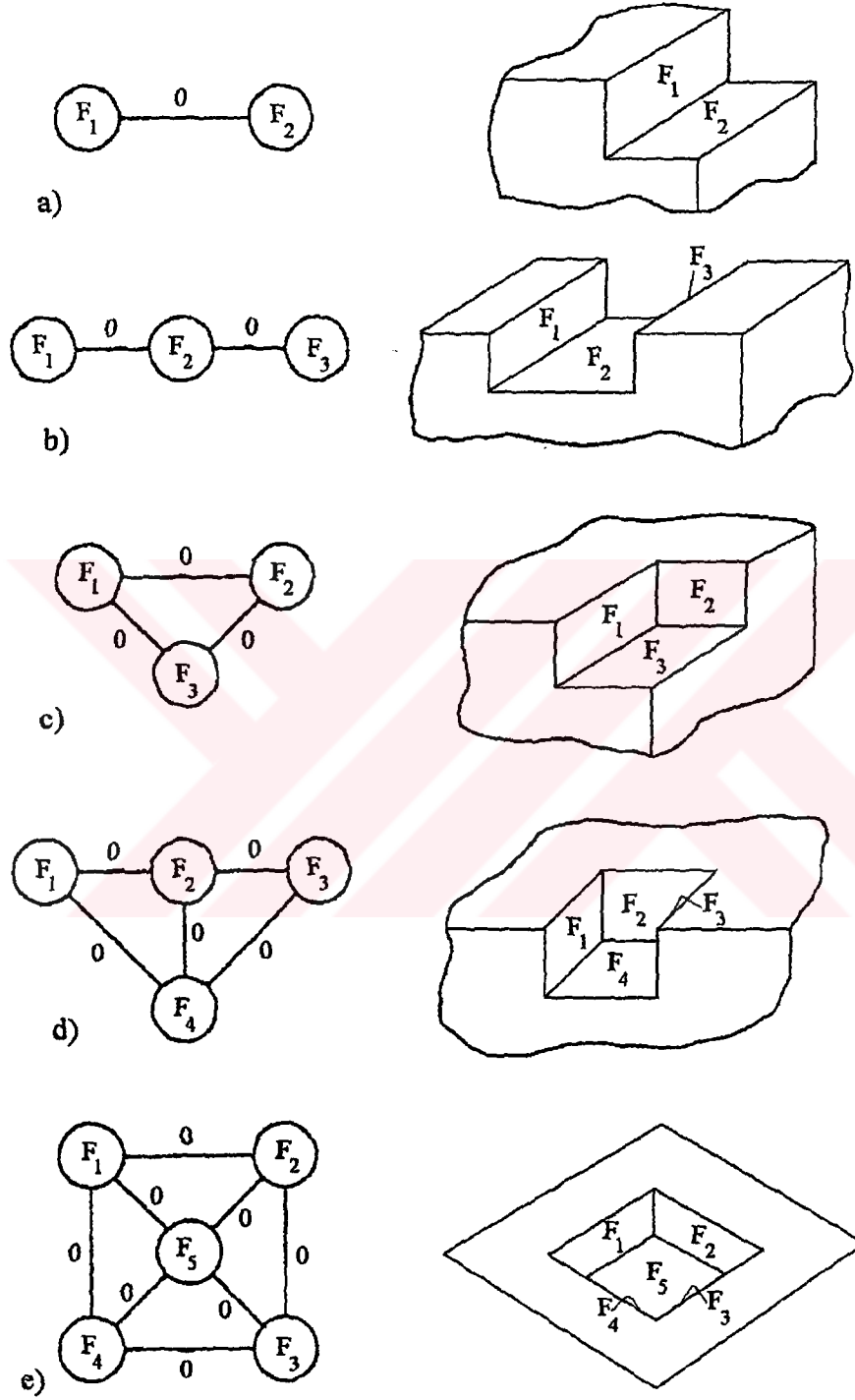
Birinci adımda, AAG yapısı kullanılarak parçanın çizge formunda sunumu hazırlanır. AAG, $G = (N, A, T)$ şeklinde bir çizge olarak tanımlanabilir. Bu ifadede N düğümler kümesi, A yaylar kümesi ve T , A kümesindeki yayların taşıdığı özelliklerdir.

Bir parçanın B-rep modelinde tanımlanan topoloji, ilişkisel bir model ile tanımlanabilir. Bu modelde yer alan topolojik birimler, kenarlar, köşeler ve yüzlerle ifade edilir. Bir parçanın B-rep modeli $B = (V, E, F)$ şeklinde tanımlanabilir. Bu tanımda $V = \{\text{köşeler kümesi}\}$, $E = \{\text{kenarlar kümesi}\}$, $F = \{\text{yüzler kümesi}\}$ dir.

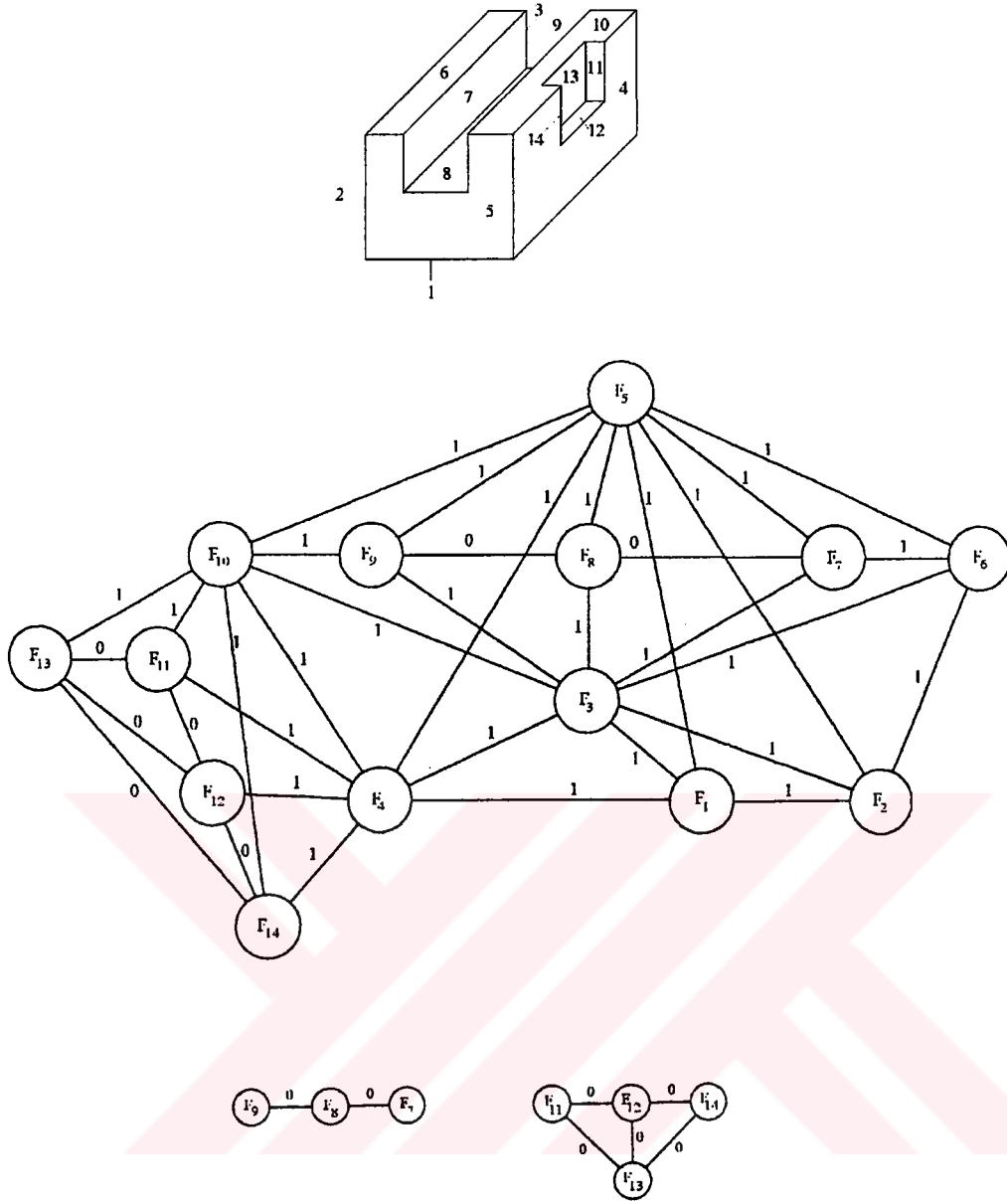
AAG yapısının sağlaması gereken şartlar :

- F kümesinde yer alan her bir F yüzüne karşılık N kümesinde bir tek n düğümü vardır.
- E kümesinde yer alan her bir e kenarına karşılık A kümesinde bir tek a yayı vardır. Bu yay ortak e kenarını paylaşan F_i ve F_j yüzlerine ait n_i ve n_j düğümlerini birleştirir.
- A kümesindeki her bir a yayına bir t özelliği atanmıştır. Eğer aynı kenara ait yüzler arasındaki açı içbükey ise $t = 0$, dışbükey ise $t = 1$ dir.

Şekil 4.13' de çeşitli unsurların çizgesi verilmiştir. Bir parçanın AAG yapısı ve bu yapıdan çıkarılmış unsur alt çizgeleri Şekil 4.14' de görülmektedir.



Şekil 4.13. Çeşitli unsur çizgeleri (Joshi ve Chang, 1988)



Şekil 4.14. Bir parçanın ve unsurlarının AAG çizimleri (Joshi ve Chang, 1988)

Bir adım unsurunun çizge tabanlı sistemlerde tanınabilmesi için geçerli olan özellikler :

- Çizge, doğrusal olmalı,
- İki düğüm olmalı,
- Düğümleri birleştiren yay "0" özelliğini taşımalı.

Bu özellikler kullanılarak adım için basit bir kuralın yapısı :

IF

Çizge doğrusal

AND

Yalnız iki düğüm içeriyor

AND

İki düğümü birleştiren yay özelliği "0"

THEN

Unsur adıdır.

AAG için bir kör kanal unsur tanımı aşağıdaki gibi verilebilir:

F_1 ; F_2 ve F_4' e komşudur.

F_3 ; F_2 ve F_4' e komşudur.

F_2 ; F_1, F_3 ve F_4' e komşudur.

F_4 ; F_1, F_3 ve F_2' e komşudur.

F_1 ; F_2 ve F_4 ile 90° içbükey açılar oluşturur.

F_2 ; F_3, F_1 ve F_4 ile 90° içbükey açılar oluşturur.

F_3 ; F_2 ve F_4 ile 90° içbükey açılar oluşturur.

F_4 ; F_1, F_2 ve F_3 ile 90° içbükey açılar oluşturur.

AAG için bir cep unsur tanımı aşağıdaki gibi verilebilir:

F_1 ; F_2, F_4 ve F_5' e komşudur.

F_2 ; F_1, F_3 ve F_5' e komşudur.

F_3 ; F_2, F_4 ve F_5' e komşudur.

F_4 ; F_1, F_3 ve F_5' e komşudur.

F_5 ; F_1, F_2, F_3 ve F_4' e komşudur.

F_1 ; F_2, F_4 ve F_5 ile 90° içbükey açılar oluşturur.

F_2 ; F_1, F_3 ve F_5 ile 90° içbükey açılar oluşturur.

F_3 ; F_2, F_4 ve F_5 ile 90° içbükey açılar oluşturur.

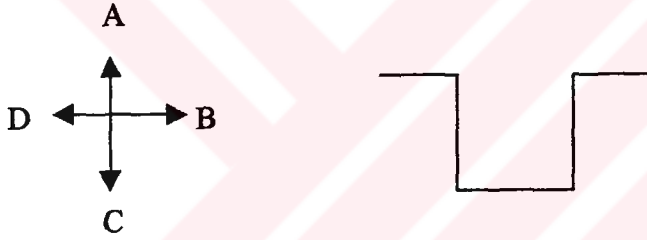
F_4 ; F_1, F_3 ve F_5 ile 90° içbükey açılar oluşturur.

F_5 ; F_1, F_2, F_3 ve F_4 ile 90° içbükey açılar oluşturur.

Unsurlar, parça AAG' sinin alt çizgelerini oluştururlar. Bu nedenle unsurların tanınabilmesi için AAG' nin içinde yer alan alt çizgelerinin bulunması gerekmektedir. Düğüm sayısı arttıkça işlemler için gerekli hesaplama zamanı çok büyük değerlere ulaşabildiğinden, bu yöntem pratikte tercih edilmemektedir.

4.4.3. Gramer Tabanlı Sistemler

Gramer tabanlı unsur tanıma yöntemi, bir cümlemin gramer kurallarına uygunluğunun kontrolünde olduğu gibi dil bilgisi gramer işlemlerine benzetilebilir. Şekil dili denilen bir gramer yapısını oluşturan anlamsal ilkeler kullanılarak şekillerin tanınması yapılır. Belli bir örüntü (pattern) için bir takım kurallar içeren gramer yapısı kullanılır. Şeklin anlamı gramere uygunsa şekil, belli bir örüntü sınıfına bağlı olarak tanımlanabilir. Bu işlem bir cümlemin dil bilgisi bakımından gramerinin doğru olup olmadığının incelenmesine benzer. Şekil 4.15' de dört örüntü ilkelerinin tanımı A,B,C ve D olarak verilmiştir. Her biri birim uzunluğa sahiptir. Şekil 4.15' de verilen çizim "BBCCBBAAABB" şeklinde bir dizge ile tanımlanabilir. Bu dizgeden faydalanılarak bir örüntü grameri delikler için yazılabilir. Delikler için genel kural veya gramer $C^n B^m A^n$ şeklinde tanımlanabilir. C^n , n adet C ilkeline karşılıktır. Her unsur için ayrı gramer tanımlamaları yapılabilir.



Şekil 4.15. Dört örüntü tanıma vektörü ve deliğin basit gösterimi

Kulkarni ve Pande (1995) parça B-rep yapısını kullanan bir gramer tabanlı sistem önermişlerdir. Bu yaklaşım, kural kullanımı yüzünden zorluklar içerir. Gramer tabanlı sistem yaklaşımıyla unsur tanıma örnekleri Chang (1990) ile Wu ve Liu (1996) tarafından verilmiştir.

Gramer tabanlı sistem, kural tabanlı unsur tanıma sistemi ile benzer bir yapıdadır. Gramer tabanlı unsur tanıma yaklaşımı karmaşık unsurların tanınmasında yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle sadece basit ve sınırlı sayıda unsur tanınmasında kullanılabilir. Gramer tabanlı sistemler genellikle sac metal işlemlerinde ve iki boyutlu unsur tanıma işlemlerinde tercih edilebilecek bir yöntemdir.

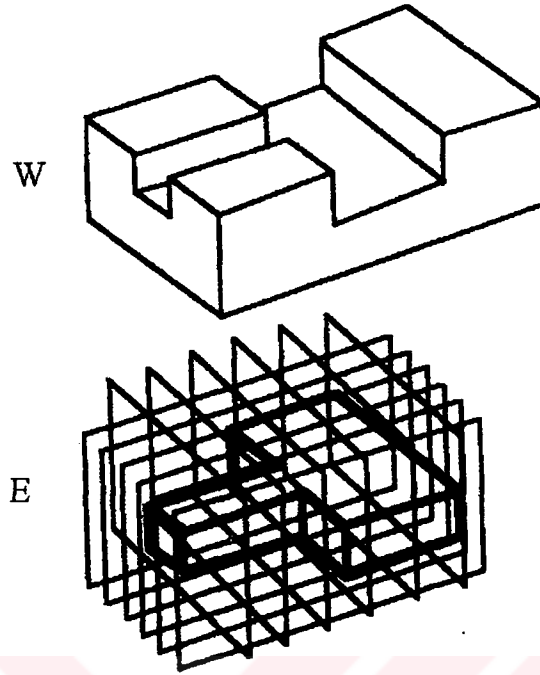
4.4.4. Ayırıştırma Tabanlı Sistemler

Hacmin esas alındığı yaklaşımlarda parça, unsurların tanınması için alt hacimlere ayrıştırılır (Subrahmanyam, 1997, Kim, 1992, Kim ve Roe, 1992, Li ve diğ. 1991, Wang, 1992). Dışbükey kabuk ayrıştırmasında, dışbükey kabuklar ve fark işlemleri kullanılır. Subrahmanyam (1997) ayrıştırma yöntemini kalıp tasarım uygulamasında unsur tanıma için kullanmıştır.

Wang (1992), unsur tanıma yöntemlerinin analizini yaptığı ve CAD/CAM bütünleşmesi için önemini belirttiği çalışmasında ayrıştırma yaklaşımını tanıtmıştır. Parça ve dışbükey kabuk arasındaki fark, boş küme elde edilinceye kadar ayrıştırma işlemlerine devam edilir. Bu yaklaşım aynı zamanda ASV (Alternating Sum of Volumes - Hacimlerin Alternatif Toplamı) ayrıştırması olarak adlandırılır. ASV yaklaşımında karşılaşılan en ciddi problem, bazı durumlarda sonucun elde edilememesi, çözümün ıraksamasıdır. ASV yaklaşımında yakınsamanın elde edilebilmesi için düzenlenmiş şekli olan ASVP (Alternating Sum of Volume Partition - Alternatif Hacim Bölünmesinin Toplamı) Kim (1992) tarafından önerilmiştir. Kim (1992), ASVP yaklaşımını, ıraksayan unsur tanıma problemleri için önermiştir. ASVP ayrıştırma yöntemi, bir parçayı tanımlayan ilkel hacimlerin bir kümesini oluşturur. Bu yöntem, ayrıştırma işlemi sonucu elde edilen parçaların bazen bir anlam taşınamaması ve birden fazla çözüm şekli oluşması nedeniyle eksiklikler içerir.

Ayrıştırma sistemlerinde bir parça modeli, birden fazla küçük hacimlerle ifade edilir. Bu küçük hacimlerin imalat veya tasarım unsurları olarak tanımları yapılmış olmalıdır. Ayrıştırma işleminden sonra unsurların tiplerinin belirlenmesi için tanıma yöntemine gereksinim vardır. Ayrıştırma sonucu oluşan imalat ve tasarım unsurları, kullanılabilecek doğrulukta olmayabilir. Bu nedenle, ayrıştırma sistemi ile unsur tanıma fazla kullanılmamaktadır.

Bir parçanın katı bloğu (S) ve parçanın işlenmesi sonucu oluşmuş modeli (W) arasındaki farktan işlenecek malzeme miktarı (E), $E = S - W$ ifadesinden bulunabilir. Burada, $E = \sum E_i$, $i = 1, 2, \dots, n'$ dir. İşlenecek malzeme miktarı (E), Şekil 4.16'da gösterildiği gibi küçük hücrelere ayrılabilir.



Şekil 4.16. Parçanın hücrelere ayrıştırılmış modeli (Chang, 1990)

İkinci bir ayrıştırma sisteminde E, bir önceki uygulamada olduğu gibi yalnız hücrelere değil, bir anlam taşıyan E_i ' lere ayrıştırılır. Bu yaklaşım, parçanın dışbükey kabuk (convex hull) modelini oluşturur ve parça ile parçanın dışbükey kabuk modeli arasındaki farkları inceler. Bir parçanın katı modeli P, ve parçanın ham şeklinden oluşan dışbükey kabuk C ile tanımlanırsa, dışbükey kabuk ve parça arasındaki fark E' dir. Eğer fark boş küme ise parçanın, tek bir dışbükey kabuktan oluştuğu anlaşılır. Eğer fark boş küme değilse, fark kümesi alt kümelerine ayrıştırılır.

E, birçok birbiri ile bağlantısı olmayan katıları içerir. Bir sonraki işlem için P ile E' nin yeri değiştirilir. Bu tekrarlı işlem yapısı E boş küme olana kadar devam eder. Sonuç, hacimlerin toplamı olarak yazılır :

$$P = C_1 - E_1 \quad (4.1)$$

$$E_1 = C_2 - E_2$$

$$E_2 = C_3 - E_3 \quad (4.2)$$

$$E_3 = C_4 - E_4$$

...

Burada,

$$\begin{aligned} P &= C_1 - (C_2 - (C_3 - (C_4 - \dots))) \\ &= C_1 - C_2 + C_3 - C_4 + \dots \end{aligned} \quad (4.3)$$

Yukarıdaki ifadede "-" ve "+" işaretlerin her ikisi de kullanılmıştır. "+" işareti birleşme (montaj) ve "-" işareti metal işleme işlemi anlamını taşımaktadır.

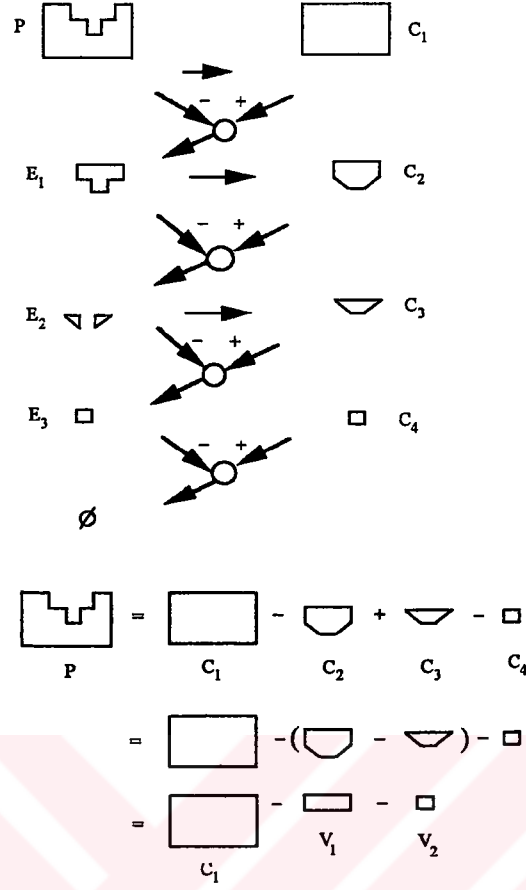
Metal işleme işlemi ile kaldırılacak hacim V ise,

$$P = C_1 - V_1 - V_2 \text{ ve } V_i = C_j - C_{j+1}, \quad j = 2 \times i \quad (4.4)$$

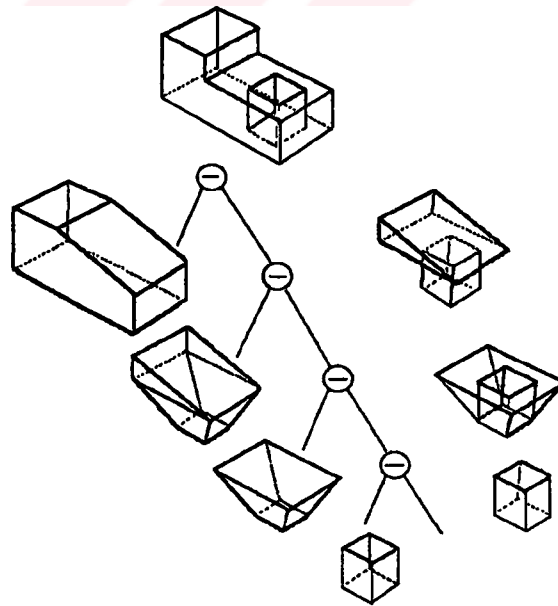
Bu yaklaşımın uygulandığı bir örnek Şekil 4.17' de verilmiştir. C_1 veya V_i ' nin elde edilmesinde zorluklar vardır. Ayırıştırma işlemi her zaman kullanılabilir unsurlarla sonuçlanmadığı için sistem, unsur tanımada eksiklikler içermektedir.

Bir objenin dışbükey kabuk ve farklar kümeleri ile tanımlanmasına ASV ayırıştırma işlemi adı verilir. ASV ayırıştırmasında dışbükey olmayan bir parça hiyerarşik bir sırada dışbükey elemanlarla tanımlanmaktadır. ASV ayırıştırma yönteminde hacim elemanları "+" veya "-" (ekleme veya çıkarma) işlemlere tabi tutulur. Şekil 4.18' de bir parçanın ASV ayırıştırması gösterilmiştir. ASV' de karşılaşılan en önemli problem ayırıştırma işlemlerinin her zaman sonuca ulaşamamasıdır. Şekil 4.19' da verilen parçanın ASV ayırıştırması sonuca ulaşamamakta, kendi içinde tekrarlayan bir döngüye dönüşmektedir.

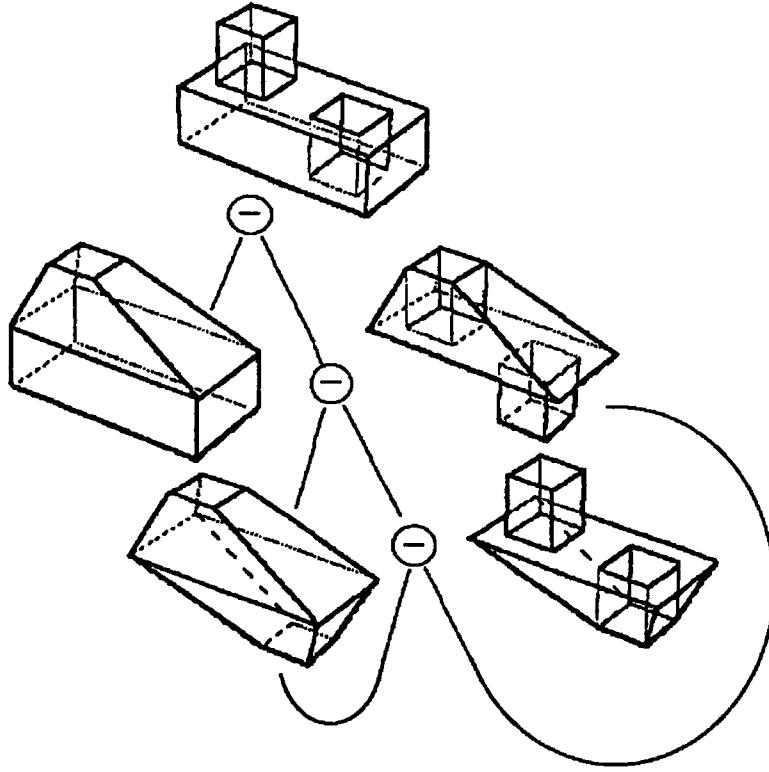
Bu olumsuzluğu gidermek için Kim ve Roe (1992) ASVP yöntemini önermişlerdir. ASVP ayırıştırma yönteminde ASV ayırıştırma adımları, ayırıştırmanın kendi içinde tekrar etme durumu olana kadar uygulanır. Bu aşamada, düzeltici ayırıştırma işlemi uygulanır ve ayırıştırılan her bir elemana ASV işlem adımları tekrar uygulanır. Ayırıştırma işlemi sonucu elde edilen elemanlar, her zaman kullanılabilir unsurları vermez.



Şekil 4.17. Ayrıştırma işleminin imalat unsurlarına dönüşümü (Chang, 1990)



Şekil 4.18. ASV yöntemi ile parçanın ayrıştırılması (Kim ve Roe, 1992)



Şekil 4.19. ASV ile ayrıştırılamayan parça örneği (Kim ve Roe, 1992)

4.4.5. Sinirsel Ağ Yaklaşımı İle Unsur Tanıma

Unsur tanıma alanında, gözlenen eksikliklerin giderilmesi yönünde, son zamanlarda en ilgi çeken yöntemlerden birisi sinirsel ağ tabanlı unsur tanıma çalışmalarıdır. Sinirsel ağlarla ilgili önemli sayıda araştırma yapılmasına rağmen, unsur tanımda kullanılmaları oldukça yenidir (Prabhakar ve Henderson, 1992, Dağlı ve diğ. 1993, Henderson, 1994, Kumara ve diğ. 1994, Nezis ve Vosniakos, 1997, Chen ve Lee, 1998).

Prabhakar ve Henderson (1992) tarafından önerilen sinirsel ağ yöntemi, unsur tanımda sinirsel ağın kullanımı yönünde ilk çalışmalardan birisidir. Çizge tabanlı sistemlerde kullanılan, komşuluk matrisi elemanları sinirsel ağ girdi değerleri olarak kullanılmıştır. Sinirsel ağ tabanlı unsur tanımanın ilk başarılı uygulamalarından biri olmasına rağmen bu çalışmada karmaşık unsur yapıları incelenmemiştir.

Henderson (1994), çalışmasında gizli katman içermeyen sinirsel ağdan oluşan ve parçaların içbükeylik özelliklerini kullanan unsur tanıma yöntemini önermiştir. Çizge tabanlı sisteme göre üstünlükler içermekte olan bu yaklaşım, karmaşık unsurların tanınmasında yetersiz kalmıştır. Bu çalışmada, eğitim kümeleri, ağın yakınsaması ve ağ parametreleri konusunda yeterli bilgi verilmemiştir. Chan (1994) unsur tanıma çalışmasında sinirsel ağlar ve yüz sayısal değer vektörünü kullanmıştır. Bu çalışmada karmaşık unsur şekillerini ele almamıştır.

Nezis ve Vosniakos (1997), çalışmalarında sinirsel ağ girdi verileri için komşuluk matrisini kullanmışlardır. Önerilen yöntemde, sinirsel ağ girdi elemanlarının oluşturulması için kapsamlı işlemlere gereksinim duyulmaktadır. Ayrıca, çizge sisteminin alt çizgelere ayrıştırma problemi yüzünden zorluklar görülmektedir.

Dağlı ve diğ. (1993) tarafından önerilen sistem iki boyutlu unsur tanıma sistemidir. Şekil tanıma temelinde sinirsel ağ yaklaşımı kullanılmıştır.

Sinirsel ağ yaklaşımı ile diğer bir iki boyutlu unsur tanıma çalışması Chen ve Lee (1998) tarafından yapılmıştır. Chen ve Lee bu çalışmalarında, sac metal parçalardan unsurların çıkarılması için iki boyutlu bir unsur tanıma sistemi önermişlerdir.

4.4.6. Unsur Tanıma Sistemlerinin Karşılaştırılması

Unsur tanıma için kullanılan sistemlerin bir karşılaştırması Tablo 4.1.' de verilmektedir. Literatürde unsur tanıma alanında kullanılan kural tabanlı sistemler, çizge tabanlı sistemler, gramer tabanlı sistemler, ayrıştırma tabanlı sistemler ve sinirsel ağ tabanlı sistemler ele alınmıştır.

Unsur tanıma sistemlerinde kullanılan yaklaşımlar ve karşılaşılan problemler Tablo 4.1.' de özetlenmektedir.

Sinirsel ağ tabanlı unsur tanıma sistemlerinde kullanılan yaklaşımlar ve problemler, bu tez çalışmasından önce literatürde yer alan çalışmalara yönelik olarak verilmektedir.

Tablo 4.1. Unsur tanıma sistemlerinin karşılaştırılması

Unsur Tanıma Sistemleri	Unsur Tanıma Sistemlerinde Kullanılan Yaklaşımlar	Unsur Tanıma Sistemlerinin Problemleri
Kural Tabanlı Sistemler	Unsurlar için tanımlanmış kuralların kullanılması.	- Çok sayıda kuralın oluşturulması gerekliliği - Kuralların çıkarılması problemi ve her bir unsur için tüm kuralların araştırılmasının uzun işlemler gerektirmesi - Karmaşık unsurlar için kural oluşturulmasının zorluğu - Oluşturulan kuralların dışında bir unsurla karşılaşıldığında tanımama problemi
Çizge Tabanlı Sistemler	Parça çizgelerinden unsurları çıkarmak için alt çizgelerin bulunması.	- Çizgelerin oluşturulması için kapsamlı bir işlem öncesi çalışmanın gerekmesi - Çizgeden, alt çizgelerin bulunması için ek işlemlere gerek duyulması - Düğüm sayısı arttıkça işlemler için gerekli hesaplama zamanının artması - Karmaşık unsurlar içeren parçaların çizgelerinin oluşturulmasının ve alt çizgelerinin bulunmasının çok zor olması - Alt çizgelerin çıkarılması aşamasında, önceden belirlenmeyen değişik ve/veya karmaşık bir unsurla karşılaşıldığında tanımama problemi
Gramer Tabanlı Sistemler	Şekil dili denilen gramer yapısını oluşturan anlamsal ilkeler kullanılması.	- Her unsur için çok sayıda gramer oluşturulmasının gerekliliği - Şeklin anlamının hangi gramere uygun olduğunun çıkarılması problemi - Her bir unsur için tüm gramerlerin araştırılmasının gerektirdiği işlemlerin zorluğu - Üç boyutlu karmaşık unsurlar için gramer oluşturulmasının zorluğu - Oluşturulan gramerlerin dışında değişik ve/veya karmaşık yapıya bir unsurla karşılaşıldığında tanımama problem
Ayrıştırma Tabanlı Sistemler	- Hacmin esas alındığı yaklaşımlarda parçanın alt hacimlere ayrıştırılması. - Dışbükey kabuk ayrıştırmasında, dışbükey kabuklar ve fark işlemlerinin kullanılması.	- Ayrıştırma sonucu oluşan imalat ve tasarım unsurlarının, her zaman kullanılabilecek doğrulukta olmaması - ASV yaklaşımında, bazı durumlarda sonucun elde edilememesi, çözümün ıraksaması veya kendi içinde tekrarlayan bir döngüye dönüşebilme probleminin olması - Karmaşık unsurlar içeren parçalarda ayrıştırma işlemlerinin zorluğu - Ayrıştırma sonucu her zaman bir unsur elde edilememesi
Sinirsel Ağ Tabanlı Sistemler	- Sinirsel ağ girdi değerleri olarak, komşuluk matrisinin kullanılması (Prabhakar ve Henderson, 1992). - Şekil tanıma temelinin kullanılması (Dağlı ve diğ., 1993). - Parçaların içbükeylik özelliklerinin kullanılması ve gizli katman içermeyen sinirsel ağ oluşturulması (Henderson, 1994). - Yüz sayısal değer vektörünün kullanılması, yüz tipi için bir değer atanması (Chan, 1994). - Sinirsel ağ girdi değerleri için komşuluk matrisinin kullanılması (Nezis ve Vosniakos, 1997).	- Bazı çalışmaların sadece iki boyutlu unsurların tanınmasıyla sınırlı kalması - Sinirsel ağ girdi vektörlerinin hazırlanmasındaki zorluklar nedeniyle standart ve basit unsurlar için ağın eğitiminin yapılabilmesi - Standart dışı, karmaşık ve silindirik parça unsurlarının tanınamaması

4.5. UNSUR TANIMADA B-REP VE CAD VERİ DOSYALARININ KULLANIMI

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi bu çalışmada B-Rep yapısında veri modeli kullanımı tercih edilmiştir. Farklı CAD programlarının veri yapıları değişiklikler içerir. Unsur tanıma algoritmalarının geçerli olabilmesi için öncelikle CAD veri modeli standardının tam anlamıyla oluşturulması gerekir. Mevcut IGES, STEP gibi standartların gelişimi ve PDES programının tamamlanması, bu süreçte unsur tanıma sistemlerinin gelişimine yardımcı olacaktır.

Unsur tanıma için kullanılan köşe, kenar ve yüz ilişkisi açık olarak B-Rep yapısında verilmektedir. Yapılan işlem öncelikle unsurun anlamının bulunması ve sonrasında unsurla ilgili geometrik değerlerin çıkarılmasıdır. İşlemler iki aşamalıdır:

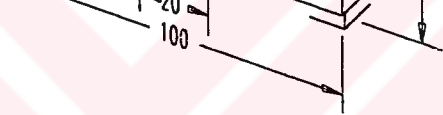
- Unsur tanıma
- Uygulama alanı için gerekli bilgilerin çıkarımı

Örneğin, bir CAD parça şeklinden kanal anlamının elde edilmesi birinci aşamadır.

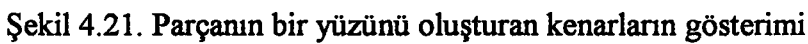
Böylece tasarım sonrası uygulamalar tanımlanmış olur. Şeklin kanal içerdiğinin bulunması imalat açısından yapılacak işlem parametrelerinin otomatik olarak seçilebilmesini sağlar. İkinci adım işlenecek parçayla ilgili geometrik değerlerin çıkarılmasıdır. Her iki işlem için B-Rep yapısında oluşturulan veri kümeleri kullanılır. Bu kümelerde CAD model geometri ve topoloji bilgileri yer alır. Parçayı oluşturan köşeler, kenarlar ve yüzler açıklanmıştır. Bu elemanların birbiriyle ilişkileri, örneğin bir köşede yer alan kenarlar veya kenarla ilişkili yüzler belirlidir.

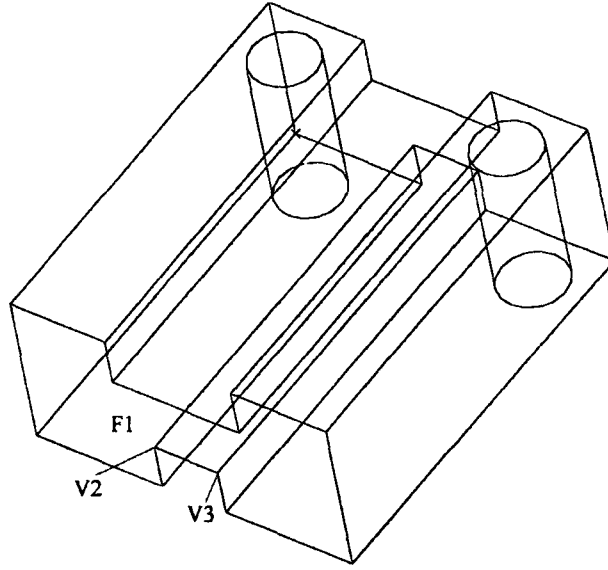
Şekil 4.20' de verilen CAD parça modeliyle ilgili köşe, kenar ve yüz ilişkilerinin gösterimleri Şekil 4.21 ve 4.22' de verilmiştir. Bu bölümde verilen örnek parça ve gösterimleri, unsur tanıma işleminden sonra CAD veri kümelerinden bilgi çıkarımının nasıl yapılabileceğini açıklamaktadır.

Şekil 4.20' de verilen parça modelinin B-Rep geometri verileri bir veri kümesi şeklinde saklanır. Topoloji bilgileri için ayrı bir veri kümesi oluşturulmuştur. Farklı veri kümeleri parçayla ilgili çeşitli verileri içerir. Bu bilgiler CAD programı tarafından belirlenmiş formatlarda yazılmıştır. CAD programı B-Rep geometri ve



20. Örnek CAD parça modeli





Şekil 4.22. Parçanın F1 yüzünde bir kenarı oluşturan köşelerin gösterimi

B-rep yapısını oluşturan, köşe, kenar, döngü ve yüzlere ait veriler CAD parça modeline ait bilgilerin çıkarılmasında kullanılır. Örneğin, Şekil 4.22' de F1 yüzünün, Şekil 4.21' deki e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e8, e9, e10, e11 ve e12 kenarlarını içeren bir döngüden oluştuğu, e2 kenarını oluşturan köşelerin V2 ve V3 olduğu görülmektedir. Veri kümesinde V2 ve V3 köşelerine ait x,y,z koordinat değerleri aşağıdaki gibidir :

V2	3.9999977E+01	1.5000000E+01	1.2000000E+02
V3	5.9999977E+01	1.5000000E+01	1.2000000E+02

Yüzleri oluşturan kenarlar ve köşelerle ilgili tüm bilgilere CAD veri kümesinden ulaşılabilir. Böylece unsur tanıma programı tarafından tanımlanan, örneğin bir kanalın ana yüzü ve ana yüze komşu yüzlerle ilgili geometrik değerler elde edilebilir.

Şekil 4.20' de verilen parçanın unsur tanıma sonuçları aşağıda verilmiştir:

Unsur No: 1

Unsur Tipi: Delik (A17)

Doğruluk seviyesi: 0.9969

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.004609	4.641e-08	8.828e-07	1.742e-05	0.003196
	A16	A17	A18		
	0.0001956	0.9969	0.0001601		

Unsur No: 2

Unsur Tipi: Delik (A17)

Doğruluk seviyesi: 0.9969

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.004609	4.641e-08	8.828e-07	1.742e-05	0.003196
	A16	A17	A18		
	0.0001956	0.9969	0.0001601		

Unsur No: 3

Unsur Tipi: Kanal (A11)

Doğruluk seviyesi: 0.9941

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.9941	0.002482	6.578e-05	0.0002947	9.16e-05
	A16	A17	A18		
	0.006123	0.0001013	5.033e-08		

Unsur No: 4

Unsur Tipi: Kanal (A11)

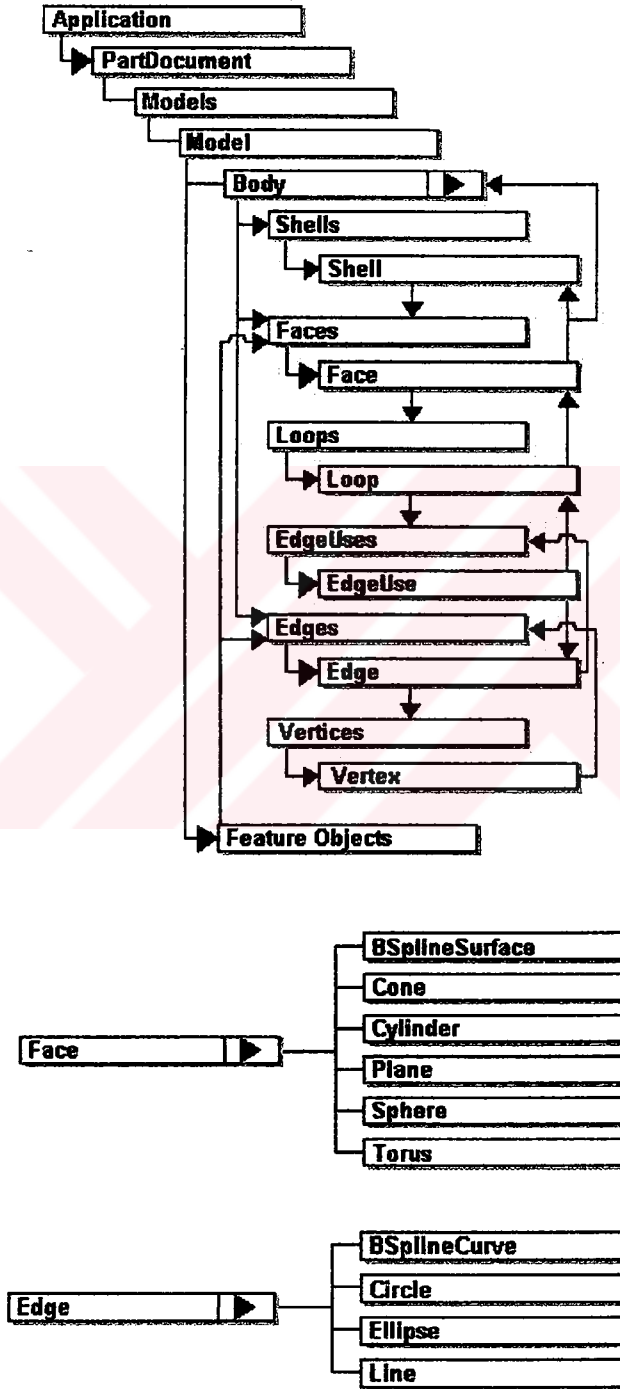
Doğruluk seviyesi: 0.9941

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.9941	0.002482	6.578e-05	0.0002947	9.16e-05
	A16	A17	A18		
	0.006123	0.0001013	5.033e-08		

Bu değerler altıncı bölümde yapılan çalışmalar sonucu elde edilmiştir.

Son yıllarda CAD programlarının veri tabanları nesne yönelimli bir yapıda düzenlendiği için köşe, kenar ve yüzlerle ilgili bilgilerin çıkarımında oldukça kolaylık sağlanmıştır (I-DEAS 1990, I-DEAS Master Series 1997, Solid Edge 1997). CAD programında köşe, kenar ve yüzlerle ilgili alt programlar çağrılarak parçayı oluşturan köşeler ile ilgili koordinatlar, kenarların başlangıç ve bitiş köşeleri, yön vektörleri, yüzleri oluşturan kenarlar ve yüzlerin yön vektörleri elde edilebilmektedir.

Nesne yönelimli CAD programlarında bir çizim yapıldığı zaman bu çizim bir nesne (object) olarak tanımlanır. Örneğin, bir daire veya blok gibi ilkel parçalar çizildiği zaman nesneler oluşur. Nesnenin özellikleri ile ilgili veya parçanın yüz (face), döngü (loop), kenar (edge), köşe (vertex) gibi B-rep sınır temsili bilgilerine nesnenin alt kayıt alanları kullanılarak ulaşılır (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Nesne yönelimli CAD programlarında B-rep yapıları (Solid Edge, 1997)

5. SİNİRSEL AĞLAR

İnsan beyni çok karmaşık ve paralel işlem yapan bir bilgi işleme sistemidir (Anderson, 1983, Vemuri 1988, Nielsen, 1988). Nöronları organize ederek çeşitli işlevleri yerine getirebilme özelliğine sahiptir. Sinirsel ağlar, insan beyninin çalışma şeklini esas alan bir sistem modelidir. Sinirsel ağ sistemi, elektronik bileşenlerden oluşan bir yapıyla veya bir bilgisayar yazılımı ile benzetimi yapılarak uygulanır. Sinirsel ağ sisteminin işlem gücü, paralel işlem yapısı ve öğrenebilme özelliklerinden dolayıdır. Bu iki bilgi işleme özelliği sayesinde sinirsel ağ sistemleri, bir çok karmaşık problemin çözülmesinde yardımcı olur.

5.1 BİR NÖRON MODELİ

Sinirsel ağ yapısı, birbirine bağlı nöron kümelerinden oluşmaktadır. Bir nöron, sinirsel ağın işlemini gerçekleştiren temel bilgi işlem birimidir. Şekil 5.1' de bir nöronun modeli verilmiştir. Bir k nöronu aşağıda verilen denklemlerle tanımlanabilir,

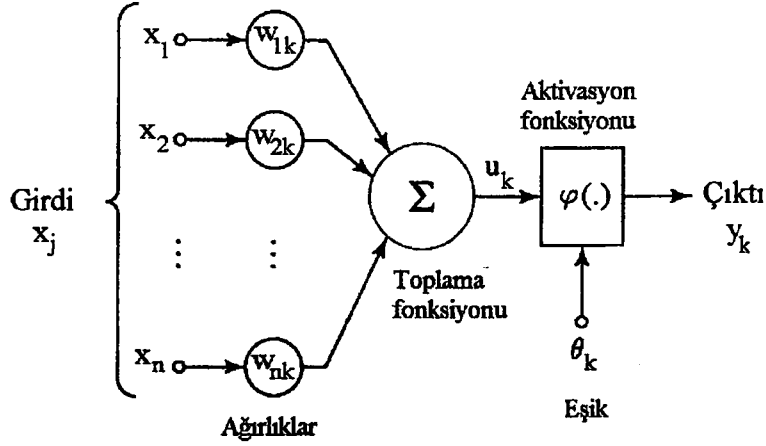
$$u_k = \sum_{j=1}^n w_{jk} x_j \quad (5.1)$$

$x_1, x_2, \dots, x_n$: girdiler

$w_{1k}, w_{2k}, \dots, w_{nk}$: ağırlıklar

θ_k : eşik

$\varphi()$: aktivasyon fonksiyonu



Şekil 5.1. Bir nöron modeli (Haykin, 1994)

Bir k nöronunun aktivite seviyesi veya aktivasyon potansiyeli,

$$v_k = u_k - \theta_k \quad (5.3)$$

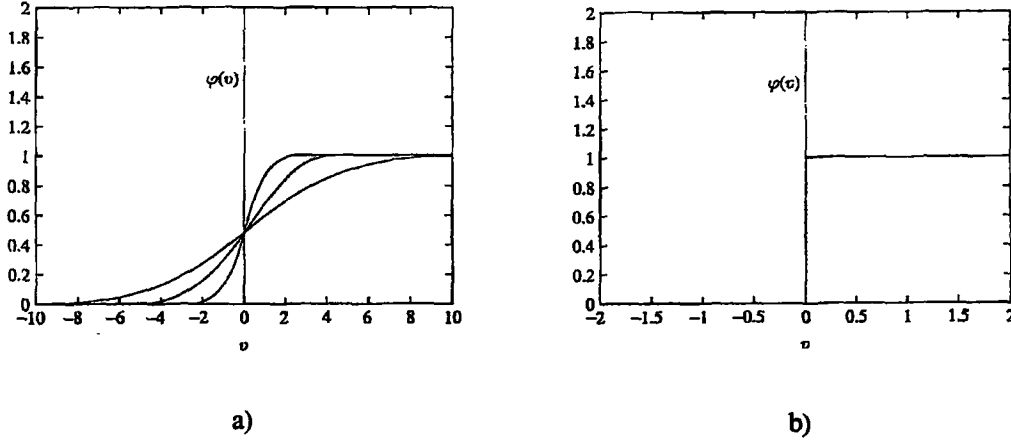
Eşik, nöron k' nın bir dış parametresidir. Çıktı, aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$y_k = \varphi(v_k) \quad (5.4)$$

Bir nöron modelini oluşturan üç temel eleman vardır :

- **Bağlantılar** : Her bir bağlantı, kendisine ait bir ağırlık ile tanımlanır. Ağırlığı tanımlamak için kullanılan w_{jk} gösteriminde j indisi bağlantının geldiği, k indisi bağlantının ulaştığı nöronu gösterir. Bu gösterimin tersi de literatürde kullanılmaktadır.
- **Transfer fonksiyonu** : Bağlantılardan aldığı girişlerin ağırlıklı toplamını bulur.

- Aktivasyon fonksiyonu : Nöron çıktısının belli değerler arasında kalmasını sağlar. Genelde bir nöron çıktısının değerleri $[0,1]$ veya $[-1,1]$ sınırları içinde tanımlanır. Aktivasyon fonksiyonlarından sigmoid ve eşik fonksiyonları Şekil 5.2' de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Sigmoid fonksiyonu (a) ve eşik fonksiyonu (b) (Haykin, 1994)

Aktivasyon fonksiyonu, girdi değerlerinin seviyesine bağlı olarak bir nöronun çıktısını belirler. Eşik aktivasyon fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1, & v \geq 0 \\ 0, & v < 0 \end{cases} \quad (5.5)$$

Eşik fonksiyonunu kullanan bir k nöronunun çıktısı,

$$y_k = \begin{cases} 1, & v_k \geq 0 \\ 0, & v_k < 0 \end{cases} \quad (5.6)$$

Burada,

$$v_k = \sum_{j=1}^n w_{jk} x_j - \theta_k \quad (5.7)$$

Sigmoid, sinirsel ağırlarda çok yaygın kullanılan bir aktivasyon fonksiyonudur. Örnek bir sigmoid fonksiyonu aşağıdaki gibidir :

$$\varphi(v) = \frac{1}{1 + \exp(-v)} \quad (5.8)$$

Sigmoid fonksiyonun sürekli olması, türevinin alınabilmesi özelliği ile çok katmanlı ağırlarda kullanılabilir.

5.2. LMS ÖĞRENME KURALI

LMS (least mean square - en küçük karesel ortalama) kuralı, sinirsel ağırlarda ağırlıkların bulunmasında kullanılan yöntemlerden birisidir. Oldukça yaygın olarak kullanılan bu yöntem, literatürde delta kuralı (delta rule) veya Widrow-Hoff Kuralı (Widrow-Hoff Rule) olarak ta adlandırılmaktadır (Kosko, 1992). LMS kuralı, çoklu katmanlı ağırlarda geriye yayılma (backpropagation) öğrenme algoritmasının temelini oluşturmaktadır. LMS kuralı aşağıda, önce bir nörondan oluşan model üzerinde tanımlanmış, elde edilen sonuçların çoklu katmanlı ağırlarda nasıl kullanıldığı anlatılmıştır.

Şekil 5.1' de verilen bir nöron modelinde, girdi vektörlerinin $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ olduğunu varsayarsak, bu kümede yer alan her bir girdi vektörünün d_k , ($k=1, \dots, n$) istenen (desired) çıktı değeri vardır. Her bir girdi vektörü ve vektörün çıktısı arasındaki ilişkiyi verecek tek bir ağırlık vektörünün bulunması problemi LMS kuralı ile çözülebilmektedir. Bu işlem ağırlık eğitilmesidir. Problem aşağıdaki gibi ifade edilebilir,

Verilen $(x_1, d_1), (x_2, d_2), \dots, (x_n, d_n)$ örneklerini içeren bir fonksiyonda girdi vektörleri ile çıktı değerleri arasındaki ilişkiyi (mapping) veren optimum ağırlık vektörü, w^* hangisidir ?

Bu problemin çözümünde kullanılan LMS kuralı yaklaşımı, her bir girdi vektörüne karşılık gelen istenen ve gerçekleşen çıktı değerleri arasındaki farkın en aza

indirilmesini esas alır. Bunun için kullanılan yaklaşım, ortalama karesel hatanın (mean square error) minimizasyonudur. Eğer n.inci girdi vektörü için gerçekleşen çıktı değeri y_n ise, oluşan hata terimi $e_n = d_n - y_n$ dir.

Ortalama karesel hata,

$$E = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n e_j^2 \quad (5.9)$$

Bu ifadenin girdi vektörleri ve çıktı değerlerine göre açılımının w_k ağırlıklarına göre alınan türevlerinin sıfıra eşitlenmesi sonucu oluşan denklem sistemleri çözülerek optimum w ağırlık değerleri bulunur. E ' nin w_k ' ya göre türevi hata yüzeyinin eğimi olarak adlandırılır,

$$\nabla_{w_k} E = \frac{\partial E}{\partial w_k} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5.10)$$

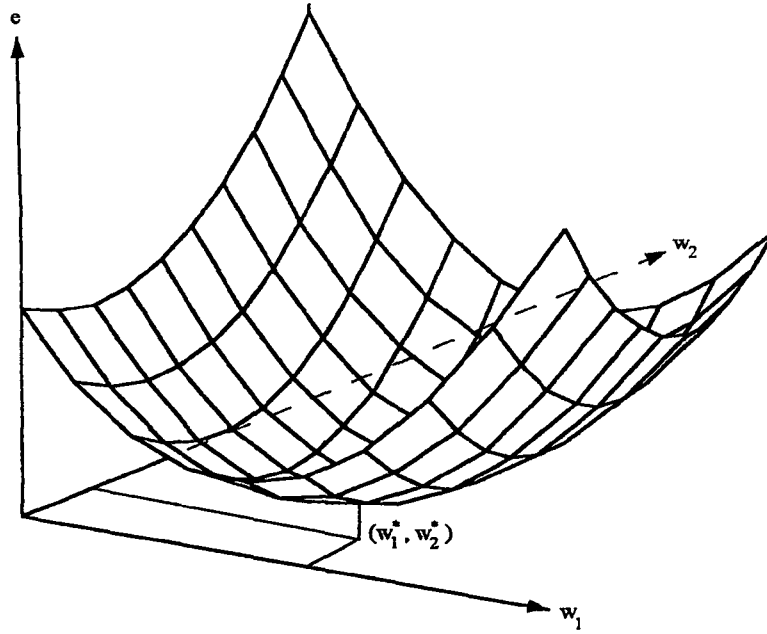
Optimum değerler,

$$\nabla_{w_k} E = 0 \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5.11)$$

ifadesinden bulunur.

Denklemlerin analitik çözümünde karşılaşılan problemleri önlemek için literatürde tercih edilen yöntem eğim düşme (gradient descent) yöntemidir. Sadece iki ağırlığın olduğu bir sistemde hata yüzeyi Şekil 5.3' te verilmiştir. İlk ağırlık değerleri atanarak hata yüzeyinde minimuma ulaşıncaya kadar iteratif yaklaşımla ağırlık değerleri değiştirilir,

$$w_{yeni} = w_{eski} + \Delta w \quad (5.12)$$



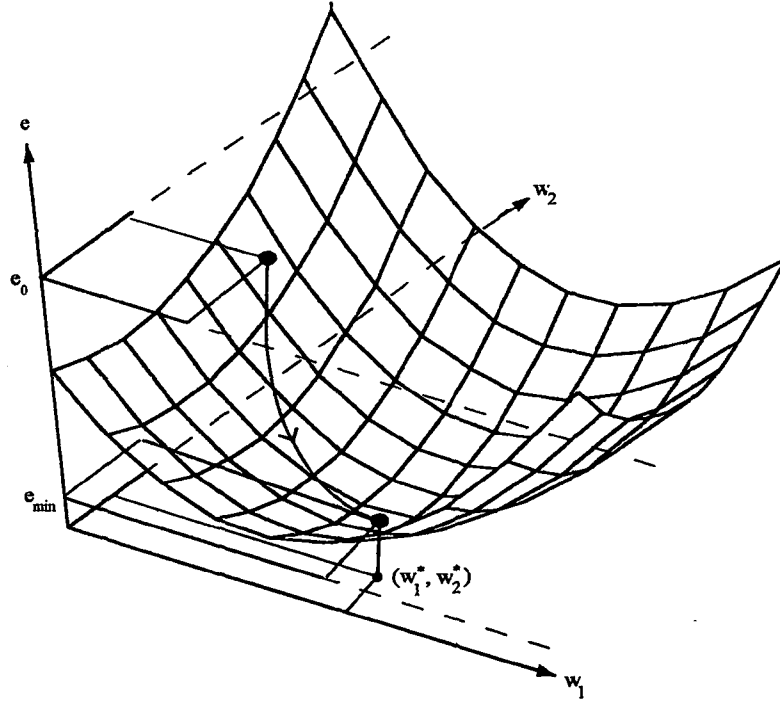
Şekil 5.3 İki ağırlığın olduğu bir sistemde hata yüzeyi (Freeman ve Skapura, 1992)

İlk ağırlık değerlerinin sebep olduğu hata Şekil 5.4' te gösterilmiştir. Hata yüzeyi üzerindeki yeni ağırlıkların hesaplandığı her noktaya ulaşabilmek için ilerleme yönü ve adımının, diğer bir ifadeyle Δw ' nın hesaplanması için yüzeyin eğiminin bulunması gerekir. Negatif eğim aşağı yönde ilerlemeyi belirler.

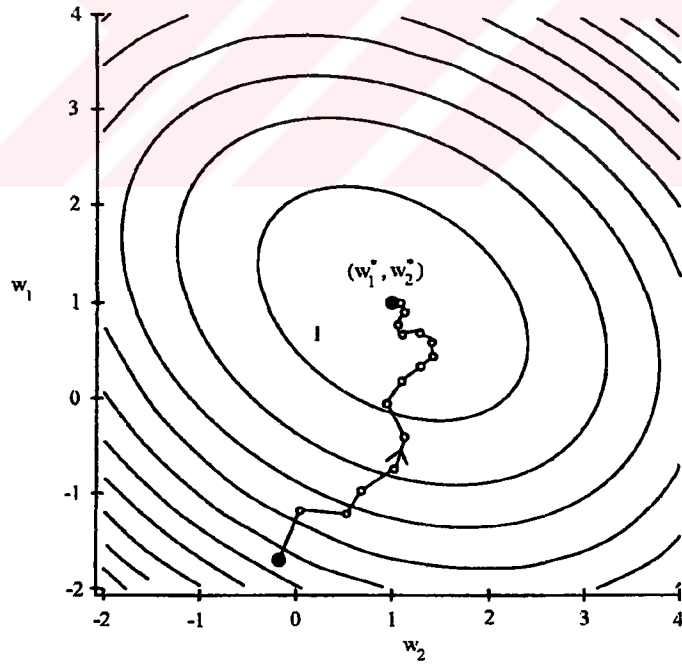
Ağırlıkların değişimi hatanın eğiminin ters yönündedir. Böylece hata fonksiyonun oluşturduğu çanağın dibine, hatanın minimum olduğu yere doğru hareket edilmektedir (Şekil 5.5). İlerleme adımının belirlenmesi için eğim uygun η sabiti ile çarpılır. Sonuç olarak,

$$w_{yeni} = w_{eski} - \eta \nabla_{w_k} E \quad (5.13)$$

ifadesi elde edilir.



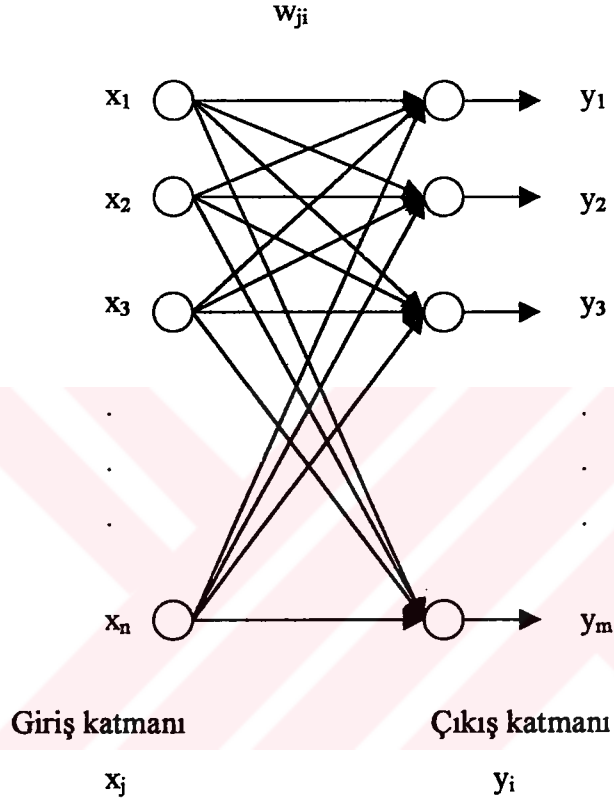
Şekil 5.4 İlk ağırlık değerlerinin sebep olduğu hata (Freeman ve Skapura, 1992)



Şekil 5.5 Optimum ağırlık değerlerinin eğim düşme yöntemi ile bulunması (Freeman ve Skapura, 1992)

5.3. AĞIRLIKLARIN BULUNMASI

Giriş ve çıkış katmanlarından oluşan, gizli katmansız ve sigmoid olmayan bir sinirsel ağda ağırlıkların bulunması aşağıda verilmektedir (Babaev, 1998). Gizli katmansız bir sinirsel ağ yapısı Şekil 5.6' da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Gizli katmansız bir sinirsel ağ yapısı

Herhangi bir ℓ eğitim verisi için i ' nci nörondaki hata kareleri toplamı,

$$E_{\ell} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (y_i^{\ell} - \sum_{j=1}^n w_{ji} x_j^{\ell})^2 \quad (5.14)$$

Genel hata aşağıdaki gibi tanımlanabilir,

$$E = \sum_{\ell=1}^p E_{\ell} \quad (5.15)$$

$$E = \frac{1}{2} \sum_{\ell=1}^p \sum_{i=1}^m (y_i^{\ell} - \sum_{j=1}^n w_{ji} x_j^{\ell})^2$$

Buradan E' yi minumum yapacak ağırlıklar bulunur,

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}} = - \sum_{\ell=1}^p (y_i^{\ell} - \sum_{j=1}^n w_{ji} x_j^{\ell}) x_j^{\ell} \quad (5.16)$$

Yeni ağırlık değerleri iteratif olarak aşağıdaki gibi bulunur,

$$w_{ji}(\text{yeni}) = w_{ji}(\text{eski}) - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{ji}} \quad (5.17)$$

Gizli katmansız ve çıkış katmanında sigmoid,

$$\varphi(v) = \frac{1}{1 + \exp(-v)} \quad (5.18)$$

olan bir sinirsel ağda ağırlıkların bulunması aşağıda verilmektedir .

Herhangi bir ℓ eğitim verisi için i' nci nörondaki hata kareleri toplamı,

$$E_{\ell} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (y_i^{\ell} - \varphi(\sum_{j=1}^n w_{ji} x_j^{\ell}))^2 \quad (5.19)$$

Genel hata aşağıdaki gibi tanımlanabilir,

$$E = \sum_{\ell=1}^p E_{\ell} \quad (5.20)$$

$$E = \frac{1}{2} \sum_{\ell=1}^p \sum_{i=1}^m (y_i^{\ell} - \varphi(\sum_{j=1}^n w_{ji} x_j^{\ell}))^2$$

Buradan E' yi minumum yapacak ağırlıklar bulunur,

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}} = - \sum_{\ell=1}^p (y_i^\ell - \varphi(\sum_{j=1}^n w_{ji} x_j^\ell)) \varphi'(\sum_{j=1}^n w_{ji} x_j^\ell) (1 - \varphi(\sum_{j=1}^n w_{ji} x_j^\ell)) x_j^\ell \quad (5.21)$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}} = - \sum_{\ell=1}^p (y_i^\ell - \varphi(\sum_{j=1}^n w_{ji} x_j^\ell)) \varphi'(\sum_{j=1}^n w_{ji} x_j^\ell) x_j^\ell \quad (5.22)$$

Yeni ağırlık değerleri yukarıda olduğu gibi aynı şekilde iteratif olarak aşağıdaki gibi bulunur,

$$w_{ji}(\text{yeni}) = w_{ji}(\text{eski}) - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{ji}} \quad (5.23)$$

5.4. GERİYE YAYILMA ALGORİTMASI

Eğitilme verilerinin sayısının fazla olduğu durumda sinirsel ağların eğitilmesi zorlanır. Bu durumda sinirsel ağların yapısına gizli katman eklenir. Böyle sinirsel ağların eğitilmesi için, geriye yayılma (backpropagation) algoritması kullanılır. Gizli katmanlı bir sinirsel ağ yapısı Şekil 5.7' de verilmektedir.

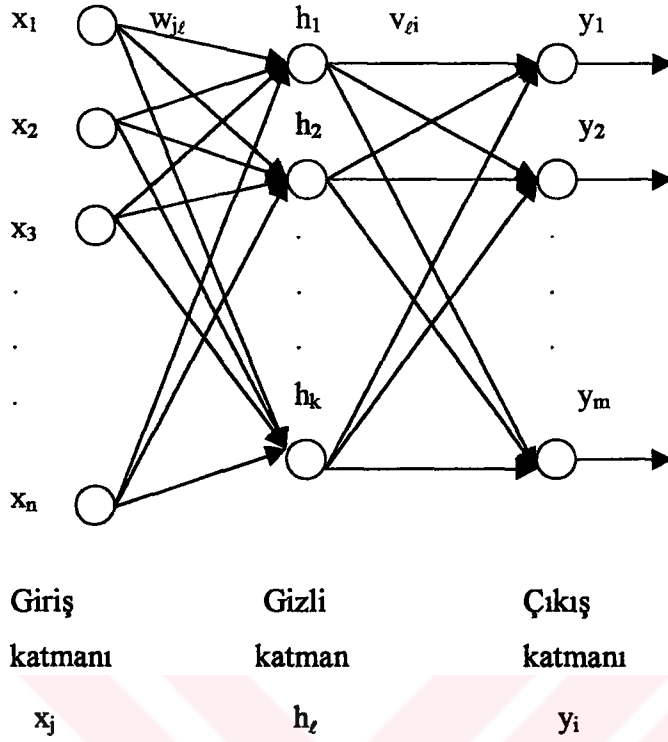
Bir gizli katmanlı, gizli ve çıkış katmanlarında farklı sigmoidler içeren bir sinirsel ağda, herhangi bir t eğitim verisi için çıkış katmanındaki hata aşağıdaki formülle hesaplanabilir,

$$E_t = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (y_i^t - \varphi_i(\bar{y}_i^t))^2 \quad (5.24)$$

Genel hata ise aşağıdaki gibi tanımlanabilir,

$$E = \sum_{t=1}^p E_t \quad (5.25)$$

$$E = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^p \sum_{i=1}^m (y_i^t - \varphi_i(\bar{y}_i^t))^2$$



Şekil 5.7 Bir gizli katmanlı sinirsel ağ yapısı

Gizli ve çıkış katmanı çıktıları,

$$h_\ell^t = \sum_{j=1}^n w_{j\ell} x_j^t, \quad \bar{y}_i^t = \sum_{\ell=1}^k v_{\ell i} \phi_\ell(h_\ell^t) \quad (5.25)$$

Buradan E' yi minumum yapacak ağırlıklar bulunur,

$$\frac{\partial E}{\partial v_{\ell i}} = - \sum_{i=1}^p (y_i^t - \phi_i(\bar{y}_i^t)) \phi_i'(\bar{y}_i^t) \phi_\ell(h_\ell^t) \quad (5.26)$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_{j\ell}} = - \sum_{i=1}^p \left(\sum_{i=1}^m (y_i^t - \phi_i(\bar{y}_i^t)) \phi_i'(\bar{y}_i^t) v_{\ell i} \right) \phi_\ell'(h_\ell^t) x_j^t \quad (5.27)$$

İterasyon formülleri aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$v_{\ell i}(\text{yeni}) = v_{\ell i}(\text{eski}) - \eta \frac{\partial E}{\partial v_{\ell i}} \quad (5.28)$$

$$w_{j\ell}(\text{yeni}) = w_{j\ell}(\text{eski}) - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{j\ell}} \quad (5.29)$$

Burada,

$$\frac{\partial y_i^t}{\partial \varphi_\ell(h_\ell^t)} = v_{\ell i}, \quad \frac{\partial y_i^t}{\partial v_{\ell i}} = \varphi_\ell(h_\ell^t), \quad \frac{\partial h_\ell^t}{\partial x_j^t} = w_{j\ell}, \quad \frac{\partial h_\ell^t}{\partial w_{j\ell}} = x_j^t \quad (5.30)$$

Yukarıdaki formüller kullanılarak ağırlıklara göre hataların türevleri aşağıdaki gibi bulunur,

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_t}{\partial v_{\ell i}} &= \frac{\partial E_t}{\partial y_i^t} \frac{\partial y_i^t}{\partial v_{\ell i}} = \frac{\partial E_t}{\partial y_i^t} \varphi_\ell(h_\ell^t) = \frac{\partial E_t}{\partial \varphi_i(\bar{y}_i^t)} \frac{\partial \varphi_i(\bar{y}_i^t)}{\partial y_i^t} \varphi_\ell(h_\ell^t) \\ &= -(y_i^t - \varphi_i(\bar{y}_i^t)) \varphi_i'(\bar{y}_i^t) \varphi_\ell(h_\ell^t) \end{aligned} \quad (5.31)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_t}{\partial w_{j\ell}} &= \frac{\partial E_t}{\partial h_\ell^t} \frac{\partial h_\ell^t}{\partial w_{j\ell}} = \frac{\partial E_t}{\partial h_\ell^t} x_j^t = \frac{\partial E_t}{\partial \varphi_\ell(h_\ell^t)} \frac{\partial \varphi_\ell(h_\ell^t)}{\partial h_\ell^t} x_j^t \\ &= \left(\sum_{i=1}^m \frac{\partial E_t}{\partial y_i^t} \frac{\partial y_i^t}{\partial \varphi_\ell(h_\ell^t)} \right) \varphi_\ell'(h_\ell^t) x_j^t = \left(\sum_{i=1}^m \frac{\partial E_t}{\partial y_i^t} v_{\ell i} \right) \varphi_\ell'(h_\ell^t) x_j^t \\ &= - \left(\sum_{i=1}^m (y_i^t - \varphi_i(\bar{y}_i^t)) \varphi_i'(\bar{y}_i^t) v_{\ell i} \right) \varphi_\ell'(h_\ell^t) x_j^t \end{aligned} \quad (5.32)$$

Gizli katman elemanlarının çıktılarıyla ilgili hata hesaplamaları, bu elemanların doğru çıktı değerlerinin önceden bilinmesini sağlayan bir yöntem olmadığı için bir takım problemler içerir.

Şekil 5.7' deki bir gizli katmanlı sinirsel ağı çıkış katmanındaki her bir nörondaki hata aşağıdaki formül ile hesaplanabilir,

$$E_{it}^3 = (y_i^t - \varphi_i(\bar{y}_i^t)) \varphi_i'(\bar{y}_i^t) \quad (5.33)$$

Bu hata geriye doğru gizli katmana aşağıdaki gibi yayılır,

$$E_{\ell t}^2 = \left(\sum_{i=1}^m E_{it}^3 v_{\ell i} \right) \varphi'_{\ell}(h_{\ell}^t) \quad (5.34)$$

Yukarıdaki formüller göz önüne alınarak iterasyon formülleri yeniden yazılabilir,

$$\begin{aligned} v_{\ell i}(\text{yeni}) &= v_{\ell i}(\text{eski}) + \eta \sum_{t=1}^p (E_{it}^3 \varphi'_{\ell}(h_{\ell}^t)) \\ w_{j\ell}(\text{yeni}) &= w_{j\ell}(\text{eski}) + \eta \sum_{t=1}^p (E_{\ell t}^2 x_j^t) \end{aligned} \quad (5.35)$$

Geriye yayılma (backpropagation) işlem adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir,

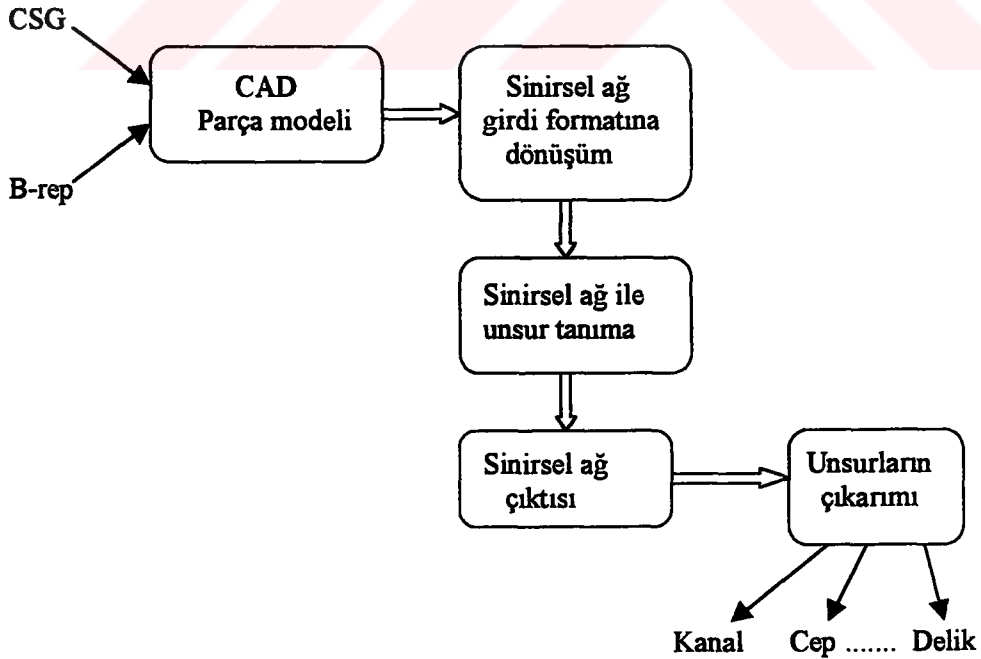
- Girdi değerlerinin giriş katmanındaki nöronlara verilmesi
- Gizli katman nöronlarının girdi değerlerinin hesaplanması
- Gizli katmanda yer alan nöronların çıktı değerlerinin belirlenmesi
- Çıkış katmanındaki nöronlara ait girdi değerlerinin hesaplanması
- Çıktıların bulunması
- Çıktı birimleri için hata değerlerinin çıkarılması
- Gizli katman nöronları için hata değerlerinin hesaplanması
- Çıkış katmanındaki ağırlıkların düzenlenmesi
- Gizli katmandaki ağırlıkların düzenlenmesi

Hata, istenen belli bir değerin altına indiğinde, ağırlık eğitimi işi tamamlanmış kabul edilir.

5.5 SINIRSEL AĞLAR İLE UNSUR TANIMA

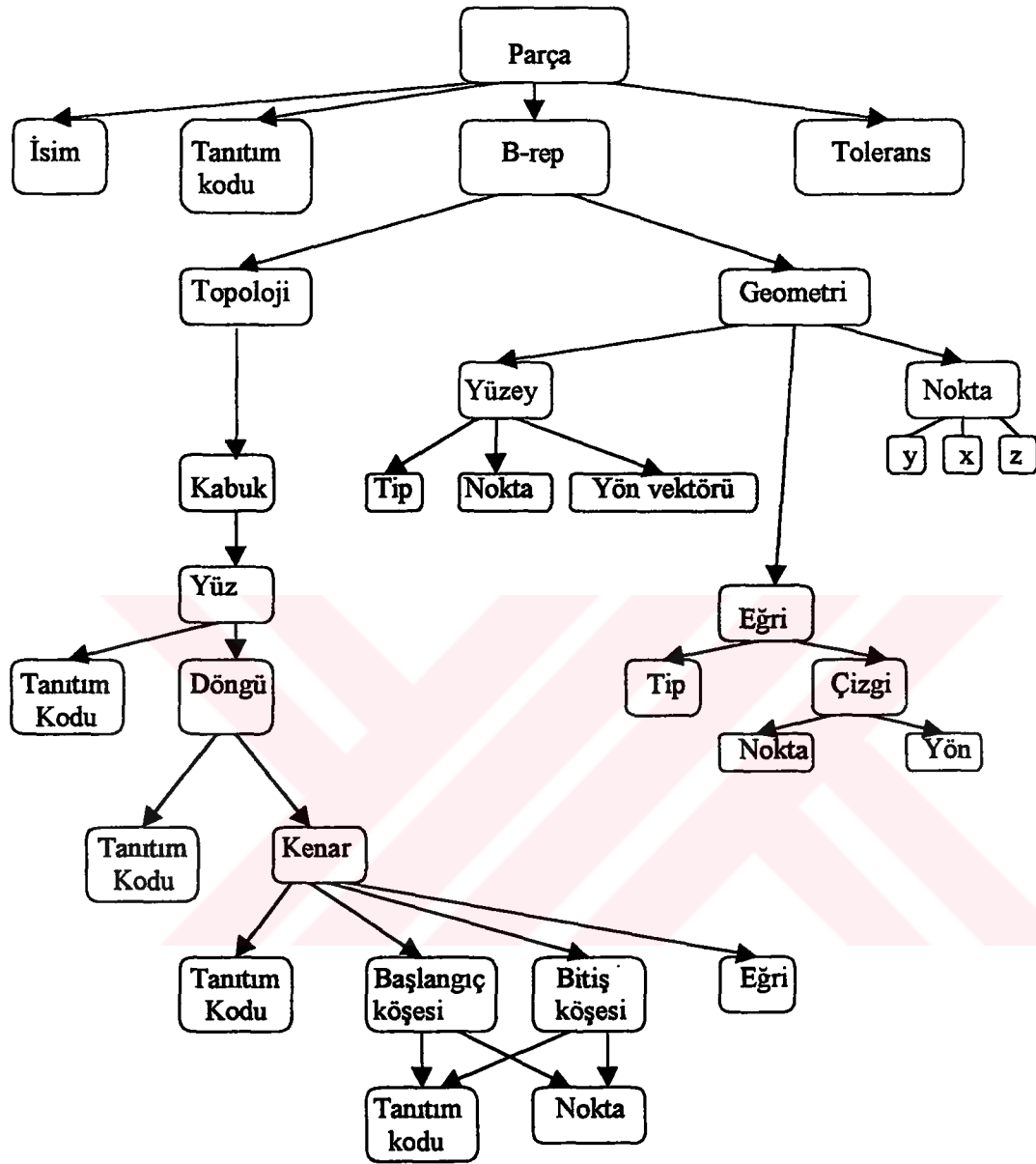
Unsur tanıma alanında, gözlenen eksikliklerin giderilmesi yönünde, son zamanlarda en çok ilgi çeken yöntemlerden birisi sinirsel ağ tabanlı unsur tanıma çalışmalarıdır. Sinirsel ağ ile ilgili önemli sayıda araştırma yapılmasına rağmen, unsur tanımda kullanılmaları oldukça yenidir.

Sinirsel ağ ile unsur tanıma sistemlerinde en önemli işlem adımı CAD parça modeli ile ilgili geometrik ve topolojik bilgilerin sinirsel ağa uygun girdi formatına dönüştürülmesidir. CAD modelinden yüksek seviyeli geometrik elemanların çıkarılmasında sinirsel ağ kullanımını esas alan sistem yapısı Şekil 5.8' de verilmiştir. Literatürde yer alan bazı çalışmalarda, CAD parça modelinin AAG matrisleri sinirsel ağ için girdi değeri olarak kullanılmıştır. Ancak, bu sistemlerin AAG yapısında yer alan olumsuzlukları içerdiği görülmektedir. CAD parça modelinin geometrik ve topolojik bilgilerini içeren B-rep veri formatı modelini oluşturan temel elemanlar yüz, kenar ve köşelerdir. PDES/STEP standardına dayalı CAD bilgi modeli B-rep ve toleransları içerir. Bu yapıda parçayla ilgili tanımlama kodu ve isim de yer alır. Şekil 5.9' da STEP standardı parça modeli verilmiştir. STEP yapısını kullanan veri kümelerinin seçimi, unsur tanıma ve farklı programlar arasında veri değişimi açısından kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca, geometri ile ilgili bilgi çıkarım işlerinde bir standardlaşma sağlanabilecektir. Şekil 5.9' da gösterildiği gibi topoloji köşe, kenar, yüz ve aralarındaki ilişkileri, geometri ise kenar ve yüz ile ilgili geometrik bilgileri vermektedir. Böylece, örneğin, topolojiden bir kenarı oluşturan köşeler ve geometriden bu köşelerin koordinatları çıkarılabilir. Bu, unsur tanıma işlemi sonrasında tanınan unsurla ilgili yüzlerin çıkarılması demektir.



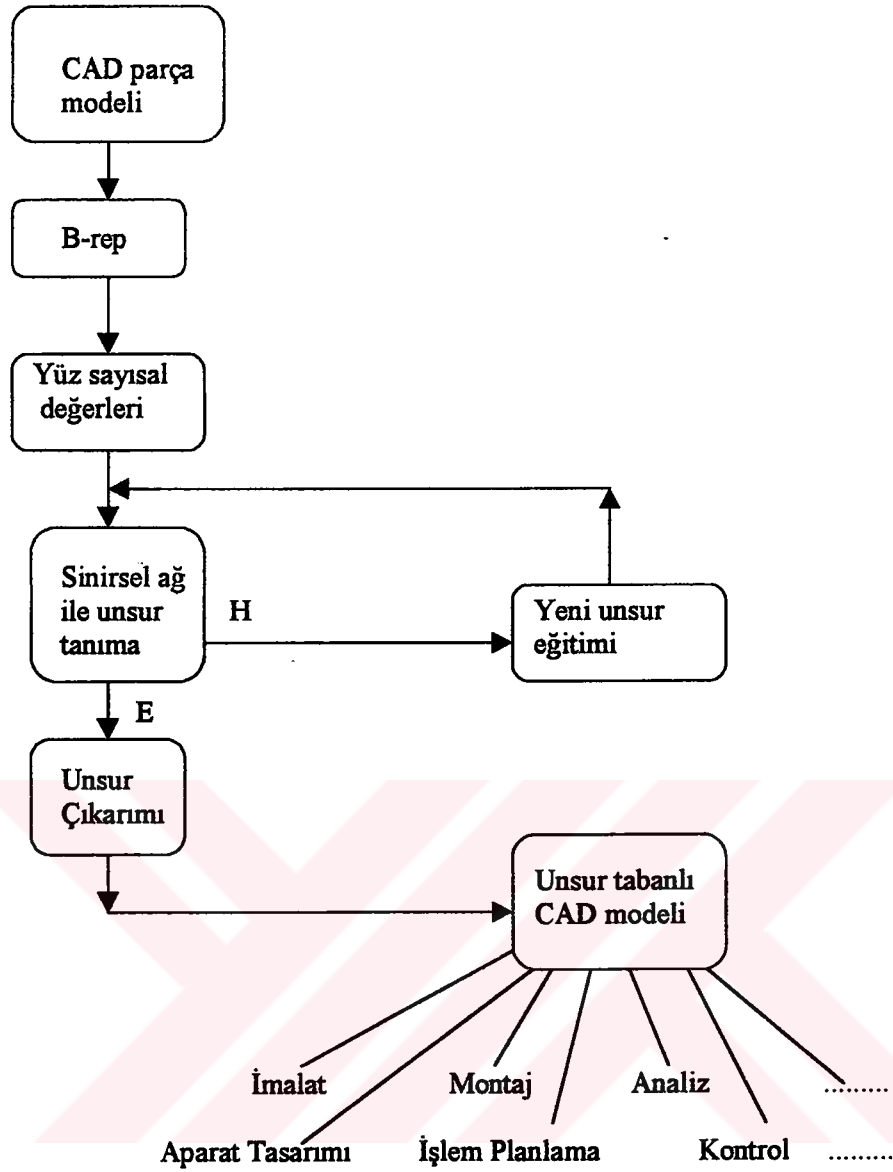
Şekil 5.8. CAD parça modelinden sinirsel ağ ile unsur çıkarımı

Bir unsur B-rep modelinde yer alan alçak seviyeli yüz, kenar ve köşe elemanlarından oluşmaktadır. Bu elemanların özelliklerinden faydalanılarak unsurların çıkarımı yapılabilir.



Şekil 5.9. STEP standardı CAD parça modeli

Bu çalışmada STEP veri standardı esas alınarak oluşturulan yüz sayısal değerleri sinirsel ağ sisteminde girdi olarak kullanılmıştır. CAD B-rep modeli ve sinirsel ağ yaklaşımını kullanan sistem yapısı Şekil 5.10' da verilmektedir.



Şekil 5.10 Sinirsel ağ yaklaşımıyla unsur tabanlı CAD modeli oluşturma

Bu çalışmada kullanılan yüz geometri ve topolojisine ait kod aşağıda verilen formülle hesaplanmıştır.

$$Y_s = f(Y_g, K_g, V_g)$$

Y_s : yüz sayısal değeri

Y_g : yüz geometri bilgileri

K_g : kenar geometri bilgileri

V_g : köşe geometri bilgileri

(5.36)

Bir parçanın B-rep modelinin sınır elemanları (yüz, kenar, köşe) ile tanımlanan unsuru aşağıda verildiği şekilde ifade edilebilir (Subrahmanyam, 1997),

$$\begin{aligned}
 F &\equiv \bigcup T \\
 T &\in B(P) \\
 F &: \text{unsur} \\
 T &: \text{sınır elemanları (yüz, kenar, köşe)} \\
 B(P) &: P \text{ parçasının } B\text{-rep sınır modeli}
 \end{aligned}
 \tag{5.37}$$

Bu tanım kullanılarak, uygulama alanına göre farklılık gösteren unsurların tanımında kullanılacak bir temel unsur yapısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir,

$$\begin{aligned}
 \Psi &= \{T, G, A, R\} \\
 T &: \text{Topoloji bilgileri} \\
 G &: \text{Geometri bilgileri} \\
 A &: \text{Özellikler} \\
 R &: \text{Temel unsurların birbirleri ile ilişkileri} \\
 \Psi &: \text{Temel unsur}
 \end{aligned}
 \tag{5.38}$$

Topoloji ile ilgili bilgiler,

$$\begin{aligned}
 T &\in \{Y, K, V\} \\
 Y &: \text{Yüz} \\
 K &: \text{Kenar} \\
 V &: \text{Köşe} \\
 T &: \text{Topoloji}
 \end{aligned}
 \tag{5.39}$$

Sinirsel ağ sisteminde unsur tanımı için (Henderson, 1994),

$$\begin{aligned}
 \text{Unsur} &= f\{F_{GT}, w\} \\
 w &: \text{sinirsel ağ neron bağlantı ağırlıkları} \\
 F_{GT} &: \text{geometri ve topoloji ile ilgili bilgiler}
 \end{aligned}
 \tag{5.40}$$

genel ifadesi ve

$$Unsur_j(t) = \sum w_{ij}(t)F_i - \theta$$

F_i : B-rep yapısında yer alan parça yüz sayısal değerleri (5.41)

t : sinirsel ağ eğitim örnekleri sayısı

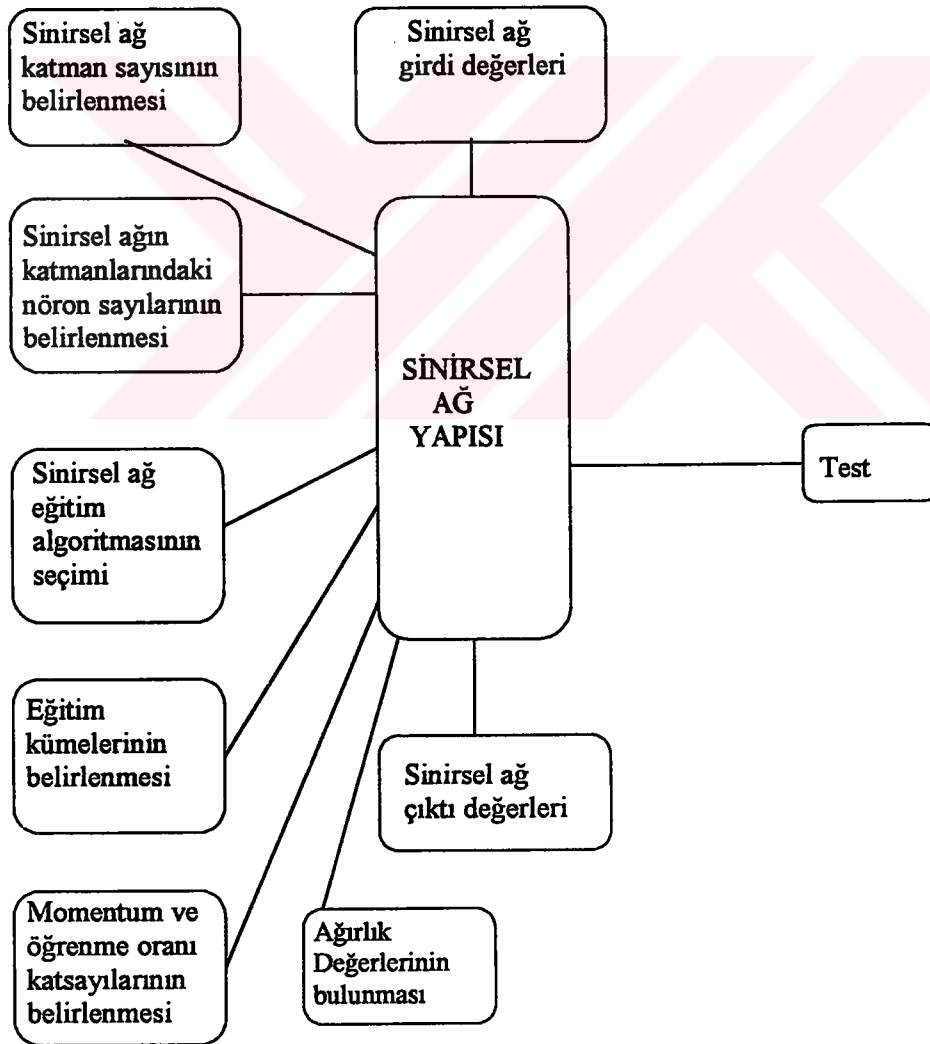
θ : eşik

Çoklu katmanlı bir sinirsel ağ sisteminde ağırlıklar,

$$w_{ij}(\text{yeni}) = w_{ij}(\text{eski}) + \eta(d - Unsur_j)F_i \quad (5.42)$$

d : hedef çıktı değeri

ifadesinden bulunur. Şekil 5.11' de bu çalışmada kullanılan sinirsel ağ ile unsur tanıma sisteminin yapısı verilmiştir.



Şekil 5.11. Sinirsel ağ yapısı

5.5.1. Sinirsel Ağlar İle Sınıflara Ayırıştırma Çalışmaları

Bu çalışmada, daha önce tanınmamış ve ilk defa karşılaşılan unsurları da tanıyabilecek bir unsur tanıma sistemi, sınıflara ayırıştırma yapılarak geliştirilmiştir.

Sinirsel ağların sınıflara ayırıştırma problemlerinde kullanıldığı çeşitli çalışmalar literatürde yer almaktadır. Sinirsel ağın sınıflara ayırıştırma problemlerinde kullanımı sonuçları ve performans değerlendirmeleri Curram ve Mingers (1994) tarafından çeşitli uygulama alanları için verilmiştir. Sinirsel ağ kullanımının lineer olmayan ilişkiler içeren sınıflara ayırıştırma problemlerinde kullanılmasının daha uygun olacağı belirtilmektedir. Bu çalışmalarda, sinirsel ağın analitik olarak analiz edilmelerinde zorluklarla karşılaşılan unsur tanıma problemi gibi modellerin çözümünde üstün olduğu vurgulanmaktadır. Araştırmacıların üzerinde durdukları diğer bir özellik, sinirsel ağ yaklaşımının lineer olmayan ilişkiler içeren problemlerin çözümündeki performansdır (Mistry ve Nair, 1992).

Sınıflara ayırıştırma problemlerinin çözümüyle ilgili çalışmalarda elde edilen sonuçlar sinirsel ağ yapısı ve parametre seçimi konusunda yardımcı olmaktadır.

Lippmann (1987), sınıflara ayırıştırma problemlerinde iki gizli katmanlı yapının yeterli olacağını, daha fazla katmanın ancak çok karmaşık ilişkiye sahip ayırıştırma problemlerinde gerekebileceğini belirtmiştir. Problemin yapısına göre gizli katman ve nöron sayılarının artırılarak karmaşık ilişkilerin çözülebileceğini, bölgesel minimumdan kaçınmak için farklı ağırlık başlangıç değerleri için problemin bir çok kere çözümünün yapılmasını önermiştir.

Curram ve Mingers (1994) lineer olmayan ilişkiler içeren sınıflara ayırıştırma problemlerinde gizli katman kullanımının gerektiğini, problemin yapısına göre gizli katman nöron sayılarının artırılmasını, yeterli nöron kullanılmamasının veya gerektiğinden fazla kullanılmasının ağın öğrenme yeteneğini azaltacağını, optimum nöron ve katman sayılarının deneme - yanılma yoluyla bulunulabileceğini vurgulamışlardır.

Chen ve Lee (1998) tarafından iki boyutlu unsur tanıma için geliştirilen sinirsel ağ, bir gizli katman içermektedir. Öğrenme parametresi 0.9 ve momentum 0.2 olarak ağ eğitilmiştir.

Nezis ve Vosniakos (1997), unsur tanıma sistemlerinde gizli katmandaki nöron sayılarının arttırılmasının hata değerinde belirgin değişikliklere sebep olmadığını, nöron sayılarının deneme ve yanılma yoluyla bulunabileceğini belirtmişlerdir.

Kaparthi ve Suresh (1991), döner parçaların piksel sunumunu girdi olarak kullanan sinirsel ağ sistemi ile sınıflara ayırıştırma ve grup teknolojisi kodlarını oluşturma çalışması yapmışlardır.

Yoon ve diğ. (1993) sınıflara ayırıştırma problemleri için gizli katman gerekliliğini, öğrenme parametresinin küçük değerleri ile çözüme başlanmasını, optimum değer artırımı sonucu bulunmasını önermişlerdir. Gizli katman kullanılmadığı zaman verinin sınıflanmasında %75 oranında doğruluk elde edilebildiği, gizli katman sayısına göre %88 ve %95 doğruluk değerlerine ulaşıldığı gözlenmiştir. Gizli katmanda yer alan nöron sayılarının doğru sınıflara ayırıştırma oranlarında nasıl etkili olduğu, belli bir sayıdan sonra nöron artırımının etkili olmadığı örneklerle verilmiştir.

Prabhakar ve Henderson (1992) tarafından önerilen unsur tanıma sisteminde, küçük öğrenme değerlerinde ağı yavaş öğreneceği, büyük değerlerde ise salınım ve bölgesel minimuma yakalanma olabileceği, momentum ile salınımın azaltılabileceği, gizli katmandaki nöron sayısının belli bir değerden sonra artırımında öğrenmenin yavaşladığı ve sonuçlarda iyileşme olmadığı belirtilmiştir.

Geriye yayılma yöntemi kullanarak sınıflara ayırıştırma problemlerinde global minimuma ulaşabilmek için ağ yapısının belirlenmesinde, literatürde yer alan benzer problemlerde kullanılan ağ yapılarının incelenmesi sonucunda, çözümün farklı parametreler ve başlangıç ağırlık değerleri denenerek yapılması gerektiği görülmüştür.

Lippmann (1987) tarafından açıklanan ve literatürde çeşitli kaynaklarda ayrıntılı açıklamaları yer alan sinirsel ağ algoritmalarının, tasarım ve imalat alanında kullanımı yönünde çalışmalar son yıllarda artmıştır (Zhang ve Huang, 1995, Warnecke ve Kluge, 1998, Zhang ve diğ. 1996, Burke, 1993, Zorriassatine ve Tannock, 1998, Bahrami ve diğ., 1995). Sinirsel ağ kullanımında karşılaşılan problemlerin, modelin sistem tarafından tanınmasını sağlayacak ağ girdi vektörünün belirlenmesi ile ilgili olduğu görülmektedir.

Zhang ve Huang (1995), üretim işlemlerinde sinirsel ağ kullanımıyla ilgili bir literatür araştırmasından oluşan çalışmalarında, sinirsel ağların laboratuvar ortamında yapılan çalışmaların pratik uygulamalarla desteklenmesine devam edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, tasarım ve imalat bütünleşmesi çalışmalarında sinirsel ağ yaklaşımının önemli rol oynayacağını vurgulamışlardır.

5.6. CAD MODELİNDEN BİLGİNİN ÇIKARIMI

Son yıllarda, CAD modelinden tasarım ve sonrası uygulamalarda kullanılacak bilginin uzman gereksinimi olmadan çıkarımı için, yeni yöntemler denenmektedir. O'Flynn ve Ahmad (1993), Landers ve English (1992), CAD veri paylaşımının ve unsur kullanımı ile bilgi çıkarımının CE açısından önemini ortaya koyan çalışmalar yapmışlardır. Liu ve Fischer (1993) ile Chao ve Yeh (1999), tasarım modelinden bilgi çıkarımında PDES/STEP standartlarına uyumlu ürün modeli kullanımını önermişlerdir. Dağlı ve diğ. (1993), CAD modelinden bilgi çıkarımı için sinirsel ağ yaklaşımı ile unsur tanıma sistemi geliştirmişlerdir. Case ve diğ. (1994), CAD/CAM bütünleşmesi için tasarımdan imalat için gerekli bilgilerin çıkarılması için unsur tanıma sistemi önermişlerdir. Allada ve Anand (1996), çizge tabanlı bir unsur tanıma sistemi ile CAD bilgilerinin tasarım sonrası kullanımını amaçlamışlardır. Bu çalışmalarda, bilgi çıkarımı ve kullanımı probleminde karşılaşılan zorluklar, araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Geliştirilecek yöntemlerin aşağıda verilen özellikleri içermesi istenmektedir:

- Tecrübe sonucu oluşmuş bilgileri içeren bilgi tabanı yapısının oluşturulması ve kullanılması,
- Üretim sürecinde yer alan bilgi tanımı ve kullanımı problemlerinin önceden belirlenmiş bilgi tabanlarını kullanarak çözülebilmesi,
- Üretim sürecinde yeni bilgilerin öğrenilebilmesi ve mevcut bilgi tabanına kolaylıkla uyarlanabilmesi.

Bilgi tabanı oluşturma ve kullanımı problemlerinin klasik yöntemlerle çözülmesi zorluklar içermektedir. Bu nedenle, üretim sürecinde bir çok uygulamada yapay zeka kullanımı denenmiştir. Uzman sistemler, bir yapay zeka uygulamasıdır ve genelde IF ... THEN (eğer ... o zaman) kuralları ile bilginin sunumu ve kullanımını içerir. Üretim sürecinin çeşitli aşamalarında uzman sistem uygulamaları ile oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, bu sistemler uzman bilgisinin çıkarımı ve veri yapılarının düzenlenmesi gibi klasik sistemlerde karşılaşılan problemleri içerirler. Son yıllarda, üretim süreci bütünleşmesi alanında bir yapay zeka yaklaşımı olan sinirsel ağlar kullanılmaya başlamıştır. Bu yaklaşımda, örnekler yardımıyla eğitilmiş bir bilgi tabanı kullanılır. Klasik sistemlere göre, bilginin sunumu daha basit ve kullanımı daha hızlıdır. Bilgi tabanı yapısının esnekliği ve öğrenebilme özelliğinden dolayı, belirsizlik ve lineer olmayan ilişkiler içeren karmaşık yapıdaki problemlerin çözümünde diğer sistemlere göre daha üstündür (Curram ve Mingers, 1994, Mistry ve Nair, 1992, Gupta ve Lam, 1996, Yoon ve diğ. 1993).

CAD model bilgilerinin tasarım ve sonrası uygulamalarda kullanımı için literatürde önerilen unsur tanıma yöntemleri, sınıflara ayrıştırma problemi olarak ele alınmaktadır. Çeşitli yöntemlerin uygulandığı parça geometrilerinden grup kodlarının çıkarılması çalışmalarında parça sınıflarının belirlenmesi için kullanılan yöntemler unsur tanıma problemine uyarlanabilir. Çeşitli alanlarda klasik yöntemler ve sinirsel ağ kullanımı ile sınıflara ayrıştırma konusunda yapılan çalışmaların sonuçları incelendiğinde, sinirsel ağların özellikle belirsizlik ve lineer olmayan ilişkiler içeren problemlerde daha başarılı olduğu gözükmemektedir (Curram ve Mingers, 1994, Mistry ve Nair, 1992).

Sinirsel ağlar çözüm süresi açısından klasik sınıflama sistemlerine göre üstündür. Ancak, bir çok çalışmada belirtildiği gibi, ağın katman sayısı, her bir katmandaki nöron sayısı, eğitim kümesi seçimi, ağ parametreleri ve ilk değer atamaları gibi sinirsel ağın problemleri çözüm süresinde etkin rol oynamaktadır. Ağ yapısıyla ilgili özelliklerin problemin yapısına göre değiştiği, en iyi ağ modelinin deneme yanılma yoluyla ve ağın tekrarlı çözümleriyle bulunabileceği belirtilmektedir (Curry ve Morgan, 1997).

5.6.1 Çok Katmanlı Sinirsel Ağ İle Sınıflara Ayırıştırma İşlemi

Çok katmanlı (multi layer) sinirsel ağ, giriş, çıkış ve bunların arasında yer alan gizli katmanlardan (hidden layers) oluşan bir sinirsel ağ yapısıdır (Lippmann, 1987, Haykin, 1994, Tsoukalas ve Uhrig, 1997, Bose ve Liang, 1996).

Ağırlıkların ilk değerleri rastgele belirlendikten sonra, girdi değerleri girdi katmanında yer alan nöronlar ile verilir. Herhangi katmandaki bir nöron önceki katmandaki bütün nöronlardan gelen çıktıları toplar. Transfer fonksiyonu kullanılarak elde edilen toplam değer ile çıktı değeri elde edilir. Çıkış değeri bir sonraki katmana ileri doğru yönlendirilir. Tüm katmanlar işlendikten sonra çıkış katmanında yer alan nöron veya nöronlardaki çıktı değeri ve hata hesaplanır. Bir nöronun hata değeri, hedeflenen çıktı değeri ile hesaplanan çıktı değeri arasındaki farktır. Çıkış katmanında yer alan tüm nöronların, hata kareleri toplamının kısmi türevi alınarak, ağırlıkların optimize edilmesi için tüm katmanlarda geriye doğru işlem yapılır. Ağırlıklar hatalara göre yeniden hesaplanır. Her bir nöronun kendisine ait işlemleri içeren dağıtılmış yapıdaki öğrenme süreci sinirsel ağın paralel işlem algoritmasını tanımlar.

Sinirsel ağ yapısının verilen bir probleme uygunluğu, ağın öğrenme süreci ve topolojisi bilgilerinden anlaşılabilir. Sınıflara ayırıştırma problemlerinde çok katmanlı ve BP sinirsel ağ yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Sinirsel ağ ile sınıflara ayırıştırma işlem adımları:

- İlk ağırlık değerleri rasgele olarak seçilir.
- Parça şekil vektörü giriş katmanında yer alan nöronlar ile ağa girilir.
- Gizli ve çıkış katmanı nöronlarının çıktıları hesaplanır. Ağda yer alan bir nöronun çıktı değeri transfer fonksiyonu yardımıyla bulunan değerdir. Giriş katmanında parça şekil vektörü elemanları değerleri aynı zamanda bu katmanın çıktı değerleridir, herhangi bir dönüşüm yoktur.
- Çıkış katmanındaki bir nöronun hedeflenen çıktı değeri ile hesaplanan çıktı değeri arasındaki fark, o nöron için hata olarak alınır.

- Ağın eğitimi için kullanılan parçanın çıkış katmanındaki hata değeri kabul edilebilir toleranslar içinde kalıyorsa ağın eğitimi tamamlanmış kabul edilir. Hata değeri kabul edilebilir değerden büyükse eğitime devam edilir.
- Çıkış katmanındaki nöronların hata değeri geriye doğru bütün katmanların ağırlıklarının yeni değerlerinin hesaplanmasında kullanılır.
- Benzer işlemler, ileriye doğru nöronların çıktı değerlerinin hesaplanması için yeni ağırlıklar kullanılarak tekrar edilir.
- Parçanın sınıfı için sadece bir nöron 1 değerini, diğer nöronlar 0 değerini alır. Örneğin, [0 1 0 0] şeklindeki ağ çıktısı, parçanın ikinci sınıfta yer aldığını göstermektedir.

Ağın eğitimi, parça eğitim kümeleri kullanılarak yapılır. Amaç, hata miktarının en hızlı şekilde azaltılması için ağırlıkların hesaplanması işlemidir. Sinirsel ağın k çıkış katmanında oluşan hata e_k , hesaplanan çıktı değeri o_k ve hedeflenen çıktı değeri h_k arasındaki farktır,

$$e_k = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{n_k} (h_k - o_k)^2 \quad (5.43)$$

Amaç, hata kareleri toplamının bütün parçaları içeren şekil vektörleri eğitim kümesi için minimize edilmesidir. Bu işlem hata kareleri toplamının ağırlıklara göre kısmi türevleri alınarak yapılır. Ağırlıkların değişim miktarı ($\Delta\omega_{kj}$), kısmi türev ($\partial e_k / \partial \omega_{kj}$) kullanılarak bulunur,

$$\Delta\omega_{kj} = \eta \left(-\frac{\partial e_k}{\partial \omega_{kj}} \right) \quad (5.44)$$

Yakınsamayı hızlandırmak için kullanılan öğrenme oranı (η) adım değeri ağırlık değişimini belirler. η küçük değerlerde alınırsa hız azalmakla birlikte daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Büyük adım değerleri minimum noktanın aşılmasına ve ıraksamaya sebep olabilir. BP yaklaşımında, gradient yönteminde karşılaşılan diğer bir problem bölgesel minimuma erişimdir. Eğer bölgesel minimum ile karşılaşılsa, daha iyi sonuçlar elde edebilmek için momentum (μ) kullanılır. η ve μ için seçilecek

değerler, sinirsel ağ probleminin özelliğine bağlıdır. (Athanassopoulos ve Curram, 1996)

Ağ yapısını oluşturmada diğer önemli bir özellik ağın büyüklüğüdür. η ve μ değerlerinin seçiminde olduğu gibi genel bir çözüm yoktur. Problemin yapısına göre deneme ve yanılma yöntemi ile değerler hesaplanır. Seçilen parçalardan oluşan şekil eğitim kümeleri ile ağın tekrarlı çözümleri sonucu hatanın kabul edilen toleranslar içinde kaldığı en hızlı eğitim, ağın büyüklüğünü belirler. Ağın büyüklüğü, gizli katman sayısı ve her katmandaki nöron sayıları ile tespit edilir. Eğer yeterli gizli katman nöronları yoksa ağın eğitiminde yakınsama olmayabilir. Gizli katman özellikle lineer olmayan ilişkiler içeren problemlerin sınıflara ayrıştırma işlemlerinde etkin rol oynar.

Giriş ve çıkış katmanında yer alan nöron sayısı, problemin girdi ve çıktı değerlerinden bellidir. Parça şekil vektörünü oluşturan eleman sayısı, giriş katmanındaki nöron sayısına eşittir. Parçaların kaç sınıfa ayrıştırılması isteniyorsa sınıf sayısı çıkış katmanı nöron sayısını verir. Genelde problemin yapısına bağlı olarak gizli katman nöron sayıları deneme ile bulunur. Eğer çok nöron varsa ağın genel sonuç üretme özelliği kaybolabilir. Gizli katman nöron sayısının, giriş ve çıkış katmanları nöron sayılarının toplamının yarısı olarak alınması ve deneme ile düzenlemeler yapılması önerilmektedir. Tekrarlı çözümlerle ağ yapısının belirlenmesi tercih edilen bir yaklaşımdır (Yoon ve diğ., 1993, Chung ve Kusiak, 1994).

İterasyon sayısı eğitim sırasında hatanın istenilen toleranslara indirgenmesi için gerekli tekrarlı çözüm sayısıdır. Eğer değişim çok az ise eğitim sona erdirilir. Gizli katmanda nöron sayısının artması eğitim için gerekli iterasyon sayısını azaltmakla birlikte işlem süresini artırabilir. Hatanın belli bir değerin altına çekilmesi için gereken iterasyon sayısının çok fazla olması tercih edilmediğinden, gizli katman nöron sayısı artırılabilir. BP yaklaşımında ilk ağırlık değerlerinin seçimi de ağın eğitimini etkilemektedir (Gupta ve Lam, 1996).

6. SİNİRSEL AĞLAR İLE UNSUR TANIMA UYGULAMASI

21. yüzyılın üretim felsefesi olarak görülen CE' de, tasarım ve sonrası uygulamaların bütünleşmesinin önemi bilinmektedir. CE, tasarımı merkez alan bütünleşmiş üretim yapısını esas alır. CE üretim yapısında tasarım sonrası uygulamaların, CAD verilerini otomatik olarak kullanabilmesi için çeşitli yöntemler üzerinde çalışılmaktadır. Çalışmalar veri iletişimi ve verilerden anlam çıkarma konularına yöneliktir. Önümüzdeki yıllarda veri iletişimi için oluşturulacak standartların verilerden anlam çıkarma işlemlerini kolaylaştıracak yapıları sunmaları beklenmektedir.

Bu çalışmada, CAD verilerinin otomatik olarak tasarım sonrası uygulamalarda kullanılabilmesi için unsurların tanınması gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Eğitim kümesi unsurlarını belirlemede uzman görüşleri de alınarak kümenin pratik geçerliliği sağlanmıştır.

On iki adet sinirsel ağ programı ve bu programların özellikleri incelenmiş, unsur tanıma problemi açısından en uygun olanlardan birisi seçilmiştir. Bu seçimde ağ parametrelerinde etkileşime açık sinirsel ağ programı, Trajan-Neural Network Simulator tercih edilmiştir (Trajan, 1998). Seçilen program, deneysel çalışma açısından uygun bir program olarak görülmüştür. Öğrenme algoritması, gizli katman sayısı, gizli katmanlardaki nöron sayıları, ilk ağırlık değerleri, öğrenme oranı ve momentum değerleri kullanıcı tarafından seçilebilmektedir. Ağların eğitimi sırasında hata grafiği izlenebilmekte, ilk ağırlık değerleri değiştirilebilmektedir. İterasyonlar devam ettikçe hata grafiğinin şeklinden bölgesel minimuma yakalandığı farkedilirse ağırlık değerlerinde küçük değişimler yapılabilmektedir. Ağların eğitim kümesi ve doğrulama kümesi hata grafikleri, eğitim kümeleri giriş ve çıkış vektör elemanları, eğitilmiş kümelerin çıkış değerleri, eğitim sonrası hata değerleri, test sonuçları çıktı olarak alınabilmektedir. Programın çalıştırılması için işletim sistemi Windows 95 ve donanım olarak 64 MB RAM içeren Pentium II 350 MHz PC bilgisayar kullanılmıştır. Bilgisayar 100 MHz veri yolu ve 100 MHz SDRAM özelliklerini içermektedir.

Unsurların tanınması ve sınıflandırılması için aşağıdaki işlem adımları izlenmiştir :

- Adım 1 : Unsur tanıma için kullanılacak yöntemin belirlenmesi.

Tecrübeye dayalı örneklerden bilgi çıkarma, bu bilgileri kullanarak daha önce tanıtılmamış unsurları tanıyabilme özelliğinden dolayı sinirsel ağ yöntemi seçilmiştir. Ayrıca, unsur tanıma probleminde girdi ve çıktı arasındaki ilişkinin analitik olarak ifade edilememesinden dolayı da sinirsel ağ yöntemi, uygun bir yöntem olarak görülmüştür.

- Adım 2 : Unsur sınıflarının tespit edilmesi.

İlgili literatür incelenerek ve üretimde çalışan uzmanların görüşü alınarak en çok karşılaşılan unsur sınıfları tespit edilmiştir.

En çok karşılaşılan unsur sınıfları :

Kanal

Adım

Cep

Çıkıntı

Kör kanal

Köşe cep

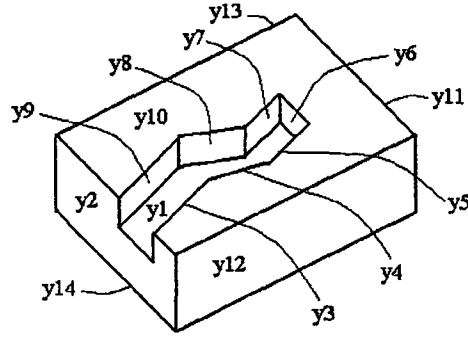
Delik

Kör delik

- Adım 3 : Sinirsel ağın girdi değerlerinin belirlenmesi için, unsurları ifade eden köşe, kenar, yüz ilişkilerinin sinirsel ağda kullanılabilecek şekilde sayısal değerlere dönüştürülmesi.

Önceki bölümlerde belirtildiği şekilde, CAD veri sunum yapısı olarak bu çalışmada STEP standardına uyumlu B-rep tercih edilmiştir. B-rep yapısı, köşe, kenar, yüz ilişkilerini içeren geometri ve topoloji bilgilerinden oluşur. Bu yapıda yer alan köşe, kenar, yüzlerle ilgili bilgiler kullanılarak dışbükeylik ve içbükeylik durumları hesaplanabilir.

Yüz sayısal değerlerinin hesaplanması ile ilgili bir örnek Şekil 6.1' de verilmiştir.



Şekil 6.1. Bir kör kanal unsur örneği

Henderson (1994) ve Chan (1994) unsur tanıma çalışmalarında yüzlerin içbükeylik özelliklerini, yüzü oluşturan kenarlar ve köşelerden elde etmişlerdir. Çizge tabanlı unsur tanıma sistemlerinde içbükeylik özelliği kullanılarak oluşturulan çizgeler ile unsurlar çıkarılmaktadır (Joshi ve Chang, 1988, Qamhiyah, 1996). Bu çalışmada içbükeylik ve dışbükeylik özelliklerini köşe sayısal değerlerine bağlı olarak hesaplayan bir formül kullanılmıştır.

Şekil 6.1' de verilen unsur örneğinde yüz sayısal değeri için kullanılan formül :

$$\text{Yüz sayısal değeri} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Köşe sayısal değeri})_i}{n} \quad (6.1)$$

Burada köşe sayısal değeri, o köşeyi oluşturan kenar sayısal değerlerinin toplamıdır. Kenar sayısal değeri ise, kenarın dışbükey veya içbükey olmasına göre değişir. Bu özellikler unsurun bir parça boşaltma işlemi olarak tanınabilmesini sağlar. Yüzün içbükeylik değerinin yüksek çıkması, o yüzden malzeme kaldırılacağı anlamındadır. Yüzün dışbükeylik değerinin yüksek çıkması, o yüze malzeme ekleneceği anlamındadır.

Kenar dışbükey ise :

$$\text{Kenar sayısal değeri} = (\text{kenarı oluşturan yüzler arasındaki açı değeri}) / 180^0 \quad (6.2)$$

Kenar içbükey ise :

$$\text{Kenar sayısal değeri} = [(\text{kenarı oluşturan yüzler arasındaki açı değeri}) / 180^0] + 1 \quad (6.3)$$

Yüz sayısal değer vektörü, sinirsel ağın girdi vektörüdür. Yüz sayısal değer vektörü 10 elemanlı olarak belirlenmiştir. Vektör elemanları, farklı yüzlerin sayısal değerlerine karşılıktır. Vektörün birinci elemanı, ele alınan yüzün sayısal değeri, vektörün diğer elemanları, komşu yüzlerin sayısal değerlerinden oluşur. Komşu yüzlerin sayısal değerlerinin vektördeki yerleri, büyük sayısal değerden küçük sayısal değere doğrudur.

Bu çalışmada, silindirik yüzü iki yarı silindirik yüz olarak kabul eden CAD programları esas alınmıştır. Eğer iki yarı silindirik yüz komşu ise bu yarı silindirik yüzlerden sadece birinin yüz sayısal değer vektörü hesaplanmıştır. Bir yarı silindirik yüzün, yüz sayısal değer vektörünün ikinci elemanı olarak komşu yarı silindirik yüzün sayısal değeri alınmıştır.

Eğer bir yüzde birden fazla iç döngü (loop) varsa aynı anda sadece bir iç döngü dikkate alınmıştır.

Bir yüz sayısal değer vektöründe dört taneden fazla birbirini tekrarlayan aynı sayı varsa dördüncüden sonrası vektöre dahil edilmemiştir.

Şekil 6.1' de örnek, kör kanal unsur içeren parça için çıkarılan yüz sayısal değer vektörleri aşağıdaki gibidir :

$$Y1 = [3.910 \ 3.695 \ 3.500 \ 3.347 \ 3.292 \ 3.139 \ 2.875 \ 2.431 \ 1.750 \ 0.000]$$

$$Y2 = [1.750 \ 2.875 \ 2.431 \ 1.940 \ 1.500 \ 1.500 \ 1.500 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$$

$$Y3 = [2.431 \ 3.910 \ 3.347 \ 1.940 \ 1.750 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$$

$$Y4 = [3.347 \ 3.910 \ 3.695 \ 2.431 \ 1.940 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$$

$$Y5 = [3.695 \ 3.910 \ 3.500 \ 3.347 \ 1.940 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$$

$$Y6 = [3.500 \ 3.910 \ 3.695 \ 3.139 \ 1.940 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$$

$$Y7 = [3.139 \ 3.910 \ 3.500 \ 3.292 \ 1.940 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$$

$$Y8 = [3.292 \ 3.910 \ 3.139 \ 2.875 \ 1.940 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$$

$$Y9 = [2.875 \ 3.910 \ 3.292 \ 1.940 \ 1.750 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$$

$Y_{10} = [1.940 \ 3.695 \ 3.500 \ 3.347 \ 3.292 \ 3.139 \ 2.875 \ 2.431 \ 1.750 \ 1.500]$

$Y_{11} = [1.500 \ 1.940 \ 1.500 \ 1.500 \ 1.500 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$

$Y_{12} = [1.500 \ 1.940 \ 1.750 \ 1.500 \ 1.500 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$

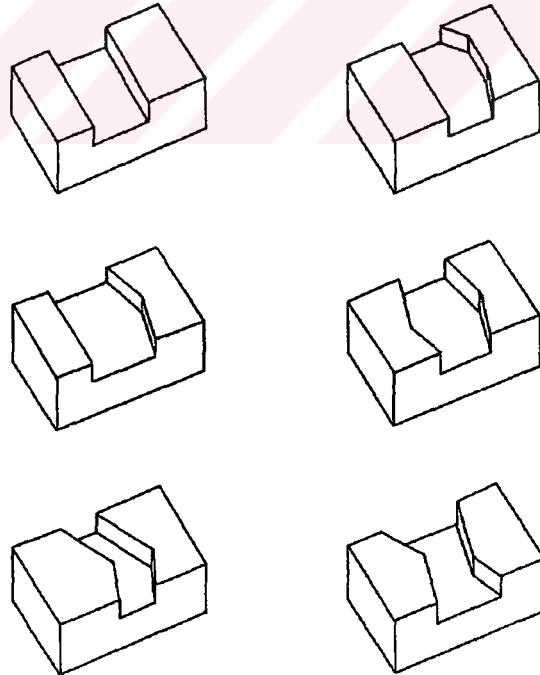
$Y_{13} = [1.500 \ 1.940 \ 1.750 \ 1.500 \ 1.500 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$

$Y_{14} = [1.500 \ 1.750 \ 1.500 \ 1.500 \ 1.500 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$

Sinirsel ağda kullanılacak eğitim kümelerinin ve yüz sayısal değer vektörlerinin bulunması :

İlgili literatür incelenerek ve üretimde çalışan uzmanların görüşü alınarak, her unsur sınıfı için eğitim kümeleri oluşturulmuştur. Eğitim kümelerinin oluşturulmasında, doğru örnekler seçilerek girdi-çıkı arasındaki ilişkinin tanımlanabilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, daha önce tanımlanmamış yeni unsurların tanımlanabilmesine olanak verecek örnekler seçilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan kanal eğitim kümesi Şekil 6.2' de verilmiştir.



Şekil 6.2. Kanal eğitim kümesi

Kanal eğitim kümesi için hesaplanan yüz sayısal değer vektörleri aşağıdaki gibidir :

[2.500 2.000 2.000 1.750 1.750 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[2.928 2.903 2.833 2.000 1.757 1.743 0.000 0.000 0.000 0.000]

[3.069 2.806 2.750 2.458 2.403 1.750 1.750 0.000 0.000 0.000]

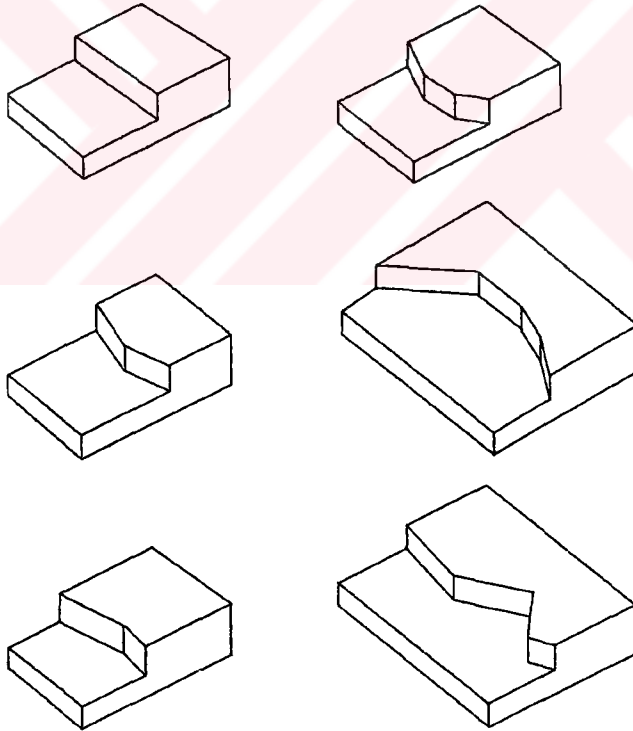
[3.227 3.834 2.917 2.764 2.000 1.736 1.688 0.000 0.000 0.000]

[3.218 2.903 2.875 2.861 2.834 1.708 1.708 0.000 0.000 0.000]

[3.000 2.487 2.486 2.417 2.373 1.827 1.799 0.000 0.000 0.000]

• • • • • • • • • •
• • • • • • • • • •

Adım eğitim kümesi Şekil 6.3.' de verilmiştir.



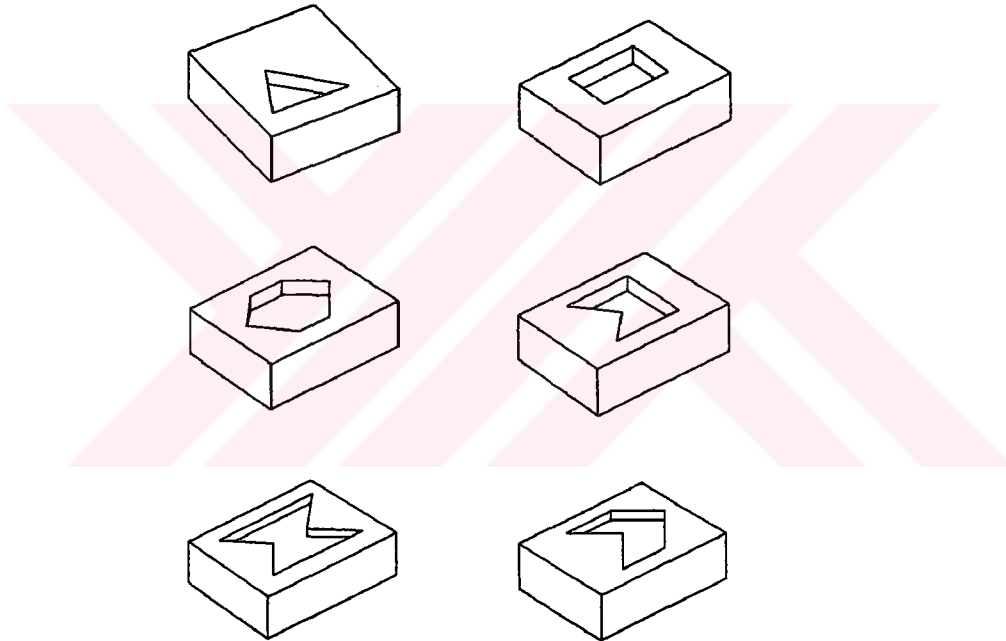
Şekil 6.3. Adım eğitim kümesi

Adım eğitim kümesi için hesaplanan yüz sayısal değer vektörleri aşağıdaki gibidir :

[2.000 2.000 1.667 1.667 1.500 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[	2.400	2.473	2.417	1.722	1.685	1.500	0.000	0.000	0.000	0.000	]
[	2.467	2.750	2.750	1.611	1.611	1.500	0.000	0.000	0.000	0.000	]
[	2.667	2.778	2.500	2.500	1.741	1.741	1.500	0.000	0.000	0.000	]
[	3.143	3.861	3.834	2.806	2.750	1.593	1.574	1.500	0.000	0.000	]
[	2.841	3.125	2.861	2.445	2.278	1.759	1.694	1.500	0.000	0.000	]
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	

Cep eğitim kümesi Şekil 6.4' de verilmiştir.



Şekil 6.4. Cep eğitim kümesi

Cep eğitim kümesi için hesaplanan yüz sayısal değer vektörleri aşağıdaki gibidir :

[	4.333	3.417	3.306	3.278	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	]
[	4.666	3.694	3.694	3.653	3.653	3.653	3.653	0.000	0.000	0.000	]
[	4.000	3.250	3.250	2.945	2.917	2.833	2.556	0.000	0.000	0.000	]

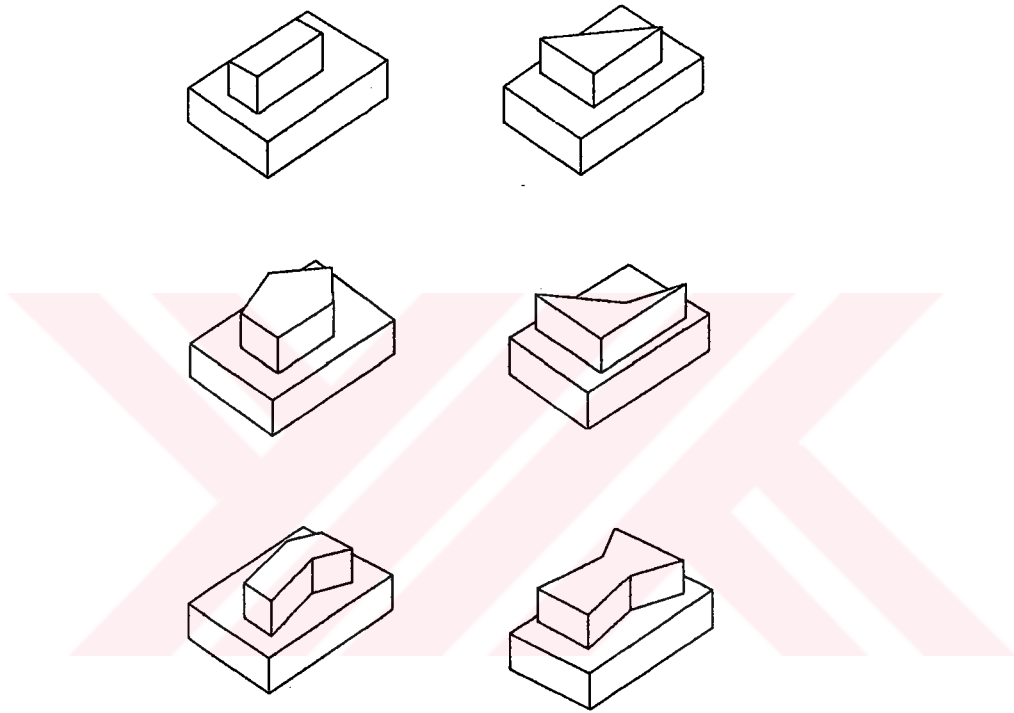
[4.500 3.500 3.500 3.500 3.500 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[4.222 3.500 3.403 3.375 2.931 2.903 0.000 0.000 0.000 0.000]

[4.315 3.528 3.528 3.500 3.500 2.917 2.917 0.000 0.000 0.000]

• • • • • • • • • •
• • • • • • • • • •

Çıkıntı eğitim kümesi Şekil 6.5' de verilmiştir.



Şekil 6.5. Çıkıntı eğitim kümesi

Çıkıntı eğitim kümesi için hesaplanan yüz sayısal değer vektörleri aşağıdaki gibidir :

[1.500 2.500 2.500 2.500 2.500 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[1.600 2.639 2.639 2.611 2.556 2.556 0.000 0.000 0.000 0.000]

[1.787 3.139 3.042 2.820 2.695 2.528 2.500 0.000 0.000 0.000]

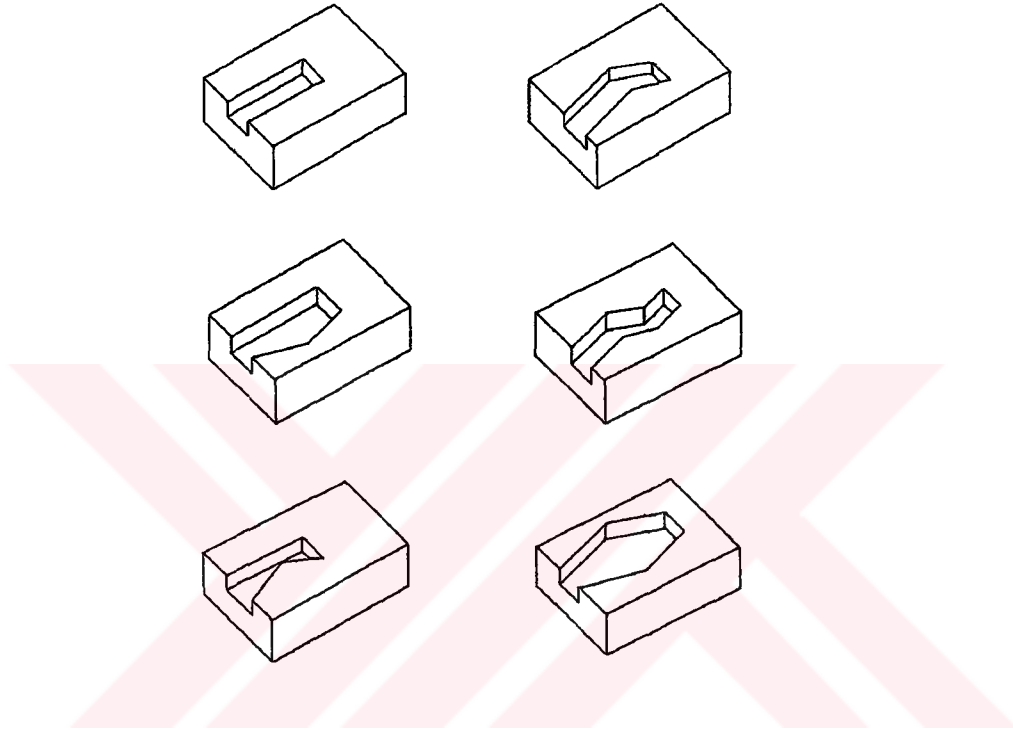
[1.333 2.389 2.361 2.250 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[1.667 3.028 2.986 2.347 2.306 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[1.805 3.083 3.083 3.042 3.042 2.333 2.250 0.000 0.000 0.000]

• • • • • • • • • •
• • • • • • • • • •

Kör kanal eğitim kümesi Şekil 6.6' da verilmiştir.



Şekil 6.6. Kör kanal eğitim kümesi

Kör kanal eğitim kümesi için hesaplanan yüz sayısal değer vektörleri aşağıdaki gibidir :

[3.500 3.500 2.750 2.750 1.750 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[3.744 3.681 3.514 2.847 2.750 1.715 0.000 0.000 0.000 0.000]

[3.533 3.403 3.028 2.750 2.431 1.778 0.000 0.000 0.000 0.000]

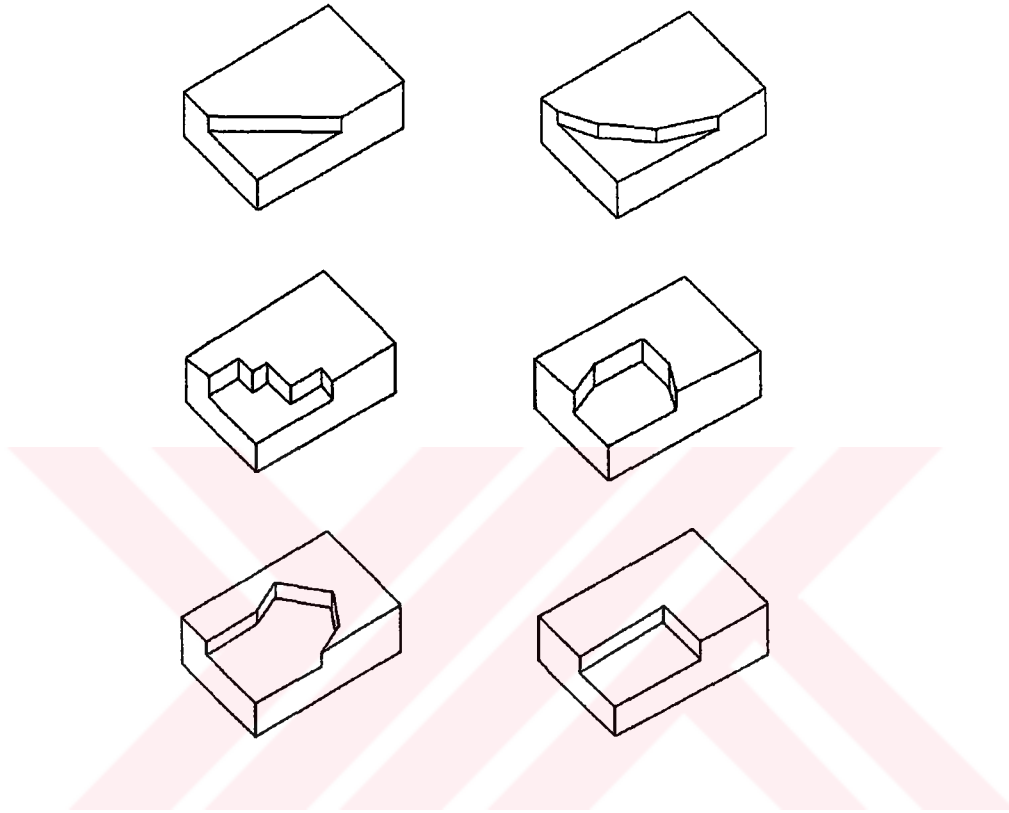
[3.778 3.764 3.500 3.070 2.903 2.431 1.750 0.000 0.000 0.000]

[3.910 3.695 3.500 3.347 3.292 3.139 2.875 2.431 1.750 0.000]

[3.926 3.695 3.695 3.611 2.834 2.834 1.695 0.000 0.000 0.000]

• • • • • • • • • •
• • • • • • • • • •

Köşe cep eğitim kümesi Şekil 6.7' de verilmiştir.



Şekil 6.7. Köşe cep eğitim kümesi

Köşe cep eğitim kümesi için hesaplanan yüz sayısal değer vektörleri aşağıdaki gibidir :

[2.333 2.250 1.759 1.741 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[3.375 3.000 3.000 3.000 3.000 2.750 2.750 1.667 1.667 0.000]

[3.436 3.695 3.667 3.278 2.695 2.417 1.657 1.546 0.000 0.000]

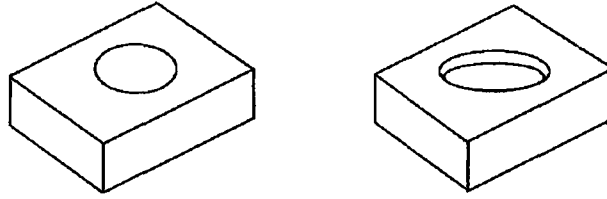
[3.000 2.889 2.625 2.625 1.787 1.787 0.000 0.000 0.000 0.000]

[3.454 3.750 3.736 2.917 2.889 1.648 1.639 0.000 0.000 0.000]

[2.750 2.750 2.750 1.667 1.667 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

• • • • • • • • • •
• • • • • • • • • •

Delik eğitim kümesi ve kör delik eğitim kümesinde yer alan örnekler Şekil 6.8' de verilmiştir.



Şekil 6.8. Delik ve kör delik

Delik eğitim kümesi için hesaplanan yüz sayısal değer vektörleri aşağıdaki gibidir :

[3.000 3.000 2.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[3.000 3.000 2.185 1.815 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[3.000 3.000 2.037 1.963 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[3.000 3.000 2.148 1.852 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[3.000 3.000 2.111 1.889 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[3.000 3.000 4.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

• • • • • • • • • •
• • • • • • • • • •

Kör delik eğitim kümesi için hesaplanan yüz sayısal değer vektörleri aşağıdaki gibidir :

[4.000 4.000 5.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[3.444 3.444 4.444 1.815 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[4.111 4.111 5.111 2.037 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[4.000 4.000 4.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[4.222 4.222 4.111 2.074 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

[4.333 4.333 5.333 2.111 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

.
.

- Adım 4 : Unsur sınıflarının belirlenmesi için kullanılacak sinirsel ağ çıktı değerlerinin belirlenmesi.

Adım 2' de belirlenen sekiz unsur sınıfı için sekiz adet çıktı nöronu kullanılmıştır. Sinirsel ağ yapısına uygun olarak, her sınıf vektörlerle ifade edilmiştir:

Kanal unsur sınıfı : [1 0 0 0 0 0 0 0]

Adım unsur sınıfı : [0 1 0 0 0 0 0 0]

Cep unsur sınıfı : [0 0 1 0 0 0 0 0]

Çıkıntı unsur sınıfı : [0 0 0 1 0 0 0 0]

Kör kanal unsur sınıfı : [0 0 0 0 1 0 0 0]

Köşe cep unsur sınıfı : [0 0 0 0 0 1 0 0]

Delik unsur sınıfı : [0 0 0 0 0 0 1 0]

Kör delik unsur sınıfı : [0 0 0 0 0 0 0 1]

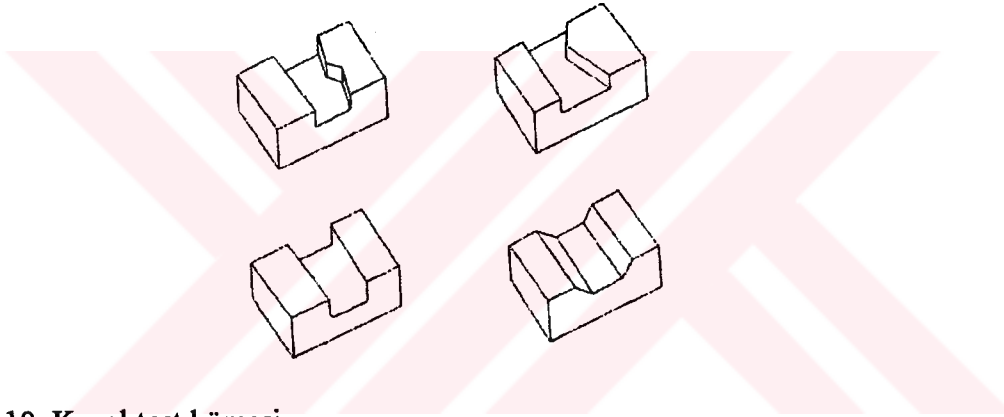
Parçanın unsur sınıfına kabul edilebilmesi için doğruluk seviyesi belirlenmiştir. Bu belirlemeler çok sayıda testler sonucu elde edilmiştir. Bu testlerden bazılarının doğruluk seviyeleri Şekil 6.9' da verilmektedir. Doğruluk seviyesinde kabul için 0.85 alınmıştır. Unsurun bir sınıfa kabul edilebilmesi için alması gereken en küçük değer 0.85 olmalıdır.

- Adım 5 : Seçilen eğitim kümeleri ile sinirsel ağın eğitilmesi.

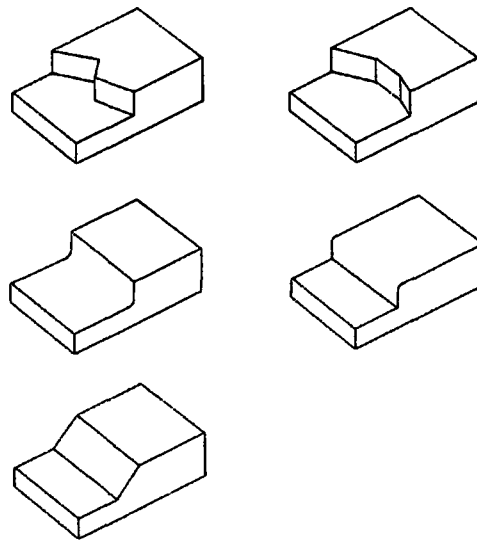
Adım 3' de belirlenen her eğitim kümesi için sinirsel ağa verilecek eğitim verileri oluşturulmuştur. Adım 3' de açıklandığı gibi hesaplanan, eğitim kümelerindeki unsur elemanlarının sayısal değer vektörleri ile çeşitli deneyler için hazırlanan sinirsel ağların eğitimi yapılmıştır. Eğitim verilerinin tamamı Ek A' da, eğitilmiş kümelerin çıkış değerleri ve eğitim sonrası hata değerleri Ek B' de yer almaktadır.

- Adım 6 : Eğitim kümeleri içinde yer almayan örneklerden oluşan test kümelerinin oluşturulması.

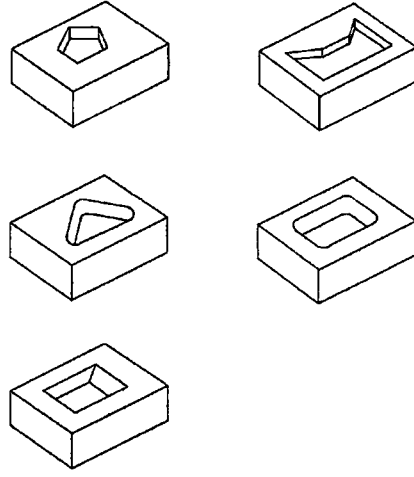
Bu çalışmada kullanılan kanal test kümesi Şekil 6.10' da, adım test kümesi Şekil 6.11' de, cep test kümesi Şekil 6.12' de, çıkıntı test kümesi Şekil 6.13' de, kör kanal test kümesi Şekil 6.14' de ve köşe cep test kümesi Şekil 6.15' de verilmektedir.



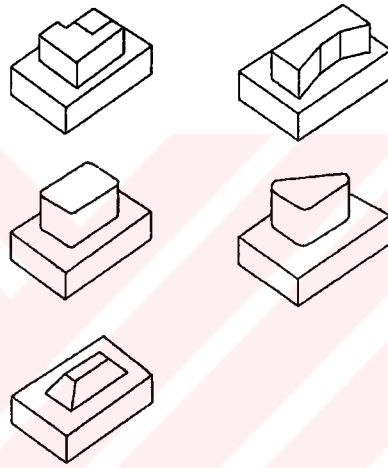
Şekil 6.10. Kanal test kümesi



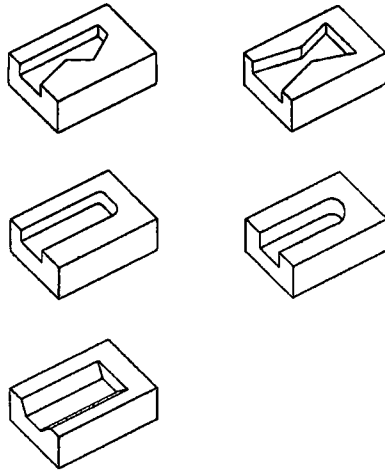
Şekil 6.11. Adım test kümesi



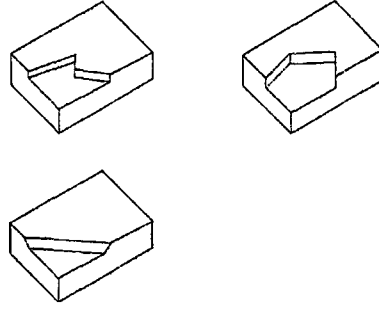
Şekil 6.12. Cep test kümesi



Şekil 6.13. Çıkıntı test kümesi



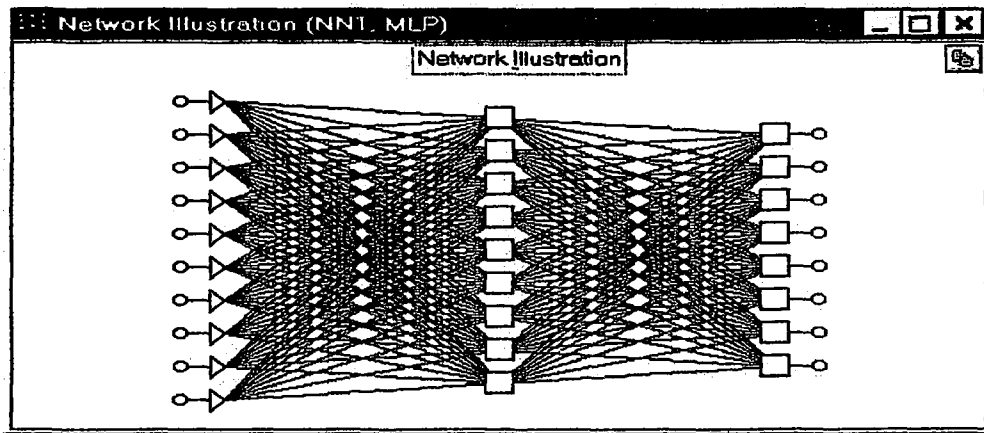
Şekil 6.14. Kör kanal test kümesi



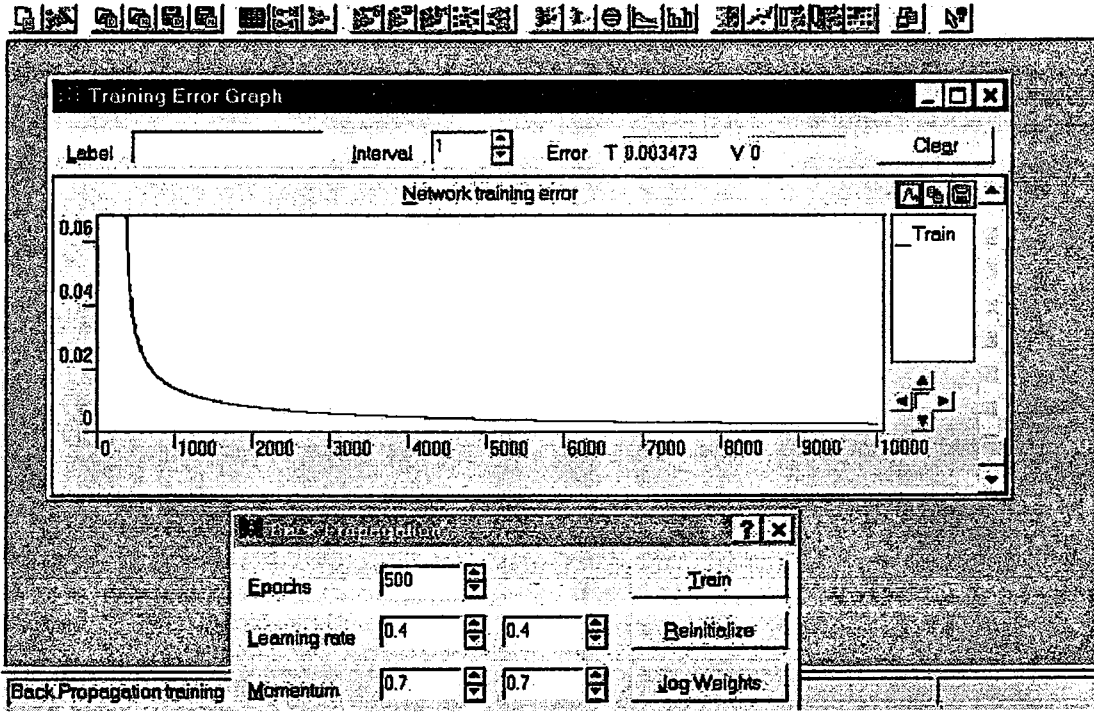
Şekil 6.15. Köşe cep test kümesi

- Adım 7 : Sinirsel ağ yapısının ve ağ parametrelerinin belirlenmesi.

Literatürde yer alan değişik konulardaki sınıflama problemleri çalışmalarında MLP (multi layer perceptron) yapısı ve geriye yayılma (back propagation) algoritması kullanan sinirsel ağların başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. (Chung ve Kusiak, 1994). Özellikle, sınıflara ayrılacak olan veriler lineer olmayan ilişkilere sahipse gizli katmanın kullanılması mutlaka gereklidir. Araştırmacıların üzerinde durduğu bir nokta, gizli katman sayısı ve her gizli katmandaki nöron sayılarının belirlenmesinde genel bir kural olmadığı, problemin yapısına göre seçimlerin yapılması gerektiğidir. Bunun için farklı gizli katman sayısı ve her gizli katmandaki farklı nöron sayıları için problemin tekrarlı çözümleri ile, unsur tanıma problemi için en uygun ağ yapısı seçilmiştir. Gizli katmanında çeşitli sayılarda nöron içeren bir gizli katmanlı ağlarda çeşitli ilk ağırlık değerleri, öğrenme oranı ve momentum değerleri için deneyler yapılmıştır (Ek C). Bir örnek olarak 9 nöronlu bir gizli katmanlı sinirsel ağın şematik gösterimi Şekil 6.16' da ve hata grafiği Şekil 6.17' de verilmektedir.



Şekil 6.16. Dokuz nöronlu bir gizli katmanlı ağın gösterimi



Şekil 6.17. Dokuz nöronlu bir gizli katmanlı ağıın hata grafiğı

Bir gizli katmanlı ağlarla unsurların tanınmasında başarılı sonuçlar alınamamıştır. Bir gizli katmanlı ağıın başarısız tanıma sonuçlarından biri örnek olarak aşağıda verilmektedir:

Adım unsur testi yüz sayısal değır vektörü:

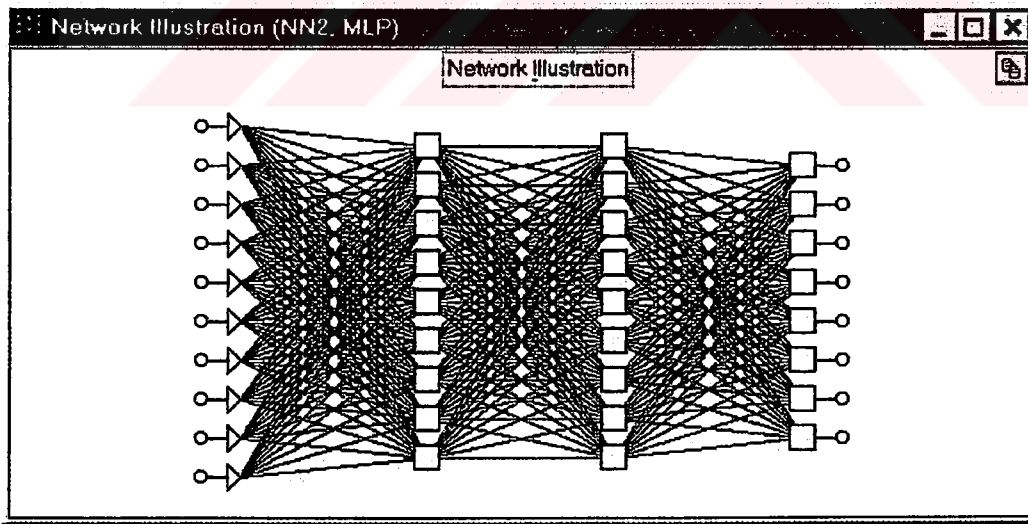
	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.926	3.889	2.917	2.861	1.648
	a6	a7	a8	a9	a10
	1.611	1.5	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.1643	4.486e-05	2.051e-08	0.08514	0.0005222
	A16	A17	A18		
	0.001871	0.1052	8.245e-05		

Bu sonuçtan sonra gizli katman sayısının artırılmasına karar verilmiştir. İki gizli katmanlı ağlar için de bir seri deneyler yapılmıştır. Bir gizli katmanda olduğu gibi iki

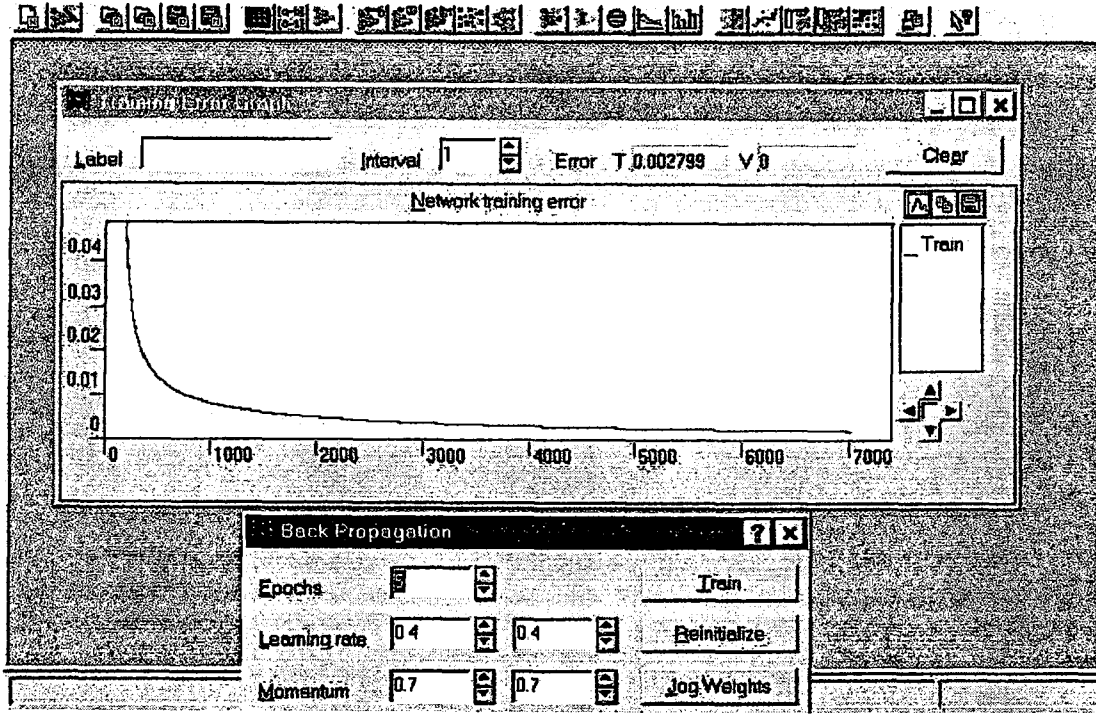
gizli katmanda da en iyi sonucu verecek nöron sayıları ve öğrenme parametreleri değerleri için bölgesel minimuma yakalanma olasılığını da göz önünde tutarak farklı ilk ağırlık değerlerinde farklı çözümler denenmiştir (Ek C).

Gizli katmanlardaki nöron sayılarının az olduğu durumlarda iyi sonuçlara ulaşılamamış ve bu ağlar tanımada başarısız olmuşlardır. Gizli katman nöron sayılarının artırıldığı deneylerde iyileşmeye doğru gidilmiştir. Ancak, gizli katman nöron sayılarının çok fazla olduğu deneylerde ise yine başarısız sonuçlar alınmıştır. Örneğin, gizli katmanlarındaki nöron sayılarının 20 olduğu bir sinirsel ağın öğrenmesi yavaş olmuştur. Ayrıca, tanımada başarısız sonuçlar alınmıştır.

En iyi sonuçlar, gizli katmanlarındaki nöron sayılarının 9 olduğu iki gizli katmanlı sinirsel ağda elde edilmiştir. Elde edilen ağın gösterimi Şekil 6.18' de, hata grafiği Şekil 6.19' da verilmektedir. Chung ve Kusiak, (1994) tarafından yapılan literatür inceleme çalışmalarında da, gizli katmandaki nöron sayılarının tespiti için $(\text{girdi nöronları sayısı} + \text{çıkış nöronları sayısı}) / 2$ kadar nöron seçilmesinin bazı araştırmacılar tarafından tercih edildiği belirtilmektedir. Gizli katmandaki nöron sayısının çok fazla olması çözüm süresini arttırmakta, yeterli sayıda nöron kullanılmaması ise yakınsama ile ilgili problemler yaşanmasına sebep olmaktadır.



Şekil 6.18. Dokuz nöronlu iki gizli katmanlı ağın gösterimi

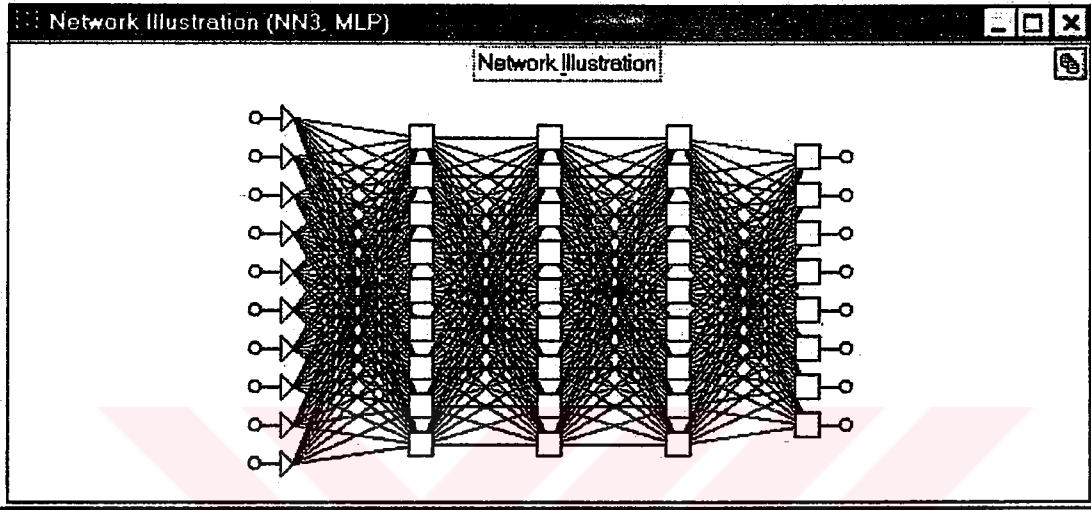


Şekil 6.19. Dokuz nöronlu iki gizli katmanlı ağı hata grafiği

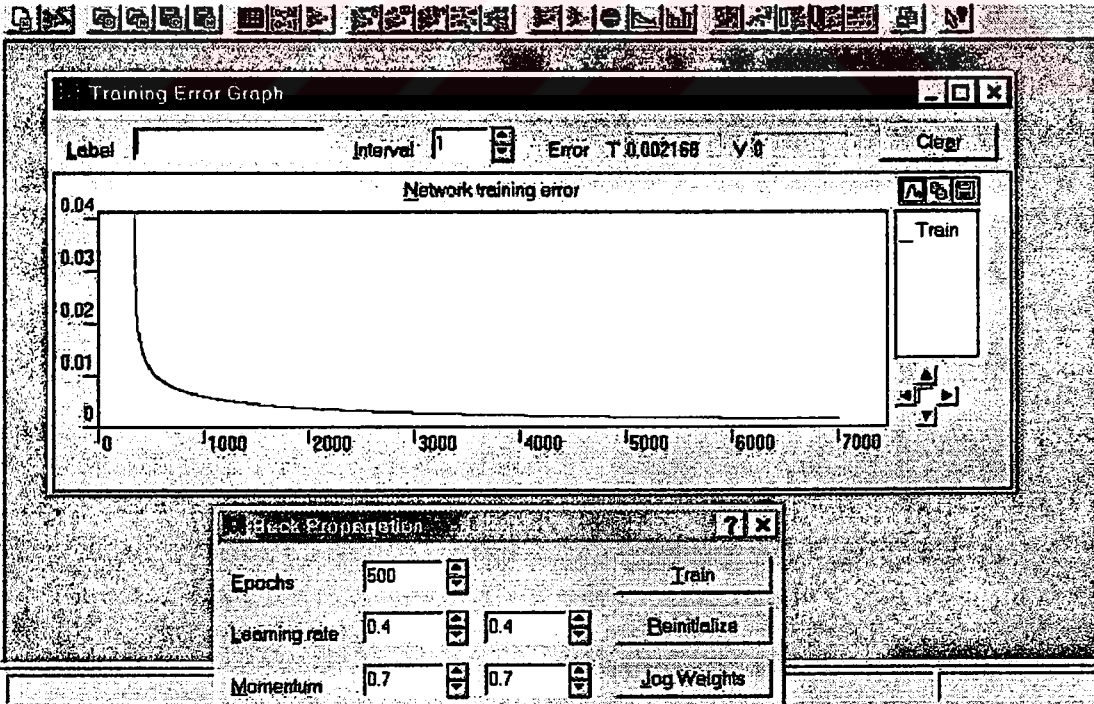
Sinirsel ağlarda önemli iki parametre, öğrenme oranı ve momentumdur. Öğrenme oranı, optimizasyon işleminde ilerleme adımına karşılıktır. Adımın büyük seçilmesi minimum noktaya çabuk ulaşılmasını sağlayabilir. Ancak, büyük adım seçildiği zaman yakınsamanın olmadığı görülmüştür. Adımın büyüklüğünden dolayı minimum noktanın aşıldığı ve işlemlerin farklı alanlara doğru yönelerek ırsadığı gözlemlenmiştir. Adımın çok küçük seçilmesi halinde ise minimum noktaya ulaşma, doğal olarak çok zaman almaktadır. Gradyen işlemlerini esas alan geriye yayılma algoritmasında bölgesel minimuma ulaşma problemi vardır (Wang, 1995). Bölgesel minimumun aşılması için momentum kullanılması önerilmektedir. Momentum değeri verilerek bölgesel minimumun aşılması, global minimuma veya en iyi bölgesel minimuma ulaşılması sağlanabilir.

Bölgesel minimumdan kurtulmak için önerilen ikinci bir işlem, aynı ağı tekrarlı çözümleridir. Bu çözümler içinden en uygun olanları seçilebilir. Bu çalışmada, çeşitli ilk ağırlık değerleri, öğrenme oranı ve momentum değerleri ile yapılan deneyler sonucu en başarılı tanıma, öğrenme oranının 0.4, momentumun 0.7 olduğu durumda elde edilmiştir (Ek C). İlk ağırlık değerleri, her bir öğrenme sürecinde farklı hata grafiği elde edilemeyene kadar değiştirilmiştir.

Gizli katman sayısının artırılmasının getirebileceği değişimleri incelemek amacıyla ikiden fazla gizli katmana sahip olan sinirsel ağlar için de benzer deneyler tekrarlanmıştır. Üç gizli katman için yapılan deneyler serisinde en iyi ağ yapısı, gizli katmanlardaki nöron sayılarının 9 olduğu durumda elde edilmiştir. Ancak, bu ağın da öğrenmesi çok yavaş olmuş ve tanımda başarısız sonuçlar alınmıştır. Üç gizli katmanlı ağın gösterimi şekil 6.20' de, hata grafiği şekil 6.21' de verilmektedir.



şekil 6.20. Üç gizli katmanlı ağın gösterimi



şekil 6.21. Üç gizli katmanlı ağın hata grafiği

Üç gizli katmanlı ağı başarısız tanıma sonuçlarından biri örnek olarak aşağıda verilmektedir:

Çıkıntı unsur testi yüz sayısal değer vektörü:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	1.75	3	3	3	3
	a6	a7	a8	a9	a10
	2.5	2.5	2.5	2.5	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.002228	0.9952	2.352e-07	0.004345	5.119e-06
	A16	A17	A18		
	0.0007285	8.645e-05	5.317e-06		

Sonuç olarak, üzerinde çalışılan sekiz unsur sınıfına ait tanıma problemlerinin çözümünde en iyi sinirsel ağ yapısı, gizli katmanlarında 9 nöron içeren iki gizli katmanlı sinirsel ağıdır.

İşlemlerin sona erdirilmesi için durdurma kriterinin belirlenmesi gerekir. Durdurma kriteri, hatanın belli bir tolerans sınırları içinde kalan değeri veya maksimum iterasyon sayısıdır.

Yapılan tüm deneylerde, ilk 200-300 iterasyona kadar hatanın büyük düşüş gösterdiği, 200-300 iterasyondan sonra hata düşüşlerinin çok daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan ağ yapısının belirlenmesinde doğruluk (verification) kümelerinden de yararlanılmıştır. Doğruluk kümesi, eğitim (training) kümesi içinde rasgele olarak seçilmiş kümelerden oluşturulmuştur. Doğruluk ve eğitim kümesinin ağı eğitimi sırasında gösterdikleri performans değerlerine göre gizli katman ve nöron sayıları tespit edilmeye çalışılmıştır. Kümelerin performans değerlendirmesi ağı hata değerleri temelinde ele alınmıştır. Hata değerleri (T-training error, V-verification error) gözlenerek, ağı unsur tanıma için yeterli nöron veya gizli katman sayıları araştırılmıştır. Bu araştırma için yapılan deneylerin özeti Ek D' de verilmektedir.

- Adım 8 : Eğitilmiş ağın test edilmesi.

Yapılan çok sayıda denemeler sırasında, unsurları tanıma ve sınıflamada karşılaşılan problemler, ağın parametreleri ve eğitim kümeleri düzenlenerek giderilmiştir.

Test sonuçları Ek E' de verilmiştir :

Adım 6' da verilen test unsurları ile yapılan denemeler sonucu oluşturulan sinirsel ağın unsurları tanıma ve sınıflara ayırmada başarılı olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada ayrıca, literatürde farklı unsur tanıma yöntemleri kullanılarak üzerinde çalışılan bazı parçalar ile uygulamalarda görülen bazı parçalardaki unsurların tanınması, oluşturulan sinirsel ağ ile yapılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Bu parçalardaki unsurların tanınmasıyla ilgili yapılan çalışmalar Ek F' de verilmektedir.

- Geliştirilen yöntemin geçerliliğini ve literatüre katkısını göstermek için karmaşık unsurlar içeren, prizmatik ve silindirik çeşitli parçalar üzerinde yapılan deneylerin sonuçları Ek G' de verilmektedir. Örnek parçalar, literatürden alınan ve pratik iş parçalarından seçilmiştir. Literatürden seçilen parçalar standart unsurları içerdiği için bu örnek parçalara standart dışı unsurlar eklenerek, basit yapıları karmaşık şekle dönüştürülmüştür. Ayrıca, silindirik parçalar seçilerek çeşitli unsur tanıma deneyleri yapılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır.
- Sinirsel ağın unsur tanıma işlemi nominal çıkış değişkenleri { Kanal, Adım, Cep, Çıkıntı, Körkanal, Kösecep, Delik, Kördelik } kullanılarak da yapılmıştır. Nominal çıkış değişkenlerinin kullanıldığı eğitim ve test sonuçları Ek H' de verilmiştir.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yirmi birinci yüzyılın üretim felsefesi olarak kabul edilen CE yaklaşımında, tasarım ve sonrası uygulamaların bütünleşmesi alanında çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. CAD veri tabanından tasarım sonrası uygulamalar için gerekli bilgilerin çıkarılması, bütünleşme açısından önemli bir gereksinimdir. Son yıllarda CAD veri tabanından bilgi çıkarımı için çeşitli yöntemler geliştirilmiş olup, bu konuda çalışmalar devam etmektedir. Ancak, devam eden çalışmalarda henüz istenen düzeyde sonuçlar elde edilememiştir. Yapılan çalışmalarda unsur teknolojisi en iyi yaklaşım olarak kabul edilmektedir.

Unsurlar tasarım sonrası uygulamalarda kullanılan kanal, adım, cep, delik gibi elemanlarla ilgili bilgi kümeleridir. Unsur çıkarımı konusunda yapılan çalışmalarda iki önemli problem görülmektedir:

- Önceden tanınmamış, standart dışı ve karmaşık yapıda unsurların tanınması
- Unsurlar arasındaki ilişki

Bu tezde, önceden tanınmamış standart dışı ve karmaşık yapıda unsurların tanınmasını da içerecek şekilde CAD ürün modelinin unsur tabanlı bir modele dönüştürülmesi önerilmiştir. Standart dışı unsur tanımı, karmaşık yapıda ve unsur kütüphanelerinde yer almayan, ilk defa karşılaşılan unsurları belirtmektedir. Bunun için yüz sayısal değerleri yaklaşımı ve sinirsel ağ çözüm tekniğinden oluşan bir unsur tanıma algoritması geliştirilmiştir. Önerilen yöntem, kanal, adım, cep, çıkıntı, kör kanal, köşe cep, delik ve kör delik unsur gruplarında yer alan standart ve standart dışı unsurları tanımaktadır.

Unsurlar arasındaki ilişki tezin konusu dışındadır. Bu konuda yapılacak çalışmalar, işlem planlamasında operasyon sıralarının belirlenmesi, kurgu planlarının çıkarılması ve aparat tasarımı konularında işlemlerin otomatik yapılması için kullanılabilir.

Yapılan denemelerde elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin unsur çıkarım için kullanılabileceğini göstermiştir. Unsur tanıma ve unsur sınıflarının belirlenmesi çalışmalarında kullanılabilecek, ağ yapısını oluşturan gizli katman sayıları, nöron sayıları, eğitim parametreleri öğrenme performansı açısından incelenmiş ve en iyi değerler bulunmuştur. İlk ağırlık değerlerinin, ağın yakınsaması ve performansı üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

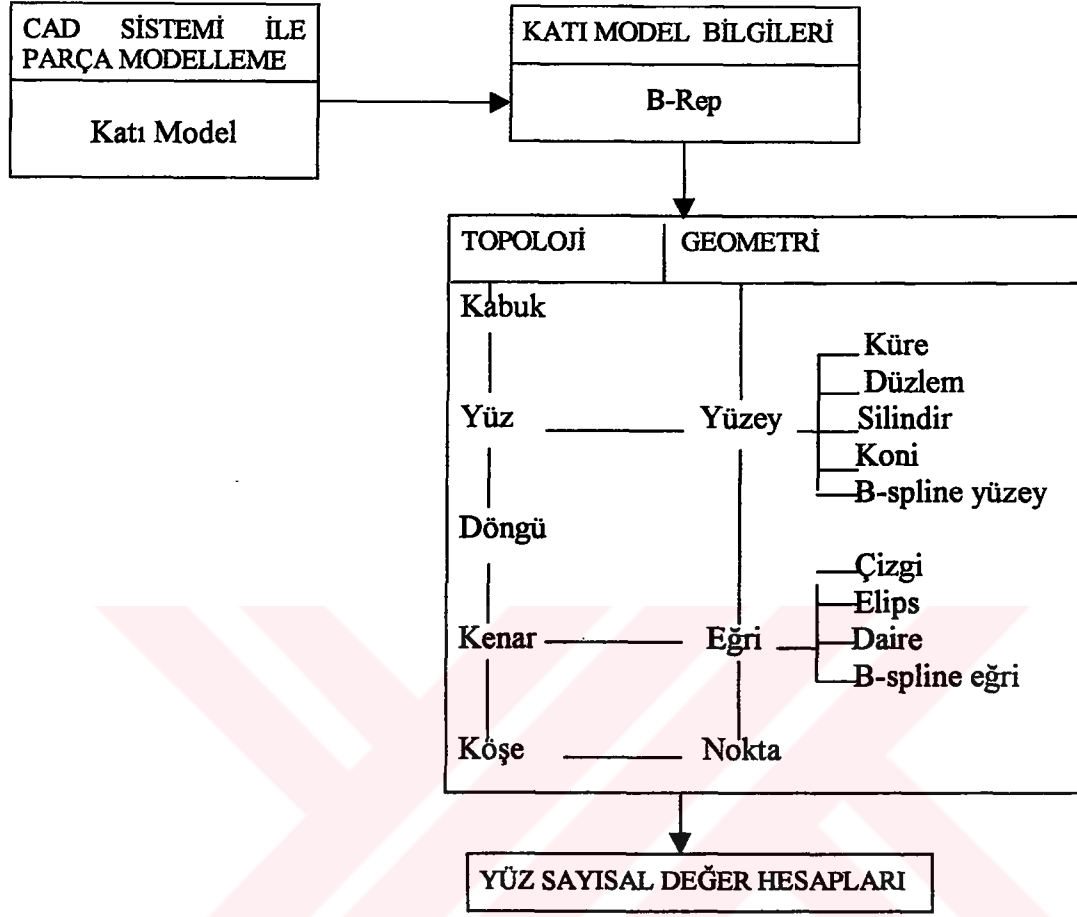
Bu tezde önerilen yöntem :

- Önceden tanınmamış, unsur kütüphanesinde yer almayan unsurları tanıyabilme özelliğine sahiptir.
- Literatürde yer alan unsur tanıma çalışmaları genelde prizmatik parçalar içermektedir. Bu çalışmada silindirik ve standart dışı unsurlar içeren parçalar da unsur tanıma işlemlerinde kullanılmıştır.
- Diğer unsur tanıma yöntemlerine göre daha kolay uygulanabilir bir algoritmaya sahiptir ve unsur çıkarım özelliği daha iyidir.
- Tasarım ve sonrası uygulamalarda bilginin paylaşımı ile bütünleşmeye katkısı olmuştur.

Yöntemin eksiklikleri ve bundan sonra yapılması gereken çalışmalar aşağıda verilmiştir:

- Yöntemin tanıdığı unsurlar, çizgi, yay ve daire şeklinde sınırları içermektedir. Eğri yüzeylerin (free form) tanınması için yöntemin geliştirilmesi gerekmektedir.
- Sinirsel ağ ile yüz sayısal değerlerini otomatik olarak CAD veri tabanından oluşturacak programın birlikte çalışabileceği bir yapıya dönüştürülmesi için ara birim yazılımlarına gereksinim vardır. Bu çalışmalar, farklı CAD programları için veri tabanından bilgi çıkarımında değişiklik yapılmasını gerektirmeyecek şekilde PDES/STEP standart çalışmaları sonuçlarına göre yapılabilir. PDES/STEP standart çalışmaları sonuçlandığı zaman, CAD sistemlerinin katı model ile ilgili veri tabanları formatları belirlenmiş olacaktır. Böylece, farklı yapılarda olan CAD veri tabanı bilgilerine ulaşım için yazılması gereken çeşitli bilgisayar programları yerine, yazılacak standart bir program ile verilere ulaşılabilecektir. Yazılacak programın katı model geometrik ve topolojik

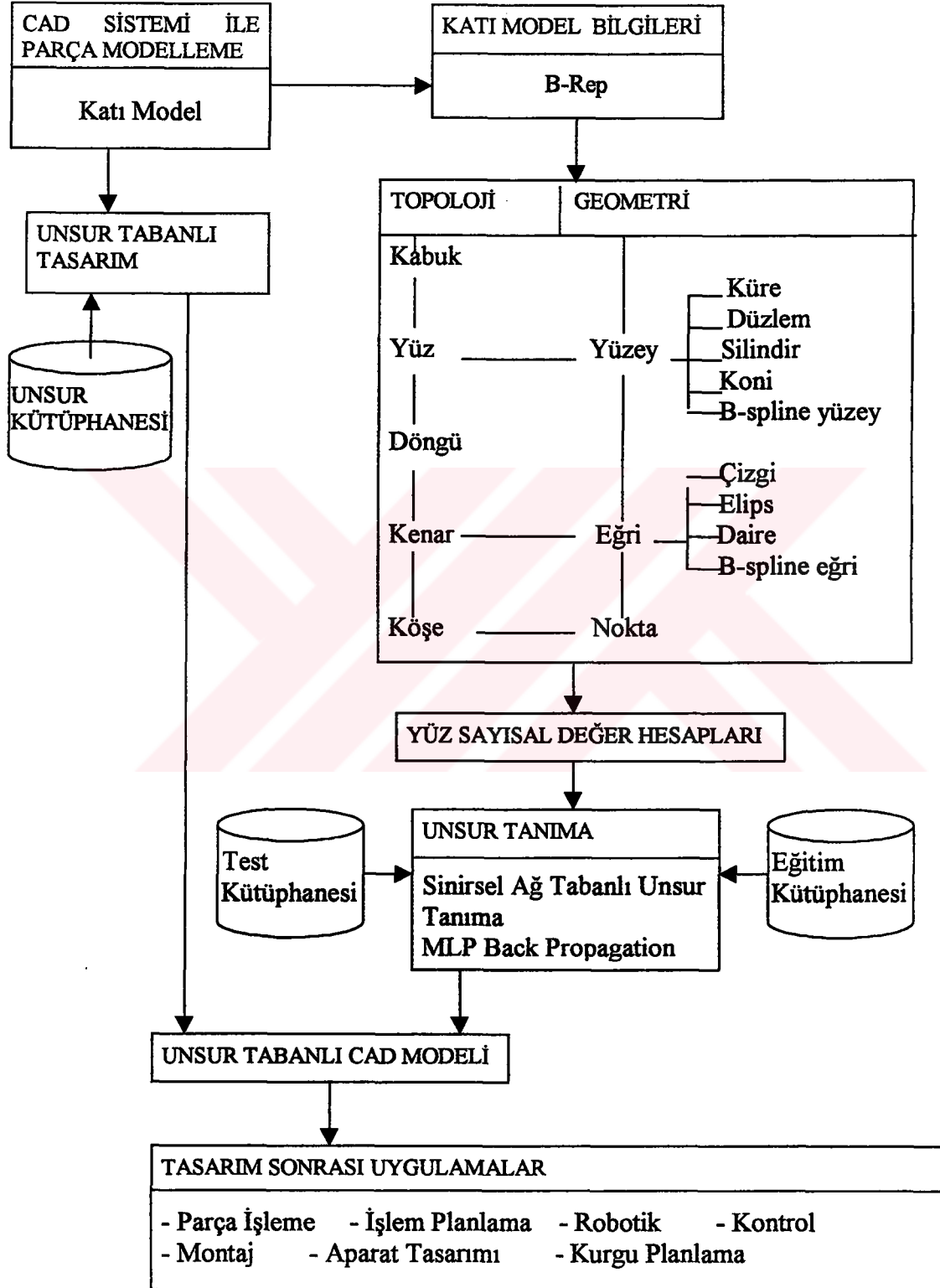
bilgilerini standartlaştırmış veri tabanı formatından okuması ve gerekli hesaplamaları yapması gerekecektir.



Şekil 7.1. Katı model topolojik ve geometrik bilgileri yapısı

Şekil 7.1' de katı model topolojik ve geometrik bilgileri yapısı özet şeklinde verilmiştir. Programın akış diyagramı bu yapıya göre hazırlanmalıdır. Örneğin, köşe nesnesi geometrik bilgiye erişim için nokta tanımı ile verilmektedir. Nokta ile ilgili geometrik bilgiler CAD veri tabanında yer alan üç boyutlu çalışmalarda x, y, z koordinatlarıdır. Kullanılan format, koordinatların veri tabanında saklanma şeklidir. Bu nedenle, bilgisayar programı formata uygun okuma deyimlerini kullanabilecek şekilde yazılmalıdır. Ancak, veri tabanı formatlarının belirlenmesinden sonra standart bir program yazılabilir.

Bu çalışmada önerilen unsur tanıma sistemi ve yazılacak programın bu yapı içinde yer aldığı kısım Şekil 7.2' de verilmiştir. Program, veri tabanı bilgilerini kullanarak CAD sistemi ile unsur tanıma sistemi arasındaki iletişimi sağlamalıdır.



Şekil 7.2. Önerilen sinirsel ağ tabanlı unsur tanıma sistemi

- Bilgisayar donanım ve yazılım alanında çalışma yapan, veri tabanlarına ulaşım konusunda deneyimli araştırmacıların standart yapıyla uyum içinde olacak programı yazması gerekmektedir. Bu tür bir programın yazılabilmesi için çok büyük veri tabanlarında bilgiye en hızlı ulaşım ve sonrasında bu bilginin kullanımı için en iyi yöntemin belirlenmesi türünde çalışmalara gereksinim duyulacaktır. Nesneye yönelik programlama yapısı bilgiye erişim açısından günümüzde çok tercih edilen bir programlama mantığıdır. Nesnelere ulaşıldığı zaman o nesne ile ilgili bilgilere ulaşılabilir. Geometrik elemanların nesneler ile tanımlanması özelliği programda kullanılabilir. Nesneyi oluşturan alt elemanlar o nesneye ait bilgileri içermektedir. Örneğin bir kenar ile ilgili kayıt tanımında kullanılabilecek bir recordun tanımlanması

<record ismi> = RECORD

<1. alt alan ismi > : <1. alt alan tanımı>

<2. alt alan ismi > : <2. alt alan tanımı>

<3. alt alan ismi > : <3. alt alan tanımı>

end

şeklinde ve kenar nesnesi için kullanılabilecek kayıt

edge = RECORD

edge_id_no : integer;

edge_first_point : vertex1;

edge_second_point : vertex2;

edge_direction_vector : evector;

end;

vertex1 = RECORD

vertex_id_no : integer;

x_coordinate : real;

y_coordinate : real;

```
z_coordinate : real;  
end;
```

```
vertex2 = RECORD
```

```
vertex_id_no : integer;  
x_coordinate : real;  
y_coordinate : real;  
z_coordinate : real;  
end;
```

şeklinde tanımlanabilir. Kenar nesnesine ait "edge" kayıtları kenar ile ilgili bilgileri içeren alt alanlardan oluşmaktadır ve alt alanlar da kayıtlar şeklindedir. Böylece, bir ağaç ve dalları şeklinde nesneye ait ağaç yapı oluşturulabilir. Nesne ile ilgili bilgilere erişim için bütün alanların taranması gerekmektedir.

PDES/STEP çalışmalarını yürüten konsorsiyumun standart olarak kullanılabilecek bir programın yazılması için yapılacak çalışmayı da yürütmesi beklenmektedir. Günümüzde çeşitli veri tabanı ulaşım programları yazılmasına rağmen tam bir çözüme ulaşılamaması konsorsiyumun standart bir program yazılabilmesi için bu çalışmayı yürütmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu çalışmada özellikle standart dışı olarak tanımlanan ve daha önce tanımlanmamış unsurların tanınması ele alınmıştır. Geliştirilen yöntemin geçerliliğini ve literatüre katkısını göstermek için karmaşık unsurlar içeren, prizmatik ve silindirik çeşitli parçalar üzerinde deneyler yapılmıştır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, bu tezde yapılan araştırmanın devamı olarak, birinci aşamada yukarıda belirtilen ek çalışmalar yapılabilir ve ikinci aşama olarak yöntem, tasarım sonrası bir uygulama alanı için denenebilir. Örneğin, tasarım sonrası uygulama alanı olarak imalat ortamının seçilmesi durumunda, grup teknolojisi, bilgisayar destekli işlem planlaması gibi bir konuda işlemlerin otomatik yapılabilmesi için unsurlar kullanılabilir. CAD veri tabanından kanal, delik gibi imalat unsurlarının çıkarılması, parça üzerinde yapılacak kanal açma, delik delme gibi operasyonların ve işlem parametrelerinin otomatik olarak seçilmesine yardımcı olacaktır.

Bazı unsurlar tasarım esnasında daha önceden oluşturulmuş unsur kütüphanelerinden faydalanarak kullanılabilir. Böylece unsur tanıma işlemlerinde azalma sağlanabilir. Bu nedenle, unsur tabanlı tasarım ile unsur tanıma sistemlerinin tek bir sistem yapısı altında ele alınması çalışmalarının devam ettirilmesi yararlı olacaktır.

Sonuç olarak, bu tezin orijinal katkısı, CIM ve CE' de tasarım ve sonrası uygulamaların bütünleşmesine yardımcı olacak ve unsur tanıma alanında yapılan çalışmaların eksikliklerini gidermek için kullanılacak bir unsur tanıma sisteminin geliştirilmesidir. Tam otomasyon anlamında bütünleşmenin sağlanmasında önemli adımlardan birinin gerçekleştiği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Albin, S.L. and Crefeld, P.J.**, 1994. Getting started : Concurrent engineering for a medium sized manufacturer, *Journal of Manufacturing Systems*, **13** (1), 48-58.
- Aldakhilallah, K.A. and Ramesh, R.**, 1997. Recognition of minimal feature covers of prismatic objects: A prelude to automated process planning, *International Journal of Production Research*, **35** (3), 635-650.
- Aldakhilallah, K.A. and Ramesh, R.**, 1999. Computer-Integrated Process Planning and Scheduling (CIPPS): intelligent support for product design, process planning and control, *International Journal of Production Research*, **37** (3), 481-500.
- Allada, V. and Anand, S.**, 1996. Machine understanding of manufacturing features, *International Journal of Production Research*, **34** (7), 1791-1819.
- Altıntaş, Y.**, 1988. Present state of manufacturing automation, *Computer Integrated Manufacturing*, pp. 415-425, Eds. Turksen, İ.B., Asai, K. and Ulusoy, G., NATO ASI Series F, **49**, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Anderson, J.A.**, 1983. Cognitive and psychological computation with neural models, in *Artificial Neural Networks: Theoretical Concepts*, pp. 19-35, Ed. Vemuri, V., Computer Society Press of the IEEE, Washington, 1988.
- Athanassopoulos, A.D. and Curram, S.P.**, 1996. A comparison of data envelopment analysis and artificial neural networks as tools for assessing the efficiency of decision making units, *Journal of the Operational Research Society*, **47** (8), 1000-1016.
- Babaev, A.**, 1998. Bulanık mantık ve uygulamaları, U.Ü. Müh.-Mim.Fak., Bursa.
- Bahrami, A., Lynch, M. and Dağlı, C.H.**, 1995. Intelligent design retrieval and packaging system: application of neural networks in design and manufacturing, *International Journal of Production Research*, **33** (2), 405-426.
- Bedworth, D.D., Henderson, M.R. and Wolfe P.M.**, 1991. Computer-Integrated Design and Manufacturing, McGraw-Hill, United States of America.

- Bontadelli, J.A. and Kirby, K.E.**, 1991. Fundamentals of system integration, *Proceedings of International Industrial Engineering Conference*, Detroit, Michigan, May, 1991, 13-21.
- Bose, N.K. and Liang, P.**, 1996. Neural network fundamentals with graphs, algorithms and applications, McGraw Hill, Singapore.
- Brookes, N.J. and Backhouse, C.J.**, 1998. Understanding concurrent engineering implementation: a case-study approach, *International Journal of Production Research*, 36 (11), 3035-3054.
- Burke, L.I.**, 1993. An unsupervised neural network approach to tool wear identification, *IIE Transactions*, 25 (1), 16-25.
- Case, K.**, 1994. Using a design by features CAD system for process capability modelling, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 7 (1), 39-49.
- Case, K., Gao, J.X. and Gindy, N.N.Z.**, 1994. The implementation of a feature based component representation for CAD/CAM integration, *Part B: Journal of Engineering Manufacture*, ImechE, 71-80.
- Chamberlain, M.A., Joneja, A. and Chang, T.C.**, 1993. Protrusion-features handling in design and manufacturing planning, *Computer-Aided Design*, 25 (1), 19-28.
- Chan, C.C.H.**, 1994. Artificial neural network based feature recognition and grammar based feature extraction to integrate design and manufacturing, PhD Thesis, The University of Iowa, Iowa.
- Chang, T.C.**, 1990. Expert Process Planning for Manufacturing, Addison Wesley.
- Chang, T.C., Wysk, R.A. and Wang, H.P.**, 1998. Computer-Aided Manufacturing, Prentice-Hall, New Jersey.
- Chao, P.Y. and Yeh, S.C.**, 1999. Representation of standard mechanical components in a STEP-based product data management system, *International Journal of Computer Applications in Technology*, 12 (1), 16-26.
- Chen, C.L.P. and LeClair, S.R.**, 1994. Integration of design and manufacturing: solving setup generation and feature sequencing using an unsupervised-learning approach, *Computer-Aided Design*, 26 (1), 59-75.
- Chen, Y.H. and Lee, H.M.**, 1998. A neural network system for two-dimensional feature recognition, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 11 (2), 111-117.

- Chen, Y.M. and Wei, C.L., 1997.** Computer-aided feature-based design for net shape manufacturing, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, **10** (2), 147-164.
- Chung, Y. and Kusiak, A., 1994.** Grouping parts with a neural network, *Journal of Manufacturing Systems*, **13** (4), 262-275.
- Conkol, G.K., 1991.** The role of CAD/CAM in CIM, SME Blue Book Series, SME, Dearborn, Michigan.
- Conkol, G.K., 1994.** The role of CAD/CAM in CIM: the user perspective, SME Blue Book Series, SME, Dearborn, Michigan.
- Corney, J. and Clark, D.E.R., 1991.** Method for finding holes and pockets that connect multiple faces in 2½ D objects, *Computer-Aided Design*, **23** (10), 658-668.
- Curram, S.P. and Mingers, J., 1994.** Neural networks, decision tree induction and discriminant analysis: an empirical comparison, *Journal of the Operational Research Society*, **45** (4), 440-450.
- Curry, B. and Morgan, P., 1997.** Neural networks: a need for caution, *Omega-International Journal of Management Science*, **25** (1), 123-133.
- Dağlı, C.H. and Poshyanonda, P. and Bahrani, A., 1993.** Neuro-computing and concurrent engineering, *Concurrent Engineering*, pp. 465-486, Ed. Parsaei, H.R. and Sullivan, W.G., Chapman & Hall, Great Britain, Cambridge.
- Dinçmen, M., 1990.** Bilgisayar bütünleşik üretim ve benzetim, *Sanayide Bilgisayar Kullanımı ve Otomasyon*, İ.T.Ü., 1990, 169-203.
- Dong, J. and Parsaei, H.R., 1993.** Manufacturing features extraction and recognition in automated process planning, *Computers and Industrial Engineering*, **25** (1), 325-328.
- Dong, J. and Vijayan, S., 1997.** Manufacturing feature determination and extraction-Part I: optimal volume segmentation, *Computer-Aided Design*, **29** (6), 427-440.
- Dong, J. and Vijayan, S., 1997.** Manufacturing feature determination and extraction-Part II: a heuristic approach, *Computer-Aided Design*, **29** (7), 475-484.
- Duan, W., Zhou, J. and Lai, K., 1993.** FSMT: a feature solid- modelling tool for feature-based design and manufacture, *Computer-Aided Design*, **25** (1), 29-37.

- Dürr, H. and Schramm, M., 1997.** Feature based feedback into the early stages of design, *European Journal of Operational Research*, **100**, 338-350.
- Edosomwan, J.A., 1994.** Organizing for systems integration, *Guide to Systems Integration*, pp. 76-78, Ed. Mize, J.H., IIE, Georgia, USA.
- Feng, S.C. and Yang, Y., 1995.** A dimension and tolerance data model for concurrent design and systems integration, *Journal of Manufacturing Systems*, **14** (6), 406-425.
- Fields, M.C. and Anderson, D.C., 1994.** Fast feature extraction for machining applications, *Computer Aided Design*, **26** (11), 803-813.
- Freeman, J.A. and Skapura, D.M., 1992.** Neural Networks: Algorithms, Applications and Programming Techniques Addison-Wesley, United States of America.
- Fuh, J.Y.H., Chang, C.H. and Melkanoff, M.A., 1992.** A logic-based integrated manufacturing planning system, *Computers in Engineering*, ASME, San Francisco, California, August 1992, 391-400.
- Gibbons, A.J., 1994.** A standards framework for the computer integrated enterprise, *Guide to Systems Integration*, pp. 256-2263, Ed. Mize, J.H., IIE, Georgia, USA.
- Gupta, A. and Lam, M.S., 1996.** Estimating missing values using neural networks, *Journal of the Operational Research Society*, **47** (2), 229-238.
- Hales, H.L., 1985.** The importance of standards, *A program guide for CIM implementation*, pp. 91-101, Ed. Savage, C.M., CASA/SME, National Academy Press, Washington, D.C.
- Han, J.H., 1996.** 3D Geometric reasoning algorithms for feature recognition, PhD Thesis, University of Southern California, California, USA.
- Han, J.H. and Requicha, A.G., 1997.** Integration of feature based design and feature recognition, *Computer Aided Design*, **29** (5), 393-403.
- Haykin, S., 1994.** Neural networks: A comprehensive foundation, Macmillan College, United States of America.
- Henderson, M.R., 1994.** Manufacturing feature identification, *Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing*, pp. 229-264, Ed. Dağlı, C.H., Chapman & Hall, Great Britain, Cornwall.

- I-DEAS**, 1990. User's Guide, SDRC-Structural Dynamics Research Corporation, USA.
- I-DEAS Master Series**, 1998. User's Guide, SDRC-Structural Dynamics Research Corporation, USA.
- Ishii, K. and Miller, R.A.**, 1992. Design representation for manufacturability evaluation in CAD: beyond feature-based design, *Computers in Engineering*, ASME, San Francisco, California, August 1992, 37-44.
- Jo, H.H., Parsaei, H.R. and Sullivan, W.G.**, 1993. Principles of concurrent engineering, *Concurrent Engineering*, pp. 3-23, Ed. Parsaei, H.R. and Sullivan, W.G., Chapman & Hall, Great Britain, Cambridge.
- Johnson, Carl.**, 1994. CIM success requires integrated planning techniques, *Guide to Systems Integration*, pp. 63-75, Ed. Mize, J.H., IIE, Georgia, USA.
- Joshi, S. and Chang, T.C.**, 1988. Graph-based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model, *Computer Aided Design*, 20 (2), 58-66.
- Kao, Y.C. and Lin, G.C.I.**, 1996. CAD/CAM collaboration and remote machining, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 9 (3), 149-160.
- Kaparthi, S. and Suresh, N.C.**, 1991. A neural network system for shape-based classification and coding of rotational parts, *International Journal of Production Research*, 29 (9), 1771-1784.
- Kappert, J.H., Houten, F.J.A.M. and Kals, H.J.J.**, 1993. The application of features in airframe component design and manufacturing, *Annals of the CIRP*, 42 (1), 523-526.
- Kim, Y. and O'grady, P.J.**, 1996. A methodology for analysing large-scale concurrent engineering systems, *International Journal of Production Research*, 34 (3), 633-645.
- Kim, Y.S.**, 1992. Recognition of form features using convex decomposition, *Computer-Aided Design*, 24 (9), 461-470.
- Kim, Y.S. and Roe, K.D.**, 1992. Conversions in form feature recognition using convex decomposition, *Computers in Engineering*, ASME, San Francisco, California, August 1992, 233-244.
- Koenig, D.T.**, 1993. Using concurrent engineering techniques for design for manufacturability, *44th International Industrial Engineering Conference Proceedings*, Los Angeles, California, May 1993, 218-228.

- Kosko, B.**, 1992. Neural networks and fuzzy systems : A dynamical systems approach to machine intelligence, Prentice Hall, United States of America.
- Kovacs, G.L., Mezgar, I. and Nacs, J.**, 1994. Concurrent engineering approach to support CIM reference model-based FMS design, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 7 (1), 17-27.
- Kulkarni, V.S. and Pande, S.S.**, 1995. A system for automatic extraction of 3D part features using syntactic pattern recognition techniques, *International Journal of Production Research*, 33 (6), 1569-1586.
- Kulkarni, V.S. and Pande, S.S.**, 1996. Representation of feature relationship tolerances in solid models, *International Journal of Production Research*, 34 (7), 1975-1994.
- Kumara, S.R.T., Kao, C.Y., Gallagher, M.G. and Kasturi, R.**, 1994. 3-D Interacting manufacturing feature recognition, *Annals of the CIRP*, 43 (1), 133-136.
- Laakko, T. and Mantyla, M.**, 1993. Feature modelling by incremental feature recognition, *Computer Aided Design*, 25 (8), 479-492.
- Landers, T.L. and English, J.R.**, 1992, Reliability CAD tools for concurrent engineering, *Proceedings of Industrial Engineering Research Conference*, Chicago, Illinois, May, 1992, 243-246.
- Lee, R.S., Chen, Y.M., Cheng, H.Y. and Kuo, M.D.**, 1998. A framework of a concurrent process planning system for mold manufacturing, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 11 (3), 171-190.
- Levy, P., Bessant, J., Levy, C., Smith, S. and Tranfield, D.**, 1991. Organizational strategy for CIM, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 4 (2), 80-90.
- Li, R.K., Taur, B.W. and Shyr, H.J.**, 1991. A two-stage feature-based design system, *International Journal of Production Research*, 29 (1), 133-154.
- Li, R.K., Tu, Y.M. and Yang, T.H.**, 1993. Composite feature and variational design concepts in a feature-based design system, *International Journal of Production Research*, 31 (7), 1521-1540.
- Li, R.K., Lin, C.Y. and Wu, H.H.**, 1995. Feature modification framework for feature based design systems, *International Journal of Production Research*, 33 (2), 549-563.

- Lin, A.C., Lin, S.Y. and Cheng, S.B., 1997.** Extraction of manufacturing features from a feature-based design model, *International Journal of Production Research*, **35** (12), 3249-3288.
- Lippmann, R.P., 1987.** An introduction to computing with neural nets, in *Artificial Neural Networks: Theoretical Concepts*, pp. 36-54, Ed. Vemuri, V., Computer Society Press of the IEEE, Washington, 1988.
- Liu, T.H. and Fischer, G.W., 1993.** Developing feature-based manufacturing applications using PDES/STEP, *Concurrent Engineering: Research and Applications*, **1**, 39-50.
- Logar, B. and Peklenik, J., 1991.** Feature-based part database design and automatic forming of part families for GT, *Annals of the CIRP*, **40** (1), 153-156.
- Main, B.W. and Ward, A.C., 1992.** A potential framework for CAD/CAE/CIM decisions, *Computers in Engineering*, ASME, San Francisco, California, August 1992, 61-67.
- Mertins, K. and Süssenguth, W., 1991.** Integrated information modelling for CIM, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, **4** (3), 123-131.
- Mistry, S.I. and Nair, S.S., 1992.** Development of a design tool incorporating neural networks, *Computers in Engineering*, ASME, San Francisco, California, August 1992, 69-74.
- Mitchell, F.H., 1991.** CIM Systems : An introduction to computer-integrated manufacturing, Prentice Hall, United States of America.
- Molloy, E. and Browne, J., 1993.** A knowledge based approach to design for manufacture using features, *Concurrent Engineering*, pp. 386-401, Ed. Parsaei, H.R. and Sullivan, W.G., Chapman & Hall, Great Britain, Cambridge.
- Nezis, K. and Vosniakos, G., 1997.** Recognizing 2½ D shape features using a neural network and heuristics, *Computer Aided Design*, **29** (7), 523-539.
- Nielsen, R.H., 1988.** Neurocomputing: Picking the human brain, in *Artificial Neural Networks: Theoretical Concepts*, pp. 13-18, Ed. Vemuri, V., Computer Society Press of the IEEE, Washington, 1988.
- Nnaji, B.O., Liu, H.C. and Rembold, U., 1993.** A product modeller for discrete components, *International Journal of Production Research*, **31** (9), 2017-2044.
- Qamhiyah, A.Z., 1996.** Form feature extraction and coding for design by features, PhD Thesis, University of Toronto, Toronto, Canada.

- O,Flynn, M.J. and Ahmad, M.M., 1993.** Computer based concurrent engineering systems, *Concurrent Engineering*, pp. 184-206, Ed. Parsaei, H.R. and Sullivan, W.G., Chapman & Hall, Great Britain, Cambridge.
- Perng, D.B., Chen, Z. and Li, R.K., 1990.** Automatic 3D machining feature extraction from 3D CSG solid input, *Computer Aided Design*, **22** (5), 285-295.
- Prabhakar, S. and Henderson, M.R., 1992.** Automatic form-feature recognition using neural-network-based techniques on boundary representations of solid models, *Computer Aided Design*, **24** (7), 381-393.
- Salomons, O.W, Houten, F.J.A.M. and Kals, H.J.J., 1993.** Review of research in feature-based design, *Journal of Manufacturing Systems*, **12** (2), 113-132.
- Sanoff, S.P. and Poilevey, D., 1991.** Integrated information processing for production scheduling and control, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, **4** (3), 164-175.
- Savage, C.M., 1985.** Case studies, *A program guide for CIM implementation*, pp. 105-133, Ed. Savage, C.M., CASA/SME, National Academy Press, Washington, D.C.
- Shah, J.J., 1991.** Assessment of features technology, *Computer-Aided Design*, **23** (5), 331-343.
- Shah, J.J. and Mathew, A., 1991.** Experimental investigation of the STEP form-feature information model, *Computer-Aided Design*, **23** (4), 282-296.
- Shah, J.J. and Rogers, M.T., 1988.** Expert form feature modelling shell, *Computer-Aided Design*, **20** (9), 515-524.
- Sheu, L.C. and Lin, J.T., 1993.** Representation scheme for defining and operating form features, *Computer-Aided Design*, **25** (6), 333-347.
- Singh, N., 1996.** Systems Approach to Computer - Integrated Design and Manufacturing, John Wiley & Sons, United States of America.
- Singh, N. and Wang, M.H., 1994.** Concurrent engineering in a high variety label printing environment, *International Journal of Production Research*, **32** (7), 1675-1691.
- Smith, P., 1994.** CAD/CAM data exchange, *Guide to Systems Integration*, pp. 270-274, Ed. Mize, J.H., IIE, Georgia, USA.

- Solid Edge**, 1997. Help Manual, Intergraph Corp., USA.
- Subrahmanyam, S.R.**, 1997. Feature recovery in CAD systems, PhD Thesis, Rensselaer Polytecnic Institute, Troy, Newyork..
- Ssemakula, M.E. and Satsangi, A.**, 1989. Application of PDES to CAD/CAPP integration, *Computers and Industrial Engineering*, 17 (1), 234-239.
- Trabelsi, A. and Meeran, S.**, 1996. Recognition and interpretation of interacting and non-interacting features using spatial decomposition and Hamiltonian path search, *International Journal of Production Research*, 34 (10), 2701-2725.
- Trajan-Neural Network Simulator**, 1998. User Manual Part 1 and Part 2, Trajan Software Ltd., UK.
- Tsai, P.L., Fu, C.C. and Chieng, W.H.**, 1997. Analysis and synthesis of geometric models using tree-structured relations, *Computer-Aided Design*, 29 (9), 607-615.
- Tsoukalas, L.H. and Uhrig, R.E.**, 1997. Fuzzy and neural approaches in engineering, John Wiley and Sons, United States of America.
- Vemuri, V.**, 1988. Artificial neural networks: an introduction, in *Artificial Neural Networks: Theoretical Concepts*, pp. 1-12, Ed. Vemuri, V., Computer Society Press of the IEEE, Washington, 1988.
- Wang, E.**, 1992. Using automatic feature recognition to interface CAD to CAPP, *Computers in Engineering*, ASME, San Francisco, California, August 1992, 215-231.
- Wang, S.**, 1995. The unpredictability of standard back propagation neural networks in classification applications. *Management Science*, 41 (3), 555-559.
- Warnecke, G. and Kluge, R.**, 1998. Control of tolerances in turning by predictive control with neural networks, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 9, 281-287.
- Warthen, B.**, 1994. PDES shapes data exchange technology, *Guide to Systems Integration*, pp. 267-269, Ed. Mize, J.H., IIE, Georgia, USA.
- Wolfe, P.M. and Settles, F.S.**, 1994. Computer integrated manufacturing from a pragmatic perspective, *Guide to Systems Integration*, pp. 31-36, Ed. Mize, J.H., IIE, Georgia, USA.

- Woodwark, J.R.**, 1988. Shape models in computer integrated manufacture, *Computer Integrated Manufacturing*, pp. 475-503, Eds. Turksen, İ.B., Asai, K. and Ulusoy, G., NATO ASI Series F, **49**, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Wu, M.C. and Liu, C.R.**, 1996. Analysis on machined feature recognition techniques based on B-rep, *Computer Aided Design*, **28** (8), 603-615.
- Yoon, Y., Swales, G. and Margavio, T.M.**, 1993. A comparison of discriminant analysis versus artificial neural networks, *Journal of the Operational Research Society*, **44** (1), 51-60.
- Zhang, H.C. and Alting, L.**, 1994. Computerized Manufacturing Process Planning Systems, Chapman & Hall, Great Britain, Suffolk.
- Zhang, H.C. and Huang, S.H.**, 1995. Applications of neural networks in manufacturing: a state-of-the-art survey, *International Journal of Production Research*, **33** (3), 705-728.
- Zhang, Y.F., Nee, A.Y.C., Fuh, J.Y.H., Neo, K.S. and Loy, H.K.**, 1996. A neural network approach to determining optimal inspection sampling size for CMM, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, **9** (3), 161-169.
- Zorriassatine, F. and Tannock, J.D.T.**, 1998. A review of neural networks for statistical process control, *Journal of Intelligent Manufacturing*, **9**, 209-224.

EK A

İki gizli katmanlı ağın eğitim kümeleri giriş ve çıkış vektör elemanları:

2.5	2	2	1.75	1.75	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0		

2.928	2.903	2.833	2	1.757	1.743	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0		

3.069	2.806	2.75	2.458	2.403	1.75	1.75	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0		

3.227	3.834	2.917	2.764	2	1.736	1.688	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0		

3.218	2.903	2.875	2.861	2.834	1.708	1.708	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0		

3	2.487	2.486	2.417	2.373	1.827	1.799	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0		

2	2	1.667	1.667	1.5	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0		

2.4	2.473	2.417	1.722	1.685	1.5	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0		

2.467	2.75	2.75	1.611	1.611	1.5	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0		

2.667	2.778	2.5	2.5	1.741	1.741	1.5	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0		

3.143	3.861	3.834	2.806	2.75	1.593	1.574	1.5	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0		

2.841	3.125	2.861	2.445	2.278	1.759	1.694	1.5	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0		

4.333	3.417	3.306	3.278	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0		

4.666	3.694	3.694	3.653	3.653	3.653	3.653	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0		

4	3.25	3.25	2.945	2.917	2.833	2.556	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0		

4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0		

4.222	3.5	3.403	3.375	2.931	2.903	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0		

4.315	3.528	3.528	3.5	3.5	2.917	2.917	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0		

1.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0		

1.6	2.639	2.639	2.611	2.556	2.556	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0		

1.787	3.139	3.042	2.82	2.695	2.528	2.5	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0		

1.333	2.389	2.361	2.25	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0		

1.667	3.028	2.986	2.347	2.306	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0		

1.805	3.083	3.083	3.042	3.042	2.333	2.25	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0		

3.5	3.5	2.75	2.75	1.75	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0		

3.744	3.681	3.514	2.847	2.75	1.715	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0		

3.533	3.403	3.028	2.75	2.431	1.778	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0		

3.778	3.764	3.5	3.07	2.903	2.431	1.75	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0		

3.91	3.695	3.5	3.347	3.292	3.139	2.875	2.431	1.75	0	0
0	0	0	1	0	0	0				

3.926	3.695	3.695	3.611	2.834	2.834	1.695	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0		

2.333	2.25	1.759	1.741	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0		

3.375	3	3	3	3	2.75	2.75	1.667	1.667	0
0	0	0	0	0	1	0	0		

3.436	3.695	3.667	3.278	2.695	2.417	1.657	1.546	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0		

3	2.889	2.625	2.625	1.787	1.787	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0		

3.454	3.75	3.736	2.917	2.889	1.648	1.639	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0		

2.75	2.75	2.75	1.667	1.667	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0		

3	3	2	2	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0		

3	3	2.185	1.815	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0		

3	3	2.037	1.963	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0		

3	3	2.148	1.852	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0		

3	3	2.111	1.889	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0		

3	3	4	2	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0		

4	4	5	2	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1		

3.444	3.444	4.444	1.815	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1		

4.111	4.111	5.111	2.037	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1		

4	4	4	2	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1		

4.222	4.222	4.111	2.074	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1		

4.333	4.333	5.333	2.111	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1		

EK B

İki gizli katmanlı ağı eğitilmiş kümelerinin çıkış değerleri ve eğitim sonrası hata değerleri.

A11	A12	A13	A14	A15
A16	A17	A18		
T__A11	T__A12	T__A13	T__A14	T__A15
T__A16	T__A17	T__A18		
E__A11	E__A12	E__A13	E__A14	E__A15
E__A16	E__A17	E__A18		
ERROR				

Çıkış değerleri A_i , $i=11, 12 \dots 18$

Hedef çıkış değerleri T_A_i , $i=11, 12 \dots 18$.

Elde edilen çıkış ve hedef çıkış değerleri arasındaki farktan oluşan hata değerleri E_A_i , $i=11, 12 \dots 18$.

Genel hata değeri, ERROR.

01	0.993	0.00314	3.696e-05	0.0002921	4.581e-05
	0.004168	0.000153	9.62e-08		
	1	0	0	0	0
	0	0	0		
	-0.007	0.00314	3.696e-05	0.0002921	4.581e-05
	0.004168	0.000153	9.62e-08		
	0.003089				

02	0.9948	0.003324	0.0001181	0.0003306	0.0001103
	0.003213	0.0001567	2.056e-07		
	1	0	0	0	0
	0	0	0		
	-0.00521	0.003324	0.0001181	0.0003306	0.0001103
	0.003213	0.0001567	2.056e-07		
	0.002467				
03	0.9984	0.004897	0.0001255	0.0003648	5.463e-05
	0.0005989	0.0003513	3.811e-07		
	1	0	0	0	0
	0	0	0		
	-0.001553	0.004897	0.0001255	0.0003648	5.463e-05
	0.0005989	0.0003513	3.811e-07		
	0.001838				
04	0.9928	0.003419	8.813e-05	0.0003726	0.00012
	0.004512	0.0001336	1.397e-07		
	1	0	0	0	0
	0	0	0		
	-0.007216	0.003419	8.813e-05	0.0003726	0.00012
	0.004512	0.0001336	1.397e-07		
	0.003246				
05	0.9985	0.0006081	0.000697	0.0002477	0.0004111
	0.008756	0.000147	6.539e-08		
	1	0	0	0	0
	0	0	0		
	-0.001487	0.0006081	0.000697	0.0002477	0.0004111
	0.008756	0.000147	6.539e-08		
	0.003162				

06	0.9991	0.002925	0.000235	0.0003314	7.628e-05
	0.0006573	0.0004095	3.442e-07		
	1	0	0	0	0
	0	0	0		
	-0.0009078	0.002925	0.000235	0.0003314	7.628e-05
	0.0006573	0.0004095	3.442e-07		
	0.001126				
07	0.001074	0.9931	1.502e-09	0.004869	7.277e-07
	0.005552	4.199e-06	2.928e-06		
	0	1	0	0	0
	0	0	0		
	0.001074	-0.006902	1.502e-09	0.004869	7.277e-07
	0.005552	4.199e-06	2.928e-06		
	0.003594				
08	0.003242	0.9933	3.524e-09	0.003563	9.1e-07
	0.002663	5.714e-06	3.721e-06		
	0	1	0	0	0
	0	0	0		
	0.003242	-0.006669	3.524e-09	0.003563	9.1e-07
	0.002663	5.714e-06	3.721e-06		
	0.003057				
09	0.001023	0.9957	1.534e-09	0.004292	6.362e-07
	0.00516	6.717e-06	7.291e-06		
	0	1	0	0	0
	0	0	0		
	0.001023	-0.00431	1.534e-09	0.004292	6.362e-07
	0.00516	6.717e-06	7.291e-06		
	0.002843				

10	0.005157	0.9891	5.277e-09	0.004104	1.006e-06
	0.002012	6.506e-06	3.59e-06		
	0	1	0	0	0
	0	0	0		
	0.005157	-0.0109	5.277e-09	0.004104	1.006e-06
	0.002012	6.506e-06	3.59e-06		
	0.00456				
11	0.0007662	0.9947	2.335e-09	0.005647	1.401e-06
	0.007428	3.675e-06	4.345e-06		
	0	1	0	0	0
	0	0	0		
	0.0007662	-0.005345	2.335e-09	0.005647	1.401e-06
	0.007428	3.675e-06	4.345e-06		
	0.003812				
12	0.002016	0.9966	2.475e-09	0.004402	7.403e-07
	0.002134	5.814e-06	6.637e-06		
	0	1	0	0	0
	0	0	0		
	0.002016	-0.003421	2.475e-09	0.004402	7.403e-07
	0.002134	5.814e-06	6.637e-06		
	0.002228				
13	0.0001028	1.508e-09	0.9968	1.858e-07	0.003501
	5.08e-06	1.719e-05	0.006318		
	0	0	1	0	0
	0	0	0		
	0.0001028	1.508e-09	-0.003227	1.858e-07	0.003501
	5.08e-06	1.719e-05	0.006318		
	0.002797				
14	0.0004653	9.043e-09	0.9978	1.206e-07	0.002364
	2.22e-07	2.333e-06	0.001381		

	0	0	1	0	0
	0	0	0		
	0.0004653	9.043e-09	-0.002164	1.206e-07	0.002364
	2.22e-07	2.333e-06	0.001381		
	0.001245				
15	0.001672	9.987e-09	0.9943	1.271e-07	0.0008452
	4.607e-07	3.611e-06	0.0005835		
	0	0	1	0	0
	0	0	0		
	0.001672	9.987e-09	-0.005725	1.271e-07	0.0008452
	4.607e-07	3.611e-06	0.0005835		
	0.00214				
16	0.0002587	1.299e-08	0.9962	1.849e-07	0.004732
	4.025e-07	2.699e-06	0.001142		
	0	0	1	0	0
	0	0	0		
	0.0002587	1.299e-08	-0.003765	1.849e-07	0.004732
	4.025e-07	2.699e-06	0.001142		
	0.002177				
17	0.0002262	1.548e-08	0.9936	1.942e-07	0.006375
	5.518e-07	2.66e-06	0.0007353		
	0	0	1	0	0
	0	0	0		
	0.0002262	1.548e-08	-0.006372	1.942e-07	0.006375
	5.518e-07	2.66e-06	0.0007353		
	0.003198				
18	0.0005048	1.077e-08	0.9968	1.407e-07	0.003915
	2.721e-07	2.885e-06	0.001028		
	0	0	1	0	0
	0	0	0		

	0.0005048	1.077e-08	-0.003155	1.407e-07	0.003915
	2.721e-07	2.885e-06	0.001028		
	0.001823				
19	4.624e-05	0.003333	5.094e-10	0.9963	2.73e-07
	0.0003367	9.067e-08	4.801e-08		
	0	0	0	1	0
	0	0	0		
	4.624e-05	0.003333	5.094e-10	-0.003713	2.73e-07
	0.0003367	9.067e-08	4.801e-08		
	0.001768				
20	4.282e-05	0.003544	4.869e-10	0.9964	2.673e-07
	0.000334	8.849e-08	5.028e-08		
	0	0	0	1	0
	0	0	0		
	4.282e-05	0.003544	4.869e-10	-0.003571	2.673e-07
	0.000334	8.849e-08	5.028e-08		
	0.001783				
21	4.526e-05	0.006103	4.311e-10	0.9944	2.363e-07
	0.00033	9.049e-08	5.575e-08		
	0	0	0	1	0
	0	0	0		
	4.526e-05	0.006103	4.311e-10	-0.005588	2.363e-07
	0.00033	9.049e-08	5.575e-08		
	0.002928				
22	3.073e-05	0.003426	4.801e-10	0.9955 3.	254e-07
	0.0009353	2.622e-07	1.43e-07		
	0	0	0	1	0
	0	0	0		
	3.073e-05	0.003426	4.801e-10	-0.004516	3.254e-07
	0.0009353	2.622e-07	1.43e-07		

0.002031

23	4.01e-05	0.003836	4.756e-10	0.9966	2.794e-07
	0.0003442	1.02e-07	5.961e-08		
	0	0	0	1	0
	0	0	0		
	4.01e-05	0.003836	4.756e-10	-0.0034	2.794e-07
	0.0003442	1.02e-07	5.961e-08		
	0.001816				

24	4.25e-05	0.004031	4.421e-10	0.9961	2.405e-07
	0.0003148	8.304e-08	4.861e-08		
	0	0	0	1	0
	0	0	0		
	4.25e-05	0.004031	4.421e-10	-0.003934	2.405e-07
	0.0003148	8.304e-08	4.861e-08		
	0.001995				

25	0.000289	1.388e-07	0.004104	3.02e-06	0.9967
	0.00146	0.0006307	5.306e-07		
	0	0	0	0	1
	0	0	0		
	0.000289	1.388e-07	0.004104	3.02e-06	-0.00329
	0.00146	0.0006307	5.306e-07		
	0.001946				

26	0.000119	2.244e-07	0.002491	2.364e-06	0.9941
	0.001476	0.0001887	2.634e-07		
	0	0	0	0	1
	0	0	0		
	0.000119	2.244e-07	0.002491	2.364e-06	-0.00587
	0.001476	0.0001887	2.634e-07		
	0.002316				

27	0.0001268	2.839e-07	0.001664	2.337e-06	0.9935
----	-----------	-----------	----------	-----------	--------

	0.002138	0.0001459	1.806e-07		
	0	0	0	0	1
	0	0	0		
	0.0001268	2.839e-07	0.001664	2.337e-06	-0.006547
	0.002138	0.0001459	1.806e-07		
	0.002506				
28	0.001283	1.759e-07	0.007476	2.486e-06	0.9912
	0.001097	0.0003994	6.246e-07		
	0	0	0	0	1
	0	0	0		
	0.001283	1.759e-07	0.007476	2.486e-06	-0.008842
	0.001097	0.0003994	6.246e-07		
	0.004139				
29	2.337e-05	6.002e-07	0.0003544	2.346e-06	0.9926
	0.006003	4.65e-05	5.617e-08		
	0	0	0	0	1
	0	0	0		
	2.337e-05	6.002e-07	0.0003544	2.346e-06	-0.007437
	0.006003	4.65e-05	5.617e-08		
	0.003381				
30	0.0001817	1.865e-07	0.003748	2.409e-06	0.9944
	0.001133	0.00026	3.722e-07		
	0	0	0	0	1
	0	0	0		
	0.0001817	1.865e-07	0.003748	2.409e-06	-0.005621
	0.001133	0.00026	3.722e-07		
	0.002424				
31	0.0001876	0.008129	5.711e-10	0.0003871	4.096e-08
	0.9945	0.005389	0.0003221		

	0	0	0	0	0
	1	0	0		
	0.0001876	0.008129	5.711e-10	0.0003871	4.096e-08
	-0.005538	0.005389	0.0003221		
	0.00397				
32	0.0035	0.0001835	9.993e-05	1.816e-05	0.006113
	0.9948	5.597e-08	1.206e-07		
	0	0	0	0	0
	1	0	0		
	0.0035	0.0001835	9.993e-05	1.816e-05	0.006113
	-0.00516	5.597e-08	1.206e-07		
	0.003088				
33	0.0001052	0.003998	9.438e-06	5.906e-05	0.003203
	0.9948	5.794e-08	1.561e-06		
	0	0	0	0	0
	1	0	0		
	0.0001052	0.003998	9.438e-06	5.906e-05	0.003203
	-0.005189	5.794e-08	1.561e-06		
	0.002578				
34	0.005504	0.0001558	0.0001189	2.178e-05	0.006903
	0.993	9.008e-08	1.159e-07		
	0	0	0	0	0
	1	0	0		
	0.005504	0.0001558	0.0001189	2.178e-05	0.006903
	-0.00696	9.008e-08	1.159e-07		
	0.003975				
35	0.003787	0.0001913	0.0001019	2.683e-05	0.007671
	0.9916	1.294e-07	2.071e-07		
	0	0	0	0	0
	1	0	0		

	0.003787	0.0001913	0.0001019	2.683e-05	0.007671
	-0.008351	1.294e-07	2.071e-07		
	0.004227				
36	0.0004303	0.006124	1.006e-09	0.0003287	4.61e-08
	0.989	0.006357	0.0003013		
	0	0	0	0	0
	1	0	0		
	0.0004303	0.006124	1.006e-09	0.0003287	4.61e-08
	-0.01099	0.006357	0.0003013		
	0.004988				
37	0.00461	4.641e-08	8.828e-07	1.742e-05	0.003196
	0.0001956	0.9969	0.0001601		
	0	0	0	0	0
	0	1	0		
	0.00461	4.641e-08	8.828e-07	1.742e-05	0.003196
	0.0001956	-0.003077	0.0001601		
	0.002264				
38	0.0002145	6.981e-07	4.414e-07	5.264e-05	0.001698
	0.0001531	0.9969	0.004411		
	0	0	0	0	0
	0	1	0		
	0.0002145	6.981e-07	4.414e-07	5.264e-05	0.001698
	0.0001531	-0.003083	0.004411		
	0.001997				
39	0.002196	9.202e-08	6.765e-07	2.299e-05	0.002813
	0.0001818	0.997	0.0003437		
	0	0	0	0	0
	0	1	0		
	0.002196	9.202e-08	6.765e-07	2.299e-05	0.002813
	0.0001818	-0.002958	0.0003437		

0.001644

40	0.0003389	4.799e-07	4.507e-07	4.525e-05	0.00195
	0.0001606	0.997	0.002604		
	0	0	0	0	0
	0	1	0		
	0.0003389	4.799e-07	4.507e-07	4.525e-05	0.00195
	0.0001606	-0.00297	0.002604		
	0.001563				

41	0.0005831	3.016e-07	4.852e-07	3.742e-05	0.002215
	0.0001671	0.9971	0.001421		
	0	0	0	0	0
	0	1	0		
	0.0005831	3.016e-07	4.852e-07	3.742e-05	0.002215
	0.0001671	-0.00291	0.001421		
	0.001404				

42	2.606e-06	1.239e-05	1.786e-08	0.0001572	0.003599
	0.002979	0.9906	0.006995		
	0	0	0	0	0
	0	1	0		
	2.606e-06	1.239e-05	1.786e-08	0.0001572	0.003599
	0.002979	-0.009438	0.006995		
	0.00447				

43	1.836e-10	8.221e-08	0.001857	8.154e-07	9.388e-07
	0.003247	0.001865	0.9969		
	0	0	0	0	0
	0	0	1		
	1.836e-10	8.221e-08	0.001857	8.154e-07	9.388e-07
	0.003247	0.001865	-0.003077		
	0.001835				

44	9.069e-10	1.606e-07	0.001016	1.395e-06	8.567e-07
	0.0009279	0.006434	0.9941		
	0	0	0	0	0
	0	0	1		
	9.069e-10	1.606e-07	0.001016	1.395e-06	8.567e-07
	0.0009279	0.006434	-0.005863		
	0.003116				
45	1.992e-10	7.684e-08	0.002013	8.062e-07	9.647e-07
	0.003193	0.001935	0.997		
	0	0	0	0	0
	0	0	1		
	1.992e-10	7.684e-08	0.002013	8.062e-07	9.647e-07
	0.003193	0.001935	-0.003049		
	0.001847				
46	4.258e-10	4.605e-08	0.003007	6.903e-07	1.003e-06
	0.002396	0.002434	0.9961		
	0	0	0	0	0
	0	0	1		
	4.258e-10	4.605e-08	0.003007	6.903e-07	1.003e-06
	0.002396	0.002434	-0.003862		
	0.00211				
47	3.915e-10	4.25e-08	0.00313	6.846e-07	1.093e-06
	0.002823	0.002289	0.9959		
	0	0	0	0	0
	0	0	1		
	3.915e-10	4.25e-08	0.00313	6.846e-07	1.093e-06
	0.002823	0.002289	-0.004092		
	0.002229				
48	2.359e-10	6.803e-08	0.002343	7.882e-07	1.01e-06
	0.003038	0.002091	0.997		

0	0	0	0	0
0	0	1		
2.359e-10	6.803e-08	0.002343	7.882e-07	1.01e-06
0.003038	0.002091	-0.002981		
0.00187				



EK C

Bir Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ				
Gizli katman nöron sayısı: 9				
Deney No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.01	0.1	0.2033	Başarısız
2	0.01	0.2	0.2	Başarısız
3	0.01	0.3	0.1925	Başarısız
4	0.01	0.4	0.1903	Başarısız
5	0.01	0.5	0.1704	Başarısız
6	0.01	0.6	0.1724	Başarısız
7	0.01	0.7	0.1348	Başarısız
8	0.01	0.8	0.1148	Başarısız
9	0.01	0.9	0.09445	Başarısız
10	0.1	0.1	0.06194	Başarısız
11	0.1	0.2	0.06048	Başarısız
12	0.1	0.3	0.05769	Başarısız
13	0.1	0.4	0.05573	Başarısız
14	0.1	0.5	0.05471	Başarısız
15	0.1	0.6	0.08954	Başarısız
16	0.1	0.7	0.07314	Başarısız
17	0.1	0.8	0.1024	Başarısız
18	0.1	0.9	0.05141	Başarısız
19	0.2	0.1	0.07387	Başarısız
20	0.2	0.2	0.0536	Başarısız
21	0.2	0.3	0.0539	Başarısız
22	0.2	0.4	0.07332	Başarısız
23	0.2	0.5	0.05237	Başarısız
24	0.2	0.6	0.05207	Başarısız

25	0.2	0.7	0.05165	Başarısız
26	0.2	0.8	0.08858	Başarısız
27	0.2	0.9	0.07229	Başarısız
28	0.3	0.1	0.0893	Başarısız
29	0.3	0.2	0.07305	Başarısız
30	0.3	0.3	0.08892	Başarısız
31	0.3	0.4	0.1025	Başarısız
32	0.3	0.5	0.008381	Başarısız
33	0.3	0.6	0.05284	Başarısız
34	0.3	0.7	0.05136	Başarısız
35	0.3	0.8	0.07239	Başarısız
36	0.3	0.9	0.003617	Başarısız
37	0.4	0.1	0.0521	Başarısız
38	0.4	0.2	0.05203	Başarısız
39	0.4	0.3	0.07263	Başarısız
40	0.4	0.4	0.07264	Başarısız
41	0.4	0.5	0.07247	Başarısız
42	0.4	0.6	0.08861	Başarısız
43	0.4	0.7	0.005093	Başarısız
44	0.4	0.8	0.07228	Başarısız
45	0.4	0.9	0.05112	Başarısız
46	0.5	0.1	0.0525	Başarısız
47	0.5	0.2	0.08876	Başarısız
48	0.5	0.3	0.008014	Başarısız
49	0.5	0.4	0.1023	Başarısız
50	0.5	0.5	0.07246	Başarısız
51	0.5	0.6	0.08856	Başarısız
52	0.5	0.7	0.07231	Başarısız
53	0.5	0.8	0.08846	Başarısız
54	0.5	0.9	0.002699	Başarısız
55	0.6	0.1	0.08872	Başarısız
56	0.6	0.2	0.008933	Başarısız
57	0.6	0.3	0.1023	Başarısız

58	0.6	0.4	0.07245	Başarısız
59	0.6	0.5	0.07238	Başarısız
60	0.6	0.6	0.004722	Başarısız
61	0.6	0.7	0.05119	Başarısız
62	0.6	0.8	0.08845	Başarısız
63	0.6	0.9	0.001921	Başarısız
64	0.7	0.1	0.05154	Başarısız
65	0.7	0.2	0.08864	Başarısız
66	0.7	0.3	0.08859	Başarısız
67	0.7	0.4	0.05134	Başarısız
68	0.7	0.5	0.08852	Başarısız
69	0.7	0.6	0.08849	Başarısız
70	0.7	0.7	0.07228	Başarısız
71	0.7	0.8	0.07223	Başarısız
72	0.7	0.9	0.002197	Başarısız
73	0.8	0.1	0.07251	Başarısız
74	0.8	0.2	0.08859	Başarısız
75	0.8	0.3	0.05137	Başarısız
76	0.8	0.4	0.05135	Başarısız
77	0.8	0.5	0.08851	Başarısız
78	0.8	0.6	0.07229	Başarısız
79	0.8	0.7	0.05114	Başarısız
80	0.8	0.8	0.002796	Başarısız
81	0.8	0.9	0.1021	Başarısız
82	0.9	0.1	0.07246	Başarısız
83	0.9	0.2	0.05133	Başarısız
84	0.9	0.3	0.07237	Başarısız
85	0.9	0.4	0.07232	Başarısız
86	0.9	0.5	0.07229	Başarısız
87	0.9	0.6	0.07226	Başarısız
88	0.9	0.7	0.07224	Başarısız
89	0.9	0.8	0.07221	Başarısız
90	0.9	0.9	0.25	Başarısız

Bir Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ

Gizli katman nöron sayısı: 5

Deney [‡] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.1	0.1	0.06439	Başarısız
2	0.1	0.4	0.09056	Başarısız
3	0.1	0.7	0.01147	Başarısız
4	0.2	0.1	0.09044	Başarısız
5	0.2	0.4	0.02242	Başarısız
6	0.2	0.7	0.1024	Başarısız
7	0.3	0.1	0.1150	Başarısız
8	0.3	0.4	0.1027	Başarısız
9	0.3	0.7	0.07262	Başarısız
10	0.4	0.1	0.1148	Başarısız
11	0.4	0.4	0.07278	Başarısız
12	0.4	0.7	0.07242	Başarısız
13	0.5	0.1	0.1024	Başarısız
14	0.5	0.4	0.07311	Başarısız
15	0.5	0.7	0.07235	Başarısız
16	0.6	0.1	0.08881	Başarısız
17	0.6	0.4	0.1023	Başarısız
18	0.6	0.7	0.08851	Başarısız
19	0.7	0.1	0.1144	Başarısız
20	0.7	0.4	0.07241	Başarısız
21	0.7	0.7	0.08848	Başarısız
22	0.8	0.1	0.1253	Başarısız
23	0.8	0.4	0.1444	Başarısız
24	0.8	0.7	0.1024	Başarısız
25	0.9	0.1	0.1025	Başarısız
26	0.9	0.4	0.1143	Başarısız
27	0.9	0.7	0.08848	Başarısız

[‡] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

Bir Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ
Gizli katman nöron sayısı: 14

Deney [‡] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.1	0.1	0.05546	Başarısız
2	0.1	0.4	0.07357	Başarısız
3	0.1	0.7	0.1024	Başarısız
4	0.2	0.1	0.08916	Başarısız
5	0.2	0.4	0.1024	Başarısız
6	0.2	0.7	0.08862	Başarısız
7	0.3	0.1	0.008982	Başarısız
8	0.3	0.4	0.07258	Başarısız
9	0.3	0.7	0.08851	Başarısız
10	0.4	0.1	0.1024	Başarısız
11	0.4	0.4	0.1022	Başarısız
12	0.4	0.7	0.07228	Başarısız
13	0.5	0.1	0.07251	Başarısız
14	0.5	0.4	0.07236	Başarısız
15	0.5	0.7	0.08845	Başarısız
16	0.6	0.1	0.07243	Başarısız
17	0.6	0.4	0.08851	Başarısız
18	0.6	0.7	0.07226	Başarısız
19	0.7	0.1	0.1022	Başarısız
20	0.7	0.4	0.1022	Başarısız
21	0.7	0.7	0.07223	Başarısız
22	0.8	0.1	0.08857	Başarısız
23	0.8	0.4	0.1142	Başarısız
24	0.8	0.7	0.08843	Başarısız
25	0.9	0.1	0.1022	Başarısız
26	0.9	0.4	0.1250	Başarısız
27	0.9	0.7	0.07221	Başarısız

[‡] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

Bir Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ
Gizli katman nöron sayısı: 24

Deney [‡] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanım Durumu
1	0.1	0.1	0.05507	Başarısız
2	0.1	0.4	0.05293	Başarısız
3	0.1	0.7	0.05171	Başarısız
4	0.2	0.1	0.01096	Başarısız
5	0.2	0.4	0.009347	Başarısız
6	0.2	0.7	0.005369	Başarısız
7	0.3	0.1	0.00825	Başarısız
8	0.3	0.4	0.006917	Başarısız
9	0.3	0.7	0.0885	Başarısız
10	0.4	0.1	0.007022	Başarısız
11	0.4	0.4	0.1022	Başarısız
12	0.4	0.7	0.07226	Başarısız
13	0.5	0.1	0.08859	Başarısız
14	0.5	0.4	0.08850	Başarısız
15	0.5	0.7	0.07224	Başarısız
16	0.6	0.1	0.07236	Başarısız
17	0.6	0.4	0.08848	Başarısız
18	0.6	0.7	0.08842	Başarısız
19	0.7	0.1	0.08852	Başarısız
20	0.7	0.4	0.07226	Başarısız
21	0.7	0.7	0.08842	Başarısız
22	0.8	0.1	0.1351	Başarısız
23	0.8	0.4	0.08845	Başarısız
24	0.8	0.7	0.08842	Başarısız
25	0.9	0.1	0.1142	Başarısız
26	0.9	0.4	0.1021	Başarısız
27	0.9	0.7	0.0722	Başarısız

[‡] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

İki Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ
Gizli katman nöron sayıları: 2 ve 2

Deney [‡] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.1	0.1	0.1926	Başarısız
2	0.1	0.4	0.2247	Başarısız
3	0.1	0.7	0.2156	Başarısız
4	0.2	0.1	0.1828	Başarısız
5	0.2	0.4	0.1810	Başarısız
6	0.2	0.7	0.2099	Başarısız
7	0.3	0.1	0.1983	Başarısız
8	0.3	0.4	0.192	Başarısız
9	0.3	0.7	0.2121	Başarısız
10	0.4	0.1	0.178	Başarısız
11	0.4	0.4	0.2062	Başarısız
12	0.4	0.7	0.2252	Başarısız
13	0.5	0.1	0.1851	Başarısız
14	0.5	0.4	0.1901	Başarısız
15	0.5	0.7	0.2442	Başarısız
16	0.6	0.1	0.189	Başarısız
17	0.6	0.4	0.3122	Başarısız
18	0.6	0.7	0.2708	Başarısız
19	0.7	0.1	0.1896	Başarısız
20	0.7	0.4	0.2248	Başarısız
21	0.7	0.7	0.3279	Başarısız
22	0.8	0.1	0.2523	Başarısız
23	0.8	0.4	0.2406	Başarısız
24	0.8	0.7	0.328	Başarısız
25	0.9	0.1	0.2871	Başarısız
26	0.9	0.4	0.2287	Başarısız
27	0.9	0.7	0.2872	Başarısız

[‡] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

İki Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ				
Gizli katman nöron sayıları: 3 ve 3				
Deney [†] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.1	0.1	0.1965	Başarısız
2	0.1	0.4	0.1629	Başarısız
3	0.1	0.7	0.119	Başarısız
4	0.2	0.1	0.1123	Başarısız
5	0.2	0.4	0.07521	Başarısız
6	0.2	0.7	0.1027	Başarısız
7	0.3	0.1	0.1039	Başarısız
8	0.3	0.4	0.07556	Başarısız
9	0.3	0.7	0.0731	Başarısız
10	0.4	0.1	0.1239	Başarısız
11	0.4	0.4	0.1779	Başarısız
12	0.4	0.7	0.1341	Başarısız
13	0.5	0.1	0.1615	Başarısız
14	0.5	0.4	0.1598	Başarısız
15	0.5	0.7	0.2806	Başarısız
16	0.6	0.1	0.1155	Başarısız
17	0.6	0.4	0.2185	Başarısız
18	0.6	0.7	0.2855	Başarısız
19	0.7	0.1	0.1961	Başarısız
20	0.7	0.4	0.1357	Başarısız
21	0.7	0.7	0.2446	Başarısız
22	0.8	0.1	0.08998	Başarısız
23	0.8	0.4	0.2275	Başarısız
24	0.8	0.7	0.2925	Başarısız
25	0.9	0.1	0.1623	Başarısız
26	0.9	0.4	0.1482	Başarısız
27	0.9	0.7	0.242	Başarısız

[†] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

İki Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ
Gizli katman nöron sayıları: 4 ve 4

Deney [‡] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.1	0.1	0.07494	Başarısız
2	0.1	0.4	0.07329	Başarısız
3	0.1	0.7	0.07274	Başarısız
4	0.2	0.1	0.05254	Başarısız
5	0.2	0.4	0.07283	Başarısız
6	0.2	0.7	0.8869	Başarısız
7	0.3	0.1	0.07277	Başarısız
8	0.3	0.4	0.7291	Başarısız
9	0.3	0.7	0.07251	Başarısız
10	0.4	0.1	0.02178	Başarısız
11	0.4	0.4	0.009473	Başarısız
12	0.4	0.7	0.009637	Başarısız
13	0.5	0.1	0.1146	Başarısız
14	0.5	0.4	0.0886	Başarısız
15	0.5	0.7	0.08849	Başarısız
16	0.6	0.1	0.07248	Başarısız
17	0.6	0.4	0.1026	Başarısız
18	0.6	0.7	0.1643	Başarısız
19	0.7	0.1	0.07286	Başarısız
20	0.7	0.4	0.07233	Başarısız
21	0.7	0.7	0.2605	Başarısız
22	0.8	0.1	0.05138	Başarısız
23	0.8	0.4	0.08852	Başarısız
24	0.8	0.7	0.2786	Başarısız
25	0.9	0.1	0.1618	Başarısız
26	0.9	0.4	0.1444	Başarısız
27	0.9	0.7	0.2633	Başarısız

[‡] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

İki Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ
Gizli katman nöron sayıları: 5 ve 5

Deney [†] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.1	0.1	0.08511	Başarısız
2	0.1	0.4	0.07313	Başarısız
3	0.1	0.7	0.07247	Başarısız
4	0.2	0.1	0.05212	Başarısız
5	0.2	0.4	0.05182	Başarısız
6	0.2	0.7	0.0513	Başarısız
7	0.3	0.1	0.07247	Başarısız
8	0.3	0.4	0.07243	Başarısız
9	0.3	0.7	0.07228	Başarısız
10	0.4	0.1	0.07248	Başarısız
11	0.4	0.4	0.07245	Başarısız
12	0.4	0.7	0.07226	Başarısız
13	0.5	0.1	0.05148	Başarısız
14	0.5	0.4	0.07238	Başarısız
15	0.5	0.7	0.07224	Başarısız
16	0.6	0.1	0.1023	Başarısız
17	0.6	0.4	0.07236	Başarısız
18	0.6	0.7	0.07222	Başarısız
19	0.7	0.1	0.07238	Başarısız
20	0.7	0.4	0.07227	Başarısız
21	0.7	0.7	0.2381	Başarısız
22	0.8	0.1	0.08852	Başarısız
23	0.8	0.4	0.07228	Başarısız
24	0.8	0.7	0.2895	Başarısız
25	0.9	0.1	0.05268	Başarısız
26	0.9	0.4	0.07225	Başarısız
27	0.9	0.7	0.2876	Başarısız

[†] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

İki Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ Gizli katman nöron sayıları: 6 ve 6				
Deney [†] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.1	0.1	0.02108	Başarısız
2	0.1	0.4	0.04022	Başarısız
3	0.1	0.7	0.05143	Başarısız
4	0.2	0.1	0.0519	Başarısız
5	0.2	0.4	0.07253	Başarısız
6	0.2	0.7	0.07238	Başarısız
7	0.3	0.1	0.07247	Başarısız
8	0.3	0.4	0.05149	Başarısız
9	0.3	0.7	0.07229	Başarısız
10	0.4	0.1	0.006913	Başarısız
11	0.4	0.4	0.07237	Başarısız
12	0.4	0.7	0.003648	Başarısız
13	0.5	0.1	0.07228	Başarısız
14	0.5	0.4	0.1022	Başarısız
15	0.5	0.7	0.07224	Başarısız
16	0.6	0.1	0.1251	Başarısız
17	0.6	0.4	0.07227	Başarısız
18	0.6	0.7	0.203	Başarısız
19	0.7	0.1	0.0723	Başarısız
20	0.7	0.4	0.07226	Başarısız
21	0.7	0.7	0.07224	Başarısız
22	0.8	0.1	0.07233	Başarısız
23	0.8	0.4	0.07226	Başarısız
24	0.8	0.7	0.1506	Başarısız
25	0.9	0.1	0.07234	Başarısız
26	0.9	0.4	0.1142	Başarısız
27	0.9	0.7	0.2087	Başarısız

[†] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

İki Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ
Gizli katman nöron sayıları: 7 ve 7

Deney [‡] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.1	0.1	0.01931	Başarısız
2	0.1	0.4	0.05218	Başarısız
3	0.1	0.7	0.07244	Başarısız
4	0.2	0.1	0.007749	Başarısız
5	0.2	0.4	0.07246	Başarısız
6	0.2	0.7	0.05156	Başarısız
7	0.3	0.1	0.05149	Başarısız
8	0.3	0.4	0.07235	Başarısız
9	0.3	0.7	0.07226	Başarısız
10	0.4	0.1	0.07251	Başarısız
11	0.4	0.4	0.07233	Başarısız
12	0.4	0.7	0.004033	Başarısız
13	0.5	0.1	0.07236	Başarısız
14	0.5	0.4	0.07226	Başarısız
15	0.5	0.7	0.03053	Başarısız
16	0.6	0.1	0.05132	Başarısız
17	0.6	0.4	0.07225	Başarısız
18	0.6	0.7	0.05129	Başarısız
19	0.7	0.1	0.07232	Başarısız
20	0.7	0.4	0.07222	Başarısız
21	0.7	0.7	0.002505	Başarısız
22	0.8	0.1	0.004229	Başarısız
23	0.8	0.4	0.08847	Başarısız
24	0.8	0.7	0.0722	Başarısız
25	0.9	0.1	0.07229	Başarısız
26	0.9	0.4	0.07223	Başarısız
27	0.9	0.7	0.2664	Başarısız

[‡] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

İki Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ
Gizli katman nöron sayıları: 8 ve 8

Deney [‡] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.1	0.1	0.01228	Başarısız
2	0.1	0.4	0.009318	Başarısız
3	0.1	0.7	0.07249	Başarısız
4	0.2	0.1	0.07259	Başarısız
5	0.2	0.4	0.08859	Başarısız
6	0.2	0.7	0.0723	Başarısız
7	0.3	0.1	0.006897	Başarısız
8	0.3	0.4	0.07238	Başarısız
9	0.3	0.7	0.05116	Başarısız
10	0.4	0.1	0.07234	Başarısız
11	0.4	0.4	0.07227	Başarısız
12	0.4	0.7	0.07227	Başarısız
13	0.5	0.1	0.07229	Başarısız
14	0.5	0.4	0.07226	Başarısız
15	0.5	0.7	0.07223	Başarısız
16	0.6	0.1	0.005009	Başarısız
17	0.6	0.4	0.08852	Başarısız
18	0.6	0.7	0.002522	Başarısız
19	0.7	0.1	0.0723	Başarısız
20	0.7	0.4	0.07222	Başarısız
21	0.7	0.7	0.002419	Başarısız
22	0.8	0.1	0.07227	Başarısız
23	0.8	0.4	0.07224	Başarısız
24	0.8	0.7	0.01332	Başarısız
25	0.9	0.1	0.0723	Başarısız
26	0.9	0.4	0.07222	Başarısız
27	0.9	0.7	0.002088	Başarısız

[‡] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

İki Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ				
Gizli katman nöron sayıları: 9 ve 9				
Deney [‡] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.1	0.1	0.01178	Başarısız
2	0.1	0.4	0.08882	Başarısız
3	0.1	0.7	0.006247	Başarısız
4	0.2	0.1	0.007775	Başarısız
5	0.2	0.4	0.05137	Başarısız
6	0.2	0.7	0.004735	Başarısız
7	0.3	0.1	0.006273	Başarısız
8	0.3	0.4	0.004903	Başarısız
9	0.3	0.7	0.003627	Başarısız
10	0.4	0.1	0.005126	Başarısız
11	0.4	0.4	0.004136	Başarısız
12	0.4	0.7	0.002799	Başarılı
13	0.5	0.1	0.00482	Başarısız
14	0.5	0.4	0.003824	Başarısız
15	0.5	0.7	0.002547	Başarılı
16	0.6	0.1	0.004431	Başarısız
17	0.6	0.4	0.003419	Başarılı
18	0.6	0.7	0.002475	Başarılı
19	0.7	0.1	0.005149	Başarısız
20	0.7	0.4	0.003306	Başarılı
21	0.7	0.7	0.002086	Başarısız
22	0.8	0.1	0.003615	Başarısız
23	0.8	0.4	0.003149	Başarısız
24	0.8	0.7	0.001718	Başarısız
25	0.9	0.1	0.00365	Başarısız
26	0.9	0.4	0.003094	Başarısız
27	0.9	0.7	0.002149	Başarısız

[‡] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

İki Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ
Gizli katman nöron sayıları: 10 ve 10

Deney [‡] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.1	0.1	0.01096	Başarısız
2	0.1	0.4	0.05196	Başarısız
3	0.1	0.7	0.07237	Başarısız
4	0.2	0.1	0.07257	Başarısız
5	0.2	0.4	0.07238	Başarısız
6	0.2	0.7	0.07228	Başarısız
7	0.3	0.1	0.07241	Başarısız
8	0.3	0.4	0.07234	Başarısız
9	0.3	0.7	0.05114	Başarısız
10	0.4	0.1	0.07234	Başarısız
11	0.4	0.4	0.07225	Başarısız
12	0.4	0.7	0.07221	Başarısız
13	0.5	0.1	0.07251	Başarısız
14	0.5	0.4	0.07223	Başarısız
15	0.5	0.7	0.07221	Başarılı
16	0.6	0.1	0.07226	Başarısız
17	0.6	0.4	0.07223	Başarılı
18	0.6	0.7	0.0722	Başarılı
19	0.7	0.1	0.07224	Başarısız
20	0.7	0.4	0.07222	Başarısız
21	0.7	0.7	0.0722	Başarısız
22	0.8	0.1	0.07225	Başarısız
23	0.8	0.4	0.07222	Başarısız
24	0.8	0.7	0.0884	Başarısız
25	0.9	0.1	0.08846	Başarılı
26	0.9	0.4	0.07221	Başarılı
27	0.9	0.7	0.05109	Başarısız

[‡] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

İki Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ				
Gizli katman nöron sayıları: 14 ve 14				
Deney [‡] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.1	0.1	0.05205	Başarısız
2	0.1	0.4	0.07256	Başarısız
3	0.1	0.7	0.07236	Başarısız
4	0.2	0.1	0.07242	Başarısız
5	0.2	0.4	0.005187	Başarısız
6	0.2	0.7	0.07225	Başarısız
7	0.3	0.1	0.07235	Başarısız
8	0.3	0.4	0.07227	Başarısız
9	0.3	0.7	0.07225	Başarısız
10	0.4	0.1	0.07229	Başarısız
11	0.4	0.4	0.07225	Başarısız
12	0.4	0.7	0.07221	Başarısız
13	0.5	0.1	0.0723	Başarılı
14	0.5	0.4	0.07223	Başarısız
15	0.5	0.7	0.0722	Başarılı
16	0.6	0.1	0.07227	Başarısız
17	0.6	0.4	0.0722	Başarısız
18	0.6	0.7	0.002023	Başarısız
19	0.7	0.1	0.005762	Başarısız
20	0.7	0.4	0.07222	Başarısız
21	0.7	0.7	0.07218	Başarılı
22	0.8	0.1	0.07225	Başarılı
23	0.8	0.4	0.0722	Başarılı
24	0.8	0.7	0.07218	Başarısız
25	0.9	0.1	0.07222	Başarılı
26	0.9	0.4	0.0722	Başarılı
27	0.9	0.7	0.1141	Başarısız

[‡] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

İki Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ
Gizli katman nöron sayıları: 20 ve 20

Deney [‡] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.1	0.1	0.009148	Başarısız
2	0.1	0.4	0.0516	Başarısız
3	0.1	0.7	0.07231	Başarısız
4	0.2	0.1	0.07242	Başarısız
5	0.2	0.4	0.07232	Başarısız
6	0.2	0.7	0.002948	Başarısız
7	0.3	0.1	0.07229	Başarısız
8	0.3	0.4	0.07227	Başarısız
9	0.3	0.7	0.07221	Başarısız
10	0.4	0.1	0.07229	Başarısız
11	0.4	0.4	0.07224	Başarısız
12	0.4	0.7	0.0722	Başarısız
13	0.5	0.1	0.07228	Başarısız
14	0.5	0.4	0.07223	Başarısız
15	0.5	0.7	0.08841	Başarısız
16	0.6	0.1	0.07225	Başarısız
17	0.6	0.4	0.07226	Başarısız
18	0.6	0.7	0.07219	Başarılı
19	0.7	0.1	0.0722	Başarısız
20	0.7	0.4	0.0722	Başarılı
21	0.7	0.7	0.07218	Başarılı
22	0.8	0.1	0.0722	Başarılı
23	0.8	0.4	0.0722	Başarılı
24	0.8	0.7	0.001718	Başarılı
25	0.9	0.1	0.003175	Başarılı
26	0.9	0.4	0.0722	Başarılı
27	0.9	0.7	0.05106	Başarılı

[‡] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

İki Gizli Katmanlı Sinirsel Ağ				
Gizli katman nöron sayıları: 25 ve 25				
Deney [†] No.	Öğrenme Oranı	Momentum	Hata	Tanıma Durumu
1	0.1	0.1	0.009639	Başarısız
2	0.1	0.4	0.07254	Başarısız
3	0.1	0.7	0.07237	Başarısız
4	0.2	0.1	0.006448	Başarısız
5	0.2	0.4	0.07232	Başarısız
6	0.2	0.7	0.07224	Başarısız
7	0.3	0.1	0.07233	Başarısız
8	0.3	0.4	0.08846	Başarısız
9	0.3	0.7	0.0722	Başarısız
10	0.4	0.1	0.07232	Başarısız
11	0.4	0.4	0.08847	Başarısız
12	0.4	0.7	0.07221	Başarısız
13	0.5	0.1	0.07228	Başarısız
14	0.5	0.4	0.07223	Başarısız
15	0.5	0.7	0.0722	Başarısız
16	0.6	0.1	0.07225	Başarısız
17	0.6	0.4	0.07222	Başarısız
18	0.6	0.7	0.07221	Başarısız
19	0.7	0.1	0.07225	Başarısız
20	0.7	0.4	0.0722	Başarısız
21	0.7	0.7	0.07218	Başarısız
22	0.8	0.1	0.07223	Başarısız
23	0.8	0.4	0.0722	Başarısız
24	0.8	0.7	0.07218	Başarısız
25	0.9	0.1	0.08844	Başarısız
26	0.9	0.4	0.0722	Başarısız
27	0.9	0.7	0.0884	Başarısız

[†] Deneylerde 7000 iterasyon yapılmıştır.

EK D

Ağ yapısının doğruluk kümesi ile belirlenmesi:

Eğitim kümesinin %25 doğruluk kümesi olarak alınarak yapılan bir gizli katman için deney sonuçlarının özeti Tablo D.1.' de verilmektedir.

Tablo D.1. Bir gizli katmanlı ağın unsur tanıma eğitim sonuçları

Deney No	Gizli Katman Sayısı	Nöron Sayısı	Eğitim Kümesi Hata Değeri	Doğruluk Kümesi Hata Değeri	Sonuç
1	1	3	0.1057 Hata azalmıyor	0.2822 Hata azalmıyor	Ağ yapısı unsur tanıma için yeterli değil
2	1	6	0.08594 Hata azalmıyor	0.2258 Hata azalmıyor	Ağ yapısı unsur tanıma için yeterli değil
3	1	9	0.6086 Hata azalmıyor	0.2815 Hata azalmıyor	Ağ yapısı unsur tanıma için yeterli değil
4	1	12	0.06082 Hata azalmıyor	0.3241 Hata azalmıyor	Ağ yapısı unsur tanıma için yeterli değil
5	1	20	0.06079 Hata azalmıyor	0.3013 Hata azalmıyor	Ağ yapısı unsur tanıma için yeterli değil
6	1	30	0.08584 Hata azalmıyor	0.2925 Hata azalmıyor	Ağ yapısı unsur tanıma için yeterli değil
7	1	50	0.1213 Hata azalmıyor	0.309 Hata azalmıyor	Ağ yapısı unsur tanıma için yeterli değil
8	1	100	0.1486 Hata azalmıyor	0.3024 Hata azalmıyor	Ağ yapısı unsur tanıma için yeterli değil

Yapılan deneyler sonucunda, bir gizli katmanın yeterli olmadığı, nöron sayılarını arttırmanın çözüme yardımcı olmadığı, hata değerlerinin azalmadığı ve aynı değerleri izlediği görülmektedir. Bu nedenle, gizli katman sayısı arttırılarak deneyler

tekrarlanmıştır. İki gizli katman için yapılan deneylerin özeti Tablo D.2.' de verilmektedir.

Tablo D.2. İki gizli katmanlı ağın unsur tanıma eğitim sonuçları

Deney No.	Gizli Katman Sayısı	GK Nöron Sayısı	Eğitim Kümesi Hata Değeri	Doğrulama Kümesi Hata Değeri	Sonuç
9	2	3	0.1552	0.3452	Ağ yapısı unsur tanıma için yeterli değil
		3	Hata azalmıyor	Hata azalmıyor	
10	2	6	0.004182	0.2214	Ağ yapısı unsur tanıma için yeterli
		6	Hata azalıyor	Hata azalıyor	
11	2	9	0.003798	0.2448	Ağ yapısı unsur tanıma için yeterli
		9	Hata azalıyor	Hata azalıyor	
12	2	12	0.0034	0.2326	Ağ yapısı unsur tanıma için fazla
		12	Hata azalıyor	Hata artıyor	
13	2	20	0.003034	0.2328	Ağ yapısı unsur tanıma için fazla
		20	Hata azalıyor	Hata artıyor	
14	2	30	0.002604	0.2801	Ağ yapısı unsur tanıma için fazla
		30	Hata azalıyor	Hata artıyor	
15	2	50	0.06067	0.2468	Ağ yapısı unsur tanıma için fazla
		50	Hata azalmıyor	Hata artıyor	
16	2	100	0.343	0.332	Ağ yapısı unsur tanıma için uygun değil
		100	Hata azalmıyor	Hata azalmıyor	

İki gizli katman için yapılan deneyler sonucunda, iki gizli katmanın unsur tanıma için yeterli olduğu, nöron sayılarının 6 + 6 veya 9 + 9 şeklinde katmanlara dağılmasının uygun olduğu gözlenmiştir. Nöron sayılarının 20 + 20 ve daha fazla sayılara çıkması durumunda eğitim hata değeri azalmakta ancak doğrulama hata değeri artmaktadır. Bu, ağın gerektiğinden fazla gizli katman nöronu içerdiğini ve karmaşık bir yapıya dönüşmekte olduğunu belirtmektedir (overfitting).

Gizli katman sayısı artırılarak ağın davranışı incelenmiş, deneyler tekrarlanmıştır (Tablo D.3.).

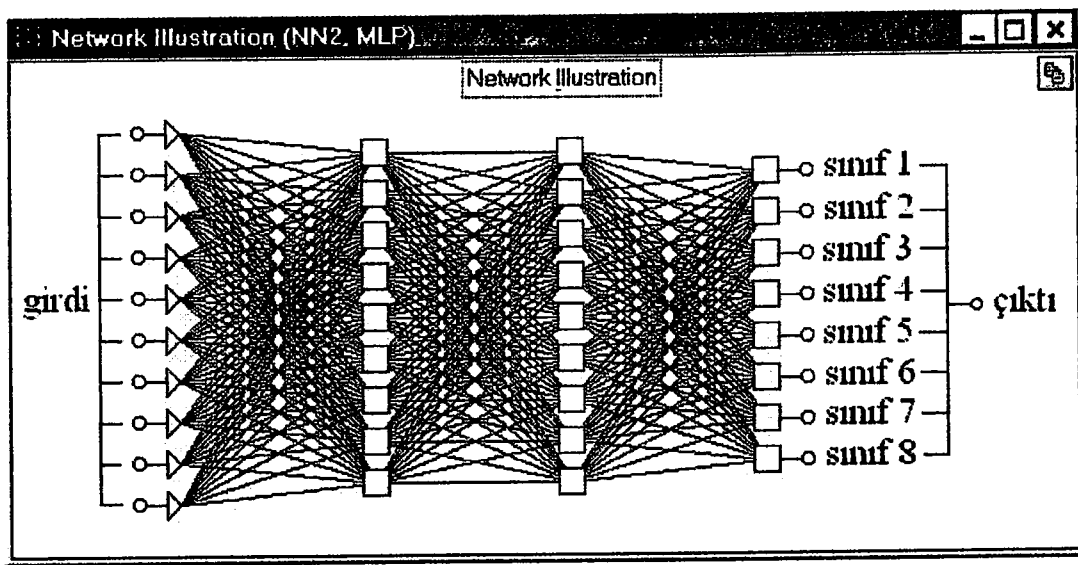
Tablo D.3. Üç gizli katmanlı ağın unsur tanıma eğitim sonuçları

Deney No.	Gizli Katman Sayısı	GK Nöron Sayısı	Eğitim Kümesi Hata Değeri	Doğrulama Kümesi Hata Değeri	Sonuç
17	3	3 3 3	0.3409 Hata artıyor	0.3463 Hata artıyor	Ağ yapısı unsur tanıma için fazla
18	3	6 6 6	0.1289 Hata azalmıyor	0.3004 Hata artıyor	Ağ yapısı unsur tanıma için fazla
19	3	9 9 9	0.005383 Hata azalıyor	0.2317 Hata artıyor	Ağ yapısı unsur tanıma için fazla
20	3	12 12 12	0.002522 Hata azalıyor	0.2477 Hata artıyor	Ağ yapısı unsur tanıma için fazla
21	3	20 20 20	0.002233 Hata azalıyor	0.2307 Hata artıyor	Ağ yapısı unsur tanıma için fazla
22	3	30 30 30	0.001858 Hata azalıyor	0.2517 Hata artıyor	Ağ yapısı unsur tanıma için fazla

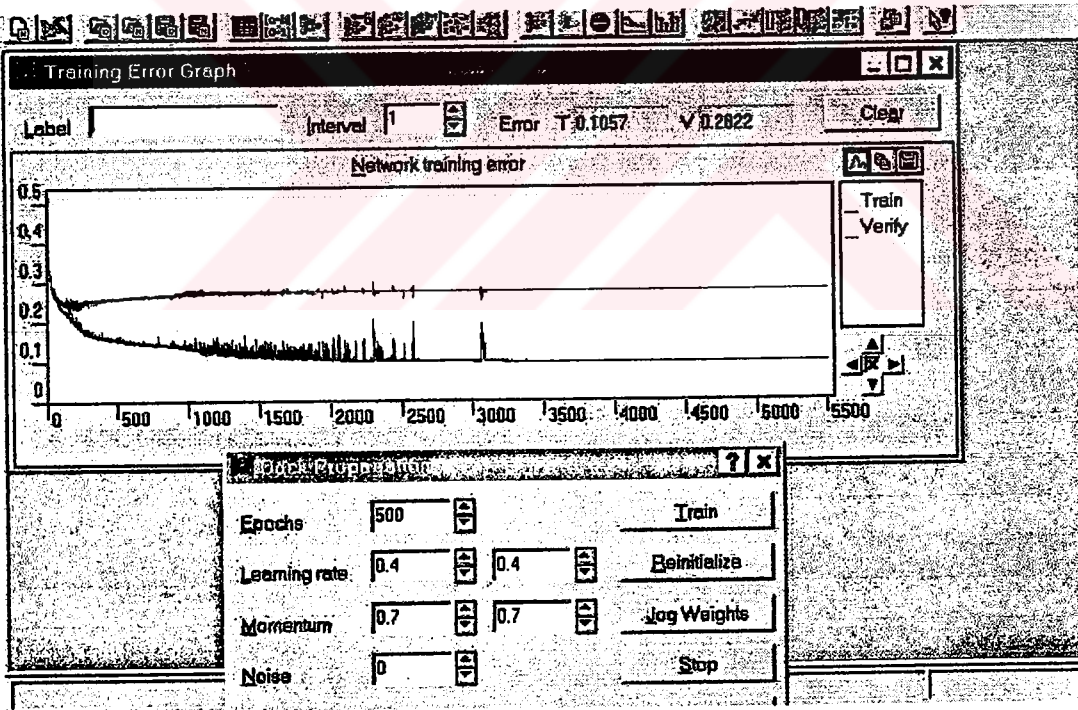
Üç gizli katmanın ise ağ yapısını karmaşık hale dönüştürdüğü, fakat unsur tanıma problemi çözümüne katkıda bulunmadığı gözlenmiştir.

Bu sonuçlara göre iki gizli katmanlı ağın 6 ve 12 arasında nöron sayıları için çeşitli deneyler yapılarak en uygun nöron sayıları bulunmuştur. Sonuçlar, sinirsel ağ yapılarında önerilen girdi ve çıktı nöronları toplamının yarısının gizli katman nöron sayısı olarak alınabileceği görüşlerini doğrulamaktadır.

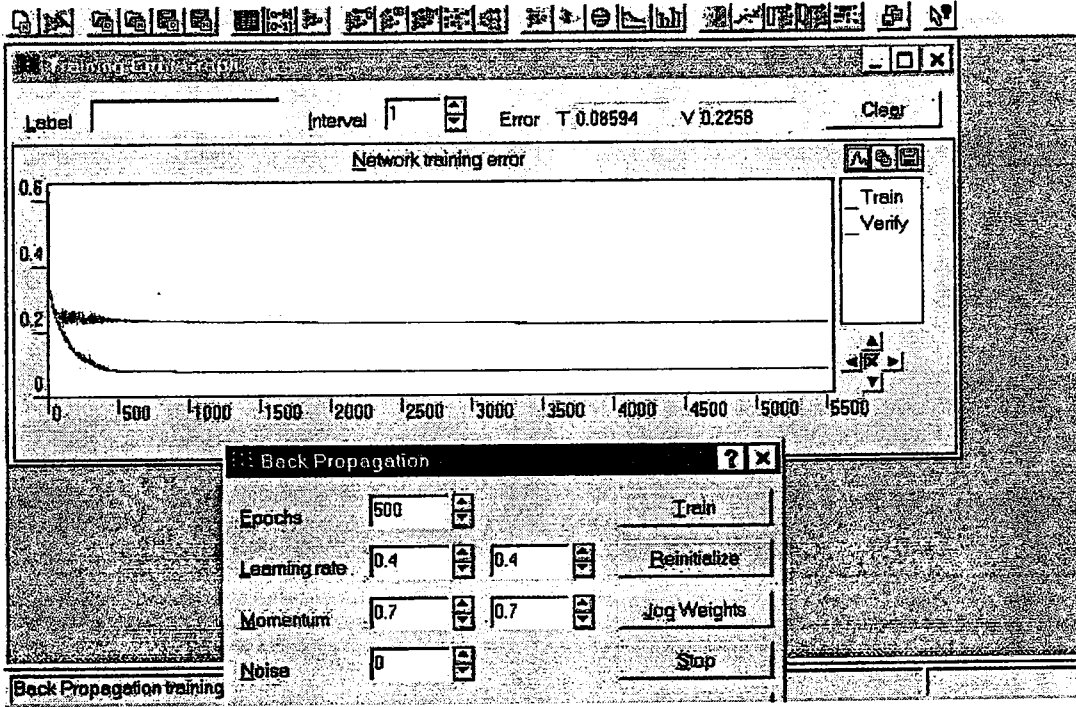
Bu sonuca göre elde edilen iki gizli katmanlı 10+9+9+8 nöronlu ağ yapısı Şekil D.1.'de verilmektedir. Tablo D.1., Tablo D.2. ve Tablo D.3.'de özeti verilen deneylere ait eğitim ve doğrulama kümesi hata grafikleri Şekil D.2. - D.23.'de verilmektedir



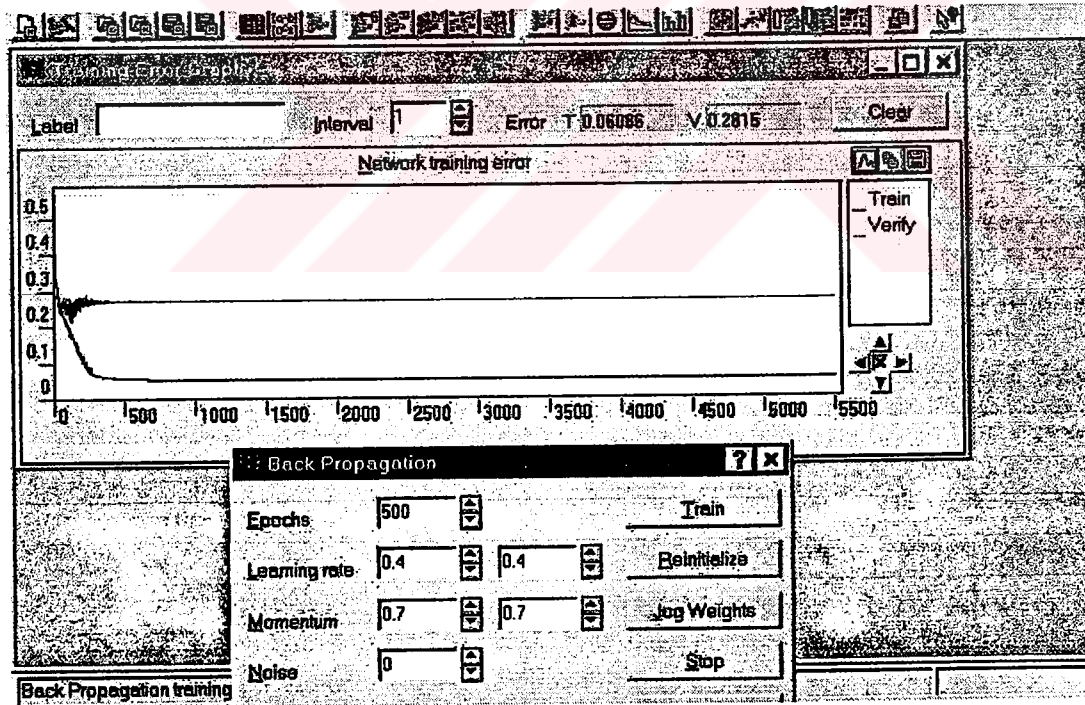
Şekil D.1. İki gizli katmanlı 10 + 9 + 9 + 8 nöronlu ağ yapısı



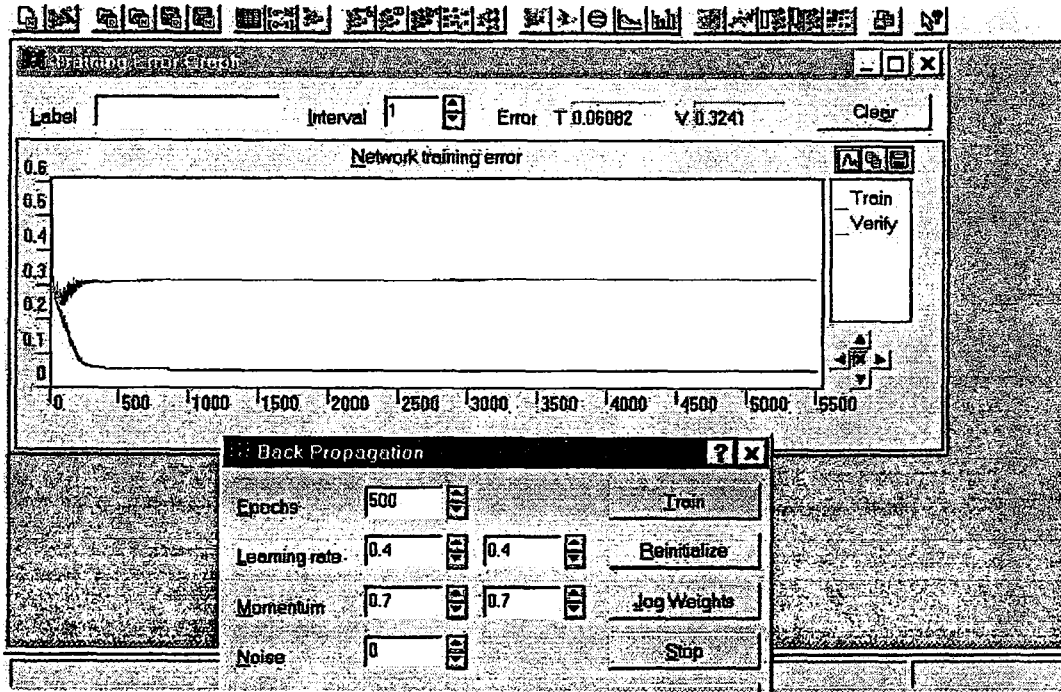
Şekil D.2. Deney No.1 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



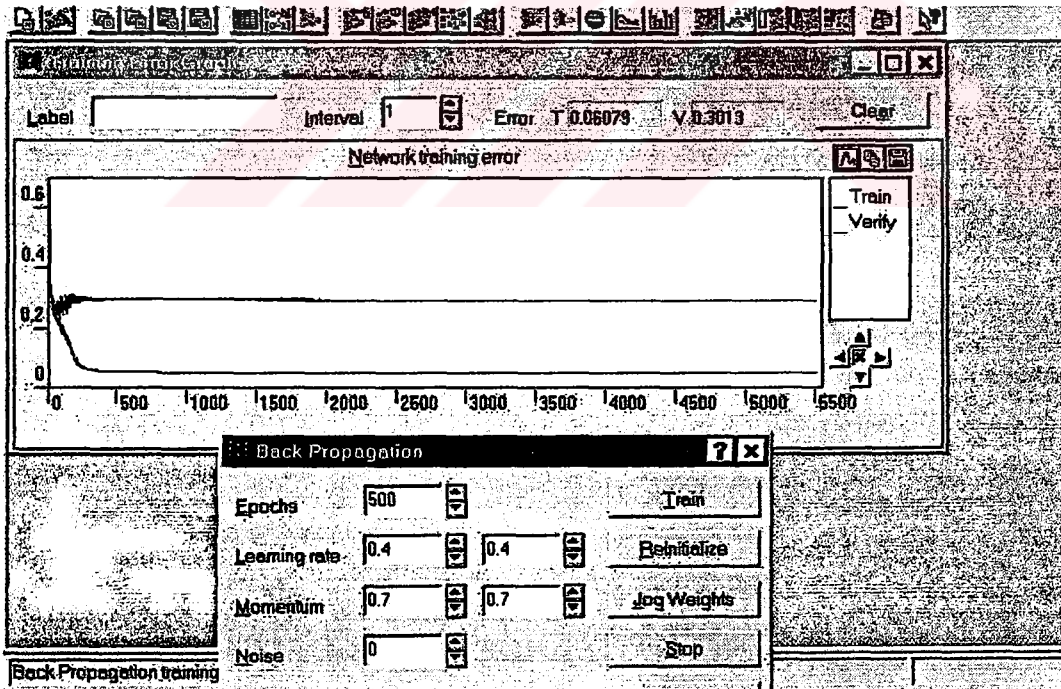
Sekil D.3. Deney No.2 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



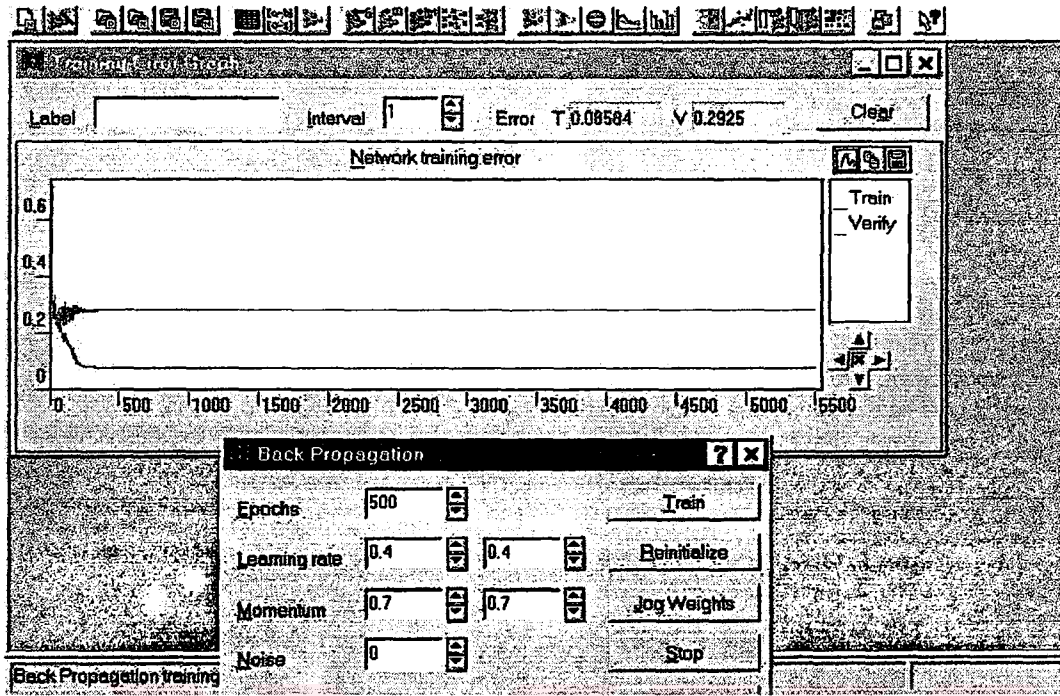
Şekil D.4. Deney No.3 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



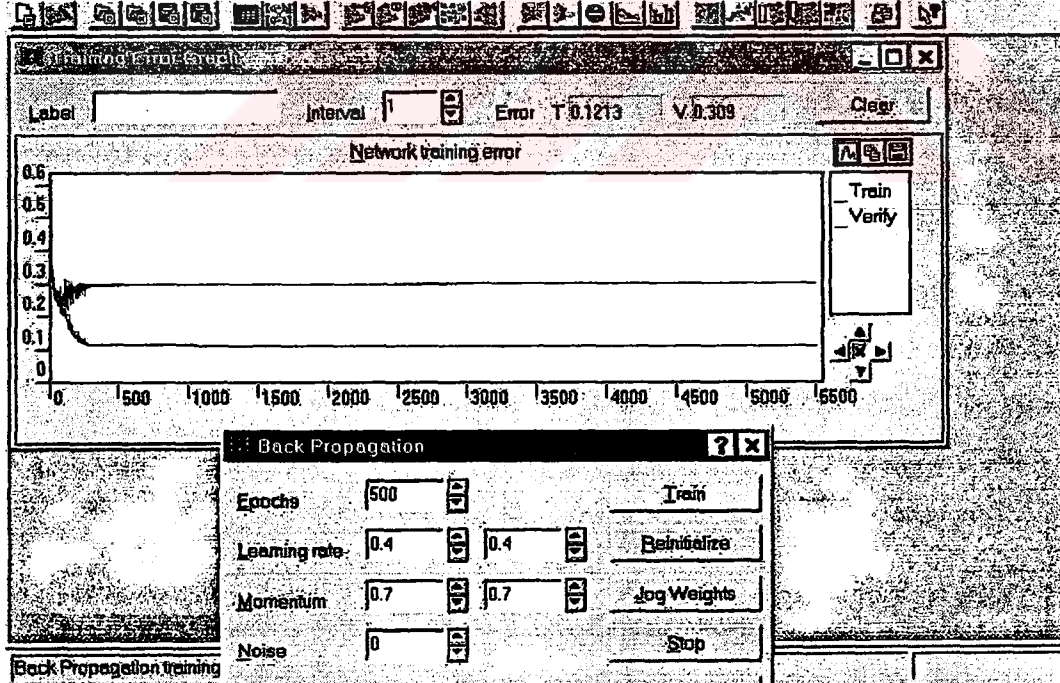
Sekil D.5. Deney No.4 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



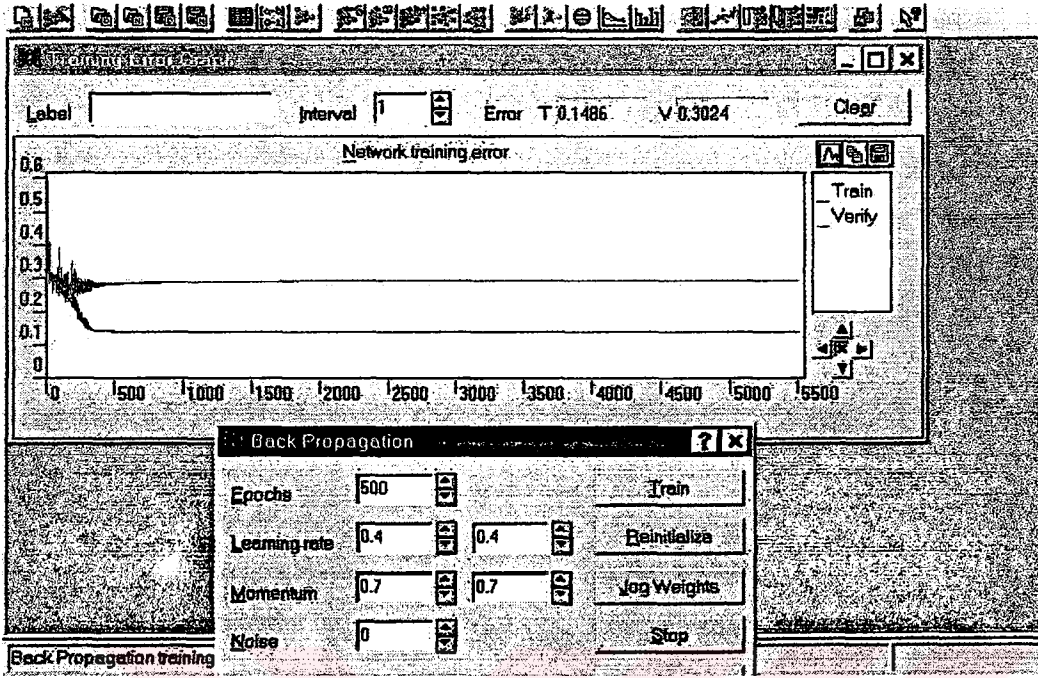
Şekil D.6. Deney No.5 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



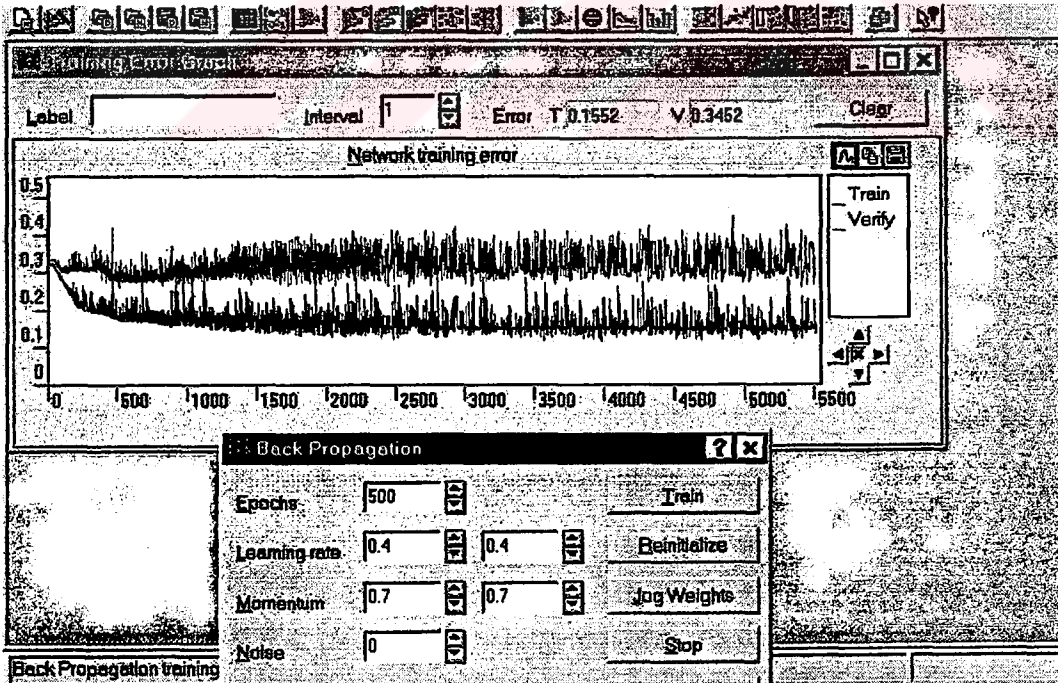
Şekil D.7. Deney No. 6 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



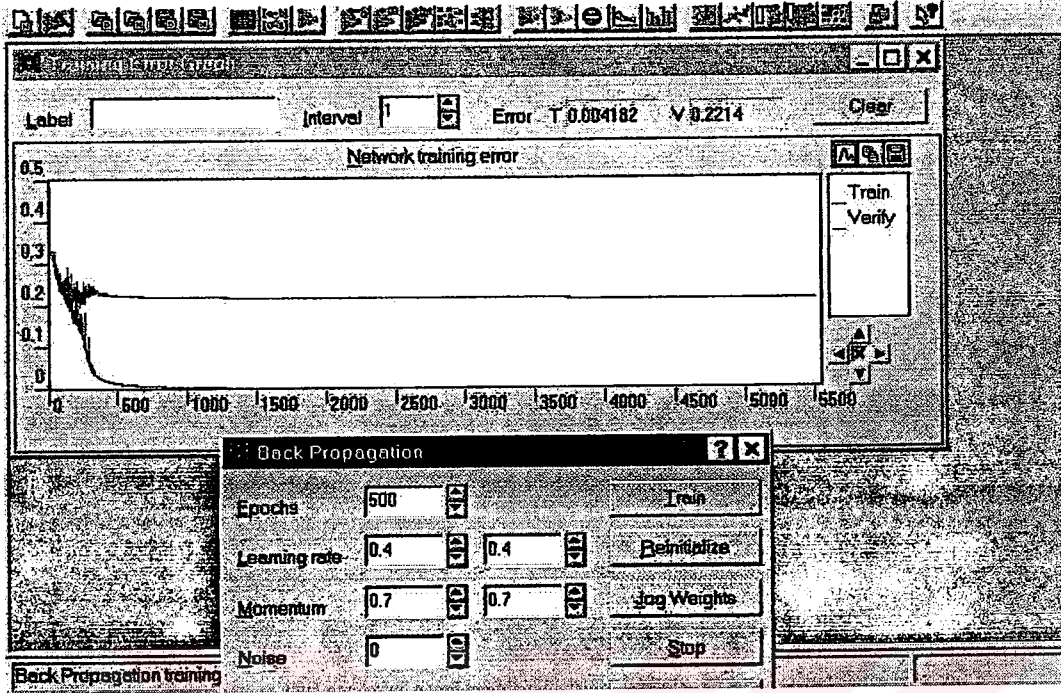
Şekil D.8. Deney No.7 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



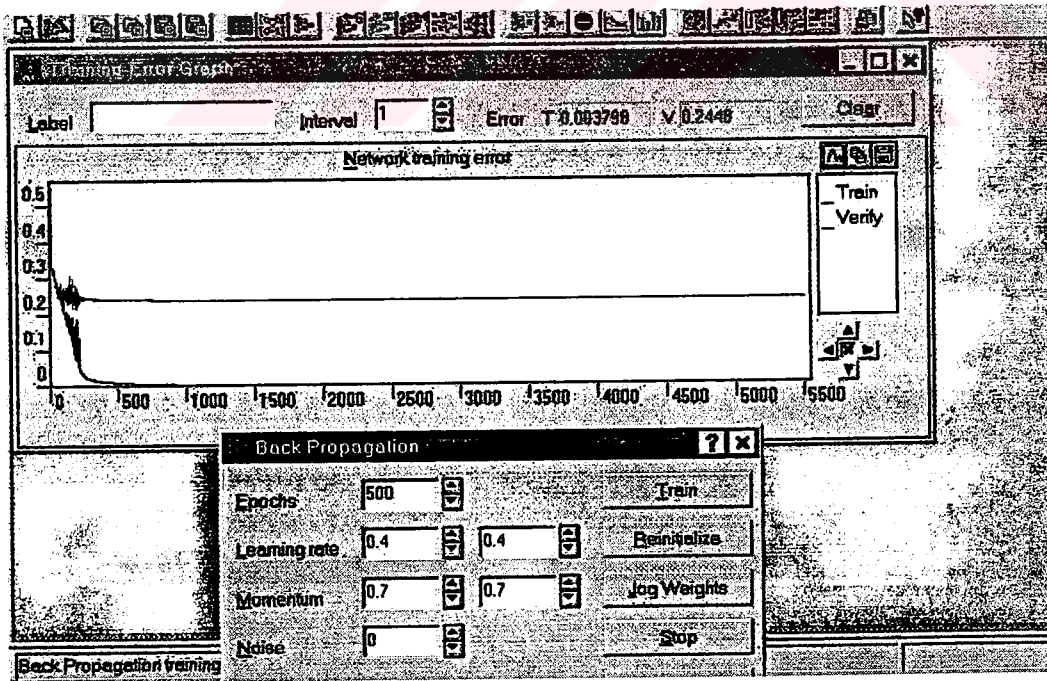
Şekil D.9. Deney No.8 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



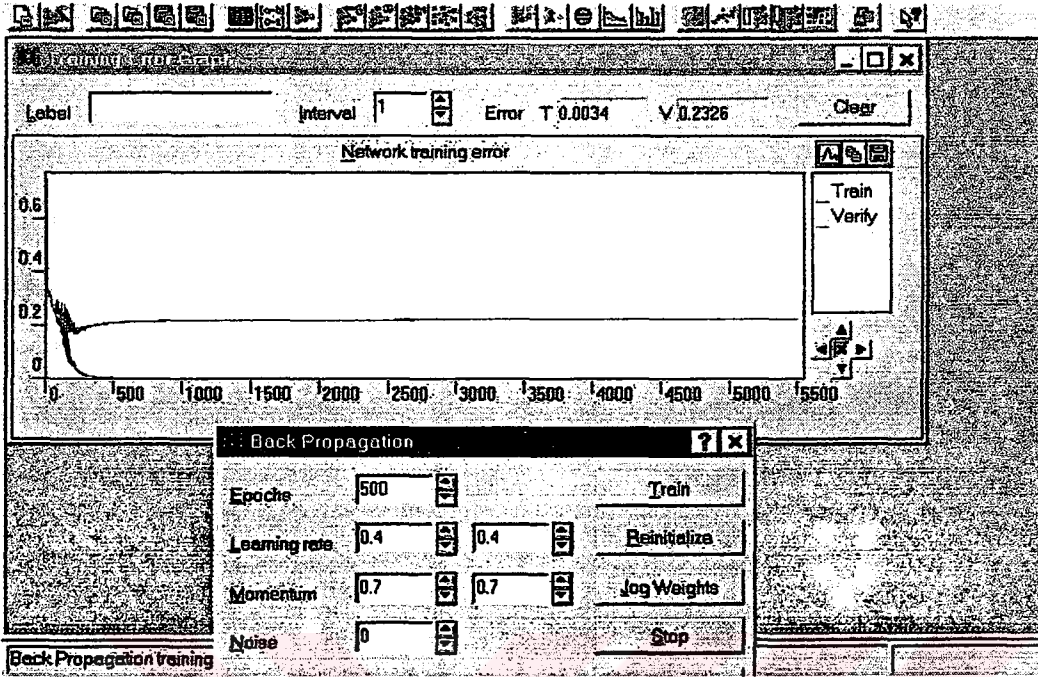
Şekil D.10. Deney No.9 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



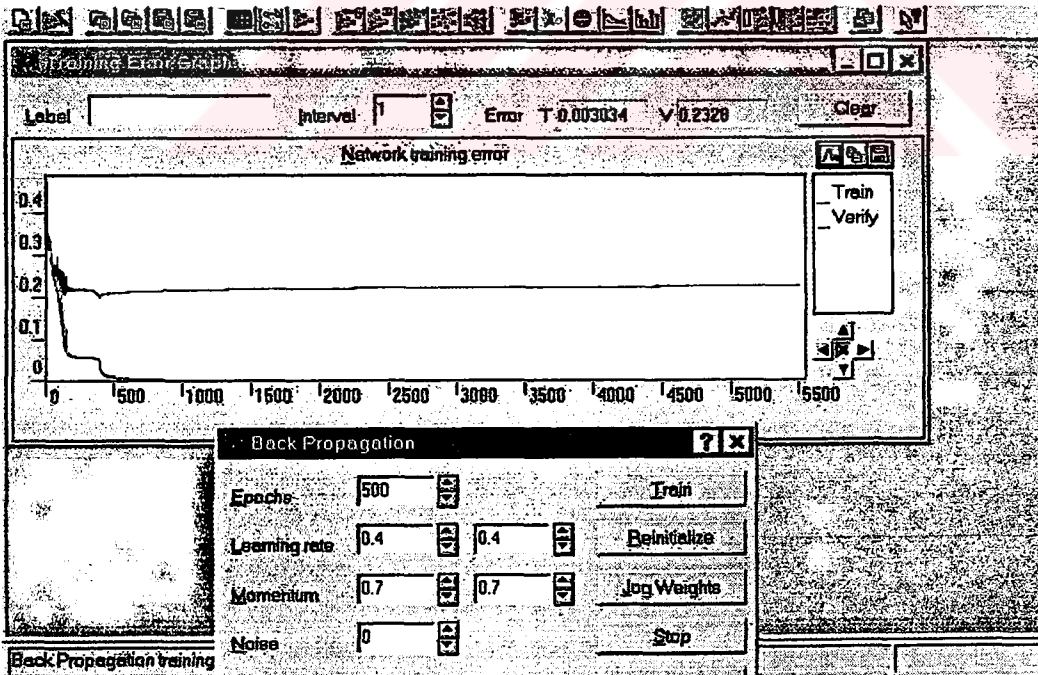
Şekil D.11. Deney No.10 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



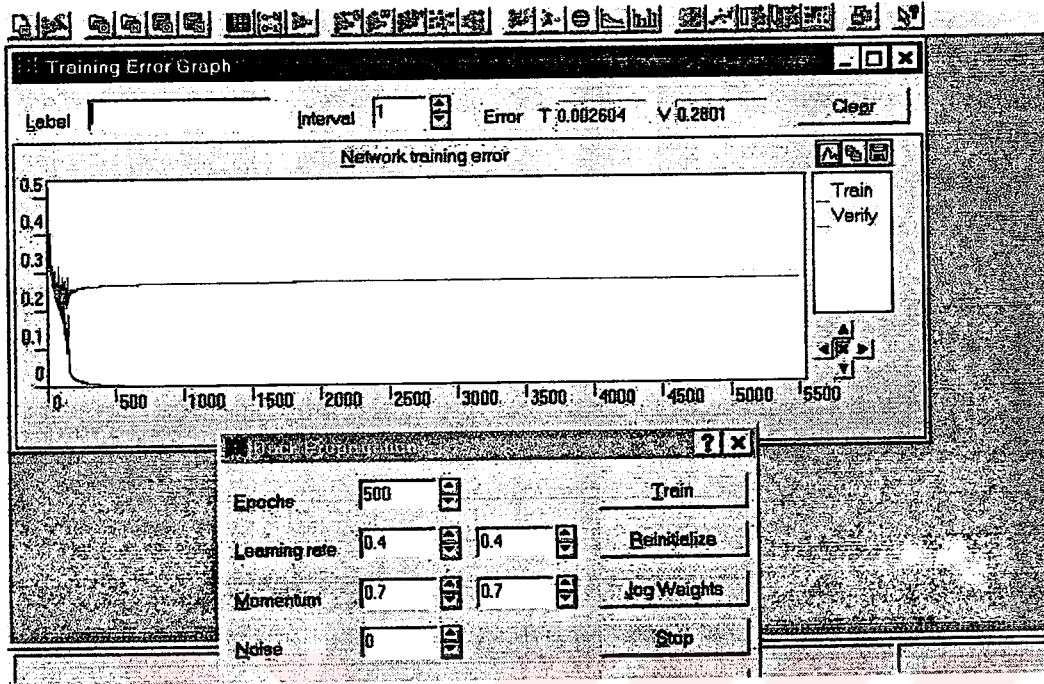
Şekil D.12. Deney No.11 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



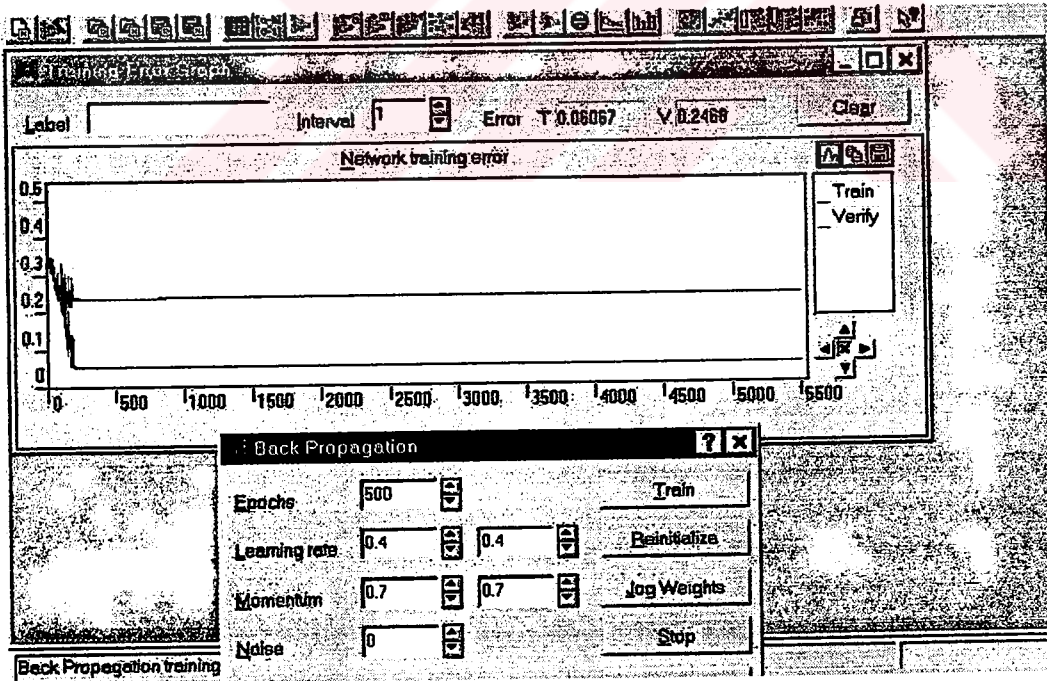
Şekil D.13. Deney No.12 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



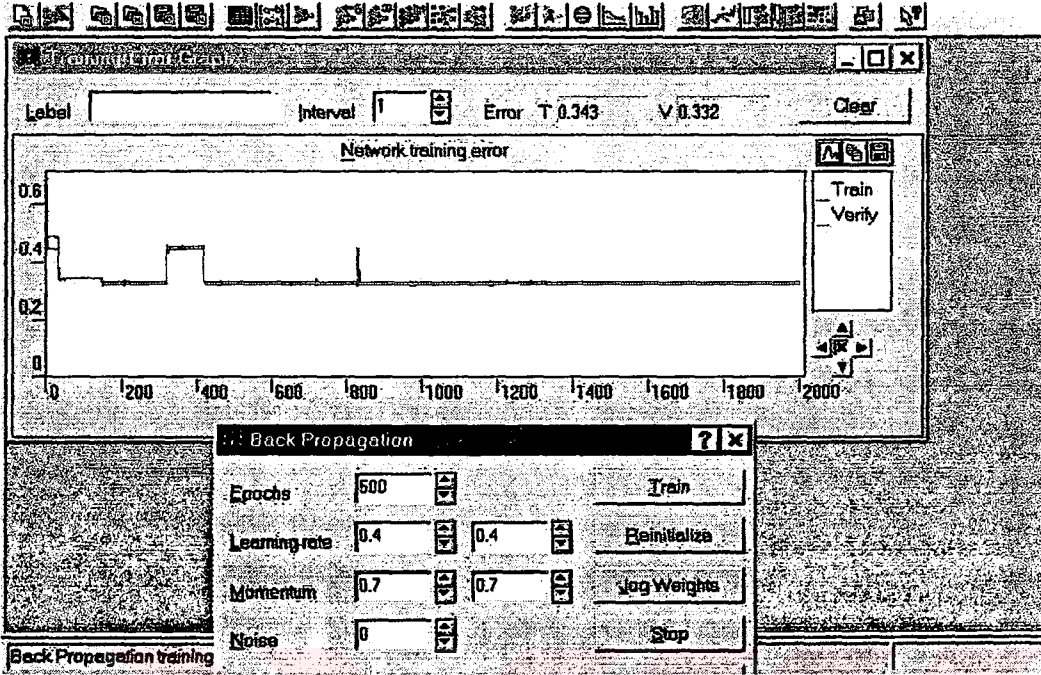
Şekil D.14. Deney No.13 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



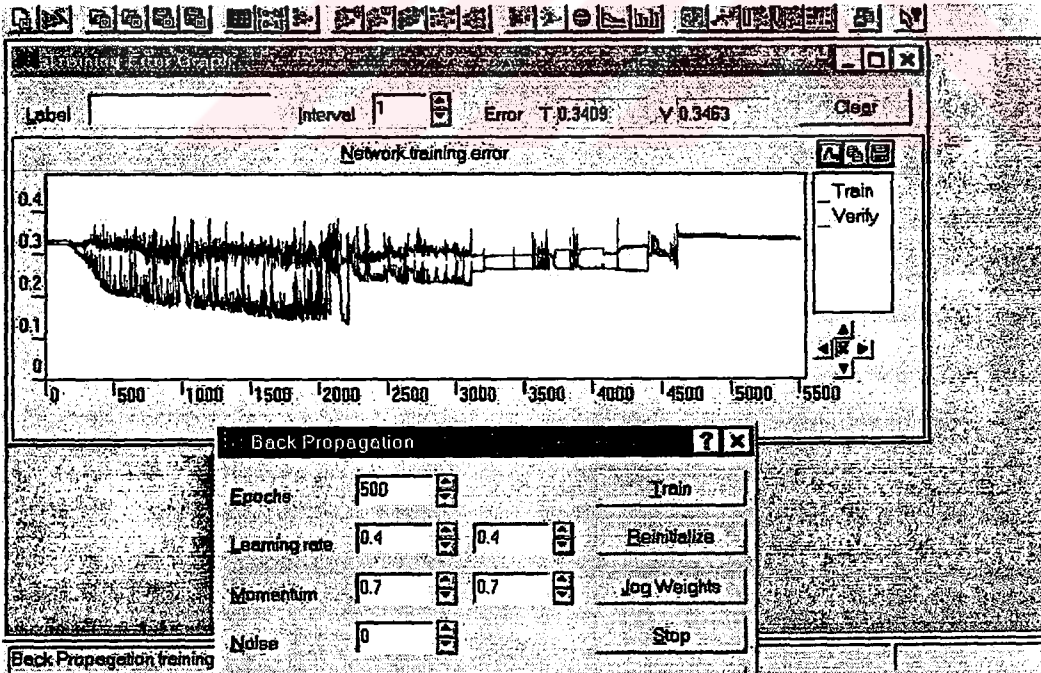
Şekil D.15. Deney No.14 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



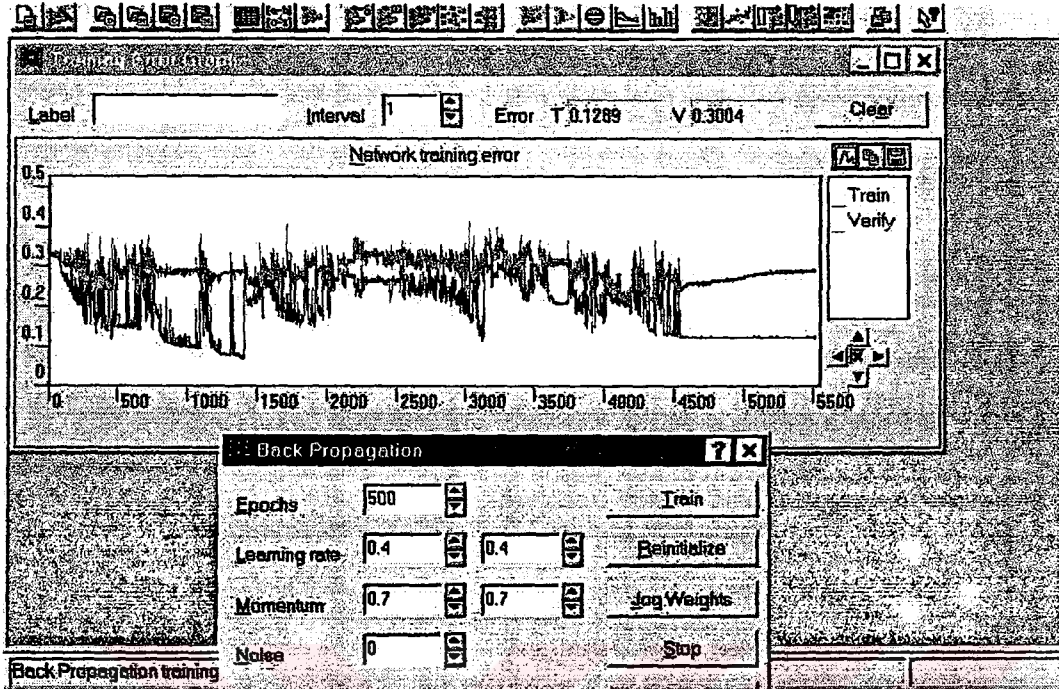
Şekil D.16. Deney No.15 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



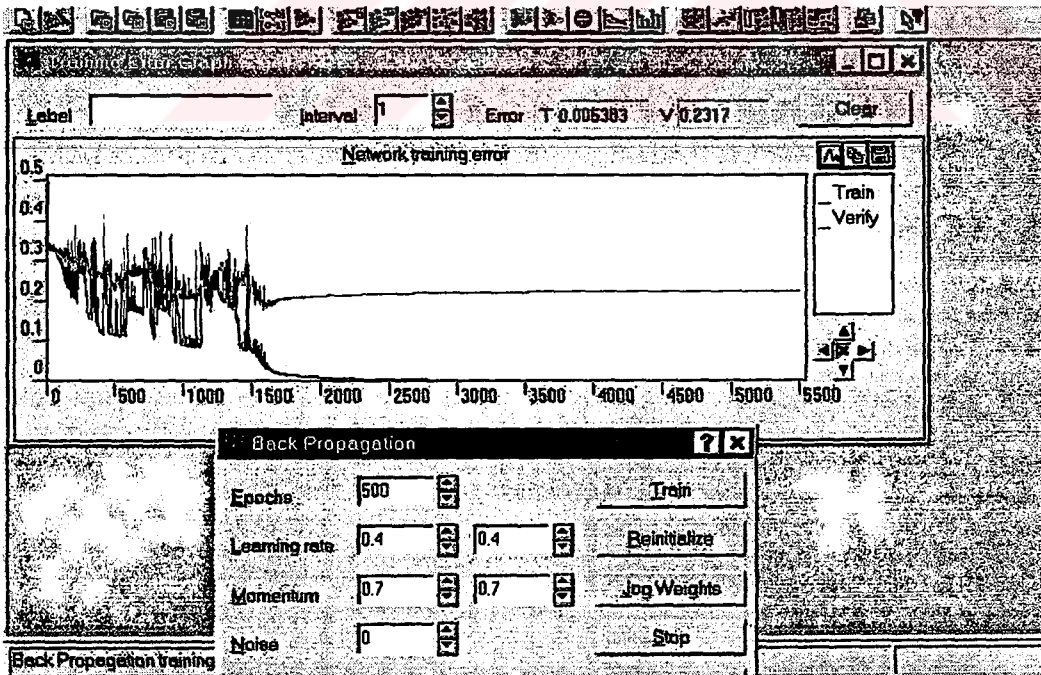
Şekil D.17. Deney No.16 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



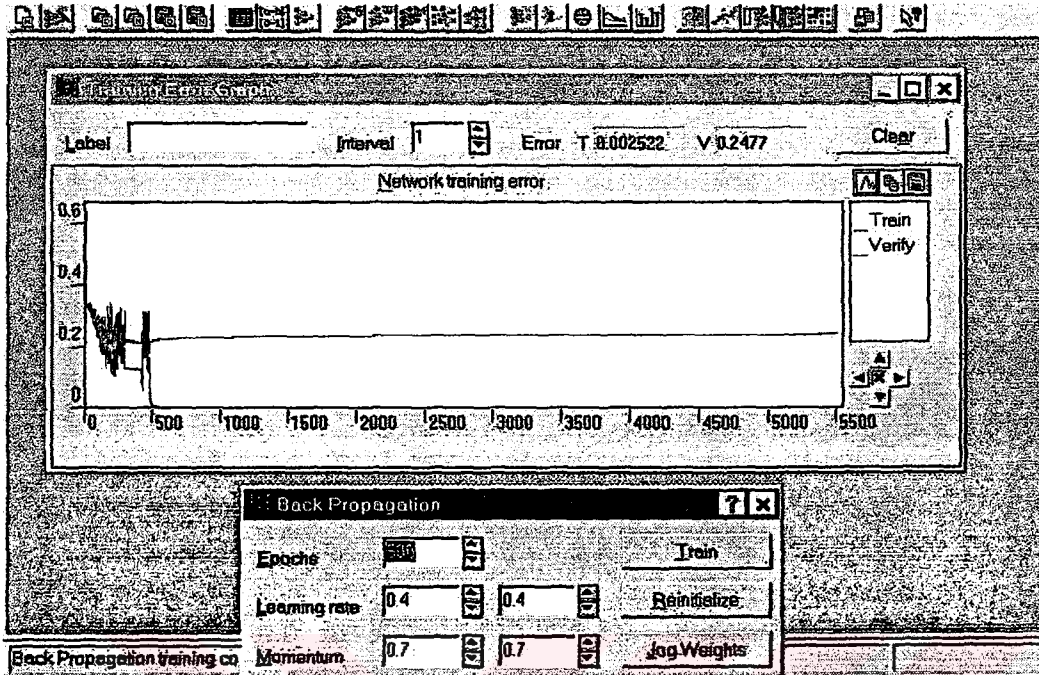
Şekil D.18. Deney No.17 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



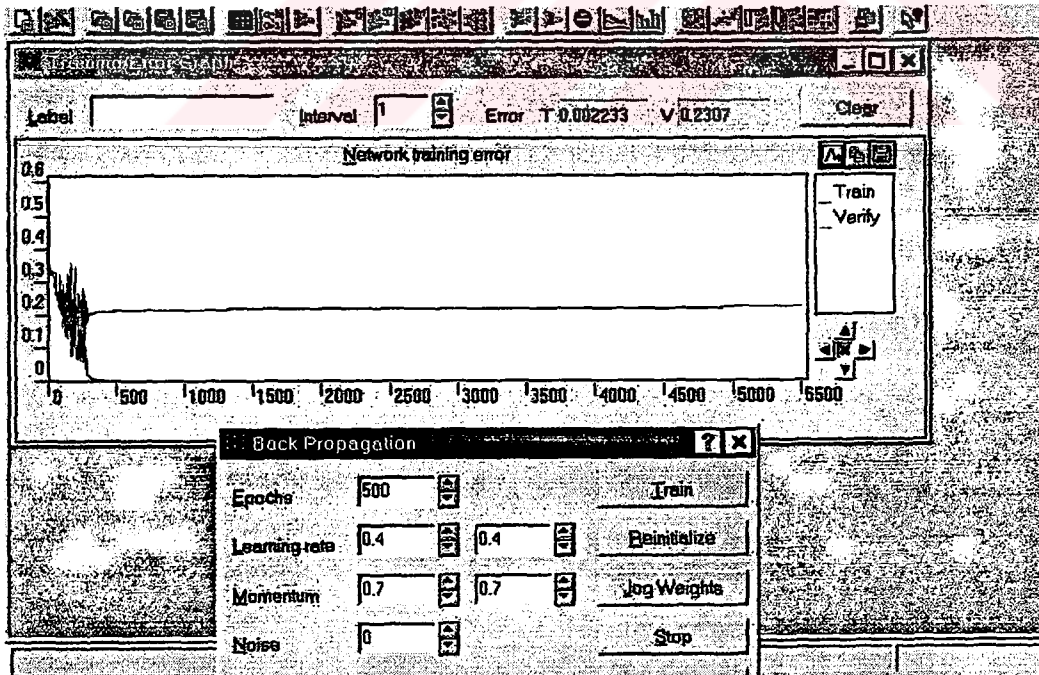
Şekil D.19. Deney No.18 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



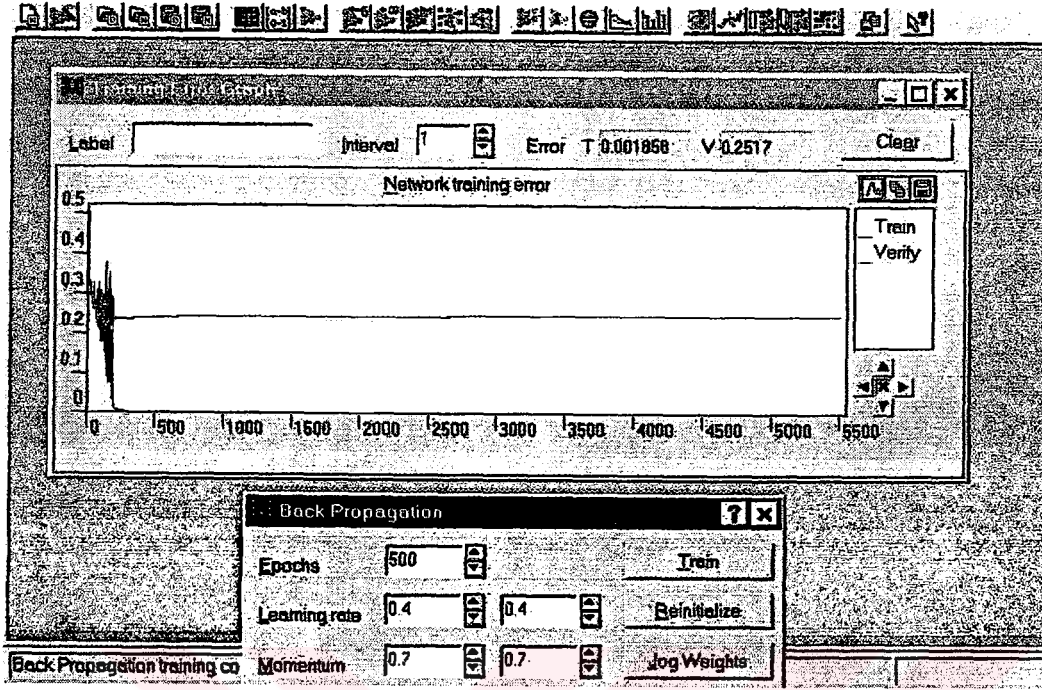
Şekil D.20. Deney No.19 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



Şekil D.21. Deney No.20 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



Şekil D.22. Deney No.21 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği



Şekil D.23. Deney No.22 için eğitim ve doğrulama kümesi hata grafiği

EK E

Kanal unsuru test sonuçları :

Kanal Test 1:

Input	a1	a2	a3	a4	a5
	3.056	3.167	2.806	2.362	2
	a6	a7	a8	a9	a10
	1.764	1.736	0	0	0
Output	A11	A12	A13	A14	A15
	0.9901	0.04531	1.297e-05	0.0005774	1.26e-05
	A16	A17	A18		
	0.0002497	0.0002967	1.269e-06		

Kanal Test 2:

Input	a1	a2	a3	a4	a5
	2.8	2.431	2.417	2	1.792
	a6	a7	a8	a9	a10
	1.785	0	0	0	0
Output	A11	A12	A13	A14	A15
	0.9993	0.0008883	0.0006886	0.0002706	0.0002245
	A16	A17	A18		
	0.002329	0.0003102	1.468e-07		

Kanal Test 3:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3	3	3	2.1	2.1
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.8799	0.004308	5.279e-06	0.0003284	3.524e-05
	A16	A17	A18		
	0.03588	8.462e-05	8.615e-08		

Kanal Test 4:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.694	2.194	2.194	1.847	1.847
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.9988	0.0005285	0.0003241	0.000229	0.0001389
	A16	A17	A18		
	0.005432	0.0003805	1.168e-07		

Adım unsuru test sonuçları :**Adım Test 1:**

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.657	3.014	2.597	2.375	1.731
	a6	a7	a8	a9	a10
	1.574	1.5	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.002503	0.9941	2.967e-09	0.004963	8.082e-07
	A16	A17	A18		
	0.002141	5.428e-06	4.648e-06		

Adım Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.926	3.889	2.917	2.861	1.648
	a6	a7	a8	a9	a10
	1.611	1.5	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.007276	0.9111	1.183e-08	0.005598	2.683e-06
	A16	A17	A18		
	0.006599	4.548e-06	6.773e-07		

Adım Test 3:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.25	3	1.929	1.929	1.5
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.000409	0.9819	9.573e-10	0.00932	5.929e-07
	A16	A17	A18		
	0.01512	6.707e-06	5.163e-06		

Adım Test 4:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2	2.25	1.786	1.786	1.5
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0005774	0.9881	1.12e-09	0.01434	6.623e-07
	A16	A17	A18		
	0.004374	2.877e-06	2.563e-06		

Adım Test 5:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.111	2.222	1.741	1.741	1.5
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.001447	0.9904	1.82e-09	0.004083	7.852e-07
	A16	A17	A18		
	0.006222	4.683e-06	2.428e-06		

Cep unsuru test sonuçları :

Cep Test 1:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	4.6	4.084	3.612	3.612	3.611
	a6	a7	a8	a9	a10
	3.584	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0002277	1.484e-08	0.9944	1.964e-07	0.006072
	A16	A17	A18		
	5.236e-07	2.73e-06	0.0008401		

Cep Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	4.167	3.375	3.375	3	3
	a6	a7	a8	a9	a10
	2.75	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0002768	1.348e-08	0.9958	1.73e-07	0.004641
	A16	A17	A18		
	3.894e-07	2.5e-06	0.0009653		

Cep Test 3:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	5	4	4	4	4
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0002869	1.188e-08	0.9971	1.782e-07	0.004054
	A16	A17	A18		
	3.34e-07	2.718e-06	0.00141		

Cep Test 4:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	5	4	4	4	4
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0002869	1.188e-08	0.9971	1.782e-07	0.004054
	A16	A17	A18		
	3.34e-07	2.718e-06	0.00141		

Cep Test 5:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	5	4	4	4	4
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0002869	1.188e-08	0.9971	1.782e-07	0.004054
	A16	A17	A18		
	3.34e-07	2.718e-06	0.00141		

Çıkıntı unsuru test sonuçları :

Çıkıntı Test 1:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	1.75	3	3	3	3
	a6	a7	a8	a9	a10
	2.5	2.5	2.5	2.5	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	4.69e-05	0.00328	5.535e-10	0.9962	2.93e-07
	A16	A17	A18		
	0.0003587	9.057e-08	4.87e-08		

Çıkıntı Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	1.926	3.653	3.181	3.098	2.5
	a6	a7	a8	a9	a10
	2.472	2.403	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	4.246e-05	0.004145	4.423e-10	0.996	2.419e-07
	A16	A17	A18		
	0.0003171	8.43e-08	4.962e-08		

Çıkıntı Test 3:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2	3	3	3	3
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	4.815e-05	0.0027	6.819e-10	0.9967	3.676e-07
	A16	A17	A18		
	0.0004153	1.051e-07	5.405e-08		

Çıkıntı Test 4:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2	3	3	3	3
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	4.815e-05	0.0027	6.819e-10	0.9967	3.676e-07
	A16	A17	A18		
	0.0004153	1.051e-07	5.405e-08		

Çıkıntı Test 5:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	1.695	2.75	2.75	2.695	2.695
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	4.598e-05	0.003279	5.217e-10	0.9964	2.803e-07
	A16	A17	A18		
	0.0003427	9.142e-08	4.869e-08		

Kör kanal unsuru test sonuçları :

Kör Kanal Test 1:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3.759	3.625	3.542	3.209	2.75
	a6	a7	a8	a9	a10
	2.403	1.764	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0006877	1.825e-07	0.005523	2.425e-06	0.9927
	A16	A17	A18		
	0.00113	0.0003449	4.831e-07		

Kör Kanal Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3.579	3.389	3.139	3.07	2.431
	a6	a7	a8	a9	a10
	2.417	1.764	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.02778	5.615e-07	0.01491	4.152e-06	0.8494
	A16	A17	A18		
	0.01004	0.0001241	1.492e-06		

Kör Kanal Test 3:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	4.167	4	4	4	3
	a6	a7	a8	a9	a10
	3	1.75	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0001688	1.729e-07	0.004432	2.488e-06	0.9945
	A16	A17	A18		
	0.001038	0.0002809	4.48e-07		

Kör Kanal Test 4:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3.75	4	3	3	1.75
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	7.645e-05	1.869e-07	0.002395	4.319e-06	0.9977
	A16	A17	A18		
	0.002935	0.0005174	5.019e-07		

Kör Kanal Test 5:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3.667	3.667	2.917	2.917	1.834
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0001881	1.421e-07	0.004786	3.215e-06	0.9967
	A16	A17	A18		
	0.001305	0.0005584	6.36e-07		

Köşe cep unsuru test sonuçları :

Köşe Cep Test 1:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.983	2.973	2.764	2.445	1.778
	a6	a7	a8	a9	a10
	1.713	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.03389	0.000303	0.0001036	3.835e-05	0.003101
	A16	A17	A18		
	0.9666	2.776e-07	8.93e-08		

Köşe Cep Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3.122	3.653	2.875	2.681	1.657
	a6	a7	a8	a9	a10
	1.611	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0008194	6.963e-05	0.0001175	1.896e-05	0.04412
	A16	A17	A18		
	0.9872	2.01e-07	1.703e-07		

Köşe Cep Test 3:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.537	2.556	1.861	1.843	0
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.001327	0.001127	4.236e-09	0.0003261	1.515e-07
	A16	A17	A18		
	0.9695	0.05142	0.0008472		

Delik unsuru test sonuçları :

Delik Test 1:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3	3	2.074	1.926	0
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.001092	1.732e-07	5.547e-07	2.98e-05	0.002498
	A16	A17	A18		
	0.0001735	0.9971	0.0007194		

Delik Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3	3	4.334	2	0
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	2.969e-07	1.941e-05	5.492e-09	0.0001494	0.004228
	A16	A17	A18		
	0.01421	0.968	0.004079		

Kör delik unsuru test sonuçları :

Kör Delik Test 1:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3.778	3.778	4.778	1.926	0
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	1.723e-10	9.366e-08	0.001627	8.343e-07	8.877e-07
	A16	A17	A18		
	0.003116	0.001841	0.9969		

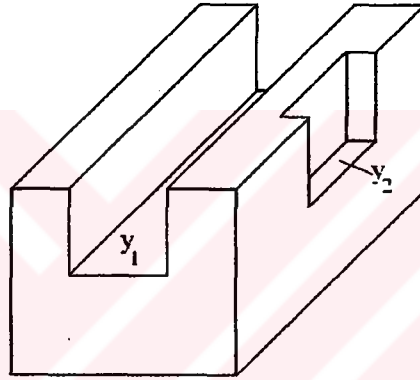
Kör Delik Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	4.111	4.111	4.056	2.037	0
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	4.011e-10	4.409e-08	0.003063	6.864e-07	1.053e-06
	A16	A17	A18		
	0.002645	0.002336	0.996		

EK F

Literatürden alınan bazı parçalar ile uygulamalarda görülen bazı örnek parçalar Şekil F.1. - F.7.' de verilmektedir. Örnek parçalara ait tanıma sonuçları aşağıda verilmektedir.

Birinci örnek parça :



Şekil F.1. Birinci örnek parça (Joshi ve Chang, 1988)

Yüz sayısal değer vektörleri :

Y1 : [2.500 2.000 2.000 1.750 1.750 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y2 : [3.500 3.500 2.750 2.750 1.750 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

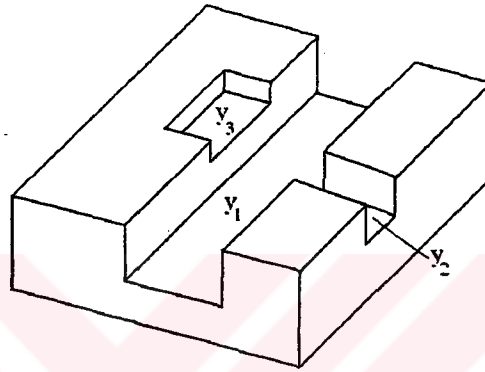
Birinci örnek parçaya ait yüz sayısal değer vektörleri sinirsel ağa girdi olarak verilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.993	0.00314	3.696e-05	0.0002921	4.581e-05
	A16	A17	A18		
	0.004168	0.000153	9.62e-08		

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0002889	1.388e-07	0.004104	3.02e-06	0.9967
	A16	A17	A18		
	0.00146	0.0006307	5.306e-07		

Bu sonuçlar Adım 4' de belirlenen unsur sınıfları için sinirsel ağ çıktı değerlerine göre y_1 yüzünü kanal, y_2 yüzünü kör kanal olarak vermektedir.

İkinci örnek parça :



Şekil F.2. İkinci örnek parça

Yüz sayısal değer vektörleri :

Y1 : [2.833 2.000 2.000 1.750 1.750 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y2 : [3.000 2.250 2.250 2.000 1.750 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y3 : [3.500 3.500 2.750 2.750 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

İkinci örnek parçaya ait yüz sayısal değer vektörleri sinirsel ağa girdi olarak verilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

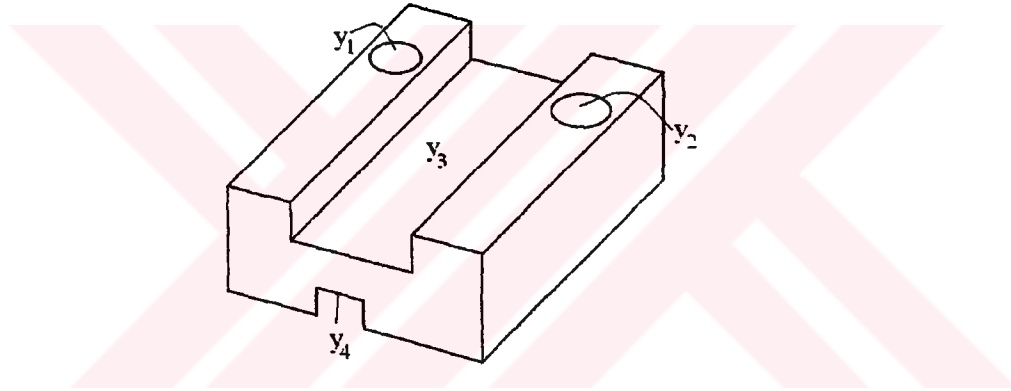
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.9996	1.777e-05	0.002006	0.0001022	0.0003171
	A16	A17	A18		
	0.01963	0.002928	2.526e-07		

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.9996	1.786e-05	0.004118	0.0001072	0.0009182
	A16	A17	A18		
	0.00835	0.002804	2.114e-07		

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0002203	1.945e-07	0.002725	2.947e-06	0.996
	A16	A17	A18		
	0.001897	0.0003767	3.459e-07		

Bu sonuçlar sinirsel ağ çıktı değerlerine göre y_1 yüzünü kanal, y_2 yüzünü kanal, y_3 yüzünü kör kanal olarak vermektedir.

Üçüncü örnek parça :



Şekil F.3. Üçüncü örnek parça

Yüz sayısal değer vektörleri :

$Y1 : [3.000 \ 3.000 \ 2.000 \ 2.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$

$Y2 : [3.000 \ 3.000 \ 2.000 \ 2.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$

$Y3 : [2.500 \ 2.000 \ 2.000 \ 1.833 \ 1.833 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$

$Y4 : [2.500 \ 2.000 \ 2.000 \ 1.833 \ 1.833 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000]$

Üçüncü örnek parçaya ait yüz sayısal değer vektörleri sinirsel ağa girdi olarak verilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.004609	4.641e-08	8.828e-07	1.742e-05	0.003196
	A16	A17	A18		
	0.0001956	0.9969	0.0001601		

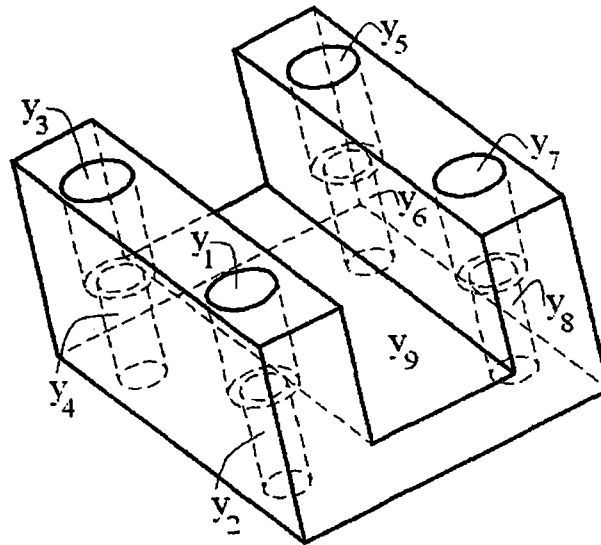
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.004609	4.641e-08	8.828e-07	1.742e-05	0.003196
	A16	A17	A18		
	0.0001956	0.9969	0.0001601		

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.9941	0.002482	6.578e-05	0.0002947	9.16e-05
	A16	A17	A18		
	0.006123	0.0001013	5.033e-08		

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.9941	0.002482	6.578e-05	0.0002947	9.16e-05
	A16	A17	A18		
	0.006123	0.0001013	5.033e-08		

Bu sonuçlar sinirsel ağ çıktı değerlerine göre y_1 yüzünü delik, y_2 yüzünü delik , y_3 yüzünü kanal, y_4 yüzünü kanal olarak vermektedir.

Dördüncü örnek parça :



Şekil F.4. Dördüncü örnek parça

Yüz sayısal değer vektörleri :

Y1 : [4.000 4.000 4.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y2 : [3.000 3.000 4.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y3 : [4.000 4.000 4.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y4 : [3.000 3.000 4.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y5 : [4.000 4.000 4.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y6 : [3.000 3.000 4.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y7 : [4.000 4.000 4.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y8 : [3.000 3.000 4.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y9 : [2.500 2.000 2.000 1.750 1.750 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Dördüncü örnek parçaya ait yüz sayısal değer vektörleri sinirsel ağa girdi olarak verilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	4.257e-10	4.606e-08	0.003007	6.903e-07	1.003e-06
	A16	A17	A18		
	0.002396	0.002434	0.9961		

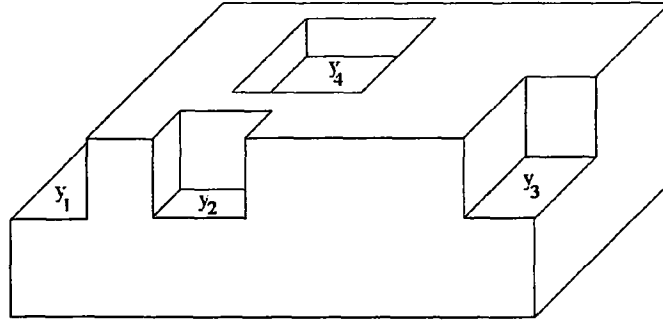
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	2.606e-06	1.24e-05	1.786e-08	0.0001572	0.003599
	A16	A17	A18		
	0.002979	0.9906	0.006995		

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	4.257e-10	4.606e-08	0.003007	6.903e-07	1.003e-06
	A16	A17	A18		
	0.002396	0.002434	0.9961		

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	2.606e-06	1.24e-05	1.786e-08	0.0001572	0.003599
	A16	A17	A18		
	0.002979	0.9906	0.006995		
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	4.257e-10	4.606e-08	0.003007	6.903e-07	1.003e-06
	A16	A17	A18		
	0.002396	0.002434	0.9961		
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	2.606e-06	1.24e-05	1.786e-08	0.0001572	0.003599
	A16	A17	A18		
	0.002979	0.9906	0.006995		
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	4.257e-10	4.606e-08	0.003007	6.903e-07	1.003e-06
	A16	A17	A18		
	0.002396	0.002434	0.9961		
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	2.606e-06	1.24e-05	1.786e-08	0.0001572	0.003599
	A16	A17	A18		
	0.002979	0.9906	0.006995		
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.993	0.00314	3.696e-05	0.0002921	4.581e-05
	A16	A17	A18		
	0.004168	0.000153	9.62e-08		

Bu sonuçlar y_1 yüzünü kör delik, y_2 yüzünü delik , y_3 yüzünü kör delik, y_4 yüzünü delik, y_5 yüzünü kör delik, y_6 yüzünü delik, y_7 yüzünü kör delik, y_8 yüzünü delik, y_9 yüzünü kanal olarak vermektedir.

Beşinci örnek parça :



Şekil F.5. Beşinci örnek parça

Yüz sayısal değer vektörleri :

Y1 : [2.000 2.000 1.833 1.667 1.500 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y2 : [3.500 3.500 2.750 2.750 1.833 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y3 : [2.750 2.750 2.750 1.833 1.667 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y4 : [4.500 3.500 3.500 3.500 3.500 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Beşinci örnek parçaya ait yüz sayısal değer vektörleri sinirsel ağa girdi olarak verilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0007554	0.9942	1.214e-09	0.005667	6.665e-07
	A16	A17	A18		
	0.006049	4.239e-06	3.749e-06		

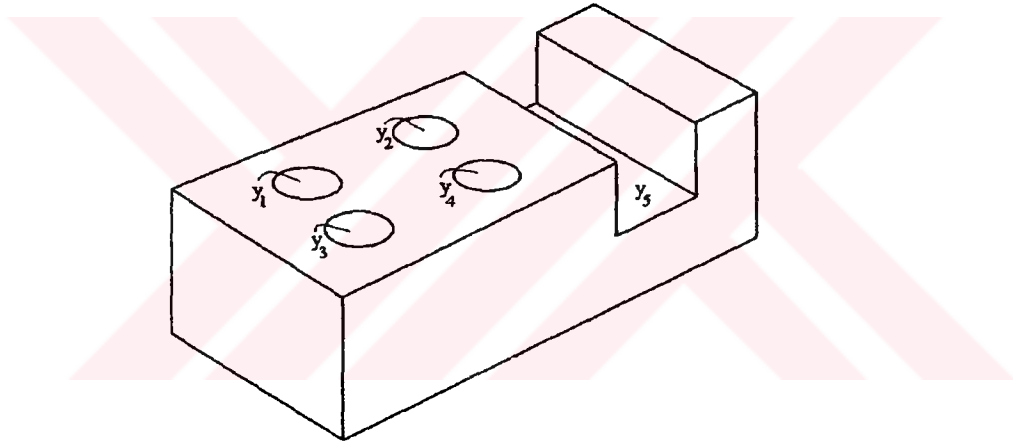
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0002655	1.555e-07	0.003595	2.993e-06	0.9965
	A16	A17	A18		
	0.001564	0.0005334	4.586e-07		

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.002648	0.01543	2.636e-09	0.0003263	9.885e-08
	A16	A17	A18		
	0.8942	0.001155	3.01e-05		

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0002587	1.299e-08	0.9962	1.849e-07	0.004732
	A16	A17	A18		
	4.025e-07	2.699e-06	0.001142		

Bu sonuçlar y_1 yüzünü adım, y_2 yüzünü kör kanal , y_3 yüzünü köşe cep, y_4 yüzünü cep olarak vermektedir.

Altıncı örnek parça :



Şekil F.6. Altıncı örnek parça (Kulkarni ve Pande, 1996)

Yüz sayısal değer vektörleri :

Y1 : [3.000 3.000 2.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y2 : [3.000 3.000 2.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y3 : [3.000 3.000 2.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y4 : [3.000 3.000 2.000 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y5 : [2.500 2.000 2.000 1.750 1.750 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Altıncı örnek parçaya ait yüz sayısal değer vektörleri sinirsel ağı girdi olarak verilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.004609	4.641e-08	8.828e-07	1.742e-05	0.003196
	A16	A17	A18		
	0.0001956	0.9969	0.0001601		

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.004609	4.641e-08	8.828e-07	1.742e-05	0.003196
	A16	A17	A18		
	0.0001956	0.9969	0.0001601		

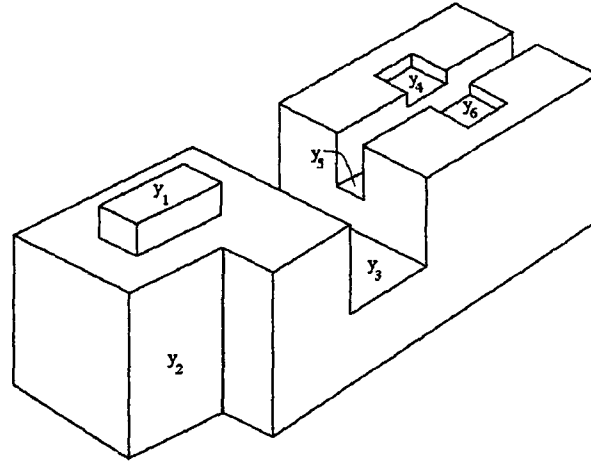
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.004609	4.641e-08	8.828e-07	1.742e-05	0.003196
	A16	A17	A18		
	0.0001956	0.9969	0.0001601		

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.004609	4.641e-08	8.828e-07	1.742e-05	0.003196
	A16	A17	A18		
	0.0001956	0.9969	0.0001601		

	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.993	0.00314	3.696e-05	0.0002921	4.581e-05
	A16	A17	A18		
	0.004168	0.000153	9.62e-08		

Bu sonuçlar y_1 yüzünü delik, y_2 yüzünü delik , y_3 yüzünü delik, y_4 yüzünü delik, y_5 yüzünü kanal olarak vermektedir.

Yedinci örnek parça :



Şekil F.7. Yedinci örnek parça (Nezis ve Vosniakos, 1997)

Yüz sayısal değer vektörleri :

Y1 : [1.500 2.500 2.500 2.500 2.500 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y2 : [2.000 2.400 2.000 1.667 1.500 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y3 : [2.500 2.000 2.000 1.750 1.750 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y4 : [3.500 3.500 2.750 2.750 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y5 : [2.500 2.000 2.000 2.000 1.750 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Y6 : [3.500 3.500 2.750 2.750 2.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000]

Yedinci örnek parçaya ait yüz sayısal değer vektörleri sinirsel ağa girdi olarak verilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

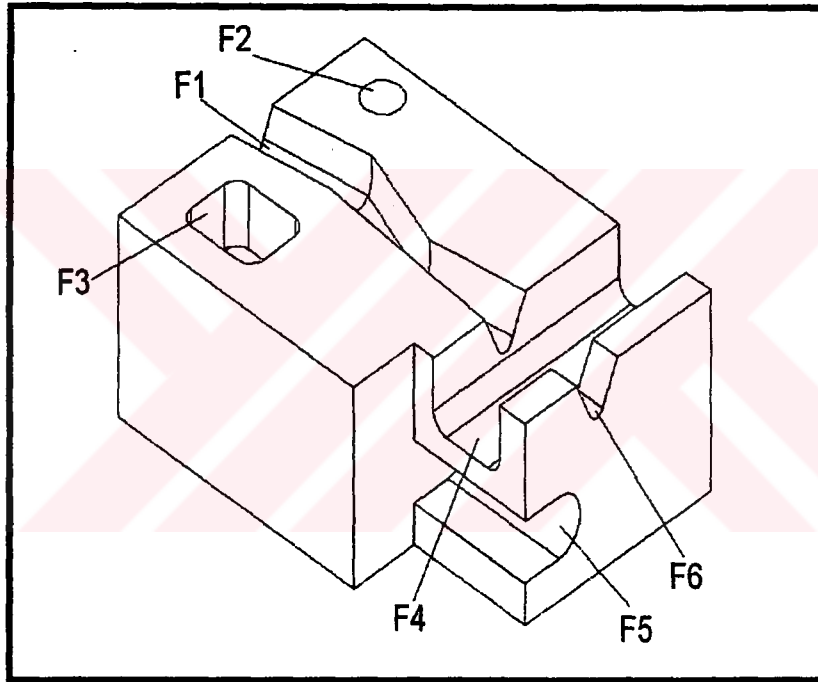
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	4.625e-05	0.003333	5.094e-10	0.9963	2.73e-07
	A16	A17	A18		
	0.0003367	9.067e-08	4.801e-08		
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0002681	0.9767	6.928e-10	0.009735	4.415e-07

	A16	A17	A18		
	0.0233	7.562e-06	6.543e-06		
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.993	0.00314	3.696e-05	0.0002921	4.581e-05
	A16	A17	A18		
	0.004168	0.000153	9.62e-08		
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0002203	1.945e-07	0.002725	2.947e-06	0.996
	A16	A17	A18		
	0.001897	0.0003767	3.459e-07		
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.9925	0.001938	8.6e-05	0.0002918	0.0001661
	A16	A17	A18		
	0.01341	6.023e-05	2.397e-08		
	A11	A12	A13	A14	A15
Output	0.0002203	1.945e-07	0.002725	2.947e-06	0.996
	A16	A17	A18		
	0.001897	0.0003767	3.459e-07		

Bu sonuçlar y_1 yüzünü çıkıntı, y_2 yüzünü adım , y_3 yüzünü kanal, y_4 yüzünü kör kanal, y_5 yüzünü kanal, y_6 yüzünü kör kanal olarak vermektedir.

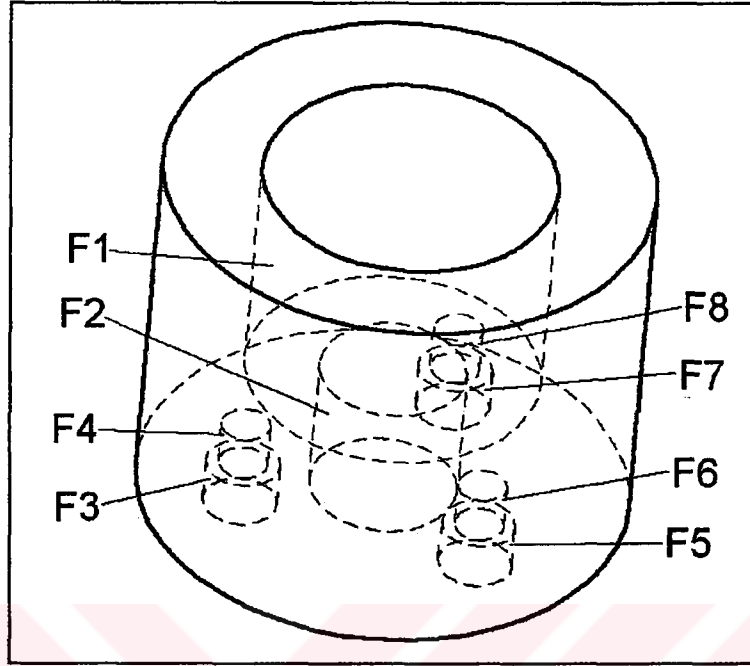
EK G

Şekil G.1' de verilen örnek parça literatürden alınmıştır. Standart kanal unsuru, standart dışı kanal unsur şekli ile yeniden modellenmiştir. Şekil G.2, G.3, G.4 ve G.5' de çeşitli deney parçaları ve tanım sonuçları verilmektedir.



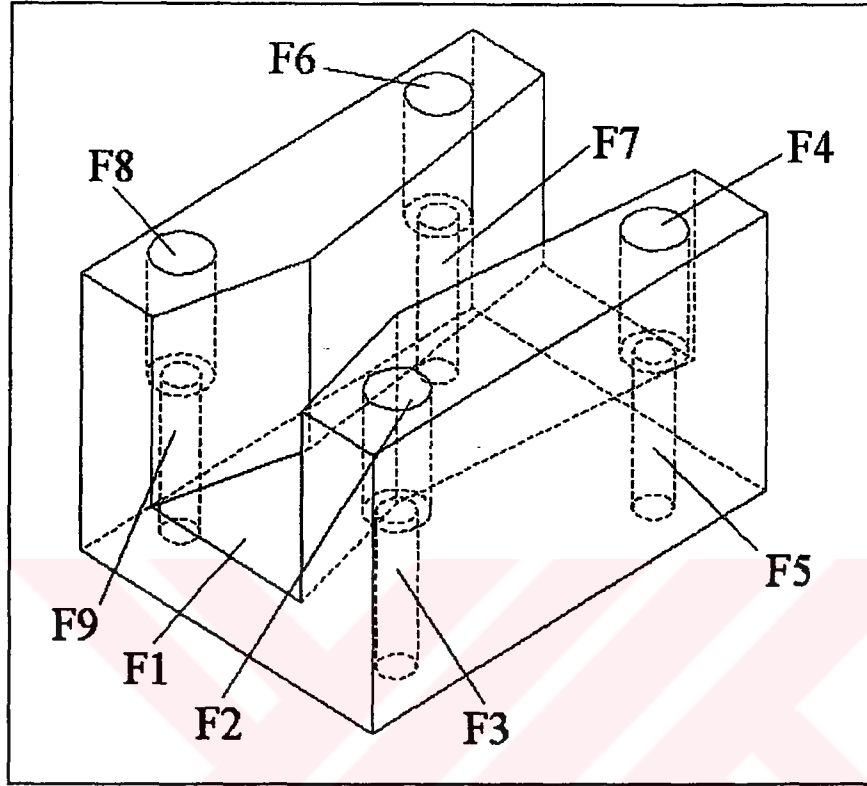
<i>Unsur No</i>	1	2	3	4	5	6
<i>Sınıf No</i>	1	7	3	1	5	1
<i>Unsur Tipi</i>	Kanal	Delik	Cep	Kanal	Kör-Kanal	Kanal
<i>Yüz No</i>	F1	F2	F3	F4	F5	F6
<i>Doğruluk Seviyesi</i>	0.9645	0.9972	0.9991	0.911	0.9964	0.9973

Şekil G.1. Çeşitli unsurlar içeren örnek parça



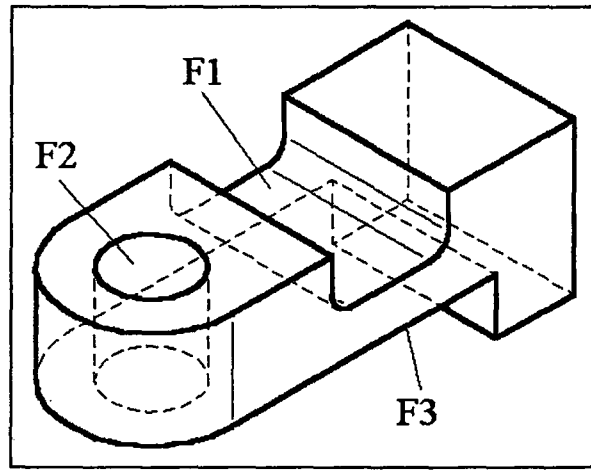
Unsur No	1-2	3-4	5-6	7-8
Sınıf	8	8	8	8
No	7	8	8	8
Unsur Tipi	Kör Delik Delik	Kör Delik Kör Delik	Kör Delik Kör Delik	Kör Delik Kör Delik
Yüz	F1	F3	F5	F7
No	F2	F4	F6	F8
Doğruluk	0.9977	0.9977	0.9977	0.9977
Seviyesi	0.9602	0.9954	0.9954	0.9954

Şekil G.2. Kör delik ve delik unsurları içeren örnek parça



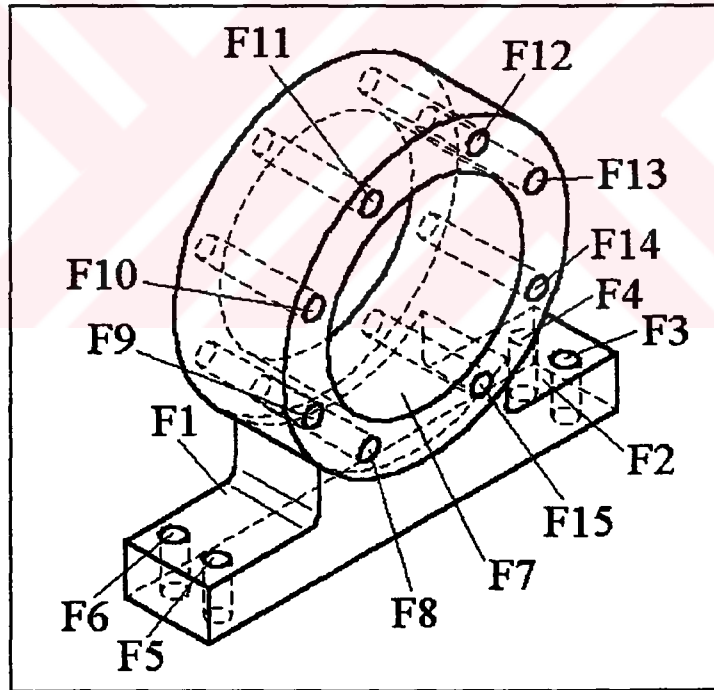
Unsur No	1-2	3-4	5-6	7-8	9
Sınıf	8	8	8	8	1
No	7	7	7	7	
Unsur Tipi	Kör Delik Delik	Kör Delik Delik	Kör Delik Delik	Kör Delik Delik	Kanal
Yüz No	F2 F3	F4 F5	F6 F7	F8 F9	F1
Doğruluk Seviyesi	0.9961 0.9906	0.9961 0.9906	0.9961 0.9906	0.9961 0.9906	0.9993

Şekil G.3. Kör delik, delik ve kanal unsurları içeren örnek parça



Unsur No	1	2	3
Sınıf No	7	2	1
Unsur Tipi	Delik	Adım	Kanal
Yüz No	F2	F3	F1
Doğruluk Seviyesi	0.9958	0.9886	0.9184

Şekil G.4. Delik, adım ve kanal unsurları içeren örnek parça

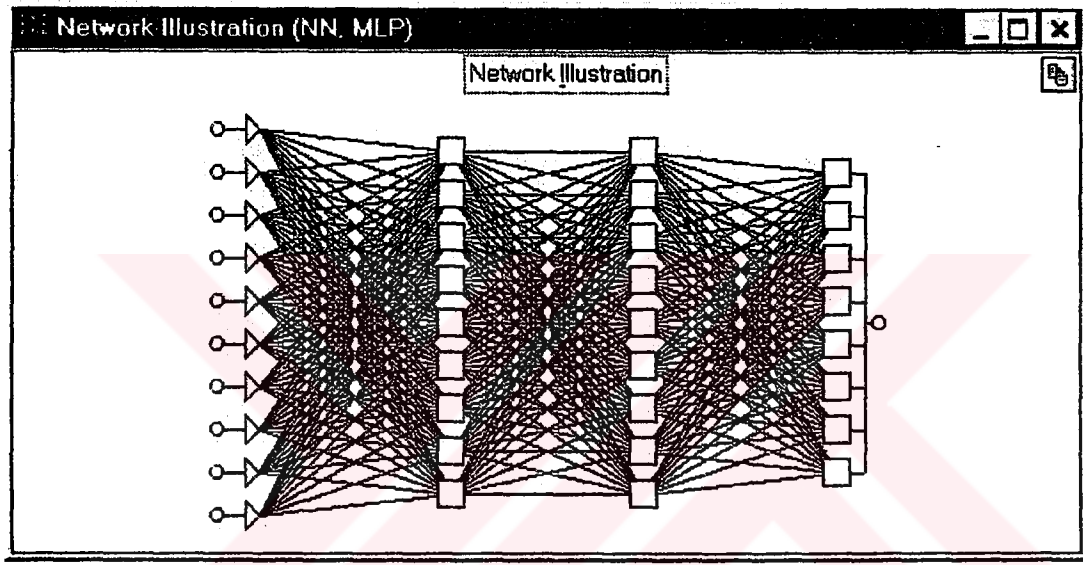


Unsur No	1-8	9	10-13	14	15
Sınıf No	7	7	7	2	2
Unsur Tipi	Delik	Delik	Delik	Adım	Adım
Yüz No	F8-F15	F7	F3 - F6	F1	F2
Doğruluk Seviyesi	0.9857	0.9857	0.9897	0.9897	0.9897

Şekil G.5. Delik ve adım unsurları içeren örnek parça

EK H

Sinirsel ağıın unsur tanıma işleminin nominal çıkış değışkenleri { Kanal, Adım, Cep, Çıkıntı, Körkanal, Köşec, Delik, Kördelik } şeklinde yapılan eğitim ve test sonuçları aşağıda verilmiştir (Şekil H.1).



Şekil H.1. İki gizli katmanlı ağıın gösterimi

Eğitim kümelerinin giriş ve çıkış { Kanal, Adım, Cep, Çıkıntı, Kör kanal, Köşe cep, Delik, Kör delik } değerleri :

01 2.5 2 2 1.75 1.75 0 0 0 0 0

Kanal

02 2.928 2.903 2.833 2 1.757 1.743 0 0 0 0

Kanal

03 3.069 2.806 2.75 2.458 2.403 1.75 1.75 0 0 0

Kanal

04	3.227	3.834	2.917	2.764	2	1.736	1.688	0	0	0
	Kanal									
05	3.218	2.903	2.875	2.861	2.834	1.708	1.708	0	0	0
	Kanal									
06	3	2.487	2.486	2.417	2.373	1.827	1.799	0	0	0
	Kanal									
07	2	2	1.667	1.667	1.5	0	0	0	0	0
	Adım									
08	2.4	2.473	2.417	1.722	1.685	1.5	0	0	0	0
	Adım									
09	2.467	2.75	2.75	1.611	1.611	1.5	0	0	0	0
	Adım									
10	2.667	2.778	2.5	2.5	1.741	1.741	1.5	0	0	0
	Adım									
11	3.143	3.861	3.834	2.806	2.75	1.593	1.574	1.5	0	0
	Adım									
12	2.841	3.125	2.861	2.445	2.278	1.759	1.694	1.5	0	0
	Adım									
13	4.333	3.417	3.306	3.278	0	0	0	0	0	0
	Cep									
14	4.666	3.694	3.694	3.653	3.653	3.653	3.653	0	0	0
	Cep									
15	4	3.25	3.25	2.945	2.917	2.833	2.556	0	0	0

	Cep									
16	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	0	0	0	0	0
	Cep									
17	4.222	3.5	3.403	3.375	2.931	2.903	0	0	0	0
	Cep									
18	4.315	3.528	3.528	3.5	3.5	2.917	2.917	0	0	0
	Cep									
19	1.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0	0	0	0	0
	Çıkıntı									
20	1.6	2.639	2.639	2.611	2.556	2.556	0	0	0	0
	Çıkıntı									
21	1.787	3.139	3.042	2.82	2.695	2.528	2.5	0	0	0
	Çıkıntı									
22	1.333	2.389	2.361	2.25	0	0	0	0	0	0
	Çıkıntı									
23	1.667	3.028	2.986	2.347	2.306	0	0	0	0	0
	Çıkıntı									
24	1.805	3.083	3.083	3.042	3.042	2.333	2.25	0	0	0
	Çıkıntı									
25	3.5	3.5	2.75	2.75	1.75	0	0	0	0	0
	Körkanal									
26	3.744	3.681	3.514	2.847	2.75	1.715	0	0	0	0
	Körkanal									

27	3.533	3.403	3.028	2.75	2.431	1.778	0	0	0	0
	Körkanal									
28	3.778	3.764	3.5	3.07	2.903	2.431	1.75	0	0	0
	Körkanal									
29	3.91	3.695	3.5	3.347	3.292	3.139	2.875	2.431	1.75	0
	Körkanal									
30	3.926	3.695	3.695	3.611	2.834	2.834	1.695	0	0	0
	Körkanal									
31	2.333	2.25	1.759	1.741	0	0	0	0	0	0
	Köşecce									
32	3.375	3	3	3	3	2.75	2.75	1.667	1.667	0
	Köşecce									
33	3.436	3.695	3.667	3.278	2.695	2.417	1.657	1.546	0	0
	Köşecce									
34	3	2.889	2.625	2.625	1.787	1.787	0	0	0	0
	Köşecce									
35	3.454	3.75	3.736	2.917	2.889	1.648	1.639	0	0	0
	Köşecce									
36	2.75	2.75	2.75	1.667	1.667	0	0	0	0	0
	Köşecce									
37	3	3	2	2	0	0	0	0	0	0
	Delik									

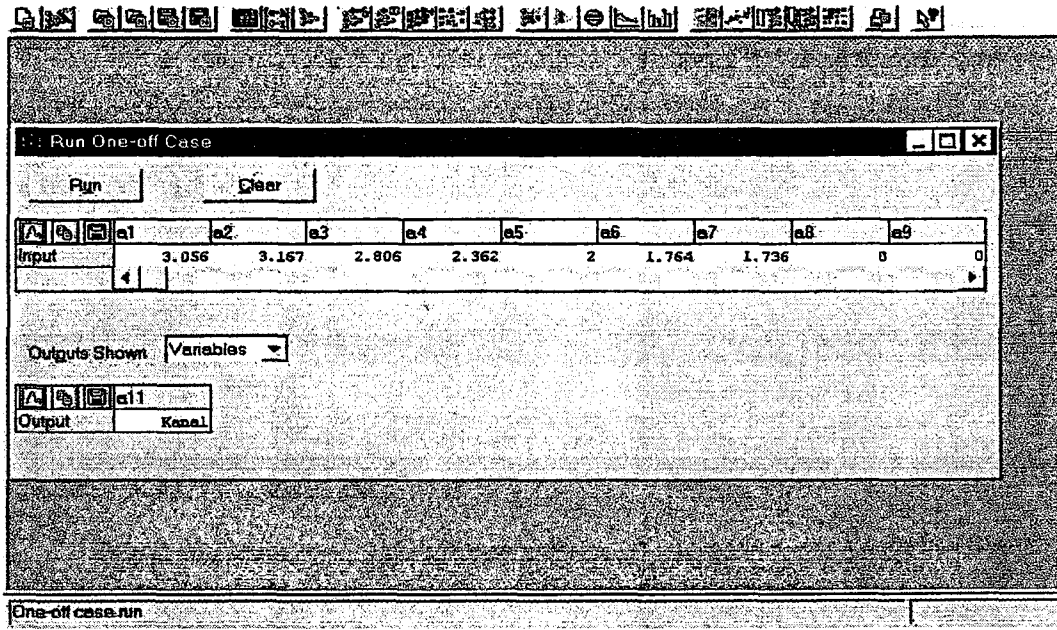
38	3	3	2.185	1.815	0	0	0	0	0	0
	Delik									
39	3	3	2.037	1.963	0	0	0	0	0	0
	Delik									
40	3	3	2.148	1.852	0	0	0	0	0	0
	Delik									
41	3	3	2.111	1.889	0	0	0	0	0	0
	Delik									
42	3	3	4	2	0	0	0	0	0	0
	Delik									
43	4	4	5	2	0	0	0	0	0	0
	Kördelik									
44	3.444	3.444	4.444	1.815	0	0	0	0	0	0
	Kördelik									
45	4.111	4.111	5.111	2.037	0	0	0	0	0	0
	Kördelik									
46	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0
	Kördelik									
47	4.222	4.222	4.111	2.074	0	0	0	0	0	0
	Kördelik									
48	4.333	4.333	5.333	2.111	0	0	0	0	0	0
	Kördelik									

Eğitim kümelerinin nominal çıkış değişkenleri ile yapılan eğitim sonuçları aşağıda verilmiştir (a11-çıkış parametresi, T.a11-hedef çıkış parametresi, error-hata) :

	a11	T. a11	Error
01	Kanal	Kanal	0.00894
02	Kanal	Kanal	0.009894
03	Kanal	Kanal	0.004664
04	Kanal	Kanal	0.0119
05	Kanal	Kanal	0.0065
06	Kanal	Kanal	0.003425
07	Adım	Adım	0.009005
08	Adım	Adım	0.008524
09	Adım	Adım	0.009686
10	Adım	Adım	0.01039
11	Adım	Adım	0.008433
12	Adım	Adım	0.007619
13	Cep	Cep	0.004738
14	Cep	Cep	0.004275
15	Cep	Cep	0.004954
16	Cep	Cep	0.005755
17	Cep	Cep	0.008544
18	Cep	Cep	0.004412
19	Çıkıntı	Çıkıntı	0.00404
20	Çıkıntı	Çıkıntı	0.003362
21	Çıkıntı	Çıkıntı	0.00565
22	Çıkıntı	Çıkıntı	0.00674
23	Çıkıntı	Çıkıntı	0.004879
24	Çıkıntı	Çıkıntı	0.004731
25	Körkanal	Körkanal	0.007151

26	Körkanal	Körkanal	0.006039
27	Körkanal	Körkanal	0.006102
28	Körkanal	Körkanal	0.007744
29	Körkanal	Körkanal	0.006633
30	Körkanal	Körkanal	0.007981
31	Köşecce	Köşecce	0.009794
32	Köşecce	Köşecce	0.005891
33	Köşecce	Köşecce	0.00508
34	Köşecce	Köşecce	0.01099
35	Köşecce	Köşecce	0.01134
36	Köşecce	Köşecce	0.0144
37	Delik	Delik	0.006303
38	Delik	Delik	0.006585
39	Delik	Delik	0.006303
40	Delik	Delik	0.006477
41	Delik	Delik	0.006392
42	Delik	Delik	0.009915
43	Kördelik	Kördelik	0.003926
44	Kördelik	Kördelik	0.007257
45	Kördelik	Kördelik	0.003861
46	Kördelik	Kördelik	0.004424
47	Kördelik	Kördelik	0.004494
48	Kördelik	Kördelik	0.003824

Sinirsel ağın, örnek bir kanal unsur test sonucunun gösterimi Şekil H.2' de verilmiştir.



Şekil H.2. İki gizli katmanlı eğitilmiş ağı kanal unsur test sonucu

İki gizli katmanlı eğitilmiş ağı test sonuçları aşağıda verilmiştir :

Kanal unsuru test sonuçları :

Kanal Test 1:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3.056	3.167	2.806	2.362	2
	a6	a7	a8	a9	a10
	1.764	1.736	0	0	0
	a11				
Output	Kanal				

Kanal Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.8	2.431	2.417	2	1.792
	a6	a7	a8	a9	a10
	1.785	0	0	0	0
	a11				
Output	Kanal				

Kanal Test 3:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3	3	3	2.1	2.1
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

Output a11
Kanal

Kanal Test 4:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.694	2.194	2.194	1.847	1.847
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

Output a11
Kanal

Adım unsuru test sonuçları :**Adım Test 1:**

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.657	3.014	2.597	2.375	1.731
	a6	a7	a8	a9	a10
	1.574	1.5	0	0	0

Output a11
Adım

Adım Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
--	----	----	----	----	----

Input	2.926	3.889	2.917	2.861	1.648
	a6	a7	a8	a9	a10
	1.611	1.5	0	0	0
	a11				
Output	Adım				

Adım Test 3:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.25	3	1.929	1.929	1.5
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

	a11
Output	Adım

Adım Test 4:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2	2.25	1.786	1.786	1.5
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

	a11
Output	Adım

Adım Test 5:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.111	2.222	1.741	1.741	1.5
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

	a11
Output	Adım

Cep unsuru test sonuçları :

Cep Test 1:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	4.6	4.084	3.612	3.612	3.611
	a6	a7	a8	a9	a10
	3.584	0	0	0	0

Output
Cep

Cep Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	4.167	3.375	3.375	3	3
	a6	a7	a8	a9	a10
	2.75	0	0	0	0

Output
Cep

Cep Test 3:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	5	4	4	4	4
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

Output
Cep

Cep Test 4:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	5	4	4	4	4
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

Output a11
Cep

Cep Test 5:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	5	4	4	4	4
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

Output a11
Cep

Çıkıntı unsuru test sonuçları :

Çıkıntı Test 1:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	1.75	3	3	3	3
	a6	a7	a8	a9	a10
	2.5	2.5	2.5	2.5	0

Output a11
Çıkıntı

Çıkıntı Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	1.926	3.653	3.181	3.098	2.5
	a6	a7	a8	a9	a10
	2.472	2.403	0	0	0

Output a11
Çıkıntı

Çıkıntı Test 3:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2	3	3	3	3

	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

Output a11
Çıkıntı

Çıkıntı Test 4:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2	3	3	3	3
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

Output a11
Çıkıntı

Çıkıntı Test 5:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	1.695	2.75	2.75	2.695	2.695
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

Output a11
Çıkıntı

Kör kanal unsuru test sonuçları :

Kör Kanal Test 1:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3.759	3.625	3.542	3.209	2.75
	a6	a7	a8	a9	a10
	2.403	1.764	0	0	0

all
Output Körkanal

Kör Kanal Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3.579	3.389	3.139	3.07	2.431
	a6	a7	a8	a9	a10
	2.417	1.764	0	0	0

all
Output Körkanal

Kör Kanal Test 3:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	4.167	4	4	4	3
	a6	a7	a8	a9	a10
	3	1.75	0	0	0

all
Output Körkanal

Kör Kanal Test 4:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3.75	4	3	3	1.75
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

all
Output Körkanal

Kör Kanal Test 5:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3.667	3.667	2.917	2.917	1.834

	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	a11				
Output	Körkanal				

Köşe cep unsuru test sonuçları :

Köşe Cep Test 1:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.983	2.973	2.764	2.445	1.778
	a6	a7	a8	a9	a10
	1.713	0	0	0	0
	a11				
Output	Köşecap				

Köşe Cep Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3.122	3.653	2.875	2.681	1.657
	a6	a7	a8	a9	a10
	1.611	0	0	0	0
	a11				
Output	Köşecap				

Köşe Cep Test 3:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	2.537	2.556	1.861	1.843	0
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

a11
Output Köşecep

Delik unsuru test sonuçları :

Delik Test 1:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3	3	2.074	1.926	0
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

a11
Output Delik

Delik Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3	3	4.334	2	0
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

a11
Output Delik

Kör delik unsuru test sonuçları :

Kör Delik Test 1:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	3.778	3.778	4.778	1.926	0
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0

a11
Output Kördelik

Kör Delik Test 2:

	a1	a2	a3	a4	a5
Input	4.111	4.111	4.056	2.037	0
	a6	a7	a8	a9	a10
	0	0	0	0	0
	a11				
Output	Kördelik				



ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1985-1988 yıllarında Saray A.Ş.' de, 1988-1989 yıllarında Türk Standardları Enstitüsü Bursa Temsilciliğinde çalıştı. 1989-1991 yılları arasında Uludağ Üniversitesi İşletme Bölümünde yüksek lisans yaptı. 1991 yılında Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi oldu. 1992'de İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği, Mühendislik Yönetimi programında doktora başladı. Halen Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Tam zamanında üretim sistemleri, toplam kalite yönetimi, ergonomi ve sinirsel ağlarla unsur tanımayla ilgili ulusal ve uluslararası makale ve bildirileri vardır.

