

YAPI MALİYETİNİN YAPAY SİNİR AĞI İLE ANALİZİ

Latif Onur UĞUR

**DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2007
ANKARA**

Latif Onur UĞUR tarafından hazırlanan YAPI MALİYETİNİN YAPAY SİNİR AĞI İLE ANALİZİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Recep KANIT
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir

Başkan : Prof. Dr. Mustafa Yılmaz KILINÇ

Üye : Prof. Dr. Recep KANIT

Üye : Doç. Dr. Yılmaz ARUNTAŞ

Üye : Doç. Dr. Murat GÜNDÜZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ

Tarih : 26 Haziran 2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Latif Onur UĞUR

YAPI MALİYETİNİN YAPAY SİNİR AĞI İLE ANALİZİ
(Doktora Tezi)

Latif Onur UĞUR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2007

ÖZET

Bu çalışmada, yapı maliyetlerinin Yapay Sinir Ağı (YSA) ile tahmin edilmesi amacıyla; betonarme taşıyıcı sistemli ve benzer nitelikteki çok katlı toplu konut projelerinin inşaat maliyetleri hesaplanmış ve mevcut verilerden yararlanılarak oluşturulan çok katmanlı, geri beslemeli, danışmanlı öğrenme özelliklerinde yapılandırılan YSA'na veri olarak girilmiştir. Bu yapıların projelerinden hesaplanan; yapı yükseklikleri, tip katlardaki daire sayıları, tip kat alanları, kat yükseklikleri, toplam kat sayıları, kat yükseklikleri, cephe alanları, cephe boşluğu alanları ve ortalama daire alanları, ağ mimarisinde ana değerlendirme kriterleri olarak alınmıştır. Ağa hesaplatılan maliyet tahminleri, Birim Fiyat Yöntemi (BFY) ve Regresyon Analizi (RA) ile yapılan maliyet hesaplamaları ile karşılaştırılmış ve uygulanan YSA yönteminin sağladığı performans değerlendirilmiştir. Buna ek olarak mevcut verilerden yararlanılarak, optimum maliyetli blok tasarımına yönelik sınır değerler belirlenmiş, esas alınan girdi vektörü kriterlerinin maliyete etkileri bakımından önem sıralaması yapılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre, oluşturulan YSA'ndan sağlanan veriler, RA verilerine göre gerçeğe daha yakın ve uygulanabilir sonuçlar sağlamıştır. Bu alandaki çalışmalarda hibrit yöntemlerin kullanılmasının daha verimli tahminler için avantaj sağlayacağı ve farklı yapı tipleri için

benzer araştırmaların yapılmasının olumlu gelişmeler yaratacağı sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu : 714.3.035
Anahtar Kelimeler : Yapı Maliyeti, Toplu Konutlar, Yapay Sinir Ağı (YSA), Regresyon Analizi (RA).
Sayfa Adedi : 158
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Recep KANIT

ANALYSIS OF CONSTRUCTION COSTS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

(Ph. D. Thesis)

Latif Onur UĞUR

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2007**

ABSTRACT

In this thesis, for forecasting costs of multiple reinforced concrete residential buildings with Artificial Neural Networks (ANN), cost of construction of this kind of buildings has been calculated and used as data for an ANN. This network has a multi layer and back propagation structure with adviser to learn. Building elevations, unit numbers in a flat, normal flat areas, heights of flats, total flats, outer surface's empty areas, outer surfaces total areas and average areas of the units in normal flats were assumed as mean criterias of the cost of each apartment.

Result cost values calculated with ANN, has checked with the Unit Price Method (UPM) and Regression Analysis Method (RAM) to evaluate the performance of ANN. Using the data calculated with the ANN, building design parameters for minimum costs, has been determined.

According to these results, it's comprehensible that the results of ANN are nearer than the results of Regression Analysis to the real costs of these buildings. Using hybrid methods for solving this kind of problems, will be useful than using only one method. Studying with

similar methods for calculating different kind of buildings costs, will create positive developments.

Science Code : 714.3.035
Key Words : Cost of Buildings, Housing, Artificial Neural Networks (ANN), Regression Analysis (RA).
Page Number : 158
Adviser : Prof. Dr. Recep KANIT

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde bana yol gösteren, eleştiri ve önerileri ile daha doğruya ulaşmama yardımcı olan, İnşaat Yönetimi dalında çalışmamda beni teşvik eden ve önüme büyük ufuklar açan, bilimsel ve akademik düşünce yaklaşımı geliştirmemde büyük katkıları olan çok kıymetli hocam Prof. Dr. Recep KANIT'a, ilgili verilerin temininde yardımcı olan TOKİ ve TÜRKKONUT kuruluşları ile bu kuruluşlarda görev yapan TOKİ Şb. Md., İnş. Müh. Yavuz ÇETİN ve TÜRKKONUT Gen. Md. Yrd., İnş. Müh. Ali Osman KILIÇKAYA'ya, her zaman yanımda olarak bana destek olan değerli dostlarım Dr. Umut Naci BAYKAN ve Dr. Mürsel ERDAL'a teşekkür ederim. Ayrıca ömrüm boyunca bana öğrenmenin ve bilginin faziletini aşıl原因, her zaman her yerde yol gösteren ve destek olan örnek insan, babam Yük. İnş. Müh. Erdoğan UĞUR'a ve dünyanın en iyi, en güzel annesi, annem merhume Gönül UĞUR'un aziz hatırasına şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim. Okumaya, öğrenmeye, çalışmaya ve araştırmaya yönelik bir yaşamı paylaşmanın zorluklarına göğüs geren hayat arkadaşım Berna UĞUR'a da teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Yapı Maliyeti.....	11
2.1.1. Geleneksel modeller	14
2.1.2. Tanımlayıcı modeller.....	19
2.1.3. Gerçekçi modeller	20
2.1.4. Uzman sistemler.....	20
2.1.5. Maliyet analizi ve kontrolü.....	21
2.1.6. Konut inşaat maliyeti.....	23
2.1.7. Kamu sektörü fiyat klavuzları.....	24
2.1.8. Endeksler ve trendler.....	26
2.1.9. Yapı maliyeti belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken faktörler.....	33

Sayfa

2.2. Yapay Zeka.....	45
2.2.1. Gelişim süreci.....	46
2.2.2. Yapay Zeka'nın amaçları.....	50
2.2.3. Yapay Zeka uygulamaları.....	51
2.2.4. Yapay Zeka teknikleri.....	51
2.3. Yapay Sinir Ağları.....	52
2.3.1. Tarihsel gelişim	52
2.3.2. Yapay Sinir Ağı (YSA).....	55
2.3.3. YSA'nın yapısı (elemanları ve mimarisi)	57
2.3.4. YSA çeşitleri	76
2.3.5. YSA uygulamalarının avantajları.....	87
2.3.6. YSA uygulamalarının dezavantajları.....	89
2.3.7. YSA ve istatistik.....	90
2.3.8. YSA'nın inşaat mühendisliği alanında uygulamaları	92
2.4. Kaynak Araştırması.....	92
3. YÖNTEM.....	99
3.1. Uygulama Alanı.....	101
3.2. Veri Setinin Oluşturulması.....	102
3.3. YSA İle Maliyet Hesabı Yapılması.....	107
3.3.1. Uygun YSA konfigürasyonunun belirlenmesi	113
3.3.2. Regresyon Analizi ile maliyet hesabı yapılması.....	115
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	117

Sayfa

4.1. Girdi Vektörü Parametrelerinin Yapı Maliyetine Etkileri.....	117
4.1.1. Yapı son kat yüksekliği ile yapı maliyeti arasındaki ilişki.....	117
4.1.2. Bir katta bulunan daire sayısı ile yapı maliyeti arasındaki ilişki.....	118
4.1.3. Toplam daire sayısının artışı ile yapı maliyetinin değişimi.....	119
4.1.4. Kat alanının yapı maliyeti ile değişimi.....	120
4.1.5. Cephe alanının artması ile yapı maliyetinde oluşan değişim.....	121
4.1.6. Cephe boşluk alanının artması ile yapı maliyetinde oluşan değişim.....	122
4.1.7. Kat sayısının artışı ile maliyetlerin değişimi.....	123
4.1.8. Ortalama daire alanının maliyetlere etkisi.....	124
4.2. Girdi Vektörü Parametrelerinin Önem Dereceleri.....	125
4.3. Regresyon Analizi İle Maliyet Tahmini Yapılması.....	126
4.4. Maliyet Tahminine Yönelik Bulguların Karşılaştırılması.....	127
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	130
5.1. Sonuçlar.....	130
5.1.1. Yapı geometrik özelliklerinin değişimlerinin maliyetlere etkileri.....	130
5.1.2. YSA ve RA yöntemlerinin performansları.....	132
5.2. Öneriler.....	134

Sayfa

KAYNAKLAR.....	136
EKLER.....	140
EK-1 TOKİ Ankara Protokol Yolu Konutları B Blok çizimleri ve keşif özet.....	141
EK-2 Kullanılan paket program.....	148
EK-3 SPSS paket programı ile yapılan regresyon analizi çıktıları.....	155
ÖZGEÇMİŞ.....	157

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Yığma ve karkas yapılar için yapı birim alanına isabet eden yaklaşık metraj birim ölçüleri.....	18
Çizelge 2.2. Metrekare konut inşaat maliyetleri (1995-2005).....	23
Çizelge 2.3. Aynı toplam inşaat alanına sahip iki farklı ofis binası örneği.....	25
Çizelge 2.4. 2006 ve 2005 yılı ikinci dönem endeks yüzde değişim oranları.....	31
Çizelge 2.5. Farklı isimlerdeki YSA ve istatistik terimlerinin karşılaştırması.....	95
Çizelge 3.1. Analizde kullanılan parametreler.....	103
Çizelge 3.2. Ağa veri olarak girilen değerler.....	105
Çizelge 3.3. Ağı test etmek için girilen değerler.....	106
Çizelge 3.4. Farklı ağ yapılarının karakteristikleri.....	113
Çizelge 3.5. Farklı ağ yapılarının maliyet tahminleri ve Bayındırlık Bakanlığı 2005 yılı Birim Fiyatları'na göre beklenen maliyet değerleri.....	114
Çizelge 3.6. Ağların beklenen değerlere göre sağladıkları hata oranları.....	114
Çizelge 3.7. Regresyon denklemi verileri.....	116
Çizelge 4.1. Regresyon Analizi ile hesaplanan maliyet değerleri ve beklenen değerlere göre hata oranları.....	127
Çizelge 4.2. Regresyon Analizi ve YSA yöntemlerinin her test grubu elemanı için tahmin değerleri ve beklenen değerler.....	128
Çizelge 4.3. Regresyon Analizi ve YSA ile yapılan tahminlerin % hata değerleri ve % hata değerlerinin ortalamaları.....	129

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bir yapım projesinin finansmanı	6
Şekil 2.2. Bina inşaatı maliyet endeksinde girdilerin payları	31
Şekil 2.3. Bina inşaatı maliyet endeksinde kullanım amaçlarının ağırlıkları.....	32
Şekil 2.4. Bina inşaatı maliyet endeksi bir önceki yılın aynı dönemine göre % değişimler	32
Şekil 2.5. Bina inşaatı maliyet endeksi dört dönem ortalamalara göre % değişimler	33
Şekil 2.6. Bina inşaatı maliyet endeksi bir önceki döneme göre % değişimler.....	33
Şekil 2.7. Aynı plan şekli ve farklı ebatlar için duvar maliyetleri	35
Şekil 2.8. Üç alternatif düzenlemenin planlama yeterliliği	37
Şekil 2.9. Kare şeklinde planı olan yapıların ekonomik özelliklerini vurgulayan plan biçimi açısından karşılaştırılabilir plan verileri.....	39
Şekil 2.10. Maliyeti artıran bazı faktörler	41
Şekil 2.11. Konut düzenlemeleri için kullanılabilir bazı alternatif plan	43
Şekil 2.12. Sinir sisteminin blok diyagramı.....	58
Şekil 2.13. Biyolojik nöronun genel yapısı ve işlevleri.....	60
Şekil 2.14. Yapay nöronun genel yapısı.....	61
Şekil 2.15. Yapay nöronun detaylı yapısı.....	63
Şekil 2.16. En çok kullanılan transfer fonksiyonları.....	65
Şekil 2.17. Transfer fonksiyonunun çalışma yapısı.....	67
Şekil 2.18. YSA'nın genel yapısı.....	68

Şekil	Sayfa
Şekil 2.19. Geri yayılma bağlantı yapısı	69
Şekil 2.20. İleri beslemeli ve geri beslemeli ağ yapıları.....	77
Şekil 2.21. Bir ağda geri yayımlı bir öğrenme algoritmasının uygulanması.....	78
Şekil 2.22. İleri beslemeli geri yayılma ağların genel yapısı	80
Şekil 2.23. Eğitim sürecindeki sinyal çeşitleri.....	81
Şekil 2.24. Öğrenmenin hata uzayındaki gösterimi.....	84
Şekil 2.25. Çok boyutlu hata uzayı.....	85
Şekil 3.1. Tek saklı katmana sahip geri-yayılma ağ mimarisi	100
Şekil 3.2. Öğrenme katsayısı ve momentum katsayısının seçilmesi.....	107
Şekil 3.3. Ağ yapısının ve katmanların belirlenmesi.....	108
Şekil 3.4. Verilerin girilmesi.....	108
Şekil 3.5. Hata sınırının (RMSE) belirlenmesi.....	110
Şekil 3.6. Hesaplamalar esnasında hata değişimleri.....	111
Şekil 3.7. Hesaplamalar esnasında hata azalımı.....	112
Şekil 3.8. Ağ mimarisi ve bağlantı ağırlıkları.....	113
Şekil 3.9. Farklı topoloji ve özelliklerdeki ağların hata oranları karşılaştırması.....	113
Şekil 4.1. Yapı son kat yüksekliği ile yapı maliyeti arasındaki ilişki.....	118
Şekil 4.2. Bir katta bulunan daire sayısı ile yapı maliyeti arasındaki ilişki	119
Şekil 4.3. Toplam daire sayısının artışı ile yapı maliyetinin değişimi.....	120
Şekil 4.4. Kat alanının yapı maliyeti ile değişimi.....	121

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Cephe alanının artması ile yapı maliyetinde oluşan değişim.....	122
Şekil 4.6. Cephe boşluk alanının artması ile yapı maliyetinde oluşan değişim.....	123
Şekil 4.7. Kat sayısının artışının maliyetlere yansıması.....	124
Şekil 4.8. Ortalama daire alanının maliyetlere etkisi.....	125
Şekil 4.9. Girdi vektörü parametrelerinin önem dereceleri.....	126
Şekil 4.10. Beklenen maliyetlerle Regresyon Analizi ve YSA tahmin değerleri.....	128
Şekil 4.11. Regresyon Analizi ve YSA ile yapılan tahminlerin % hata değerleri.....	129

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. TÜRKKONUT, Ankara Eryaman Projesi'nin yer aldığı uydu fotoğrafı	102

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
CI	Şu anki indeks
f_j	Gizli tabakaya ait transfer fonksiyonunu
f_k	Çıktı tabakası transfer fonksiyonu
g(.)	Toplama fonksiyonunu,
j	Gizli elemanına bağlayan ağırlık
OI	Orijinal indeks
OR	Orijinal oran
PR	Önerilen oran
Q_i	i nolu nöron için eşik değeri $\Psi(.)$ transfer fonksiyonu
w_{ij}	Bağlantı ağırlıklarını
w_{ij}	i girdi elemanı
W_j	Çıktı tabakasına ait ağırlıklar
x_i	Girdi değerleri
y_i	Çıktı değeri
y_k	Çıktı değerleri
α_j	Sırasıyla gizli tabakaya ait sapma değeri
α_k	Çıktı tabakasına ait sapma değeri
$\Psi(.)$	Transfer(birim adım) fonksiyonunu

Kısaltmalar	Açıklama
BBP	Yığın Geriye Yayılım
BİME	Bina İnşaatı Maliyet İndeksi
DİK	Devlet İstatistik Kurumu
GY	Geriye Yayılım
IBP	Artımlı Geriye Yayılım
QP	Hızlı Geriye Yayılım
TOKİ	Başbakanlık Toplu Konut İdaresi
TÜRKKONUT	Türkiye Konut Yapı Kooperatifleri Birliği
YSA	Yapay Sinir Ağları
YZ	Yapay Zeka

1. GİRİŞ

Bir inşaat projesinin maliyet, süre ve kalite açısından analizinin yapılması, planlamada karşılaşılan en önemli problemdir. Yatırım kararının alınacağı, yatırım için gerekli kaynak miktarının ve sonunda proje maliyetinin belirleneceği ön tahmin aşamasında, tahmincinin elinde detay seviyesi yüksek çizimler bulunmamaktadır. Yararlanılacak yegane bilgi, önceki projelerdeki tecrübelerle elde edilen verilerdir. İnşaat sektörünün içinde bulunduğu yoğun rekabet ortamı düşünüldüğünde, planlama ve maliyet kontrolü işiyle uğraşan teknik elemanların çözüm için kullanabileceği, hızlı ve verimli bir takım yöntemlere ihtiyaç bulunduğu açıktır.

Yapı üretim sürecinde yapım yöntemleri, yapım işlerinin zamanlaması ve yapıya ilişkin çeşitli özellikler göz önüne alınarak karar vericilerin aldığı kararların maliyete olan etkisinin tespiti ve maliyetin planlanarak kontrol edilebilmesi için yapılan araştırmalar sonucunda çeşitli maliyet modelleri geliştirilmiştir. Kullanılacak olan model yardımıyla maliyet ve maliyeti etkileyen malzeme, zaman, üretim süreci gibi faktörler kontrol altına alınabilir. Etkin bir maliyet kontrolü sağlayan bir maliyet modelinin bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Böyle bir model; kullanılacağı süreç ya da süreçler için uygun olmalıdır. Modele girilecek olan bilgiler doğru ve belirli bir düzeyi yakalamış olmalı, bu bilgilerin zaman faktöründen etkilenmemesi için zamanında girilmeli ve güncelliği sağlanmalıdır. Model tüm gruplarca (işveren, inşaat firması, taşeron vb.) kullanılabilir olmalıdır [Akinbingöl ve Gültekin, 2005].

Yapay zeka, insanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanır. Yani programlanmış bir bilgisayarın düşünme girişimidir. Daha geniş bir tanıma göre ise, yapay zeka; bilgi edinme, algılama, görme, düşünme ve karar verme gibi insan zekasına özgü kapasitelerle donatılmış bilgisayarlardır.

Yapay zekanın bir alt kolu olan Yapay Sinir Ağları (YSA) genel anlamda, beynin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Donanım olarak elektronik devrelerle ya da bilgisayarlarda yazılım olarak gerçekleştirilebilir. Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak YSA, bir öğrenme sürecinden sonra; bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip, paralel dağılmış bir işlemcidir. Öğrenme süreci, arzu edilen amaca ulaşmak için YSA ağırlıklarının yenilenmesini sağlayan öğrenme algoritmalarını içerir.

Bu çalışmada; Başbakanlık Toplu Konut İdaresi (TOKİ) ve Türkiye Konut Yapı Kooperatifleri Birliği (TÜRKKONUT) tarafından yapımları gerçekleştirilmiş ve gerçekleştirilmekte olan, bundan sonra da başka projelerde uygulanacak çok katlı, betonarme taşıyıcı sistemli konutların inşaat maliyetlerinin ön tahmini amacıyla yönelik olarak, YSA esaslı bir model oluşturulmuştur. Bu yöntemin öğrenme, bilgi depolama ve genelleme yapma özelliklerinden yararlanılarak; maliyet, süre ve gerçeğe yakınlık bakımından performansı araştırılmış, YSA ile bulunan çözümler Birim Fiyat Esaslı Maliyet (BFY) ve Regresyon Analizi (RA) yöntemleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmelerde bulunulmuştur. Çalışmalar sonucunda ulaşılan verilere bağlı olarak bu yöntemin uygulanmasına dair tespit ve önerilerde bulunulmuştur. Elde edilen bulgulara dayanılarak optimum maliyetle inşa edilmek istenen blokların tasarımında esas alınabilecek sınır değerler konusunda öneriler sunulmuştur.

Giriş bölümünün ardından Kuramsal Temeller ve Kaynak Araştırması başlıklı ikinci bölümde; yapı maliyetinin tanımlanması, geleneksel, tanımlayıcı ve gerçekçi modellerin açıklanmasının ardından uzman sistemler hakkında bilgi verilmiş; maliyet analizi ve kontrolünün önemi ve uygulama yollarına değinilmiştir. Konut inşaat maliyeti hesaplama yöntemleri, kamu sektörü fiyat klavuzları, indeksler ve trendler hakkında

genel bilgi verilip yapı maliyetinin belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken faktörler tek tek incelenmiştir. Bu faktörlerden bir kısmı, yapılan YSA çalışmasında ana girdi vektörü öğeleri olarak kullanılmıştır. Daha sonra Yapay Zeka'nın tanımlanması, gelişim süreci, amaçları uygulamaları ve teknikleri belirtilerek bu tekniklerden biri olan YSA konusuna ulaşılmasına çalışılmıştır. YSA'larının tarihsel gelişimi belirtilerek günümüze kadar sağlanan ilerlemeler incelenmiş, YSA'larının yapıları, YSA çeşitleri, YSA uygulamalarının avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir. Özellikle yapılan çalışmanın kontrolünde bir istatistiksel yöntem olarak kullanılan Regresyon Analizi ile daha sağlıklı karşılaştırmalar yapılabilmesi için YSA ve İstatistik ilişkisi, daha önce yapılmış bilimsel çalışmalardan faydalanılarak ortaya konmuştur. Bu bölümde son olarak YSA'nın inşaat mühendisliği alanındaki uygulamaları değerlendirilmiş, yapılan çalışmalar ve bulgular hakkında bilgi verilmiştir, yapılan kaynak araştırması sonucunda edinilen bulgular verilmiştir.

Üçüncü bölümde, yapılan çalışmada izlenen yöntem ve kullanılan teknikler hakkında bilgi verilmiştir. Yapılan uygulamalar adım adım, gerekli şekil ve tabloların da yardımı ile ifade edilmiştir. Veri setinin oluşturulması, YSA ile maliyet analizi yapılması, uygun YSA konfigürasyonunun belirlenmesi, maliyete etkiyen faktörlerin önem dereceleri ve değişimleri ile maliyetlerde oluşan değişimler bu bölümde incelenmiştir. Son olarak Regresyon Analizi ile maliyet hesabı yapılmıştır.

Dördüncü bölümde, BFY, RA ve YSA yöntemleri ile hesaplanan maliyetlere yönelik bulguların karşılaştırılması yapılmıştır.

Beşinci bölümde, edinilen bulgulara dayanılarak tespit ve önerilerde bulunulmuş, konu ile ilgili olarak yapılabilecek başka çalışmalar konusunda bakış açısı oluşturulmaya çalışılmıştır.

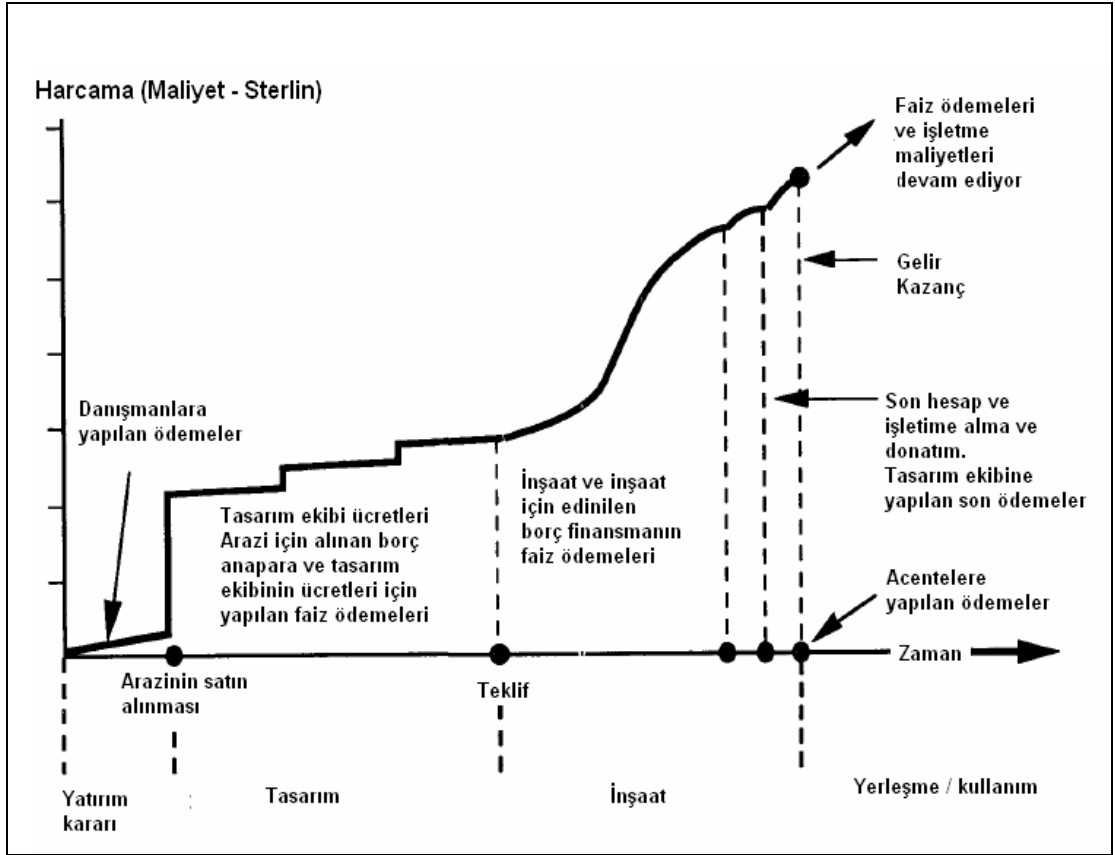
Çalışmanın sonunda yer alan eklerde; hesaplamalara esas alınan bloklardan birinin mimari çizimleri ve keşif özeti, YSA oluşturulması ve kullanımında faydalanılan yazılım hakkında bilgiler ve son olarak regresyon analizi esnasında elde edilen istatistiki verilerin yer aldığı istatistik yazılımı çıktıları verilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Maliyet; Üretimde bir mal elde edilinceye değin harcanan değerlerin toplamı olarak tanımlanmaktadır. İnşaat maliyetleri, imalat miktarı ile o imalat için belirlenen fiyatın çarpımıyla oluşan kalemlerin toplamıdır. Yapım süresi ne kadar uzun olursa olsun bir inşaatta yapılacak olan imalatların miktarları değişmeyeceğine göre; o imalatların fiyatlarının ileriye dönük olarak hesaplanmasıyla, inşaatın maliyetini ileriye dönük olarak hesaplamak da mümkün olur.

İnşaat sektöründe bir bina yapma işi daha fikir aşamasındayken finansal modelin doğru bir şekilde kurulması, nakit akışından kaynaklanan sorunların giderilmesi ve milli servet kayıplarının önlenmesi açısından büyük önem taşınmaktadır. Bu ise maliyet tahmininin doğru bir şekilde yapılmasıyla mümkün olabilecektir [Polat, 2005].

Şekil 2.1’de bir yatırımcının, girdiği bir yapım projesindeki harcamalarının proje esnasındaki durumu gösterilmiştir. Buradan da görüleceği üzere projenin yapımı tamamlandıktan sonra bile ödemeler devam etmektedir. Doğal olarak böyle bir yapım projesine giren yapımcı da zaman, maliyet ve kalite boyutlarındaki öngörü ve planlamaların proje sonunda büyük değişikliklere uğramasını arzulamamaktadır [Flanagan ve Norman, 2002].



Şekil 2.1. Bir yapım projesinin finansmanı [Flanagan ve Norman, 2002]

Tahmin; “yaklaşık olarak değerlendirme, oranlama”, “akla, sezgiye veya bazı verilere dayanarak bir şeyi, olayı kestirme” ya da “önceden kestirilen, düşünülen şey” anlamına gelmektedir.

Yatırımcılar için çok basit durumlarda bile bazı erken fiyat tahminleri gerekmektedir. Bu alanda kullanılmakta olan teknikler sürekli olarak yaygınlaştırılmakta ve geliştirilmektedir. Bunlar başlangıçtan kullanım sürecine kadar bir dizi maliyet ve değer tekniklerini içermektedirler. Yapı maliyetleri çalışmaları parasal açıdan çok “değer” üzerine yoğunlaşmıştır. Bu yaklaşım aşağıdakileri içermektedir:

- Gelişim tahmini
- Hücresel analiz

- Maliyet planlamasının uygulaması
- Fiyat limitlerinin ve indirimlerinin tanıtımı
- Eğitimsel araştırma ve uygulama
- Alternatif istihsal sistemleri
- Fiyat-değer küçültmeleri
- Kullanım bedeli
- Olanak yönetimi
- Risk analizi

Bazı yaklaşımlar, tüm bu tekniklerin yalnızca harcamaları sınırladığını ve bir dizi maliyet kontrolü pratiklerini uyguladığını; başka bir deyişle, tüm bunların maliyet azaltma mekanizmalarıyla sınırlı olduğunu ileri sürmektedir. Pratikte, bu teknikler plana ve yapı ekibine yeniden odaklanmak suretiyle projeye artı değer kazandırarak çok daha fazlasını gerçekleştirmektedir.

Maliyet kontrolünün amacı genel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

- Yatırımcıların harcamalarını öngörülen miktar dahilinde sınırlamak. (Daha basit bir ifadeyle, para toplamı ve son hesap durumu yaklaşık olarak bütçe tahminine eşit olmalıdır.)
- Yapının çeşitli elemanları arasında dengeli bir plan harcamasına ulaşmak.
- Yatırımcıya parasal değeri olan bir proje sağlamak (Bu amaç, büyük bir olasılıkla “toplam maliyet” yaklaşımının göz önüne alınmasını gerektirmektedir).

Yatırımcı, maksimum başlangıç maliyet harcamaları taahhüt edebilir ya da daha sonrasında maliyeti kimin belirleyeceğine dair plan ekibine detaylı yazılı bir belge verebilir. Bir çok plan bu iki uç yöntemin bir kombinasyonudur.

Değişik amaçlarla yapılan maliyet sınıflandırmaları, yönetimlere; planlama, karar verme ve kontrol konularında çeşitli yararlar sağlamaktadır. İnşaat maliyetleri pek çok faktöre bağlı bulunmaktadır. Günün ekonomik şartları, inşaatın yapıldığı yer ve zaman, inşaatçı firma ve kullandığı teknoloji ile yapı konstrüktif ve biçimsel özellikleri bunlardan bazılarıdır [Ashworth, 1999].

Günümüzde, teknolojik gelişmelerin yapı sektörünü de etkilemesi ile yapı üretim süreci değişmekte ve daha nitelikli yapılar üretilmektedir. Ancak, kaynakların kıt olması, beraberinde yapı üretim sürecini de sınırlayarak kaynaklardan rasyonel bir şekilde yararlanma zorunluluğunu getirmiştir. Bu zorunluluk, özellikle yapı üretim sürecinin gerek tasarım gerek yapım evrelerinde, maliyet tahmini ile maliyetin planlanmasına ve denetimine yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmaların önemini arttırmaktadır. Yapı maliyeti tahmini, bir yapının gerçek maliyetinin belirli koşullar altında kısa dönem tahmini olarak tanımlanır [Ashworth, 1999].

Yapı ekonomisi sadece 50 yıllık bir konudur. 20. yüzyılın ortalarında, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra, inşaat alanındaki patlamadan bu yana büyük ölçüde gelişmiştir. Günümüzde çalışma alanı her ne kadar bütünüyle nicelik ölçümü içinde olmasa da, kökeninin nicelik ölçüm uygulamalarına dayandığı söylenebilir. Ayrıca bu konunun uzmanları da çoğunlukla bu disiplinde bir geçmişe sahiptir.

Bu alanın gelişmesine hız kazandıran iki neden vardır. Birincisi 1950 ve 1960'larda inşaat sektörü üzerindeki yerel harcamaların çok yüksek oluşudur. Hızla artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla evlere, okullara, hastanelere, yollara vs. gereksinim bulunmaktaydı. Bu harcamaları düzenli bir şekilde planlamak ve çeşitli projelerde parasal değere ulaşmak amacıyla, basitçe işi ölçmenin ve değerlendirmenin dışında başka ek uygulamaların da yapılması gerekmiştir.

Bunun üzerine yeni yapılar için finansal kontrol ve değerlendirme sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bu sistemler yapı maliyetleri ilişkileri ve modellerini daha iyi anlama ihtiyacını doğurmuştur.

Ekonomi genel anlamıyla sınırlı ya da yetersiz kaynakların olası kullanım alanlarına paylaştırılması ya da paylaştırılması gereken yolun seçimidir. Ekonomi, topluma ya da bir organizasyona gerçek maliyeti belirlemek için kabul edilmiş prensipleri ve prosedürleri kullanır.

Yapı ekonomisi genel ekonominin bir dalıdır. Bu, genel ekonomi teorileriyle ilişkili olan prensiplerin inşaat endüstrisinin belirli ihtiyaç ve gereklerine uygulamasını içerir. Endüstriyle ve endüstrinin ekonomi içindeki yeriyle, şirket kurmayla, kurucuların ve planlamacıların rolleriyle, izlenen süreç ve yapıların son durumlarıyla ilgilenir. Bu, yapı ekonomisi için verilebilecek en genel tanımıdır.

Yapı ekonomisi, insanın barınağa ve uygun koşullarda yaşamaya duyduğu ihtiyaçların incelenmesiyle ilgilidir. İnşaat sanayisinin büyüme hızını en etkili biçimde artırmanın ve bu sanayi için mevcut kaynakların etkili kullanımını sağlamanın yollarını araştırır. Özetle, aşağıdakilerin incelenmesini içerir:

Yatırımcının ihtiyaçları: Bu, yatırımcının isteklerini, ihtiyaçlarını ve proje planının yatırımcı tarafından sağlanan mevcut fon sınırları içinde korunmasını öngörür. Müşterinin temel ihtiyaçları şu şekilde özetlenebilir: İnşaatın, ihtiyaçlarını ne kadar sağladığı; yani belirlenen tarihte tamamlanıp yerleşime açılması, son hesap durumunun tahmine yakın olması ve inşaat projesinin makul maliyet sınırları içinde korunması gibi.

Gelişim gerçekleştirildi ise çevreye olası etkileri: Planlamanın ve genel halka açık yerlerin sunulan yeni inşaat projesiyle nasıl etkilendiği gibi daha geniş kapsamlı konularla ilgilenir.

Mekan ve biçim ilişkisi: Plan değişkenlerinin maliyet içindeki ağırlıklarını değerlendirir ve belirli bir planın özelliklerini, bunların maliyet üzerindeki etkilerini inceler.

Veri toplama: Yapımı gereken projenin türüne göre mevcut olan tüm bilgiler toplanmalı ve gözden geçirilmelidir. İnşaat alanına ve var olan imkanlara dair veriler toplanmalıdır.

Veri analizi: Toplam verilerin amaçlanan hedeflere ulaşılmasını sağlayacak anlamlı ve yararlı bir bilgiye dönüştürülme işlemidir.

Sonuçların yorumu: Analizin tamamlanmasının ardından yapılan ve söz konusu projenin hem fizibilitesini hem de uygulanabilirliğini belirler. Değerlendirme sürecinde tüm bu verilerden uygun bir şekilde yararlanılabilmesi için sonuçların iyi ve anlamlı bir şekilde organize edilmesi gerekir.

Alternatif çözümlerin formülasyonu: Aynı amaçlara götürebilecek farklı çözümler mevcut olabilir. Bu alternatifler yatırımcının ihtiyaçları doğrultusunda bütünüyle incelenmelidir.

Alternatiflerin değerlendirilmesi: Karşılaştırma için seçilen kriterler, seçilmesi gereken en uygun çözümü bulmaya yönelik olmalıdır. Başlangıçtaki maliyetler ve gelecekteki maliyetler arasındaki doğru denge bütün kriterleri sağlayandır.

Doğru projenin belirlenmesi: İşletmeci doğru kararı verme konusunda yetkin ise, bu doğru bir ekonomik çerçeve içinde ve eldeki tüm bilgiler temelinde yapılmalıdır.

2.1. Yapı Maliyeti

Her ihtiyacın giderilmesinin bir bedeli bulunmaktadır. Bir binanın, bir yapının ya da komplike bir projenin maliyeti de büyük değerlerle ifade edilebilecek boyutlardadır. Genel ifade ile bir yapı vücuda getirmek pahalı bir iştir. Yatırım kaynaklarının kısıtlı ve teorik olarak insan ihtiyaçlarının da sonsuz olduğu göz önüne alındığında, maliyetlerin çok titiz çalışmalarla belirlenmesi, programlanması ve kontrol edilmesi gerekliliği büyük önem arz etmektedir.

İnşaat maliyetleri, imalat miktarı ile o imalat için belirlenen fiyatın çarpımıyla oluşan kalemlerin toplamıdır. Yapım süresi ne kadar uzun olursa olsun bir inşaatta yapılacak olan imalatların miktarları değişmeyeceğine göre; o imalatların fiyatlarının ileriye dönük olarak hesaplanmasıyla, inşaatın maliyetini ileriye dönük olarak hesaplamak da mümkün olur.

İnşaat sektöründe daha fikir aşamasındayken finansal modelin doğru bir şekilde kurulması, nakit akışından kaynaklanan sorunların giderilmesi ve milli servet kayıplarının önlenmesi açısından büyük önem taşınmaktadır. Bu ise maliyet tahmininin doğru bir şekilde yapılmasıyla mümkün olabilmektedir [Polat ve Çıracı, 2005].

İnşaatlarda maliyetler; kullanılan hammaddenin miktarına, fiyatına ve işçilik ücretine bağlı olmakla birlikte özel durumlardan da etkilenirler. Müşterilerin istekleri, devlet ve yerel idarelerin getirdiği sınırlamalar, çevre koşulları ve estetik görünüm mimari proje oluşturulmasında önemli etkenlerdir. Ayrıca inşaat yeri, buradaki zeminin yapısı ve kullanılacak teknoloji aynı şekle sahip inşaatlarda bile farklı maliyetlerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir [Ashworth, 1999].

Değişik amaçlarla yapılan maliyet sınıflandırmaları, yönetimlere; planlama, karar verme ve kontrol konularında çeşitli yararlar sağlamaktadır. İnşaat

maliyetleri pek çok faktöre bağılı bulunmaktadır. Günün ekonomik şartları, inşaatın yapıldığı yer ve zaman, inşaatçı firma ve kullandığı teknoloji bunlardan bazılarıdır [Ashworth, 1999].

Günümüzde, teknolojik gelişmelerin yapı sektörünü etkilemesi ile yapı üretim süreci değişmekte ve daha nitelikli yapılar üretilmektedir. Ancak, kaynakların kıt olması, beraberinde yapı üretim sürecini de sınırlayarak, kaynaklardan rasyonel bir şekilde yararlanma zorunluluğunu getirmiştir. Bu zorunluluktan, özellikle yapı üretim sürecinin yapım evresinde, maliyet tahmini ile maliyetin planlanmasına ve denetimine yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmaların önemini arttırmaktadır. Yapı maliyeti tahmini, bir yapının gerçek maliyetinin belirli koşullar altında kısa dönem tahmini olarak tanımlanır [Willey, 1957].

Maliyet denetimi ise, yapı üretim sürecinin her evresinde gerçekleşen maliyetin, tahmin edilerek planlanan maliyet limitleri üzerine çıkmasını önlemek amacı ile yapılan çalışmalardır. Yapı üretim sürecinin yapım evresinde maliyet kesin olarak belirlenir ve yapımı etkileyen bazı unsurlar planlanan maliyetin aşılmasına neden olabilir. Sonuçlanan yapı yatırımları ile ilgili veri kayıtları olmadığı durumlarda sonraki yatırımlara geri besleme yapılamamaktadır [Akinbingöl, 2003].

Bina üretim sürecinin yapım evresinde yapımı etkileyen muhtelif unsurlardan dolayı maliyetin planlanması ve denetiminin sağlanmasına yönelik olarak görülen zorluklar ile ilgili teorik çalışmalar olmasına rağmen, pratikte çok az uygulama alanı bulmaktadır. Belirli istisnalar dışında, belirlenen süre ve maliyetler içinde gerçekleştirilebilen yapı üretimlerinin sayısı azdır. Günümüz şartlarında yapı maliyeti; rasyonel kaynak kullanımı için etkin bir planlama ve denetim uygulamasının zorunlu olduğu üretim sürecinde yapı ihtiyacının belirlenmesi ile başlayan ve yapının ömrünün sona ermesi ile biten sürecin tüm dönemlerinde yapılan harcamaların toplamı olarak değerlendirilmektedir [Akinbingöl ve Gültekin, 2005].

Yapı maliyeti; ilk yatırım dönemi, kullanım dönemi ve yıkım-yok etme dönemi olmak üzere üç ana dönemde incelenir. İlk yatırım maliyeti, ön hazırlık döneminden başlayarak kullanım dönemine kadar olan süreçteki maliyetleri, kullanım maliyeti ise, binanın amacı doğrultusunda kullanımı ile oluşan maliyetleri kapsamaktadır. Yıkım ya da yok etme maliyeti ise, geçici kullanımı söz konusu olan ya da ömrünü tamamlamış olan bina ya da binaların yıkımı ile ilgili maliyetler toplamını kapsamaktadır. Yıkım maliyetinin gerek miktar, gerekse önem açısından toplam maliyet içindeki payının oldukça küçük olduğu hatırlanacak olursa; toplam yapı maliyetinin esas olarak ilk yatırım maliyeti ile kullanım maliyeti toplamından oluştuğu söylenebilir [Akinbingöl ve Gültekin,2005].

Yapı üretim sürecinde yapım metotları, yapım işlerinin zamanlaması ve yapıya ilişkin çeşitli özellikler göz önüne alınarak, karar vericilerin aldığı kararların maliyete olan etkisinin tespiti ve maliyetin planlanarak kontrol edilebilmesi için yapılan araştırmalar sonucunda çeşitli maliyet modelleri geliştirilmiştir. Kullanılacak olan model yardımıyla maliyet ve maliyeti etkileyen malzeme, zaman, üretim süreci gibi faktörler kontrol altına alınabilir. Etkin bir maliyet kontrolü sağlayan modelin bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Modele girilecek olan bilgiler doğru ve belirli bir düzeyi yakalamış olmalıdır. Bu bilgilerin zaman faktöründen etkilenmemesi için modele zamanında girilmesi ve güncelliğinin sağlanması gerekmektedir. Model tüm gruplarca (işveren, inşaat firması, taşeron vb.) kullanılabilir olmalıdır. İşverenin istek ve önerilerini değerlendirerek tüm kaynakların maliyetini belirleyebilmeli ve işverenin kullanabileceği limitleri ortaya koyabilmelidir [Akinbingöl ve Gültekin,2005].

Yapı üretim sürecinin her aşamasında maliyet tahmini ve denetimi için kullanılan maliyet modelleri, kullanım amaçları doğrultusunda farklılaşabilmektedir. İlk kez 1950'li yıllarda, Avrupa'da konut ve kamu yapıları üzerinde basit bir planlama şeklinde ortaya çıkan model kavramı, 1970 ve 1980'li yıllardan sonra yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları

neticesinde sınıflandırılmaya başlanmıştır. Bunlar; geleneksel modeller, tanımlayıcı modeller, gerçekçi modeller, enformasyon sistemi yaklaşım modelleridir [Akınbingöl ve Gültekin, 2005].

2.1.1. Geleneksel modeller

Miktarlara dayalı modeller olarak da tanımlanan bu modeller; Analitik modeller, fonksiyonel elemanlara dayalı modeller, kaynaklara dayalı modeller, yapım birimlerine dayalı modeller olarak sıralanabilir [Akınbingöl ve Gültekin, 2005].

Analitik modeller

Yapı üretim sürecinde eldeki bilgilerin kapsamının çok düşük olduğu ilk çalışmalardan ön tasarıma kadar ki aşamalarda kullanılan modellerdir. Amaç, en hızlı şekilde en doğru maliyet hesaplaması yapılması ve kullanıcılara sunulmasıdır. Projelerden yapıya ait ölçülebilen büyüklüğün birim fiyatla formüle edilmesi ile maliyet hesaplaması yapılır. Bu modellerde kullanılan bilgiler çok geneldir ve ayrıntı seviyesi düşüktür. Okul için ya da devlet kurumu için kullanıcı sayısı örnek olarak verilebilir. Analitik modeller dört ana başlık altında sıralandırılabilir. Bunlar, Birim yöntemi, Alan yöntemi, Küp yöntemi ve Kat kabuğu yöntemidir [Akınbingöl ve Gültekin, 2005].

Fonksiyonel elemanlara dayalı modeller

Elemanlara dayalı maliyet hesabı, yapı üretim sürecinin tasarım evresinde, maliyet planlaması ve kontrolünün yapılabilmesi için kullanılan bir maliyet hesabı türüdür [Topçu, 1987].

Bu yöntemde, ön proje üzerinden yapı fonksiyonları ölçülerek miktarları belirlenir. Daha sonra her bir eleman için birim fiyat belirlenir ve eleman miktarı ile birim fiyat çarpılarak, fonksiyonel eleman maliyeti bulunur.

Fonksiyonel eleman maliyetleri alt alta toplanarak, toplam yapı maliyeti hesaplanmış olur. Elemanlara dayalı maliyet hesabında en büyük zorluk, yapının normal miktar cetvelleri ölçüsünün, maliyet analizi için kategorilere ayrılmasıdır. Yani, fonksiyonel eleman, tasarımın gelişimine bağlı olarak alt fonksiyonlara, alt fonksiyonlar da bileşenleri olan yapı birimlerine ayrılabilir [Topçu, 1987].

Tasarımla ilgili olarak ilk alternatif çözüm ortaya çıkar çıkmaz bir ön maliyet planı hazırlamak, çözümün daha önce belirlenmiş olan maliyet sınırları içinde kalıp kalmadığını görmek bakımından gereklidir. Ancak, bu aşamada şematik çizimler üzerinden ölçüm yapılabilecek eleman sayısı çok azdır. Bu nedenle çok kısa bir eleman listesi gerekmektedir. Belirlenen elemanlardan her biri, ön tahmin aşamasında olduğu gibi örnek olarak alınan yapının eşdeğer elemanlarıyla karşılaştırılır ve fiyat artışları da göz önüne alınarak hesap yapılır. Elde edilen sonuçlar birinci ön maliyet planını ortaya koyar [Topçu, 1987].

Ön maliyet planı kesinleştikten sonra, tasarımdan elde edilen bilgilere bağlı olarak, daha ayrıntılı bir maliyet planı için örnek yapının maliyet analizinden yararlanılır. Projenin eleman maliyeti için eleman miktarları, tasarlanmakta olan projenin çizimleri üzerinden ölçülür [Topçu, 1987].

Hesaplama işlemi iki yoldan yapılabilir. Bunlar elemanların birim maliyetlerinin ve oranlamaların alınmasıdır. Elemanların birim maliyetleri ile yapılan hesaplamada, elemanın analizlerden elde edilen metrekare maliyeti çarpılarak, elemanın toplam maliyeti elde edilir. Bulunan miktar, döşeme alanına bölünerek, elemanın metrekare döşeme alanı başına maliyeti bulunur. Oran metodu kullanıldığında ise, hem tasarlanmakta olan projenin, hem de örnek projenin herhangi bir elemanının toplam alanının döşeme alanına oranı bulunur ve iki projeden elde edilen rakamlar birbirine oranlanarak, elemanın metrekare döşeme alanı başına maliyeti ile çarpılır.

Buradan elde edilen sonuç, toplam döşeme alanı ile çarpılarak toplam maliyet elde edilir [Topçu, 1987].

Elemanların toplam maliyetlerinin, metrekare döşeme alanı başına ifade edilmesinin iki nedeni vardır. Birincisi, diğer yapılarla uygun bir karşılaştırma yapabilmektir. İkincisi ise, sadece birim fiyatlar ele alındığında, herhangi bir kayıp ya da kazanç olup olmadığını anlamanın mümkün olmamasıdır. Herhangi bir elemanın seçiminin, binanın metrekare maliyetini nasıl etkileyeceğini görmek, ancak elemanın metrekare döşeme başına maliyetini hesaplamakla mümkün olabilir. Belirlenen maliyet tabanının üstüne çıkılmışsa, yapılan hesaplar gözden geçirilerek bu artışın hangi elemandan dolayı meydana geldiği belirlenir. Yeniden tasarıma dönülerek, yapılan değişiklikler doğrultusunda hesaplar tekrarlanır ve yeni bir maliyet planı hazırlanır [Topçu, 1987].

Tasarım geliştikçe bina elemanları da, kendilerini oluşturan alt elemanlara ayrılır. Doğal olarak, elemanlara dayalı olarak yapılan en ayrıntılı maliyet hesabı uygulama projesinde yapılır [Topçu, 1989].

Kaynaklara dayalı maliyet modelleri

Bu modeller, bir projenin yaşamı boyunca gereken toplam kaynak miktarına dayalıdır. Girdi olarak tanımlayabileceğimiz kaynakların toplanmasından hareketle yapı maliyeti hesaplanmaya çalışılır [Sara, 1992].

Yapı üretim sürecinin yapım aşamasında kullanılan bu modeller yardımıyla şantiye organizasyonu sağlanarak, yapılan organizasyonlarla etkin bir şantiye yönetimi gerçekleştirilebilir. Modeller, yapılacak olan her bir işe ait işgücü, malzeme ve araç gereç listesinin oluşumunu belirleyerek bunların maliyetlerinin bulunmasını sağlamaktadır. Buradan, dolaylı ya da dolaysız maliyetler ile nakit akışı gerektiren ve gerektirmeyen maliyetlere ulaşılır.

Tüm bu kalemler bir zamansal çizelge ile karşılaştırılabilir ve böylece maliyet kontrolüne ulaşılabilir [Akınbingöl ve Gültekin, 2005].

Yapım birimlerine dayalı modeller

Yapı üretim sürecinin yapım evresinde yapıyı oluşturmak için gerekli olan üretim birimleri ve işlemler yapım birimlerini oluşturmaktadır. Yapım birimlerine dayalı maliyet modeli de yapım birimlerinin uygulama projesi üzerinden ölçülen miktarlarıyla her birim için daha önceden belirlenmiş olan birim fiyatlarının çarpılıp elde edilen sonuçların alt alta toplanması ile yapının toplam maliyetinin hesaplanması ilkesine dayanır. Yapım birim fiyatları geniş kapsamlı listelerde yayınlanır. En geniş liste ise Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın hazırladığı listedir. Buna göre imalatların piyasa bedelleri olarak tanımladığımız rayiçleri ise; işçilik fiyatları, inşaat makine ekipman fiyatları, taşıt fiyatları ve malzeme fiyatları olarak belirlenmiştir. Yapım birimleri modeli oldukça detaylı derecede bilgi gerektirir. Bu modellerin doğruluk oranı diğerlerine göre daha yüksektir. Yaklaşık olarak maliyet $\pm\%$ 5 toleransta hesaplanabilir [Malcolm ve Horner, 1991].

Pratik hesaplamaya esas olmak üzere yığma ve karkas yapılar için yapı birim alanına isabet eden yaklaşık metraj birim ölçüleri aşağıda Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Yığma ve karkas yapılar için yapı birim alanına isabet eden yaklaşık metraj birim ölçüleri

	İMALAT CİNSİ	YIĞMA		BETONARME KARKAS	
1	Betonarme Betonu	0,250	m ³ /m ²	0,380	m ³ /m ²
2	Betonarme Demiri	22	kg/m ²	34	kg/m ²
3	Kalıp	1,75	m ³ /m ²	2,60	m ³ /m ²
4	Kalıp İskelesi	1,90	m ³ /m ²	2,80	m ³ /m ²
5	İş İskelesi	1,43	m ² /m ²	1,43	m ² /m ²
6	Tuğla Duvar	0,200	m ³ /m ²	0,150	m ³ /m ²
7	İç Sıva	2,40	m ² /m ²	2,40	m ² /m ²
8	Dış Sıva	1,30	m ² /m ²	1,30	m ² /m ²
9	Tavan Sıvası	0,90	m ² /m ²	0,90	m ² /m ²
10	Badana (İç)	3,00	m ² /m ²	3,00	m ² /m ²
11	Fayans-Seramik	0,30	m ² /m ²	0,30	m ² /m ²
12	Ahşap Yapı + Karkas	0,15	m ² /m ²	0,15	m ² /m ²
13	Ahşap Pencere	0,12	m ² /m ²	0,12	m ² /m ²
14	Yağlı Boya	0,42	m ² /m ²	0,42	m ² /m ²
15	Ahşap Çatı, Kiremit Örtü (Toplam İnşaat Alanı Üzerinden)				
	Tek kat	1,25	m ² /m ²	1,25	m ² /m ²
	İki kat	0,63	m ² /m ²	0,63	m ² /m ²
	Üç kat	0,42	m ² /m ²	0,42	m ² /m ²
	Dört kat	0,33	m ² /m ²	0,33	m ² /m ²
	Beş kat	0,25	m ² /m ²	0,25	m ² /m ²
16	Metal örtü (Toplam İnşaat Alanı Üzerinden)				
	Tek kat	1,33	m ² /m ²	1,33	m ² /m ²
	İki kat	0,67	m ² /m ²	0,67	m ² /m ²
	Üç kat	0,44	m ² /m ²	0,44	m ² /m ²
	Dört kat	0,34	m ² /m ²	0,34	m ² /m ²
	Beş kat	0,24	m ² /m ²	0,27	m ² /m ²
17	Mozaik Döşeme Kaplaması	0,90	m ² /m ²	0,90	m ² /m ²
18	Cam	0,10	m ² /m ²	0,10	m ² /m ²

Örnek olarak toplam alanı betonarme karkas ve konut olan 1 500 m² bir binanın metraj olarak hesaplanması gerekiyorsa;

Betonarme betonu	= 0,380 x 1 500 =	570 m ³
Betonarme demiri	= 0,034 x 1 500 =	51 ton
Betonarme kalıbı	= 2,60 x 1 500 =	2 600 m ²
Tuğla duvar	= 0,150 x 1 500 =	150 m ³

Projeden metraj çıkarılması esas olmak üzere yaklaşık pratik kabuller;

Tesviye tabakası alanı	= Mozaik döşeme kaplaması alanı
Blokaj alanı	= Demirsiz beton alanı = Mozaik alanı
Kiremit alanı	= Ahşap çatı alanı
Kiremit alanı	= Çatı yalıtım alanı
Tavan sıvası	= Tavan kireç badana
Badana alanı	= İç sıva alanı
Pencere yağlı boya alanı	= Pencere doğrama alanı
1 m ³ beton	= 7-8 m ² kalıp
Demirli beton hacmine	= 70-90 kg demir
Pencere doğrama alanının	= % 75-80 normal düz cam
Kapı kanat alanının	= % 25'i buzlu cam
Tüm demirin	= % 40-45 ince
Tüm demirin	= % 55-60 kalın

2.1.2. Tanımlayıcı modeller

Diğer alanlarda başarılı olan ve maliyet modeli araştırmalarında on beş yıldan fazla bir süredir kullanılan bu yaklaşım, maliyetleri miktarlar yerine tasarımın tanımlayıcı özelliklerine bağlamak fikrini temel alır. Tanımlayıcı modeller regresyon analizleri kullanılarak geliştirilmiştir. Regresyon analizi, hesaplamaların bir ya da daha fazla değişkenin (yapı yüksekliği, formu, vb.) değerlerinin bilinmesinden yararlanılarak başka bir değişkenin değerinin,

bulunduğu bir yöntemdir. Regresyon analizini kullanma fikri, yapının maliyetini hem tasarım aşamasında belirlemek için hem de yüklenicinin yaklaşık maliyeti kestirebilmesi için geliştirilmiştir [Beeston, 1987].

2.1.3. Gerçekçi modeller

Tahmin yolu ile yapılan maliyet hesaplamalarının doğru bir sonuç vermeyeceği düşüncesinden hareketle kurgulanmış olan modelleri tanımlamaktadır. Gerçekçi modellerin tahmin doğruluğunun miktarlara dayalı modellere göre daha azdır. Buna rağmen, miktarlara dayalı modeller gelişmelerini neredeyse tamamladıkları halde, gerçekçi modellerin gelişme potansiyellerinin çok yüksek olduğu ileri sürülmektedir [Akinbingöl ve Gültekin, 2005].

2.1.4. Uzman sistemler

Gelişmiş maliyet modelleri adı altında da incelenen bu modeller ile maliyet tahmini yapabilmek için veri tabanı ve bilgisayardan yararlanılır. Maliyet tahmininde başarılı olabilmek için de bu sistemlerin mutlaka uzman kişiler tarafından yönlendirilmesi gerekir. Bina maliyet tahmininde kullanılan uzman sistemlerin geliştirilmesinde üç yaklaşımdan yararlanılır. Bunlar; menü yaklaşımı, denkleştirme yaklaşımı ve bütünleşik modelleme yaklaşımıdır [Akinbingöl ve Gültekin, 2005].

Enflasyonun yaşandığı ve fiyatların kısa zaman aralıklarında değiştiği ülkelerde, özellikle yatırım hacmi büyük ve yapım süresi uzun olan projelerde, sabit fiyatlarla inşaat taahhüdü altına girmek büyük riskler taşımaktadır.

Proje maliyetini kestirme hesapları, proje değerlendirmenin yapılabilmesi ve ayrıntılı proje maliyet kontrolü için gereklidir. Fizibilite çalışmaları ve değerlendirmeler için maliyet kestirme hesapları, olası seçenekler arası

farkları ortaya çıkaracak biçimde yeterli ayrıntıda olmalıdır. Bu hesaplar elle yapıldığında, her maliyet kestirmesi için çok çaba gerektirdiğinden, ayrıntılar önemli olabilir. Birçok taahhüt şirketinde deneme tasarımları geliştiren ve bunları ayrıntılı olarak fiyatlandıran bilgisayar yazılımları bulunmaktadır. Bu olanaklarla var olan zaman içinde daha çok karşılaştırmalı incelemeler yapılabilir, çalışmalar az güç harcanarak daha ayrıntılı olarak yürütülebilir.

Proje maliyetinin kontrolü amacı ile maliyetlerin karşılaştırılabileceği, onaylanmış bir maliyet hesabı gereklidir. Maliyet kayıt ve maliyet kestirme hesabı sistemlerinin her ikisi de aynı bazda karşılaştırılabilecek değerler üretmelidir. Bu, ana maliyet kestirme hesabı içindeki iş paketlerinin, maliyet merkezi bazında, gerçek projenin gerçekleşen maliyetlerini yansıtacak biçimde yapılması ile sağlanabilir. Özellikle proje işinin teklif süresi kısa olan açık ihale yolu ile alındığı durumlarda, maliyet kestirme hesapları acele ile yeterince özen gösterilmeden, gerekli ayrıntıya inilmeden yapılmakta ve bu hesaplar, işin yapılma veya maliyetlerin kaydedilme biçimi ile uyumlu olamamaktadır.

2.1.5. Maliyet analizi ve kontrolü

Bir projenin maliyet analizi ve kontrolü gereksinmesi ve bunun için kullanılan yöntemler, projenin türüne, işveren veya müteahhidin görüşüne bağlıdır. İşveren projenin zamanında ve belirli bir maliyetle bitmesini ister; çünkü projenin yapım aşaması uzun süreli bir işletmenin başlangıcıdır. Projeyi gerçekleştirme maliyeti projenin sonraki işletme maliyetinde önemli bir etkindir. Proje tamamlama süresi, ödenecek faizleri ve işletmeye başlama ve yatırımın karşılığını almaya başlamayı etkiler [Ashworth, 1999].

Müteahhit, bir projenin kendi şirketine yararlı olmasını ve katkısını düşünmenin yanı sıra:

- Projeyi mümkün oldukça ekonomik olarak ve kısa sürede bitirmeye,
- Harcamaların önceden belirlenmiş bir kar marjı ile birlikte, tüm

giderlerden az olmasını sağlamaya,

- Bütün aşamalarda dönemsel maliyet ve dönemsel gelirler arasında uygun bir dengeyi sağlamayı baz alan sıkı bir nakit kontrolü ile projeyi en az şirket parası ile finanse etmeğe çalışır [Ashworth, 1999].

Maliyet ve bunun kontrolü, proje yönetiminin her aşamasında ve her düzeyinde, kaynaklar ve kaynak kontrolü ile bütünleştirilmelidir. Maliyet kontrol sisteminin yapısı, sistem tepki zamanını en aza indirmek için basit olmalıdır. Ancak, elde en azından ana maliyetleri de içeren bir ön maliyet hesabı bulunmalıdır [Ashworth, 1999].

Maliyet kaydı ile maliyet kontrolü arasındaki farkı belirtmek gerekir. *Maliyet kaydı*, geçmişle ilgili mümkün en doğruluğu vurgular. *Maliyet kontrolü* ise, kararları her hangi bir şey yapılmadan önce vererek sonucu etkilemek için yapılır. Bu nedenle maliyet bilgisi toplama hızı çok önemlidir [Ashworth, 1999].

Maliyet kontrol bilgisi;

- Karar vericiye mümkün oldukça hızlı ulaşmak,
- Olayları doğru olarak belirlemek, ancak gerekirse değerleri yuvarlatmak,
- Yapılan işlere, eylemlere, maliyet merkezlerine proje bakımından anlamlı ve karar vermeye uygun bir şekilde yaklaşmak hususlarını yerine getirmelidir [Ashworth, 1999].

Yalnız geçmişteki maliyet kayıtlarını toplama yeteneğindeki bir sistem, maliyet kontrol bilgisi toplamak üzere kullanılmadan önce genelde bir temel yeniden yapılanma gerektirir. Maliyet kontrol bilgisi, proje yönetiminin doğrudan kontrolünde bulunan kalemlerin maliyetini göstermelidir; zira kontrol dışı eylemler için yalnız maliyet kaydı bilgisi edinmek yeterli olabilir [Ashworth, 1999].

2.1.6. Konut inşaat maliyeti

Devlet İstatistik Kurumu (DİK) tarafından açıklanan (arazi hariç) metrekare konut inşaat maliyetlerinin 1995-2005 arası gelişimi aşağıdaki Çizelge 2.2'de verilmiştir (Yapı kullanma izin belgelerine göre düzenlenmiştir).

Çizelge 2.2. Metrekare konut inşaat maliyetleri (1995-2005) [Türkiye İstatistik Kurumu]

Yıl	Cari (TL)	USD	Artış Oranı (USD bazında)
1995	8904119	195	16
1996	15880000	196	1
1997	30800000	203	4
1998	53990000	208	2
1999	81442000	195	-6
2000	116775000	186	-5
2001	186728000	150	-19
2002	246354176	162	8
2003	288483560	193	19
2004	328507253	231	20
Ocak- Haziran 2004	315099700	225	25
Ocak- Haziran 2005	354500247	265	18

Gerek döviz fiyatlarının değişimi, gerekse sektörde yaşanan dalgalanmalar sebebiyle metrekare cinsinden konut inşaat maliyetlerinde dalgalı bir seyir görülmektedir. Cari fiyatlarda artış olan yıllarda dolar bazında azalma görülebilmektedir. Örneğin 1999, 2000 ve 2001 yıllarında konut inşaat maliyetlerinde cari fiyatlarla artışlar yaşanırken, dolar fiyatlarının büyük oranda artmasına paralel olarak dolar bazında düşüşler görülmektedir. 2002

yılında konut inşaat maliyetleri TL bazında % 28 oranında artmış, dolar bazında gerçekleşen artış oranı ise % 8 olmuştur. Dolayısıyla 2002 yılı, konut inşaat maliyetlerini artışla kapatmıştır. 2003 yılında ise konut inşaat birim maliyetlerinde cari TL fiyatlarıyla % 17, dolar bazında ise % 19 oranlarında artış olmuştur.

2004 yılında konut inşaat maliyetlerinde TL bazında % 14 oranında artış gerçekleşmiştir. Dolar bazında ise bir önceki yıla göre gerçekleşen artış oranı % 20'dir. Bu oranların arasının açılmasının sebebi Türk Lirası'nın dolar karşısında değer kazanıyor olmasıdır. 2005 yılının ilk yarısında ise konut inşaat birim maliyetlerinde TL bazında % 12,5, dolar bazında ise % 18 oranlarında artış görülmektedir.

2.1.7. Kamu sektörü fiyat klavuzları

Kamu sektörü, her ne kadar büyüklük açısından hükümet politikasına göre düzensiz değişimler gösterse de inşaat sanayisinin en önemli müşterisidir.

T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'na ait veri tabanları, İnşaat Birim Fiyat Analizleri ve Yapı Yaklaşık Maliyetleri olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır. Bunlardan uygulama projesi evresine yönelik olarak hazırlanmış olan İnşaat Birim Fiyat Analizleri; teknolojik yeniliklere açık olmaması, imalatın yapılacağı yer vb. faktörler gözetilmeden birim fiyatların hazırlanmış olması, bazı yapım işlerinin veri tabanı içerisinde yer almaması, güncelleme periyodunun ülkenin ekonomik koşullarına uygun olmaması gibi bazı temel problemlere sahiptir [Polat ve Çıracı, 2005].

Aynı kurum tarafından tasarım öncesi evrede bina inşaat maliyeti tahminine yönelik oluşturulmuş olan Yapı Yaklaşık Maliyetleri'nin ise en büyük eksikliği inşaatın yapıldığı yer, inşaat boyutu, kat sayısı vb. parametrelerin göz önünde bulundurulmadan birim m² bina inşaat maliyetlerinin üretilmiş olmasıdır [Polat ve Çıracı, 2005].

Türkiye’de tasarım öncesi evrede maliyet tahmini, toplam bina inşaat alanı ile birim m² inşaat maliyetinin çarpılmasıyla elde edilmektedir. Bina birim m² inşaat maliyeti olarak ise T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı’na ait yapı yaklaşık birim maliyetleri kullanılmaktadır. Ancak bu yolla hesaplamalar yapıldığında Çizelge 2.3’te verilmiş olan iki örnek binanın maliyetleri aynı çıkmaktadır [Polat ve Çıracı, 2005].

Çizelge 2.3. Aynı toplam inşaat alanına sahip iki farklı ofis binası örneği

Özellikler	Seçenek I	Seçenek II
Bina tipi	Ofis	Ofis
Toplam inşaat alanı	13 850 m ²	13 850 m ²
İnşaat yapılacağı yer	İstanbul	Van
Kat sayısı	3 Bodrum+10 Kat	5 Kat
Dış cephe kaplaması	Granit	Dış cephe boyası

Halbuki inşaatın yapılacağı yer, binanın kat yüksekliği, kat sayısı, bodrum katın olup olmadığı, dış duvar tipi, vb. değişkenler inşaat maliyetini önemli derecede etkileyen faktörlerdir. Böyle bir durumda Türkiye’de tasarım öncesi evrede maliyet tahmininin doğru bir şekilde yapılması için ihtiyaç duyulan hesap yönteminin nasıl olması gerektiği önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır [Polat ve Çıracı, 2005].

İller Bankası Genel Müdürlüğü, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü vb. kurumların kendi konularıyla ilgili maliyet veri tabanları bulunmaktadır. Ancak bu veri tabanlarındaki bina inşaat maliyeti bilgileri T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı’nın üretmiş olduğu imalatlara dayalı inşaat birim fiyat analizleriyle benzer yapıdadır.

2.1.8. Endeksler ve trendler

Bu yöntemlerde maliyet bilgisi belirli bir zaman periyodu üzerinden elde edilip kaydedilir. Bu zaman sürecinde, yapı maliyetleri, pazar koşulları ve enflasyon birçok nedenden dolayı değişecektir. Bu nedenle toplanan veriler, şimdiki bir tarihe ya da uygun bir gelecek zaman ölçeğine dönüştürülmelidir. Bu dönüşüm işlemi indeks rakamlarıyla yapılır. Farklı bir çok türde olabilen bu indeks rakamları belirli bir zaman periyoduna ait fiyatları, üretimi, iş gücünü ya da populasyon değişimlerini karşılaştırmak için kullanılır. Herhangi bir indeks rakamı, bir periyottan diğerine ortaya çıkan değişimi ölçer [Ashworth, 1999].

Tüm indeks rakamları, serideki diğer rakamların birbiriyle ilişkilendirilebileceği bir zaman periyodunun seçimini gerektirir. Her türlü amaç için verilerin değerindeki olası düşüş ya da artış göz önüne alınarak taban değeri 100 olarak belirlenir [Ashworth, 1999].

Basit indeks rakamları, söz konusu maddelerin göreceli önemini hesaba katmaz. Bunlar ağırlıklandırılmamış indeks rakamları olarak bilinir ve genellikle de bir anlam ifade etmez. İnşaat sanayisinde kullanılan indeks rakamlarının büyük çoğunluğu indeks içindeki önem sırasına göre ağırlıklı maddeleri içerir. Bunlar bilinen Tüketici Sepeti kuralına göre hesaplanır [Ashworth, 1999].

Endeks oluşturma

İndeks oluştururken, aşağıdaki dört faktör göz önünde bulundurulmalıdır:

Endeksin amacı: Diğer faktörlerle ilgili tüm kararları etkileyebileceğinden endeksin amacı dikkatle belirlenmelidir. İndeksin kullanımı bu amaçla sınırlı olacaktır. Yapı harcamaları ve teklif fiyatları endeksi, yapı harcamalarının incelenmesinde kullanılan yaygın iki indekstir.

Maddelerin seçimi: Sınırlı sayıdaki maddeleri ölçerek endeksin özünü yakalamak güçtür. Her maddeyi içermek de mümkün değildir; ancak temsili bir örneğin gelecek değerleri öngöreceği umut edilir. Doğru karar, endeksin amacını dikkatle belirlemeye ve ondan sonra da bu amaca ulaşmak için gerekli en uygun maddeleri seçmeye dayanır.

Ağırlıkların belirlenmesi: Endeksin içindeki maddelerin önemleri arasındaki denge, farklı değerlerin ağırlıklandırılmasıyla belirlenir.

Taban yılının seçimi: İstisnai bir yıldan daha çok genel bir yıl seçilmelidir. Çünkü bu, daha doğru ve güvenilir bir endeks oluşturmanın temelini oluşturur [Ashworth, 1999].

Endeks rakamlarının kullanımları

Endeks rakamları, geçmiş maliyet verilerini son fiyatlandırma düzeylerine güncellemek ya da maliyete fiyatlarda gelecek trendleri belirlemek için kullanılır. Aşağıdakiler endeks rakamlarının yaygın kullanımlarından bazılarıdır:

Maliyet Planlama

Maliyet planlama işlemi, geçmiş maliyet verilerinin büyük ölçüde kullanımını gerektirir. Bunların doğru kullanılması için verilerin endeksin kullanımına göre güncellenmesi gerekir. Herhangi bir projenin maliyeti ya da bir kısmının fiyatı aşağıdaki gibi güncellenebilir [Ashworth, 1999]:

Maliyet analizinde metrekare başına maliyet: 298,31 USD/m²

Bu proje için indeks: 271

Belirlenen proje için şu anki uygulanabilir endeks: 327

Güncelleme için formül:

$$PR = \frac{OR \times CI}{OI} = \frac{298.31 \times 327}{271} = 359.95$$

metrekare başına

İki oran arasındaki yüzdelik fark ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

Yüzdelik Değişim:

$$\frac{CI - OI}{OI} \times 100 = \frac{(327 - 271)}{271} \times 100 = +\%20.66$$

Tahmin

Mevcut indekslerin ortaya koyduğu model gelecekteki bir zamana da uygulanabilir. Bunun için geçmişte var olan ve gelecekte de var olacak koşullar arasındaki farklılıklar için bazı subjektif düzeltmelere gereksinim vardır. Durağan şartlarda mevcut endekslerin projeksiyonu basit bir iştir. Ancak son yıllarda enflasyon oranlarındaki değişken durumlar, tahmini çok zorlaştırmıştır [Ashworth, 1999].

Fiyat kararsızlıklarının değişimi

Endeksler değişken bir kontrat altında artan yapı maliyetlerini hesaplamak için kullanılır. Bu yöntem, geleneksel gelecek maliyet ödemeleri üzerinde ayırt edici avantajlara sahiptir. Yöntemin anlaşılması ve hesabı çabuktur. Bu, paradan ve zamandan tasarrufu sağlar. Tek dezavantajı, müteahhidin artan harcamalarının geri ödemelerini net belirleyememesidir [Ashworth, 1999].

Maliyet ilişkilerinin karşılaştırılması

Farklı malzeme ve yöntemlerin maliyeti aynı oranda değişmez. Bu yüzden endeksler belirli bir zaman periyodu içinde parçalar arasındaki ilişkinin değişimini görmek için de kullanılabilir [Ashworth, 1999].

Pazar koşullarının değerlendirilmesi

İnşaatin maliyetlerine ek olarak, pazar koşulları da müşteriye verilen fiyatı etkileyecektir. Teklif fiyat indeksi bunu hesaba katar. Göreli bir pazar ortamı indeksi, teklif fiyat endeksinin inşaat maliyet endeksine bölümüyle hesaplanabilir [Ashworth, 1999].

Fiyatlandırma

Endeks rakamları, daha önce yayınlanmış fiyatları, şu anki ya da gelecekteki tarihlere güncellemek için kullanılabilir. Yapılan işlem, maliyet planlamasındaki aynısıdır [Ashworth, 1999].

Türkiye İstatistik Kurumu bina inşaatı maliyet endeksleri

Bina inşaatında kullanılan girdi miktarlarını belirlemek ve bu girdi miktarlarının yıllara göre maliyet değişimlerini göstermek amacı ile bir "Bina inşaatı maliyet endeksi" oluşturulması hedeflenmiştir. 1989 yılında başlatılan bu çalışma sonuçlandırılmış ve ilk olarak 1992 yılı Kasım ayında yayımlanmıştır. Bu çalışmada 1991 yılı baz yılı olarak kabul edilmiş ve ağırlıklı Laspeyres formülü kullanılmıştır.

Bina inşaatı maliyet endeksinde toplam 295 maddeden 20'si işçilik, 7'si makine, 146'sı esas inşaat malzemeleri, 122'si ise tesisat malzemesidir. Bu maddelerin fiyatları, kapsama alınan 24 ilden (her madde için üç ayrı işyerinden) derlenmektedir. Bu fiyatlar, her dönemin 3. ayının 15'i itibarı ile

Üreticiden, toptancıdan ya da perakendeciden, yani inşaat firmaları ile müteahhitlerin alışveriş yaptıkları "1292" işyerinden toplanmaktadır. Bina inşaatı maliyet endeksi üçer aylık dönemler halinde hesaplanıp yayımlanmaktadır.

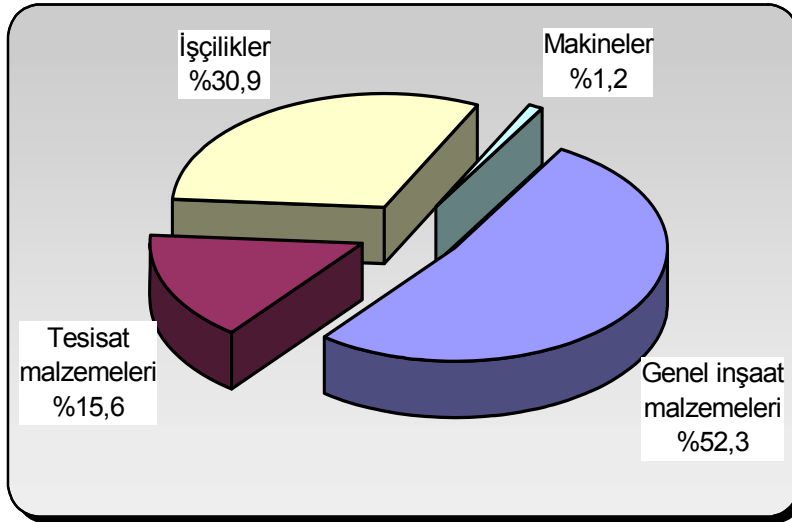
TİK'in Temmuz 2006'da açıkladığı verilere göre, Bina İnşaatı Maliyet Endeksi Nisan–Mayıs–Haziran aylarını kapsayan 2006 yılı ikinci döneminde, bir önceki döneme oranla toplamda % 14,6 artmıştır (izelge 2.4).

1991=100 Temel Yıllı Bina İnşaatı Maliyet Endeksi 2006 yılı ikinci döneminde toplamda, bir önceki döneme göre % 14,6, bir önceki yılın son döneminde göre %18,7, bir önceki yılın aynı döneminde göre % 23,3 ve dört dönem ortalamalarına göre ise % 12,6 artış göstermiştir. 2006 yılı ikinci döneminde bir önceki döneme göre işçilik endeksinde % 13,9, makine endeksinde % 13,5 ve malzeme endeksinde ise % 15.0 oranında artış kaydedilmiştir. Öte yandan, 2006 yılı ikinci döneminde bir önceki yılın aynı döneminde göre işçilik endeksinde % 27,6, makine endeksinde % 21,1 ve malzeme endeksinde % 21,0 oranında artış gerçekleşmiştir. 2005 yılı ikinci döneminde toplamda bir önceki döneme göre % 1,6, bir önceki yılın son döneminde göre % 4,3, bir önceki yılın aynı döneminde göre % 10,1 ve dört dönem ortalamalara göre ise % 13,5 oranında artış gerçekleşmiştir.

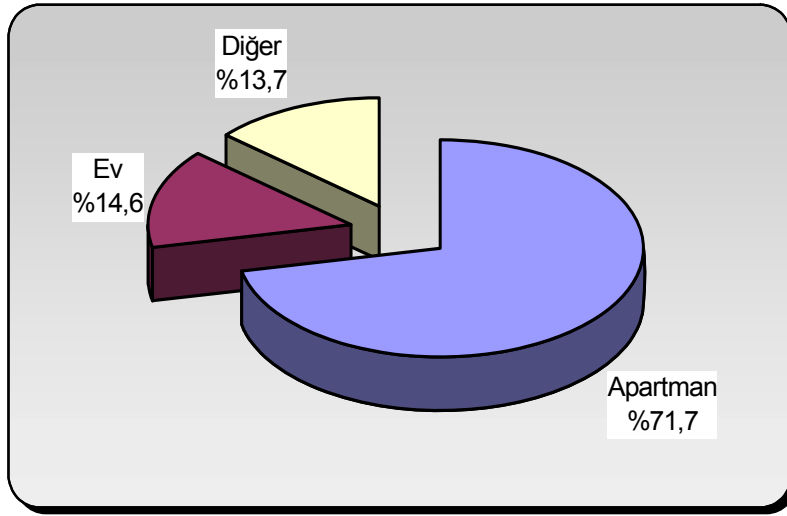
Çizelge 2.4. 2006 ve 2005 yılı ikinci dönem endeks yüzde değişim oranları

	2006 Yılı II. Dönem				2005 Yılı II. Dönem			
	Toplam	İşçilik	Makine	Malzeme	Toplam	İşçilik	Makine	Malzeme
Bir önceki döneme göre değişim oranı (%)	14,6	13,9	13,5	15,0	1,6	2,8	4,4	0,9
Bir önceki yılın son dönemine göre değişim oranı (%)	18,7	19,8	16,3	18,2	4,3	6,8	8,1	2,8
Bir önceki yılın aynı dönemine göre değişim oranı (%)	23,3	27,6	21,1	21,0	10,1	13,6	12,9	8,3
Dört dönem ortalamalara göre değişim oranı (%)	12,6	17,8	15,6	9,8	13,5	16,2	11,5	12,2

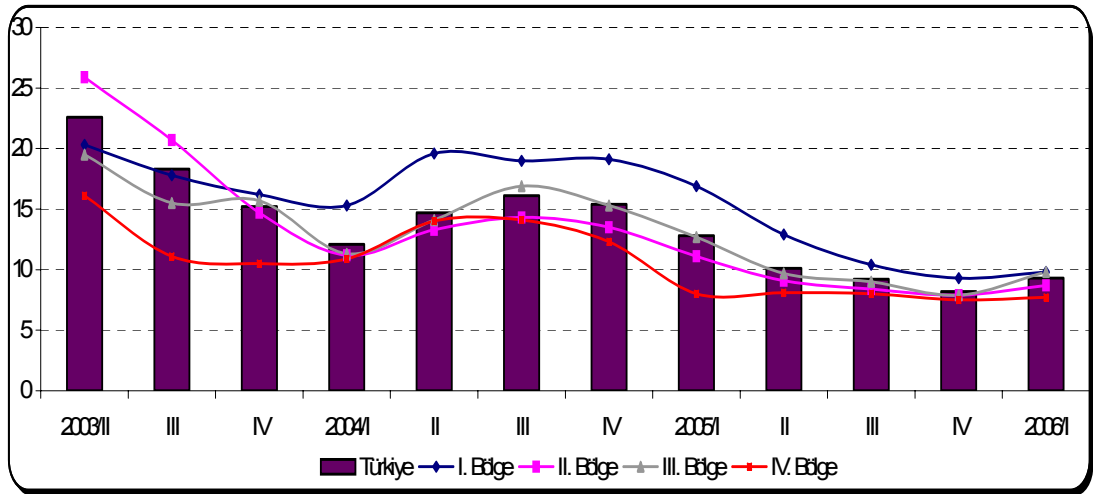
Aşağıdaki şekillerde bina işleri maliyet endekslerinde girdilerin payları, kullanım amaçlarının ağırlıkları, bir önceki yılın aynı dönemine göre % değişimler, dört dönem ortalamalarına göre % değişimler ve bir önceki döneme göre % değişimler ifade edilmiştir (Şekil 2.2 – Şekil 2.6).



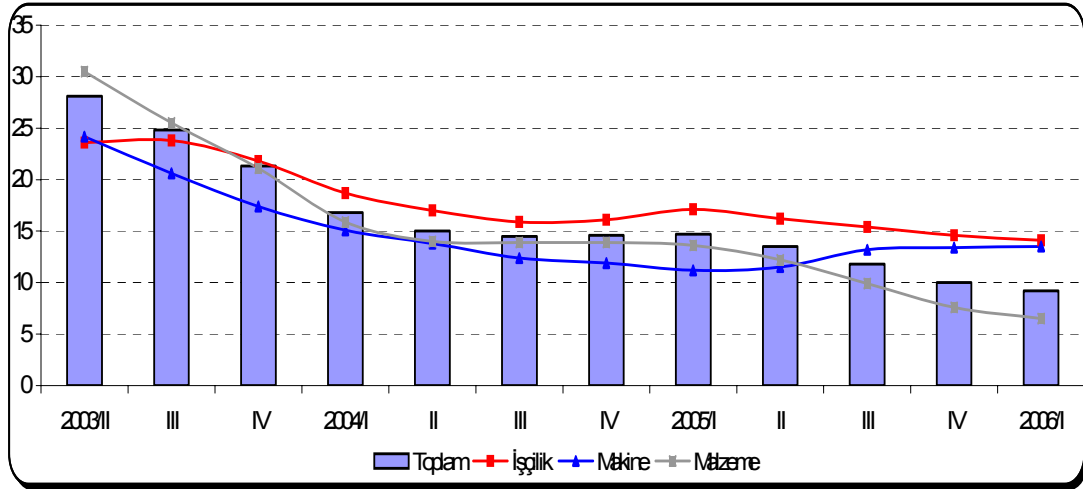
Şekil 2.2. Bina inşaatı maliyet endeksinde girdilerin payları [Türkiye İstatistik Kurumu]



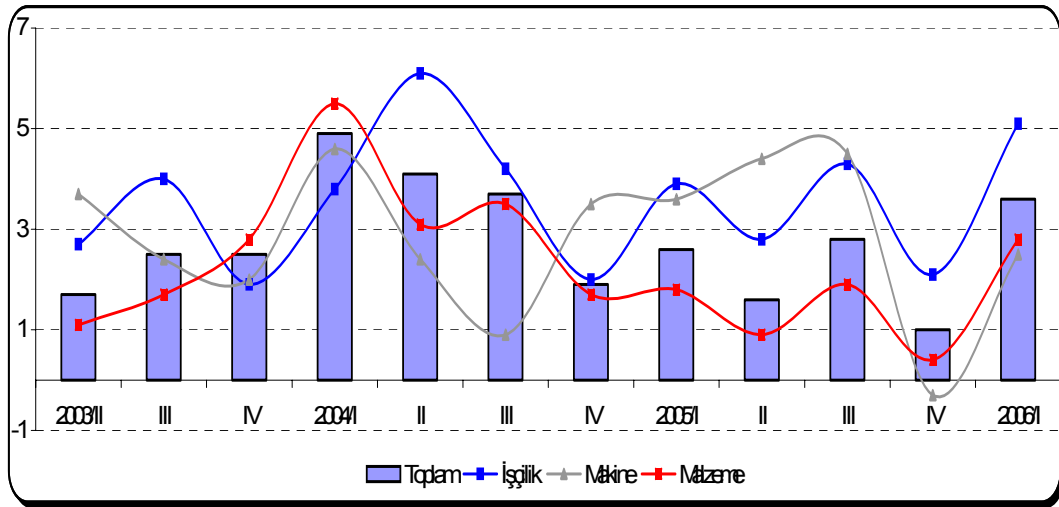
Şekil 2.3. Bina inşaatı maliyet endeksinde kullanım amaçlarının ağırlıkları [Türkiye İstatistik Kurumu]



Şekil 2.4. Bina inşaatı maliyet endeksi bir önceki yılın aynı dönemine göre % değişimler [Türkiye İstatistik Kurumu]



Şekil 2.5. Bina inşaatı maliyet endeksi dört dönem ortalamalara göre % değişimler [Türkiye İstatistik Kurumu]



Şekil 2.6. Bina inşaatı maliyet endeksi bir önceki döneme göre % değişimler [Türkiye İstatistik Kurumu]

2.1.9. Yapı maliyeti belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken faktörler

Yapı maliyeti belirlenirken arazi, yapının büyüklüğü, planlama yeterliliği, plan biçimi, yükseklik, kat yüksekliği, yapıların gruplandırılması, inşa edilebilirlik, yapısal detaylar, yapıdaki son düzenlemeler vb. faktörler herhangi bir

projenin harcamaları üstünde direkt etkiye sahiptirler ve bunlar yapının ekonomik değerlendirmesi sırasında göz ardı edilmemelidir [Ashworth, 1999].

Arazinin önemi

Arazinin büyüklüğü genellikle yapımı gerçekleştirilecek projenin türüyle belirlenir. Projenin maliyeti, kurulduğu araziden etkilenecektir. Proje, dağıtım ve ulaşım gibi problemlerin olduğu kalabalık bir şehir arazisi üzerinde ya da şehir dışında büyük ulaşım maliyetlerine neden olacak bir arazi üzerinde kurulabilir [Ashworth, 1999].

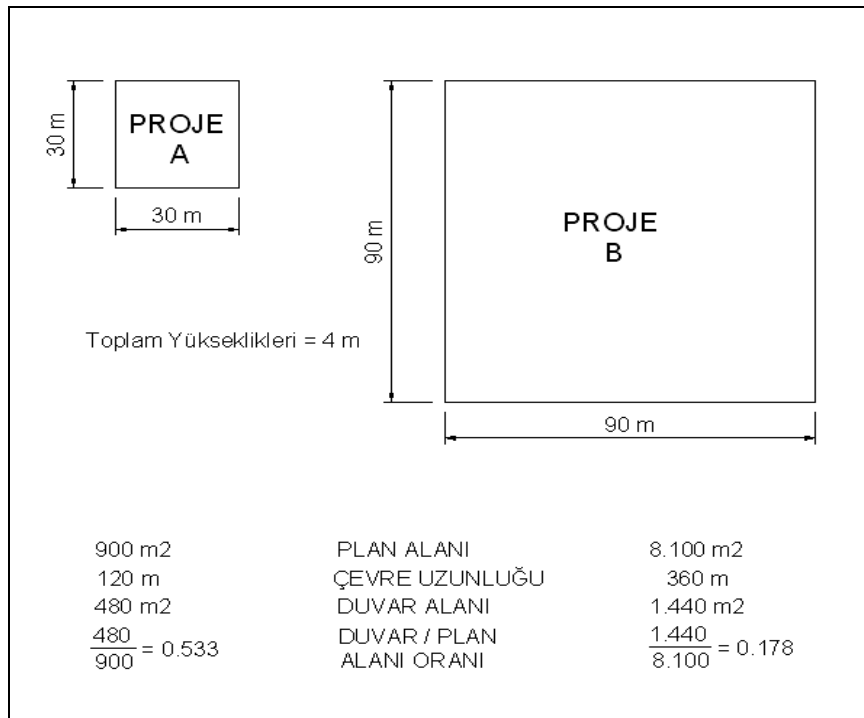
Yapı maliyetleri ülkenin farklı bölgelerinde de değişiklik gösterebilir. Yapının arazi üzerindeki yeri, projenin toplam maliyetini de etkileyecektir. Örneğin bazı projeler yüksek maliyetli uzun mesafeli yolları gerekli kılabilir. Seçilen arazinin zemin koşulları yapı maliyetlerini büyük ölçüde etkileyebilen bir faktördür. Kötü bir zemin artan harcamalara ek olarak işçiler ve makineler için kötü çalışma koşullarına neden olabilir. Bu sorunlar kötü hava koşullarıyla daha da büyük bir hal alabilir. Arazinin kayalıklardan oluşması kazı çalışmalarını gerektiren kurulum harcamalarında da bir artışa neden olabilir [Ashworth, 1999].

Yapının büyüklüğü

Herhangi bir yapı projesi için dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta da yapının büyüklüğüdür. Bu unsur, harcamalar konusunda önemli bir faktördür. Çünkü harcamalar büyüklükteki değişikliklerle orantılı değildir. Bununla beraber planlı, projenin büyüklüğü üzerinde çok küçük bir etkiye sahip olabilir. Çünkü bu parametre, genellikle müşterinin ihtiyaçlarıyla belirlenir. Daha büyük yapılar daha küçük ölçekli projelere göre daha düşük birim maliyetine sahiptir. Daha küçük fabrikalar daha büyük olanlara göre birim başına daha büyük maliyete neden olur. Bu durum bir noktaya kadar

ölçek ekonomisi teorisiyle ilgilidir. Mimarların ve ölçüm memurlarının harcamaları da belirli bir ölçek dahilinde hesaplanır. Küçük projelerin planlanması birim başına daha çok zaman alır ve bu da plan harcamalarına yansır. Büyük projeler daha etkili yönetilebilir ve bu avantaj, işin daha kısa sürede bitirilmesini sağlayabilir. Anılan tüm bu faktörler birim maliyetlerinin azaltılmasına sebep olabilir [Ashworth, 1999].

Düşük birim maliyetin diğer bir nedeni de düşük duvar-zemin oranıdır. Verilen bir plan biçimi için, daha geniş bir plan alanı her zaman daha düşük bir oranla sonuçlanacaktır. Örneğin 30m x 30m x 4m yükseklikteki bir yapı 0,533 duvar-zemin oranına sahiptir. 90m x 90m x 4m yükseklikteki benzer bir proje de 0,178 duvar-zemin oranına sahiptir (Şekil 2.7) [Ashworth, 1999].



Şekil 2.7. Aynı plan şekli ve farklı ebatlar için duvar maliyetleri [Ashworth, 1999]

Projenin büyüklüğü maliyetle aynı oranda değişmediği gibi duvar-zemin oranı da maliyetle aynı oranda değişmez. Ancak maliyetin duvar-zemin

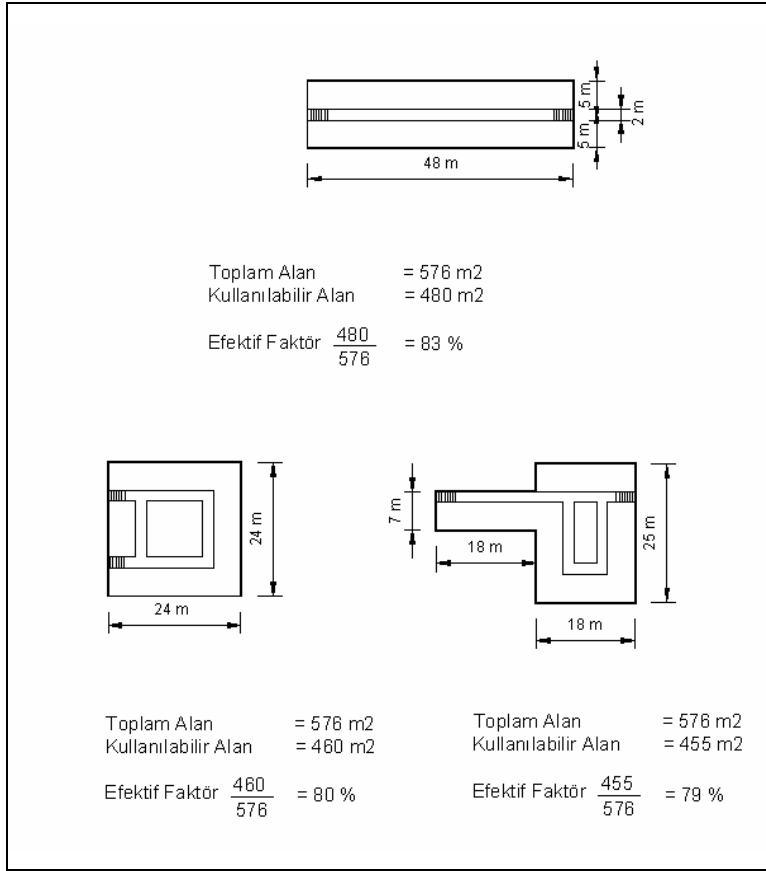
oranı arasındaki korelasyon, büyüklükle maliyet arasındakinden çok daha kuvvetlidir. Bu yüzden imalatçılar her zaman büyük siparişler için büyük indirimler yaparlar [Ashworth, 1999].

Planlama yeterliliği

Bir proje için alternatif taslakların büyüklük açısından aynı olabilmesine rağmen, proje için gerekli kullanım yöntemleri çeşitlilik gösterebilir. Plancı her bir alternatifi mümkün olan en uygun şekilde kullanmaya çalışır; ancak kullanılabilir ve kullanılamaz alanlar arasındaki oran farklılık gösterebilir. Analiz aynı zamanda net kullanılabilir alana dayalı uygun bir oranı da işaret ediyorsa , bu o zaman yararlı olabilir [Ashworth, 1999].

Ekonomik alan düzenlemenin en büyük amaçlarından biri sirkülasyon alanının miktarını en aza indirmektir. Kullanılamaz alanın oranı yapının türüne ve amacına bağlıdır. Bu genel olarak konut ya da ofis bloklarının % 20'sini temsil eder ve laboratuvar yapılarının % 13'ü kadar azdır. Plan biçimi ne kadar düzensiz olursa, kullanılabilir alanın miktarı da o kadar az olur. Örneğin uzun koridorlar iletişimi zorlaştırırken, kullanılabilir alanı da azaltır [Ashworth, 1999].

Şekil 2.8 üç alternatif düzenlemenin planlama yeterliliğini göstermektedir. Bu üç alternatif içinde kişi başına düşen metrekare aynıdır. Önerilen düzenleme alternatifleri için planlama yeterliliği faktörleri % 79'dan % 83'e kadar çeşitlilik gösterebilir [Ashworth, 1999].



Şekil 2.8. Üç alternatif düzenlemenin planlama yeterliliği [Ashworth, 1999]

Yapı ve planlama düzenlemeleri, plan düzenlemesinin bütün yeterliliği üzerinde başka etkilere de sahip olur. (Örneğin tuvaletlerin yangın çıkışlarına yakın kurulması gibi) [Ashworth, 1999].

Genişlik-uygunluk teorisi gibi planlamadaki yetkinliği göz önüne almayan birçok teori vardır. Bu görüş üzerinde yapılan planlar gelecekteki çevreye ve koşullarına uyma yeteneği maksimum olan yapılar üretir. Bunun ardındaki varsayım şudur: Tüm yapı türlerindeki fonksiyonlar zamanla değişecektir ve bu değişim çoğunlukla geçmişte görülenden çok daha hızlı olacaktır. Bu nedenle plan olabildiğince esneklik içermelidir ki gelecekteki büyük yapısal değişimleri tolere edebilsin. Bu genişlik-uygunluk yaklaşımı, müşterilerin spesifik ihtiyaçlarını karşılamak için yapılmış planlardan daha çok standardize edilmiş planlarla sonuçlanabilir. Bu tür bir yaklaşımın sonucu

olan bir plan gelecek koşullarına uyum sağlamayı daha kolay kılar ve bunu daha ucuza mal eder. Ancak geniş alanlı planlar ekonomik açıdan ucuz olmasına rağmen, geleceği düşünen bir müşterinin bile başlangıç planlarında fazladan alan içermeye maddi gücü yetmeyebilir [Ashworth, 1999].

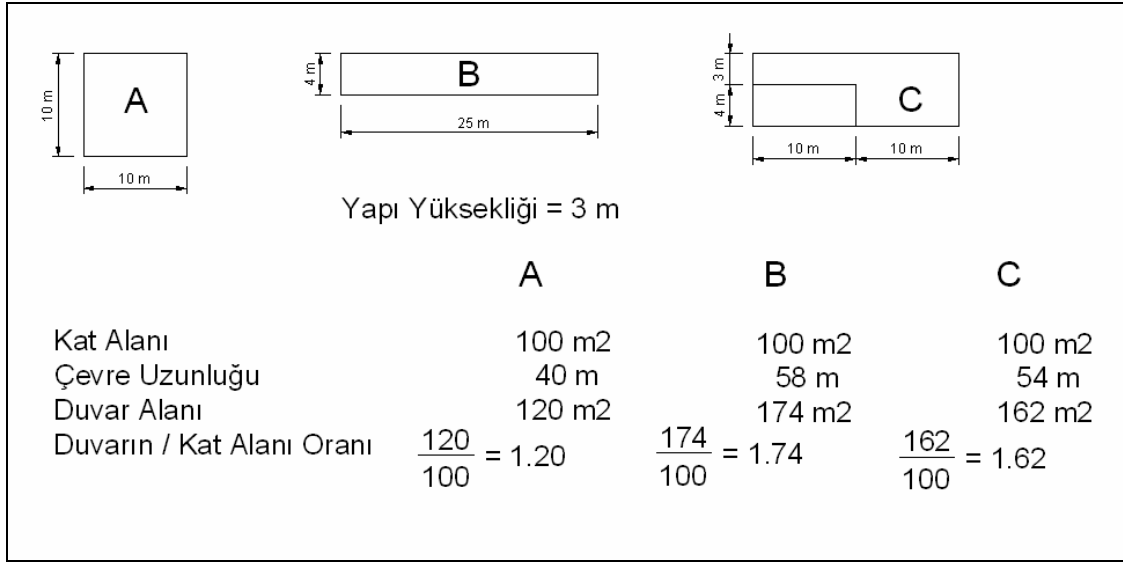
Plan biçimi

Herhangi bir yapı planının biçimi projenin toplam maliyeti üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu etki salt dış cephe maliyetleriyle sınırlı değildir. Kare şeklinde planlanmış bir yapı, birçok durumda en ekonomik çözümü sağlayacaktır. Bu büyük ölçüde duvar-zemin oranı olarak bilinen teoriye bağlıdır. Kare bir biçim toplam zemin alanına daha az duvar yapımıyla sonuçlanacaktır. Biçim ne kadar kompleks olursa, gerekli zemin alanına göre de maliyet o kadar yüksek olacaktır. Düzensiz şekilli bir planın daha çok maliyetli olmasının nedeni köşelerin sayısına bağlanabilir. Bu, tuğla ve çatı maliyetlerini etkileyen bir faktör olarak bilinir [Ashworth, 1999].

Plan biçiminin maliyetini ölçmek adına birçok çalışma yapılmıştır. Duvar-zemin oranı belki de en çok bilinenidir ancak bu sadece benzer zemine sahip alanlar üzerindeki yapıları karşılaştırmak için kullanılabilir ve bir optimum referans noktasından yoksundur [Ashworth, 1999].

Uzunluk/genişlik indeksi yapının şeklini aynı alana sahip dikdörtgene indirgeyen matematiksel bir terimdir. Bunun gelişmiş bir versiyonu çok katlı yapıların irdelenmesine olanak veren plan/biçim indeksidir [Ashworth, 1999].

Şekil 2.9 kare şeklindeki planı olan yapıların ekonomik özelliklerini vurgulayan plan biçimi açısından karşılaştırılabilir plan verilerini göstermektedir. Duvar-zemin oranı ne kadar düşük olursa, plan da o kadar ekonomik olacaktır [Ashworth, 1999].



Şekil 2.9. Kare şeklinde planı olan yapıların ekonomik özelliklerini vurgulayan plan biçimi açısından karşılaştırılabilir plan verileri [Ashworth, 1999]

Plancı planın biçimini belirlerken çoğunlukla tam olarak özgür değildir. Birçok sınırlayıcı faktöre bağlı olarak çalışmalıdır. Yapının amacı çoğunlukla bu faktör üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Plancı arazi sınırları toprak üzerinde ayrılan bölgenin biçimine uygun olmak adına planı sınırlayabilir. Arazinin topografisi plancının basit kare planlarını seçmeme olasılığına bir neden olabilir. Son olarak mimar, basit bir plan biçiminin maliyetini biten projenin estetiğiyle dengelemek zorundadır [Ashworth, 1999].

Kare plan biçimi her zaman en ekonomik çözüm olmayabilir. Kaygan arazilerde genellikle dikdörtgen yapıların daha ekonomik olduğu konusunda uzlaşılr. Bunun nedeni, kurulum maliyetlerindeki azalmadır. Doğal aydınlatma, gürültü geçişini azaltma ve yeterli sirkülasyon alanı gibi çevresel faktörler her zaman karesel biçimi desteklemez. Alternatif planlar arasından en iyisini seçmek için bu alternatif planların karşılaştırmalı maliyetleri gereklidir [Ashworth, 1999].

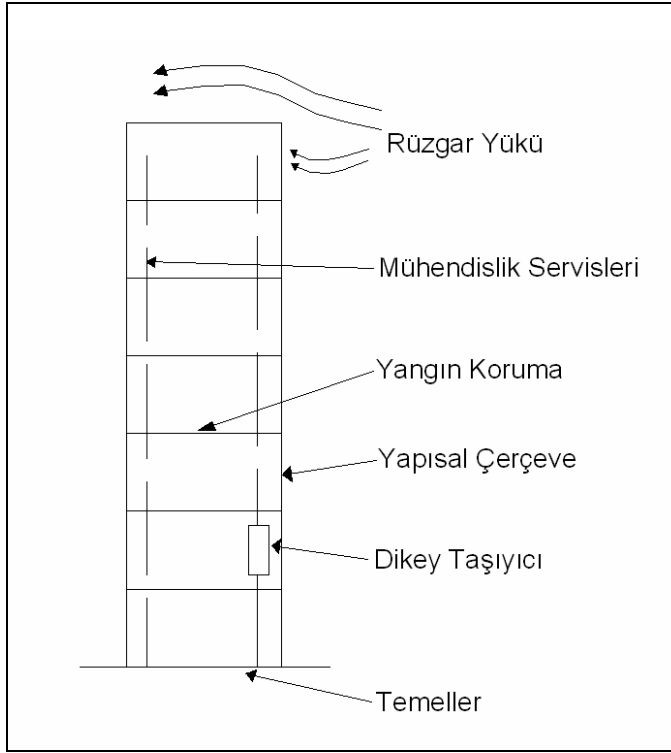
Yükseklik

Yüksek yapıların maliyetleri alçak yapıların maliyetinden daha çoktur. Yüksek yapılar yalnızca arazinin pahalı olduğu durumlarda tercih edilir. Amaç daha çok kat ekleyerek pahalı olan araziye tam kapasiteyle kullanmaktır [Ashworth, 1999].

Çok katlı yapıların alçak yapılara oranla, neden daha pahalı olduğuna ilişkin sebepler:

- Yüksek binaların yüksek yapım maliyetleri dikey ulaşımın sağlanması, malzeme depolama sorunu, yapının kurulumundaki erteleme ve güvenlik için yapılan ekstra ödemeleri içerir.
- Kuruluş için gerekli unsurların hazırlanmasının yüksek maliyeti, yapısal çerçevenin gerekliliği, merdivenler için daha zorlu yapısal gereksinimler.
- Yangına dayanıklılık için önlemlerin geliştirilmesi, özellikle de katlar arasındaki yalıtım.
- Daha geniş merdivenleri içeren gerekli sirkülasyon alanı oranındaki artış.
- İş yürütebilecek müteahhit sayısının sınırlı olması nedeniyle iş için daha az rekabet ortamı.
- Yapımdaki karmaşıklığa bağlı olarak alt sözleşmeli uzman müteahhitlere daha çok iş verilmesi gerekliliği.
- Rüzgara dayanıklılık faktörleri de yapının uzunluğu ile birlikte dikkate alınmalıdır. Bu da yapısal zorluğu ve bununla ilgili olan harcamaları artıracaktır [Ashworth, 1999].

Maliyeti artıran bazı faktörler Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Maliyeti artıran bazı faktörler [Ashworth, 1999]

Yüksek yapıların tüm kullanım sürelerine ait harcamaları da daha büyüktür. Bu, büyük ölçüde asansörler, ısıtma sistemleri ve elektrik dağıtımı gibi gelişmiş hizmetlere bağlı bakım harcamalarına bağlıdır [Ashworth, 1999].

Yüksek yapılarda çalışan ya da yaşayan insanların üzerindeki psikolojik etkiler de göz önüne alınmalıdır. Çok katlı binalarda yaşayan insanların koşulların bir çoğunun dayanılmaz olduğuna dair bazı kanıtlar vardır [Ashworth, 1999].

Tek katlı yapılar maliyet açısından birçok nedenden dolayı etkili bir çözüm değildir. Bu tür yapılar genellikle ekonomik bir çözüm olarak geçici yapılar için tercih edilir [Ashworth, 1999].

Yapı yüksekliği açısından araştırmalar herhangi bir yapının maliyet unsurlarının dört kategoriye ayrılabilceğini ileri sürmektedir [Ashworth, 1999].

1. Kat sayısının artmasıyla düşenler (çatı ve kurulum)
2. Kat sayısının artmasıyla yükselenler (asansör kurulumu)
3. Yükseklikten etkilenmeyenler (zemin cilaları, dış kapılar)
4. Başlangıçta düşen ve daha sonra kat artışıyla yükselenler (dış kaplama)

Kat yüksekliği

Yapıların kat yükseklikleri büyük ölçüde yapının kullanıcısının ihtiyaçlarıyla belirlenir. Büyük makine ya da teçhizatların yerleştirilmesi için normalden daha yüksek katlara ihtiyaç duyulabilir ya da havalandırma sistemlerinin yerleştirilmesi için fazla alan bırakmak gerekebilir. Diğer durumlarda yüksek katlar prestij izlenimi vermek için tercih edilebilir (otel lobilerinde olduğu gibi). Cami, tiyatro gibi yapılar da gelenek ya da plan gereği yüksek katlardan oluşur. Aşırı yükseklikteki katların düşey sirkülasyon elemanlarının maliyetleri ve gelecek bakım maliyetleri (ısıtma ve havalandırma vb.) üzerinde bir etkisi yoktur. Daha çok metrekare başına düşen zemin alanı açısından daha büyük bir maliyete neden olur. Bu tür yapılar aynı zamanda yüksek duvar-zemin oranlarına sahiptir [Ashworth, 1999].

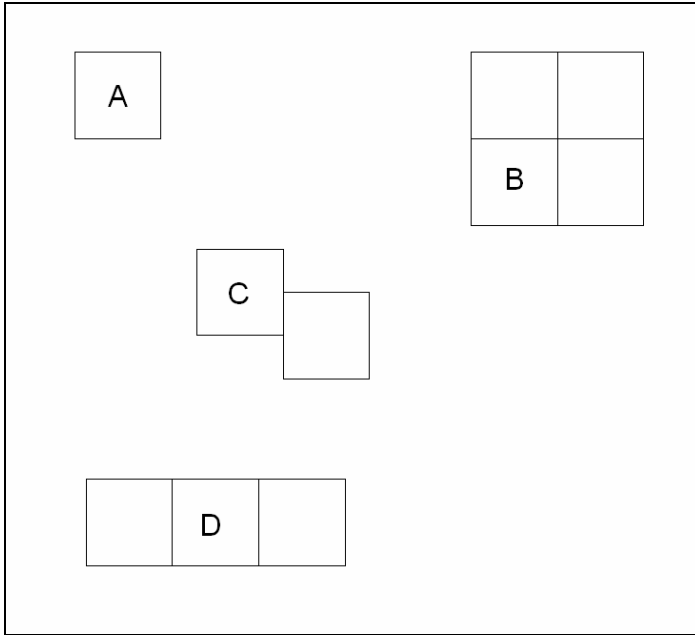
Yapıların gruplandırılması

Arazi üzerindeki yapıların gruplandırılması ve düzenlenmesinin projenin toplam maliyeti üzerinde önemli bir etkisi olabilir. Yapılar arasında bir geçiş oluşturmak maliyetleri azaltabilir [Ashworth, 1999].

Yapıların gruplandırılması genellikle konutlara ve endüstriyel birimlere uygulansa da bitişik bir yapıya eklenebilir. Bir başka yapı çoğunlukla bir maliyet avantajı sağlar. Ancak ekonomik açıdan bunların uygun çözümler

olmadığı belirtilmelidir. Genel anlamda maliyet çalışmaları ortak duvarlı konutların, benzer teraslı versiyonlarından % 6 daha pahalı olduğunu, ayrı evlerin ise yapı maliyetleri açısından da % 10 daha pahalı olduğunu göstermiştir [Ashworth, 1999].

Şekil 2.11, konut düzenlemeleri için kullanılabilir bazı alternatif plan düzenlemelerini göstermektedir [Ashworth, 1999].



Şekil 2.11. Konut düzenlemeleri için kullanılabilir bazı alternatif plan düzenlemeleri [Ashworth, 1999]

Hem başlangıç hem de sonraki harcamalar açısından B düzenlemesi en iyi çözüm olarak görülmektedir. Çünkü B alternatifi daha sınırlı bir arazi üzerine kurulabilirken, daha çok ortak özellikler sunacaktır. Kullanım sırasındaki ısı kaybı da daha düşük olacaktır. A alternatifi ise ekonomik açıdan en kötü olanıdır [Ashworth, 1999].

İnşa edilebilirlik

Bir yapı projesinin inşa edilebilirliği yapının ekonomisini de etkileyecektir. İnşa edilebilirlik büyük ölçüde arazi üzerindeki iş ve plandan bir yapı oluşturabilme pratikliğiyle ilgilidir. İnşa edilebilirlik açısından iyi olmak, planın kurulacak yapıya olan yakınlığı anlamına gelir. Gereksiz kompleks yapım yöntemleri ve prosedürlerini gerektiren planlar bu anlamda başarısızdır. Kalite ya da estetik açısından gereksinimler en iyi inşa edilebilirlik çözümleriyle çelişebilir. Bu gibi durumlarda inşa edilebilirliğin yapı ekonomisini değerlendirirken kullanılan kriterlerden yalnızca bir tanesi olduğu unutulmamalıdır [Ashworth, 1999].

İnşa edilebilirliği yüksek olan projeler yüklenicilere parasal tasarruflar sağlarken, inşa edilebilirliği düşük olan projeler ise inşaat sanayisinin kaynaklarının yetersiz kullanımını gösterir [Ashworth, 1999].

Yapısal detaylar

Yapısal detaylar, kullanılan malzeme ve inşaat yöntemleri proje için maliyet açısından önemli anlamlara sahip olacaktır. Bu nedenle bunlar projenin işçi, malzeme, alan, teçhizat ve organizasyon gibi unsurlarıyla doğrudan ilgilidir. Her elemanın ya da uygulamanın ekonomik sonuçlarını incelemek gerekse bile, bu elemanların birbiri üzerindeki etkileri de dikkate alınmalıdır. Mevcut alternatiflerin maliyet çalışmaları, alternatifler arasındaki maliyet farklılıklarının toplam maliyet üzerinde büyük bir farklılığa yol açtığı koşullarda yapılmalıdır. Ancak maliyet çalışması yapmak her zaman ekonomik anlamda en uygun olan alternatifin seçilmesi demek değildir. Yapım için gerekli olan süre gibi diğer faktörler de göz önüne alınmalıdır. Yapısal biçim, planın erken aşamalarında belirlenmesi gereken bir karardır ve geleneksel yüke dayanıklı yapıların ve çerçeveli yapımların göreceli avantajları değerlendirilmelidir [Ashworth, 1999].

Yapıdaki son düzenlemeler

Yeni bir projenin başlangıç aşamasında göz önüne alınması gereken diğer bir nokta da söz konusu projenin adaptasyon yeteneğine sahip olup olmadığıdır. Mevcut bir projenin düzenlemesinin, yeni yapı inşa etmekten çok daha az maliyetle sonuçlanacağı varsayılır. Bu varsayım başlangıç maliyetleri açısından doğru olabilir; ancak gelecek harcamaları dikkate alındığında yanlıştır. Doğru yer üzerinde kurulu olan uygun bir proje, modernizasyon için uygun olmayabilir. Özellikle mevcut yapının görünüşü ve yapı koşulları önemli olabilir. Yapı uzun yıllar kullanılmış ve bakımsızlıktan tahrip olmuşsa, bu durumda yıkım tek çözüm olabilir. Varolan bir yapının düzenlenmesi sırasında gelecek harcamalar, yerleştirilmesi gereken yeni sistemler ve mühendislik hizmetleri hesaba katılmalıdır. Yetersiz yalıtım sistemleri ve planın eskiyen kısımları yeni binalar için gerekli olandan daha büyük bir ısıtma sistemini öngörebilir [Ashworth, 1999].

2.2. Yapay Zeka

Latince “intellectus” kelimesinin karşılığı olan zekanın, kavramsal olarak birkaç tarifi şöyledir;

- Cevap vermede, muhtemel çözümleri inceden inceye aramadaki çabukluk ve bir problemin evreleri arasındaki yeni ilişkileri anlayabilme kapasitesidir,
- Yeni bir düzeneği veya kuralı keşfetme ya da bir tahmin yürütme ile ilgili faaliyettir,
- Beynin bilgiyi alıp, hızlı ve doğru olarak analiz etmesidir [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Biyologlar, zekayı çevreye uyum kabiliyeti olarak görürken, eğitimciler öğrenme, psikologlar ilişkileri anlama, bilgisayarlılar bilgiyi işleme kabiliyeti

şeklinde değerlendirmektedirler. Şuur, bilinçaltı, ruh gibi açık uçlu bir kelime olduğu için zekanın evrensel bir tarifi yapılamamıştır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Yapay zeka ise; bir bilgisayar bilim dalıdır, bilgi ve davranışa dayalı sistemler oluşturur ve zeki davranışlar üzerine araştırmalar yapar.

Yapay zeka, insanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanır. Yani programlanmış bir bilgisayarın düşünme girişimidir. Daha geniş bir tanıma göre ise, yapay zeka, bilgi edinme, algılama, görme, düşünme ve karar verme gibi insan zekasına özgü kapasitelerle donatılmış bilgisayarlardır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

2.2.1. Gelişim süreci

Yapay zeka konusundaki ilk çalışma McCulloch ve Pitts tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacıların önerdiği, yapay sinir hücrelerini kullanan hesaplama modeli, önermeler mantığı, fizyoloji ve Turing'in hesaplama kuramına dayanmaktadır. Araştırmacılar, bu çalışmaları ile her hangi bir hesaplanabilir fonksiyonun, sinir hücrelerinden oluşan ağlarla hesaplanabileceğini ve mantıksal işlemlerin gerçekleştirilebileceğini göstermişlerdir. Bu ağ yapılarının uygun şekilde tanımlanmaları halinde öğrenme becerisi kazanabileceğini de ileri sürmektedirler. Hebb, sinir hücreleri arasındaki bağlantıların şiddetlerini değiştirmek için basit bir kural önermesiyle birlikte, öğrenebilen yapay sinir ağlarını gerçekleştirmek te olası hale gelmiştir [Altuntaş ve Çelik, 1998].

1950'lerde Shannon ve Turing, bilgisayarlar için satranç programları yazmışlardır. İlk yapay sinir ağı temelli bilgisayar SNARC, MIT'de Minsky ve Edmonds tarafından 1951'de yapılmıştır. Çalışmalarını Princeton Üniversitesi'nde sürdüren Mc Carthy, Minsky, Shannon ve Rochester'le

birlikte 1956 yılında Dartmouth'da iki aylık bir çalışma düzenlemişlerdir. Bu toplantıda bir çok çalışmanın temelleri atılmakla birlikte, toplantının en önemli özelliği Mc Carthy tarafından önerilen yapay zeka adının konmasıdır. İlk kuram ispatlayan programlardan mantık kuramcısı, burada Newell ve Simon tarafından tanıtılmıştır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Daha sonra Newell ve Simon, insan gibi düşünme yaklaşımına göre üretilmiş ilk program olan genel sorun çözücüyü geliştirmişlerdir. Simon, daha sonra fiziksel simge varsayımını ortaya atmış ve bu kuram, insandan bağımsız zeki sistemler yapma çalışmalarıyla uğraşanların hareket noktasını oluşturmuştur [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Bundan sonraki yıllarda, mantık temelli çalışmalar egemen olmuş ve programların başarımlarını göstermek için bir takım yapay sorunlar ve dünyalar kullanılmıştır. Daha sonraları bu sorunlar gerçek yaşamı hiçbir şekilde temsil etmeyen oyuncak dünyalar olmakla suçlanmış, yapay zekanın yalnızca bu alanlarda başarılı olabileceği ve gerçek yaşamdaki sorunların çözümüne ölçeklenemeyeceği ileri sürülmüştür [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Zeki davranışı üretmek için bu çalışmalarda kullanılan temel yapılarıdaki bazı önemli yetersizliklerin de ortaya konmasıyla bir çok araştırmacı çalışmalarını durdurmuşlardır. Buna en temel örnek, sinir ağları konusundaki çalışmaların Minsky ve Papert'in 1969'da yayınlanan Perceptrons adlı kitaplarında tek katmanlı algılayıcıların bazı basit problemleri çözemeyeceğini gösterip aynı kısırlığın çok katmanlı algılayıcılarda da beklenilmesi gerektiğini söylemeleri ile bıçakla kesilmiş gibi durmasıdır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Her sorunu çözecek genel amaçlı program yerine belirli bir uzmanlık alanındaki bilgiyle donatılmış programlar kullanma fikri yapay zeka alanında yeniden bir canlanmaya yol açmıştır. Kısa sürede uzman sistemler adı verilen bir metodoloji gelişmiştir. Fakat burada çok sık rastlanan tipik bir

durum, bir otomobilin tamiri için önerilerde bulunan uzman sistem programının otomobilin ne işe yaradığından haberi olmamasıdır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

İnsanların iletişimde kullandıkları Türkçe, İngilizce gibi doğal dilleri anlayan bilgisayarlar konusundaki çalışmalar bu sıralarda hızlanmaya başlamıştır. Doğal dil anlayan programların dünya hakkında genel bilgiye sahip olması ve bu bilgiyi kullanabilmek için genel bir metodolojisi olması gerektiği belirtilmektedir [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Uzman dizgelerin başarıları beraberinde ilk ticari uygulamaları da getirmiştir. Yapay Zeka yavaş yavaş bir endüstri haline gelmiştir. DEC tarafından kullanılan ve müşteri siparişlerine göre donanım seçimi yapan R1 adlı uzman sistem, şirkete bir yılda 40 milyon dolarlık tasarruf sağlamıştır. Diğer ülkeler de yapay zeka'yı yeniden keşfetmişler ve araştırmalara büyük kaynaklar ayırmaya başlamışlardır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Bütün bu çalışmaların sonunda Yapay Zeka araştırmacıları iki gruba ayrılmışlardır. Bir grup insan gibi düşünen sistemler yapmak için çalışırken, diğer grup ise rasyonel karar verebilen sistemler üretmeyi amaçlamıştır. Aşağıda bu yaklaşımlar kısaca açıklanmıştır.

İnsan gibi düşünen sistemler

İnsan gibi düşünen bir program üretmek için insanların nasıl düşündüğünü saptamak gerekir. Bu da psikolojik deneylerle yapılabilir. Yeterli sayıda deney yapıldıktan sonra elde edilen bilgilerle bir kuram oluşturulabilir. Daha sonra bu kurama dayanarak bilgisayar programı üretilebilir. Programın giriş/çıkış ve zamanlama davranışı insanlarınkine benzerse, programın düzeneklerinden bazılarının insan beyinde de mevcut olabileceği söylenebilir [Altuntaş ve Çelik, 1998].

İnsan gibi düşünen sistemler üretmek bilişsel bilimin araştırma alanına girmektedir. Bu çalışmalarda asıl amaç genellikle insanın düşünme süreçlerini çözümlemede bilgisayar modellerini bir araç olarak kullanmaktır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

İnsan gibi davranan sistemler

Yapay zeka araştırmacılarının baştan beri ulaşmak istediği ideal, insan gibi davranan sistemler üretmektir. Turing zeki davranışı, bir sorgulayıcıyı kandırarak kadar bütün bilişsel görevlerde insan düzeyinde başarımlar göstermek olarak tanımlamıştır. Bunu ölçmek içinde Turing testi olarak bilinen bir test önermiştir. Turing testinde denek, sorgulayıcıyla bir terminal aracılığıyla haberleşir. Sorgulayıcı, deneğin insan mı yoksa bir bilgisayar mı olduğunu anlayamazsa denek Turing testini geçmiş sayılır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Turing, testini tanımlarken; zeka için bir insanın fiziksel benzetiminin gereksiz olduğunu düşündüğü için sorgulayıcıyla bilgisayar arasında doğrudan fiziksel temastan söz etmekten kaçınmıştır. Burada vurgulanması gereken nokta, bilgisayarda zeki davranışı üreten sürecin insan beynindeki süreçlerin modellenmesiyle elde edilebileceği gibi tamamen başka prensiplerden de hareket edilerek üretilmesinin olası olmasıdır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Rasyonel düşünen sistemler

Bu sistemlerin temelinde mantık yer alır. Burada amaç çözülmesi istenen sorunu mantıksal bir gösterimle betimledikten sonra çıkarım kurallarını kullanarak çözümünü bulmaktır. Yapay Zeka'da çok önemli bir yer tutan mantıkçı gelenek, zeki sistemler üretmek için bu çeşit programlar üretmeyi amaçlamaktadır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Bu yaklaşımı kullanarak gerçek sorunları çözmeye çalışınca iki önemli engel karşımıza çıkmaktadır. Mantık, formel bir dil kullanır. Gündelik yaşamdan kaynaklanan, çoğu kez de belirsizlik içeren bilgileri mantığın işleyebileceği bu dille göstermek hiç de kolay değildir. Bir başka güçlük de en ufak sorunların dışındaki sorunları çözerken kullanılması gerekecek bilgisayar kaynaklarının üstel olarak artmasıdır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Rasyonel davranan sistemler

Amaçlara ulaşmak için inançlarına uygun davranan sistemlere rasyonel davranan sistemler denir. Bir ajan, algılayan ve harekette bulunan bir şeydir. Bu yaklaşımda Yapay zeka, rasyonel ajanların incelenmesi ve oluşturulması olarak tanımlanmaktadır. Rasyonel bir ajan olmak için gerekli koşullardan biri de doğru çıkarımlar yapabilmek ve bu çıkarımların sonuçlarına göre harekete geçmektir. Ancak, yalnızca doğru çıkarım yapabilmek yeterli değildir. Çünkü bazı durumlarda doğruluğu ispatlanmış bir çözüm olmadığı halde gene de bir şey yapmak gerekebilir. Bunun yanında çıkarımdan kaynaklanmayan bazı rasyonel davranışlar da vardır. Örneğin, sıcak bir şeye değince insanın elini çekmesi bir refleks harekettir ve uzun düşünce süreçlerine girmeden yapılır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Bu yüzden Yapay zekayı rasyonel ajan tasarımı olarak gören araştırmacılar, iki avantaj öne sürerler. Birincisi düşünce yasaları yaklaşımından daha genel olması, ikincisi ise bilimsel geliştirme yöntemlerinin uygulanmasına daha uygun olmasıdır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

2.2.2. Yapay Zeka'nın amaçları

Yapay zekanın amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- İnsan beyninin fonksiyonlarını bilgisayar modelleri yardımıyla anlamaya çalışmak,

- İnsanların sahip olduğu zihinsel yetenekleri, bilgi kazanma, öğrenme ve buluş yapmada uyguladıkları strateji, yöntem ve teknikleri araştırmak,
- Bu öğrenme yöntemlerini biçimsel hale getirmek ve bilgisayarlarda bilgi sistemleri halinde uygulamak,
- İnsanların bilgisayar kullanımını kolaylaştıracak insan/bilgisayar arabirimleri geliştirmek,
- Belli bir uzmanlık alanı içindeki bilgileri bir bilgi sistemi (veya uzman sistem) halinde toplamak,
- Geleceğin bilgi toplumunun kurulmasında önemli rol oynayacak genel bilgi sistemleri geliştirmek,
- Yapay Zeka iş yardımcıları ve zeki robot timleri geliştirmek,
- Bilimsel araştırma ve buluşlarda yararlanmak üzere, araştırma yardımcıları geliştirmektir [Altuntaş ve Çelik, 1998].

2.2.3. Yapay Zeka uygulamaları

Yapay zeka uygulamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Uzman Sistemler,
- Robotik,
- Doğal Diller,
- İnsan Duyularının Taklidi,
- Yapay Sinirsel Ağlar,
- Sanal Gerçeklik [Altuntaş ve Çelik, 1998].

2.2.4. Yapay Zeka teknikleri

Yapay zeka teknikleri aşağıdaki gibi gruplandırılabilir;

- Yapay Sinir Ağları,
- Bulanık Mantık,
- Sezgisel Algoritmalar (Genetik Algoritmalar, Tabu Arama, Karınca Algoritması, Isıl İşlemler, Bağışıklık Sistemi vb.)

- Uzman Sistemler [Altuntaş ve Çelik, 1998].

2.3. Yapay Sinir Ağları

2.3.1. Tarihsel gelişim

1950’li yılların sonlarında, büyük ölçekli işlemcilerin geliştirilmesiyle, beynin yaptığı işlemleri yapabilecek sinir ağlarının oluşturulabilmesi mümkün hale gelmiştir. Gerçekten de, YSA’lar dijital işlemcilerin geliştirilmesinden sonra işlem yöntemi olarak önemli bir yeni yaklaşım olarak görülmektedir [Altuntaş ve Çelik, 1998].

YSA simülasyonları, nispi olarak yeni bir gelişme olarak görülmektedir. Bununla beraber, bu alan bilgisayarın çıkışından önce ortaya çıkmıştır ve bir bocalama devresi geçirdikten sonra yoluna devam etmiştir [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Bilgisayarların yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, YSA alanında oldukça önemli gelişmeler olmuştur. Bu alandaki araştırmalar ve çalışmalar büyük bir ilgi ile başlamış fakat beklenen gelişmelerin gerçekleşmemesi sonucunda ilgi azalmış ve bir suskunluk dönemi yaşanmıştır. Profesyonel ve maddi katkının en az olduğu bu dönemde, sadece birkaç araştırmacı tarafından katkı sağlanmıştır. Bu araştırmacılar, Minsky ve Papert tarafından tanımlanan sınırlamaları etkisiz kılan bir teknoloji geliştirmişlerdir. Minsky ve Papert, 1969 yılında bir kitap yayınlamışlar ve bu kitapta, araştırmacılar arasında ön plana çıkan ve ekstra analiz yapılmadan kabul gören YSA’na karşı bazı olumsuzlukları toplamışlardır. Son yıllarda ise, YSA alanı ilgi ve katkı olarak yeniden canlanmaktadır. YSA tarihi, dönemler itibariyle incelenebilir [Altuntaş ve Çelik, 1998].

İlk girişimler

Bu dönemde, genel mantığı kullanan başlangıç simülasyonları yapılmıştır. McCulloch ve Pitts 1943'te, kendi nöroloji anlayışları çerçevesinde YSA modelleri geliştirmişlerdir. Bu modeller, nöronların çalışma şekilleri hakkında bazı varsayımlarda bulunmuştur. Oluşturdukları ağlar, sabit eşiklere sahip ikili aletler olarak görülen basit nöronları baz almıştır. Modellerinin sonuçları, “a veya b” ve “a ve b” gibi basit mantıksal fonksiyonlardır. Diğer bir girişim, bilgisayar simülasyonları kullanılarak yapılmıştır. Bu noktadaki katkılar iki araştırmacı grubu tarafından (Farley ve Clark 1954'te ve Rochester, Holland, Haibit ve Duda 1956'da) yapılmıştır. Özellikle ilk grup ki bunlar IBM araştırmacılarıdır, modellerini çalıştıramamışlar ve McGill Üniversitesinden nörobilimcilerle ortak bir çalışma yapmışlardır. Bu etkileşim, günümüze kadar süren çok disiplinli bir trend oluşturmuştur [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Umut verici gelişmeler

YSA'ların gelişmesinde tek etkisi olan nörobilim değildir. Psikologlar ve mühendisler de YSA simülasyonundaki ilerlemeye katkı sağlamıştır. Rosenblatt 1958'de Perceptron'u tasarlayıp geliştirdikten sonra, bu alandaki ilgi ve etkinlik canlanmaya başlamıştır. Perceptron üç tabaka içermektedir ve orta tabaka birleştirme tabakası olarak adlandırılmaktadır. Bu sistem, bir veri girdi kümesinin bir rassal çıktıya bağlanma veya birleşme şeklini öğrenebilmektedir. Burada öğrenme kelimesi, bağlantı ağırlıklarının ilişkiye göre ayarlanması anlamında kullanılmaktadır. Diğer bir sistem (ADALINE – Adaptive Linear Element) ise Stanford Üniversitesinden Widrow ve Hoff tarafından 1960 yılında geliştirilmiştir. Basit bileşenlerden oluşan bir analog elektronik alet olan ADALINE, kullanılan öğrenme yöntemi ile Perceptrondan farklılaşmıştır. Bu sistemde “En Küçük Ortalama Kareler” yaklaşımı, öğrenme kuralı olarak kullanılmıştır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Olumsuz gelişmeler

1969 yılında, Minsky ve Papert bir kitap yazmış ve bu kitapta çok tabakalı sistemlere göre tek tabakalı Perceptronların sahip olduğu sınırlamaları ortaya koymuşlardır. Kitabın ana fikri şu şekilde özetlenebilir: "...bizim sezgisel görüşümüz çok tabakalı sistemlere genişlemenin verimsiz olduğudur.". Kitapta ortaya konulan bu önemli sonuç sonrasında YSA simülasyonlarına yönelik araştırmalar hem ilgi hem de kaynak kaybına uğramıştır. Sonuç olarak, bu alana yönelik önemli bir önyargı oluşmuştur [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Yenilikler

İlgi ve kaynağın minimum düzeyde olmasına rağmen bazı araştırmacılar yapı tanımlama gibi problemlerin çözümüne yönelik çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Bu dönem süresince bazı ortak değer ve anlayışlar ortaya çıkmıştır. Carpenter ve Grossberg tarafından yapılan çalışmalar, yankı algoritmaları araştıran bir düşünce okulunun temellerini atmıştır. Bu araştırmacılar, temeli biyolojik olarak teorik gelişmelerle ilgilenmişler ve adaptif yapı sınıflandırması konusu üzerine bir makale yayınlamışlardır. Bu makalede bir öğrenme temeli (hata düzeltme metodu) için bir matematiksel teori oluşturulmuştur [Carpenter ve Grossberg 1991].

Fukushima ise el yazısı karakterlerini yorumlamak için, adım adım eğitilmiş çok tabakalı bir YSA oluşturmuştur. Cognitron olarak adlandırılan bu model 1975 yılında yayınlanmıştır. Makul modellere dayanan ART (Adaptif Rezonans Teorisi) ağlarını geliştirmiştir. Anderson ve Kohonen ise birbirlerinden bağımsız olarak benzer teknikler geliştirmişlerdir. Klopff, 1972 yılında, yapay nöronlarda öğrenme işlemi için, "heterostasis" olarak adlandırılan ve nöronsal öğrenmenin biyolojik prensiplerine dayanan bir temel oluşturmuştur. Werbos, 1974'te geri-besleme öğrenme metodunu geliştirmiş, kullanmış ve bir kaç yıl sonrasında bu metot oldukça popülerite

kazanmıştır. Geri besleme ağlar, bugün en çok bilinen ve kullanılan YSA'dır. Geri besleme ağ, aslında yapay nöronunda farklı bir eşik fonksiyonuna sahip, daha sağlam ve yetenekli öğrenme kuralı olan bir çok tabakalı Perceptrondur [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Yeniden canlanma

1970'li yılların sonlarında ve 1980'li yılların başlarındaki ilerleme, YSA alanına ilginin yeniden canlanması bakımından önemlidir. Bu hareketi bir kaç faktör etkilemiştir. Örneğin, ayrıntılı kitaplar ve konferanslar çok farklı alanlarda uzmanlaşmış insanlara bir forum imkanı ve dolayısı ile bir etkileşim sağlamıştır. Akademik programlar oluşturulmuş ve en önemli üniversitelerde dersler açılmıştır. Artan ilgi ile beraber, bu alandaki araştırmalara yönelik fonlar artmış ve enstitüler ortaya çıkmıştır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Günümüzde YSA

Sağlanan önemli ilerleme YSA alanında daha ileri araştırmalar için gerekli ilgi ve bilgi birikimini sağlamıştır. Sinir sistemi tabanlı işlemciler oluşturulmakta ve komplike problemlerin çözümüne yönelik uygulamalar gelişmektedir. Kısacası, bu alan günümüzde bir geçiş dönemi içinde görülmektedir [Altuntaş ve Çelik, 1998].

YSA'lar 1950'li yıllarda ortaya çıkmalarına rağmen, ancak 1980'li yılların ortalarında genel amaçlı kullanım için yeterli seviyeye gelebilmiştir.

2.3.2. Yapay Sinir Ağı (YSA)

Beynin üstün özellikleri, bilim adamlarını bu konu üzerinde çalışmaya zorlamış ve beynin nörofiziksel yapısından esinlenerek matematiksel modeli çıkarılmaya çalışılmıştır. Beynin bütün davranışlarını tam olarak

modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylece YSA denen yeni ve günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yönteminden farklı bir bilim alanı ortaya çıkmıştır. YSA'lar; yapısı, bilgi işleme yöntemindeki farklılık ve uygulama alanları nedeniyle çeşitli bilim dallarının da kapsam alanına girmektedir [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Genel anlamda YSA, beynin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Donanım olarak elektronik devrelerle ya da bilgisayarlarda yazılım olarak gerçekleştirilebilir. Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak YSA, bir öğrenme sürecinden sonra; bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip paralel dağılmış bir işlemcidir. Öğrenme süreci, arzu edilen amaca ulaşmak için YSA ağırlıklarının yenilenmesini sağlayan öğrenme algoritmalarını ihtiva eder [Altuntaş ve Çelik, 1998].

Bu genel ifadeye ek olarak birkaç tanım daha aşağıda verilmiştir;

- Yapay Sinir Ağları, en kısa ve basit şekilde, bir örnekler kümesi yardımıyla parametrelerin uyarlanabilmesini sağlayacak bir matematiksel formül için yazılan bilgisayar programı olarak tanımlanabilir. Bu tanım, YSA'yı en basit şekilde ve teknik detaya girilmeksizin ifade etmektedir.
- YSA, ilgili bağlantı ağırlıklarıyla bir ağa bağlanmış basit işlem elemanlarından (nöronlar) oluşan bir sistemdir.
- Bir YSA, birbirlerine paralel olarak çalışan bir çok basit işlem elemanından oluşan ve fonksiyonu, ağın yapısı, bağlantı ağırlıkları ve elemanlarda gerçekleştirilen işlemler tarafından belirlenen bir sistemdir.

- Bir sinir ağı, basit işlem birimlerinden oluşan, deneyimsel bilgileri biriktirmeye yönelik doğal bir eğilimi olan ve bunların kullanılmasını sağlayan yoğun bir şekilde paralel dağıtılmış bir işlemcidir. Bu işlemci iki şekilde beyin ile benzerlik göstermektedir:

1. Bilgi, ağ tarafından bir öğrenme süreciyle çevreden elde edilir.
2. Elde edilen bilgileri biriktirmek için sinaptik ağırlıklar olarak da bilinen nöronlar arası bağlantı güçleri kullanılır [Altuntaş ve Çelik, 1998].

YSA'ları, tanımlanmamış girdi veriler hakkında karar verirken genelleme yapabildikleri için iyi birer yapı tanımlayıcısı ve sağlam sınıflandırıcıdır. Fonksiyonel tahmin ve sistem modelleme gibi fiziksel işlemin anlaşılamadığı veya aşırı karmaşık olduğu problemler yanında konuşma, karakter ve sinyal tanımlama gibi çeşitli sınıflandırma problemleri için çözüm yolları sağlamaktadırlar. Ayrıca, kontrol problemlerinde de uygulama sahası bulmaktadırlar [Altuntaş ve Çelik, 1998].

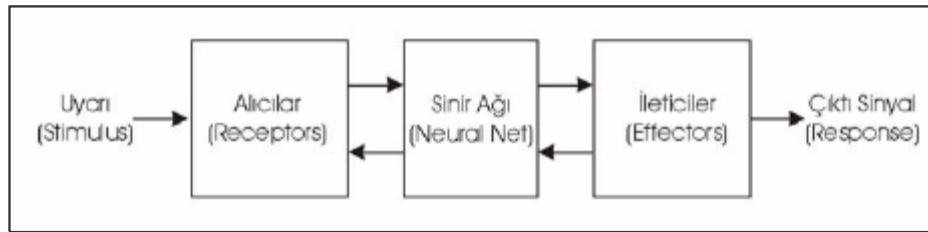
YSA'ları, yoğun bağlantılı ve komplike işlem yapıları nedeniyle çalışabilecekleri özel ortamlara ihtiyaç duymaktadırlar. Bu yüzden, YSA'ları, bu amaca yönelik olarak hazırlanmış özel yazılımlar ile bilgisayarlarda çalıştırılmaktadırlar. Günümüzde ise, gittikçe artan oranda yoğun ve karmaşık sinir ağlarını çalıştırabilmek ve daha hızlı işlem yapabilmek için özel donanımlar geliştirilmektedir [Altuntaş ve Çelik, 1998].

2.3.3. YSA'nın yapısı (elemanları ve mimarisi)

YSA'lar insan beyninden esinlenilmiş yapılardır. Bu yüzden, YSA'ların yapısını anlamak için insan beyninin yapısını ve çalışma şeklini anlamak gerekir. Bununla birlikte, tahmin edilebileceği gibi insan beyini, karmaşık yapısı ile anlaşılması ve anlatılması zor bir konudur. Hatta, beyinin çalışma şekli hala tam olarak anlaşılamamıştır. Çok farklı bir disiplinin konusu olan bu temanın burada açıklanması yetersiz kalmaktadır. Ancak, en azından

konunun özünün anlaşılabilmesi açısından bazı yararlı bilgiler verilebileceği düşüncesi ile bu bölümde genel bir açıklama yapılmaktadır [Yurtoğlu, 2005].

İnsan beyni, sinir sisteminin merkezini oluşturan temel elemandır. En basit şekilde, sürekli olarak iletilen bilgiyi alır, idrak eder (işler) ve uygun kararları vererek gerekli yerlere iletir. Çok basit görünmekle birlikte aslında oldukça karmaşık olan bu yapının basit bir gösterimi Şekil 2.12’de verilmiştir [Yurtoğlu, 2005].



Şekil 2.12. Sinir sisteminin blok diyagramı [Yurtoğlu, 2005]

Şekilden de anlaşılacağı gibi, dışarıdan veya başka bir organdan gelen sinyaller (uyarı), alıcılar yoluyla sinir ağına iletilir. Sinyaller, burada işlemde geçirilerek çıktı sinyalleri oluşturulur. Oluşturulan çıktı sinyalleri ise ileticiler yoluyla dış ortama veya diğer organlara iletilir. Şekil 2.12’de sinir ağı olarak gösterilen ortadaki bölüm, yani beyin, sinir sisteminin merkezi konumundadır. Beynin temel yapı taşları ise sinir hücreleri, diğer bir ifadeyle nöronlardır. Beyin, işlevini birbirleri arasında yoğun bağlantılar bulunan bu yapı taşları ile yerine getirir. Nöronların en belirgin özelliği, vücudun diğer bölümlerinin tersine yeniden üretilmeyen belirli bir hücre türü olmasıdır. Beynin diğer temel yapısal ve fonksiyonel birimleri olan bağlantılar nöronlar arası etkileşimi sağlarlar. Dolayısıyla, beyin yapısında bu bağlantılar da önemli bir yer tutmaktadır. Zaten beyin oldukça etkin çalışan bir organ olmasının temel sebebi de bu yoğun bağlantılı yapısıdır. Bu yapı sayesinde beyin, bugünkü bilgisayar teknolojisinden kat kat daha etkin bir şekilde çalışabilmektedir [Yurtoğlu, 2005].

Beynin bu yapısı etkinlik açısından olduğu kadar bir diğer önemli özellik açısından da önem taşımaktadır. Bu yoğun bağlantılı yapı, beynin plastiklik (yenilenebilme) özelliğini de beraberinde getirmektedir. Plastiklik özelliği, gelişmekte olan sinir sisteminin kendisini kuşatan çevreye adapte olmasını sağlamaktadır. Gelişmiş bir beyinde, plastiklik iki mekanizma ile izah edilebilmektedir. Bunlar, nöronlar arasında yeni bağlantıların oluşturulması ve var olan bağlantıların modifiye edilmesidir. Ayrıca, bu özellik öğrenme kavramı açısından da çok büyük önem taşımaktadır [Yurtoğlu, 2005].

Plastikliğin, nöronların işlem yapabilmeleri için gerekli bir özellik olduğu görülmektedir. Çünkü, öğrenme süreci bağlantı ağırlıklarının değiştirilmesi veya yeni bağlantıların oluşturulması (hatta bazı bağlantıların iptal edilmesi) sayesinde gerçekleşmektedir. Bu ilişki, yapay nöronlar kullanarak beyinden esinlenilmiş sinir ağları oluşturulabilmesini sağlamaktadır [Yurtoğlu, 2005].

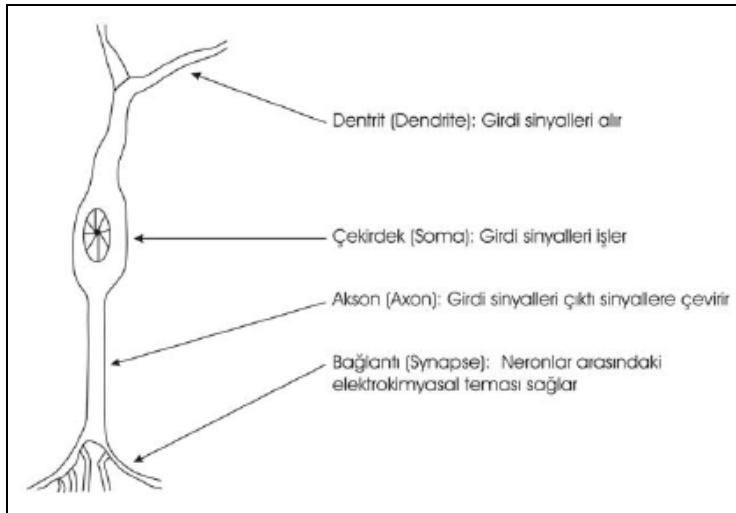
Beyinden esinlenildiklerinden dolayı YSA'ları da benzer yapıya sahiptirler. Fakat, beynin yoğun bağlantılı ve komplike yapısının sadece beyine özel bir özellik olduğu belirtilmelidir. Başka hiçbir yerde veya dijital bilgisayarda bulunmayan bu yapıya yakınsamak günümüz teknolojisine bile çok uzaktır. YSA'ları oluşturmak için kullanılan yapay nöronlar, beyindekilere kıyasla oldukça ilkel sayılırlar. Dolayısıyla, yapay nöronlar beynin yoğun bağlantılı ve komplike yapısından hala oldukça uzaktırlar, ama genel yapı olarak tutarlıdırlar. Diğer bir ifadeyle, YSA'ları, komplike, çok yönlü ve güçlü bir organizma olan beynin sadece en temel elemanlarını kopyalamaya çalışmaktadır [Yurtoğlu, 2005].

Yapay nöron

Yapay sinir ağlarının genel yapı olarak beyinden esinlenildiği daha önce belirtilmişti. Doğal olarak, YSA'ların temel elemanları da yapay nöronlardır (bundan sonra yapay nöron yerine sadece nöron kelimesi kullanılacaktır).

Bu nöronlar, aralarındaki bağlantılar oluşturularak ve tabakalar halinde gruplandırılarak YSA'lar oluşturulmaktadır [Yurtoğlu, 2005].

İnsanın beyinsel gücünün yapı taşları birkaç genel işleve sahiptirler. Bir biyolojik nöron, temel olarak, diğer kaynaklardan girdiler alır, belirli bir şekilde bunları birleştirir, sonuç üzerinde (genelde doğrusal olmayan) bir işlem uygular ve nihai sonucu üretir. Şekil 2.13, bir nöronun dört temel elemandan oluşan genel yapısını ve bu dört eleman arasındaki ilişkiyi göstermektedir [Yurtoğlu, 2005].

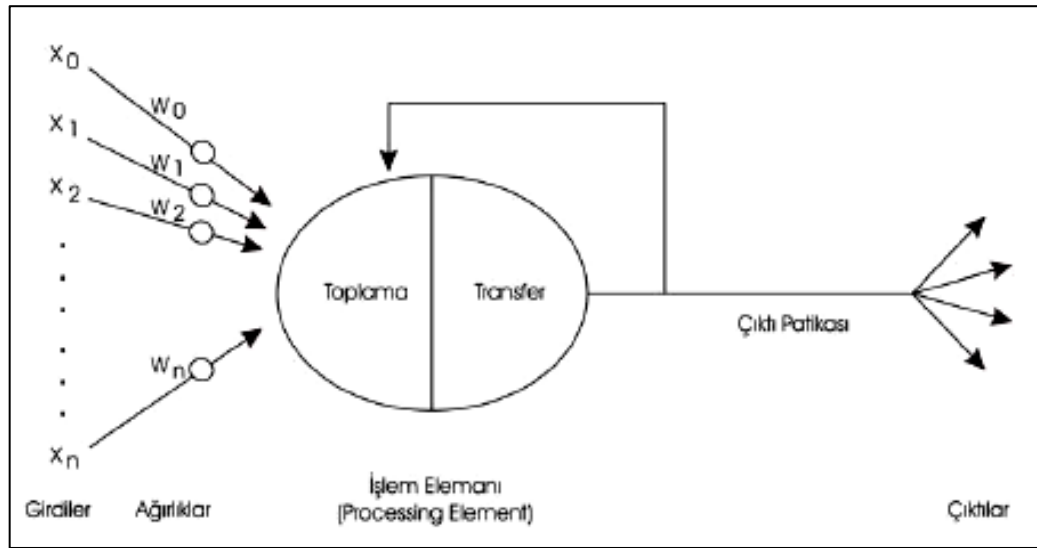


Şekil 2.13. Biyolojik nöronun genel yapısı ve işlevleri [Yurtoğlu, 2005]

Şekilden de görüldüğü gibi, tüm doğal nöronlar dört temel bileşene sahiptir. Bu bileşenler biyolojik isimleri ile bilinirler: Dentrit (dendrite), çekirdek (soma), akson (axon) ve bağlantı veya sinaps (synapse). Dentritler, çekirdeğin saç benzeyen uzantılarıdır ve girdi kanalları olarak işlev görürler. Bu girdi kanalları diğer nöronların sinapsları aracılığıyla girdilerini alırlar. Daha sonra çekirdek, gelen bu sinyalleri zaman içinde işler ve bu işlenmiş değeri bir çıktıya dönüştürdükten sonra bu çıktıyı akson ve sinapslar aracılığıyla diğer nöronlara gönderir [Yurtoğlu, 2005].

Yapay sinir ağlarının temel işlem elemanı olan yapay nöronlar, doğal nöronların dört temel fonksiyonunu simüle ederler. Bir yapay nöronun temel yapısı, genel haliyle Şekil 2.14.'te verilmiştir [Yurtoğlu, 2005].

Şekil 4.3'te girdi değerler $x_{(i)}$ matematiksel sembolü ile gösterilmiştir ve bu gösterimde $i = 0,1,2,\dots,n$ değerlerini almaktadır. Bu girdi değerlerin her biri 1 bağlantı ağırlığıyla çarpılmaktadır. Bu ağırlıklar ise $w_{(i)}$ ile gösterilmektedir. En basit yapıda, bu çarpımlar toplanır ve bir transfer fonksiyonuna gönderilerek sonuç üretilir. Bu sonuç daha sonra bir çıktıya dönüştürülür. Bu elektronik uygulama, değişik toplama fonksiyonları ve transfer fonksiyonları ile kullanılabilir ve farklı ağ yapılarında uygulanabilir [Yurtoğlu, 2005].



Şekil 2.14. Yapay nöronun genel yapısı [Yurtoğlu, 2005]

Şekil 2.14. biyolojik nöronun basit matematiksel modelinin gösterimi olarak da düşünülebilir. Bu model incelendiğinde, toplama fonksiyonu olarak doğrusal bir fonksiyon ve transfer fonksiyonu olarak birim adım fonksiyonu kullanılmış olduğu görülmektedir. Temelde biyolojik nörona benzer bir şekilde, işlem elemanı toplama fonksiyonu sonucunun belirli bir eşik değerin altında veya üstünde olmasına göre çıktısını iki ihtimal arasından seçerek

oluşturmaktadır. Bu matematiksel modelin fonksiyonel gösterimi aşağıdaki gibidir [Yurtoğlu, 2005].

$$y_i = \psi(g(x)) = \psi\left(\sum_{j=0}^n w_{ij} x_j - Q_i\right); x_i = (x_0, x_1, \dots, x_n) \in \mathfrak{R} \quad (2.1)$$

Bu gösterimde, y_i çıktı değeri, $\Psi(.)$ transfer fonksiyonunu, $g(.)$ toplama fonksiyonunu, w_{ij} bağlantı ağırlıklarını ve Q_i ise i nolu nöron için eşik değeri göstermektedir. $\Psi(.)$ transfer fonksiyonu birim adım fonksiyonudur:

$$\psi(.) = \begin{cases} 1; g(.) \geq 0 \\ 0; g(.) < 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

$g(.)$ toplama fonksiyonu ise x_j girdilerinin doğrusal bir bileşimi olarak düşünülmüştür:

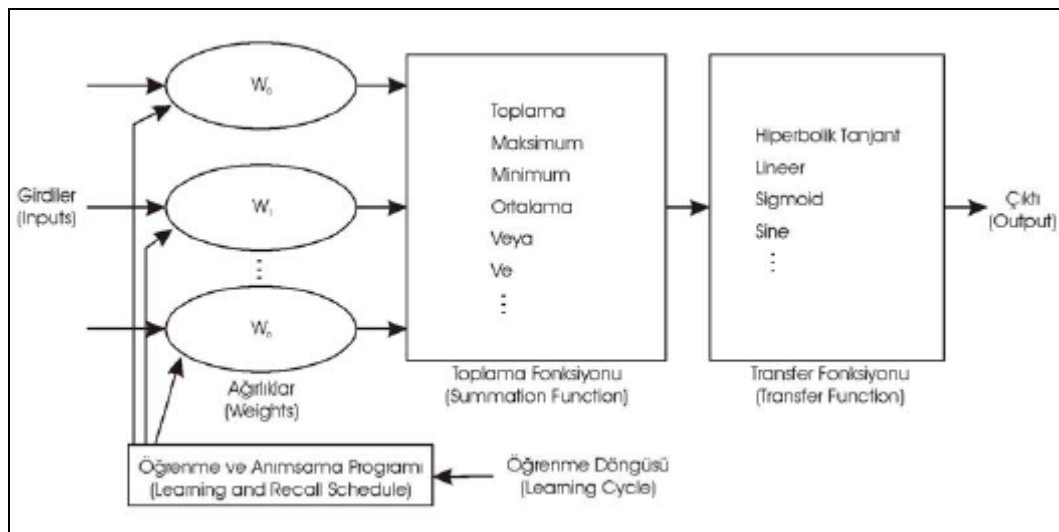
$$g(.) = \sum_{j=0}^n w_{ij} x_j - Q_i \quad (2.3)$$

Bu modelde, transfer fonksiyonu olarak birim adım fonksiyonu ve toplama fonksiyonu olarak doğrusal bir fonksiyon kullanılmakla birlikte YSA alanındaki gelişmelerle beraber farklı fonksiyonların kullanılabilmesi sağlanmıştır. Şekil 2.15 içinde YSA modellerinde kullanılabilecek farklı fonksiyonlara bazı örnekler sunulmaktadır. Basitçe görülebileceği gibi, hangi fonksiyon kullanılırsa kullanılsın, bir nöron modelinin matematiksel ve fonksiyonel gösterimi değişmeyecektir [Yurtoğlu, 2005].

Bu yapıda kullanılan fonksiyonlar temelde uygulama konusuna bağlıdır. Bazı uygulamalar ikili veri seti gerektirir. Bu uygulamalara örnek olarak konuşma tanımlama ve metin tanıma uygulamaları verilebilir. Bu tür uygulamalar, doğal olarak, sadece toplama fonksiyonu içeren nöronlardan

oluşan ağları kullanamaz. Bu ağlar mantıksal fonksiyonları kullanabilir ve bu fonksiyonlar toplama ve transfer fonksiyonlarına dahil edilebilir veya bazı uygulamalar basit bir şekilde toplama ve belirli bir eşik değeri ile karşılaştırma şeklinde bir işleme gereksinim duyabilirler. Bu şekilde evet/hayır, doğru/yanlış veya 0/1 gibi iki olası sonuç arasından seçim yapılabilir. Bazı fonksiyonlarda ise girdi verileri zamanla ilişkilendirebilir ve bu şekilde zamana bağlı ağlar oluşturulabilir [Yurtoğlu, 2005].

Şekil 2.15'te, daha önce tanımlanan basit bir yapay nöron yapısının daha detaylı bir şeması gösterilmiştir. Şekilde, girdi değerleri işlem elemanına üst sol bölümden girmektedir. İşlemde ilk adım, bu girdi değerlerin her birinin ilgili ağırlıklarla $w_{(i)}$ ağırlıklandırılmalarıdır. Bir nöron genellikle, eş anlı olarak birçok sayıda girdi alır. Her girdinin kendi nisbi ağırlığı vardır. Bu ağırlıklar, biyolojik nöronların değişen sinaptik etkililikleri ile aynı görevi üstlenirler. Her iki durumda da, bazı girdiler diğerlerine göre daha önemli hale gelir. Bu sayede, işlem elemanının bir sinirsel tepki üretmesi işleminde daha fazla etkili olurlar. Ayrıca, ağırlıklar girdi sinyalinin güçlülüğünü belirleyen adaptif katsayılardır. Yani, girdinin bağlantı gücünün bir ölçüsüdür. Bu bağlantı güçleri, çeşitli eğitim setlerine göre değiştirilebilirler [Yurtoğlu, 2005].



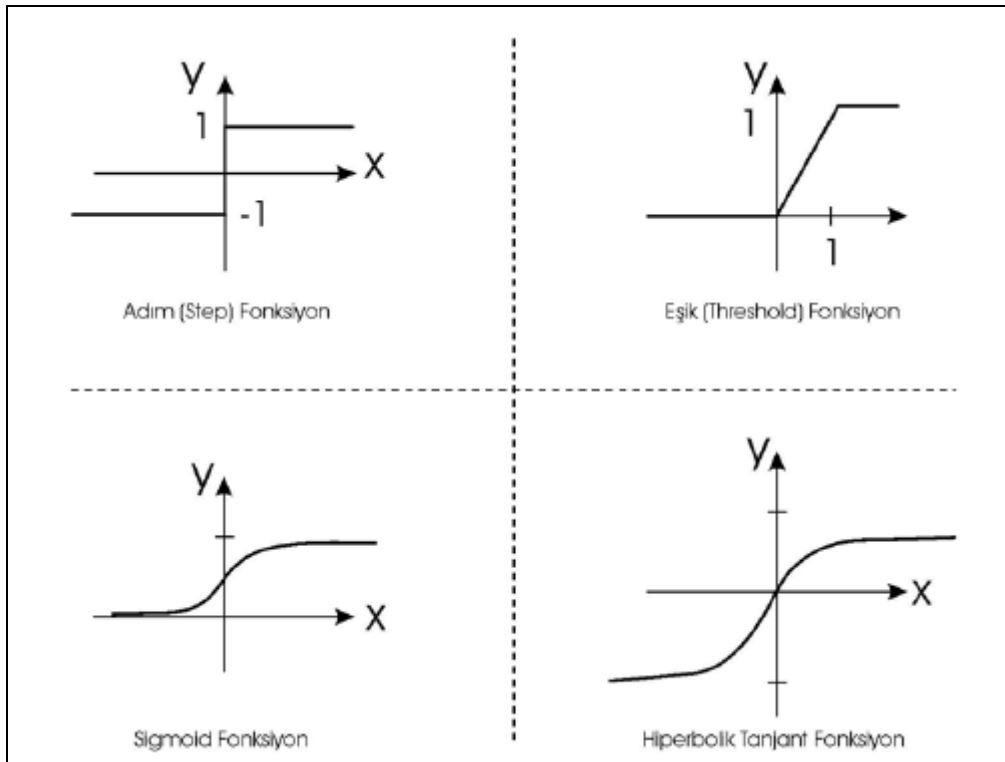
Şekil 2.15. Yapay nöronun detaylı yapısı [Yurtoğlu, 2005]

Ağırlıklandırmadan sonra, bu değiştirilmiş girdiler toplama fonksiyonuna gönderilirler. Toplama fonksiyonunda, adından da anlaşılacağı gibi, genelde toplama işlemi yapılmaktadır. Fakat birçok farklı işlem çeşidi toplama fonksiyonu için kullanılabilir. Toplama fonksiyonu, bu basit çarpımlar toplamına ek olarak, minimum, maksimum, mod, çarpım veya çeşitli normalizasyon işlemlerinden birisi olabilir. Girdileri birleştirecek olan algoritma genellikle seçilen ağ mimarisine de bağlıdır. Bu fonksiyonlar farklı şekilde değerler üretebilir ve sonra bu değerler ileri doğru gönderilir. Ek olarak, uygulamacı kendi fonksiyonunu oluşturup toplama fonksiyonu olarak kullanabilir. Bazı toplama fonksiyonları, transfer fonksiyonuna iletmeden önce, sonuçlar üzerinde ilave işlemler yaparlar. Bu işlem aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılan işlemdir. Bir aktivasyon fonksiyonu kullanmanın amacı, toplama fonksiyonu çıktısının zamana bağlı olarak değişmesini sağlamaktır. Fakat, aktivasyon fonksiyonu literatürü henüz tam olarak gelişmemiştir. Bundan dolayı, çoğu yapay sinir ağında birim aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır. Birim aktivasyon fonksiyonu ise bir aktivasyon fonksiyonu kullanılmaması ile aynı anlama gelmektedir. Ayrıca, aktivasyon fonksiyonu, her işlem birimi için ayrı ayrı kullanılan bir bileşenden ziyade ağın genel bir bileşenidir. Yani, oluşturulan bir ağ yapısında, tüm işlem elemanları aynı aktivasyon fonksiyonunu kullanırlar [Yurtoğlu, 2005].

Sonraki aşamada toplama fonksiyonunun çıktısı transfer fonksiyonuna gönderilir. Bu fonksiyon, aldığı değeri bir algoritma ile gerçek bir çıktıya dönüştürür. Transfer fonksiyonu genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Doğrusal fonksiyonlar genelde tercih edilmez, çünkü doğrusal fonksiyonlarda çıktı, girdi ile orantılıdır. Bu durum, ilk YSA denemelerinin başarısızlıkla sonuçlanmasının temel nedenidir [Minsky ve Papert, 1969].

Genellikle kullanılan transfer fonksiyonları eşik, sigmoid, hiperbolik tanjant vb. fonksiyonlardır. Bu fonksiyonlar arasında en çok kullanılanlar Şekil 2.16'da örneklenmiştir. Transfer fonksiyonunun sonucu genellikle işlem elemanının çıktısıdır. Transfer fonksiyonunun çalışma yapısı Şekil 2.17'de

sigmoid fonksiyon kullanılarak örneklenmektedir. Sigmoid transfer fonksiyonu, toplama fonksiyonundan gelen ve şekilde Toplam olarak gösterilen değeri alır ve 0 - 1 arasında bir değere dönüştürür. 0 – 1 arasındaki bu değer transfer fonksiyonunun ve dolayısıyla işlem elemanının çıktısıdır ve dış ortama veya girdi olarak başka bir nörona iletilir [Yurtoğlu, 2005].



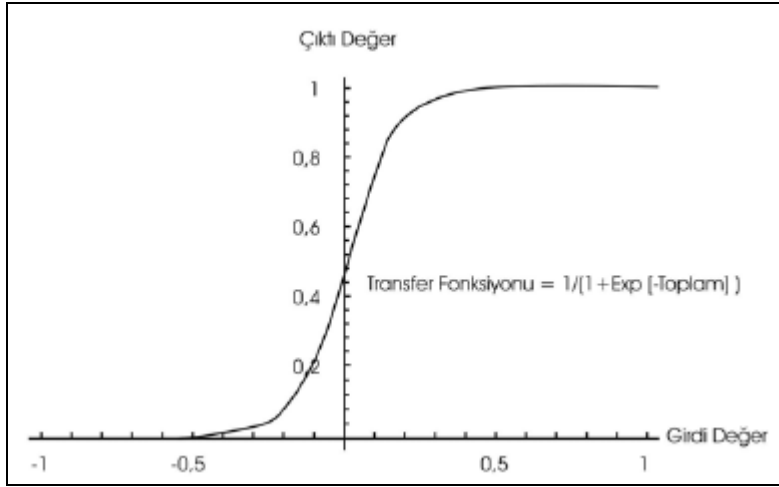
Şekil 2.16. En çok kullanılan transfer fonksiyonları [Yurtoğlu, 2005]

Transfer fonksiyonu işlemi öncesinde, sisteme uniform dağılmış bir rassal hata eklenebilmektedir. Bu rassal hatanın kaynağı ve büyüklüğü, ağın öğrenme işlemi sürecinde belirlenir. Sisteme böyle bir hata teriminin eklenmesinin sebebi, insan beyninin işlevinin içinde bulunduğu ortamın şartlarından (örnek olarak sıcak/soğuk olmasından) etkileniyor olmasıdır. Bu yüzden, YSA literatüründe rassal hata ekleme işlemi sıcaklık olarak da adlandırılmaktadır. Günümüzde, rassal hata kullanımı fiilen tam olarak yerleşmemiştir ve halen bir araştırma süreci içerisinde. Ayrıca, bazı

ağlarda, transfer fonksiyonunun çıktısı üzerinde başka işlemler, ölçeklendirme ve sınırlandırma yapılabilir [Yurtoğlu, 2005].

Transfer fonksiyonundan çıkan değer işlem elemanının da çıktısıdır. Fakat, bazı durumlarda işlem elemanının bu çıktıyı, bir çıktı fonksiyonu ile dönüşüme uğratması gerekebilmektedir. Bu çıktı, ağın yapısına göre girdi olarak başka bir işlem elemanına veya bir dış bağlantıya gönderilir [Yurtoğlu, 2005].

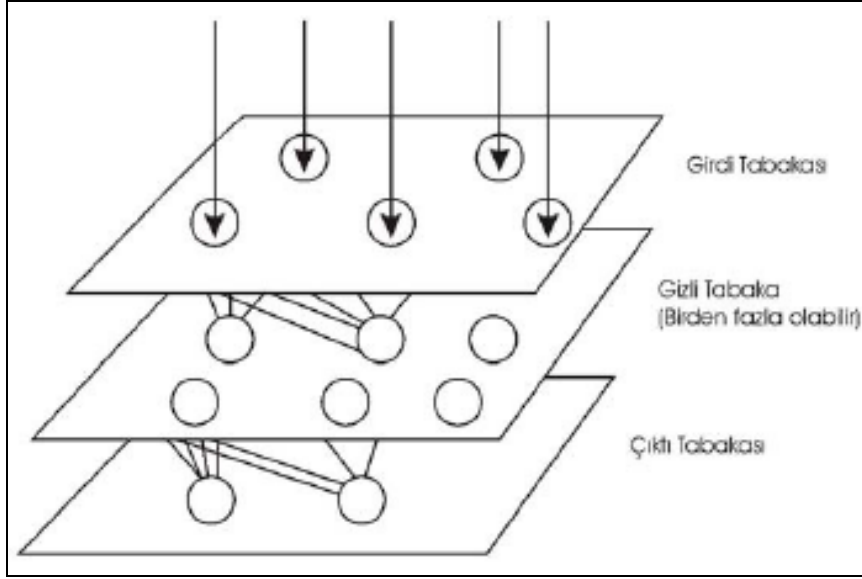
Tüm YSA'lar, yukarıda temel elemanları anlatılan bu temel yapı taşlarından yani nöronlardan oluşturulurlar. Bu yapı taşlarının dizaynı, sinir ağı sanatının, başka bir deyişle mimarisinin oluşturulmasının ilk bölümüdür. Bu sanatın ikinci bölümü ise bu işlem elemanlarının kümelenmesi ve birbirleri arasındaki bağlantıların oluşturulmasını içerir. Beyinde kümelenme, bilginin dinamik, etkileşimli ve kendiliğinden organize bir şekilde işlenmesini sağlayacak şekildedir. Biyolojik sinir ağları üç boyutlu uzayda mikroskobik elemanlarla oluşturulur. Bu nöronlar hemen hemen sınırsız sayıda bağlantılar içerirler. Bu, yapay sinirler için mümkün değildir. Bugünkü teknoloji ile iki boyutlu ortamda ve belirli sayıda bağlantı içeren nöronlar oluşturulabilmektedir. Bu durum, YSA'nın yetenek ve çeşitlerini sınırlamaktadır [Yurtoğlu, 2005].



Şekil 2.17. Transfer fonksiyonunun çalışma yapısı [Yurtoğlu, 2005]

YSA'da, yapay nöronlar basit bir şekilde kümelendirilmektedirler. Bu kümelendirme, tabakalar halinde yapılmaktadır ve daha sonra bu tabakalar bir diğerine ilişkilendirilmektedir. Temel olarak, tüm YSA'lar benzer bir yapıya sahiptirler. Böyle bir genel yapı Şekil 2.18'de gösterilmektedir. Bu yapıda, bazı nöronlar girdileri almak için bazı nöronlar ise çıktıları iletmek için dış mekan ile bağlantılı haldedirler. Geri kalan tüm nöronlar ise gizli tabakalardadırlar, yani sadece ağ içinde bağlantıları vardır [Yurtoğlu, 2005].

Önemli olan nokta, bir sinir ağının, bir nöronlar yumağından daha komplike olması gerektiğidir. YSA'nın ilk yıllarında bazı araştırmacılar, nöronlar arasındaki bağlantıları rassal olarak oluşturmuşlar ve olumsuz sonuçlarla karşılaşmışlardır. Bir yapıyı dizayn etmenin en kolay yolu elemanları tabakalandırmaktır. Burada tabakalandırmanın üç bölümü vardır. Bunlar, nöronları tabakalar halinde gruplandırmak, tabakalar arasındaki bağlantıları gruplandırmak ve son olarak ise toplama ve transfer fonksiyonlarını gruplandırmaktır.

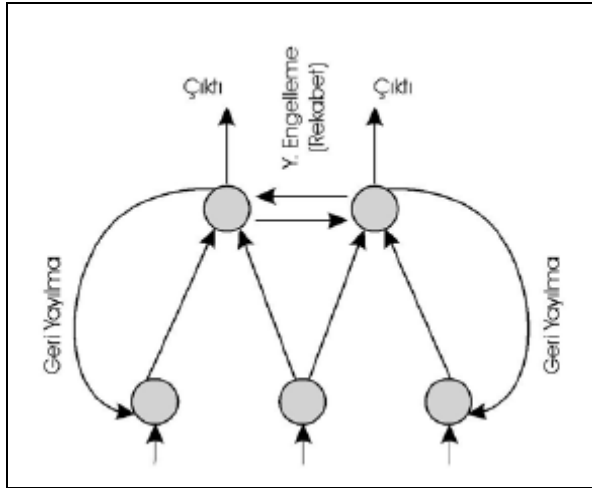


Şekil 2.18. YSA'nın genel yapısı [Yurtoğlu, 2005]

Tek tabaka ya da tek eleman içeren bazı başarılı ağlar oluşturulabilmesine rağmen çoğu uygulama en az üç tabaka (girdi tabakası, gizli tabaka ve çıktı tabakası) içeren ağlara ihtiyaç duymaktadır. Girdi tabakası, dışarıdan girdileri alan nöronları içerir. Ayrıca önemli olan bir nokta, girdi tabakasındaki nöronların girdi değerleri üzerinde bir işlem uygulamamasıdır. Sadece girdi değerlerini bir sonraki tabakaya iletirler ve bu yüzden de bazı araştırmacılar tarafından ağların tabaka sayısına dahil edilmezler. Çıktı tabakası ise çıktıları dışarı ileten nöronları içeren tabakadır. Girdi ve çıktı tabakaları tek tabakadan oluşurken bu iki tabaka arasında birden fazla gizli tabaka bulunabilir. Bu gizli tabakalar çok sayıda nöron içerirler ve bu nöronlar tamamen ağ içindeki diğer nöronlarla bağlantılıdır. Çoğu ağ türünde, gizli tabakadaki bir nöron sadece bir önceki tabakanın tüm nöronlarından sinyal alır. Nöron işlemini yaptıktan sonra ise çıktısını bir sonraki tabakanın tüm nöronlarına gönderir. Bu yapı ağın çıktısı için bir ileri besleme patikası oluşturur. Bu bir nörondan diğerine olan iletişim hattı, sinir ağları için önemli bir parçadır [Yurtoğlu, 2005].

Bazı ağlarda, bir nöron aynı tabakadaki başka nöronlara engel oluşturabilir. Bu, yanıl engelleme veya rekabet olarak adlandırılır ve en çok çıktı tabakasında kullanılır.

Diğer bir bağlantı şekli ise geri yayılmalıdır. Geri yayılma bağlantı, bir tabakanın çıktısının önceki tabakaya gönderilmesidir ve Şekil 2.19'da yanıl engelleme ve rekabet kavramlarıyla birlikte örneklennmektedir [Yurtoğlu, 2005].



Şekil 2.19. Geri yayılma bağlantı yapısı [Yurtoğlu, 2005]

Nöronların diğer nöronlara bağlanma şekli ağın çalışmasını önemli derecede etkilemektedir. Bugün, kullanıcı büyük ve profesyonel yazılımlarda, bu bağlantılar üzerinde istediği gibi ekleme, kaldırma ve kontrol işlemi yapabilmektedir [Yurtoğlu, 2005].

Bu noktaya kadar sunulan bilgiler, YSA'ların matematiksel gösterimlerinin de daha net bir şekilde anlaşılmasını sağlayabilecektir. Daha önce tanımlanan nöron modelinin fonksiyonel gösterimi Eş. 2.1'de verilmişti. Belirli bir fonksiyon varsayımı içerilmeden, Şekil 2.4'teki gibi basit bir yapay nöron için Eş. 4.1'de verilen matematiksel notasyon şu şekilde genelleştirilebilir:

$$y_i = \psi(g(x)) = \psi\left(w + \sum_{j=0}^n w_j x_j\right); x_i = (x_0, x_1, \dots, x_n) \in \mathfrak{R} \quad (2.4)$$

Burada değişken ve parametreler yukarıda ifade edilen modelde açıklandığı gibidir. Eş. 4.4 tek bir yapay nöronun matematiksel gösterimini vermektedir. Ancak aynı zamanda tek nörondan oluşan bir sinir ağı gösterimi olarak da düşünülebilir. Oysa bir sinir ağı, tabakalar halinde sıralanmış bir çok nöron içermektedir. Dolayısıyla, tek nörona ait bu notasyonun bütün bir sinir ağının matematiksel gösterimini verecek şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. $y = f(x_0, x_1, x_2, \dots, x_n)$ fonksiyonel ilişkisini modelleyen bir sinir ağı yapısı düşünülürse, girdi tabakasında $n+1$ adet nöron ve çıktı tabakasında 1 adet nöron olacaktır. Sinir ağının gizli tabaka içermemesi durumunda ağın fonksiyonel gösterimi Eş. 4.4'teki tek nörona ait fonksiyonel gösterim ile aynı olacaktır. Çünkü, girdi tabakasındaki nöronlar, girdi değerler üzerinde bir işlem uygulamazlar. Sadece girdi değerlerini bir sonraki tabakadaki nöronlara aktarırlar. Bu yüzden, sinir ağları tanımlanırken tabaka sayısı bir eksik gösterilir. Diğer bir ifadeyle, bir girdi tabakası, bir gizli tabaka ve bir çıktı tabakasına sahip bir sinir ağı üç tabakaya sahip olmasına rağmen iki tabakalı ağ olarak tanımlanır. Girdi tabakasında işlem yapılmamasından ve çıktı tabakasında da tek nöron olmasından dolayı, sinir ağı işlem yapılan tek nörona sahiptir ve doğal olarak fonksiyonel gösterimi Eş. 2.4'teki gibi olacaktır [Yurtoğlu, 2005].

Diğer taraftan, sinir ağının gizli tabaka içermesi durumunda fonksiyonel yapı değişecektir çünkü işlem yapılan nöron sayısı artacaktır. Bir gizli tabaka içerilmesi durumunda, fonksiyonel gösterim aşağıdaki gibi olacaktır:

$$y_k = f_k\left(\alpha_k + \sum_{j \rightarrow k} w_j f_j\left(\alpha_j + \sum_{i \rightarrow j} w_{ij} x_i\right)\right) \quad (2.5)$$

Eş. 4.5 daha önce açıklanmamış olan bazı parametre ve fonksiyonlar içermektedir. y_k çıktı değerlerini gösterirken, f_k çıktı tabakası transfer fonksiyonunu göstermektedir. α_k çıktı tabakasına ait sapma değerini, W_j çıktı tabakasına ait ağırlıkları, f_j ve α_j sırasıyla gizli tabakaya ait transfer fonksiyonunu ve sapma değerini, x_i girdi değerleri ve w_{ij} ise i girdi elemanını j gizli elemanına bağlayan ağırlığı temsil etmektedir. İki gizli tabaka olması durumunda ise bu fonksiyonel gösterim Eş. 2.6 şeklinde olacaktır. Gizli tabaka sayısı arttıkça bu gösterim de benzer şekilde değişmeye devam edecektir [Yurtoğlu, 2005].

$$y_l = f_l \left(\alpha_l + \sum_{k \rightarrow l} w_{lk} f_k \left(\alpha_k + \sum_{j \rightarrow k} w_{jk} f_j \left(\alpha_j + \sum_{i \rightarrow j} w_{ij} x_i \right) \right) \right) \quad (2.6)$$

Öğrenme

Belirli bir uygulamaya yönelik bir ağ yapılandırıldıktan sonra, bu ağ artık eğitime hazır durumdadır. Bu aşama, deneyim yoluyla öğrenme özelliği için kilit önem taşımaktadır. Çünkü bu, bağlantı ağırlıklarının belirlendiği aşamadır. Genel olarak, başlangıç ağırlıkları rassal olarak seçilir ve eğitime ya da diğer bir ifadeyle öğrenme işlemi bundan sonra başlar. Eğitime işlemi için yönlendirmeli ve yönlendirmesiz olmak üzere iki yaklaşım vardır. Yönlendirmeli eğitime, ağın çıktı için istenilen veri değerleri verebilmesi için girdi-çıkı ilişkisini elde edebilmesini sağlayacak bir mekanizma içermektedir. Yönlendirmesiz eğitime ise dış müdahale olmaksızın, girdilerin ağ tarafından analiz edilmesi ve bu analiz sonucunda bağlantıların oluşturulmasıdır [Yurtoğlu, 2005].

Kullanılan ağların büyük çoğunluğu yönlendirmeli eğitimi kullanır. Yönlendirmesiz eğitime, girdiler için bazı karakter belirleme durumlarında

kullanılır. Bununla beraber, kendi kendine öğrenme kavramı parlak bir gelişme potansiyeli taşısa da günümüzde tam olarak çalışmamaktadır.

Yönlendirmeli eğitimde hem girdi hem de çıktı verilerini kullanılır. Öncelikle ağ, rassal olarak belirlenen başlangıç ağırlıklarını kullanarak girdileri işler ve çıktıyı istenilen çıktı ile karşılaştırır. Elde edilen hatalar sistem içinde geriye gönderilir ve bu hatalar kullanılarak ağı kontrol eden bağlantı ağırlıkları güncellenir. Bu işlem defalarca tekrarlanır ve bağlantı ağırlıkları sürekli olarak ayarlanır. Eğitim sırasında kullanılan veri seti eğitim veri kümesi olarak adlandırılır. Bir ağın eğitilmesi sırasında, aynı veri seti, bağlantı ağırlıkları belirleninceye kadar defalarca işleminden geçirilir [Yurtoğlu, 2005].

Bugün, YSA oluşturmaya yönelik programlar, bir ağın doğru cevabı öngörebilme yeteneğine nasıl yakınsadığını gözlemlemeye ve test etmeye yönelik araçlar sağlamaktadır. Diğer taraftan, sistem yalnızca (istatistiksel olarak) istenilen noktaya veya doğruluğa ulaşınca durdurulmaktadır ve bu durum da diğer araçlarla birleşince eğitim işlemleri günlerce sürebilmektedir. Bu arada, bazı ağlar öğrenme işlevini hiç yapamayabilir. Bunun sebebi girdi verinin istenen çıktıya ait belirli bir bilgi taşıması olabilir. Ayrıca, tam öğrenmeyi sağlayacak kadar yeterli veri olmaması durumunda ağ yakınsamayabilir. İdeal olarak, gerekli testlerin yapılabilmesi için veri setinin bir bölümünün ayrılabilmesi kadar geniş bir veri seti gereklidir. Fazla sayıda işlem elemanı içeren çok tabakalı ağlar veri için hafıza oluşturabilme yeteneğine sahiptirler. Ağın hafızaya alma sürecinin yeterli olup olmadığının gözlenebilmesi için ise, yönlendirmeli eğitimde veri setinin bir bölümü, eğitim sonrasında gerekli testlerin yapılabilmesi için ayrılmalıdır [Yurtoğlu, 2005].

Diğer taraftan, bir ağın ilgili problemi çözmemesi durumunda kullanıcının yapabilecekleri iki gruba ayrılabilir. İlk grup, ağın yapısının gözden geçirilmesini kapsar. Başka bir deyişle, girdi ve çıktı verileri, tabaka sayısı, her tabakadaki eleman sayısı, tabakalar arasındaki bağlantılar, toplama,

transfer ile eğitme fonksiyonları ve hatta başlangıç ağırlıkları gözden geçirilmelidir. Tüm bu kriterler, YSA'nın sanatsal bölümü olan başarılı bir ağ oluşturmak için gereklidir. Diğer grup ise kullanıcın tercihine ve yaratıcılığına bağlı olan eğitme kurallarını içermektedir. Eğitim sırasında ağırlıkların ayarlanabilmesi için gerekli adaptif geri beslemeyi sağlayacak çok sayıda değişik eğitim kuralı (algoritma) vardır. En yaygın olan teknik, geriye doğru hata beslemesi ya da bilinen ismiyle geri yayılmadır [Yurtoğlu, 2005].

Eğitim konusunda diğer bir önemli nokta ise öğrenmenin sürekli devam edeceğidir. Bir optimum noktaya gelindiğinde, YSA veri setinin genel istatistiksel trendine göre kendisini biçimlendirir. Bu noktadan sonra ise eğitmeye devam edilmesi durumunda ağ öğrenmeye devam edecektir. Bu aşamada, ağ veri setinden hatalı ilişkiler çıkartmaya başlayabilir. Bu yüzden aşırı eğitim sorununa dikkat edilmeli ve eğitim uzunluğu iyi ayarlanmalıdır [Yurtoğlu, 2005].

Önemli öğrenme kurallarından birkaçı aşağıda ifade edilmiştir;

Hebb Kuralı

İlk ve en iyi bilinen öğrenme kuralıdır ve Donald Hebb tarafından tanıtılmıştır. Eğer bir sinir başka bir sinirden bir giriş alırsa ve her ikisi de yüksek aktif ise (matematiksel olarak aynı işaretli ise), sinirler arasındaki boyut kuvvetlendirilir [Elmas, 2003].

Hopfield Kuralı

İstenilen çıkış ve girişin her ikisi de aktif ya da ikisi de durgun ise, bağlantı boyutları öğrenme oranı kadar arttırılır. Aksi halde boyut öğrenme oranı kadar azaltılır [Elmas, 2003].

Delta Kuralı

Bir sinirin gerçek çıkışı ile istenilen çıkış değeri arasındaki farkı azaltmak için giriş bağlantı güçlerini sürekli olarak geliştirme fikrine dayanır. Bu kural, ağ hatasının karesini minimize etmek için bağlantı boyutlarını değiştirir. Hata, bir önceki katmana geri çoğaltılır. Her zaman dilimi için bir hata şeklinde bu geri çoğaltma işlemi ilk katmana ulaşıncaya kadar devam eder. Bu tip ağ İleri Beslemeli Ağ olarak isimlendirilir. Geri Yayılım adını bu hata terimlerini toplama yönteminden türetir [Elmas, 2003].

Eğimli İniş Kuralı

Bu kural Delta Kuralı'na benzer çünkü transfer fonksiyonunun türevi bağlantı ağırlıklarına uygulamadan önce, Delta hatasını düzeltmek için kullanılır. Bu kural, durağan bir noktaya birçok şekilde yaklaşılmasına rağmen sıkça kullanılır. Bu ağırlık farklı katmanları için öğrenme oranları, öğrenme işleminin daha hızlı olmasına yardımcı olur. Bu, test işleminde çıkışa yakın olan katmanların öğrenme oranından daha düşüktür. Giriş verilerinin güçlü bir modelden çıkarılmadığı uygulamalarda, bu işlem özellikle önemlidir [Elmas, 2003].

Kohonen Öğrenme Kuralı

Biyolojik sistemdeki öğrenmeden esinlenmiştir. Sinirler, öğrenmek için elverişli durum ya da ölçülerini güncellemek için yarışır. En büyük çıkış ile işlenen sinir, kazananı ilan eder ve komşularına bağlantı boyutlarını güncellemeleri için izin verilir [Elmas, 2003].

Eğitme işlemi doğru bir şekilde tamamlandığında, yani hem daha fazla öğrenmeye gerek kalmamış hem de aşırı eğitme yapılmamışsa, istenildiği takdirde ağırlıklar dondurulabilir. Bazen, ağırlık ortaya çıkan son hali bir

donanıma çevrilerek daha hızlı çalışması sağlanabilmektedir. Diğer sistemler ise, kullanılırken de öğrenmeye devam edebilirler [Yurtoğlu, 2005].

Diğer eğitime yaklaşımı olan yönlendirmesiz yaklaşım, ayrıca adaptif eğitim olarak da adlandırılır. Bu eğitim yaklaşımında, ağa girdi sağlanır ama istenilen çıktı değerler sağlanmaz. Sistem girdi veriyi gruplandırmak için hangi özellikleri kullanacağına kendi kendisine karar verir ki bu yöntem kendi kendine öğrenme veya adaptasyon olarak bilinir. Günümüzde, yönlendirmesiz eğitim tam olarak anlaşılamamış durumdadır [Yurtoğlu, 2005].

Öğrenme, YSA'nın yapısı içinde önemli bir yere sahiptir. Çünkü, YSA'nın bazı önemli özellik ve avantajlarının kaynağını oluşturmaktadır. Bu yüzden, YSA yapısı içindeki öğrenme sürecine yönelik elemanlar büyük önem taşımaktadır. Bu elemanların ilki öğrenme fonksiyonudur. Öğrenme fonksiyonunun amacı her işlem elemanının girdilerine ait değişken bağlantı ağırlıklarını ayarlamaktır. Girdi bağlantı ağırlıklarının, istenilen sonucu elde edecek şekilde değiştirilmesini sağlayan bu işlem adaptasyon fonksiyonu olarak da adlandırılmaktadır [Yurtoğlu, 2005].

İkinci eleman ise hata fonksiyonudur. Öğrenme fonksiyonunun gerekli ayarlamalarının yapabilmesi için yanılma payının biliniyor olması gerekmektedir. Hata fonksiyonu, bu amaca yönelik olarak, o anki çıktı ile istenilen çıktı arasındaki farkı yani, yeni hatayı hesaplar ve gerekiyorsa bir transformasyon uygular. Bu hata, literatürde cari hata olarak adlandırılır ve bu hata veya transformasyonu sağlanmış hali (geri yayılma değeri) genellikle önceki tabakaya geri yayılır. Bu geri yayılma değeri, bir sonraki öğrenme döngüsünde öğrenme fonksiyonu tarafından bağlantıları ayarlamak için, tabii ki gerekli ise, kullanılır [Yurtoğlu, 2005].

Diğer bir eleman ise öğrenme oranıdır. Öğrenme oranı, öğrenme sürecinin hızı ve işlevi açısından önemlidir. Çünkü, YSA'nın öğrenme gücü ile hızı

ters orantılıdır. Basit bir şekilde, bir adımda daha fazla öğrenme, daha düşük bir hız ve dolayısıyla daha fazla zaman anlamına gelmektedir. Diğer bir ifadeyle, daha fazla hız daha az öğrenme anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, bir ağın ne kadar eğitileceği sorusu öğrenme oranına bağlıdır. Öğrenme oranının belirlenmesinde ise ağın karmaşıklık düzeyi, büyüklüğü, mimarisi, kullandığı öğrenme kuralı ve istenilen doğruluk derecesi gibi birçok faktör rol oynar. Çoğu öğrenme fonksiyonu, öğrenme oranı için belirli standartlara sahiptir. Öğrenme oranı genellikle $[0,1]$ gibi bir aralık içinde belirlenir. Bu aralıkta, öğrenme oranının küçük değeri yavaş bir öğrenme süreci getirecektir. Diğer taraftan ise, öğrenme sürecinin küçük adımlar halinde olması maksimum doğruluk derecesine yakınsamayı getirebilecektir [Yurtoğlu, 2005].

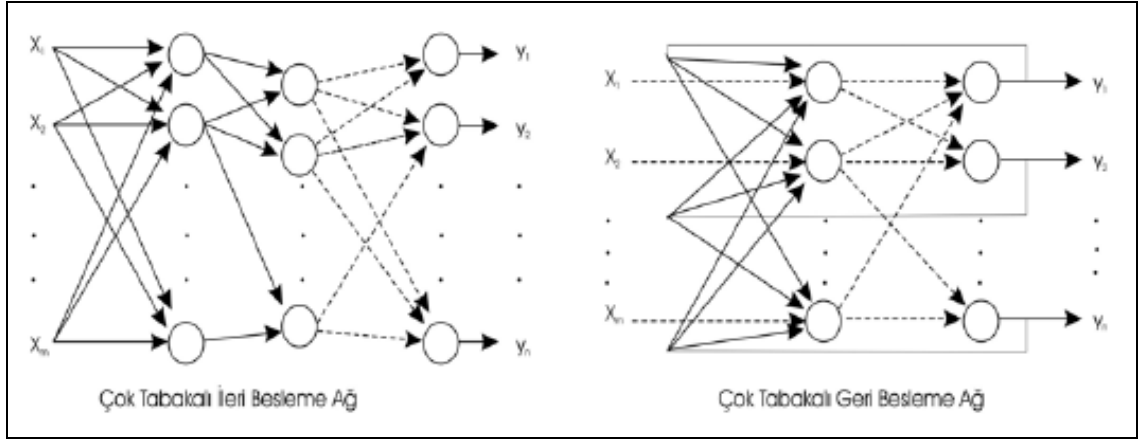
2.3.4. YSA çeşitleri

YSA'ların çok sayıda farklı çeşitleri vardır. Bu farklılıkların kaynağı mimarisi, öğrenme yöntemi, bağlantı yapısı vb. olabilmektedir. Genel olarak, YSA'lar üç ana kritere göre sınıflandırılmaktadır. Bu kriterlerden biri öğrenme yöntemidir. Temel olarak iki çeşit öğrenme algoritması vardır. Bunlar yönlendirmeli öğrenme ve yönlendirmesiz öğrenmedir. Her yöntemin kullandığı öğrenme kuralı değişebilmekteyse de, YSA'lar bu iki algoritmaya göre sınıflandırılırlar [Yurtoğlu, 2005].

İkinci bir sınıflandırma ise, ağın kullandığı veriye göre yapılmaktadır. Temel olarak, kalitatif ve kantitatif olmak üzere iki tür veri vardır. Kalitatif verilerle çalışan ağlar, ister yönlendirmeli, ister yönlendirmesiz öğrenme kullansın, sınıflandırma ağları olarak bilinir. Kantitatif veriler kullanan yönlendirmeli eğitime ise regresyon olarak adlandırılmaktadır [Yurtoğlu, 2005].

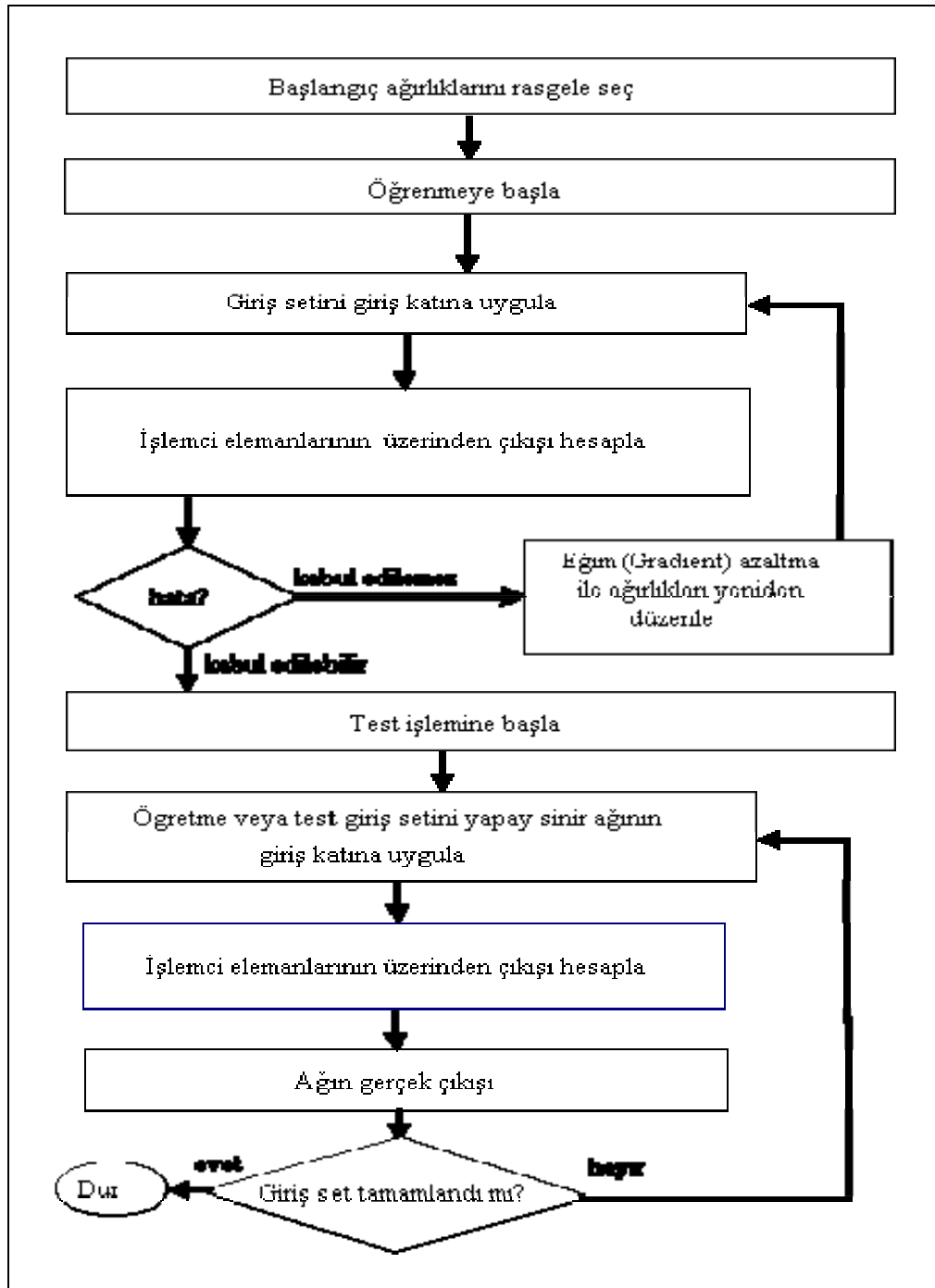
Son sınıflandırma kriteri ise ağın yapısıdır. Bazı ağlar ileri besleme şeklinde yapılandırılırken, bazı ağlar ise geri besleme yapısı içermektedir. İleri besleme sinir ağlarında, işlem elemanları arasındaki bağlantılar bir döngü

oluşturmazlar ve bu ağlar girdi veriye genellikle hızlı bir şekilde karşılık üretirler. Geri beslemeli ağlarda ise bağlantılar döngü içerirler ve hatta her seferinde yeni veri kullanabilmektedirler. Bu ağlar, döngü sebebiyle girdinin karşılığını yavaş bir şekilde oluştururlar. Bu yüzden, bu tür ağların eğitime süreci daha uzun olmaktadır. Ayrıca, hem ileri besleme hem de geri yayılma olarak tanımlanabilecek ağ yapıları da mevcuttur. Şekil 2.20’de, bir kıyaslamaya imkan tanıyabilmek için, çok tabakalı ileri besleme ağ yapısı ile birlikte çok tabakalı geri besleme ağ yapısı örneklenmektedir [Yurtoğlu, 2005].



Şekil 2.20. İleri beslemeli ve geri beslemeli ağ yapıları [Yurtoğlu, 2005]

Bu çok geniş YSA çeşitleri yelpazesinde en çok bilinen ve kullanılan ağlar arasında hata algoritması genellikle geri yayılma ile eğitilen çok tabakalı perceptron (Geri yayımlı ağ), radyal tabanlı fonksiyon, Hopfield ve Kohonen sayılabilir. Şekil 2.21’de bir ağda geri yayımlı bir öğrenme algoritmasının akış şeması verilmiştir [Sağıroğlu ve ark., 2003].



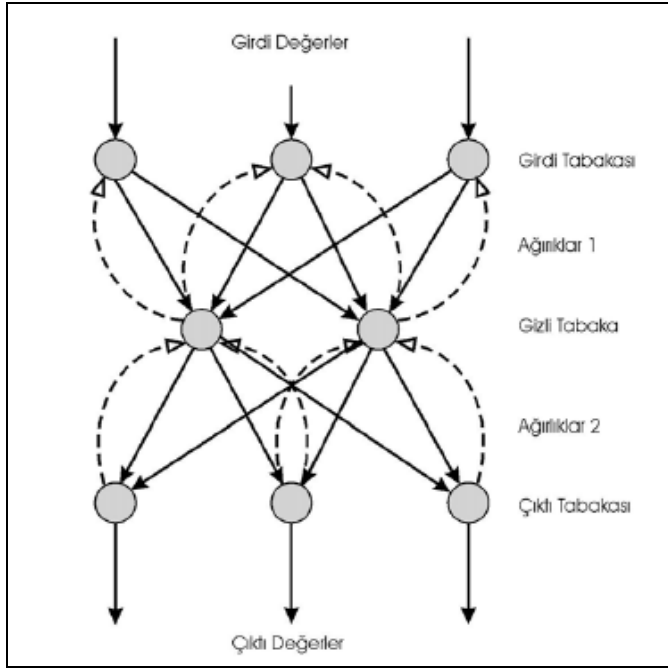
Şekil 2.21. Bir ağda geri yayımlı bir öğrenme algoritmasının uygulanması [Sağıroğlu ve ark., 2003]

Bu çalışmada, bir Geri YSA kullanılmaktadır. Geri yayılma ağlar, çok tabakalı perceptron ile aynı yapıya sahiptirler ve öğrenme yöntemi olarak

geri yayılma algoritması kullanırlar. Dolayısıyla bu ağlar, ileri besleme ağlar sınıfına girmektedirler. Ayrıca, çalışmada kullanılan ağ kantitatif verilerle çalışmaktadır ve yönlendirmeli öğrenme yöntemi kullanmaktadır. Bu YSA türünün seçilmesinin temel sebebi, öngörü ve sınıflandırma işlemleri için oldukça uygun olmasıdır. Diğer bir önemli neden ise doğrusal olmayan yapılar için de oldukça kullanışlı olmasıdır.

İleri beslemeli geri yayılma mimarisi 1970'li yıllarda geliştirilmiştir. Bu mimarinin geliştirilmesinde birbirlerinden bağımsız olarak birkaç araştırmacının katkıları olmuştur. Asıl katkı ise Rumelhart, Hinton ve Williams (1986) tarafından yapılmıştır. Ortaya çıkışından sonra, hem etkili hem de çok kullanışlı olmasından dolayı büyük bir popülerite kazanmıştır ve hala en çok kullanılan ağ türü olarak bilinmektedir. Çok sayıda farklı uygulama alanında kullanılmaktadır ve en büyük özelliği doğrusal olmayan yapı içeren problemlerde de etkili olabilmesidir [Yurtoğlu, 2005].

Tipik bir geri yayılma ağ mimarisinde bir girdi tabakası, bir çıktı tabakası ve bu iki tabaka arasında en az bir adet gizli tabaka bulunur. Gizli tabaka sayısı için herhangi bir kısıt yoktur. Fakat genellikle bir ya da iki gizli tabaka kullanılmaktadır. Bu ağ çeşidinin genel yapısı Şekil 2.22'de verilmiştir [Yurtoğlu, 2005].

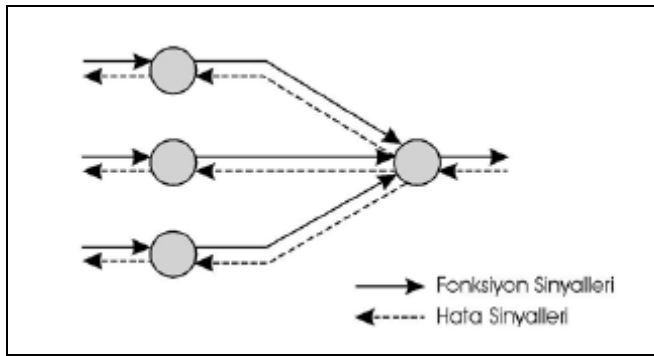


Şekil 2.22. İleri beslemeli geri yayılma ağların genel yapısı [Yurtoğlu, 2005]

Şekilde, bir girdi tabakası, bir gizli tabaka ve bir çıktı tabakasını içeren bir geri yayılma ağ yapısı gösterilmiştir. Tabakalar halinde düzenlenmiş daireler, işlem elemanlarını yani nöronları temsil etmektedir. Girdi tabakasında üç nöron bulunmaktadır, yani ağa girdi olarak üç değişken tanıtılmaktadır. Bunun dışında gizli tabakada iki nöron, çıktı tabakasında ise üç nöron bulunmaktadır. Dolayısıyla, ağdan üç değişken olarak çıktı alınmaktadır. Girdi tabakasından, gizli tabakaya iletilen değerler “Ağırlıklar 1” ağırlık seti ile gizli tabakadan çıktı tabakasına iletilen değerler ise “Ağırlıklar 2” ağırlık seti ile ağırlıklandırılmaktadır. Ağ yapısında, kalın oklar anımsama sırasındaki bilgi akışını simgelemektedir. Anımsama, eğitilmiş bir ağa yeni girdi verilerinin sunulması ve çıktısının alınması işlemidir. Bu yüzden, anımsama işlemi sırasında geri yayılma işlemi kullanılmaz [Yurtoğlu, 2005].

Geri yayılma sadece eğitme sürecinde kullanılır, dolayısıyla eğitme sürecindeki bilgi akışı şekildedeki tüm oklar ile gösterilmektedir.

Sonuç olarak, bu ağ yapısını eğitme sürecinde iki çeşit sinyal tanımlanmaktadır. Birbirine zıt yönde çalışan bu iki sinyal çeşidi, fonksiyon sinyalleri ve hata sinyalleri olarak adlandırılmaktadır [Parker, 1987]. Şekil 2.23'te küçük bir ağ bölümü kullanılarak bu sinyallerin yönleri gösterilmektedir. Şekilde, sol taraf girdi veri tarafını, sağ taraf çıktı tarafını ve yuvarlaklar ise nöronları göstermektedir [Yurtoğlu, 2005].



Şekil 2.23. Eğitme sürecindeki sinyal çeşitleri [Yurtoğlu, 2005]

Fonksiyon sinyali, ağa girdi tabakasından giren, ağ içinde ileri doğru yayılan ve çıktı tabakasından çıktı sinyali olarak çıkan bir girdi sinyalidir. Bu tür bir sinyalin fonksiyon sinyali olarak adlandırılmasının iki temel sebebi vardır. İlk olarak, ağın çıktısı için gerekli fonksiyonları uyguladığı kabul edilmektedir. İkinci sebep ise fonksiyon sinyalinin geçtiği her nöronda sinyal, girdilerin ve o nörona uygulanan ağırlıkların bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Fonksiyon sinyalleri, girdi sinyalleri olarak da adlandırılmaktadırlar. Hata sinyali ise fonksiyon sinyalinin tersine, çıktı tabakasından başlar ve tabaka tabaka geriye doğru yayılır. Hata sinyali olarak adlandırılmasının sebebi, tüm nöronlarda bir hata tabanlı fonksiyon ile hesaplanmasıdır [Yurtoğlu, 2005].

Ağın genel yapısına dönersek, tabaka sayısı ve tabakaların içerdiği işlem elemanı sayısı ağın performansı açısından önemli ve zor kararlardır. Zor karar olmalarının sebebi ise herhangi bir uygulama için net bir seçim kriterinin olmamasıdır. Bunun yerine, uygulamalar sonucunda ortaya çıkmış

ve araştırmacılar tarafından benimsenmiş bazı kurallar vardır. Bu kurallar şu şekilde özetlenebilir:

Kural-1: Girdi ve çıktı verileri arasındaki ilişkinin karmaşıklık derecesi arttıkça, tabakaların içerdiği işlem elemanı sayısı da artmalıdır.

Kural-2: Modellenen konu değişik safhalara ayrılabilirse, tabaka sayısının artırılması gerekebilir.

Kural-3: Eldeki eğitme verisinin genişliği, gizli tabakalardaki toplam nöron sayısı için bir üst limit kriteri oluşturur [Yurtoğlu, 2005].

Geri yayımlı ağlarda çok çeşitli öğrenme kuralı, hata fonksiyonları ve transfer fonksiyonları kullanılabilmektedir. Öğrenme kuralı olarak genellikle Delta Kuralı'nın bir varyantı kullanılmaktadır. Delta kuralı, ağın çıktısı ile istenilen çıktı arasındaki farkın hesaplanması ile başlar. Bu hata kullanılarak bağlantı ağırlıkları belirli bir doğruluk derecesi faktörüne göre güncellenir. Bu öğrenme mekanizmasının komplike olan tarafı, hatalı çıktı üretilmesinde hangi işlem elemanının daha etkili olduğunun belirlenmesi ve hatanın düzeltilmesi için bu işlem elemanının nasıl değiştirileceğidir. Bu noktada aktif olmayan bir hataya sebep olamaz ve dolayısıyla ağırlıklarını değiştirmeye gerek yoktur. Bu sorunun çözümü için, eğitme setine ait girdi veriler ağın girdi tabakasına sunulur ve istenilen çıktılarla karşılaştırma çıktı tabakasında gerçekleştirilir. Öğrenme işlemi süresince, ağ içinde ileri doğru bir bilgi akışı vardır ve tabaka tabaka her işlem elemanının çıktısı hesaplanır. Çıktı tabakasına ulaşıldığında, bu tabakanın çıktısı ile istenilen çıktı arasındaki fark hesaplanır ve bu hata önceki tabakalara iletilir (geri yayılma). Bu süreçteki önemli nokta ise, hatanın önceki tabakalara iletilirken transfer fonksiyonunun türevi ile bir transformasyon işlemi uygulanmasıdır. Hatanın iletilmesi, tabaka tabaka geriye doğru olur ve bu süreçte Delta Kuralı ile bağlantı ağırlıkları ayarlanır. İşlem, girdi tabakasına ulaşılan kadar devam eder ve bu noktada yeni bir döngüye başlar [Yurtoğlu, 2005].

Geri yayılma algoritmasında, Delta Kuralı ile bağlantıların ayarlanmasının matematiksel gösterimi şu şekilde özetlenebilir; Delta Kuralı, temel olarak, ilgili bağlantı ağırlığının ayarlanması için gerekli olan düzeltme miktarını formüller. Buna göre, nöron_(i) ve nöron_(j) arasındaki bağlantı için düzeltme miktarı şu şekilde hesaplanır;

Ağırlık		Öğrenme		Yerel		Nöron _(j)
Düzeltilme	=	Oranı	x	Değişim	x	İçin Girdi
Miktarı		Parametresi				Sinyali

ya da matematiksel formül olarak Eş. 2.7 'deki gibi ifade edilir;

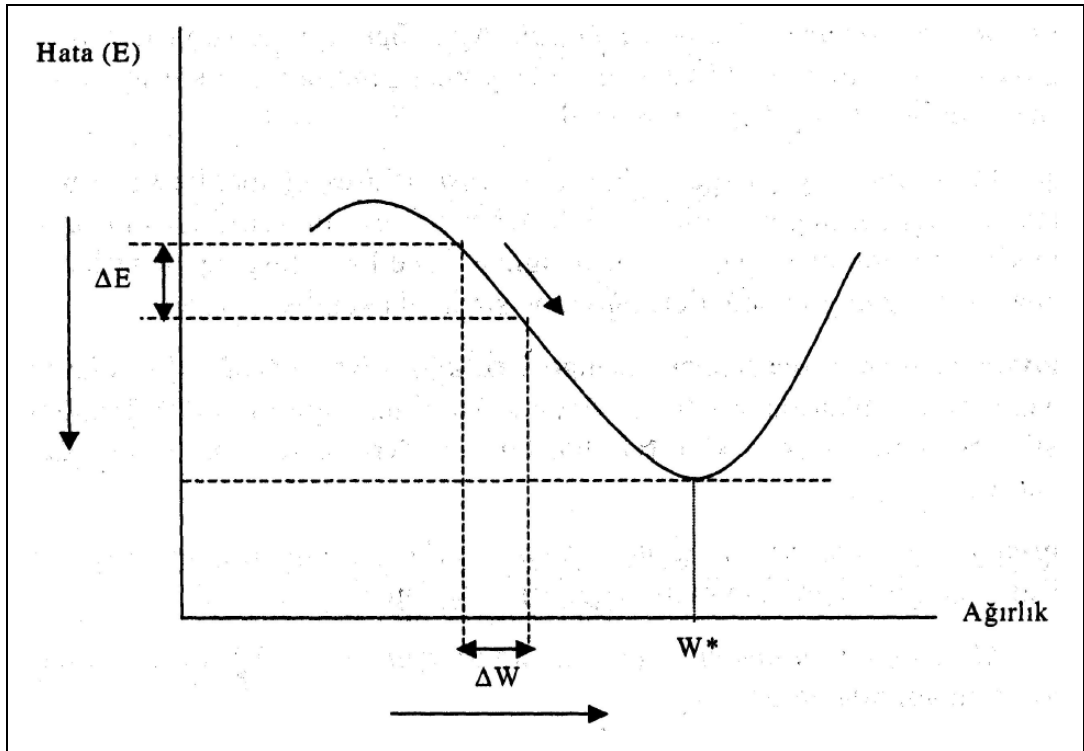
$$\Delta w_{ji}(n) = \eta * \delta_j(n) * Y_i(n) \quad (2.7)$$

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, yerel değişimin hesaplanma şeklinin nöron_(j)'nin çıktı veya gizli nöron olmasına göre değişiklik gösterdiğidir. Buna göre:

- Nöron_(j) bir çıktı nöronu ise, yerel değişim, nöron_(j)'ye ait hata sinyali ve fonksiyon sinyalinin türevinden hesaplanmaktadır.
- Nöron_(j) bir gizli nöron ise, yerel değişim, fonksiyon sinyalinin türevi ve bir sonraki tabakadaki nöronlara ait değişimlerin ağırlıklı toplamı kullanılarak hesaplanır [Yurtoğlu, 2005].

Çok Katmanlı Algılayıcı Ağları'nın kendisine gösterilen girdi örneği için beklenen çıktıyı üretmesini sağlayacak ağırlık değerleri bulunmaktadır. Başlangıçta bu değerler rasgele atanmakta ve ağa örnekleri gösterildikçe ağın ağırlıkları değiştirilerek zaman içinde istenen değerlere ulaşması sağlanmaktadır. İstenen ağırlık değerlerinin ne olduğu bilinmemektedir. Bu nedenle YSA'nın davranışlarını yorumlamak ve açıklamak mümkün olamamaktadır. Bunun temel nedeni, bilginin ağ üzerinde dağılmış olması

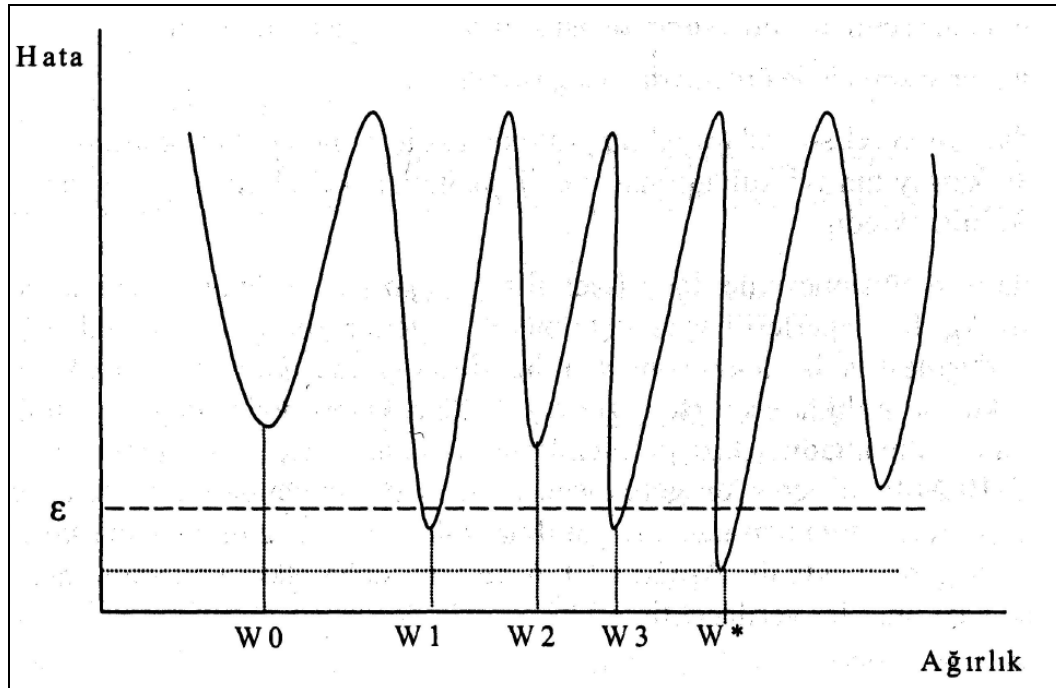
ve ağırlık değerlerinin kendi başlarına herhangi bir anlam ifade etmemesidir. Ağ ile ilgili bilinen konu, problem uzayında en az hata verebilecek ağırlık değerlerinin bulunmasıdır. Hatanın en az değerinin grafiksel ifadesi Şekil 2.24.'te verilmiştir. Buradaki W^* en az hatanın olduğu aralık vektörünü göstermektedir [Öztemel, 2003].



Şekil 2.24. Öğrenmenin hata uzayındaki gösterimi [Öztemel, 2003]

Ağın W^* değerine ulaşması istenmektedir. Bu ağırlık değeri problem için hatanın en az olduğu noktadır. Bu nedenle her iterasyonda ΔW kadar değişim yaparak hata düzeyinde ΔE kadar bir hatanın düşmesi sağlanmaktadır. Problemin hata düzeyi her zaman böyle basit ve iki boyutlu olmayacaktır. Şekil 2.25'te daha karmaşık bir hata düzeyi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, problemin çözümü için en az hatayı veren ağırlık vektörü W^* olmasına rağmen, pratikte bu hata değerini yakalamak çoğu zaman mümkün olmayabilmektedir. Bu çözüm, ağın sahip olabileceği en iyi çözümdür. Fakat bu çözüme nasıl ulaşılabileceği konusunda elimizde bir bilgi

yoktur. Eğitim sırasında ağıın kendisi bu çözümü yakalamaya çalışmaktadır. Bazen farklı bir çözüme takılabilmekte ve performansı daha iyiye götürmek mümkün olamamaktadır. Bu nedenle problemlere üretilen çözümlerde belirli bir hata payı olduğu kabul edilmektedir [Öztemel, 2003].



Şekil 2.25. Çok boyutlu hata uzayı [Öztemel, 2003]

Şekil 4.14'teki W0 ve W2 çözümlerinin hataları kabul edilebilir hata düzeyinin üzerinde olduğundan, bu çözümler kabul edilemez çözümlerdir. Bunlara yerel çözümler adı verilmektedir. W1 ve W3 çözümleri en iyi çözüm olmamalarına rağmen kabul edilebilir hata düzeyinin altında bir hataya sahiptirler. Bunlar da yerel çözümler olmakla birlikte kabul edilebilirler. Görüldüğü gibi, bir probleme birden fazla çözüm üretilebilmektedir. Bu nedenle YSA'ların her zaman en iyi çözümü ürettikleri söylenemez. Kabul edilebilir bir çözüm ürettiklerini söylemek daha doğrudur. Üretilen çözüm en iyi çözüm olsa bile bunun bilinmesi zordur. Çoğu durumda bunun bilinmesi mümkün değildir [Öztemel, 2003].

En iyi sonucun bulunamamasının nedenleri arasında;

- Problem eğitilirken bulunan örneklerin problem uzayını tamamen temsil edememesi,
- Oluşturulan ağ için doğru parametreler seçilememiş olması,
- Ağın ağırlıklarının başlangıçta tam istenilen şekilde belirlenmemiş olması ve
- Ağın topolojisinin yetersiz seçilmiş olması sayılabilir [Öztemel, 2003].

Başlangıç değerleri kadar öğrenme ve momentum katsayılarının belirlenmesi de ağın öğrenme performansı ile yakından ilgilidir. Öğrenme katsayısı ağırlıkların değişme miktarını belirlemektedir. Eğer büyük değerler seçilirse o zaman yerel çözümler arasında ağın dolaşması ve salınım yapması söz konusu olmaktadır. Deneyimler genellikle 0.2 ile 0.4 arasındaki değerlerin kullanıldığını, bazı uygulamalarda ise 0.6 değerinin en başarılı sonuçları verdiğini göstermektedir [Öztemel, 2003].

Benzer şekilde, momentum katsayısı da öğrenmenin performansını etkiler. Momentum katsayısı, bir önceki iterasyondaki değişimin belirli bir oranının yeni değişim miktarına eklenmesi olarak görülmektedir. Bu, özellikle yerel çözümlerden birine takılan ağların bir sıçrama ile daha iyi sonuçlar bulmasını sağlamak amacı ile kullanılmaktadır. Bu değer küçük olması yerel çözümlerden kurtulmayı zorlaştırabilir. Çok büyük değerler ise tek bir çözüme ulaşmada sorunlar yaratabilir. Deneyimler bu değer 0.6 ile 0.8 arasında seçilmesinin uygun olacağını göstermektedir [Öztemel, 2003].

Son olarak, geri yayılma ağlarının bazı kısıtlamalara da sahip olduğu belirtilmelidir. Geri yayılma mekanizması oldukça geniş bir girdi-çıkı veri seti ile geniş çaplı bir yönlendirmeli eğitmeye ihtiyaç duyar. Ek olarak, içsel haritalama yapısı tam olarak anlaşılamadığından sistemin istenilen doğruluk derecesine yakınsayamaması ihtimali de mevcuttur [Öztemel, 2003].

2.3.5. YSA uygulamalarının avantajları

Teknolojik gelişme olarak da görülmesi gereken YSA metodolojisi, özellikleri ve yapabildikleri sayesinde önemli avantajlar sunmaktadır. YSA'ların farklılık ve avantaj sağladığı noktalar aşağıda belirtilmiştir.

Doğrusal olmayan yapı

YSA'nın en önemli özelliklerinden birisi, gerçek hayattaki olası doğrusal olmayan yapıları da dikkate alabilmesidir. White (1991) YSA'ların doğrusal olmayan modeller olarak görülebileceğine dair bulgular ortaya koymuştur. "Doğrusal olmayan modellerde kullanılan belirli fonksiyonel yapılar, veriyi üreten fonksiyonun genellikle YSA'nın ima ettiğinden farklı olduğu ve bu yüzden YSA'nın kullanılması için gerekli ekonometrik teoremin eksik tanımlı doğrusal olmayan modeller için olduğunu ima etmektedir. Bunların ön tanımlı yapıları dayanıksızken, YSA'ı herhangi bir sürekli fonksiyona veya türevlerine yakınsama yeteneğine sahiptir ve bu yüzden Evrensel Fonksiyon Yakınsayıcı Yöntem olarak tanımlanmaktadır." Analiz konusunun içerdiği veri setinin doğrusal veya doğrusal olmayan yapı içeriyor olması, analiz sonuçlarını etkileyecek önemli bir faktördür. Bu yüzden YSA'nın doğrusal olmayan yapıları da dikkate alabilmesi kendisinin önemli bir özelliğidir [Yurtoğlu, 2005].

Öğrenme

YSA'nın diğer bir önemli avantajı, en önemli özelliğinden kaynaklanmaktadır. Esin kaynağı insan beyninin çalışma sistemi olan bu yöntem, eğitime veya başlangıç tecrübesi sayesinde, veriyi kullanarak öğrenme yeteneğine sahiptir. Bu özelliği sayesinde ise geleneksel teknikler için çok karmaşık kalan problemlere çözüm sağlayabilmektedirler. Ayrıca, insanların kolayca yapabildiği ama geleneksel metotların uygulanamadığı basit işlemler için de oldukça uygundur [Yurtoğlu, 2005].

Yerel işlem ve esneklik

YSA'lar geleneksel işlemcilerden farklı şekilde işlem yapmaktadırlar. Geleneksel işlemcilerde, tek bir merkezi işlem elemanı her hareketi sırasıyla gerçekleştirir. YSA modelleri ise, her biri büyük bir problemin bir parçası ile ilgilenen çok sayıda basit işlem elemanlarından oluşma ve bağlantı ağırlıklarının ayarlanabilmesi gibi özelliklerinden dolayı önemli derecede esnek bir yapıya sahiptirler. Bu esnek yapı sayesinde ağırlık bir kısmının zarar görmesi modelde sadece performans düşüklüğü yaratır. Modelin işlevini tamamen yitirmesi söz konusu olmaz. Ayrıca, toplam işlem yükünü paylaşan işlem elemanlarının birbirleri arasındaki yoğun bağlantı yapısı sinirsel hesaplamanın temel güç kaynağıdır. Bu yerel işlem yapısı sayesinde, YSA yöntemi en karmaşık problemlere bile uygulanabilmekte ve tatminkar çözümler sağlayabilmektedir [Yurtoğlu, 2005].

Gerçek zamanlı işlem

YSA hesaplamaları paralel olarak yürütülebildiğinden gerçek zamanlı işlem yapabilir [Yurtoğlu, 2005].

Genelleme

YSA'ları öğrenme yetenekleri sayesinde, bilinen örnekleri kullanarak daha önce karşılaşılmamış durumlarda genelleme yapabilmektedir. Yani, hatalı veya kayıp veriler için çözüm üretebilmektedirler. YSA'lar, tanımlanmamış girdi veriler hakkında karar verirken genelleme yapabildikleri için iyi birer gidişat tanımlayıcısı ve sağlam sınıflandırıcıdır [Yurtoğlu, 2005].

Hafıza

YSA'lar, işlem elemanları arasındaki ağırlıklı bağlantılar sayesinde dağıtılmış hafızada bilgi saklayabildikleri söylenebilir [Yurtoğlu, 2005].

Kendi ilişkisini oluşturma

YSA'lar, bilgilere (verilere) göre kendi ilişkilerini oluştururlar, Eşitlik içermezler [Yurtoğlu, 2005].

Sınırsız sayıda değişken ve parametre

YSA modelleri sınırsız sayıda değişken ve parametre ile çalışabilmektedir. Bu sayede mükemmel bir öngörü doğruluğu ile genel çözümler sağlanabilmektedir.

Karmaşık veya sorunlu verilerden bile anlam çıkarabilmek gibi dikkate değer yetenekleriyle YSA'lar, insanlar veya bilgisayarlar tarafından anlaşılması zor trendleri belirlemek veya yapıları çıkartmak için kullanılabilirler. Tam eğitilmiş bir YSA modeli, analiz ettiği bilgi kümesi (veri tabanı) için uzman olarak düşünülebilir. Bu uzmanlık, değişik durumlar ve “ya ... olsa ne olur?” türünde simülasyon problemlerine projeksiyonlar sağlamak için kullanılabilir [Yurtoğlu, 2005].

2.3.6. YSA uygulamalarının dezavantajları

YSA'nın oluşturulmasında ve kullanılmasında avantajlar yanında dezavantajlar da bulunmaktadır. Bunların bazıları aşağıdaki gibi listelenebilir [Yurtoğlu, 2005]:

- YSA'nın oluşturulmasında, model seçilmesinde, ağın topolojisinin belirlenmesinde bir kurallar seti yoktur. Bu hususlar, kullanıcının tecrübesine dayalı olarak düzenlenmektedir.
- Problemin YSA ile çözülebilmesi ve örneklerin tasarlanabilmesi içinde bir kurallar seti bulunmamaktadır. Aynı problem değişik şekillerde gösterilebilmekte ve her gösterimin kendisine has performansı da

değişmektedir. Doğru gösterimin bulunması, tecrübelerle sınırlı bulunmaktadır.

- Ağın, davranışlarının açıklanması mümkün değildir. Bu durumda ağa duyulacak güveni azaltmakta ve özellikle insan hayatı ile ilgili olan problemlerde sonuçların neden verilemediğinin açıklanamaması, kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır.
- Eğitim işlemlerinin gerçekleştirilmesi uzun zaman alabilmektedir.
- Problemlere optimum sonuçlar garanti edilememektedir. Üretilen sonucun, iyi sonuçlardan biri olduğu ifade edilebilir. Geleneksel yöntemlerin optimum sonuç sunmasının yanında YSA uygulamalarının başka yöntemlerle bir arada kullanılması gerekliliği doğabilmektedir.
- Örneklerin bulunmasının güç olduğu durumlarda ve problemi doğru temsil eden örnek bulunmaması durumunda; sağlıklı çözümler üretmek mümkün olamamaktadır.

2.3.7. YSA ve istatistik

YSA ve İstatistik alanları arasında önemli sayılabilecek bir kesişim kümesi vardır. İstatistik, veri analizi ile uğraşan bir alandır. Benzer şekilde, sinir ağı terminolojisindeki hatalı veriden öğrenerek genelleştirme kavramı (veya yeteneği), istatistiksel çıkarım ile aynı anlamı taşımaktadır. Dolayısıyla, YSA da genelde veri analizi içermektedir. Fakat, bazı sinir ağları veri analizi ile ilgilenmezler ve bu yüzden istatistik alanı ile ilişkileri kısıtlıdır. Örneğin, bazı ağlar öğrenme işlemi içermezler ki Hopfield ve Kohonen ağlar bunlardan bazılarıdır. Bununla beraber, sinir ağlarının büyük çoğunluğu, hatalı veriden genelleme yapabilmeyi öğrenebilmektedir ve bu sayede istatistiksel yöntemlerle benzer ya da aynı oldukları söylenebilir.

Bu benzerlik için bir çok örnek gösterilebilir. Örneğin, gizli tabaka içermeyen ileri besleme sınıfı ağlar temel olarak genelleştirilmiş lineer modellere karşılık gelirler. Tek bir gizli tabaka içeren ileri besleme sınıfı ağlar ise

projeksiyon amaçlı regresyon ile yakın ilişkiye sahiptirler. Örnekleri artırmak gerekirse, olasılıkçı ağlar temel fark analizine karşılık gelirken, Hebbian öğrenme temel bileşen analizi ile oldukça ilişkilidir.

İleri besleme ağlar, doğrusal olmayan regresyon ve ayrıştırma modellerinin oluşturduğu sınıfın bir alt kümesidir. Doğrusal olmayan modeller hakkındaki istatistiksel teorilerden elde edilen birçok sonuç ileri besleme ağlara uygulanmaktadır. Ayrıca, doğrusal olmayan modeller için kullanılan yöntemler, örneğin Levenberg-Marquardt algoritma ileri besleme ağları eğitmek için kullanılmaktadır.

Sinir ağları algoritmalarına veya uygulamalarına göre tanımlanırken, istatistiksel yöntemler genellikle sonuçlarına göre tanımlanırlar. Örneğin, aritmetik ortalama, basit bir geri yayılma ağ ile kolayca hesaplanabilir. Bunun için, aritmetik ortalama formülünün ağ içinde kullanılması yeterlidir. Sonuçta, hesaplanma şekli ne olursa olsun, çıktı olarak aritmetik ortalama elde edilir. Bu yüzden, bir istatistikçi aynı modeli uygulamak için değişik algoritmalar kullanabilir. Diğer taraftan, bir istatistikçi değişik eğitme kriterlerini, değişik istatistiksel özelliklere sahip farklı tahmin yöntemleri olarak görür.

YSA da istatistiksel modeller gibi dağılıma yönelik varsayımlara ihtiyaç duymaktadır. Fakat, istatistik bilimi bu varsayımların sonuçları ve önem derecesi ile de ilgilenirken, YSA olayın bu yönünü göz ardı etmektedir. Örneğin, en küçük kareler yöntemi, hem istatistiksel hem de sinir ağı modellerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Anlatılanların gösterdiği gibi YSA ile istatistik arasında sıkı bir bağlantı kurulabilmektedir. Bu iki alan arasındaki etkileşim YSA tekniğinin birçok alanda olduğu gibi mühendislik ve yapı maliyeti alanlarında da kolayca uygulama sahası bulmasına yardımcı olmaktadır.

2.3.8. YSA'nın inşaat mühendisliği alanında uygulamaları

YSA'lar birçok önemli mühendislik problemlerin çözümünde kullanılmışlardır. İnşaat ve Yapı Mühendisliği alanlarında; konstrüksiyon projelerinde kaynak seviyelerini belirleme, bir rezervuardan çıkışı kontrol, biyolojik bilgiler yardımıyla nehir suyu kalitesinin sınıflandırılması, nehirlerin akışının tahmin edilmesi, sonlu-eleman-temelli yapısal analiz işleminin modellenmesi, yapı malzemelerinin iç yapılarındaki çatlakların tespit edilmesi, depreme maruz betonarme çerçevelerde emniyetli yatay taşıyıcı tahmininde başarılı uygulamalar yapılmıştır [Sağıroğlu ve ark., 2003].

2.4. Kaynak Araştırması

Yapılan literatür taraması sonucunda YSA uygulamaları ile ilgili bazı çalışmalarda edinilen bulgular aşağıda sunulmuştur.

Basheer ve Hajmeer, "Artificial neural networks: Fundamentals, computing, design and application" adlı çalışmalarında; YSA'nın, beyin hücrelerindeki görev dağılımının ve birbirleri arasındaki ilişkilerin benzerlerinin bilgisayar ortamında oluşturulması olduğunu ifade etmişlerdir. Matematiksel olarak modellenen çok sayıda nöron, birbirlerinden aldıkları bilgileri değerlendirerek bir çıktıya dönüştürmektedirler. Birçok nöronun eşzamanlı olarak çalışması, eğitilebilmesi, denetlenmesi ve çözüme ulaşma hızının kısa olması gibi özellikleri nedeni ile YSA'nın, bilimsel araştırmalarda giderek artan bir şekilde kullanılmakta olduğunu belirtmişlerdir [Basheer ve Hajmeer, 2000].

"YSA ile zemin-yapı dinamik etkileşimi" isimli çalışmalarında Pala, Çağlar vd.; YSA modellerinin algoritmik olmayan, paralel ve yayılı bilgi işleme yetenekleri ile klasik modellerden farklı olduğunu, farklı olan bu özellikleri sayesinde YSA'nın karmaşık ve doğrusal olmayan hesapları kolaylıkla ve hızlı bir şekilde yapabildiklerini belirtmişlerdir. Algoritmik olmayan ve çok

yoğun paralel işlem yapabilen YSA'nın, ayrıca öğrenebilme kabiliyeti ve paralel dağıtılmış hafıza ile de, hesaplamada yeni bakış açılarına sebep olduğunu ifade etmişlerdir [Pala ve ark., 2003].

“YSA ile eksenel yüklü kolonların burkulma analizi” adlı çalışmalarında Ülker ve Civalek; mühendislik sistemlerinin analizinin genel anlamda iki evreyi içerdiğini, bunların; mevcut bir fiziksel sistemin matematik modelinin kurulması ve elde edilen matematik denklemin analitik olarak veya çeşitli yaklaşık sayısal yöntemler kullanılarak çözülmesi olduğunu ifade etmişlerdir. Bu iki evreden birincisi deneyim, sezgi ve iyi bir matematik alt yapı, ikincisi ise modellemede kullanılan sezgi ve bilgiye ek olarak hızlı ve kapsamlı bir hesaplayıcıyı gerektirdiğini belirtmişlerdir. Bilgisayar tekniğindeki yeniliklerin sayısal analiz metotlarında büyük bir gelişmeye neden olduğunu belirten yazarlar, bilgisayar tekniğindeki gelişmelerin farklı analiz tekniklerinin ortaya çıkmasını sağladığını, bunlardan birinin de insan beyninin çalışma biçimini model edinen Yapay Zeka uygulamaları olduğunu vurgulamışlardır. Bilgisayar, endüstri, tıp, ekonomi ve askeri alanlardaki uygulamalarda başarıyla kullanılan bu tekniğin, yapı mühendisliğinde de kullanılmaya başlandığını ifade etmişlerdir [Ülker ve Civalek, 2002].

“Estimating resource requirements at conceptual design stage using neural networks” adlı makalelerinde Elazouni ve arkadaşları; tahmin modellerinin, proje maliyeti ve/veya performansını optimize edebilmek için farklı alternatifleri değerlendirmek üzere tasarımcılara potansiyel yardımcı olabileceğini ifade etmişlerdir. Bu aşamada farklı alternatiflerin maliyetinin belirlenmesinin, yeniden tasarım maliyetinin engellenmesi ve bakım, operasyon ve değiştirme maliyetlerinin minimize edilmesi sayesinde maliyet tasarrufu sağlayacağını vurgulamışlardır. Buna ilave olarak, bu modellerin yüklenicinin son dakika teklif tahmini için çok yararlı olduğunu belirtmişlerdir. Kaynak ihtiyacı tahmini için, tahmin aracı olarak geriye yayılım ağlarının kullanılabilirliğini araştırdıkları bu çalışmada, 28 adet silo inşaatına ait değerler gruplanmıştır. Uygulanan YSA modeli ile elde edilen sonuçlar,

çoklu regresyon analizi sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve YSA modelinin tahmin için oldukça kullanışlı olduğu tespit edilmiştir [Elazouni ve ark., 1997].

Weiss ve Kulikowski'nin "Computer systems that learn" ; Hinton'un "How neural networks learn from experience"; Ripley, Barndoff – Nielsen, Jensen ve Kendall'ın "Statistical aspects of neural networks, in networks and chaos–statistical and probabilistic aspects" ve Warren'ın "Neural networks and statistical models" adlı çalışmalarında; YSA'nın son yıllarda hem teorik ve hem de pratik uygulamalar bakımından geliştiği, kendisine olan ilgiyi daha da arttırdığı vurgulanarak YSA modelleri ile istatistik modellerin benzer olduğuna (bazılarının ise aynı olduğuna) dikkat çekilmiştir [Weiss ve Kulikowski, 1991; Hinton, 1992; Ripley ve ark., 1993; Warren, 1994].

Stern'in "Neural networks in applide statistics", Ripley'in "Pattern recognition and neural networks", Wang'ın "An adaptive approach to market development forecasting" ve Yasdi'nin "Prediction of road traffic using a neural network approach" isimli makalelerinde YSA modelleri ile istatistik modellerin benzer olmasının tesadüfi olmadığını, bu iki alanın sıkı ilişkili olduğunu göstermişlerdir. YSA ve istatistik metotların karşılaştırılması, bu modellerden birinin, uygun olan bir diğerinin geliştirilmesinde önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. Birçok pratik problemde, her iki sınıf yöntemlerin kullanılarak hesaplama sonuçlarının karşılaştırılmasının daha iyi çözümün bulunması içinde bir araç olduğunu ifade etmişlerdir [Stern, 1996; Ripley, 1996; Wang, 1999; Yasdi, 1999].

Memmedov ve Eryılmaz, "YSA ile bazı istatistiksel modeller arasındaki ilişki" adlı çalışmalarında; bazı YSA modellerinin iyi bilinen uygun istatistik modellere benzer veya onun aynısı olduğunu vurgulamışlardır. Bu amaçla adları farklı olan uygun YSA ve istatistik terimlerini karşılaştırmışlardır [Memmedov ve Eryılmaz, 2003]. Aşağıdaki Çizelge 2.5'de bu terimler karşılıklı olarak verilmiştir;

Çizelge 2.5. Farklı isimlerdeki YSA ve istatistik terimlerinin karşılaştırması
[Memmedov ve Eryılmaz, 2003]

İstatistik Terimleri	YSA Terimleri
Bağımsız değişken	Giriş
Bağımlı değişken	Hedef
Artık (kalan)	Hata
Tahmin	Öğrenme (eğitim)
Tahmin ölçütü	Hata fonksiyonu
Gözlem	Numune (örnek, eğitim çifti)
Tahminler ana kütle katsayısı	Ağırlıklar
Dönüşüm	Fonksiyonel link
Regresyon	Kontrollü öğrenme
Veri indirme	Kontrolsüz öğrenme

Yazarlar, anılan çalışmalarında; YSA'nın farklı istatistik işlemlerin yerine getirilmesinde etkili rol oynamakta olduğunu, YSA yöntemlerinin genellikle lineer olmamasının; farklı lineer olmayan istatistik modellerde, tahmin analizlerinde ve sınıflandırma problemlerinde onun önemini yükselttiğini ve daha önce geliştirilmiş bazı istatistiksel metotların YSA modellerinin gelişimine etki göstermekte olduğunu belirtmişlerdir.

Zhang, "Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model" adlı makalesinde, hibrid (melez) yöntemlerin kullanılmasının yani, istatistik ve YSA metotların birlikte kullanımının daha çok yararlı olduğunu, bu bakımdan bu iki alanın karşılıklı incelenmesinin önemli konulardan biri olduğunu ve ileri araştırmalar gerektirdiğini ifade etmiştir [Zhang, 2003].

"Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks and case-based reasoning" adlı çalışmalarında Kim ve arkadaşları; 530 eski maliyet verisinin yardımı ile Çoklu Regresyon Analizi, YSA ve Vaka Tabanlı Sebeplendirme adlı üç yöntemin

performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda YSA esaslı yöntem, diğer iki maliyet değerlendirme yöntemine göre daha kusursuz sonuçlar vermiştir [Kim ve ark., 2004].

“An artificial neural network approach to assess project cost and time risks at the front of projects” adlı yüksek lisans tezinde Liu, projelerin önünde bulunan maliyet ve zamansal risklerin değerlendirilmesi konusunda YSA esaslı bir araştırma yapmış ve sonuçlar, petrol ile gaz endüstrisindeki projelerde, eski basit projelerden öğrenme yaparak genel temayı betimleyebilecek bir YSA oluşturmanın mümkün olabileceğini göstermiştir. Liu, YSA esaslı uygulamaların çoklu regresyon yöntemine göre daha üstün sonuçlar verdiğini belirtmiştir [Liu,1998].

Williams, inşaat maliyet indekslerindeki aylık ve altı aylık değişimlerini tahmin etmek için geri yayılım algoritmasını denemiş, ancak yapı malzemeleri, ekipmanları ve işgücü maliyetinin kesin matematik formülü ya da kuralı olmayan bir çok farklı faktörden etkilenmesi nedeniyle, bu problemin geri yayılım algoritması ile çözülemeyecek kadar karmaşık bir problem olduğuna karar vermiştir [Williams, 1994].

Adeli ve Wu, otoyol inşaatı maliyetlerinin çok gürültülü olduğunu ve bu gürültünün yönetici kararları, rasgele pazar değişimleri ve hava durumu gibi tahmin edilemeyen birçok faktörden ileri geldiğini göstermiştir [Adeli ve Wu, 1998].

Günaydın ve Doğan, inşaat tasarımının erken aşamalarında, proje yöneticileri ve tasarımcılar tarafından bir maliyet tahmin aracı kullanılması ihtiyacına işaret ederek; 4 - 8 katlı 30 adet konuta ait verilerin öğretildiği bir geri yayılım ağının, maliyeti % 93 doğrulukla tahmin edebileceğini ortaya koymuştur [Günaydın ve Doğan, 2004].

Arditi ve arkadaşları, inşaat sözleşmelerinden kaynaklanan hukuksal problemlerin maliyetini tahmin etmek üzere YSA kullanmışlardır. Bu çalışmada, dava sonuçlarında verilen kararlar ağı eğitmek için kullanılmış ve davaların son derece karmaşık verilerine ait tahmin başarısı % 67 olarak belirlenmiştir [Arditi ve ark., 1998].

Doğan, Arditi ve Günaydın, “Bina maliyeti tahmininde genetik algoritma destekli yapay sinir ağı ile vaka tabanlı gerçekleştirme modellerinin karşılaştırılması” adlı çalışmalarında, YSA ve VTG otomatik öğrenme tekniklerinin, maliyet tahmini hesaplamalarında karşılaşılan maliyet bileşenleri arasındaki çok çeşitli etkileşimlerin yarattığı güçlükleri aşabildiklerini belirtmişlerdir. Çalışmalarında GA ile desteklenmiş her iki yöntemin elektronik tablo simülasyonlarını karşılaştırmışlar, bunun için inşa edilmiş 29 konut projesine ait maliyet verilerini kullanmışlardır. YSA’na girdi olarak, konut projelerinde strüktürel sistemin maliyetini etkileyen; binanın toplam alanı, toplam alanın tipik kat alanına oranı, toplam alanın zemin kat alanına oranı, kat sayısı, binanın konsol yönü, bina çekirdeğinin yeri, binanın döşeme tipi ve binanın temel sistemi bilgileri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda; GA takviyeli VTG uygulamasında % 84, GA takviyeli YSA uygulamasında ise % 89 tahmin doğruluğu elde edilmiştir. Araştırmacılar, YSA esaslı modelin, nümerik değerlerin tahminini gerektiren ve kısıtlı sayıda örneği içeren maliyet tahmini uygulamalarında daha başarılı olduğunu ifade etmişlerdir [Doğan ve ark., 2005].

“Modeling construction cost performance: A comprehensive approach using statistical, artificial neural network and simulation methods” adlı doktora tezinde Hogan; büyük inşaat organizasyonlarının geçmiş performanslarını anlamak, tekil inşaat projelerinin performanslarını ve çoklu inşaat projelerinin mesai fazlalarının performanslarını tahmin etmek üzere bu üç durum için maliyet esaslı ana göstergeler içeren çoklu regresyon, YSA, Monte Carlo Simulasyonu ve Sistem Dinamikleri esaslı modeller

yapmıştır. Sonuç bulguları mükemmelden az verimli olsa bile günlük hayatta kullanılabilecek normda olmuştur [Hogan, 1998].

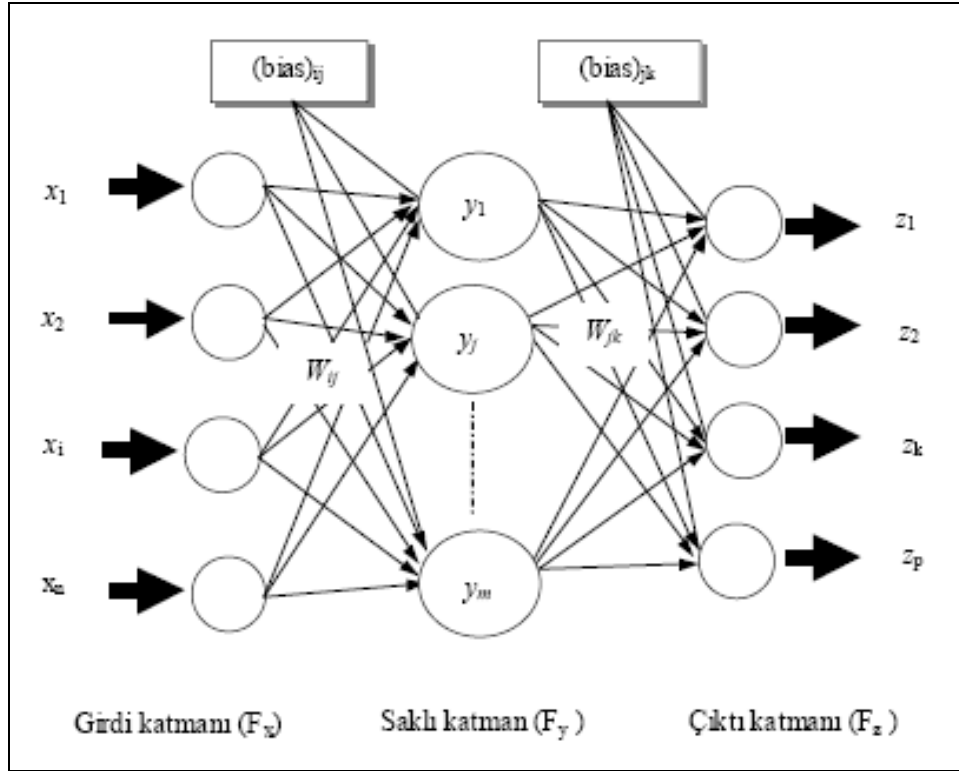
“Neural network based cost estimating” adlı yüksek lisans tezinde Siqueira; ses yalıtımlı prefabrike çelik binaların maliyet değerlemesi için bir YSA esaslı maliyet değerlendirme yöntemi sunmuştur. Geliştirilen YSA’nın, projeye ait parametreleri modellemede proje direkt maliyetleri ile birleşik bir yapıda olmasına çalışılmıştır. Kanada’daki 75 çelik yapı projesinin verilerinin kullanıldığı çalışma sonuçları; eğitilen proje parametreleri dahilinde kullanılması halinde, önerilen YSA modelinin Regresyon Yöntemi’nin ötesinde sonuçlar verebileceğini göstermiştir [Siqueira, 1999].

“İnşaat projelerinde kaynak ihtiyacının yapay sinir ağları yaklaşımı ile tahmini” adlı doktora tezinde Baykan, farklı proje özelliklerine sahip konut inşaatlarını örnekleyerek, proje parametrelerini YSA’na öğretmiş ve elde edilen sonuçlara göre ağın öğrenme performansını test etmiştir. Bu sonuçları, aynı parametrelerin regresyon analizinde kullanılması ile elde edilen sonuçlarla karşılaştıran Baykan, YSA tahmin performansının regresyon analizine oranla daha yüksek olduğunu, bu yaklaşımın konut tipi binaların kaynak ihtiyacının tahmininde hızlı, verimli ve güvenilir bir yöntem olarak başarı ile kullanılabileceğini ortaya koymuştur [Baykan, 2007].

3. YÖNTEM

Bu çalışmada, yapı maliyetlerinin YSA ile tahmin edilmesi amacı ile, Başbakanlık Toplu Konut İdaresi (TOKİ) ve Türkiye Konut Yapı Kooperatifleri Birliği (TÜRKKONUT) kuruluşlarından sağlanan betonarme taşıyıcı sistemli ve benzer nitelikteki çok katlı toplu konutların projelerinden ve metrajlarından yararlanılmıştır. Maliyetleri etkileyen diğer parametreler sabit iken yapı ebatlarındaki değişim ana değerlendirme kriteri olarak düşünülmüştür. Projelerden hesaplanan; son kat tavan yükseklikleri, tip katlardaki daire sayıları, toplam daire sayısı, tip kat alanları, cephe alanları, cephe boşluk alanları, kat yükseklikleri, kat sayıları ve ortalama daire alanları değerlerinden oluşturulan çok katmanlı, geri beslemeli, danışmanlı öğrenme özelliklerinde yapılandırılan bilgiler YSA'ya veri olarak girilmiştir (girdi vektörü). Her projenin inşaat maliyeti, Bayındırlık Bakanlığı 2005 Yılı Birim Fiyat Rayiçleri esas alınarak hesaplanmış ve oluşturulan ağa çıktı vektörü olarak tanıtılmıştır.

Şekil 3.1'de basitleştirilmiş bir örneği verilen bu ağ mimarisinde $x_1, x_2, \dots, x_n$ girdileri yerine, söz konusu hesaplamalara esas teşkil eden yapıların projelerinden elde edilen; son kat tavan yükseklikleri, bir kattaki daire sayıları, toplam daire sayısı, tip kat alanları, cephe alanları, cephe boşluk alanları, kat yükseklikleri, kat sayıları, ortalama daire alanları değerleri girilmiştir. Ağın çıktılarını oluşturan Zi değerlerine karşılık olarak da her projenin birim fiyat esaslı inşaat maliyeti değerleri girilmiştir.



Şekil 3.1. Tek saklı katmana sahip geri-yayılma ağ mimarisi [Yurtoğlu, 2005]

Yapılan danışmanlı öğretim işlemlerinin ardından başka projelere ait verilerin ağı girilmesi ile maliyet tahminleri yaptırılmıştır. Bu tahminler, diğer yöntemlerle (Birim fiyat esaslı ilk tahmin yöntemi ve Regresyon analizi) yapılan maliyet hesaplamaları ile karşılaştırılarak, uygulanan yöntemin sağladığı performans değerlendirilmiştir. Optimum maliyetli blok tasarımına yönelik sınır değerler belirlenmiş, esas alınan girdi vektörü kriterlerinin maliyete etkileri bakımından önem sıralaması yapılmıştır.

Metrajların kullanımı ile maliyetlerin hesaplanmasında MS Excel ve Osk Gold yazımlarından, ağın oluşturulmasında ise Neural Power yazılımından yararlanılmıştır. Regresyon analizleri için SPSS programı kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, yeni projelerde maliyet tahmini için oluşturulan YSA'nın ve elde edilen verilerinin kullanılabilirliği konusunda değerlendirme yapılmış, bu konuda sağlanan sonuçlara göre, maliyet değerlerinin doğruya

yakınlığı, diğer yöntemlerle olan performans karşılaştırması ve bu yöntemin kullanımı ile sağlanabilecek maliyet ve zaman tasarrufu yorumlanmıştır.

3.1. Uygulama Alanı

TOKİ ve TÜRKKONUT'tan sağlanan 63 adet betonarme taşıyıcı sistemli ve bitişik olmayan çok katlı toplu konut projesinin çizimleri ve metrajları esas alınmıştır. TOKİ'ye ait projeler "tip proje" mahiyetinde olup Türkiye'nin çeşitli illerinde 282 ayrı projede uygulanmış, 266 projede de halen uygulanmaktadır. TÜRKKONUT'a ait projeler ise Ankara, Eryaman'da, 20 adet konut adası üzerinde 185 adet bloktan oluşan ve 46 ayrı tip projenin uygulandığı bölgede inşa edilmiştir. Resim 3.1'de TÜRKKONUT Ankara, Eryaman Projesi'nin yer aldığı uydu fotoğrafı sunulmuştur [www.turkkonut.com.tr, 2007].



Resim 3.1. TÜRKKONUT, Ankara Eryaman Projesi'nin yer aldığı uydu fotoğrafı [www.turkkonut.com.tr, 2007]

3.2. Veri Setinin Oluşturulması

Projelerden hesaplanan; son kat tavan yükseklikleri (m), bir kattaki daire sayıları (ad), toplam daire sayısı (ad), tip kat alanları (m^2), cephe alanları (m^2), cephe boşluk alanları (m^2), kat yükseklikleri (m), kat sayıları (ad), ortalama daire alanları (m^2) değerleri, oluşturulan çok katmanlı, geri beslemeli, danışmanlı öğrenme özelliklerinde yapılandırılan YSA'na veri olarak girilmiştir (girdi vektörü). Her projenin inşaat maliyeti (YTL), Bayındırlık Bakanlığı 2005 Yılı Birim Fiyat Rayiçleri esas alınarak

hesaplanmış ve oluşturulan ağa, çıktı vektörü olarak tanıtılmıştır. Projelerden edinilen veri setlerinin tasviri gösterimi Çizelge 3.1’de sunulmuştur. Ele alınan konutlar, genellikle katta bulunan daire sayısına göre isimlendirilen, kat adedi 2 ile 15 arasında değişen ve tekil blok bazında tip projeler ile üretimi gerçekleştirilen yapılardır.

Çizelge 3.1. Analizde kullanılan parametreler

Parametre	Projeler					
	Proje 1	Proje 2	Proje 3		Proje 62	Proje 63
Son kat tavan yüksekliği (m)						
Bir kattaki daire sayısı (ad)						
Toplam daire sayısı (ad)						
Tip kat alanı (m ²)						
Cephe alanı (m ²)						
Cephe boşluk alanı (m ²)						
Kat yüksekliği (m)						
Kat sayısı (ad)						
Ortalama daire alanı (m ²)						

Anılan verilere örnek teşkil etmesi için; veri setinde yer alan projelerden biri olan “TOKİ Ankara protokol yolu 400 adet konut inşaatı”, B Tipi Blok ön cephe görünümü, tip kat planı ve kesit çizimleri ile inşaat metraj icmal EK-1’de verilmiştir.

Yapılan öğretim ve test etme işlemlerinin ardından aynı normlardaki farklı projelere ait verilerin ağa girilmesi ile bu projelere ait maliyet tahminleri yaptırılmıştır. Bu tahminler, Birim Fiyat Yöntemi ve Regresyon Analizi yöntemleriyle yapılan maliyet hesaplamaları ile karşılaştırılmış ve uygulanan YSA yönteminin sağladığı performans değerlendirilmiştir.

Metrajların kullanımı ile maliyetlerin hesaplanmasında MS Excel ve Oska Gold yazımlarından; ağın oluşturulmasında ise Neural Power yazılımından yararlanılmıştır. Regresyon analizleri için SPSS programı kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, yeni projelerde maliyet tahmini için oluşturulacak YSA'nın ve elde edilecek verilerin kullanılabilirliği konusu değerlendirilmiş, bu konuda sağlanan sonuçlara göre, maliyet değerlerinin doğruya yakınlığı, diğer yöntemlerle olan performans karşılaştırmaları ve bu yöntemin kullanımı ile sağlanabilecek maliyet ve zaman tasarrufu yorumlanmıştır. Buna ek olarak mevcut verilerden yararlanılarak, optimum maliyetli blok tasarımına yönelik sınır değerler belirlenmiş, esas alınan girdi vektörü kriterlerinin maliyete etkileri bakımından önem sıralaması yapılmıştır.

Basitleştirilmiş bir örneği Şekil 5.1'de verilen ağ mimarisindeki $x_1, x_2, \dots, x_n$ girdileri yerine; söz konusu hesaplamalara esas teşkil eden yapıların projelerinden hesaplanan; son kat tavan yükseklikleri (m), bir kattaki daire sayıları (ad), toplam daire sayısı (ad), tip kat alanları (m^2), cephe alanları (m^2), cephe boşluk alanları (m^2), kat yükseklikleri (m), kat sayıları (ad), ortalama daire alanları (m^2) değerleri kullanılmış, çıktılar için de (Z_i) maliyet değerleri (YTL) girilmiştir.

Her iki kaynaktan (TOKİ ve TÜRKONUT) sağlanan beş bloğa ait veriler, kontrol amacı ile ayrılmış ve kalan 58 bloğa ait girdi verileri (Çizelge 3.2), yukarıda özellikleri belirtilen, farklı özelliklerde yapılandırılmış 7 değişik YSA'na girilmiş, %1 hata payı ile öğrenme yapması doğrultusunda çıkış değerleri de (maliyet sütunu) verilerek danışmanlı öğretim işlemi yaptırılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak "Sigmoid Fonksiyonu" kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Ağa veri olarak girilen değerler

Son kat tavan yüksekliği (m)	Bir kattaki daire sayısı (ad)	Toplam daire sayısı (ad)	Tip kat alanı (m2)	Cephe alanı (m2)	Cephe boşluk alanı (m2)	Kat yüksekliği (m)	Kat sayısı (ad)	Ort. daire alanı (m2)	MALİYET (YTL)
33.30	4	44.00	574.5	3373	1037	2.80	11	143.6	2224814.2
33.20	4	44.00	568.2	3216	1022	2.80	11	142.1	2180513.0
36.20	4	50.00	569.9	3137	1122	2.80	13	142.5	2998765.0
42.00	2	30.00	258.4	3087	543	2.80	15	129.2	1181737.2
42.30	2	30.00	267.3	3255	552	2.80	15	133.7	1323654.0
36.4	4	50.00	576.4	3283	1166	2.80	13	144.1	2893652.9
36.20	4	50.00	568.3	3166	1145	2.80	13	142.1	2587649.0
30.70	4	42.00	571.9	3123	995	2.80	11	143.0	2256515.1
30.60	4	42.00	560.0	2984	902	2.80	11	140.0	1965497.0
36.4	4	50.00	513.0	2836	921	2.80	11	128.3	2347547.0
36.2	4	50.00	492.0	2715	893	2.80	11	123.0	2065489.0
25.20	4	36.00	566.8	3112	1024	2.80	13	141.7	2385357.3
25.10	4	36.00	562.0	3088	1015	2.80	13	140.5	2278549.0
36.40	2	26.00	560.3	2876	811	2.80	13	280.1	2070223.2
36.20	2	26.00	558.7	2712	824	2.80	13	279.4	1998537.0
42.00	2	30.00	265.7	3028	550	2.80	15	132.9	2127717.2
42.00	2	30.00	263.8	2843	543	2.80	15	131.9	1882371.0
33.60	2	24.00	260.0	2928	488	2.80	12	130.0	1672066.9
33.50	2	24.00	258.0	2834	473	2.80	12	129.0	1537294.0
42.00	2	30.00	302.5	3096	561	2.80	15	151.2	1690299.6
42.00	2	30.00	298.0	3053	553	2.80	15	149.0	1579273.0
30.80	2	22.00	294.4	2889	512	2.80	11	147.2	1500210.5
30.60	2	22.00	287.7	2734	502	2.80	11	143.9	1387358.0
36.40	2	26.00	210.6	2541	388	2.80	13	105.3	898151.2
36.20	2	26.00	209.5	2487	379	2.80	13	104.8	887651.0
36.40	4	48.00	574.2	3287	514	2.80	12	143.5	1902514.4
36.60	4	48.00	579.0	3354	521	2.80	12	144.8	2234521.0
32.20	3	35.00	383.3	3399	691	2.80	12	127.8	1406954.3
32.20	3	35.00	377.0	3122	681	2.80	12	125.7	1273892.0
29.50	3	32.00	423.0	3227	621	2.80	11	141.0	2735672.0
36.40	3	39.00	396.5	3724	709	2.80	13	132.2	1988288.0
36.40	3	39.00	384.0	3645	702	2.80	13	128.0	1733452.0
33.60	3	36.00	412.4	3689	682	2.80	12	137.5	1684273.4
33.5	3	36.00	387.0	3417	645	2.80	12	129.0	1369371.0
25.85	4	36.00	463.1	2244	452	2.80	12	115.8	855958.5
25.85	4	36.00	472.0	2341	456	2.80	12	118.0	892563.0
32.98	4	48.00	600.6	3239	514	2.79	12	150.2	1380725.0

Çizelge 3.2. (Devam) Ağa veri olarak girilen değerler

33.02	4	48.00	612.0	3314	518	2.79	12	153.0	1483561.0
16.62	2	18.00	348.0	1342	179	2.79	6	174.0	482549.0
11.52	2	8.00	219.3	691	129	2.79	4	109.7	468453.8
11.32	2	8.00	215.0	672	112	2.79	4	107.5	452386.0
11.16	4	16.00	394.5	887	166	2.79	4	98.6	387539.6
11.23	4	16.00	432.0	892	172	2.79	4	108.0	412528.0
11.16	2	8.00	181.0	542	202	2.79	4	90.5	417046.1
11.32	2	8.00	192.0	553	209	2.79	4	96.0	475612.0
11.32	4	16.00	594.0	1123	183	2.79	4	148.5	690537.0
11.16	4	16.00	503.0	1040	178	2.79	4	125.8	533411.1
11.16	4	16.00	512.0	1052	181	2.79	4	128.0	572432.0
16.74	4	24.00	548.0	1582	381	2.79	6	137.0	794561.0
16.74	4	24.00	542.0	1521	362	2.79	6	135.5	738290.0
11.16	2	8.00	316.5	754	122	2.79	4	158.3	327782.4
11.16	2	8.00	312.0	742	117	2.79	4	156.0	317437.0
36.57	4	52.00	546.1	3423	634	2.79	13	136.5	1766297.9
36.57	4	52.00	541.0	3341	621	2.79	13	135.3	1589426.0
11.16	2	8.00	328.4	817	132	2.79	4	164.2	346057.2
11.16	2	8.00	332.0	821	137	2.79	4	166.0	478926.0
11.16	2	8.00	196.7	596	85	2.79	4	98.4	407850.5
11.60	2	8.00	199.3	608	91	2.79	4	99.7	447982.0

Kontrol için ayrılan bloklara ait veriler sisteme girilerek ağların maliyet tahminini yapması sağlanmıştır (Çizelge 3.3).

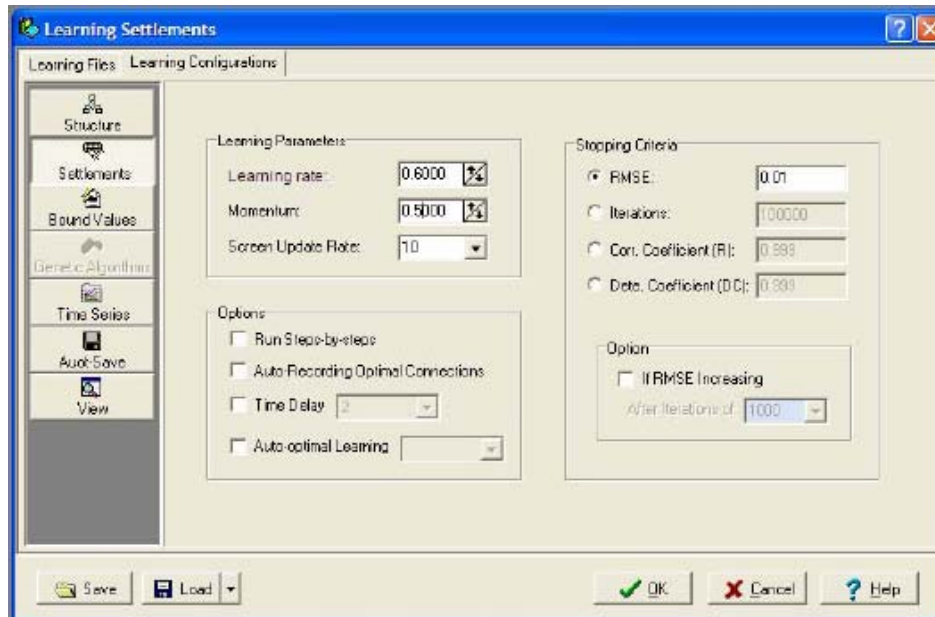
Çizelge 3.3. Ağı test etmek için girilen değerler

Son kat tavan yüksekliği (m)	Bir kattaki daire sayısı (ad)	Toplam daire sayısı (ad)	Tip kat alanı (m ²)	Cephe alanı (m ²)	Cephe boşluk alanı (m ²)	Kat yüksekliği (m)	Kat sayısı (ad)	Ort. daire alanı (m ²)	MALİYET (YTL)
36,40	4	50	572,3	3,296	1194,300	2,80	13	143,1	3 022 523,1
36,40	4	50	496,7	2,788	912,600	2,80	11	124,2	2 143 902,3
16,74	2	18	337,8	1,296	174,510	2,79	6	168,9	444 606,2
11,16	4	16	590,7	1,098	178,370	2,79	4	147,7	610 778,0
16,74	4	24	546,1	1,567	368,470	2,79	6	136,5	763 571,2

3.3. YSA İle Maliyet Hesabı Yapılması

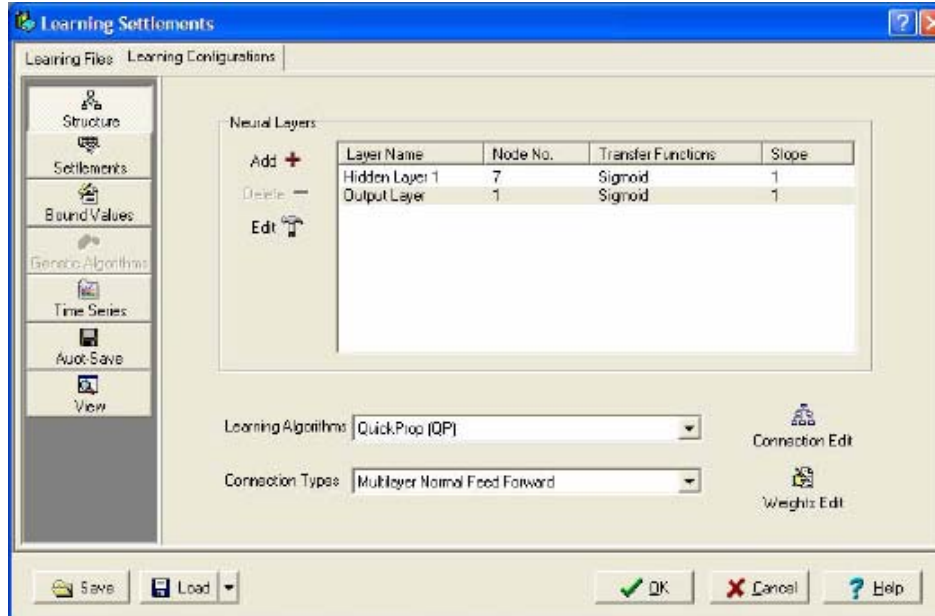
Hesaplamaların yapıldığı CPC-X Neural Power programının genel kullanım özellikleri EK-2'de verilmiştir. Aşağıda mevcut veri setinin bu programa girilmesi, gerekli mimarinin oluşturulması ve öğrenme katsayıları, momentum katsayıları ve hata sınırlamalarının belirlenmesi aktiviteleri ilgili şekiller yardımı ile ifade edilmiştir.

Şekil 3.2'de öğrenme katsayısı ve momentum katsayısının seçilmesi gösterilmiştir.



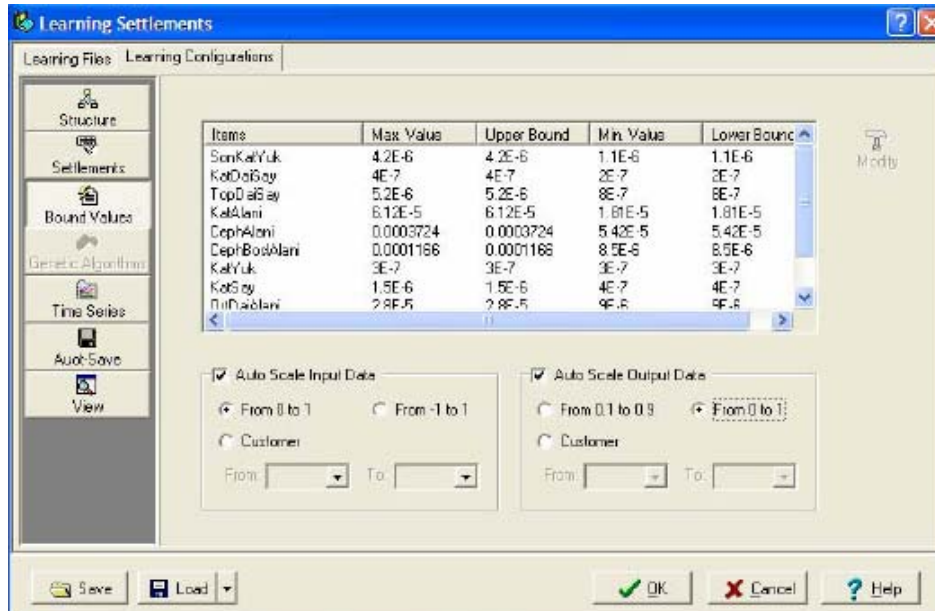
Şekil 3.2. Öğrenme katsayısı ve momentum katsayısının seçilmesi

Ağ mimarisinin belirlenmesi (açık ve gizli katmanların sayısı, bağlantı şekli, ileri-geri besleme tasarımı vb.) uygulamaların yapılışı Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Ağ yapısının ve katmanların belirlenmesi

Daha önceden hazırlanan ve tablo haline getirilen veri setinin, girdi ve çıktı değerlerinin ayrı ayrı olmak üzere programa girilişi Şekil 3.4'te verilmiştir.

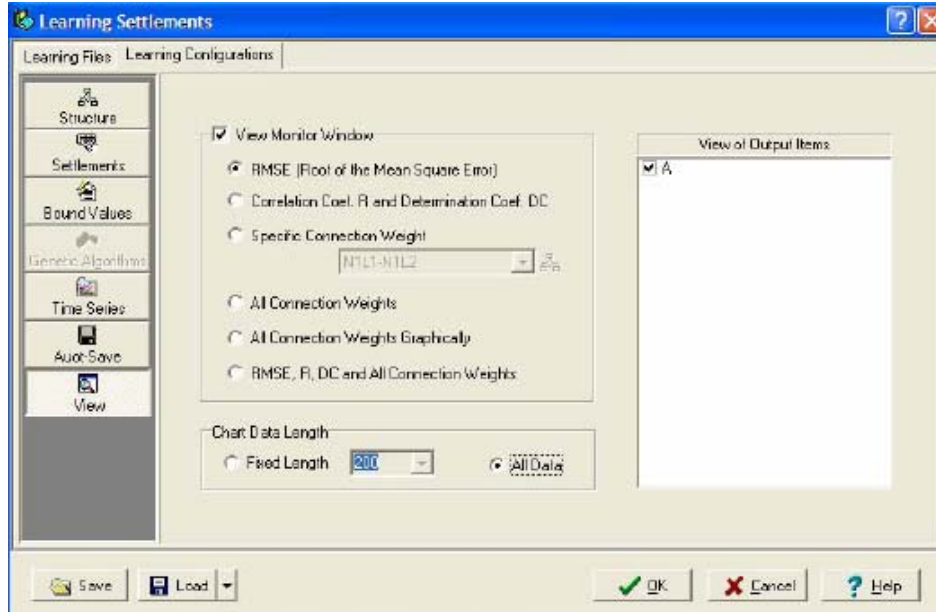


Şekil 3.4. Verilerin girilmesi

YSA'ların en belirgin özelliklerinden olan doğrusal olmama özelliğini anlamlı kılan yaklaşım, verilerin bir normalizasyona tabi tutulmasıdır. Verilerin normalizasyonu için seçilen yöntem YSA performansını doğrudan etkilemektedir. Çünkü normalizasyon, giriş verilerinin transfer edilirken fonksiyonun aktif olan bölgesinden aktarılmasını sağlar. Veri normalizasyonu, işlemci elemanlarını verileri kümülatif toplamlarla koruma eğilimleri nedeni ile zorunludur ve aşırı değerlendirilmiş kümülatif toplamların oluşturacağı olumsuzlukların engellenmesini sağlar. Genellikle verinin $[0, 1]$ veya $[-1, +1]$ aralıklarından birine ölçeklenmesi önerilmektedir. Ölçekleme, verinin geçerli eksen sisteminde sıkıştırılması anlamını taşıdığından veri kalitesi aşırı sınırlar içeren problemlerin YSA modellerini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu olumsuzluk, kullanılacak öğrenme fonksiyonunu da başarısız kılabilir. Bu durumda birbirinden oldukça farklı skaler değerler sistemde sanki aynı değerlermişçesine ele alınacak ve bu YSA sistemini olumsuz etkileyebilecektir. Bunun için uygun bir ölçeklendirme seçilmemesi hem uygulama hem de öğrenme algoritması açısından olumsuz sonuçlar ortaya çıkarabilecektir [Sağıroğlu ve ark., 2003].

Yukarıda belirtilen sebeplerle veri setine gerekli normalizasyon işlemleri, önerilen aralıklar dahilinde uygulanmış ve gerek iterasyon sayısı, gerekse öğrenme süresi boyutlarında önemli azalmalar sağlanmıştır.

Danışmanlı öğrenmenin danışma kısmına karşılık gelen hesapların yüzde kaçlık bir değerdeki hata sınırına ulaşıldığında durdurulacağına ya da diğer bir ifade ile kabul edilebilecek hata sınırının değerinin belirlenmesine yönelik hata sınırı (RMSE) değerinin atanması işlemi Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Hata sınırının (RMSE) belirlenmesi

Hesaplamanın başlatılmasından itibaren ekranda görülen arayüz yardımı ile yapılan iterasyonların sayısal artışı ve buna bağlı olarak istenen hata oranına yaklaşım Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



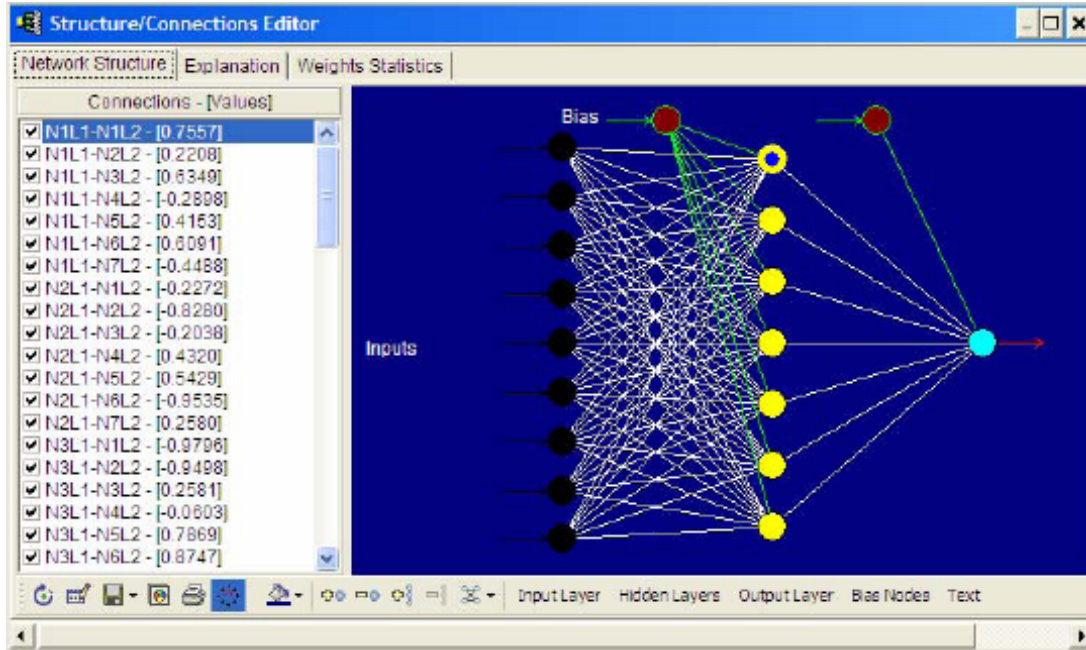
Şekil 3.6. Hesaplamalar esnasında hata değişimleri

İterasyonlar arttıkça hata oranının düşüşünün izlenebilmesi için hesaplama sürecinin daha ileriki bir anındaki durum Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Yeşil ve kırmızı renkteki eğrilerin çakıştığı an, istenen hata sınırına ulaşıldığı ve hesaplamanın artık durabileceği anlamına gelmektedir.



Şekil 3.7. Hesaplamalar esnasında hata azalımı

İstendiği zaman, depolanmış bilgilerden gerekli verilere ait değer, grafik ya da şekillerin elde edilebilmesi mümkündür. Oluşturulan YSA'nın şematik gösterimi ve bağlantı ağırlıkları da, anılan bu hususlara dahil olup Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Ağ mimarisi ve bağlantı ağırlıkları

3.3.1. Uygun YSA konfigürasyonunun belirlenmesi

Esas alınacak YSA konfigürasyonu için değerlendirilen yedi farklı ağın karakteristikleri ile ilgili veriler Çizelge 3.4'de sunulmuştur. Hesaplamalarda kullanılan bilgisayarın donanımı; Intel (R), Pentium (R), 1,86 GHz, 504 MB RAM'dir.

Çizelge 3.4. Farklı ağ yapılarının karakteristikleri

Karakteristikler	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)
Ağ yapısı	9-8-1	9-8-1	9-8-1	9-7-3-1	9-8-1	9-7-3-3-1	9-8-1
Öğrenme algoritması	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB
Öğrenme katsayısı	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6
Momentum katsayısı	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6
Durdurma kriteri	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
İterasyon sayısı	5 149	5 852	10 379	26 888	15 187	2 699	7 793
Süre (sn)	5	6	9	21	12	2	6

Özellikleri yukarıda verilen farklı ağ yapılarının maliyet tahminleri ve Bayındırlık Bakanlığı 2005 yılı Birim Fiyatları'na göre beklenen maliyet değerlerinin bulunduğu veriler Çizelge 3.5'te sunulmuştur.

Çizelge 3.5. Farklı ağ yapılarının maliyet tahminleri ve Bayındırlık Bakanlığı 2005 yılı Birim Fiyatları'na göre beklenen maliyet değerleri

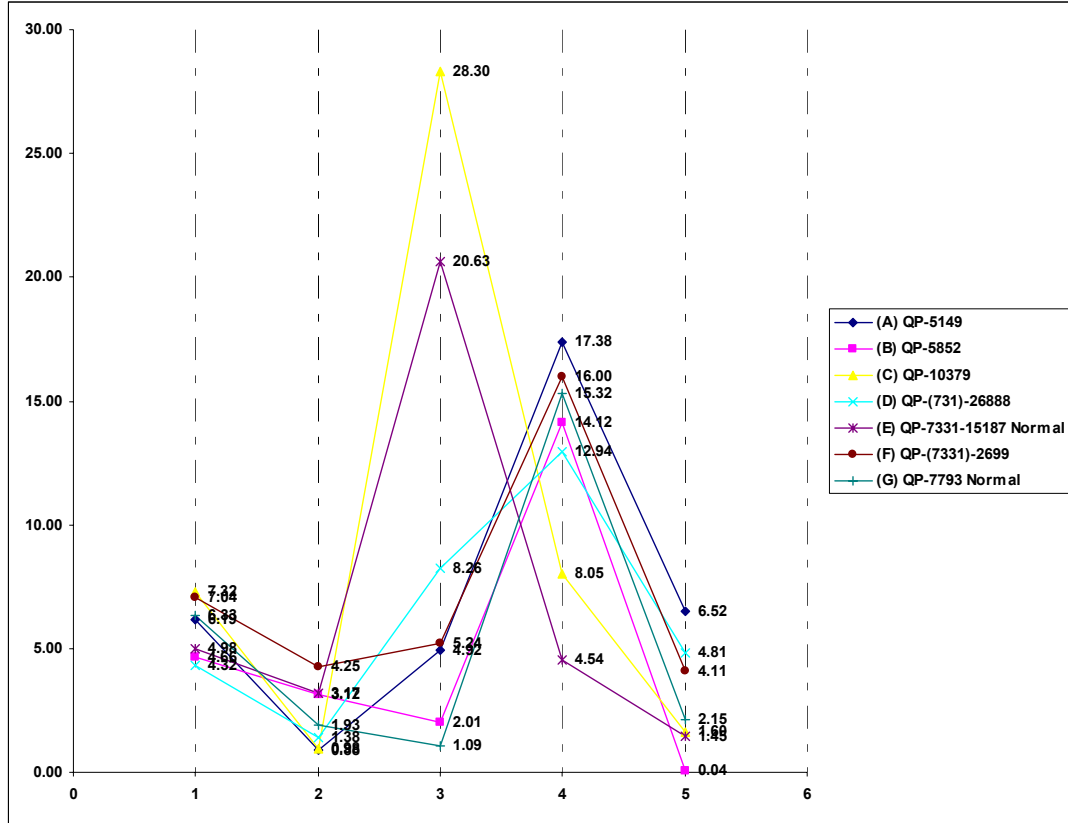
Örnek No	Ağ Mimarisi							Bay. Bak. 2005 Bir. Fiy.'na Göre Beklenen Değer
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	
1	0,2835463	0,2881566	0,2801424	0,2891935	0,2871880	0,2809749	0,2831064	0,3022523
2	0,2125070	0,2076927	0,2122878	0,2114248	0,2211834	0,2052842	0,2185309	0,2143902
3	0,0422728	0,0435668	0,0318769	0,0407871	0,0536319	0,0467906	0,0449432	0,0444606
4	0,0716915	0,0697015	0,0659917	0,0689792	0,0583050	0,0513074	0,0704321	0,0610778
5	0,0713766	0,0763839	0,0775807	0,0726813	0,0774680	0,0732196	0,0747170	0,0763571

Yedi farklı ağın beklenen değerlere göre sağladıkları % hata oranları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Ağların beklenen değerlere göre sağladıkları hata oranları

Örnek No	Hata (%)						
	(A) GB-5149	(B) GB-5852	(C) GB-10379	(D) GB-(731)-26888	(E) GB-7331-15187 Normal	(F) GB-(7331)-2699	(G) GB-7793 Normal
1	6,19	4,66	7,32	4,32	4,98	7,04	6,33
2	0,88	3,12	0,98	1,38	3,17	4,25	1,93
3	4,92	2,01	28,30	8,26	20,63	5,24	1,09
4	17,38	14,12	8,05	12,94	4,54	16,00	15,32
5	6,52	0,04	1,60	4,81	1,45	4,11	2,15
Ort. Hata	7,18	4,79	9,25	6,34	6,95	7,33	5,36

Şekil 3.9'da farklı topoloji ve özelliklerdeki ağların hata oranlarının karşılaştırması görülmektedir.



Şekil 3.9. Farklı topoloji ve özelliklerdeki ağların hata oranları karşılaştırması

Bu verilere göre hata oranı ortalaması en düşük ağ konfigürasyonu B ağı olup, beş test seti için ortalama hata değeri % 4,79 olarak hesaplanmıştır. Dolayısı ile esas alınacak YSA konfigürasyonu B ağı olarak seçilmiştir.

3.3.2. Regresyon Analizi ile maliyet hesabı yapılması

Söz konusu YSA yönteminin sonuçlarının test edilmesi amacı ile aynı verilere uygulanan Regresyon Analizine ait SPSS programı çıktıları esas alınarak oluşturulan regresyon denklemi verileri Çizelge 3.7'deki gibi hesaplanmıştır;

Çizelge 3.7. Regresyon denklemi verileri

Sabit	0,10
Son Kat Yüksekliği	29778,16
Daire Sayısı	-529736,00
Toplam Daire Sayısı	-6379,00
Tip Kat Alanı	4444,78
Cephe Alanı	87,21
Cephe Boşluk Alanı	1743,49
Kat Sayısı	-45959,00
Ortalama Daire Alanı	-8391,82

SPSS Paket Programı İle Yapılan Regresyon Analizi Çıktıları, EK-3'te verilmiştir. Program, kat yükseklikleri ideğerlerinin birbirine çok yakın olması sebebiyle; diğer değişkenler oranında öneme sahip olmayacağı ifadesi ile denklem oluşturulması esnasında ihmal etmiştir. Bu verilerin kullanılması ile Regresyon Denklemi;

$$y = 29778.16 \times 1 - 529736 \times 2 - 6379 \times 3 + 4444.78 \times 4 - 87.21 \times 5 + 1743.49 \times 6 - 45959 \times 7 - 8391.82 \times 8 + 0.1 \quad (6.1.)$$

olarak oluşturulmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

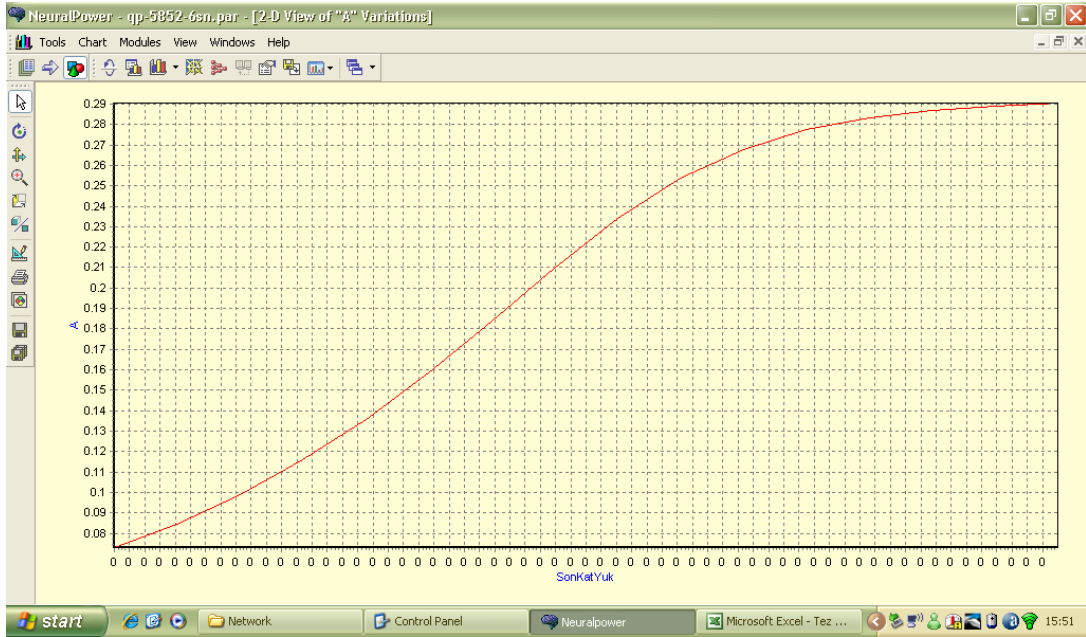
Yapılan çalışmalar sonucunda, yalnızca yapı maliyeti tahmini yapılmamış, dokuz temel tasarım parametresinin toplam maliyete olan etkileri ve her parametrenin değerinin değişimine karşılık maliyetlerin aldığı değerler belirlenerek grafikler yardımı ile ifade edilmiştir. Edinilen bulgular aşağıda sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

4.1. Girdi Vektörü Parametrelerinin Yapı Maliyetine Etkileri

YSA ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen bazı veriler aşağıda ifade edilmiştir. Öncelikle her girdi vektörü parametresinin yapı maliyetine etkileri Şekil 4.1. ile Şekil 4.8. arasında çizilen grafikler yardımı ile anlamlandırılmıştır. Her parametrenin değişimi ile yapı maliyetinin aldığı değerler incelenmiş, kritik ve sınır boyutlar/miktarlar/değerler belirlenmiş, bunların altında yada üzerinde olacak tasarım boyutlarına karşılık maliyetlerde oluşacak değişim yorumlanmıştır.

4.1.1. Yapı son kat yüksekliği ile yapı maliyeti arasındaki ilişki

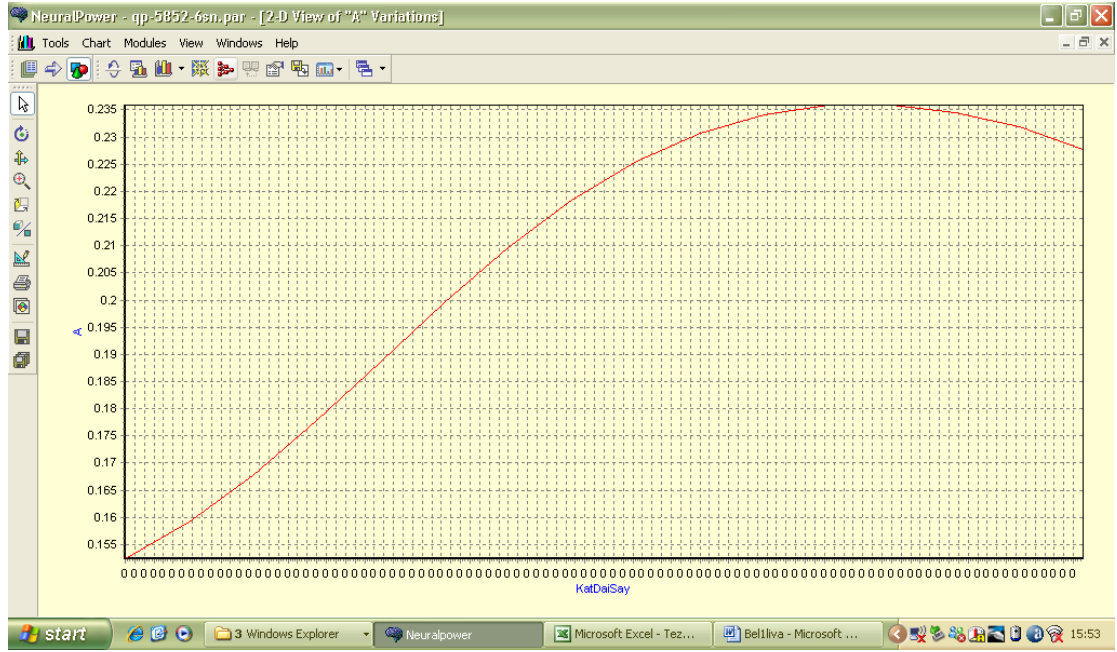
Şekil 4.1, yapı son kat yüksekliği ile yapı maliyeti arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Başlangıçta bina yüksekliğinin artması ile lineer olarak artan maliyet değeri, belli bir değerden sonra azalarak artmaktadır. Buradan hareketle bina yüksekliğinin 36 m ve daha fazla olduğu mimari dizaynlarda, daha düşük birim maliyetlere yaklaşılabileceği, 42 m'den daha yüksek yapılar için yükseklik artışının birim maliyetlere etkisinin önemli miktarda azalacağı tespiti yapılabilir.



Şekil 4.1. Yapı son kat yüksekliği ile yapı maliyeti arasındaki ilişki

4.1.2. Bir katta bulunan daire sayısı ile yapı maliyeti arasındaki ilişki

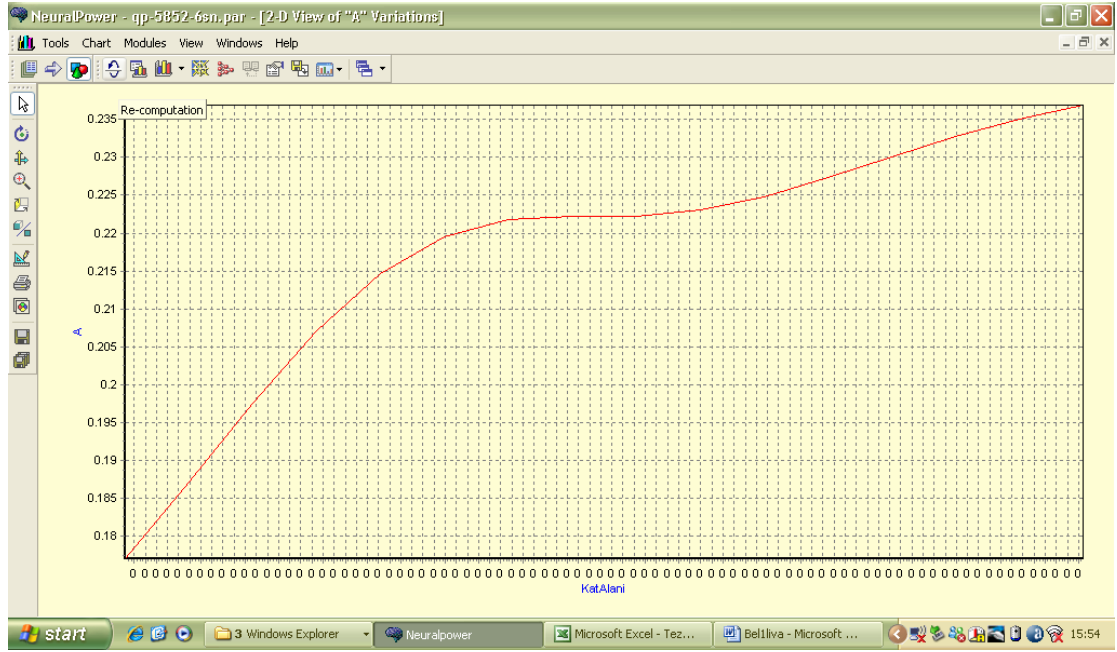
Şekil 4.2, bir katta bulunan daire sayısı ile yapı maliyeti arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu şekil esas alındığında, kat planında daire sayısı arttıkça maliyetlerin lineer olarak arttığı, üç daireden sonra daire sayısının artmasının maliyetlerde bir düşüş yarattığı görülmektedir. Çalışmaya esas olan projelerde dörtten fazla dairenin aynı katta bulunduğu bir uygulama olmadığı için 5, 6 ya da daha fazla dairenin bir katta bulunduğu yapıların maliyet değişimleri incelenememiştir. Bu konuda yapılabilecek yeni çalışmalarla kattaki daire sayısının daha fazla arttırılmasının genel yapı maliyetine etkisinin daha detaylı analiz edilebileceği düşünülmektedir. Bu verilerle, bir katta 4 dairesi olan tasarımların, 2 ve 3 dairesi tasarımlara göre ortalama maliyetlerinin daha düşük olduğu ifade edilebilir.



Şekil 4.2. Bir katta bulunan daire sayısı ile yapı maliyeti arasındaki ilişki

4.1.3. Toplam daire sayısının artışı ile yapı maliyetinin değişimi

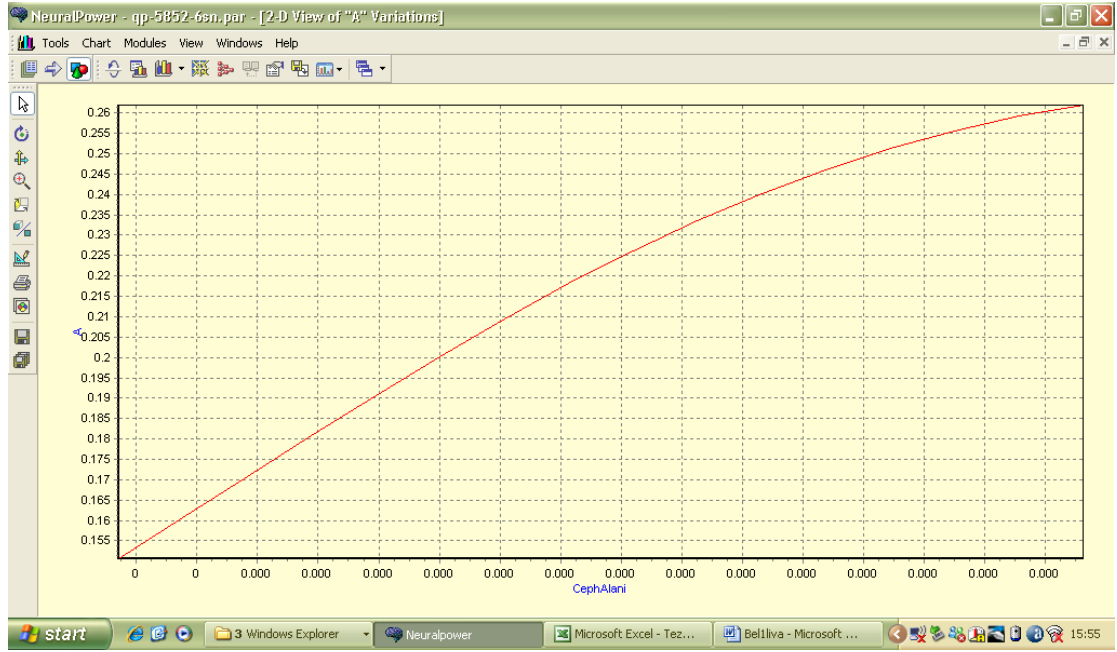
Toplam daire sayısının artışı ile yapı maliyetinin değişimi Şekil 4.3.'de gösterilmiştir. Bir blokta 24 daire sayısına ulaşana kadar az eğimli doğrusal bir maliyet artışı görülürken, bu değer bir blok için en yüksek birim maliyete karşılık gelmekte ve daire sayısı 24'ün üzerine çıktığında ortalama maliyetlerde daha büyük eğimli bir azalış dikkati çekmektedir. 52'nin üzerinde daire içeren blok uygulaması, örnekleme düzlemi içinde bulunmamakla beraber, mevcut verilere göre optimum maliyetli bir blok tasarımı esnasında en pahalı çözümün 24 dairesi yapılar olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.4. Kat alanının yapı maliyeti ile değişimi

4.1.5. Cephe alanının artması ile yapı maliyetinde oluşan değişim

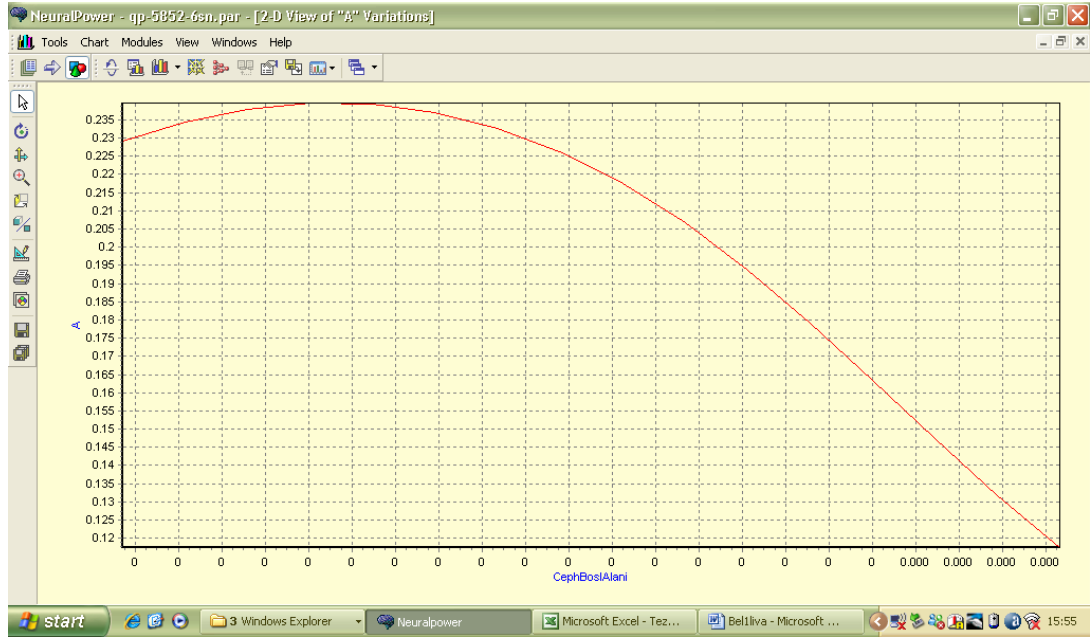
Şekil 4.5.'de cephe alanının artması ile yapı maliyetinde oluşan değişim gösterilmiştir. 542 m² ile 3725 m² arasında değişen farklı cephe alanlarına karşılık maliyetlerin aldığı değerler incelendiğinde; 542 - 2450 m² değerleri arasında lineer bir artış görülürken, 2450 m²'den sonraki cephe alanı artışına karşılık gelen maliyet artışlarının eğimi biraz daha düşük olan eğrisel bir yapıyı gösterdiği anlaşılmaktadır. Buradan, genel olarak cephe alanı ile maliyetlerin doğrusal ya da doğrusala çok yakın olarak arttığı çıkarımı yapılabilir.



Şekil 4.5. Cephe alanının artması ile yapı maliyetinde oluşan değişim

4.1.6. Cephe boşluk alanının artması ile yapı maliyetinde oluşan değişim

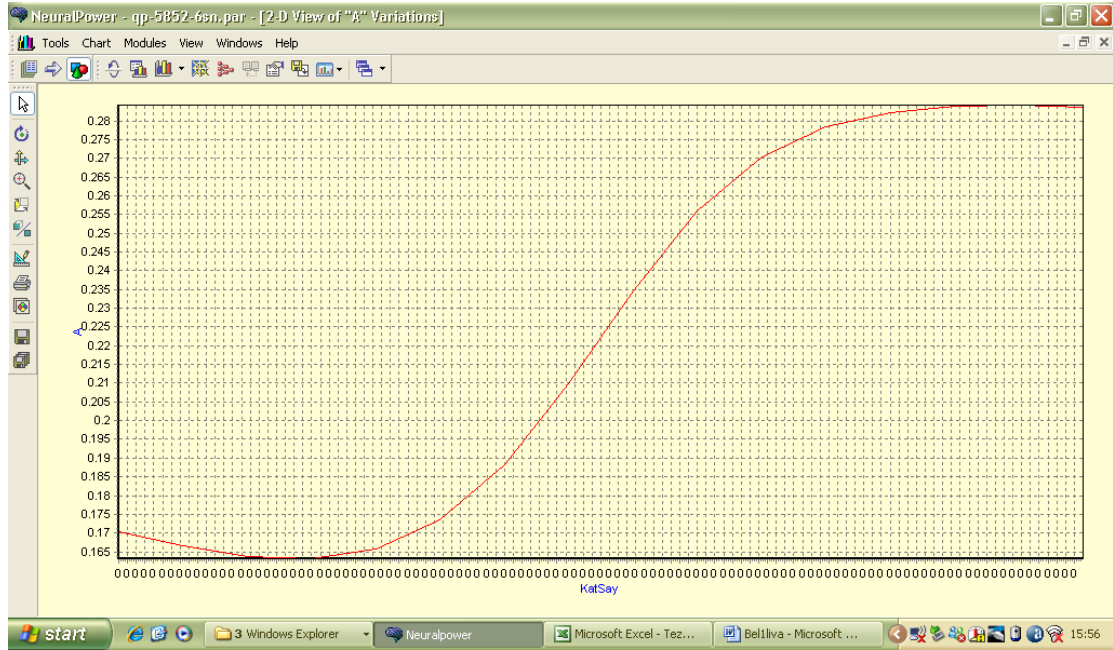
Şekil 4.6'da cephe boşluk alanının artması ile yapı maliyetinde oluşan değişim gösterilmiştir. Cephe boşluk alanının 180 m²'den 355 m²'ye kadar arttığı bölümde maliyetin de azalan eğimde arttığı, bu değerden itibaren cephe boşluk alanının artmasına karşılık maliyetlerde, önce eğrisel sonra lineer olarak azalma olduğu görülmektedir. Bu durum, en büyük boşluk alanı olan 1165 m²'ye kadar devam etmektedir.



Şekil 4.6. Cephe boşluk alanının artması ile yapı maliyetinde oluşan değişim

4.1.7. Kat sayısının artışı ile maliyetlerin değişimi

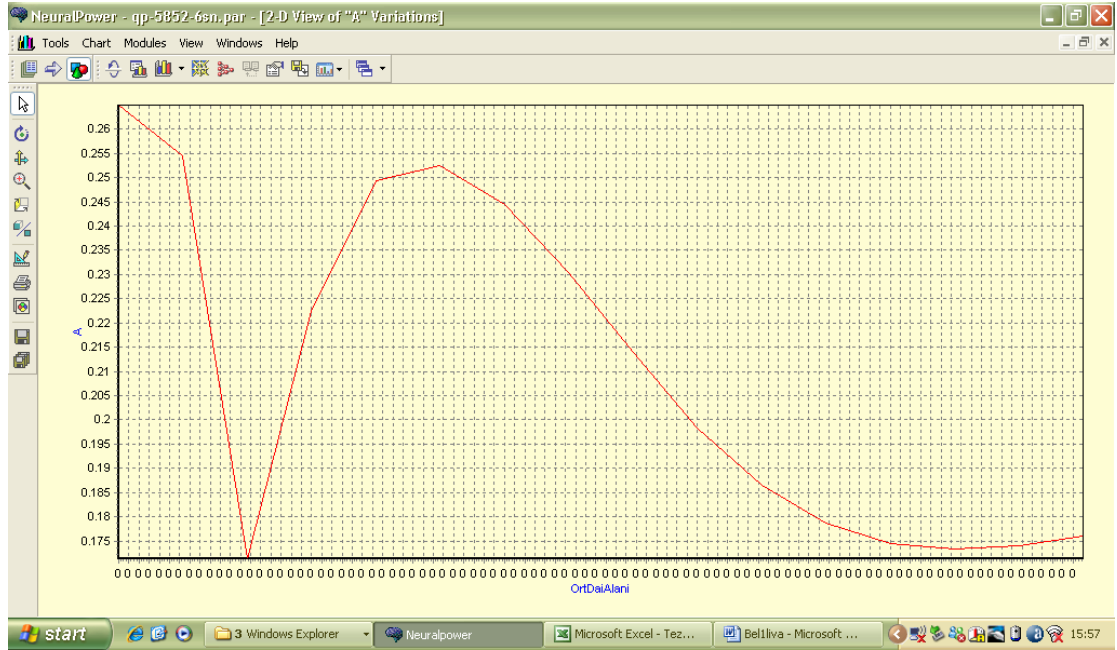
Şekil 4.7. kat sayısının artışının maliyetlere yansımalarını ifade etmektedir. Bu verilere göre en düşük maliyet 6 katlı bloklarda gerçekleşirken 11 kata kadar dik bir eğimle artan maliyetler, bu kat sayısından 13 kat sayısına kadar azalan oranda artmakta ve 13. kattan sonra 15. kata kadar kat sayısındaki herhangi bir artmanın maliyette herhangi bir değişiklik oluşturmadığı gözlemlenmektedir. Bu veriler esas alındığında çok yüksek yapıların esas alınmayacağı durumlarda 6 katlı tasarımların, daha yüksek yapılar içinse 14 ve daha fazla katlı tasarımların daha düşük ortalama maliyetlerle gerçekleştirilebileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.7. Kat sayısının artışının maliyetlere yansıması

4.1.8. Ortalama daire alanının maliyetlere etkisi

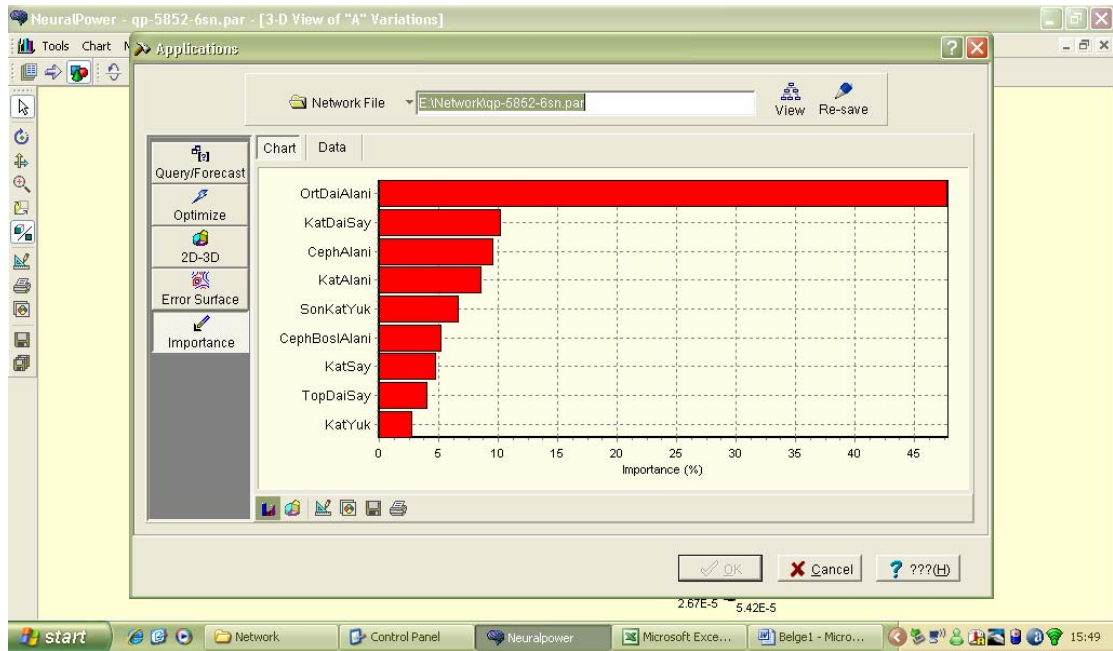
Şekil 4.8. ortalama daire alanının maliyetlere etkisini göstermektedir. 90.5 m^2 - 166 m^2 'lik dairelerin alanlarına göre maliyet değişimlerini gösteren bu şekle göre; 90.5 m^2 'den sonra 101 m^2 'ye kadarlık ortalama daire alanı artışı durumunda, önemli bir maliyet düşüşü görülmektedir. Bu değerden 116 m^2 'ye kadarlık alan artışları önemli maliyet artışlarına karşılık gelmektedir. 116 m^2 değerinden sonraki alan artışlarında daha az bir eğimle azalmaya başlayan maliyetler, 165 m^2 değerinde yerel minimum değerine ulaşır, bu değerden sonra çok düşük bir eğimle artma eğilimi göstermektedir. Bu verilere göre 100 m^2 'lik daire alanları en düşük ortalama maliyetle gerçekleştirilebilirken bu alanın üzerindeki daireler için en pahalı daire alanı 116 m^2 'ye karşılık gelmektedir. Büyük alanlı dairelerin dizayn edilmesinde 165 m^2 ve üzerindeki alanlar optimum maliyetlere ulaşmaktadır.



Şekil 4.8. Ortalama daire alanının maliyetlere etkisi

4.2. Girdi Vektörü Parametrelerinin Önem Dereceleri

YSA ile yapılan hesaplamaların analizi sonucu elde edilen verilerden biri de girdi vektörü parametrelerinin önem derecelerinin grafiksel olarak ifadesidir. Şekil 4.9. bu parametrelerin ağ için önemlerinin sıralanmış halini göstermektedir. Bu verilere göre, yapı maliyeti hesaplanırken en büyük ağırlığı olan kriter ortalama daire alanı olup bunu sırası ile bir kattaki daire sayısı, cephe alanı, kat alanı, bina yüksekliği, cephe boşluk alanı ve kat sayısı izlemektedir. Toplam daire sayısı ve kat yüksekliği ise sıralamada en sonda yer almakta diğer bir ifadeye maliyete etkiyen kriterler arasında en düşük ağırlıklara sahip olmaktadır.



Şekil 4.9. Girdi vektörü parametrelerinin önem dereceleri

Tip kat alanının kat sayısı ile çarpımı (varsa tip olmayan katların da buna eklenmesi ile) yapı alanı hesaplanabilmekte ve bu çalışmanın başında verilen m^2 maliyeti esaslı maliyet tahminleri için veri oluşturulmaktadır. Bu yaklaşıma esas olan kat alanı parametresinin öneminin %8 olmasına karşılık ortalama daire alanı parametresinin öneminin %48 civarında bir değer alması; m^2 maliyeti esaslı maliyet tahmini yerine daire alanı esaslı maliyet tahminleri yapılmasının gerçeğe daha yakın sonuçlar verebileceğini işaret etmektedir.

4.3. Regresyon Analizi İle Maliyet Tahmini Yapılması

Regresyon denklemi hesabında kullanılmayan beş test grubu bloklarına ait değerler bu denklemdeki x_i ifadelerinde yerine konulmuş ve gerçek maliyet değerlerine karşılık olan bu denklemle hesaplanan tahmini maliyet değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Regresyon Analizi ile hesaplanan maliyet değerleri ve beklenen değerlere göre hata oranları

Test Grup No	1	2	3	4	5
Tahmin Maliyet	0,2761397	0,2140388	0,0549767	0,0720558	0,1011417
Beklenen	0,3022523	0,2143902	0,0444606	0,0610778	0,0763571
Fark	0,0261126	0,0003514	0,0105161	0,0109780	0,0247846
Hata %	8,64	0,16	23,65	17,97	32,46

Buradaki hata oranları, 1, 2, 3, 4 ve 5 nolu örnekler için sırası ile % 8,64, % 0,16, % 23,65, % 17,97 ve % 32,46 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin aritmetik ortalaması % 16,58 'e karşılık gelmektedir. Ortalama hata değeri her ne kadar düşük görünse de özellikle 5 no'lu örneğe ait tahmin hata oranının, ortalama hata değerinden 2 kat fazla olması, bu yöntemle elde edilen sonuçların güvenilirliğini azaltıcı bir etki göstermektedir.

Regresyon analizine ait veriler arasındaki $R=0,942$ değeri, yapılan hesaplamaların büyük oranda kullanılabileceğini, $R^2= 0,888$ değeri ise dokuz adet girdi vektörünün, yapı maliyeti hesaplamasında maliyete etkiyen tüm etkenlerden %89'unun içerildiği bir modelleme yapıldığını ifade etmektedir ki bu da kabul edilebilir bir çalışma yapıldığını işaret etmektedir.

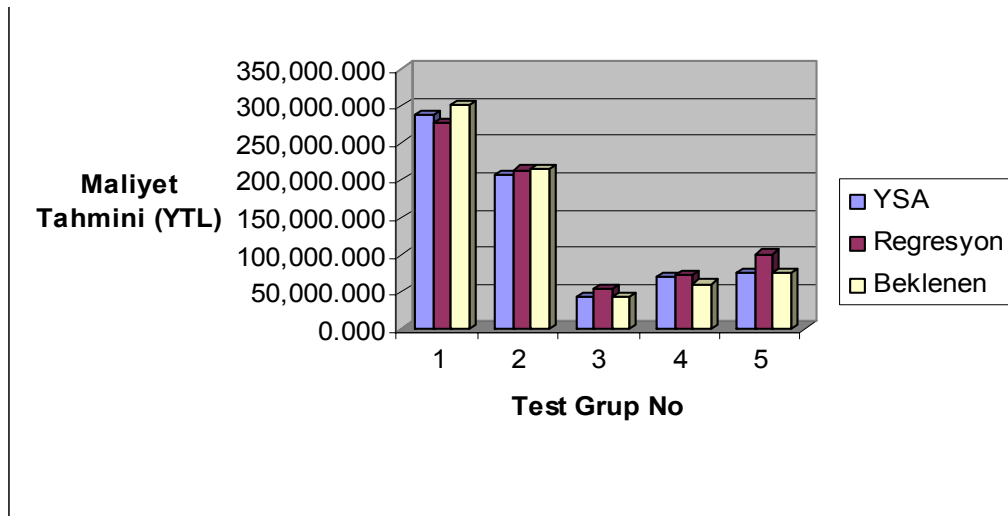
4.4. Maliyet Tahminine Yönelik Bulguların Karşılaştırılması

BFY esaslı maliyet değerleri karşılaştırma düzlemi kabul edilerek, gerek YSA gerekse Regresyon Analizi ile yapılan hesaplamalar sonucu belirlenen maliyet tahminlerinin sayısal değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.2'de iki yöntemin her test grubu elemanı için tahmin değerleri ve beklenen değerler (BFY) görülmektedir.

Çizelge 4.2. Regresyon Analizi ve YSA yöntemlerinin her test grubu elemanı için tahmin değerleri ve beklenen değerler

Test Grup No	1	2	3	4	5
YSA	288 156,6	207 692,7	43 566,8	69 701,5	76 383,9
Regresyon	276 139,7	214 038,8	54 976,7	72 055,8	101 141,7
Beklenen (BFY)	302 252,3	214 390,2	44 460,6	61 077,8	76 357,1

Her iki yöntemin verilerinin BFY ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılabilmesi amacı ile elde edilen verilerin grafiksel gösterimi Şekil 4.10'da sunulmuştur.



Şekil 4.10. Beklenen maliyetlerle Regresyon Analizi ve YSA tahmin değerleri

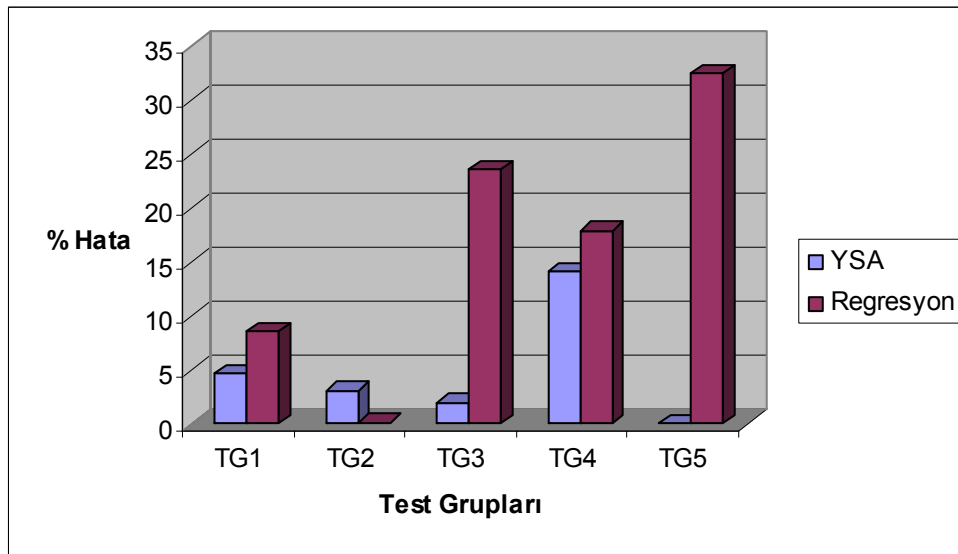
Ayrıca BFY esaslı maliyet değerleri karşılaştırma düzlemi olarak kabul edilerek, gerek YSA gerekse Regresyon Analizi ile yapılan hesaplamalar sonucu belirlenen maliyet tahminlerinin hata oranları da incelenmiştir. Sonuç olarak YSA'ların, Regresyon Analizi'ne göre daha az hata ile maliyet tahmini yapabildiği anlaşılmıştır ($\% 4,79 < \% 16,58$). Çizelge 4.3'te iki yöntemin her

test grubu elemanı için “tahmin yüzde hata değerleri” ve “bu değerlerin ortalamaları” görülmektedir.

Çizelge 4.3. Regresyon Analizi ve YSA ile yapılan tahminlerin % hata değerleri ve % hata değerlerinin ortalamaları

Test Grupları	TG1	TG2	TG3	TG4	TG5	Ortalama
YSA Hata (%)	4,66	3,12	2,01	14,12	0,04	4,79
Regresyon Hata (%)	8,64	0,16	23,65	17,97	32,46	16,58

Her iki yöntemin hata oranlarının karşılaştırılabilmesi için elde edilen verilerin grafiksel gösterimi Şekil 4.11’de sunulmuştur.



Şekil 4.11. Regresyon Analizi ve YSA ile yapılan tahminlerin % hata değerleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Yapılan çalışmaların ardından varılan sonuçlar aşağıdaki gibidir;

5.1.1. Yapı geometrik özelliklerinin değişimlerinin maliyetlere etkileri

- Yapı son kat yüksekliği ile yapı maliyeti arasındaki ilişki irdelendiğinde aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır; Başlangıçta bina yüksekliğinin artması ile lineer olarak artan maliyet değeri, belli bir değerden sonra azalarak artmaktadır. Buradan hareketle bina yüksekliğinin 36 m ve daha fazla olduğu mimari dizaynlarda, daha düşük birim maliyetlere yaklaşılabileceği, 42 m'den daha yüksek yapılar için yükseklik artışının birim maliyetlere etkisinin önemli miktarda azalacağı tespiti yapılabilir.
- Bir katta bulunan daire sayısı ile yapı maliyeti arasındaki ilişki incelendiğinde yapılan saptamalar aşağıdaki gibidir; Kat planında daire sayısı arttıkça maliyetlerin lineer olarak arttığı, üç daireden sonra daire sayısının artmasının maliyetlerde bir düşüş yarattığı görülmektedir. Çalışmaya esas olan projelerde dörtten fazla dairenin aynı katta bulunduğu bir uygulama olmadığı için 5, 6 ya da daha fazla dairenin bir katta bulunduğu yapıların maliyet değişimleri incelenememiştir. Bu konuda yapılabilecek yeni çalışmalarla kattaki daire sayısının daha fazla arttırılmasının genel yapı maliyetine etkisinin daha detaylı analiz edilebileceği düşünülmektedir. Bu verilerle, bir katta 4 dairesi olan tasarımların, 2 ve 3 dairesi tasarımlara göre ortalama maliyetlerinin daha düşük olduğu ifade edilebilir.
- Toplam daire sayısının artışı ile yapı maliyetinin değişimi irdelendiğinde aşağıdaki tespitler yapılmıştır; Bir blokta 24 daire sayısına ulaşana kadar az eğimli doğrusal bir maliyet artışı görülürken, bu değer bir blok için en yüksek birim maliyete karşılık gelmekte ve daire sayısı 24'ün üzerine çıktığında

ortalama maliyetlerde daha büyük eğimli bir azalış dikkati çekmektedir. 52'nin üzerinde daire içeren blok uygulaması, örnekleme düzlemi içinde bulunmamakla beraber, mevcut verilere göre optimum maliyetli bir blok tasarımı esnasında en pahalı çözümün 24 dairesel yapılar olduğu anlaşılmaktadır.

- Kat alanının yapı maliyeti ile değişimi incelendiğinde edinilen bulgular aşağıdaki gibidir; Örnekleme düzlemindeki en düşük kat alanı değeri olan 180 m²'den 320 m²'ye kadar artan kat alanlarına karşılık, dik eğimli ve lineer olarak artan bir yapı maliyeti gözlenmektedir. 320-470 m² değerleri arasındaki kat alanı değişimleri, yapı maliyetinde önemli bir artmaya sebep olmazken, 470-610 m²'lik kat alanlarının bulunduğu kısımda grafiğin ilk kısmındakinden daha az bir eğimle lineer bir maliyet artışı görülmektedir. Bu verilerle, optimum maliyetli bir blok tasarımı için tip katların alanlarının 320-470 m² değerleri arasında seçilmesinin olumlu katkıları olabileceği düşünülmektedir.
- 542 m² ile 3725 m² arasında değişen farklı cephe alanlarına karşılık maliyetlerin aldığı değerler incelendiğinde; 542 - 2450 m² değerleri arasında lineer bir artış görülürken, 2450 m²'den sonraki cephe alanı artışına karşılık gelen maliyet artışlarının eğimi biraz daha düşük olan eğrisel bir yapıyı gösterdiği anlaşılmaktadır. Buradan, genel olarak cephe alanı ile maliyetlerin doğrusal ya da doğrusala çok yakın olarak arttığı çıkarımı yapılabilir.
- Cephe boşluk alanının 180 m²'den 355 m²'ye kadar arttığı bölümde maliyetin de azalan eğimde arttığı, bu değerden itibaren cephe boşluk alanının artmasına karşılık maliyetlerde, önce eğrisel sonra lineer olarak azalma olduğu görülmektedir. Bu durum, en büyük boşluk alanı olan 1165 m²'ye kadar devam etmektedir.
- Kat sayısının artışı analiz edildiğinde varılan sonuçlar aşağıdaki gibidir; En düşük maliyet 6 katlı bloklarda gerçekleşirken 11 kata kadar dik bir eğimle artan maliyetler, bu kat sayısından 13 kat sayısına kadar azalan oranda artmakta ve 13. kattan sonra 15. kata kadar kat sayısındaki herhangi

bir artmanın maliyette herhangi bir değişiklik oluşturmadığı gözlemlenmektedir. Bu veriler esas alındığında çok yüksek yapıların esas alınmayacağı durumlarda 6 katlı tasarımların, daha yüksek yapılar içinse 14 ve daha fazla katlı tasarımların daha düşük ortalama maliyetlerle gerçekleştirilebileceği anlaşılmaktadır.

- Ortalama daire alanının maliyetlere etkisi 90.5 m^2 - 166 m^2 'lik dairelerin alanlarına göre irdelendiğinde; 90.5 m^2 'den sonra 101 m^2 'ye kadarlık ortalama daire alanı artışı durumunda, önemli bir maliyet düşüşü görülmektedir. Bu değerden 116 m^2 'ye kadarlık alan artışları önemli maliyet artışlarına karşılık gelmektedir. 116 m^2 değerinden sonraki alan artışlarında daha az bir eğimle azalmaya başlayan maliyetler, 165 m^2 değerinde yerel minimum değerine ulaşmış, bu değerden sonra çok düşük bir eğimle artma eğilimi göstermektedir. Bu verilere göre 100 m^2 'lik daire alanları en düşük ortalama maliyetle gerçekleştirilebilirken bu alanın üzerindeki daireler için en pahalı daire alanı 116 m^2 'ye karşılık gelmektedir. Büyük alanlı dairelerin dizayn edilmesinde 165 m^2 ve üzerindeki alanlar optimum maliyetlere ulaşmaktadır.
- Kat alanı parametresinin yapı maliyeti hesaplamasındaki öneminin %8 olmasına karşılık ortalama daire alanı parametresinin öneminin %48 civarında bir değer alması; m^2 maliyeti esaslı maliyet tahmini yerine daire alanı esaslı maliyet tahminleri yapılmasının gerçeğe daha yakın sonuçlar verebileceğini işaret etmektedir.

5.1.2. YSA ve RA yöntemlerinin performansları

- YSA'nın Regresyon Analizi'ne göre daha az hata ile maliyet tahmini yapabildiği anlaşılmıştır ($\% 4,79 < \% 16,58$). Bu verilere göre YSA verileri RA verilerinin ortalama hata değerlerinin yaklaşık üçte biri oranında hata ile yapı maliyeti tahmini yapabilmektedir.

- Problemin çözümü için seçilen yöntem ne olursa olsun, bu yöntemin kullanılmasından sonra yapılacak değerlendirmeler için, insan faktörü ve onun deneyimi ön plana çıkmaktadır.
- Bir YSA'na girdi olacak verilerin miktarının artırılmasının (örnekleme uzayının genişletilmesinin), sonucun doğruya daha çok yaklaşmasında birincil derecede etkili olacağı tartışılmazdır. Fakat, çok sayıda, benzer nitelikte proje ve ilgili verilerin sağlanıp ön hesaplamaların yapılması, harmonize edilmesi ve ağa girilecek normlara getirilmesi bu yöntemin uygulanmasında en çok vakit ve enerji alan konu niteliğindedir.
- Gerek yapay sinir ağı yaklaşımında gerekse çoklu doğrusal regresyon analizinde kullanılan verinin hazırlanma süreci aynıdır.
- Her iki yaklaşımda da veri setinin oluşturulması için çok fazla zaman harcanması gerektiğinden, bu durum bir dezavantaj olarak belirlenmiş, dolayısıyla çalışmada “analiz için harcanan zaman” önem kazanmıştır.
- Yapay sinir ağı yaklaşımında girdi ve çıktı parametreleri bir defada ağa gösterilebilmekte ve ağın bu parametreler arasındaki ilişkiyi öğrenmesi beklenilmektedir. Ancak regresyon analizinde her bir çıktı parametresinin girdi seti ile ilişkisi ayrı ayrı belirlenmek zorundadır. Kullanılan yöntemlere bu açıdan bakıldığında, çoklu doğrusal regresyon analizinin sonunda yapılan testler ve sonuç değerlendirmesi için harcanan zamanın çok daha fazla olduğu görülmüştür.
- Yapay sinir ağı modellerinin kullanılması sırasında donanım bağımlı olunması, uygun ağ yapısının deneme yanılma yolu ile belirlenmesi, ağ parametrelerinin belirlenmesinde belirli bir kural olmayışı gibi bazı önemli olumsuzlukların sürekli olarak çalışmayı yavaşlattığı belirlenmiştir.
- İnşaat projelerinin erken tasarım aşamasında, projenin ihtiyaç duyacağı maliyet tahmini için yapay sinir ağı yaklaşımının hızlı ve verimli bir yöntem olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur.
- Ancak bu yaklaşımın kullanılabilmesi için geçmiş proje bilgilerine ihtiyaç duyulduğundan, bilgilerin doğru ve sağlıklı olarak arşivlenmesi sorunu ön plana çıkmaktadır.

- Ülkemiz inşaat sektöründe kamunun ve özel girişimin bu tür uygulamalar için henüz yeterli arşiv çalışmaları bulunmadığı yada geçmiş bilgilerden yararlanma düşüncesinin yerleşmediği dikkate alındığında, ileriki çalışmalar için de en büyük sorunun nitelikli bilgiye ulaşmak olacağı söylenebilir.
- YSA yöntemi ile elde edilen sonuçların tek ve mutlak çözüm değil, iyi çözümlerden biri olduğu unutulmadan bu yöntemin diğer tahmin yöntemleri ile birlikte kullanılmasının (hibrit yaklaşımlar), nihai tahminlere ulaşmada daha sağlıklı sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.
- Bu yaklaşımın kullanılması ile kısa süre içinde bütçelendirilmesi gereken projelerin yada yakın tarihli ihalelerin gerçeğe yakın maliyet tahminlerinin yapılması, gerekli ön verilerin sağlanmış ve işlenmiş olması kaydıyla, çok daha az hesaplama ve işlem süresi ile mümkün olabilmektedir.
- YSA simülasyon yazılımlarının sayılarının artması, lisans ücretlerinin yüksek miktarlarda olmaması, veri sayısının çok miktarda olmadığı ve kompleksliği fazla olmayan hallerde kişisel bilgisayarlarla kolaylıkla ve hızla işlem yapılabilme imkanı bulunması, bu yöntemin kullanılmasında olumlu hususlardır. Daha kompleks problemlerin çözümünde donanımların güçlendirilmesi ve daha spesifik amaçlı yazılımların kullanılması gerekmektedir. Böyle bir noktada, farklı seçenekler için yapılacak maliyet hesapları ile çözüm yolu ve araçlarının maliyet optimizasyonu sağlanabilmektedir.

5.2. Öneriler

- Farklı ağ mimarileri geliştirilerek en verimli olanının belirlenmesi ve kullanım kararının verilmesi, hesaplamacıların bilgi birikimi ve deneyimi ile orantılı bir başarı sağlamaktadır. Buna yönelik değişik konfigürasyonlardaki ağların dizayn ve test edilmesi ile maliyet tahmini simülasyonunu daha gerçekçi yapabilecek ve hata oranı daha düşük tahminde bulunabilecek ağların geliştirilmesi mümkün olabilecektir.

- YSA yöntemi ile elde edilen sonuçların tek ve mutlak çözüm değil, iyi çözümlerden biri olduğu unutulmadan bu yöntemin diğer tahmin yöntemleri ile birlikte kullanılmasının (hibrit yaklaşımlar), nihai tahminlere ulaşmada daha sağlıklı sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.
- Ortalama daire alanının maliyetlere etkisini gösteren Şekil 4.8. dikkatle incelendiğinde; 90.5 m²'den sonra 101 m²'ye kadarlık ortalama daire alanı artışı durumunda, önemli bir maliyet düşüşü görülmektedir. Bu değerden 116 m²'ye kadarlık alan artışları önemli maliyet artışlarına karşılık gelmektedir. 116 m² değerinden sonraki alan artışlarında daha az bir eğimle azalmaya başlayan maliyetler, 165 m² değerinde yerel minimum değerine ulaşmış, bu değerden sonra çok düşük bir eğimle artma eğilimi göstermektedir. Özellikle 90.5 m² ile 101 m²'lik kısımdaki şiddetli düşüş ve akabinde 116 m²'ye kadarlık alan artışlarının önemli maliyet artışlarına karşılık gelmesi iki ayrı yorum yapılmasına olanak vermektedir. Ya gerçekten 101 m²'lik daire alanı fazlası ile maliyet optimizasyonuna karşılık gelmekte yada bu değerlerin hesabında kullanılan verilerde problem bulunmaktadır. Bu çalışma esnasında, gerek metraj gerek keşif çalışmaları tekrar incelenmiş ve kayda değer bir yanlışlık gözlenmemiştir. Bu durumda ilgili birim fiyat analizlerinin bu açıdan değerlendirilmesi ve gerekiyorsa güncellenmesi, yapı maliyeti ve optimum daire alanı belirlenmesi çalışmalarına katkıda bulunabilecektir.
- Yapılar yalnız betonarme çok katlı bloklardan ibaret bulunmamaktadır. Gerek taşıyıcı sistemleri gerek kullanılan malzemeler açısından farklı tipteki yapıların maliyetleri için benzer çalışmaların yapılması, mevcut yöntemlerin gözden geçirilmesi ve hibrit yöntemler yardımı ile daha sağlıklı yapı maliyeti tahminlerinin yapılmasında önemli katkılar sağlayacaktır.
- Yapıların birbirine olan bitişiklikleri de maliyetleri direkt olarak etkilemektedir. Farklı bitişiklik durumları ve paylaşılan cephelerin oranları esas alınarak maliyet değişimlerinin irdelenmesi, tasarımcılara ve yatırımcılara değişik alternatifleri maliyetleri ile karşılaştırma imkanı verecektir.

KAYNAKLAR

Adeli H., Wu, M., "Regularization neural network for construction cost estimation", **J. Constr. Engrg. and Mgmt.**, 124 (1): 18-24 (1998).

Akınbingöl, M., Gültekin, A. T., "Bina üretimi yapım evresinde maliyet planlama ve denetimine yönelik bir maliyet yönetim modeli önerisi", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 20 (4): 499-505 (2005).

Akınbingöl, M. B., "Yapı üretiminde maliyet denetimi- yapım evresinde maliyet planlama ve denetimine yönelik bir maliyet denetim modeli önerisi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, 34: 36 (2003)

Altuntaş E, Çelik, T "Yapay Zeka'nın Tarihçesi, **Otak Yayıncılık**, İstanbul 18-54, (1998).

Ashworth, A., "Cost Studies of Buildings", **Longman Scientific & Technical**, Harlow, 14 (1999).

Basheer, I.A., Hajmeer, M. "Artificial neural networks: fundamentals, computing, design and application", **Journal of Microbiological Methods**, 43: 3-31 (2000).

Baykan, U.N., "İnşaat projelerinde kaynak ihtiyacının yapay sinir ağları yaklaşımıyla belirlenmesi", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 4 (2007)

Beeston, D., "A Future for Cost Modelling Building Cost Modelling and Computers", **Edited by Brandon, London, P.C.**, 18-19 (1987).

Carpenter G., A., Grossberg S. "Pattern Recognition by Self-Organizing Neural Networks", **Cambridge, MIT Press**, MA, 57-64 (1991).

Civalek, Ö., Ülker, M., "Dikdörtgen plakların doğrusal olmayan analizinde yapay sinir ağı yaklaşımı", **İMO Teknik Dergi**, Yazı 213; 3171-3190 (2004).

Çetin, M., Uğur, A., Bayzan, Ş., "İleri beslemeli yapay sinir ağlarında geriye yayılım algoritmasının sezgisel yaklaşımı", **Akademik Bilişim Konferansı ve Pamukkale Üniversitesi Bilgi Teknolojileri Kongresi**, Denizli, 5 (2006).

Doğan, S.Z., Arditi, D., Günaydın, H.M. "Bina maliyeti tahmininde genetik algoritma destekli yapay sinir ağı ile vaka tabanlı gerçekleştirme modellerinin

karşılaştırılması”, **TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, 3. Yapı İşletmesi Kongresi**, İzmir, 286-295 (2005).

Elazouni, A.,M., Nosair, I.,A., Mohieldin Y.,A., Mohamed A., “Estimating resource requirements at conceptual design stage using neural networks”, **Journal Of Computing In Civil Engineering**, 11 (4): 217-223 (1997).

Elmas, Ç., “Yapay Sinir Ağları”, **Seçkin Yayıncılık**, Ankara, 21-65 (2003).

Flanagan, R, Norman, G.,”Risk Management And Construction”, **Blackwell Science**, London, 16-17, (2002)

Günaydın H., M., Doğan Z.,S., “A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings”, **International Journal Of Project Management**, 22: 595–602 (2004).

Hinton, G.E., “How neural networks learn from experience”, **Scientific American**, 267: 144-151 (1992).

Hogan, D.B. “Modeling construction cost performance: a comprehensive approach using statistical, artificial neural network and simulation methods”, Doktora Tezi, **Graduate School of Arts and Sciences, Columbia University**, MI, 154-155 (1998).

İnternet : Türkiye Konut Yapı Kooperatifleri Birliği, “Eryaman Projesi Uydu Fotoğrafları” <http://www.turkkonut.com.tr/devamEdenProjeler.asp> (2007).

Kim, G.,H., An, S-H., Kang, K-I., “Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning”, **Building And Environment**, 39 (10): 1235-1242 (2004).

Liu, X. “An artificial neural network approach to assess project cost and time risks at the front of projects”, Yüksek Lisans Tezi, **The University of Calgary, Department of Civil Engineering**, Calgary, 117-123 (1998).

Malcolm, R., Horner, W. “Fundamentals of construction Project cost control systems”, **Organization and Management in Construction, 4 th Yugoslav Simposyum**, Dubrownik, 441 (1991).

Memmedov, M., Eryılmaz, H., “Yapay sinir ağları ile bazı istatistiksel modeller arasındaki ilişki”, **International XII. Turkish Symposium On Artificial Intelligence And Neural Networks**, TAINN, Çanakkale, 23-28 (2003).

Minsky M., Papert, S. “Perceptrons” **MIT Press**, Cambridge, 231-232 (1969).

Öztemel, E., “Yapay Sinir Ağları”, **Papatya Yayıncılık**, İstanbul, 13-57 (2003).

Pala, M., Çağlar, N., Elmas, M., “Yapay sinir ağları ile zemin-yapı dinamik etkileşimi”, **International XII. Turkish Symposium On Artificial Intelligence And Neural Networks**, TAINN, 65-69 (2003).

Polat, A. P., Çıracı, M., “Türkiye’de tasarım öncesinde maliyet tahmini için veri tabanı modeli”, **İTÜ Dergisi/a**, 4 (2): 59-69 (2005).

Ripley, B.D. “Pattern recognition and neural networks”, **Cambridge University Pres**, London, 28-43 (1996).

Ripley, B.D., Barndoff – Nielsen, O.E., Jensen, J.L., Kendall, W.S., “Statistical aspects of neural networks, in networks and chaos”, **Statistical And Probabilistic Aspects**, 105-126 (1993).

Sağiroğlu, Ş., Beşdok E., Erler M., “Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları I, Yapay Sinir Ağları”, **Ufuk Yayıncılık**, Kayseri, 11-80 (2003).

Saral, N., “Yapı üretim sürecinde maliyet enformasyon sisteminin yeri”, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 34-35 (1992).

Siqueira, I. “Neural network based cost estimating”, Yüksek Lisans Tezi, The Department of Building, **Civil and Environmental Engineering, Concordia University**, Montreal, 75-80 (1999).

Stern, H.S. “Neural networks in applide statistics”, **Technometrics**, 38 (3): 205-214 (1996).

Topçu, G., “Yapı üretim sürecinde maliyete ilişkin işlemler; tahmin”, **London, P.C.**, 18-19 (1987).

Topçu, G., “Planlama, kontrol”, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 84-85 (1989).

Ülker, M., Civallek, Ö. “Yapay sinir ağları ile eksenel yüklü kolonların burkulma analizi”, **Turkish J. Eng. Sci.**, 26: 117-125 (2002).

Wang, S. “An adaptive approach to market development forecasting”, **Neural Comput & Applic**, 8: 3-8 (1999).

Warren, S.S. “Neural networkş and statistical models”, **Proseedings of the Nineteenth Annual SAS Users Group Int. Conf.**, Cary, NC, USA, 345-352 (1994).

Weiss, S.M. ve Kulikowski, C.A. "Computer Systems That Learn" **Morgan Kaufmann Publishers Inc.**, San Francisco, CA, USA, 22-46 (1991).

Wiley, J. "Building Cost Manual", **The Joint Committee on Costs of Chicago Chapter of the American Institute of Architects and Appraisers Division of the Chicago Real Estate Board**, Chicago, 4 (1957).

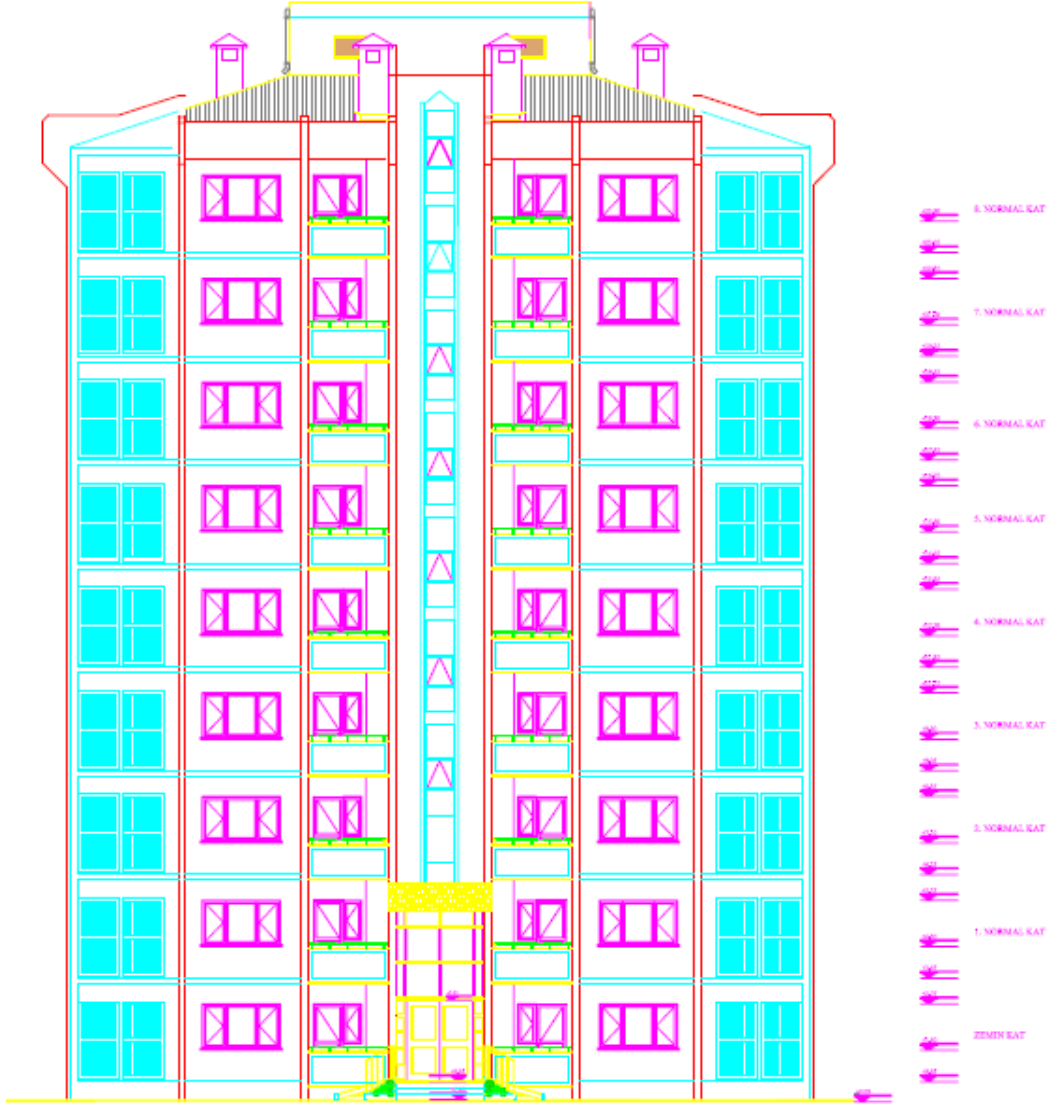
Yasdi, R. "Prediction of road traffic using a neural network approach", **Neural Comput & Applic**, 8: 135-142 (1999).

Yurtoğlu, E., "Yapay sinir ağları metodolojisi ile öngörü modellemesi: bazı makroekonomik değişkenler için Türkiye örneği", Uzmanlık Tezi, **Devlet Planlama Teşkilatı, Ekonomik Modeller ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü**, Ankara, 3-43 (2005).

Zhang, G.P. "Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model", **Neurocomputing**, 50: 159-175 (2003).

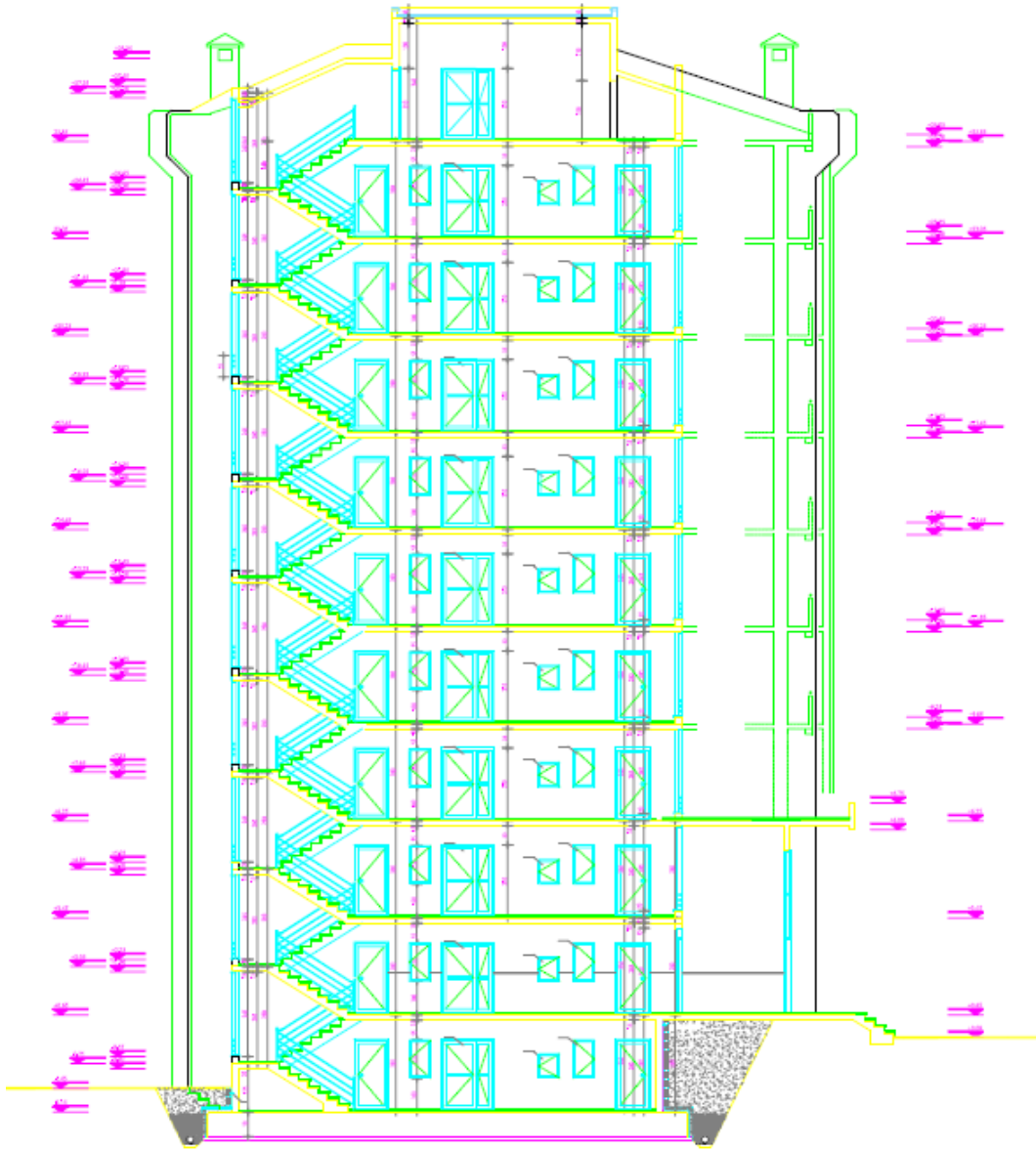
EKLER

EK-1 TOKİ Ankara Protokol Yolu Konutları B Blok çizimleri ve keşif özeti



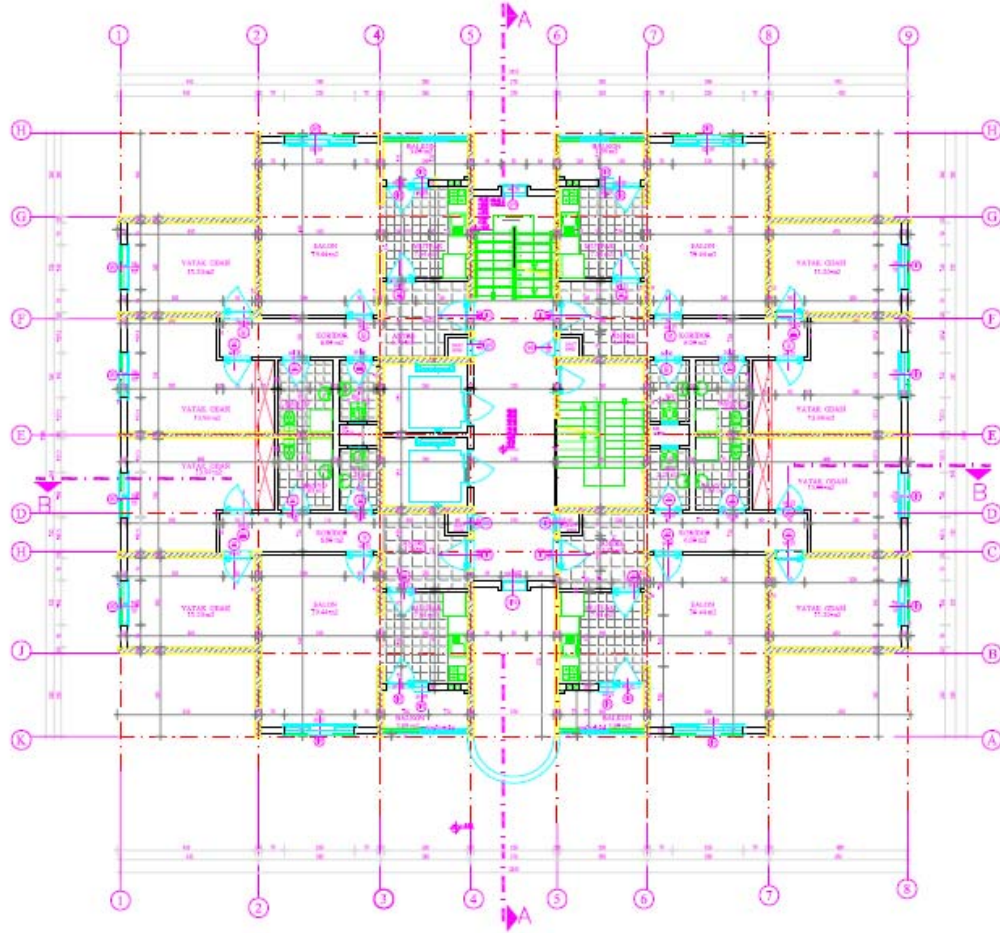
Şekil 1.1. Ön cephe

EK-1 (Devam) TOKİ Ankara Protokol Yolu Konutları B Blok çizimleri ve keşif özeti



Şekil 1.2. A-A kesiti

EK-1 (Devam) TOKİ Ankara Protokol Yolu Konutları B Blok çizimleri ve keşif özeti



Şekil 1.3. Tip kat planı

EK-1 (Devam) TOKİ Ankara Protokol Yolu Kon. B Blok çizimleri ve keşif Özeti

Çizelge 1.1. TOKİ Ankara Protokol Yolu 400 adet konut inşaatı B tipi Blok inşaat metraj icmalı

Sıra No	Poz No	Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
1	14.018	DOLGUNUN ELLE TOKMAKLAMARAK SIKIŞTIRILMASI	M3	226.610	2.99	677.56
2	15.006/1	MAKİNA İLE YUMUŞAK VE SERT KÜSKÜLÜK ZEMİNİN KAZILMASI	M3	1227.490	2.48	3,044.18
3	15.140/2D	TEMEL TABANINA EL İLE KUM-ÇAKIL SERİLMESİ	M3	135.150	11.19	1,512.33
4	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47.770	66.81	3,191.51
5	16.003	250 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	27.880	71.08	1,981.71
6	16.058/1	BS.20 HAZIR BETON	M3	1504.140	74.78	112,479.59
7	18.071/1	YATAY DELİKLİ 19*19*8.5 CM.FABR.TUĞLASI İLE YARIM TUĞLA DUVAR YAPILMASI	M2	295.550	8.31	2,456.02
8	18.071/3	YATAY DELİKLİ 19*19*13.5 CM.FABR.TUĞLASI İLE YARIM TUĞLA DUVAR YAPILMASI	M2	144.570	9.44	1,364.74
9	18.241	AHŞAP ÇATIYA 0.50 MM.GALVANİZLİ OLUKLU SAÇ İLE ÇATI ÖRTÜSÜ YAPILMASI	M2	482.810	16.34	7,889.12
10	18.460/1	ø150 MM SPIRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	MT	78.500	20.70	1,624.95
11	18.466/1	PLASTOMER ESASLI(-7°C,PB1-PB180)3 MM.POLY.KEÇE TAŞ.POLİMER BİTÜMLÜ ÖRT.2 KAT SU YAL.6M.	M2	938.310	29.40	27,586.31
12	19.050/1	ÇATI ARASINA DÖŞEME ÜZER.TİP 18 (6 CM) CAMYÜNO ŞİLTE İLE ISI YALITIMI	M2	463.500	5.03	2,331.41
13	19.054	3 CM POLİSTİREN KÖPÜĞÜ İLE ISI YALITIMI YAPILMASI	M2	32.010	4.35	139.24
14	19.056	2 DUVAR ARASINA (2.5 CM) POLİSTİREN KÖPÜĞÜ İLE ISI YALITIMI YAPILMASI	M2	145.600	2.45	356.72
15	19.101	400 KG. ÇİMENTO DOZLU TECRİTLİ ŞAP YAPILMASI	M2	12.240	10.66	130.48
16	21.011	BETONARME KALIP YAPILMASI	M2	403.920	10.93	4,414.85
17	21.015	RENDELİ KERESTEYLE ZİVAN.ÇIPLAK BETON,B.ARME KALIP	M2	3948.800	28.33	111,869.50
18	21.210	ÇAM KERESTEDEN AHŞAP OTURTMA ÇATI YAPMA (RENDESİZ)	M2	482.810	33.31	16,082.40
19	22.009/3	2 YÜZÜ KONTRAPLAK PRESİ BEYAZ ÇAMDAN İÇKAPI KANADI YAPIMI	M2	81.400	56.50	4,599.10

EK-1 (Devam) TOKİ Ankara Protokol Yolu Kon. B Blok çizimleri ve keşif Özeti

Çizelge 1.1. (Devam) TOKİ Ankara Protokol Yolu 400 adet konut inşaatı B tipi Blok inşaat metraj icmali

20	23.014	ø 8-12 MM İNCE NERVÖRLÜ ÇELİĞİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	61.646	1,176.38	72,519.12
21	23.015	ø 14-28 MM KALIN NERVÖRLÜ ÇELİĞİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	75.824	1,115.25	84,562.72
22	23.111	HER TÜR DEMİR KAPI PENCERE YAPILIP YERİNE KONMASI	KG	191.280	3.70	707.74
23	23.152	KUTU PROFİLLERLE PENCERE VE KAPI YAPILMASI	KG	2356.960	4.15	9,781.47
24	23.155	2.00 MM YERLİ DKP. SAÇDAN BÜKME KAPI KASASI YAPIMI	KG	5418.020	4.75	25,735.60
25	23.176	ÇEŞİTLİ DEMİR İŞLERİ YAPILMASI VE YERİNE KONULMASI	KG	90.000	3.15	283.50
26	23.220	DEMİR BORUDAN KAYNAKLA KORKULUK YAPILMASI	KG	3370.220	3.11	10,481.38
27	23.241	HER ÇEŞİT PLASTİK İMALAT YAPILMASI YERİNE TESPİTİ	KG	405.660	6.47	2,624.62
28	23.243/A	ALÜMİNYUM ASMA TAVAN Y.(BASKI ÇİTASIZ,ELOKSALLI)	M2	91.770	20.78	1,906.98
29	23.244/E	İSİ YALITIMSIZ ALÜMİN.DOĞRAMA (ELEKTROSTATİK TOZ BOYALI)	KG	46.200	14.60	674.52
30	23.244/L	İSİ YALITIMLI ALÜMİN.DOĞRAMA (ELEKTROSTATİK TOZ BOYALI)	KG	40.040	15.98	639.84
31	24.062	ø 125 MM BİR UCU MUFLU PVC Y.BORUSU TESBİT MONTAJI	MT	115.200	5.99	690.05
32	24.064	ø150 MM PVC YAGMUR OLUĞU TEMİNİ VE YERİNE TESBİTİ	MT	56.520	9.29	525.07
33	25.005	YENİ AHŞAP YÜZEYİN 3 KAT YAĞLIBOYA İLE BOYANMASI	M2	657.400	11.93	7,842.78
34	25.015	DEMİR İMALT. 1KAT SÜLYEN 2KAT YAĞLIBOYA BOYANMASI	M2	490.980	7.71	3,785.46
35	25.034	AKRİLİK KALIN CEPHE KAP.MALZEMESİYLE KAPLAMA YAPIM.	M2	2335.710	7.03	16,420.04
36	25.036	BETON VE SIVANIN AKRİLİK,İNCE LATEXLE BOYANMASI	M2	948.380	4.88	4,628.09
37	25.047	YENİ SIVAYA RENKLİ VEYA BEYAZ 2KAT TUTKALLI BADANA	M2	294.050	1.79	526.35
38	25.048/1	YENİ SIVA YÜZLERİNE ÜÇ KAT BADANA BOYASI YAPILMASI	M2	8588.630	4.56	39,164.15
39	25.052	KATRAN BADANA YAPILMASI	M2	91.770	1.50	137.66
40	25.117	PVC ESASLI MALZEMELER İLE SÜPÜRGELİK YAPILMASI	MT	1779.700	3.16	5,623.85

EK-1 (Devam) TOKİ Ankara Protokol Yolu Kon. B Blok çizimleri ve keşif Özeti

Çizelge 1.1. (Devam) TOKİ Ankara Protokol Yolu 400 adet konut inşaatı B tipi Blok inşaat metraj icmali

41	25.120/4	TEKSTİL DÖŞ.KAPL.YAPMA (TAFTING BUKLE POLİPROPİLEN ES.,HALKALI HAVLI)	M2	1651.310	11.39	18,808.42
42	25.136	DEMİR, MADENİ İMALATI KOROZYONA KARŞI 1KAT BOYAMA	M2	136.520	3.35	457.34
43	26.041	HER RENK DÖZKARO MOZAYİKLE DÖŞEME KAPLAMASI YAPMA	M2	1.360	17.10	23.26
44	26.042	HERRENK DESENLI K.MOZAYİKLE DÖŞEME KAPLAMASI YAPMA	M2	174.360	19.20	3,347.71
45	26.072	HER RENKTE KARO FAYANSLA DUVAR KAPLAMASI YAPIMI	M2	370.000	23.90	8,843.00
46	26.191/1	100X200X9 MM DÖZ RENKLI GRE SERAMİKLE FUGALI DÖŞEME KAPLAMASI	M2	929.370	23.45	21,793.73
47	26.194/1	100X200X9 MM DÖZRENK GRE SERAMİKLE FUGALI DÜV.KAPLAMASI	M2	1241.570	16.00	19,865.12
48	26.206/A	3 CM RENKLI MERMER İLE DÖŞEME KAPLAMASI YAPILMASI (30cm X Serbest Boy)	M2	383.310	46.75	17,919.74
49	26.252	2 CM RENKLI MERMER PLAKLA DUVAR KAPLAMASI YAPIMI	M2	23.920	46.62	1,115.15
50	26.502	BEY.ÇİMENT. MERM.PİRİNÇLI SUNİ MERM.PLAKLARLA DÖŞEME KAPLAMASI	M2	128.090	30.25	3,874.72
51	26.622	RENKLI MERMER PLAKLA MERDİVEN BASAMAĞI KAPLANMASI	MT	415.200	27.16	11,276.83
52	26.701	3 CM BEYAZ MERMER PLAKLARLA DIŞ DENİZLİK YAPILMASI	M2	117.920	48.50	5,719.12
53	26.702/A	3 CM LİK RENKLI MERMER İLE DIŞ DENİZLİK YAPILMASI	M2	39.780	59.26	2,357.36
54	27.501	ALT 250-ÜST 300 KG.ÇİMENTO DOZLU DÖZ SIVA YAPIMI	M2	1819.240	8.06	14,663.07
55	27.504	METAL KAPI KASA ARKALARININ BETON HARCIYLA DOLDURULMASI	M2	199.470	7.31	1,458.13
56	27.507	500 KG ÇİMENTO DOZLU HARÇLA TEK KAT DÖZ SIVA YAPMA	M2	1254.890	5.94	7,454.05
57	27.528/1	ALÇI ASTAR (PERDAH)YAPILMASI	M2	2693.960	1.41	3,796.48
58	27.528/2	SIVA ÜZERİNE SATEN ALÇI KAPLAMA YAPILMASI	M2	7027.170	3.84	26,984.33
59	27.531	KİREÇ-ÇİMENTO KARIŞIMI HARÇLA DÖZ SIVA YAPILMASI	M2	7495.900	6.34	47,524.01
60	27.535	ALT 350DZ ÇİM.ÜST 0.1M3/250KG.KRÇ-ÇİM.TAVAN SIVASI	M2	21.750	6.06	131.81

EK-1 (Devam) TOKİ Ankara Protokol Yolu Konutları B Blok çizimleri ve keşif özeti

Çizelge 1.1. (Devam) TOKİ Ankara Protokol Yolu 400 adet konut inşaatı B tipi Blok inşaat metraj icmali

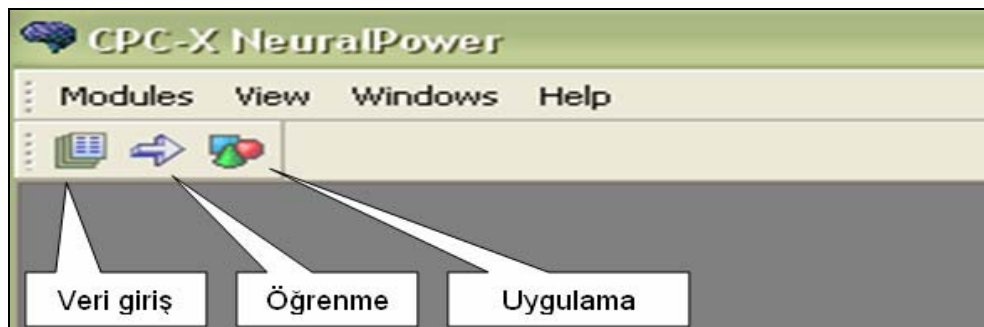
61	27.561/1	PERLİTLİ ÇİMENTOLU İZOLASYON SIVASI (32 MM) YAPIMI	M2	12.240	18.29	223.87
62	27.566	RENKLİ DÜZ MOZAYİK DÖŞEME KAPLAMASI YAPIMI	M2	9.200	13.61	125.21
63	27.581	200 DZ ÇİMENTO HARCILYLA TESVİYE TABAKASI YAPIMI	M2	3443.310	4.21	14,496.34
64	27.583	2.5 CM KALINLIĞINDA 400 KG ÇİMENTO DZ ŞAP YAPIMI	M2	1669.190	5.91	9,864.91
65	27.585	2.5 CM KALINLIĞINDA 500 KG ÇİMENTO DZ ŞAP YAPIMI	M2	214.540	6.15	1,319.42
66	28.063/2	6 MM NORMAL DÜZ CAM TAKMA (MADENİ KONST.ÇİTA İLE)	M2	4.290	18.03	77.35
67	28.078	4 MM BUZLU CAM TAKMA (MADENİ KONSTRÜKS.ÇİTA İLE)	M2	38.470	13.83	532.04
68	28.097	4+4 MM ÇİFT CAM PENC.ÜNİTESİ(MADENİ KONST.ÇİTAYLA)	M2	430.760	43.90	18,911.24
					Toplam	855,958.47

EK-2 Kullanılan paket program

Ele alınan problemin yapısına uygun YSA yaklaşımını gerçekleyebilen paket yazılımların sayısı ve çeşitliliği gün geçtikçe artmaktadır. YSA analizinde, çalışmanın amacına uygunluğu, kullanım kolaylığı ve sonuçların gösterimi açısından en uygun yazılımlardan biri olan, *CPC-X NeuralPower* paket programı kullanılmıştır.

NeuralPower programı kullanıcı tarafından girilen ve girdi-çıkı setinden oluşan verileri “Hızlı GY algoritması (Quick propagation-QP), Artımlı GY algoritması (Incremental Backpropagation-IBP), Yığın GY algoritması (Batch Back Propagation-BBP), Genetik algoritma (Genetic Algorithm-GA) ve Levenberg algoritması” kullanarak analiz edebilmektedir [Baykan, 2007].

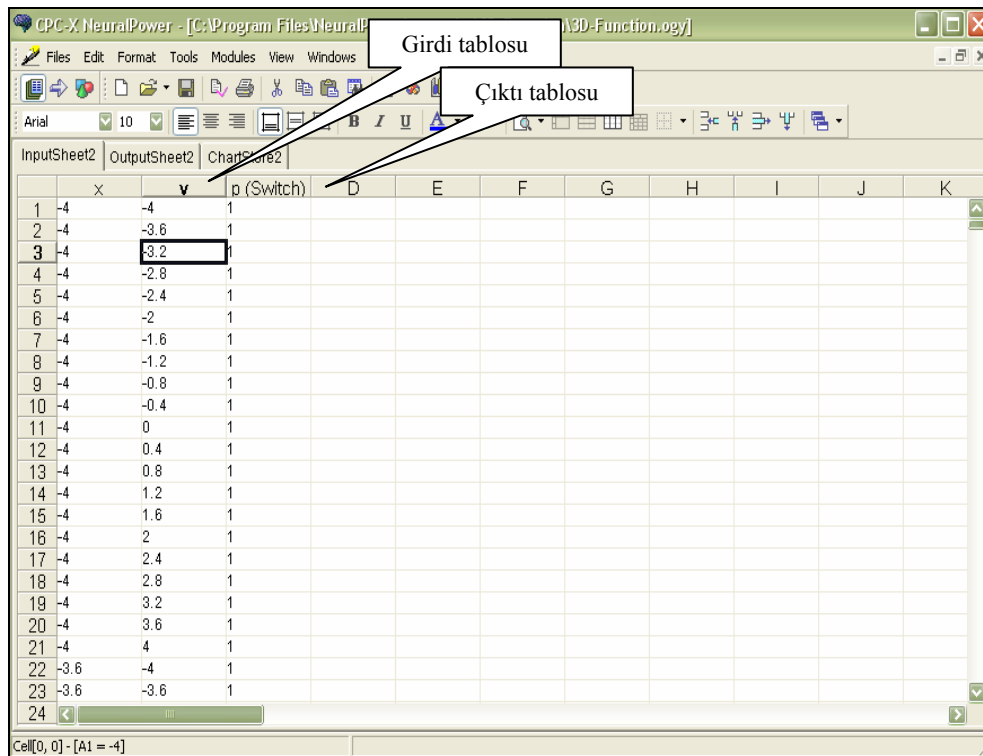
Program açılışta kullanıcıya üç modül sunmaktadır (Şekil 2.1). Bunlar sırasıyla, verilerin girilmesi ve bir veri dosyasına kaydedilmesi için *veri dosyası editör (Data file editor) modülü*, öğrenmeye ilişkin parametrelerin belirlenebilmesi ile öğrenme aşaması için *öğrenme (Learning) modülü* ve öğrenen ağı test edilmesi ve sonraki uygulamalarda kullanılabilmesi için *uygulamalar (Applications) modülü*dür [Baykan, 2007].



Şekil 2.1. Program açılış ekranı

EK-2 (Devam) Kullanılan paket program

Veri dosyası editörü (Şekil 2.2.), problemi tanımlayan girdi ve çıktı setlerinin programa girilerek, “.ogy” uzantılı bir dosyaya kaydedilmesini sağlar. Girdi ve çıktı tablolarındaki veriler düzenlenebilir, aralarındaki ilişkilere ait bazı istatistikler görülebilir, kullanıcının tanımladığı grafikler değerlendirilebilir. Bu dosya öğrenme aşamasında çağrılarak, öğrenme süreci başlatılır [Baykan, 2007].



The screenshot shows the 'Girdi tablosu' (Input table) with the following data:

	x	y	p (Switch)
1	-4	-4	1
2	-4	-3.6	1
3	-4	-3.2	1
4	-4	-2.8	1
5	-4	-2.4	1
6	-4	-2	1
7	-4	-1.6	1
8	-4	-1.2	1
9	-4	-0.8	1
10	-4	-0.4	1
11	-4	0	1
12	-4	0.4	1
13	-4	0.8	1
14	-4	1.2	1
15	-4	1.6	1
16	-4	2	1
17	-4	2.4	1
18	-4	2.8	1
19	-4	3.2	1
20	-4	3.6	1
21	-4	4	1
22	-3.6	-4	1
23	-3.6	-3.6	1
24			

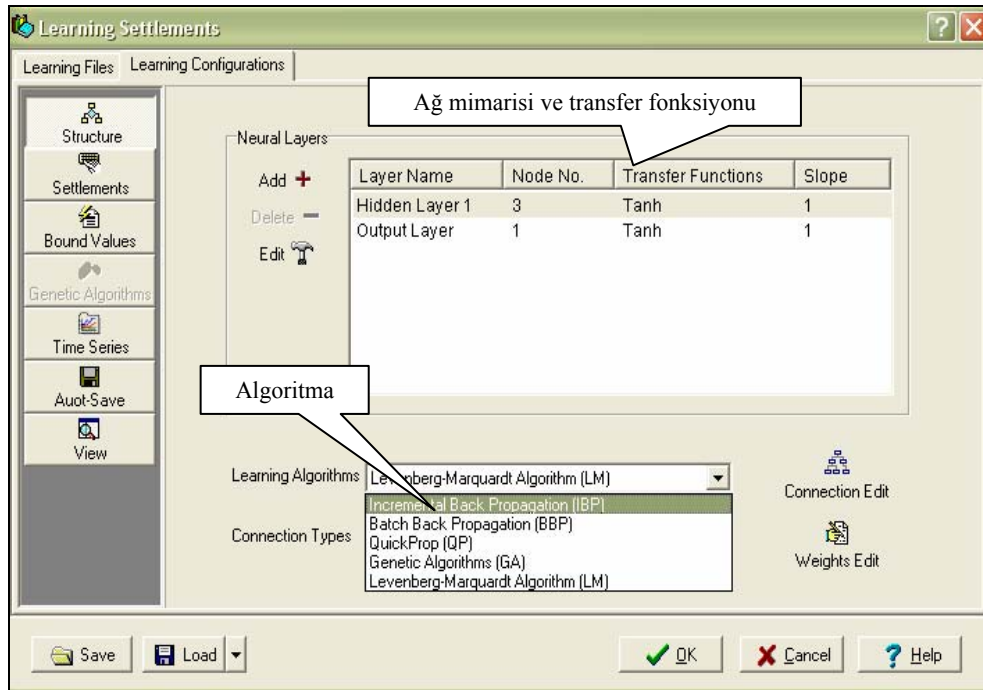
The 'Çıktı tablosu' (Output table) is empty.

Şekil 2.2. Program veri editörü modülü

Öğrenme modülüne geçildiğinde (Şekil 2.3 ve Şekil 2.4), program kullanıcıdan öğrenme parametrelerini belirlemesini ister. Burada ağın mimarisi (gizli katman sayısı, transfer fonksiyonu, bağlantı tipi), kullanılacak algoritma, öğrenme ve momentum katsayısı tanımlanarak, verilerin ölçeklenmesine (normalizasyon) ilişkin detaylar ve ağın durdurma kriteri belirlenir. Yine bu modülde seçilen ağı

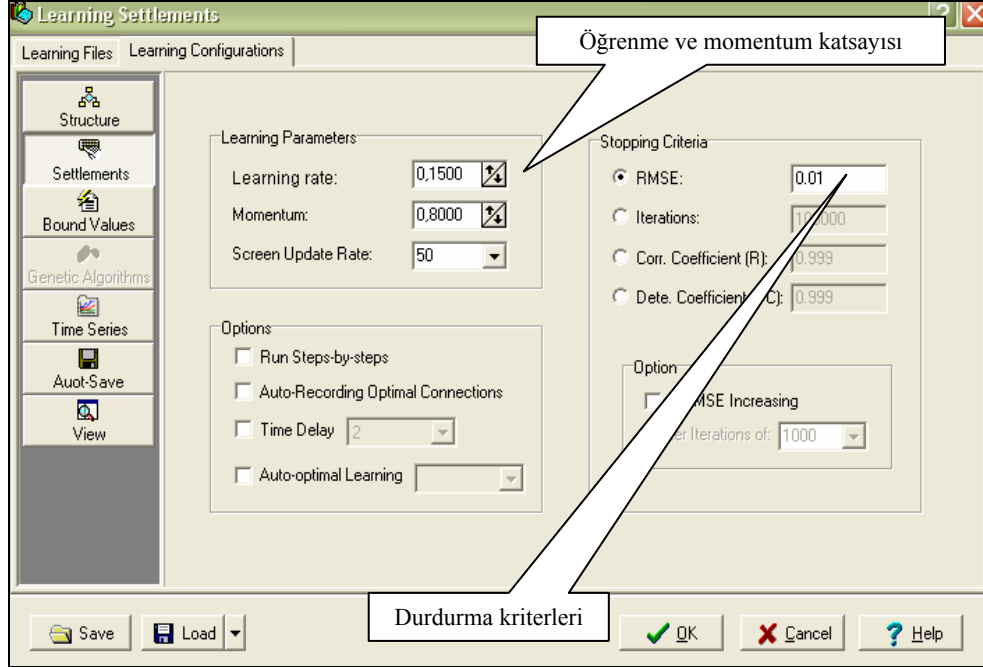
EK-2 (Devam) Kullanılan paket program

mimarisine bağılı olarak ağırlıklar ve bağlantıların durumu gözlenebilir ve bunların her biri ayrı ayrı düzenlenebilir (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6) [Baykan, 2007].

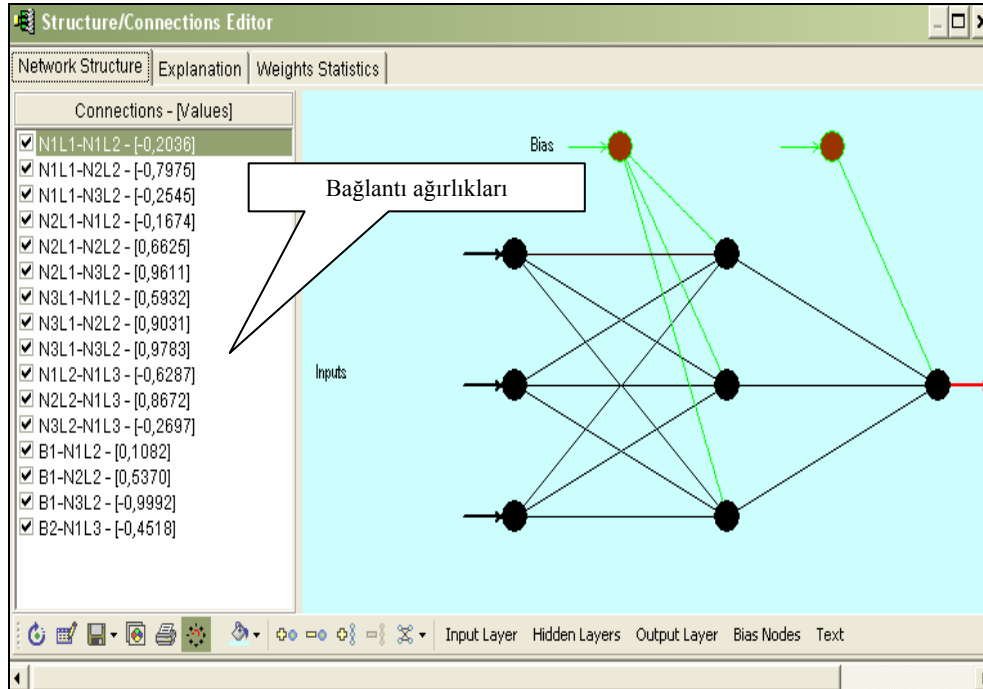


Şekil 2.3. Ağ mimarisinin ve kullanılacak algoritmanın seçilmesi

EK-2 (Devam) Kullanılan paket program

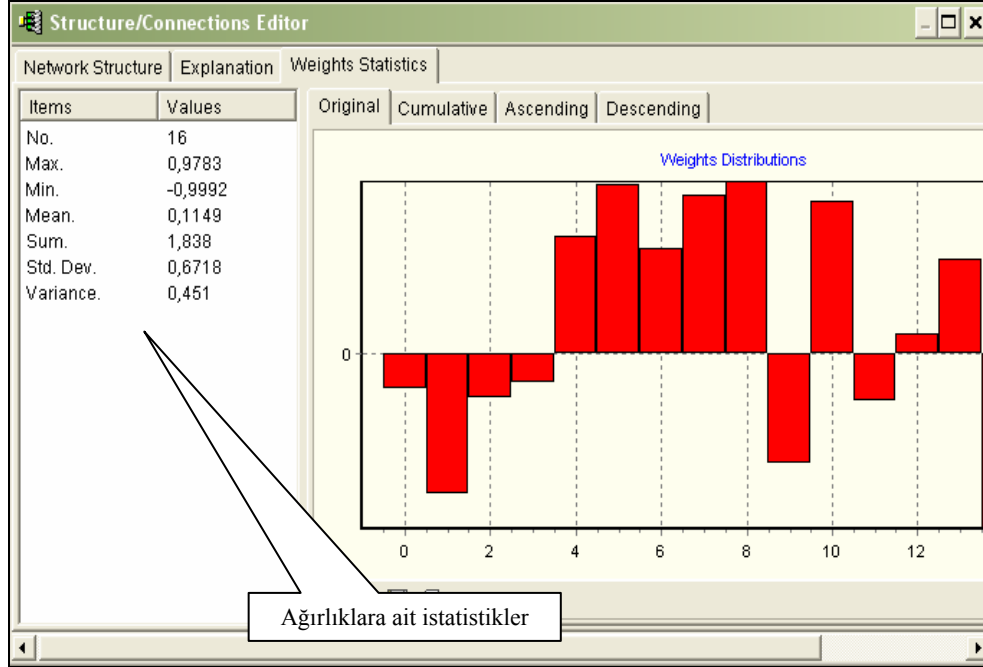


Şekil 2.4. Öğrenme yapılandırma ayarları



Şekil 2.5. Ağ yapısı/bağlantı ağırlıkları

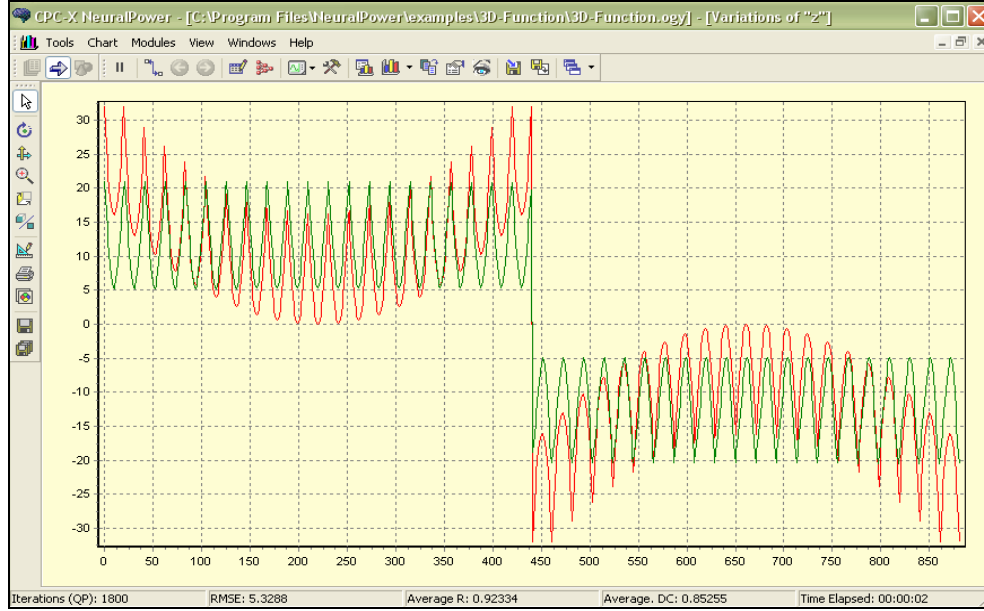
EK-2 (Devam) Kullanılan paket program



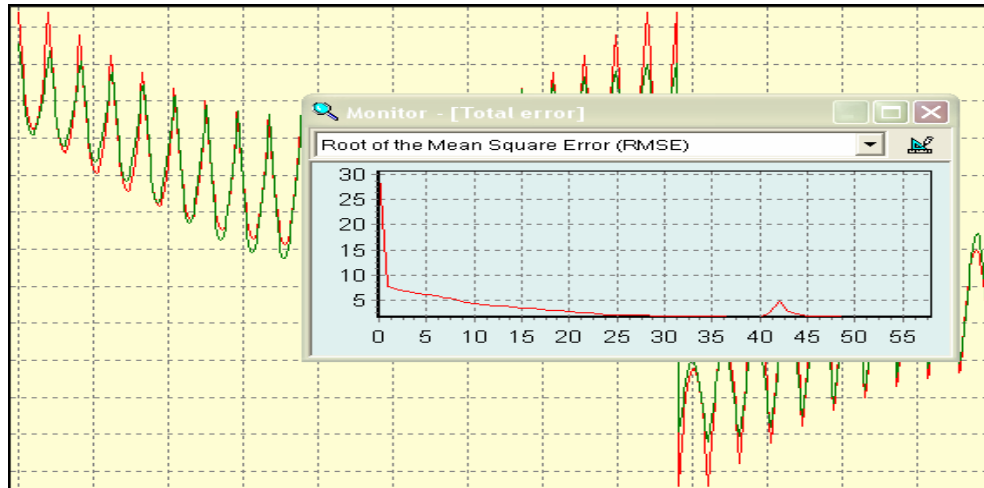
Şekil 2.6. Ağ yapısı/ağırlık istatistikleri

Öğrenme işlemi, öğrenmeye ilişkin parametrelerin belirlenmesinin ardından başlatılır. Bu aşamada, verilen giriş değerlerine karşılık ağıın ürettiği çıktı değerleri, ağıın toplam hatası, geçen zaman ve iterasyon sayısı gibi değerler grafiksel biçimde görüntülenir (Şekil 2.7. ve Şekil 2.8.) [Baykan, 2007].

EK-2 (Devam) Kullanılan paket program



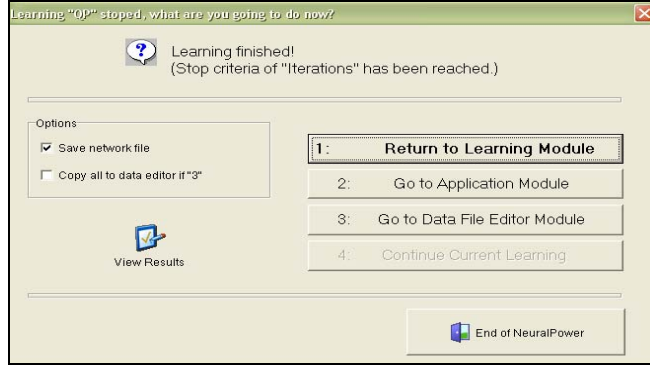
Şekil 2.7. Öğrenme işlemi



Şekil 2.8. Ağın hata grafiğinin izlenmesi

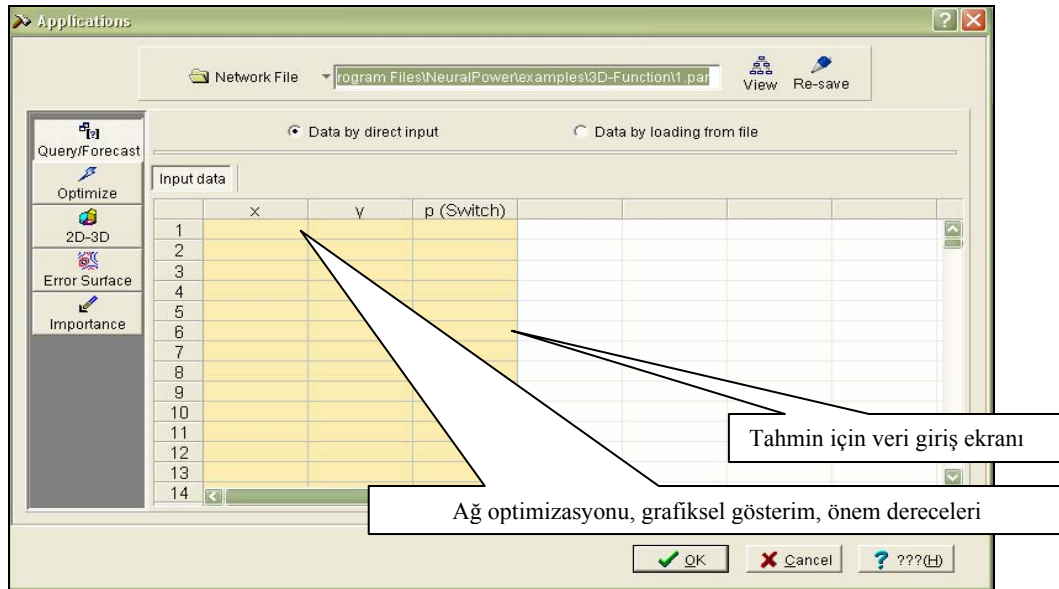
Belirlenen durdurma kriterine ulaşıldığında (Şekil 2.9), öğrenme işlemi tamamlanmış ağ, “.par” uzantılı bir dosyaya kaydedilir. Bu dosya daha sonra ağın test edilmesi için kullanılır [Baykan, 2007].

EK-2 (Devam) Kullanılan paket program



Şekil 2.9. Öğrenme işleminin tamamlanması

Ağın performansı uygulamalar modülünde test edilebilir. Bu modülde kullanıcıdan ağın daha önce görmediği örnekler ait verilerin girilmesi beklenir. Yine bu modül kullanılarak, ağın optimizasyonu gerçekleştirilebilir; ağın 2 ve 3 boyutlu grafikleri, bağlantı ağırlıklarının hata düzeyini girdi olarak kullanılan verilerin önem derecesi görüntülenebilir [Baykan, 2007].



Şekil 2.10. Uygulamalar modülü

EK-3 SPSS paket programı ile yapılan regresyon analizi çıktıları

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	OrtDai Alani, TopDai Say, DaiSay, CephBosl, KatSay, CephAlani, SonKat Yuk, KatAlani ^a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Maliyet

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.942 ^a	.888	.870	.0275718624	.888	48.699	8	49	.000	1.831

a. Predictors: (Constant), OrtDaiAlani, TopDaiSay, DaiSay, CephBosl, KatSay, CephAlani, SonKatYuk, KatAlani

b. Dependent Variable: Maliyet

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.296	8	.037	48.699	.000 ^a
	Residual	.037	49	.001		
	Total	.333	57			

a. Predictors: (Constant), OrtDaiAlani, TopDaiSay, DaiSay, CephBosl, KatSay, CephAlani, SonKatYuk, KatAlani

b. Dependent Variable: Maliyet

EK-3 (Devam) SPSS paket programı ile yapılan regresyon analizi çıktıları

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	.100	.070	1.434	.158	-.040	.241		
	SonKatYuk	29778.158	17903.282	.436	1.663	-.6199.834	65756.150	.033	30.155
	DaiSay	-529736	309603.5	-.655	-1.711	-.1151907.271	92435.661	.016	64.284
	TopDaiSay	-6379.091	11811.718	-.119	-.540	-.30115.627	17357.445	.047	21.410
	KatAlani	4444.784	2472.266	.814	1.798	-.523.421	9412.989	.011	90.012
	CephAlani	87.214	131.017	.122	.666	-.176.074	350.502	.068	14.686
	CephBosl	1743.485	234.705	.711	7.428	1271.828	2215.143	.249	4.015
	KatSay	-45959.0	41450.655	-.240	-1.109	-.129257.236	37339.183	.049	20.612
	OrtDaiAlani	-8391.819	5341.423	-.357	-1.571	-.19125.811	2342.173	.044	22.637

a. Dependent Variable: Maliyet

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions								
				(Constant)	SonKatYuk	DaiSay	TopDaiSay	KatAlani	CephAlani	CephBosl	KatSay	OrtDaiAlani
1	1	8.460	1.000	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
	2	.273	5.569	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.00	.00
	3	.156	7.374	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.06	.00	.00
	4	.064	11.498	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.43	.00	.01
	5	.028	17.398	.03	.00	.00	.02	.01	.01	.42	.00	.01
	6	.010	29.517	.00	.06	.00	.26	.00	.58	.01	.01	.00
	7	.007	35.348	.04	.00	.01	.13	.01	.35	.00	.46	.00
	8	.003	56.273	.03	.92	.02	.53	.01	.00	.05	.50	.01
	9	.000	140.274	.90	.01	.96	.04	.97	.05	.00	.02	.96

a. Dependent Variable: Maliyet

Residuals Statistics^a

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	*****	*****	*****	.0720833813	58
Residual	*****	*****	*****	.0255638768	58
Std. Predicted Value	-1.637	1.822	.000	1.000	58
Std. Residual	-1.490	3.911	.000	.927	58

a. Dependent Variable: Maliyet

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	UĞUR, Latif Onur
Uyruğu	T.C.
Doğum tarihi ve yeri	17.07.1968 Kayseri
Medeni hali	Evli
Tel	(312) 436 30 00 / 312
e-mail	latifuğur@mynet.com , latif@mng.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yük. Lisans	Gazi Üniversitesi /Yapı Eğitimi	2003
Ön Lisans	Anadolu Üniversitesi/Sosyal Bilimler	2003
Lisans	Anadolu Üniversitesi/İktisat	1998
Lisans	İstanbul Teknik Ün./İnşaat Müh.	1990
Lise	Ankara Atatürk Lisesi	1985

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1990	Kordes Engineering (Almanya)	Teknik Ressam
1991-1994	Mavi Şehir 85 Koop. (Ankara)	Şantiye Şefi
1995-2000	Otka İnş. (Ankara, Moskova, İzmir)	Şantiye Şefi
2000-2004	Gazi Üniversitesi	Proje Uyg. Görevlisi
2005	Günay İnş. (Irak)	Planlama ve TKY Müh.
2006-	MNG Holding	Sözleşme Risk Yön.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Uğur, L.O. “Modern İnşaat Yönetimi”, **Alter Yayıncılık**, Ankara, (2006)
2. Uğur, L.O. “İnşaat Sektöründe Riskler ve Risk Yönetimi”, **Türkiye Mütcaahhitler Birliğı**, (2006)
3. Uğur, L.O. “TMB Üyesi İnşaat Firmalarının Planlama, Yapı Maliyeti Hesaplama ve Risk Yönetimi Yaklaşımları”, **Türkiye Mütcaahhitler Birliğı**, (2007)
4. Çelik, H., Kanıt, R., Uğur, L.O. “Ankara İli ve Çevresinde Eşdeğer Jeolojik Formasyonlardan Sağlanan Kırmataş Agregaların Beton Yapımına Uygunluğu”, **Politeknik**, 7 (4): 341-351 (2004)
5. Kanıt, R., Uğur, L.O. “Süre Kısıtlı İnşaat Projelerinde İşgücü Maliyetinin CPM İle Analizi”, **Politeknik**, 7 (2): 159-168 (2004)
6. Uğur, L.O., Erdal, M., Baykan, U.N. “Yapım İşleri Genel Şartnamesi’nde İşveren İle Yüklenicinin Sorumluluk Paylaşımının Proje Maliyetine Etkisi”, **Selçuk Ün., Tek. Bil. Yük. Ok., Teknik Online Dergi**, 5 (3): 133-149 (2006)
7. Uğur, L.O., Baykan, U.N., Erdal, M. “FIDIC İnşaat İşleri Genel Şartnamesi’nde Sorumluluk ve Risk Dağılımının Proje Maliyetine Etkisi”, **Selçuk Ün., Tek. Bil. Yük. Ok., Teknik Online Dergi**, 5(3): 111-132, (2006)
8. Atımtay E., ve ark. Düzlem Dışı Yüklenen Yığma Yapıların Deneysel Davranışı”, **Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı**, ODTÜ, (2005)
9. Atımtay E., ve ark. “Depreme Maruz Yığma Duvarın Kırılması ve Deprem Yönetmeliğinin İrdelenmesi”, **Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi**, Bildiriler Kitabı, (1): 232-241 (2005)

İlgi Alanları

Bilim, Teknoloji, Mimari, Türk Sanat Müziğı, Klasik Batı Müziğı, Opera, Bale, Resim, Kozmoloji, Felsefe, İlahiyat.

