

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BETON YOLLARDA YÜZEYDEKİ SÜRTÜNME KATSAYISI KAYBININ  
YAPAY SİNİR AĞLARIYLA BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Özlem BATTAL**

**ARALIK 2012  
GÜMÜŞHANE**

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BETON YOLLARDA YÜZEYDEKİ SÜRTÜNME KATSAYISI KAYBININ  
YAPAY SİNİR AĞLARIYLA BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Özlem BATTAL**

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“İnşaat Yüksek Mühendisi”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16.11.2012**

**Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 19.12.2012**

**ARALIK 2012**

## KABUL ve ONAY

**Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ** danışmanlığında **Özlem BATTAL** tarafından hazırlanan **“BETON YOLLARDA YÜZEYDEKİ SÜRTÜNME KATSAYISI KAYBININ YAPAY SİNİR AĞLARIYLA BELİRLENMESİ”** bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selahattin ALBAYRAK

ONAY

Bu tez .... / ..... / 2012 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Temel BAYRAK  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**ÖZET**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BETON YOLLARDA YÜZEYDEKİ SÜRTÜNME KATSAYISI KAYBININ  
YAPAY SİNİR AĞLARIYLA BELİRLENMESİ**

Özlem BATTAL

Gümüşhane Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ

2012, 94 Sayfa

Karayolu için en öncelikli performans kriterlerinden biri, belirli bir hızla seyreden bir taşıtın tekerlek lastiği ile yolun yüzeyi arasında oluşan kayma-sürtünme katsayısıdır. Kayma-sürtünme katsayısı araçların seyir güvenliği için çok önemlidir. Hareket kazandırmaktan çok, özellikle yağışlı havalarda iniş eğimli yollar, kurba, kavşak gibi manevra sahalarında hareketi yönlendirme, hızı azaltma-durdurma açılarından daha fazla önem arz etmektedir. İklim tesirleri etkisindeki bir yolda ıslak sürtünme katsayısı, üzerinden geçen araçların özelliklerine, hareket şekillerine ve yol yüzeyini oluşturan malzemenin cilalanmaya direncine bağlı olarak zaman içinde önemli oranlarda azalabilmektedir. Mevcut malzemeyle yol yüzeyi oluşturmadan önce zaman içinde oluşabilecek sürtünme katsayısı kaybının gerçeğe mümkün olduğunca yakın oranda

önceden bilinmesi oldukça önemlidir. Bunun için, malzemenin laboratuvar ortamında hızlıca test edilerek cilalanmaya yatkın olup olmadığının belirlenmesi veya varsa eldeki verilerden hareketle model oluşturularak nihai durumunun tahmin edilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında eldeki verilerden hareketle Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılarak tahmin modeli kurulmuştur. Son yıllarda karmaşık yapıya sahip ve bilinen yöntemlerle çözülemeyen problemlere çözümler üretmek için yapılan araştırmaların bir sonucu olarak yeni bir bilgi işleme yöntemi olan YSA doğmuştur. Birçok alanda başarılı bir şekilde uygulanan yapay sinir ağları, ulaştırma mühendisliğinin çalışma alanlarında da kullanılmaktadır.

Çalışma kapsamında, laboratuvarında üretilmiş farklı ince agrega özelliklerine sahip betonlardan elde edilmiş numunelere uygulanmış hızlandırılmış cilalanma deneyinin farklı aşamalarında ölçülmüş ıslak sürtünme katsayısı değerleri kullanılarak YSA ile iki farklı tahmin modeli kurulmuştur. Kurulan modellerden elde edilen sürtünme katsayısı sonuçları ile laboratuvarında elde edilmiş sonuçlar karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Beton Yol, İnce Agrega, Sürtünme Kaybı, Yapay Sinir Ağı

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**DETERMINING SURFACE FRICTION LOSS OF CONCRETE ROADS  
BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

Özlem BATTAL

Gümüşhane University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Orhan KARPUZ  
2012, 94 pages

One of the primary performance criteria for highway is slip-friction coefficient which formed between cruising a specific speed of a vehicle tire and highway surface. Slip-friction coefficient is very important for the safety of the vehicles cruising. Instead of motion to give, especially in rainy weather, movement direction on maneuvering areas such as on landing inclined road, curve, intersection, are more importance than reduction-stop of the speed. Wet friction coefficient of a highway under the influence of climate effects, depending on characteristics of the vehicles passing over, types movement and polishing resistance of the material forming the road surface, may decrease over time in significant amounts. Before creating the highway surface with the existing material, to know friction coefficient that may occur over time to predict the loss rate as close as possible to reality is very important. To do this, the material to be tested quickly in the

laboratory to determine whether there is likely to polish, or must be estimated the final state using the available data by the model forming.

At this thesis study, with the available data, the estimated model is formed by using Artificial Neural Network (ANN). In recent years, solutions for the complex structured and in order to solve unsolved problems with the known methods, a new information processing system ANN have been developed. Artificial neural networks which is applied successfully in many areas, is used in the fields of transportation engineering studies.

In this study, two different estimated model is constructed with ANN by using the wet friction coefficient values is measured at different stages of accelerated polishing test which applied to samples are produced in the laboratory with different fine aggregate concretes which is obtained. The results of friction coefficient are obtained from the models are compared with the results obtained from laboratory.

**Key Words:** Concrete Road, Fine Aggregate, Friction Loss, Artificial Neural Network

## TEŞEKKÜR

"Beton Yollarda Yüzeydeki Sürtünme Katsayısı Kaybının Yapay Sinir Ağlarıyla Belirlenmesi" adlı Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde hazırlanan bu tezin ilgili alanda yararlı olmasını dilerim.

Bu tez çalışmasında desteğini gördüğüm, katkı sağlayan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ, Karadeniz Teknik Üniversitesi Of Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümünden Yrd. Doç. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Selahattin ALBAYRAK hocalarıma çok teşekkür ediyorum.

Tecrübeleriyle bu çalışmaya katkıda bulunan değerli hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR, Yrd. Doç. Dr. Şenol GÜRSOY, Sayın Yrd. Doç. Dr. Enver AKARYALI ve Arş. Gör. Mehmet Ali GÜCER hocalarıma, her zaman yanımda olup destek ve yardımlarını gördüğüm Fatih ŞAL'a, Arş. Gör. Seda Nur TURAN'a, Arş. Gör. Rahman ÇALHAN'a, Semih Dinçer KONAK'a, Erden CIBİR'a, Kübra AKBULUT'a, Zuhale KEKLİK'e, Tuğçe KÖROĞLU'na, Neslihan ASLAN'a, Sedanur YILMAZ'a çok teşekkür ediyorum.

Tezimin her aşamasında desteklerini çok yakından hissettiğim anneme, babama, kız kardeşlerime çok teşekkür ediyorum, bu tezimi onlara ithaf ediyorum.

Özlem BATTAL  
Gümüşhane, 2012



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
TEŞEKKÜRLER.....	VI
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Amaç.....	2
1.3. Karayolu Üst Yapısı.....	3
1.4. Beton Yollar.....	3
1.4.1. Beton Yolların Üstünlükleri.....	6
1.4.2. Beton Yolların Zaafiyetleri.....	9
1.4.3. Karayolu Kaplama Betonunda Kullanılan Malzemeler.....	10
1.4.3.1. Çimento.....	10
1.4.3.2. Karma Suyu.....	11
1.4.3.3. Katkıları.....	11
1.4.3.4. Donatı.....	12
1.4.3.5. Agrega.....	13
1.4.3.5.1. Agregalara Uygulanan Deneyler.....	14
1.4.3.5.1.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyleri.....	14
1.4.3.5.1.2. Aşınma Direnci (Los Angeles Aşınma Kaybı Yüzdesi ).....	14
1.4.3.5.1.3. Elek Analizi.....	15
1.4.4. Beton Kaplamanın Mekanik Özellikleri.....	15
1.4.4.1. Basınç Dayanımı.....	16
1.4.4.2. Çekme Dayanımı.....	16
1.4.4.3. Donma Çözünme Dayanımı.....	16
1.4.4.4. Aşınma Direnci.....	17

1.4.4.5.	Cilalanma Direnci .....	18
1.5.	Karayolu Kaplama Yüzeyi Özellikleri.....	18
1.5.1.	Geometrik Düzgünlük.....	19
1.5.2.	Pürüzlülük .....	20
1.5.2.1.	Mikro Pürüzlülük .....	20
1.5.2.2.	Makro Pürüzlülük .....	21
1.5.2.3.	Mega Pürüzlülük .....	21
1.5.3.	Sürtünme Katsayısı .....	22
1.5.3.1.	Sürtünme Katsayısı-Pürüzlülük İlişkisi .....	23
1.5.3.2.	Sürtünme Katsayısı - Trafik Kazaları İlişkisi .....	24
1.6.	Yapay Zekâ Teknikleri .....	25
1.6.1.	Yapay Sinir Ağları .....	28
1.6.1.1.	Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları.....	32
1.6.1.2.	Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri.....	35
1.6.1.3.	Yapay Sinir Hücresi.....	38
1.6.1.4.	Yapay Sinir Ağlarında Katmanlar .....	41
1.6.1.4.1.	Giriş Katmanı.....	41
1.6.1.4.2.	Gizli Katmanı.....	41
1.6.1.4.3.	Çıkış Katmanı .....	41
1.6.1.5.	Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme .....	42
1.6.1.5.1.	Danışmanlı Öğrenme .....	44
1.6.1.5.2.	Danışmansız Öğrenme .....	45
1.6.1.5.3.	Takviyeli Öğrenme .....	46
1.6.1.6.	Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli .....	47
1.6.1.7.	Genelleştirilmiş Delta Kuralı .....	49
1.6.1.8.	Çok Katmanlı Algılayıcı Ağının Öğrenme Kuralı.....	51
1.6.1.8.1.	İleri Doğru Hesaplama .....	52
1.6.1.8.2.	Geriye Doğru Hesaplama.....	53
1.6.1.8.2.1.	Ara Katman ile Çıktı Katmanı Arasındaki Ağırlıkların Değiştirilmesi.....	54
1.6.1.8.2.2.	Ara Katmanlar Arası ve Ara Katman-Girdi Katmanı Arası Ağırlıkların Değiştirilmesi.....	55
1.6.1.9.	Çok Katmanlı Algılayıcı Ağın İşlem Sırası .....	56
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	58

2.1.	Beton Özellikleri ve Sürtünme Katsayısı Ölçümleri .....	58
2.2.	Yapay Sinir Ağlarıyla Sürtünme Kaybı Tahmin Modeli Kurulması .....	64
2.2.1.	Birinci Model .....	64
2.2.2.	İkinci Model.....	70
3.	BULGULAR.....	73
4.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	76
5.	KAYNAKLAR .....	77
	ÖZGEÇMİŞ	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. 1.	Los Angeles deney cihazı .....	15
Şekil 1. 2.	Yol yüzey özelliklerindeki farklı durumların basit gösterimi.....	19
Şekil 1. 3.	Mikro doku ve makro doku.....	21
Şekil 1. 4.	Yol yüzey özelliklerinin araçlara etkisi .....	22
Şekil 1. 5.	Hız ve pürüzlülük durumuna göre sürtünme katsayısının değişimi.....	23
Şekil 1. 6.	Biyolojik nöron şekli.....	28
Şekil 1. 7.	Bir biyolojik nöronun Mc Culloch-Pitts hesaplama modeli .....	29
Şekil 1. 8.	Yapay sinir hücresinin yapısı.....	39
Şekil 1. 9.	Bir yapay sinir ağı yapısı .....	42
Şekil 1. 10.	Danışmanlı öğrenme .....	45
Şekil 1. 11.	Danışmansız öğrenme .....	46
Şekil 1. 12.	Takviyeli öğrenme yapısı.....	47
Şekil 1. 13.	ÇKA modeli .....	48
Şekil 2. 1.	Tahmin modeli olarak seçilen YSA mimarisi.....	67
Şekil 2. 2.	Seçilen YSA'nın iterasyona bağlı hata değişim grafikleri.....	68
Şekil 2. 3.	Seçilen YSA'nın iterasyona bağlı hata değişim grafikleri.....	72
Şekil 3. 1.	Deney değerleri ile YSA değerleri arasındaki ilişki.....	73
Şekil 3. 2.	Deney değerleri ile YSA değerlerinin karşılaştırılması .....	73
Şekil 3. 3.	Deney değerleri ile YSA değerleri arasındaki ilişki .....	74
Şekil 3. 4.	Deney değerleri ile YSA değerlerinin karşılaştırılması .....	74

## TABLULAR DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1.1.	Yol kesimine ve kamyon trafiği yoğunluğuna göre olması gereken agrega cilalanma değeri ve sürtünme katsayısı değerleri .....	25
Tablo 1. 2.	Biyolojik sinir ağı ve yapay sinir ağının karşılaştırılması.....	30
Tablo 2. 1.	Beton karışımlarda agrega özellikleri.....	58
Tablo 2. 2.	Kalker ince agregalı betonlarda sürtünme katsayısı sonuçları .....	59
Tablo 2. 3.	Kalker + bazalt karışık ince agregalı betonlarda sürtünme katsayısı sonuçları.....	60
Tablo 2. 4.	Bazalt ince agregalı betonlarda sürtünme katsayısı sonuçları.....	61
Tablo 2. 5.	YSA ile modellemede kullanılan veriler .....	63
Tablo 2. 6.	Tahmin modellerinde kullanılan eğitim verileri seti, deney ve tahmini değerle ile % hata, RMSE ve MAPE oranları .....	65
Tablo 2. 7.	Tahmin modellerinde kullanılan test verileri seti, deney ve tahmini değerler ile % hata, RMSE ve MAPE oranları.....	66
Tablo 2. 8.	Birinci tahmin modeline ait ağırlık ve bias değerleri.....	30
Tablo 2.9.	Tahmin modellerinde kullanılan eğitim veri seti, deney ve tahmini değerler ile % hata, RMSE ve MAPE oranları.....	69
Tablo 2. 10.	Tahmin modellerinde kullanılan test verileri seti, deney ve tahmini değerler ile % hata, RMSE ve MAPE oranları.....	70
Tablo 2. 11.	İkinci tahmin modeline ait ağırlık ve bias değerleri.....	72

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\lambda$	: Dalga boyu
YSA	: Yapay sinir ağları (ANN).
$x_i$	: Yapay sinir hücresine olan gidi değeri
$w_i$	: Yapay sinir hücresinin ağırlık değeri
$\Sigma$	: Toplam
S	: Toplama fonksiyonu
ÇKA	: Çok Katmanlı Algılayıcı
G1, G2, ...	: Gelen girdiler
Ç1, Ç2, ...	: Ağın ürettiği çıktılar.
NET	: Yapay sinir hücresinin ağırlıklandırılmış girişlerinin toplamı.
N	: Gözlem sayısı
$A_{kj}$	: k. giriş katmanı proses elemanı ile j. ara katman proses elemanı arasındaki ağırlık değeri
$G_k$	: Giriş katmanındaki k. proses elemanının çıkış değeri.
E	: Bir proses elemanının hatası
G	: Gerçek çıkış değeri
Ç	: Ağın çıkış değeri
TH	: Toplam hata.
$\Delta A_i$	: i. çıkış ünitesinin hatası.
$\check{C}_i$	: Çıkış değeri
$E_i$	: Hata
$\lambda$	: Öğrenme katsayısı.
$\alpha$	: Momentum katsayısı
$\Delta A_{ji}$	: Ara katmandaki j. proses elemanı ile çıkış katmanındaki i. proses elemanı arasındaki ağırlığın değişim miktarı.
$A_{ji}$	: Ağırlığın yeni değeri.
$\check{C}_j^k$	: Girdi katmanındaki k. Proses elemanının çıktısı
$NET_j^a$	: Ara katmandaki proses elemanlarına gelen net girdi.
$A_1, A_2, \dots$	: Bağlantı ağırlıkları.
$\beta_j$	: Ara katmanda bulunan j. elemana bağlanan eşik değer elemanın ağırlığı.
$E_m$	: Çıktı katmanındaki m. proses elemanı için oluşan hata
$\delta_m$	: m. çıktı ünitesinin hatası.
$f'(NET)$	: Aktivasyon fonksiyonunun türevi.
$\beta_\check{C}$	: Çıktı katmanında bulunan proses elemanlarının eşik değer ağırlıkları.
$\delta_a$	: Hata terimi
$\beta_a$	: Ara katman eşik değer ağırlıkları.
LA	: Los Angeles aşınma deneyi
RMSE	: Ortalama karesel hatanın karekökü (Root Mean Square Error).
MAPE	: Ortalama mutlak yüzde hata (Mean Absolute Percentage Error).
$T_i$	: Modelin gerçek değeri.
$t_{di}$	: Modelin tahmin değeri.
N	: Hatalı terim sayısı.
MSE	: Ortalama karesel hata (Mean Square Error).
$X_{norm}$	: Normalize edilmiş veri.

X : Değişkenin gerçek değeri.  
Xmin : Veri grubunun minimum değeri.  
Xmax : Veri grubunun maksimum değeri.  
AASHTO : American Association of State Highway and Transportation Officials.

## 1.GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Ülkelerin ulaşım ağının yeterli düzeyde ve standartta olması gelişmişliğinin bir göstergesi olarak görülmektedir. İyi bir yol ağının sağladığı ulaşım kolaylığı, o ülkenin kalkınmasında büyük rol oynamaktadır.

Karayolları yapısı, önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergâh boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü olarak tanımlanabilir. Güvenlik ve konforu sağlayan iki temel faktörden biri olan karayolunun yüzey kalitesi, zaman içinde bozulmakta, onarım ve yenileme gerektirmektedir. Ekonomik açıdan bakılacak olursa karayolu ulaştırıcılığı ile ilgili en önemli giderlerden biri, yolların onarım ve yenilenmesini de kapsayan bakım harcamalarıdır. Yüzey kalitesinin bozulmasını etkileyen faktörleri saptayarak kontrol altına almak üzere çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar öncelikle taşıtların yol açtığı karayolu yıpranmasını ve buna bağlı olarak ortaya çıkan onarım ve yenileme harcamalarını azaltmayı hedeflemektedir.

Ülkemizde yolların köstebek yuvasına dönmesi, sürekli devam eden yol yapım onarım çalışmaları, yol bozulmaları sonucunda meydana gelen can ve mal kaybına yol açan kazalarla edindiğimiz acı tecrübeler, yanlış ulaşım politikaları izlediğimiz birer kanıttır. Üstünlükleriyle tüm Dünyada ön plana çıkan ve ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu karayolu ağlarında yaygın olarak kullanılan beton yolların yerine, her yıl çok büyük bakım masrafı yaptığımız asfalt yolları çeşitli karışımlarla yeniden sunmak büyük hatadır. Beton yolların hala ülkemizde ciddi olarak uygulanmıyor olması ülkemiz insanı ve ekonomisi için büyük kayıptır.

Beton yolların gelişmiş ülkelerde başlayan yaklaşık bir asırlık mazisi vardır. Birçok alanda asfalt kaplamalı yollara göre üstün durumdadırlar. Özellikle ekonomiklik ve dayanıklılık açısından bakıldığında daha avantajlı oldukları görülmektedir. Asfalt yolların en az iki katı gibi uzun bir hizmet ömrüne sahiptirler ve asfalt kaplamalara göre çok az bakım-onarıma ihtiyaç duyarlar. Yüzey düzgünlüklerini ve sürtünme katsayılarını daha uzun süre devam ettirirler. İnşa edilmesi düşünülen karayolunda, kullanılacak kaplama



betonu yüzeyinin, aşındırıcı etkilere direnci, inşadan önce, çeşitli laboratuvar deneyleriyle belirlenmeye çalışılır. Tekerlek etkilerinin cilalandırmasına ve aşındırmasına karşı kaplamanın direncinin ölçülmesi için ise uygulanan bazı testler (PSV, Böhme, vb. ) olsa da genelde kabul görmüş bir deney metodu yoktur. Bu deneyler gerçek durumu tam olarak yansıtmamaktadırlar. Çünkü ya serbestçe dönen kauçuk tekerlek ya da kauçuk olmayan başka aşındırıcılar kullanmaları nedeniyle gerçeği simule etmemektedirler. Gerçekte yol yüzeyindeki bir A noktasından çeşitli hızlarda, yüzeye değişik büyüklükte düşey ve özellikle yatay yükler uygulayan çoğunlukla ivmeli hareket halindeki kauçuk tekerlekler geçmektedir. Tekerlek etkilerine ve yol kaplama yüzeyindeki malzemelerin cilalanma-aşınma direncine göre zamanla yüzeyin pürüzlülük ve sürtünme katsayısı değerleri değişmektedir.

Gittikçe artan dingil yüklerinin ve küresel ısınmayla sertleşen iklim koşullarının aşındırıcı etkilerine çok dayanıklı bir karayolu kaplama betonu üretilmesi için dünya çapında çeşitli yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi ağırlıklı yapılan bu çalışmalarda, yüzeyin sürtünme katsayısının mümkün olduğunca uzun süre devam ettirilmesinin sağlanması da araştırılan konulardan biridir.

Deneysel yöntemlerin yanında, mevcut malzeme özellikleri ve tekerlek etki süreleri dikkate alınarak ölçülmüş sürtünme katsayısı verilerinden hareketle kurulacak tahmin modelleri de kullanılabilir. Laboratuvar imkânlarının, zaman veya para probleminin olduğu durumlarda ya da deneysel hata oranlarını belirlemede kurulacak tahmin modelleri iyi bir hizmet görecektir.

## **1.2. Amaç**

Bu çalışmada, bir karayolu beton kaplamasında, sürtünmeli dönen kauçuk bir tekerleğin etkisiyle, farklı ince agrega özelliklerine göre hazırlanmış değişik beton numune yüzeylerinin ıslak sürtünme katsayısı değerlerinde oluşan kayıpların, yapay sinir ağları tekniği kullanılarak modellenmesi amaçlanmış olup, çalışmada kullanılan girdiler başka bir tezden alınmıştır (Karpuz, 2008). Beton karışımındaki ince agreganın Los Angeles aşınma kaybı değeri ve incelik modülü değeri ile tekerlek geçiş sayısı girdi olarak kullanılarak beton kaplama yüzeyinin ıslak sürtünme katsayısında oluşacak kayıp oranlarını % 5'den daha düşük hata ile tahmin eden iki yapay sinir ağı modeli başarıyla oluşturulmuştur.

### **1.3. Karayolu Üst Yapısı**

Taşıtlardan gelen tekerlek yüklerini altyapının taşıyabileceği değere indirmek, altyapıyı korumak, düzgün ve dayanıklı bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak amacıyla altyapı üzerine yerleştirilen çoğunlukla alt temel, temel ve kaplamadan oluşan tabakalı yol yapısına “Karayolu Üstyapısı” adı verilmektedir (Kavlak, 2008).

Üstyapı, trafik ve çevre etkilerine karşı koyan bir yapıdır. Trafik yüklerini taban zeminine iletme kabiliyeti her bir tabakanın yük dağıtma özelliğine bağlıdır. Üstyapılar, trafik hacmi, trafik kompozisyonu, taban zemini özellikleri, iklim-çevre koşulları, kullanılan malzemenin cinsi ve bulunabilirliği, enerji tasarrufu, yapım ve bakım maliyetleri gibi ölçütlere bağlı olarak farklı tipte yapılabilmektedir. Kaplama tabakası bitümlü bağlayıcı ve agregadan oluşturulan üstyapı tipi “esnek üstyapı” ya da asfalt yol olarak isimlendirilirken, kaplama tabakasında portland çimentolu beton kullanılan üstyapı tipine “rijit üstyapı” ya da beton yol denilmektedir (Öztürk, 2008).

Karayollarında altyapının sağlam olması kadar üstyapının da sağlam olması ve üstyapıda trafikle direkt temas eden kaplama yüzeyinin yuvarlanma direnci ve sürtünme katsayısı özelliklerinin uzun süre ideal değerlerde olması projelerde öncelikle hedeflenen hususlardır. Ancak özellikle ağır taşıt trafiği ve zincirli-çivili araç trafiğinin yoğunlaştığı yollarda, zamanla yüzeyin geometrik düzgünlüğünde ve sürtünme katsayısı değerinde olumsuz değişimler meydana gelmektedir. Kullanılan malzemelere bağlı olarak bu değişimlere kaplamanın göstereceği direnç ve süresi değişebilmektedir. Kaplama inşası öncesi kullanılacak malzeme özelliklerine bağlı olarak yol yüzeyinin sürtünme kayıplarının ne kadar sürede hangi seviyelere kadar düşeceğinin önceden bilinmesi ve daha uzun süre direnç göstererek malzemenin kullanılması önem arz etmektedir. Bunun için ön laboratuvar deneyleri yapılabildiği gibi yapılmış deneylerden ve elde edilmiş sonuçlardan hareketle tahmin modelleri kurulması ve özellikleri belli malzemelerin davranışlarının önceden tahmin edilmesi yoluna da gidilebilir.

### **1.4. Beton Yollar**

Beton yollarda, kaplama plağının rijitliğinin yüksek olması nedeniyle tekerleklerden gelen yükler taban zemininde asfalt kaplamaya göre daha geniş alana yayılırlar. Yol kaplaması olarak betonun yapısal görevi, araç tekerleklerinden dar alana

gelen şiddetli tekil yükleri tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamak iken yüzeysel olarak görevi de taşıt tekerlekleri için dayanıklı, düzgün bir yuvarlanma yüzeyi oluşturmak ve aşırıya kaçmaksızın yeterli sürtünme katsayısı değerini sağlamaktır. Bir beton kaplamanın davranışı, dökülen beton tabakaların özelliklerinin yanı sıra, kaplama altına serilen temel ve alttemel tabakaları ile mevcut taban zemininin özelliklerine bağlı olarak değişir. Bu nedenle projelendirme sırasında, taban zemini, temel ve alttemel malzemeleri, betonu oluşturan ince agrega, iri agrega, çimento, betonarme demiri ve derz demiri gibi malzemelerin özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir. Kriterlere uygun inşa edilen bir beton kaplama, şehir içi yollarda, orta ve ağır trafik yoğunluğu olan yollarda kullanılan kaliteli bir karayolu kaplama tipi olmaktadır.

Yol yapımında kullanılan beton karışımının su/çimento oranı 0,25-0,45 arasında, minimum çimento miktarı 375 kg/m<sup>3</sup>, minimum hava miktarı % 2-3, ayrıca betonun 28 günlük karakteristik minimum basınç dayanımı 30 MPa olmalıdır. Yol yapımında kullanılacak beton malzemelerinden istenilen belli başlı özellikleri aşağıda kısaca verilmektedir;

- Kullanılacak kimyasal katkıların birbirleriyle ve bağlayıcı malzemelerle etkileşimi ön deneylerle belirlenmeli,
- Kullanılacak agregaların sağlanacağı kaynaklar belirlenmeli, kalite kontrol deneyleri geliştirilmeli,
- Kullanılacak çimentonun kimyasal özelliklerinin ve inceliğinin beton özelliklerine etkisi belirlenmeli,
- Kullanılacak su/çimento oranı sistematik bir şekilde belirlenmeli ve bunun geçirimsizliğine olan etkisi tespit edilmeli,
- Kullanılacak malzeme karışım oranları, betonun dayanıklılığı yönünden sorun çıkarmamalı ve donma - çözülme hasarlarına yol açmamalıdır.
- Su/çimento oranının, çimento tipi ve miktarının mikro çatlaklara ve aşırı büzülme neden olması engellenmeli ve kür koşullarına azami ölçüde dikkat edilmesi gerekir.
- Farklı beton karışım zamanları, üretim yerleri ve yerleştirme teknikleri için düzenlemeler yapılmalıdır. Yerleşmiş betonun hava boşluğu kontrol edilmelidir.
- Beton bakımı için kullanılacak kür malzemeleri, beton dökümü sırasındaki hava koşulları ve betonda kullanılan karışım oranına göre belirlenmelidir (Kozak, 2011).

Beton yolların tasarımı, sadece kalınlık tasarımı olarak düşünülmemelidir. Kaplama performansı, derzler, yapım koşulları, yerel iklim ve zemin koşulları kesinlikle dikkate alınmalıdır. Şehir içinde kullanılacak beton yolların tasarımının, ağır trafiğe maruz beton yolların tasarımdan farkları bulunmaktadır. Bunlardan en önemlilerinden biri estetikdir. Çünkü şehir içi beton yollarda, şehrin peyzajıyla, ağaçlarla uyum içinde olunması kesin bir şarttır. Diğer bir fark ise kavşaklardaki tasarım kriterleridir. Şehir içlerinde kavşaklarda trafik, beton yol döşemesinin üstünden sadece bir doğrultuda değil farklı doğrultularda akmaktadır. Böylece bu döşemelerde birden fazla kritik yorulma yeri gelişebilir. Buralarda iyi bir derz kesim planlaması ve döşeme yerleşimi yapılmalıdır.

Beton yollar inşa edildikten sonra iki konuya dikkat edilmelidir. Bunlardan ilki yolun yapımından sonraki trafiğe açılma süresidir. Beton yollarda hızlı erken döküm teknikleri (ultra fast track) geliştirilmiş olup dünyada özellikle şehir içi beton yol uygulayıcıları tarafından kullanılmaktadır. Ayrıca, bu durumda beton yolların uzun ömrü ve az tamir bakım isteme avantajı ile yeni yol yapımının az olacağı da düşünülmelidir. Diğer nokta ise yolun altındaki kanalizasyon, elektrik gibi şehir altyapılarına müdahale için beton yolların açılması ve açılan yerlerin tekrar kapatılması konusudur. Aslında beton yollarda bu işlerin asfalt yollardan bir farkı yoktur, ancak trafik geçişinin daha uzun süreyle engelleneceği söylenebilir. Beton yolların herhangi bir kırıcıyla değil derz keser gibi keserek açılması daha iyi sonuçlar vermektedir. Açılan yerlere daha sonra finişer kullanılmadan beton dökülür, sıkıştırılarak yerleştirilir ve yüzeyi pürüzlendirilir. Eklenen bu parçanın mevcut yolla olan sınır yerlerinde yalancı derzler kesilerek genişleme ve büzülme sorunları çözülür. Bunun yanı sıra asfalt yollarda şu anda da kullanılan parke taşı yerleştirme gibi farklı teknikler de burada uygulanabilir.

Türkiye’de şu anda şehir içi asfalt yolların çok büyük kısmı bozulmuş durumdadır. Bu kadar fazla bozulmuş yolun yeniden yapılması büyük harcamalar gerektirmektedir. Bunun için, bozulmuş asfalt yolların üzerine çok ince beton kaplama (ultra thin white topping) yapılmaktadır. Bu uygulama, son on yılda geliştirilmiş bir uygulamadır ve çok iyi sonuçlar alınmaktadır. Çok ince beton kaplamalarda, genelde uygulanan ve iyi sonuç veren beton kaplama kalınlığı 5-10 cm civarındadır. Beton malzemesi olarak klasik yol betonundan, kullanılan en büyük agrega dane boyu haricinde bir farkı yoktur. Ayrıca bu betonda liflerin kullanılması performansı arttırmaktadır. Mevcut bozulmuş asfalt yol, üzerinde yapılacak ince beton kaplamaya iyi bir temel olmakta, bu iki tabaka arasında bir bağ kurularak üstteki beton yolun tek başına değil asfaltla beraber çalışması

sağlanmaktadır. Çok sık aralıklı, dolgusuz derzler kullanılarak (beton kaplama kalınlığının 12-15 katı gibi) genişmeye ve büzülmeğe karşı önlem alınmaktadır. Bu teknik, mevcut şehir içi yolların ıslahı için gerçekten anahtar bir noktadır (URL-1, 2008).

#### **1.4.1. Beton Yolların Üstünlükleri**

Beton yollar ağır trafik koşullarında belki de tek alternatiftir, fakat bu beton yolların sadece bu koşullarda kullanılması gerektiği anlamına gelmez. Yol yapımı konusunda gelişmiş ülkelere bakıldığında birçok avantajıyla beton yolların şehir içlerinde kullanım oranının çok hızlı bir ivmeyle artmakta olduğu görülmektedir. Şehir içlerinde beton yol kullanımının avantajları şu şekilde sıralanabilir:

Beton yolların yapısal ömrü uzundur. Beton kaplamalı yolların denenmiş en önemli üstünlüğü uzun hizmet ömrü ve üstün dayanıklılığıdır. Beton, ağır trafik yüklerine daha iyi dayanabilmektedir. Betonda, bitümlü kaplamaların kullanılması halinde olası bulunan tekerlek izi ve ötelenme oluşumu bakımından kaygılanmaya gerek bulunmamaktadır. Asfalt kaplamalı olanların 10 yıl olan hizmet ömürlerine karşılık, beton kaplamalı yollar, sistemin gereksinimlerine bağlı olarak 35-40 yıl ve daha uzun süre dayanmak üzere tasarlanabilmekte, böylece beton en uzun hizmet ömürlü üstyapı çözümü olmaktadır

Beton yolların taşıma gücü yüksektir. Beton kaplamalı yol, elastik zemine oturan bir kiriş şeklinde çalışmakta ve trafik yüklerini bu esasa göre, asfalt kaplamalı yola nazaran çok daha geniş bir alana yayarak, taban zeminine iletmektedir. Rijit beton yol, taban zemini ile sürekli temas halindeyken elastik zemine oturan kiriş gibi çalıştığından, taşıma gücü taban zemininin direncine bağlı bulunmamaktadır. Bu nedenle, beton kaplamalı yol, zayıf taban zeminleri üzerinde asfalt kaplamalı yollara göre daha iyi sonuçlar vermekte, dayanma bakımından her türlü etkiye karşı koyacak şekilde hazırlanabilmektedir.

Beton yolların sürüş konforu yüksektir. Beton kaplamaların rijitliği, yapımdan sonra uzun süre düzgün sürüş yüzeyini korumasına olanak vermektedir. Daha düzgün yüzeyli kaplamalar daha güvenli, daha konforlu sürüş yüzeyleri oluşturmaktadır. Kanada'da yapılan bir araştırma, beton kaplamalı yollardaki düzgünlük kaybının 5 yıl içinde 4 mm'den 7 mm'ye çıkarken, asfalt kaplamalı yollarda 16 mm'ye çıktığını göstermiştir. Bu sonuç, betonda yüzey düzgünlüğünün daha uzun süre korunduğunu ortaya koymaktadır.

Beton yollar az bakım gerektirir. Asfalt kaplamaların trafik, hava koşulları vb. etkenlere bağlı olarak hasar görmesi nedeniyle sık sık bakım ve onarıma gereksinim göstermesine karşılık, beton kaplamalar hemen hemen hiç bakım gerektirmemektedir. Betonun dayanıklılığı, yaygın onarım veya yıllık bakım gereksinimlerini en aza indirmektedir. Onarım gerekli olduğunda, bunlar alan bakımından, asfalt kaplamalara göre daha küçük olmaktadır. Onarım sayesinde beton kaplamaların ömrü, orijinal tasarım ömürlerinin 9 katına kadar attırılabilir.

Beton yollar akaryakıt tasarrufu sağlar. Beton kaplamalı yollar, asfalt kaplamalı olanların aksine, yüklü kamyonlar altında deformasyona uğramayan rijit yollardır. Betonun rijit yüzeyi tekerleklerin dönmesini kolaylaştırdığından, yani beton kaplamaların “Yuvarlanma Sürtünme Katsayıları”, dolayısıyla tekerleğin dönme hareketine karşı dirençleri düşük olduğundan ve motordan tekerleklere aktarılan kuvvet düzenli ve az olacağından, yakıt ve yağ giderleri ile bandaj ve lastik aşınması az olacaktır.

Beton yollar her mevsimde ve her koşulda yapılabilir. Asfalt kaplama uygulaması düşük sıcaklıkta ve yağışlı hava koşullarında yapılamadığından, yapım ve onarım mevsimi kısa olmaktadır. Beton kaplama uygulaması ise, ıslak zemin de dahil olmak üzere, her türlü iklim koşulunda yapılabilir. Ülkemizde mevsimsel olarak asfalt kaplama uygulamasına olanak veren sürenin kısıtlı bulunması, beton kaplamalı yol uygulamasının uygunluğunu ortaya koymaktadır.

Beton yollar daha güvenlidir. Beton kaplamaların kayma sürtünme katsayıları yüksek bulunmaktadır. Ayrıca, yol yüzeyi düzgün olduğundan, yağış suları kolayca akmakta ve yüzey çabuk kurumaktadır. Asfalt kaplamada oluşan tekerlek izlerinin yağışlı havalarda fazla su tutması nedeniyle oluşabilecek su kayağı etkisi riski ve bu su birikintilerinin soğuk havada donması gibi sürüş güvenliğini tehlikeye düşürecek durumlar nedeniyle uzayan duruş mesafeleri, bu gibi durumların oluşmadığı beton kaplamalarda söz konusu olmamaktadır. Ayrıca, beton özellikle gece güvenli seyir açısından önemli olan, asfalt kaplamaya göre % 33–50 daha fazla ışık yansıtma özelliğine sahip bulunmaktadır. Beton ışığı yansıttığı için görülebilirliği ve dolayısıyla güvenliği arttırmakta ve karayolu aydınlatma maliyetlerinde tasarruf sağlayabilmektedir. Beton ıslak olduğunda dahi zararlı far ışığı etkilerine yol açmamaktadır.

Beton yollar hava koşulları ve yakıt, yağ dökülmesi vb. etkilere karşı dirençlidir. Beton kaplamalı yollar, su geçirmez olduklarından, yağmur tarafından hasara uğratılmamakta ve ısı etkisiyle yumuşamamakta ve bozulmamaktadır. Ayrıca, beton

kaplamalı yolun bağlayıcı maddesi çimento, bitümlü bağlayıcının aksine herhangi bir uçucu madde içermemekte, bu nedenle beton kaplamalı yol için gevrekleşme ve yaşlanma söz konusu olmamaktadır. Beton kaplamalar taşıtlardan yakıt, yağ gibi kimyasal maddelerin sızması nedeniyle bağlayıcılarını kaybetmemekte ve herhangi bir değişime uğramamaktadır.

Beton yollar çevre dostudur. Bir beton kaplamalı yolun faydalı ömrü 35-40 yıl civarında bulunmaktadır. Beton yeniden yapıldığında, eski yüzey kırılarak, yeni yolda kullanılabilir. Çevre dostluğu açısından bakıldığında, beton kaplamalı yollar asfalt kaplamalı olanlara göre birçok üstünlüklere sahip bulunmaktadır. Öncelikle, beton üretimi, tesislerde üretilen sıcak bitümlü karışım gibi atmosferi kirletmemektedir. Ayrıca, beton kaplamalara, termal güç tesislerinin kirletme yan ürünü olan ve betonun yoğunluğunu ve kimyasal reaksiyona direncini arttıran uçucu kül ilave edilebilmektedir.

Beton yollar yerli malzeme kullanır. Beton kaplamalı yollarda, bol miktarda sağlanması mümkün olan kireç gibi, yerli malzemelerden üretilen çimento kullanılmaktadır. Oysa asfalt kaplamalı yollar, ithal edilen ham petrolden elde edilen bitüme gereksinim göstermektedir.

Beton yollar daha az mevsimsel hasara uğrar. Betonun dayanıklılığının en fazla önem kazandığı mevsim ilkbahardır. AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) tarafından Kanada'da yapılan bir araştırmaya göre (Frangopol ve Kong, 2001), asfalt kaplamaların % 61'i bahar koşullarında bozulurken, beton kaplamaların aynı koşullardaki bozulma oranı sadece % 5,5 olmaktadır.

Beton yollar daha ekonomiktir. Beton kaplamaların yıllar boyunca korunma maliyeti, bitümlü kaplamalara göre genellikle % 25-50 oranında daha az olmaktadır. Beton kaplamalar, yansıtıcı özelliği nedeniyle çok daha az aydınlatma gerektirdiğinden, yol aydınlatma tesisi yapım ve bakım maliyetlerinde ekonomi sağlamaktadır. Beton kaplamalı yollar taşıt sahipleri açısından da daha düşük maliyetlere yol açmaktadır. Ayrıca, daha az miktarda yıllık bakım gerektirdiğinden, beton kaplamalı yol onarımlarından kaynaklanan trafik sıkışıklıklarında daha az zaman kaybına neden olmaktadır. İlkbaharda don çözülmesi sırasındaki ağırlık kısıtlamalarından etkilenmemesi nedeniyle, beton kaplamalı yollar mevsimsel sınırlamalardan kaynaklanacak maliyetleri de çok düşürmektedir. Beton kaplamalı yolların ilk yapım maliyeti, taban zemininin taşıma gücü ve trafik miktarına bağlı olarak asfalt kaplamalı olanlara göre yüksek olabilmekle birlikte, bitüm fiyatlarının sürekli artması ve beton karışımlarda uçucu kül kullanılması ile bu iki tip kaplamanın

görelî maliyeti oldukça karşılaştırılabilir duruma gelmektedir. Diğer yandan, beton en iyi ömür devresi maliyetli seçenek olup, ömür devresi maliyet analizi, iyi bir seçim yapabilmek için gerekli olan başlangıç yatırımı, beklenen hizmet ömrü, yolun ömrü boyunca söz konusu olacak takviye tabakası ve bakım maliyetleri ile harcanan ve tasarruf edilen paranın değeri gibi bilginin tümünü bir araya getiren bir araç niteliği taşımaktadır. Ömür devresi maliyetleri göz önüne alındığında, uzun ömürlü ve önemsiz bakımlı beton kaplamalar asfalt olanlara göre her zaman daha ekonomik çıkmaktadır. Ülke açısından ekonomik maliyetlere gelindiğinde ise, yakıt tasarrufu sağlaması ve çevre dostu olması beton kaplamalı yolları asfalt kaplamalı olanlara göre çok üstün bir seçenek durumuna getirmektedir (İyınam ve Ağar, 2004).

#### **1.4.2. Beton Yolların Zaafiyetleri**

1) Projede veya inşaatta yapılacak küçük bir hata veya ihmal, trafikle ilgili olmadan, kaplamanın çabuk harap olmasına yol açan çatlakların oluşmasına sebep olabilir. Priz arasındaki rötne ve diğer ısı değışiklikleri çatlakların oluş nedenlerindedir. Trafik etkileri olmadan da, don olaylarının tekrarlanması durumunda, çatlamış olan kaplama tamamen harap olabilir.

2) Yapım sırasında ve beton prizini tamamlayıncaya kadar yol trafiğe kapalı kalacaktır. Bu süre ise özellikle ağır taşıtlar için yaklaşık olarak bir ay kadardır. Tamir ve bakım işlemleri yapılırken de aynı sakınca ortaya çıkmaktadır. Çabuk sertleşen (super cement) çimento kullanılarak bekleme süresi kısaltabilir veya iki ayrı şerit halinde yapım sürdürülerek bir şerit kısmen trafiğe açık tutulabilir.

3) Asfalt betonunun aksine trafik altında çalışmaya elverişli değildirler. Trafiğe açık bir yolda uygulanmaları durumunda servis yolu inşasını gerektirirler ki bu küçük oranda bile olsa bir takım masraf ve güçlükler doğurur.

4) Beton yollar alt tesisler bakımından güçlük yaratır. Beton yolların yapımından sonra doğal gaz kanalizasyon, su, telefon tesislerinin yapım ve tamirleri güçlükle yapılır. Yeraltı tesislerinde oluşacak arızaların yerlerini bulmak güçtür. Arıza giderildikten sonra, beton yolların tamir edilen kısımları zayıf kalır. Buna karşılık, suyu geçmemesinin ve homojen olmasının sonucu olarak trafik yük ve sarsıntılarını, titreşim etkilerini her tarafa yayması dolayısıyla beton kaplamalar en iyi koruyucu tabaka görevini yaparlar.



5) Açık rengi dolayısıyla güneşte göz kamaşmalarına sebebiyet verir. Betona boya karıştırılıp renkli yol yapılarak ya da güneş gözlüğü kullanılarak bu sakıncaları giderilebilir.

6) Yapımında hassasiyet gösterilmeyen derzler ve kaplama yüzeyinde kaymaya karşı direnç sağlanması için oluşturulan yivler gürültü yapmakta ve sürüş konforunu azaltmaktadır (Arslan, 2007).

### **1.4.3. Karayolu Kaplama Betonunda Kullanılan Malzemeler**

Betonun bileşenleri çimento, mineral agrega, su, donatı çeliği, derz demiri, işlenebilirliği arttırıcı veya priz geciktirici gibi kimyasal katkılardır. Bunlara betonun kürü için gereken malzemeler ve derz dolgu malzemeleri de eklenebilir. Beton tabakanın dökümü genellikle tek geçişle gerçekleştirilir. Çok kısa zaman aralığında iki seferde döküm de yapılabilir.

#### **1.4.3.1. Çimento**

Beton yol üst yapı uygulamasında standartlara uygun ve çabuk işlenebilme bakımından belirli ek koşulları sağlayan bazı çimento türleri kullanılmaktadır. Genel tanım olarak çimento, su ile karıştırıldığında, az veya çok akıcı niteliğe kavuşan, sadece suyun etkisiyle priz yapan, katılaşıp ve nihayet sertleşen ince taneli malzemedir. Tane boyutları büyük oranda 90 mikronun altına düşürülmüştür. Çimento, kimyasal yönden duyarlı iri çakıl, kırma tas, kum gibi mineral malzemelerin büyük miktarlarda ve değişik oranlarda bir araya gelerek katı bir cisim oluşturmasında bağlayıcılık rolü üstlenir. Teknik ve ekonomik yönden genel eğilim, ana bileşen olarak portland klinkeri yanı sıra, puzolanlar, yüksek fırın cürufklarının ve termik santral uçucu küllerinin ikincil bileşen olarak kullanılmasıdır. Beton yollarda basınç dayanımı yeterli, eğilme çekme dayanımı yüksek, rötresi az ve yavaş priz yapan çimentolar tercih edilir. Çimento için bazı ek koşullar da vardır. Çimento çok ince olmamalı ve 2 saatten önce priz almamalıdır. Betonun alkali agrega reaksiyonlarından zarar görmemesi için çimento içinde % 1'den fazla alkali oksitler bulunmamalıdır (Karpuz, 2008).

### 1.4.3.2. Karma Suyu

Beton karışımının üretilmesinde kullanılan suya özel itina gösterilmesi gerekmektedir. Çünkü beton malzemesinin önemli bileşenlerinden biri olan karma suyunda bulunabilecek eriyik ve askıdaki çeşitli maddeler çimentonun priz sürelerini, betonun direncini ve işlenebilme yeteneğini etkileyebilecekleri gibi, beton yüzeyinde lekelenmelere ve donatının korozyonuna yol açabilmektedir. Çeşitli standartlarda veya şartnamelerde genelde beton karma suyundan istenen nitelik "içilebilir su" olmasıyla belirtilmektedir. Bu tanım, karma suyunda beton özelliklerini olumsuz etkileyebilecek ölçüde zararlı madde bulunmaması gerektiği anlamına gelmektedir. Eğer beton karışım suyunun niteliğinden şüphe ediliyorsa laboratuvarında suyun kimyasal analizi yaptırılabilir veya bu suyla üretilen betonun dayanımı, kalitesinden emin olunan suyla üretilen özel örnek betonun dayanımıyla karşılaştırılır. Betonda kullanılacak karma suyunda ph değerinin 7'nin üzerinde olması istenmektedir (Karpuz, 2008).

### 1.4.3.3. Katkılar

Betonun özelliklerini geliştirmek üzere karıştırma sırasında betonyere az miktarda ilave edilen maddelere katkı adı verilir. Katkı maddelerini kökenine göre kimyasal ve mineral katkılar olarak ikiye ayırmak mümkündür:

TS EN 206'da kimyasal katkılar "Taze veya sertleşmiş betonun bazı özelliklerini değiştirmek üzere, karıştırma işlemi esnasında betona, çimento kütesine oranla az miktarlarda ilâve edilen malzeme" olarak tanımlanmaktadır. Değişik amaçlar için değişik kimyasal yapıda katkılar kullanılır.

Su Azaltıcılar (Akışkanlaştırıcılar), betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Taze betonda kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artar. Azalttığı su miktarı ile orantılı olarak normal ve süper olarak ayrılırlar.

Priz Geciktiriciler, taze betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar. Uzun mesafeye taşınan betonlar veya sıcak hava dökümleri için yararlıdırlar. Ayrıca yüzey pürüzlendirme tekniğinde de kullanılırlar.

Priz Hızlandırıcılar, betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar.

Antifrizler, suyun donmasını zorlaştırır ve don neticesi çimentonun mukavemet kazanmasındaki aksamaya engel olurlar. Bu katkıların betondaki miktarı hava sıcaklığına göre ayarlanabilir.

Hava Sürükleyici Katkılar, beton içinde mikron boyutunda çok küçük ve eşit dağılan, birbiriyle irtibatı olmayan hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini, dona karşı direncini ve işlenebilirliğini artırır.

Su Geçirimsizlik Katkıları, sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılardır ancak yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır.

Bazı betonlarda birden fazla katkı türü birlikte kullanılabilir. Ancak bu katkıların birbirlerinin etkilerini bozmadıkları denenmelidir. Kimyasal katkıları, yukarıda bahsedilen etkilerinden dolayı bütün inşaat sektöründe betonun ayrılmaz parçası olmuştur.

Mineral Katkılar ise, çimento gibi öğütülmüş toz halde silolarda depolanan cüruf, uçucu kül, silis dumanı, taş unu... vb. çeşitli maddelerdir. Mineral katkıları tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar, fakat birlikte kullanıldıklarında çimentoya benzer görev yaparlar, dolayısıyla çimento ekonomisi sağlarlar. Mineral katkılardan yüksek dayanımlı beton üretiminde yararlanır.

#### **1.4.3.4. Donatı**

TS 500'de donatının tanımı, belirtilen ilke ışığında, "Betonla birlikte çalışmak üzere, yapı elemanlarının betonu içine sıyrılmayacak bir biçimde yerleştirilmiş çelik çubuklar" ifadesiyle verilmiştir. Bu genel ilke yanı sıra, yol betonlarında kullanılan donatıların diğer önemli bir işlevi de betonun rötresinden kaynaklanan sekil değiştirmelerin ve kılcal çatlakların, beton ve donatı arasındaki aderansın yardımıyla, üniform olarak dağıtılmasıdır. Bu durumda yüksek aderans sağlayan donatı tipleri seçilmelidir. Beton yol inşaatında diğer bir donatı kullanma alanı da derzlerdir ve düşey yük transferinin sağlanması için "Kayma Demirleri" kullanılır. Bu demirlerin çapları plağın kalınlığına bağlı olarak 20 mm'den fazla seçilir. Boyları genellikle 80–100 cm'dir. Demirin yüzeyi kaymayı sağlamak için nervürsüz olmalıdır. Sertleşmiş betonun içinde, plağın genleşmeden kaynaklanan sekil değiştirmesine engel olmamak için plastik veya bitümlü bir film tabakası ile kaplanmış olurlar (Ağar ve Taşdemir, 2007).

Derzlerin veya çatlakların zamanla açılıp genişlemelerini önlemek amacıyla kullanılan donatılara "Bağlantı Demiri" denmektedir. Yüksek aderanslı olan bu tip donatılar genellikle 12 mm çaplı ve en az 80–100 cm uzunluğunda olurlar. Sürekli betonarme yol tekniğinde kullanılan plak donatıları da yüksek aderanslı türden seçilirler. Kullanılan demir çapları 12–16 mm'dir. Beton yol tekniğinde kullanılan diğer bir donatı türü de kaynak ile çubukları bağlanmış prefabrikte hazır demirlerdir.

#### 1.4.3.5. Agregası

Mineral kökenli, genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli boyutlarda tanelerden oluşan malzemeye "Agregası" denir. Betonun hacim bazında % 60-% 75'ini, ağırlıkça da 4/5'ini agregası oluşturur. Agregasının karakteristikleri taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini, karışım oranlarını ve maliyeti önemli ölçüde etkiler. Beton agregası doğal kum ve çakıl karışımlarından, ayrıca yapay kırma taş (mıcır) malzemeden meydana gelir. Doğal agregalar taş ocaklarından, kurak mevsimde dere ve göl yataklarından, deniz ve nehir tabanlarından, çöllerden elde edilirler. Bu takdirde agregalar yuvarlak biçimli olup, "Doğal Kum" veya "Çakıl" olarak adlandırılırlar. Hedeflenen boyutların elde edilebilmesi için iri taş kütleleri konkasörde kırılıp agregası daha ufak tane boyutuna indirgenebilir. Bu durumda taneler köşeli ve pürüzlü yüzeyli olup, "kırma taş - mıcır" veya "kırma kum" adını alırlar.

Beton yollarda aşınma tabakasını oluşturan üst betonda uygulanacak agregasının basınç dayanımı yüksek (en az 1500 kgf/cm<sup>2</sup>), aşınma direnci büyük ve hava etkilerine dayanıklı malzemeden sağlanması gerekir. Kırma taşın (mıcırın) tane biçimi, kübik forma yeterince yakın olmalıdır. Yassı ya da uzun tane formlu mıcırlar, betonun işlenebilme yeteneğini azaltırlar. Kırma taş yapımına uygun kayaç cinsleri granit, diyabaz, kuvars, kalker, andezit ve benzerleridir.

Kaymaya dayanıklı yol kaplama inşaatında ve kayma dayanımının zaman içinde korunmasında önemli olan kaplamanın yüzey yapısıdır. Beton yol kaplamalarında kullanılacak agregalar fiziksel, mekaniksel, kimyasal ve petrografiksel, dayanıklılık ve pürüzlülük açılarından kriterleri sağlamalıdır. Dane şekli kabaca kübik köşeli, basınç dayanımı yüksek, alkali reaksiyon açısından tehlike sınırının altında, aşınmaya ve cilalanmaya dirençli, yüzeyi biraz pütürlü ve ısıl genişmesi az olmalıdır. İçerisinde sertlik değerleri çok az da fark etse değişik mineraller bulunmalı ki trafik altında aşınma sırasında farklı aşınma nedeniyle yüzeyde sürekli olarak gerekli pürüzlülük olabilsin. Genel olarak

asfalt yollarda sürtünmeyi kaba agregaya özellikleri belirlerken beton yol kaplamalarında ince agregaya kısmı daha çok etkilidir.

Beton agregalarında elek analizi, yassılık, özgül ağırlık ve su emme gibi deneyler uygun aralıklarla yapılarak kalite sürekliliği takip edilmelidir. Betonda kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620'ye uygun olmalıdır (URL-2, 2011).

#### **1.4.3.5.1. Agregalara Uygulanan Deneyler**

Agregaların karayolu rijit üstü yapısında kullanılabilmesi için, aşınmaya direnci, özgül ağırlık, su absorpsiyonu, dane dağılımı (elek analizi) ve sürtünme etkisiyle oluşacak cilalanmaya karşı direnç değerlerinin bilinmesi gereklidir. Bu deneylerdeki sonuçların güvenilir olabilmesi için, denenecek numunelerin çok özenle alınmış temsili numuneler olması gerekmektedir.

##### **1.4.3.5.1.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyleri**

Bu deney, karışım hesapları ve agreganın fiziksel özelliklerinin tayini için yapılmaktadır. Agregaya ince ve iri olarak iki sınıfa ayrılır. İnce agregada en büyük dane büyüklüğü 4 mm'dir. Bu iki grup üzerinde deney bazen ayrı ayrı uygulanır (Karpuz, 2008).

##### **1.4.3.5.1.2. Aşınma Direnci (Los Angeles Aşınma Kaybı Yüzdesi )**

ASTM C131 standardına sahiptir. Bu deney, agregaların darbe etkisinde aşınmaya karşı dayanıklılığını belirtir. Kaba agreganın aşınması, aşındırıcı bir yük kullanılarak Los Angeles makinesi ile tespit edilir. Los Angeles deney aleti; iki tarafı kapalı, eksenini etrafında dönebilen, iç çapı 710 mm, boyu 508 mm olan bir çelik silindirden oluşmaktadır (Şekil 1.1). Silindir, içinden geçmeyen aksla yatay durumda dönecek şekilde yapılmıştır. Agregaya örneğini silindir içine koyabilmek için özel bir kapak vardır. Bu kapak, silindirin iç yüzeyine tamamen uyacak şekilde sıkıca kapatılabilmektedir. İç yüzde silindir eksenine paralel olmak üzere 9 cm genişliğinde ve silindir boyunca uzanan yeter kalınlıkta ve deformasyon yapmayacak şekilde iç yüzeye yerleştirilmiş çelik raf çıkıntısı bulunur. Bu raf, örnek koyma deliğinden dönme doğrultusunda en az 127 cm uzaklıktadır.

Hazırlanan deney örneği ve aşındırıcı yükler aşırma makinesine konur ve ağzı sıkıca kapatılır. Makine, 100 ve 500 devir sonunda durdurulur. Silindirden çıkarılan numune 1,6 mm'lik kare gözlü elekten elenerek, alta geçen toplam miktarın %'si hesaplanır. Bu değer deney sonrasındaki kayıp yüzdesini ifade eder.



Şekil 1. 1. Los Angeles deney cihazı

Deneyin amacı yapay ve doğal iri agregaların kırılma-parçalanma direncini belirlemektir. Karayolları genel müdürlüğü teknik şartnamesine göre karayolu kaplama tabakasında kullanılacak agregalar için LA aşınma oranı % 35'den daha az olmalıdır.

#### **1.4.3.5.1.3. Elek Analizi**

Bu deney yöntemi, standartlarda nitelikleri verilmiş olan elekleri kullanarak agreganın dane büyüklüğü dağılımının saptanmasını amaçlar. Elek analizinde eleğin fazla yüklenmesi hatalı sonuçlara neden olduğundan, elekler üzerindeki numune ağırlıkları ve dane boyutları sınırlandırılmıştır. Deney, kullanılan elek serisi içindeki her bir elekten geçen miktarın, toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak hesaplanıp, grafik olarak gösterilmesiyle tamamlanır.

#### **1.4.4. Beton Kaplamanın Mekanik Özellikleri**

Karayolu kaplama betonunun hem trafik hem de iklim etkilerine karşı uzun süre dayanabilmesi için basınç dayanımı, çekme dayanımı, aşınma direnci, donma çözünme

direnci ve cilalanma direnci (sürtünme kaybı) gibi mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve elde edilecek sonuçların teknik şartnamelerdeki asgari şartları sağlaması gerekir.

#### **1.4.4.1. Basınç Dayanımı**

Betonun basınç dayanımı, eksenel basınç yükü altındaki betonun kırılmamak için gösterdiği direnme yeteneği (eksenel basınç yükü etkisiyle betonda oluşan maksimum gerilme) olarak adlandırılır. Betonun üzerine gelen yüklerin neden olabilecek şekil değişmelerine ve kırılmaya karşı gösterdiği direnmeye betonun dayanımı denilmektedir. Betonun mekanik dayanımları (basınç, çekme, kesme, eğilme vb.) arasında en önemlisi ve en büyük değere sahip olanı basınç dayanımıdır. Basınç dayanımının bilinmesi betonun diğer özellikleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Örneğin basınç dayanımının yüksek olması betondaki su geçirimsizliğinin az olduğunu ve dayanıklılığının yüksek olduğunu işaret etmektedir (Başka, 2006).

#### **1.4.4.2. Çekme Dayanımı**

Gevrek bir malzeme olan betonda, çekme dayanımı karakteristikleri kesin bir temele oturtulamamaktadır. Öncelikle çekme deneylerinin yapılmasında teknik zorluklarla karşılaşılır. Bu nedenle çekmeye maruz kalan malzemenin durumu en güvenilir biçimde, doğrudan doğruya eğilme deneyi uygulanarak incelenir. Bu deneyde büyük çoğunlukla kare kesitli kirişlerin kullanılması öngörülür. Malzemenin tamamen gevrek cisim olduğu, ancak kırılma anına kadar Hooke Yasasına uygun davrandığı kabul edilir. Özellikle yol ve hava meydanı pist kaplamalarının tasarımında, betonun en az basınç dayanımı kadar "eğilme-çekme" dayanımının belirlenmesi de önemlidir (Karpuz, 2008).

#### **1.4.4.3. Donma Çözünme Dayanımı**

Ortam ısısının sıfırın altına düşmesi durumunda, beton iç yapısındaki boşluklarda bulunan su donarak yaklaşık % 8-9 oranında hacim artışı gösterir. Bu olgu, betonda çekme gerilmelerinin oluşmasına neden olur. Ortaya çıkan gerilmelerin betonun çekme direncini aşması durumunda betonda çatlaklar ve giderek artan parçalanmalar gözlenir. Betonun donma sonunda çatlamasına neden olan en baskın etken içerdiği su miktarıdır. Su miktarı

fazlaştıkça betonun donma-çözülme süreci sonunda bozulup dağılma riski artar. Buna karşılık boşluklarında su bulunmayan betonlarda donma-çözülme olgusu zararlı etki yaratmaz. Betonun donma - çözülme etkilerine karşı dayanıklı olması için önce karma suyunun az miktarda olması yani Su/Çimento oranının sınırlanması, daha sonra çatlaksız ve gözeneksiz yani doluluk oranı yüksek ve geçirimsiz olarak üretilmesi gerekir. Yapılan deney ve gözlemlerden betondaki boşlukların yaklaşık % 85'inden fazlasının su ile dolu olması durumunda betonun dondan zarar gördüğü anlaşılmıştır. Beton içindeki boşlukların birbiriyle irtibatlarını keserek sertleşmiş beton içinde küçük, bağımsız ve küresel hava boşlukları oluşturan hava sürükleyici katkı maddeleri kullanmak donma zararlarını önleyecektir. Havaalanı pistleri, yollar gibi açık hava ile temas eden büyük yüzeye sahip ve kalınlığı az olan yapılarda, alınacak önlemlerle betonların donmaya dayanıklı olmaları sağlanmalıdır (Karpuz, 2008).

#### **1.4.4.4. Aşınma Direnci**

Yüklü taşıt tekerleklerinin beton yüzeyde oluşturduğu aşınmaya zorlayıcı etkilere karşı betonun göstereceği dirence “aşınma direnci” denir. Betondaki aşınma direnci, doğrudan doğruya agrega tanelerinin aşınmaya karşı dayanıklılıklarının fonksiyonudur.

Kullanım yerine göre betonda farklı aşınma şekilleri oluşur. Su yapılarında agregaların sökülmesi-erozyon oluşurken yollarda araç tekerleklerin etkisiyle genelde cilalanma şeklinde pürüzlülük değişimleri-kayıpları meydana gelir.

Aşınma direnci üzerine yapılan araştırmalarda, basınç dayanımı, yüzey bitirme şekli, kür şartları, agrega özellikleri ve test koşullarının (kuru-ıslak, vb.) etkili faktörler olduğu belirtilmektedir.

Aşınma ve darbe etkileri, betona fiziksel yönden zarar verebilecek etkenlerdir. Beton kaplamadaki aşınma direnci, doğrudan doğruya agrega tanelerinin yüklü taşıt tekerleklerinin aşındırıcı etkilerine karşı dayanıklılıklarının fonksiyonudur. Çimento harcında daha sert agrega danelerinin varlığı, beton üzerindeki aşındırıcı etkileri azaltır. Aşınmaya yatkın yapı gösteren kalker gibi yumuşak tasların bulunduğunu bilerek, yol yüzeyi gibi aşındırıcı etkenlerin çok sık rastlandığı yerlerde kullanılacak betonların, aşınmaya karşı dirençlerinin önceden saptanmış olması gerekir (Ağar ve Taşdemir, 2007).

Aşınmaya karşı direncin yeterli olabilmesi için:

- Kullanılan hidrolik bağlayıcının basınç dayanımı ve inceliğinin yüksek olması;



- Bağlayıcı dozajının bütün agrega tanelerini tamamen saracak düzeyde saptanması; (iri agregalı betonlarda 400–450 kg, çimento harçlarında 500-550 kg),
  - Aşınmaya dayanıklı sert agregaların kullanılması,
- gerekir.

Çimento harcında daha sert agrega danelerinin varlığı beton üzerindeki aşınma miktarını azaltır. Aşınmaya son derece dayanıklı beton için, sertliği yüksek olan kuvarz ve korendon gibi doğal kökenli agregalar, çelik tozu gibi metal kökenli agregalar kullanılır. Beton yol plağı yüzeyine yakın yerlerde sert agrega tane boyutunun 25 mm'yi asmamasına, daha iri ve yumuşak danelerin alt katmanlarda yer almasına özen gösterilmelidir (Akkaya ve Taşdemir, 2007).

#### **1.4.4.5. Cilalanma Direnci**

Cilalanma küçük çıkıntıların aşınmasıdır. Mikro pürüzlülükle ilgilidir. Cilalanmış yol yüzeyinde sürtünme katsayısı azalır. Eğer yüzeyde toz var ise tekerleğin yol yüzeyindeki cilalanmaya etkisi daha hızlı olmaktadır. Genel anlamda cilalanma tekerlek kauçuğu ile temas eden çıkıntı halindeki agrega yüzeylerinin ya da beton çıkıntılarının yuvarlaklaşma eğilimidir. Tek tip mineralden ya da yakın sertliğe sahip minerallerden oluşmuş agregalarda cilalanmaya yatkınlık daha fazladır. Hem sert ve hem de yumuşak mineraller içeren agregalarda cilalanmaya yatkınlık azdır, sürtünme katsayısı daha uzun süre yeterliliğini muhafaza eder. Çünkü yumuşak kısımlar aşınır ve sert olanlar çıkıntılar oluşturur. Çıkıntılar aşındıkça döngü devam eder ve yüzey hep pürüzlü kalır (Karpuz, 2008).

Cilalandırma deneyinde birkaç deney cihazı olmasına karşın en yaygın kullanılan İngiliz hızlandırılmış taş cilalandırma makinesidir. Bir tambur üzerine yerleştirilmiş yol malzeme örnekleri, üzerlerine basarak dönen lastik tekerlek ve su-aşındırıcı toz etkisinde aşındırılmakta ve ıslak sürtünme katsayısı değerindeki azalmaya göre değerlendirme yapılmaktadır.

#### **1.5. Karayolu Kaplama Yüzeyi Özellikleri**

Tüm yol tipleri için yol yüzey özelliklerinin uluslararası tanımı PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) tarafından 1987 yılındaki kongresinde

yapılmıştır. Bu tanımlamaya göre, yol yüzey özellikleri, yolun gerçek profilinin, yolun teorik profilinden sapmaları olarak belirtilmiştir. Yol yüzey özellikleri, bu sapmaların dalga boyuna ( $\lambda$ ) bağlı olarak, yol yüzey dokusu (pürüzlülüğü) ve geometrik düzgünlüğü olmak üzere iki ana kısma ayrılmıştır (Şekil 1.2). Bu tanımlama aşağıdaki gibi belirtilebilir;

**Yol Yüzey Dokusu-Pürüzlülüğü:**

Mikro doku  $\lambda < 0.5$  mm.

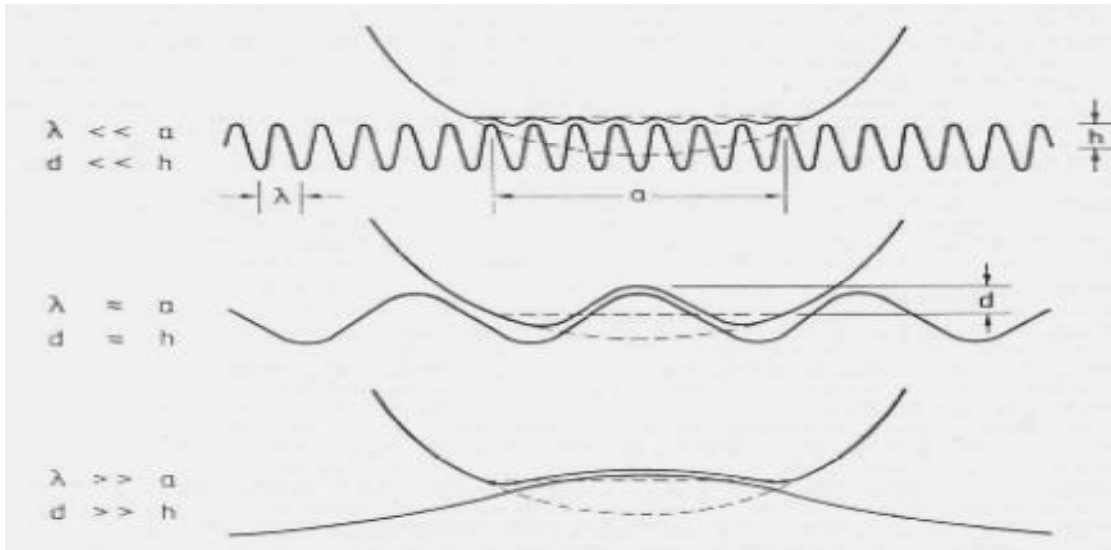
Makro doku  $0.5$  mm.  $< \lambda < 50$ mm.

Mega doku  $50$ mm.  $< \lambda < 500$  mm.

**Geometrik Düzgünlük:**

Boyuna Geometrik Düzgünlük  $0,5$  m.  $< \lambda < 50$  m.

Enine Geometrik Düzgünlük  $0,5$  m.  $< \lambda < 50$  m.



Şekil 1. 2. Yol yüzey özelliklerindeki farklı durumların basit gösterimi (Karpuz, 2008)

**1.5.1. Geometrik Düzgünlük**

Geometrik düzgünlüğünün kalitesi, yol yüzeyinde girinti ve çıkıntı bulunup bulunmamasına bağlıdır. Bu girinti çıkıntılar, yolun teorik (proje) yüzeyi ile gerçek yüzey arasındaki farklardan ileri gelir. İki yüzey arasındaki düşey farkların problemi üç boyutludur Ancak yol mühendisleri yalnızca enine ve boyuna profilleri inceleyerek problemi iki boyutlu hale indirgemişlerdir. Bir yolda kalite değerlendirmesi yapılacağı

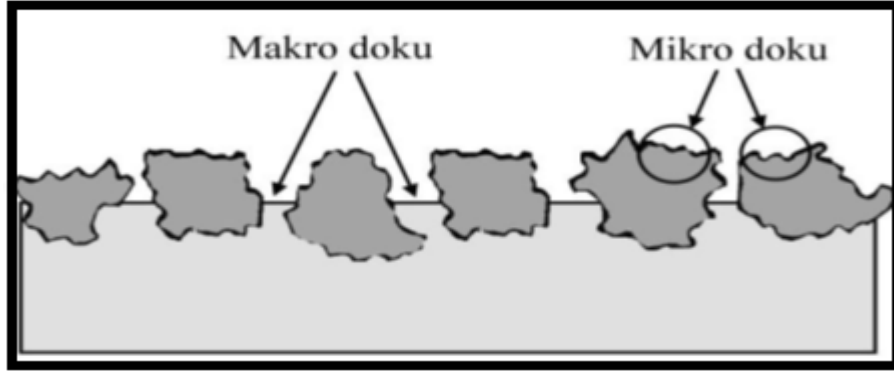
zaman dikkate alınacak en önemli yüzey özelliği geometrik düzgünlüktür. Yapım sırasında iyi bir geometrik düzgünlük elde edilmesi için öncelikle üniform kıvama ve yeterli bir işlenebilirliğe sahip, serme makinalarına uyum sağlayabilen beton kullanılmalıdır. Beton santrali kapasitesi, serme makinelerini duraklamalara yol açmayacak şekilde sürekli besleyebilecek düzeyde olmalıdır. Şantiye uzaklığı sınırlandırılmalı, taban zemininin ve kaplama altının yeterli ve üniform bir stabiliteye sahip olması ve iyi tesviye edilmesi, kalıpların, makinelerin geçişleri sırasında yerlerinden oynamayacak şekilde monte edilmesi, taze betona derz donatılarının vibrasyonla gömülmesi sırasında geometrik düzgünlüğün bozulmamasına özen gösterilmesi hususlarına ayrıca dikkat edilmelidir (Karpuz, 2008).

### **1.5.2. Pürüzlülük**

Pürüzlülük, PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) tarafından üç seviyede tanımlanmıştır.

#### **1.5.2.1. Mikro Pürüzlülük**

$\lambda < 0.5$  mm'den küçük dalga boylu girinti ve çıkıntılar mikro doku olarak incelenir. Mikro doku, genel olarak karışımdaki agregaların yüzeyine bağlıdır ve mineral agreganın petrografisinden etkilenir. Ayrıca beton yollarda ince agreganın çimentonun oluşturduğu harç mikro dokuya katkı yapar. Bütün hızlarda, özellikle ıslak yolda, taşıtlara yeterli bir kayma direnci sağlamak için kaplamanın hem pürüzlü (makro doku) hem de pütürlü (mikro doku) olması gerekir (Şekil 1.3). Mikro doku, yol kaplaması ile tekerlek lastiği arasındaki temas noktalarında kalan su filminin parçalanmasını ve lastikle yol arasında kuru temasın oluşmasını sağlar.



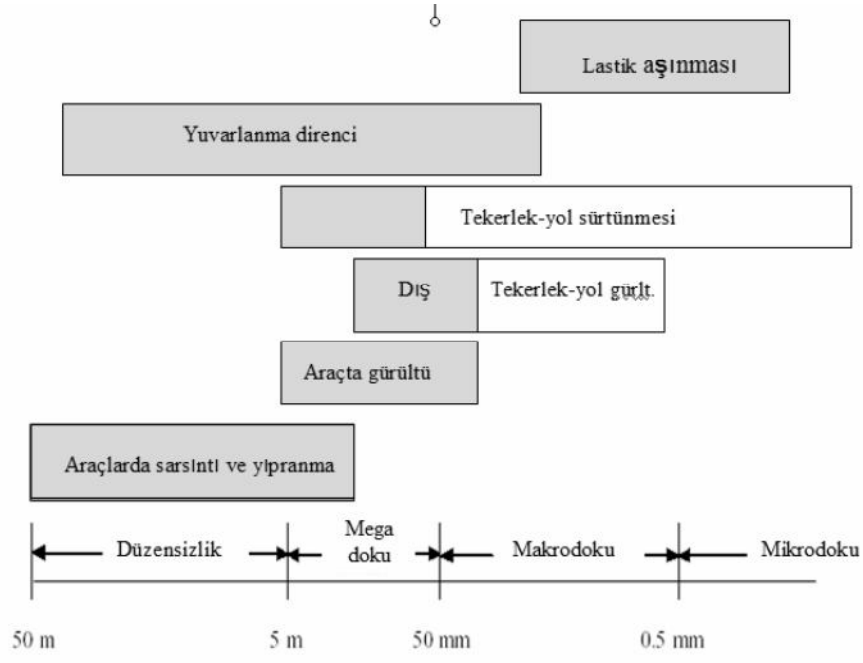
Şekil 1. 3. Mikro doku ve makro doku (URL-3, 2007)

#### 1.5.2.2. Makro Pürüzlülük

0.5 mm <  $\lambda$  < 50 mm arasındaki dalga boyundaki girinti ve çıkıntıları ifade eder. Agreganın dane boyutuna bağlı bir parametredir (Şekil 1.3). Makro doku, kaplamanın ortalama geometrik pürüzlülüğünü, dolayısı ile su drenajı kapasitesini belirtir. Islak yollarda yüksek hızda seyir durumunda suyun tekerlek temas alanından kaçışını hızlandırmak için, gürültü ve yakıt tüketimini arttırmasına rağmen yeterli bir makro doku oluşturmak gerekir. Farklı pürüzlülüklerin farklı etkileri olacaktır (Şekil 1.4) (URL-3, 2007).

#### 1.5.2.3. Mega Pürüzlülük

Pürüzlülükten daha çok kaplama yüzeyindeki dalgalanma, kusur, arıza olarak algılanmaktadır. Dalga boyları 5-50 cm arasında, genlikleri 10-50 mm arasında değişen girinti çıkıntılardır (Şekil 1.4). Mega pürüzlülük yolun geometrik düzgünlüğü ile makro pürüzlülüğü arasında geçiş bölgesi oluşturur. Bu aralık, büyüklük olarak, tekerlek bandajının yol yüzeyine değme alanı değerindedir (Karpuz, 2008).



Şekil 1. 4 Yol yüzey özelliklerinin araçlara etkisi

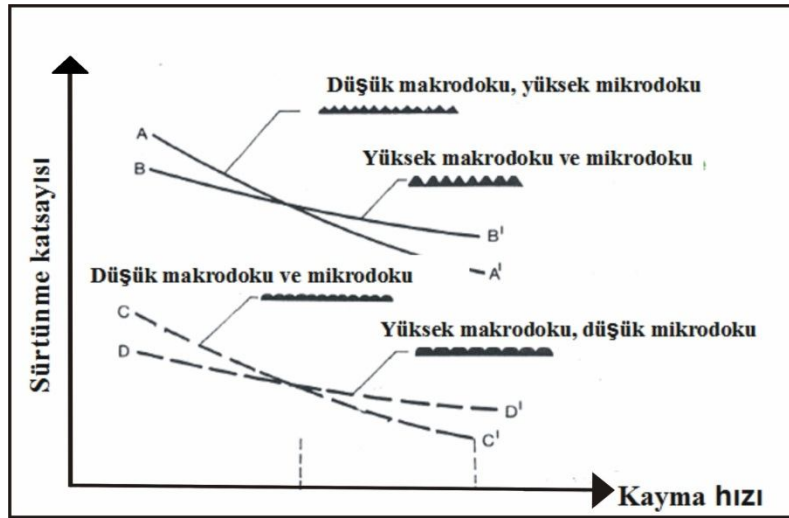
### 1.5.3. Sürtünme Katsayısı

Yüzeyler ne kadar düz görülürse görülsün pürüzlüdürler. Bir mikroskopla bakılan cilalı cismin yüzünde bile girinti ve çıkıntılar vardır. Birbirine dayalı iki cisim halinde bir cismin çıkıntıları öteki cismin girintilerine girmiştir. Cismi kaydırmak ya da hareket ettirmek için giren çıkıntıları çıkarmak gerekir. Bu da çıkıntıların eğilmesi ya da kırılması ile olabilir. Hareketin zıt yönünde oluşan sürtünme kuvvetlerinin nedeni budur. Bir cisim öteki cisim üzerinde yuvarlanırsa sürtünme kuvvetleri kayarken oluşan sürtünme kuvvetlerinden daha küçük olur. Bu, yuvarlanma sırasında iç içe giren kesimlerin ayrılmasının daha kolay olmasından ileri gelir. Dayanma yüzeyinde oluşan çukurlaşma yuvarlanma sürtünmesini artırır. Kayma sürtünme kuvvetlerinden kurtarıp yerine küçük olan yuvarlanma sürtünme kuvvetlerini koyan tekerlek, araçlarının en önemli parçasıdır. Motor, gücün iletiildiği tekerlekleri döndürür. Tekerlek ve yolun temas ara yüzünde oluşan sürtünme kuvvetleri tekerleğin kaymasını önler ve dönmesini sağlar. Dönme de aracı hareket ettirir. Tekerlek ile yol arasında sürtünme kuvveti, tekerleği döndüren kuvvetten küçük ise tekrar kayar. Sürtünme, harekete başlatmadakinden daha fazla hareketi durdurmada önem kazanmaktadır. Araçları durdurmak için tekerleklerin dönüşünü engelleyen balata denilen sürtünmesi çok levhaların kullanıldığı fren düzeneğine ihtiyaç

vardır. Ancak tekerlek ile yolun temas ara yüzündeki sürtünme en kritik noktadır. Tekerlek bloke edilse bile aracın yol üzerinde kayma - kızıklama tehlikesi söz konusudur. Karayolundaki sürtünme katsayısının tekerlek özellikleri ve yolun yüzey özellikleri olmak üzere iki yönü olup ulaştırma mühendisliği yol yüzey özellikleri ile ilgilenmektedir (Karpuz, 2008).

### 1.5.3.1. Sürtünme Katsayısı-Pürüzlülük İlişkisi

Yüzeyi kuru yollarda sürtünme katsayısı üzerinde kaplama pürüzlülük değeri önemli bir fark oluşturmazken, yüzeyi ıslak yollarda hız artışıyla beraber makro pürüzlülük önem kazanmaktadır. Yeterli makro doku derinliği olmayan yollarda tekerlek yol ara yüzünden su kısa zamanda uzaklaşamayacağından sürtünme değeri düşmekte, fren mesafeleri önemli oranlarda uzamaktadır (Şekil 1.5).



Şekil 1. 5 Hız ve pürüzlülük durumuna göre sürtünme katsayısının değişimi

Yol yüzeyinin makro ve özellikle mikro pürüzlülüğü trafik ve çevre şartlarının aşındırmasıyla zaman içinde azalacaktır. Pürüzlülük değerleri azalınca sürtünme de azalacaktır. Dolayısıyla pürüzlülüğü etkileyen her şey sürtünmeyi de aynı doğrultuda etkiler. Pürüzlülüğün uzun süre yeterliliğini korumasında, yol yüzeyinde çıkıntı oluşturan agregaların aşınmaya ve cilalanmaya dirençleri en önemli etkiye sahiptirler (Karpuz, 2008).

### 1.5.3.2. Sürtünme Katsayısı - Trafik Kazaları İlişkisi

Yol yüzeyi ıslandığında, yüzeyin mikro ve makro dokusuna ve geometrik düzgünlüğüne bağlı olarak sürtünme katsayısı değeri önemli ölçüde düşebilmektedir. Düşük seviyedeki ıslak sürtünme katsayısı araçların yavaşlama, manevra yapma kabiliyetlerini önemli oranda azaltacağından bazı istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilmektedir.

Amerikan ulusal ulaşım güvenliği kürsüsü ve ulusal karayolları müdürlüğü toplam ölümlü kazaların yaklaşık % 13,5'inin ve toplam kazaların % 25'inin ıslak yollarda meydana geldiğini belirtmektedir. Yine de bu tür ıslak yollardaki kazalara sürtünme katsayısının yeterli olmamasının direkt olarak neden olduğu gibi bir görüş bugüne kadar doğrulanmış değildir. Bir trafik kazasının meydana gelmesinde bir ya da daha çok faktör etkili olmuş olabilir (sürücü, araç, yol faktörleri). Yol yüzeyinin sürtünme katsayısı durumu bunlardan sadece biridir. Ancak tekerlek ile yol yüzeyi arasında sürekli oluşan sürtünme, kazaları kontrol etmede ve azaltmada en kritik faktördür.

Kaza anında fren mesafesinin uzamasından dolayı yeterli sürtünmenin olmadığı yol kesimlerinde çarpışma şiddetinin arttığı ve bunun sonucunda da ölü ve yaralı sayısının, maddi hasarların çoğaldığı ortak görüşü vardır. Ağır aşındırıcı etkiye sahip olması nedeniyle kamyon trafiğinin yoğun olduğu yollarda cilalanma hızlı gelişmekte, sürtünme daha kısa zamanda azalmaktadır. Bu tür yollarda daha sert agregalar kullanılarak sürtünme değerinin yüksek tutulması gereklidir. Değişik yol kesimleri için tavsiye edilen agregalar cilalanma-sürtünme katsayısı değerleri Tablo 1.1'de verilmektedir.

Tablo 1. 1 Yol kesimine ve kamyon trafiği yoğunluğuna göre olması gereken agrega cilalanma değeri ve sürtünme katsayısı değerleri

Yol Kesiminin Özellikleri	Agrega cilalanma değeri-PV						Proje Sürtünme Katsayısı	Kalite Seviyesi
	Günlük Şerit başına ağır ticari araç sayısı							
	250	100	1750	2500	3250	4000		
Kavşaklarda Yakın Yerler	7	7	8	8	9	9	55	Yüksek
%10 Dan Fazla Eğimli, 50m den Uzun İniş Rampaları,250 m den Dar Kurplar	6	7	7	8	8	9	50	Yüksek
%5-10 İniş eğimli Rampalar	6	6	7	7	8	8	45	Yüksek
Bölünmemiş Düzgün Yollar	5	6	6	7	7	8	40	Düşük
Bölünmüş Düzgün Yollar	5	5	6	6	7	7	35	Düşük

Beton yol kaplamalarında, inşaat sırasında aşınmaya dayanıklı ince agrega ve mekanik yüzey bitirmesinin kullanılması, daha uzun aşınma ve daha fazla kaymaya dayanıklı yol kaplaması yapılmasını sağlar (Karpuz, 2008).

### 1.6. Yapay Zekâ Teknikleri

Yapay zekâ ya da İngilizcesiyle "Artificial Intelligence", 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 zekâ, bilgi edinme, algılama, görme, düşünme ve karar verme gibi insan zekâsına özgü kapasitelerle donatılmış bilgisayarlardır. Yapay zekâyı basit anlamda insanı taklit etmeye çalışan makineler olarak da açıklayabiliriz. Bu makinelerin zekâ bakımından tek dayanağı insan zekâsı olabilir; çünkü henüz insan zekâsına bağlı olmayan ve kanıtlanabilen bir zekâyı ulaşılmamıştır.

Yapay zekâ tartışmaları, genel olarak birbirinin zıttı iki görüş barındırır. Görüşlerden biri yapay zekânın ilk ortaya çıktığı yıllarda ileri sürülmüştür ve düşünmenin



sadece bilgiyi işlemeden ibaret olduğunu belirtmektedir. Bu görüşe katılanlar, yapay zekânın bir gün insan zekâsı seviyesine gelebileceğine inanırlar ve beynin çalışma prensipleri herhangi bir makine da tamamen sağlanırsa o makinenin da bizim gibi düşüneceğine inanırlar. İkinci görüş ise insan düşüncesinin herhangi bir yapay düşünceden çok farklı olduğunu ve insanların sezgi, akıl yürütme, olaylara anlam verme, duyarlı olma gibi yeteneklerinin hiçbir cansız varlık tarafından kazanılamayacağını savunurlar. Onlara göre düşünce kendiliğinden ve hiçbir zorlama olmadan gerçekleşen soyut bir eylemdir. Bu yüzden hiçbir bilgisayar insan gibi sevinemez, üzülemez, heyecan duyamaz; çünkü bilgisayarlar veya robotlar için bu gibi insana özgü soyut duygular sadece işlenecek verilerdir. Bu duyguların onlar için başka bir anlamı olamaz (Engin, 2004).

Yapay zekâ ile ilgili ilk çalışma McCulloch ve Pitts (1940), tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacıların önerdiği, yapay sinir hücrelerini kullanan hesaplama modeli, önermeler mantığı, fizyoloji ve Turing' in hesaplama kuramına dayanıyordu. Herhangi bir hesaplanabilir fonksiyonun sinir hücrelerinden oluşan ağlarla hesaplanabileceğini ve mantıksal "ve" ve "veya" işlemlerinin gerçekleştirilebileceğini gösterdiler. Bu ağ yapılarının uygun şekilde tanımlanmaları halinde öğrenme becerisi kazanabileceğini de ileri sürdüler. Hebb, sinir hücreleri arasındaki bağlantıların şiddetlerini değiştirmek için basit bir kural önerince, öğrenebilen yapay sinir ağlarını gerçekleştirmek de olası hale gelmiştir. Simon (1950), daha sonra fiziksel simge varsayımını ortaya atmış ve bu kuram, insandan bağımsız zeki sistemler yapma çalışmalarıyla uğraşanların hareket noktasını oluşturmuştur. Bundan sonraki yıllarda mantık temelli çalışmalar egemen olmuş ve programların başarılarını göstermek için bir takım yapay sorunlar ve dünyalar kullanılmıştır. Daha sonraları bu sorunlar gerçek yaşamı hiçbir şekilde temsil etmeyen oyuncak dünyalar olmakla suçlanmış ve yapay zekânın yalnızca bu alanlarda başarılı olabileceği ve gerçek yaşamdaki sorunların çözümüne ölçeklenemeyeceği ileri sürülmüştür.

Geliştirilen programların gerçek sorunlarla karşılaştığında çok kötü bir başarı göstermesinin ardındaki temel neden, bu programların yalnızca sentaktik bir şekilde çalışıp konu ile ilgili bilgileri kullanmamasıydı. Bu dönemin en ünlü programlarından Weizenbaum tarafından geliştirilen Eliza karşısındaki ile sohbet edebiliyor gibi görünmesine karşın, yalnızca karşısındaki insanın cümleleri üzerinde bazı işlemler yapıyordu. İlk makine çevirisi çalışmaları sırasında benzeri yaklaşımlar kullanılıp çok gülünç çevirilerle karşılaşıncı bu çalışmaların desteklenmesi durdurulmuştur.

Zeki davranışı üretmek için bu çalışmalarda kullanılan temel yapılarıdaki bazı önemli yetersizliklerin de ortaya konmasıyla birçok araştırmacılar çalışmalarını durdurdular. Buna en temel örnek, sinir ağları konusundaki çalışmaların Minsky ve Papert' in (1969) yayınlanan Perceptrons adlı kitaplarında tek katmanlı ağların bazı basit problemleri çözemeyeceğini gösterip aynı kısırlığın çok katmanlı ağlarda da beklenilmesi gerektiğini söylemiş olmalarıdır.

Her sorunu çözecek program yerine belirli bir uzmanlık alanındaki bilgisiyile donatılmış programlar kullanma fikri, yapay zekâ alanında yeniden bir canlanmaya yol açtı. Kısa sürede uzman sistemler adı verilen bir metod gelişti. Fakat burada çok sık rastlanan tipik bir durum, bir otomobilin tamiri için önerilerde bulunan uzman sistem programının, otomobilin ne işe yaradığından haberi olmamasıydı.

İnsanların iletişimde kullandıkları Türkçe, İngilizce gibi doğal dilleri anlayan bilgisayarlar konusundaki çalışmalar bu sıralarda hızlanmaya başladı. Uzman sistemlerin başarıları beraberinde ilk ticari uygulamaları da getirdi. Yapay zekâ yavaş yavaş bir endüstri haline gelmeye başladı. Bütün bu çalışmaların sonunda yapay zekâ araştırmacıları farklı gruplara ayrıldı ve farklı yapay zekâ sistemleri geliştirmeye çalıştılar. Bir grup insan gibi düşünen sistemler yapmak için çalışırken, diğer grup ise rasyonel karar verebilen sistemler üretmeyi amaçladılar ve böylece yeni yapay zekâ yöntemleri bilime kazandırılmış oldu (Serin, 2009).

Günümüzde iş dünyasından kamu sektörüne, çevre ve sağlık organizasyonlarından askeri sistemlere kadar hemen hemen her alanda bilgisayar yaygın olarak kullanılmaktadır. Önceleri sadece elektronik veri transferi ve karmaşık hesaplamaları gerçekleştirmek için geliştirilen bilgisayarlara zaman içinde verileri filtreleyerek özetleyebilme ve eldeki bilgileri kullanarak olaylar hakkında yorumlar yapabilme nitelikleri de kazandırılmıştır. Günümüzde ise bilgisayarlar hem olaylar hakkında karar verebilmekte hem de olaylar arasındaki ilişkileri öğrenebilmekte, matematiksel olarak formülasyonu kurulamayan ve çözülmesi mümkün olmayan problemler, sezgisel yöntemler kullanılarak çözülebilmektedir. Bilgisayarları bu özellikler ile donatan ve bu yeteneklerinin gelişmesini sağlayan çalışmaların hepsi yapay zekâ çalışmaları olarak adlandırılır. Bir problemin çözümünü sağlayan formül ya da algoritmalar geliştirilmiş ise geleneksel bilgisayar sistemleri problemi çözmek için yeterlidir. Fakat önemli olan problemin çözümünün elde edilemediği durumlarda bilgisayarlara problemleri çözdürmektir. Yapay zekâ bu görevi üstlenmektedir.

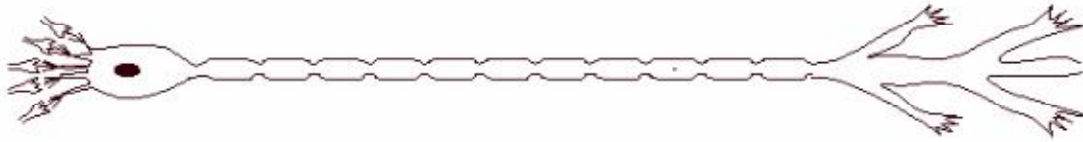
### 1.6.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, insan beyninin çalışma mekanizması taklit edilerek geliştirilmiş ve biyolojik olarak insan beyninin yaptığı temel işlemleri belirli bir yazılımla gerçekleştirmeyi amaçlayan mantıksal bir programlama tekniğidir. Bilgisayar ortamında, beynin yaptığı işlemleri yapabilen, karar veren, sonuç çıkaran, yetersiz veri durumunda var olan mevcut bilgiden yola çıkarak sonuca ulaşan, sürekli veri girişini kabul eden, öğrenen, hatırlayan algoritma “Yapay Sinir Ağları (YSA)” olarak adlandırılır. Bir yapay sinir ağı birbirleri ile paralel ve birbirine bağlı nöron elemanların hiyerarşik organizasyonundan oluşur.

Yapay sinir ağlarının konvansiyonel yöntemlere oranla bir problemi, problemin kendi özelliğine ait bir takım matematiksel formülasyonlar kullanarak çözmek yerine problemi örnekler üzerinden öğrenmeleri, değişen şartlara uyumlu olabilmeleri ve gürültülü datalardan bir problemin özünü öğrenebilmeleri gibi avantajları nedeniyle özellikle mühendislikte çok geniş bir potansiyonel uygulama alanına sahiptir.

Yapay sinir ağlarında bilgi konvansiyonel yöntemlerin aksine nöronlar arasındaki bağlantılarda gizlidir. Bu bağlantıların geniş bir alana yayılmış olmaları Yapay sinir ağlarına yayılmış hafıza özelliği verir. Yayılmış hafıza özelliği yapay sinir ağlarına hata tolere etme, eksik bilgi ile çalışma gibi özellikler kazandırır.

Bir yapay sinir ağı tabakalar halinde dizilmiş nöronlardan oluşur. Ağ tipine bağlı olarak bir tabakadaki nöron, diğer tabakalardaki nöronlarla ve aynı tabakadaki başka nöronlarla bağlantılıdır.

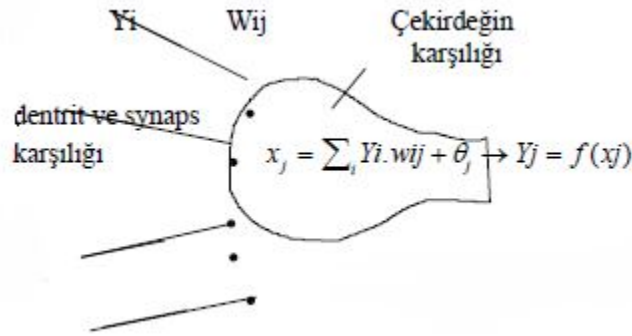


Şekil 1. 6. Biyolojik nöron şekli

Biyolojik nöron (Şekil 1.6), bir çekirdek gövde ve iki türlü uzantıdan oluşur. Çekirdek nöronun ortasında bulunur ve aktivasyon için enerji sağlar. Çekirdekten önde bulunan dentrit, bir önceki nöronla kontak yaparak giriş bilgilerini alır ve bu bilgileri

çekirdeğe iletir. Çekirdekten çıkan bilgiler akson yardımıyla bir sonraki nörona iletilir ve bu işlem sürekli olarak devam eder.

Bir biyolojik nöronun matematiksel modeli Şekil 1.7’de verilmiştir. Bu tür nöronlara Mc Culloch - Pitts nöronu denilir. Bu tür bir hesap modeli, ağın işlem birimini temsil eder ve birbirleriyle bağlanarak ağı oluşturur (Acır, 2007).



Şekil 1. 7. Bir biyolojik nöronun Mc Culloch-Pitts hesaplama modeli

20. yüzyılın ikinci yarısında temelleri atılan yapay zekâ tekniği, günümüzde hemen her disiplinde kullanılır olmuştur. Mühendislikte başta elektrik-elektronik alanı olmak üzere, inşaat mühendisliğinin de içinde olduğu birçok alanda araştırma konusu haline gelmiştir. YSA son birkaç yıl içinde teorik gelişiminin yanı sıra, pratik uygulamalarda kullanılmaya başlanmış yeni bir hesap modelidir. YSA'nın yapı analizi ve tasarımında kullanılması çalışmaları büyük bir hızla devam etmektedir. İnsan beynindeki sinir hücrelerinin öğrenme kabiliyetinin modellenmesi çalışmaları ile ortaya çıkan YSA, optimizasyon tasarımları için de etkin bir metottur.

Yapay sinir ağı modelleri, algoritmik olmayan, paralel ve yayılı bilgi işleme yetenekleri ile bilinen modellerden farklıdır. Bu özellikleri sayesinde YSA, özellikle karmaşık ve doğrusal olmayan hesapları kolaylıkla ve hızlı bir şekilde yapabilir. Algoritmik olmayan ve çok yoğun paralel işlem yapabilen YSA, ayrıca öğrenebilme kabiliyeti ve paralel dağıtılmış hafıza ile de hesaplamada yeni bakış açılarına sebep olmuştur (Acır, 2007).

Paralel olarak bir araya gelen yapay sinir hücreleri birbirine bağlantı ağırlıkları ile bağlanır ve sinir hücreleri arasındaki bu bağlantı ağırlıklarının değerleri düzeltilerek sinir ağının eğitilmesi sağlanır.

Günümüzde, beyin örnekle yardımı ile bilgi depolandığını gösteren biyolojik araştırmalardaki gelişmeler doğal düşünce mekanizmasının anlaşılmasında gelecek için ümit vericidir. Örneklerle bilginin depolanması süreci, örneklerin alınması ve daha sonra yeni hesaplamada problem çözümlerinde kullanılmasıdır. Bu çözüm yolu geleneksel programlarda faydalanmaz, ancak daha çok paralel ağların oluşturulmasını ve bu ağların özel problemlerin çözümü için eğitilmesini içerir (Albayrak, 2005).

Yapay sinir ağları, paralel ve yüksek hesaplama hızlarının gerekli olduğu ve mevcut en iyi bilgisayar sistemlerinin dahi gerçekleştirmekten oldukça uzak olduğu, özellikle konuşma ve görüntü algılama başta olmak üzere çok çeşitli alanlarda uygulanmaktadır.

İnsan beyninin düşünme, hatırlama ve problem çözme gibi yetenekleri, biyolojik sinir hücresinin öğrenme süreci ile benzer yapıya sahip olan yapay sinir ağlarının geliştirilmesinde çok sayıda araştırmacıya esin kaynağı olmuş ve insan beyninin öğrenme sürecine dayalı basit yapay modeller olan yapay sinir ağları geliştirilmiştir.

Uzman sistemlerde ve çeşitli sinyal işlemcilerinde geniş bir uygulama alanına sahip olacak olan sinir ağları tıbbi teşhis, finansal hizmetler, stoklama bedeli tahmini, güneş yüzeyindeki patlamaların tahmini ve diğer uygulamalarda kullanılmaktadır.

Daha önce de söylendiği üzere yapay sinir ağları insan beyninin çalışma prensibi örnek alınarak geliştirilmiştir. Bu bakımdan aralarında birtakım benzerlikler vardır. Tablo 2.1’de yapay sinir ağları ile biyolojik sinir ağları arasındaki bu benzerlikler görülmektedir.

Tablo 1. 2. Biyolojik sinir ağı ve yapay sinir ağının karşılaştırılması (Güngör, 2007)

Biyolojik Sinir Ağı	Yapay Sinir Ağı
Sinir Sistemi	Sinirsel Hesaplama Sistemi
Sinir Hücresi (Nöron)	İşlemci Eleman(Yapay Sinir Hücresi,Düğüm)
Sinaps	İşlemci elemanlar arasındaki bağlantı ağırlıkları
Dendrit	Toplama Fonksiyonu
Hücre Gövdesi	Aktivasyon Fonksiyonu
Akson	İşlemci Eleman çıktısı

İnsan beyni, bozulduğunda bütün beyin faaliyetinin durmasına yol açacak merkezi bir işlemciye sahip değildir. Bir bilgisayar programında tek bir komutun bile yanlış olması programın çalışmaması veya tamamen yanlış bir sonuç vermesine neden olurken, insan

beynindeki bir sinir hücrenin (nöronun) faaliyetini yitirmesi beyin bütün faaliyetini veya bazı fonksiyonlarını tamamen yitirmesine neden olmaz. Bunun nedeni bilgisayarların seri, beyin elemanlarının ise paralel işlemci mantığı ile çalışmasından kaynaklanır, yani bilgisayarlarda tek bir merkezi işlemci her hareketi sırasıyla gerçekleştirmektedir. Beyinde ise her bir sinir hücresi, büyük bir problemin bir parçasıyla ilgilenen birbirine paralel bağlanmış bir işlemci eleman yapısındadır. Sinir hücreleri kendi başlarına yavaş olmalarına karşın sistem paralel çalışmasından dolayı hızlıdır.

Beynin ve bilgisayarların birbirlerinden farklı olarak üstün oldukları bu özellikler ve son zamanlarda beyin çalışma sistemi üzerine edinilen bilgilerin artması, insan beynini modelleyerek çalışan bilgisayar araştırmalarını da arttırmıştır.

Bu yaklaşımın sonucu, yapılan çalışmalarda beyin temel işlemci elemanları olan sinir hücrelerinin oluşturduğu ağ yapısının matematiksel modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Beyin bütün davranışlarını modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay sinir hücreleri ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylece, “Yapay Sinir Ağları” denen günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yöntemlerinden farklı bir çalışma disiplini ortaya çıkmıştır (Saraç, 2004).

Pek çok tanımı bulunan yapay sinir ağları basit olarak, beyindeki sinirlerin çalışmasından esinlenilerek sistemlere öğrenme, hatırlama, bilgiler arasında ilişkiler oluşturma gibi yetenekleri kazandırmayı amaçlayan bilgi işleme algoritmalarıdır. Literatürde çok rastlanan ve Teuvo Kohonen’e (1987) ait tanımda ise yapay sinir ağları “Biyolojik sinir sisteminde olduğu gibi gerçek yaşam nesneleriyle etkileşmeyi amaçlayan basit elemanların ve onların hiyerarşik düzenlemelerinin paralel, içiçe bağlantılı ağları” şeklinde bahsedilmektedir (Taşgetiren, 2005). Daha geniş bir tanım olan Haykin (1999)’in tanımına göre ise “Bir sinir ağı, basit işlem birimlerinden oluşan, deneysel 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 gösterir:

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”.

Yapay sinir ağları ayrıca sinirsel ağlar (neural nets), bağlantılı ağlar (connectionist networks), yapay sinir sistemleri (artificial neural systems), paralel dağıtılmış ağlar (paralel distributed networks) olarak da adlandırılmaktadır.

Yapay sinir ağlarında bilgi işleme, sinir hücresi adı verilen birçok basit elemanda gerçekleşmektedir. Bir sinir hücresinden gelen sinyal, sinir hücreleri arasındaki ilişkiyi sağlayan bağlantılarla iletilmektedir. Her bir bağlantının bir ağırlık değeri vardır ve girdiyi önemine göre ağırlıklandırarak geçişini sağlamaktadır. Sinir ağı içindeki her bir sinir hücresine ayrı bir aktivasyon fonksiyonu uygulanmaktadır (bu fonksiyon genelde doğrusal olmayan bir fonksiyondur) ve bu fonksiyonun çıkış değeri sayesinde sinir hücresinin çıkış sinyali hesaplanmaktadır. Herhangi bir yapay sinir ağı; sinir hücreleri arasındaki bağlantının bir modeli yani mimarisi, bağlantılar arasındaki ağırlıkların hesaplanması (bu hesaplama, öğrenme kuralı ya da öğrenme algoritması olarak da adlandırılır) ve aktivasyon fonksiyonu ile tanımlanabilir (Baş, 2006).

#### **1.6.1.1. Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları**

Gerçek yaşamda yapay sinir ağlarının kullanımı gün geçtikçe karsımıza daha sık çıkmaya başlamıştır. Günümüz problemleri oldukça karışık ve sıradan algoritmalarla çözümlenemeyecek derecede zeki algoritmalara ihtiyaç duyar hale gelmiştir. Problemi oluşturan sebeplerin dinamik olarak değişimi klasik algoritmaların çözüme başlamadan tıkanmasına yol açmıştır.

Bir başka boyutla bakılacak olunursa günümüz problemleri hataya toleranslı yaklaşımda bulunabilecek algoritmalara gereksinim duymaktadır. Örneğin bilgisayar ağı üzerinde ki trafiğin yoğunluğu artınca paketler için bir limit konacaktır. Bu limiti algılayan algoritmalar, kesin olarak paket gönderimini durduracak yahut kesin bir zaman dilimi uygulamasına giderek paketleri o zaman dilimlerinde göndererek trafiğin yoğunluğunu kontrol altına almaya çalışacaktır. Oysaki yapay sinir ağları yardımıyla ağın trafik yoğunluğu sürekli dinlenmekte, trafiğin dinamik değerine bakılarak paket gönderimi üzerine karar verilebilmektedir. Böylece dinamik ve hatalara açık durumlara toleranslı yaklaşabilen yapay sinir ağları bu özelliği yüzünden kullanım alanı olarak yaygınlaşmaya başlamıştır. Değişen durumlardan kaynaklanan dinamik değerlerin akışının kontrolü “np complete” olarak nitelendirilen karmaşık ortamları doğurmaktadır. Örneğin yönlendirme (routing) yapan klasik bir algoritma, trafiğin yoğunlaşması ya da iletişim hattı üzerindeki düğümlerden birinin devre dışı kalması gibi sebeplerden dolayı ağın yapısında meydana gelen dinamik değişimi algılamakta güçlük çekecek, algıladığı zaman ise yönlendirme tablolarını güncelleyemeyecektir. Oysa bu tezin çalışma konusu olarak iletileceği üzere

yönlendirme (routing) her dinamik değişimde bile rahatlıkla yönlendirme tablolarını güncelleyebilecektir.

Karar verme mekanizması olarak kullanılan yapay sinir ağları bu özellikleri yüzünden de tercih edilmektedir. İyi bir sınıflandırma karakteristiğine sahip olan yapay sinir ağı modelleri, sorgulanan bilginin hangi sınıfa ait olduğunun cevabını vereceğinden o girdi üzerinde karar vermiş olacaktır. Örneğin A hastalığının olup olmadığına dair eğitilen bir yapay sinir ağı modeli, bir hastanın şikâyetleri girildiğinde doktorun görevini üstlenebilecek ve kişiye A sinici hastalığı olduğunu ve buna göre tedavi olması için gerekenleri karar verebilecektir. Bu tip kullanım sahasına ülkemizde ki akademik çalışma yapan tip fakültelerinde artık rastlanabilmektedir.

Günümüzde yapay sinir ağları eksik bilgilerle çalışabilme ve normal olmayan verilere çözüm üretebilme yeteneklerinden dolayı pek çok alanda kullanılabilir. Doğrusal olmayan, çok boyutlu, gürültülü, karmaşık, kesin olmayan, eksik, kusurlu, hata olasılığı yüksek veriler ve problemlerin çözümü için özellikle bir matematiksel model ve algoritmanın bulunmaması durumlarında yaygın halde yapay sinir ağları uygulamaları yapılabilmekte ve başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Bu amaçla geliştirilmiş ağlar genel olarak şu fonksiyonları yerine getirmektedir:

- Probabilistik fonksiyon kestirimleri
- Sınıflandırma
- İlişkilendirme ve örüntü tanımlama (pattern recognition engine)
- Zaman serileri analizleri
- Sinyal filtreleme
- Veri sıkıştırma
- Örüntü tanıma
- Doğrusal olmayan sinyal işleme
- Doğrusal olmayan sistem modelleme
- Optimizasyon
- Zeki ve doğrusal olmayan kontrol

Yapay sinir ağları bu teorik uygulamaların ötesinde günlük hayatta kullanılan finansal konular, mühendislik ve tıp bilimi gibi birçok alanda uygulanabilmektedir. Evimizdeki aletlerden cep telefonlarına kadar günlük hayatımızda yapay sinir ağları uygulamaları görmek mümkündür. Bu uygulamalar çok çeşitli olup, en önemlileri aşağıda açıklanmıştır.



Arıza analizi ve tespiti: Bir sistemin, cihazın ya da elemanın düzenli (doğru) çalışma şeklini öğrenen bir yapay sinir ağı yardımıyla bu sistemlerde meydana gelebilecek arızaların tanımlanma olanağı olmaktadır. Bu amaçla yapay sinir ağları, elektrik makinelerinin, uçakların ya da bileşenlerinin, entegre devrelerin vb. arıza analizinde kullanılmaktadır.

Finansal uygulamalar: Makroekonomik tahminler, kredi kartı hilelerinin tespiti, kredi kartı kurumlarında iflas tahminleri, banka kredilerinin değerlendirilmesi, emlak kredilerinin yönetilmesi, döviz kuru tahminleri, risk analizleri gibi örneklerde uygulama alanı bulmaktadır.

Tıp uygulamaları: EEG ve ECG gibi tıbbi sinyallerin analizi, kanserli hücrelerin analizi, protez tasarımı, transplantasyon zamanlarının optimizasyonu ve hastanelerde giderlerin optimizasyonu gibi konularda uygulanmaktadır.

Savunma sanayi uygulamaları: Silahların otomasyonu ve hedef izleme, nesnelere/görüntüleri ayırma ve tanıma, yeni algılayıcı tasarımı ve gürültü önleme gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Haberleşme uygulamaları: Görüntü ve veri sıkıştırma, otomatik bilgi sunma servisleri, konuşmaların gerçek zamanda çevirisi gibi alanlarda uygulanmaktadır.

Üretim uygulamaları: Üretim sistemlerinin optimizasyonu, ürün analizi ve tasarımı, ürünlerin kalite analizi ve kontrolü, planlama ve yönetim analizi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Otomasyon ve kontrol uygulamaları: Uçaklarda otomatik pilot sistemi otomasyonu, ulaşım araçlarında otomatik yol bulma ve gösterme, robot sistemlerin kontrolü, doğrusal olmayan sistem modelleme ve kontrolü, elektrikli sürücü sistemlerin kontrolü gibi alanlarda uygulanmaktadır.

Farklı alanlardaki uygulamalar incelendiğinde yapay sinir ağlarının genel olarak şu fonksiyonları gerçekleştirmek amacıyla kullanıldıkları görülmektedir.

Tahmin: Bu amaçla kullanılan yapay sinir ağları, ağa sunulan bilgilerden yararlanarak karşılık gelen çıktı değerlerini tahmin etmektedirler.

Sınıflandırma: Bu amaçla kullanılan yapay sinir ağları, kendilerine verilen bilgileri kategorize etmek görevini üstlenmektedirler.

Veri ilişkilendirme: Bu amaçla eğitilen ağlar, ağa sunulan verilerin hatalı olup olmadıklarını belirlemektedirler. Öğrendikleri bilgiler ile eksik bilgileri tamamlamaktadırlar.

Veri filtreleme: Bu amaçla eğitilen ağlar, birçok veri arasından uygun verileri belirleme görevini yerine getirmektedir.

Tanıma ve eşleştirme: Değişik şekil ve örüntülerin tanınması, eksik, karmaşık, belirsiz bilgilerin işlenerek eşleştirme ve tanıma fonksiyonlarını gerçekleştirebilmektedir.

Teşhis: Bu amaçla geliştirilen ağlar, sistemlerin olumsuzluklarının ortaya konulması ve problemlerin belirlenmesi işlemini yerine getirmektedirler.

Yorumlama: Bir olay hakkında toplanan örneklerden elde edilen ve eğitim sonucu oluşturulan bilgileri kullanarak yeni olayların yorumlanması işlemleri bu kapsamda düşünülmektedir (Baş, 2006).

### **1.6.1.2. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri**

Yapay sinir ağlarının karakteristik özellikleri uygulanan ağ modeline göre değişmektedir. İlgili modeller anlatılırken her modelin özellikleri ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Burada bütün modeller için geçerli olan genel karakteristik özellikler verilmiştir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yapay sinir ağları makine öğrenmesi gerçekleştirirler: Yapay sinir ağlarının temel işlevi bilgisayarların öğrenmesini sağlamaktır. Olayları öğrenerek benzer olaylar karşısında benzer kararlar vermeye çalışırlar.

- Programları çalışma stili bilinen programlama yöntemlerine benzememektedirler. Geleneksel programlama ve yapay zekâ yöntemlerinin uygulandığı bilgi işleme yöntemlerinden tamamen farklı bir bilgi işleme yöntemi vardır.

- Bilginin saklanması: Yapay sinir ağlarında bilgi ağın bağlantılarının değerleri ile ölçülmekte ve bağlantılarda saklanmaktadır. Diğer programlarda olduğu gibi veriler bir veri tabanında veya programın içinde gömülü değildir. Bilgiler ağın üzerinde saklı olup ortaya çıkartılması ve yorumlanması zordur.

- Yapay sinir ağları örnekleri kullanarak öğrenirler. Yapay sinir ağlarının olayları öğrenebilmesi için o olay ile ilgili örneklerin belirlenmesi gerekmektedir. Örnekleri kullanarak ilgili olay hakkında genelleme yapabilecek yeteneğe kavuşturulurlar (adaptif öğrenme). Örnek bulunamıyorsa ve yok ise yapay sinir ağının eğitilmesi mümkün değildir. Örnekler ise gerçekleşmiş olan olaylardır. Mesela bir doktor hastasına bazı sorular sorar ve aldığı cevaplara göre teşhis ederek ilaç yazar. Sorulan sorular ve verilen cevaplar ile konulan teşhis bir örnek olarak nitelendirilir. Bir doktorun belirli bir zaman içinde hastalar

ile yaptığı görüşmeler ve koyduğu teşhisler not edilerek örnek olarak alınırsa yapay sinir ağı benzer hastalıklara benzer teşhisi koyabilir. Elde edilen örneklerin olayı tamamının ile gösterebilmesi çok önemlidir. Ağa olay bütün yönleri ile gösterilemez ve ilgili örnekler sunulmaz ise başarılı sonuçlar elde edilemez. Bu ağın sorunlu olduğundan değil olayın ağa iyi gösterilemediğindedir. O nedenle örneklerin oluşturulması ve toplanması yapay sinir ağı biliminde özel bir öneme sahiptir.

•Yapay sinir ağlarının güvenle çalıştırılabilmesi için önce eğitilmeleri ve performanslarının test edilmesi gerekmektedir. Yapay sinir ağlarının eğitilmesi demek, mevcut örneklerin tek tek ağa gösterilmesi ve ağın kendi mekanizmalarını çalıştırarak örnekteki olaylar arasındaki ilişkileri belirlemesidir. Her ağı eğitmek için elde bulunan örnekler iki ayrı sete bölünürler. Birincisi ağı eğitmek için (eğitim seti) diğeri ise ağın performansını sınamak için (test seti) kullanılır. Her ağ önce eğitim seti ile eğitilir. Ağ bütün örneklerle doğru cevaplar vermeye başlayınca eğitim işi tamamlanmış kabul edilir. Daha sonra ağın hiç görmediği test setindeki örnekler ağa gösterilerek ağın verdiği cevaplara bakılır. Eğer ağ hiç görmediği örneklere kabul edilebilir bir doğrulukta cevap veriyor ise o zaman ağın performansı iyi kabul edilir ve ağ kullanıma alınarak gerekirse çevrimiçi (online) kullanılır. Eğer ağın performansı yetersiz olursa o zaman yeniden eğitmek veya yeni örnekler ile eğitmek gibi bir çözüme gidilir. Bu işlem ağın performansı kabul edilebilir bir düzeye gelinceye kadar devam eder.

•Görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler. Ağ kendisine gösterilen örneklerden genellemeler yaparak görmediği örnekler hakkında bilgiler üretebilirler.

•Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler. Ağlar daha çok algılamaya yönelik bilgileri işlemede kullanılırlar. Bu konuda başarılı oldukları yapılan uygulamalarda görülmektedir. Bilgiye dayalı çözümlerde uzman sistemler kullanılmaktadır. Bazı durumlarda yapay sinir ağı ve uzman sistemleri birleştirmek daha başarılı sistemler oluşturmaya neden olmaktadır.

•Şekil ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler: Genel olarak ağların çoğunun amacı kendisine örnekler halinde verilen örüntülerin kendisi veya diğeri ile ilişkilendirilmesidir. Diğeri bir amaç ise sınıflandırma yapmaktır. Verilen örneklerin kümelendirilmesi ve belirli sınıflara ayrıştırılarak daha sonra gelen bir örneğin hangi sınıfa gireceğine karar vermesi hedeflenmektedir.

•Örüntü tamamlama gerçekleştirebilirler. Bazı durumlarda ağa eksik bilgileri içeren bir örüntü (pattern) veya bir şekil verilir. Ağın bu eksik bilgileri bulması istenir. Örneğin

yırtık bir resmin kime ait olduğunu belirlemesi ve tam resmi vermesi gibi bir sorumluluk ağdan istenebilmektedir. Bu tür olaylarda yapay sinir ağlarının çok etkin çözümler ürettiği bilinmektedir.

- Kendi kendini organize etme ve öğrenebilme yetenekleri vardır: Yapay sinir ağları, işlem parametreleri arasındaki kompleks lineer olmayan ve çok değişkenli ilişkileri öğrenebilme kabiliyeti nedeniyle değişik üretim fonksiyonlarını modellemek için uygundur (Özşahin, 2012).

- Eksik bilgi ile çalışabilmektedirler: Yapay sinir ağları kendileri eğitildikten sonra eksik bilgiler ile çalışabilir ve gelen yeni örneklerde eksik bilgi olmasına rağmen sonuç üretebilirler. Eksik bilgiler ile de çalışmaya devam ederler. Hâlbuki geleneksel sistemler bilgi eksik olunca çalışmazlar. Burada bir noktaya dikkatleri çekmekte fayda vardır. Yapay sinir ağlarının eksik bilgiler ile çalışması performanslarının düşeceği anlamına gelmez. Performansın düşmesi eksik olan bilginin önemine bağlıdır. Hangi bilginin önemli olduğunu ağ (network) kendisi eğitim sırasında öğrenmektedir. Kullanıcıların bu konuda bir fikri yoktur. Ağın performansı düşük olunca, eğitmek için elde bulunan örnekler iki ayrı sete bölünürler. Birincisi ağı eğitmek için (eğitim seti) diğeri ise ağın performansını sınamak için (test seti) kullanılır. Her ağ önce eğitim seti ile eğitilir. Ağ bütün örneklerle doğru cevaplar vermeye başlayınca eğitim işi tamamlanmış kabul edilir. Daha sonra ağın hiç görmediği test setindeki örnekler ağı gösterilerek ağın verdiği cevaplara bakılır. Eğer ağ hiç görmediği örneklerle kabul edilebilir bir doğrulukta cevap veriyor ise o zaman ağın performansı iyi kabul edilir ve ağ kullanıma alınarak gerekirse çevrimiçi (online) kullanılır. Eğer ağın performansı yetersiz olursa o zaman yeniden eğitmek veya yeni örnekler ile eğitmek gibi bir çözüme gidilir. Bu işlem ağın performansı kabul edilebilir bir düzeye gelinceye kadar devam eder.

- Hala toleransına sahiptirler: Yapay sinir ağlarının eksik bilgilerle çalışabilme yetenekleri hatalara karşı toleranslı olmalarını sağlamaktadır. Ağın bazı hücrelerinin bozulması ve çalışamaz duruma düşmesi halinde ağ çalışmaya devam eder. Ağın bozuk olan hücrelerinin sorumluluklarının önemine göre ağın performansında düşmeler görülebilir. Hangi hücrelerin sorumluluklarının önemli olduğuna da yine ağ eğitim esnasında kendisi karar verir. Bunu kullanıcı bilmemektedir.

- Belirsiz, tam olmayan bilgileri izleyebilmektedirler: Yapay sinir ağlarının belirsiz bilgileri işleyebilme yetenekleri vardır. Olayları öğrendikten sonra belirsizlikler altında ağlar öğrendikleri olaylar ile ilgili ilişkileri kurarak kararlar verebilirler.

•Dereceli bozulma (Graceful degradation) gösterirler: Yapay sinir ağlarının hatalara karşı toleranslı olmaları bozulmalarının da dereceli (göreceli) olmasına neden olmaktadır. Bir ağ (network) zaman içerisinde yavaş yavaş ve zarif bir şekilde bozulur. Bu eksik olan bilgiden veya hücrelerin bozulmasından kaynaklanır. Ağlar, herhangi bir problem ortaya çıktığında hemen anında bozulmazlar.

•Dağıtık belleğe sahiptirler: Yapay sinir ağlarında bilgi ağa yayılmış durumdadır. Hücrelerin birbirleri ile bağlantılarının değerleri ağın bilgisini gösterir. Tek bir bağlantının bir anlamı yoktur. Daha önce belirtildiği gibi ağın bilgilerinin açıklanamamasının sebeplerinden birisi de budur. Bu ağlarda, ağın tamamı öğrendiği olayın bütünü karakterize etmektedir. O nedenle bilgiler ağa dağıtılmış durumdadır. Bu ise dağıtık bir belleğin doğmasına neden olmaktadır.

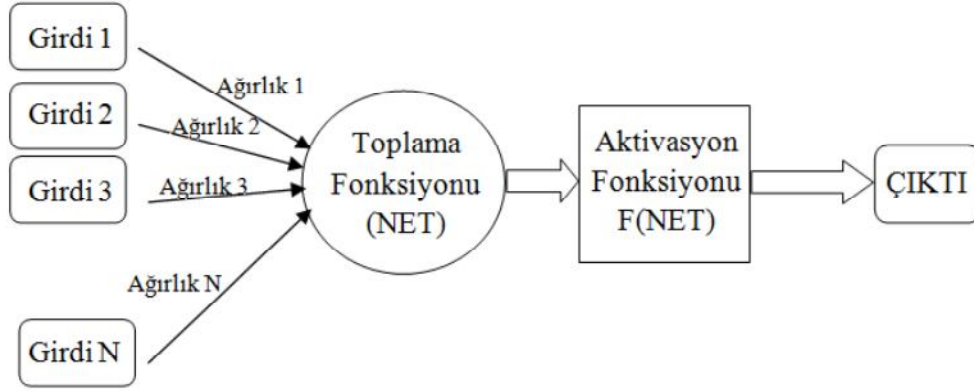
•Sadece nümerik bilgiler ile çalışabilmektedirler. Yapay sinir ağları sadece nümerik bilgiler ile çalışırlar. Sembolik ifadeler ile gösterilen bilgilerin nümerik gösterime çevrilmeleri gerekmektedir. Bunun nasıl yapıldığı daha sonra açıklanacaktır. Sembolik bilgilerin nümerik değerler ile ifade edilmesinde bilgilerin yorumlanmasını ve kararların (üretilen çözümlerin) açıklanmasını zorlaştırmaktadır (Elbistanlı, 2007).

### **1.6.1.3. Yapay Sinir Hücresi**

Biyolojik sinir ağlarının sinir hücrelerinden oluşması gibi, yapay sinir ağları da yapay sinir hücrelerinden meydana gelmektedir. Yapay sinir hücreleri ayrıca düğüm (node), birim (unit) veya işlemci eleman (processing unit) olarak da adlandırılmaktadır. Bir yapay sinir ağı, birbiriyle bağlantılı çok sayıda yapay sinir hücresinden meydana gelmektedir. Yapay sinir hücreleri biyolojik sinir hücrelerinin basit bir modelidir.

Yapay sinir ağlarının içinde bulunan tüm sinir hücreleri bir veya birden fazla girdi alırlar ve tek bir çıktı verirler. Bu çıktı yapay sinir ağının dışına verilen bir çıktı olabileceği gibi başka bir yapay sinir hücresine girdi olarak da verilebilir. Bir yapay sinir hücresi genel olarak beş temel bileşenden oluşmaktadır (Şekil 1.8).

- Girdiler
- Ağırlıklar
- Toplama fonksiyonu
- Aktivasyon fonksiyonu
- Çıktılar



Şekil 1. 8. Yapay sinir hücresinin yapısı

- Girdiler

Girdiler, bir yapay sinir hücresine gelen bilgilerdir. Bu bilgiler dış ortamlardan ya da diğer sinir hücrelerinden gelebilir. Dış ortamlardan gelen bilgiler, ağırlık öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenmektedir.

- Ağırlıklar

Ağırlıklar, gelen bilgilerin hücre üzerindeki etkisini belirleyen değerlerdir. Bilgiler, bağlantılar üzerindeki ağırlıklar üzerinden hücreye girmekte ve ağırlıklar yapay sinirde girdi olarak kullanılacak değerlerin göreceli kuvvetini (matematiksel katsayısını) göstermektedirler. Yapay sinir ağı içinde girdilerin hücreler arasında iletimini sağlayan tüm bağlantıların farklı ağırlık değerleri bulunur. Böylelikle ağırlıklar her işlemci elemanın her girdisi üzerinde etki yapmış olur. Ağırlıklar değişken veya sabit değerler olabilirler.

- Toplama Fonksiyonu

Toplama fonksiyonu, hücreye gelen net girdiyi hesaplayan fonksiyondur ve genellikle girişlerin kendi ağırlıklarıyla çarpımının toplamı;

$$s = \sum x_i w_i \quad (1.1)$$

biçiminde ifade edilir. Yapay sinir ağının yapısına göre toplama fonksiyonu, maksimum, minimum, çarpım veya çeşitli normalizasyon işlemlerinden birisi olarak da ifade edilebilir. Bir problem için en uygun toplama fonksiyonu çeşidini bulmak için herhangi bir formül yoktur. Toplama fonksiyonu genellikle deneme yanılma yoluyla bulunmaktadır. Ayrıca bir yapay sinir ağındaki bütün işlemci elemanların aynı toplama fonksiyonuna sahip olması

gibi bir zorunluluk da yoktur. Bazen aynı yapay sinir ağı içindeki işlemci elemanların bazıları aynı toplama fonksiyonunu, diğerleri ise başka fonksiyonları kullanabilirler. Bu tamamen tasarımcının kendi kararına bağlıdır.

- Aktivasyon Fonksiyonu

Aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonundan gelen girdiyi işleyerek yapay sinir hücresinin çıkışı belirler. Transfer fonksiyonu olarak da adlandırılan aktivasyon fonksiyonu çeşitli tiplerde ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Doğrusal fonksiyonların tercih edilmemesinin nedeni, doğrusal fonksiyonlarda girdi ile çıktının doğru orantılı olmasıdır. Bu durum ilk yapay sinir ağları denemelerinin başarısızlıkla sonuçlanmasının temel nedenidir.

Uygun aktivasyon fonksiyonunun seçimi tasarımcının farklı fonksiyonları denemeleri sonucunda belirlenmektedir. Ancak çok katmanlı perceptron gibi bazı modeller aktivasyon fonksiyonunun, türevi alınabilir bir fonksiyon olmasını şart koşmaktadır. Ayrıca fonksiyonun seçimi, yapay sinir ağının verilerine ve neyi öğrenmesinin istendiğine de bağlıdır. Aktivasyon fonksiyonu olarak en çok kullanılanlar sigmoid fonksiyon ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarıdır.

Aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonundan gelen girdiyi dönüştürerek istenilen değerler arasında sınırlandırmaktadır. Bu değerler kullanılan aktivasyon fonksiyonun tipine göre genellikle  $[0,1]$  veya  $[-1,1]$  arasındadır. Bu değer aktivasyonun fonksiyonunun, dolayısıyla yapay sinir hücresinin çıktı değeri olarak ya dış ortama ya da girdi olarak başka bir yapay sinir hücresine iletilmektedir.

Aktivasyon fonksiyonu işlemi öncesinde, sisteme tekdüze (uniform) dağılmış bir rassal hata eklenebilmektedir. Bu rassal hatanın kaynağı ve büyüklüğü sistemin öğrenme sürecinde belirlenir ve sebebi, insan beyninin işlevinin, içinde bulunduğu ortamın koşullarından etkilenmesidir. Örneğin ortamın soğuk/sıcak olmasından insan beyni etkilenmektedir. Bu nedenle yapay sinir ağları literatüründe rassal hata ekleme işlemi “sıcaklık (temperature)” olarak da adlandırılmaktadır. Ancak günümüzde rassal hata işlevi tam olarak kullanılmamakta ve hala bir araştırma süreci içinde bulunmaktadır. Ayrıca bazı yapay sinir ağlarında, aktivasyon fonksiyonunun çıktısı üzerinde başka işlemler, ölçeklendirme ve sınırlandırma yapılabilmektedir.

- Çıktılar

Aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen değerdir. Üretilen çıktı, başka bir hücreye ya da dış dünyaya gönderilebilir. Geri besleme olması durumunda, hücre kendi

üzerinde geri besleme yaparak, kendi çıktı değerini, giriş olarak kullanabilir. Bununla birlikte, geri besleme başka bir hücreye de yapılabilir. Ağ şeklinde gösterildiğinde, bir hücrenin, birden fazla çıkışı varmış gibi görünmektedir. Fakat bu durum sadece gösterim amaçlıdır. Bu çıkışların hepsi aynı değere sahiptir (Baş, 2006).

#### **1.6.1.4. Yapay Sinir Ağlarında Katmanlar**

Bir yapay sinir ağında 3 katman bulunmaktadır. Bunlar giriş, gizli ve çıkış katmanıdır (Şekil 1.9).

##### **1.6.1.4.1. Giriş Katmanı**

Giriş katmanı dış dünyadan gelen verilerin bulunduğu katmandır. Bu katmanın içerdiği her bir sinir hücresi eğitim sırasında değişecek olan bir ağırlık katsayısı ile gizli hücrelere bağlanır ve belirli bir uygulamanın gerektirdikleri dikkate alınarak bu katmandaki hücrelerin sayısı değiştirilebilir. Bu katman bir anlamda dış dünyadan gelen verilerin gizli katmanlara iletilmesinde aracı rol üstlenir.

##### **1.6.1.4.2. Gizli Katmanı**

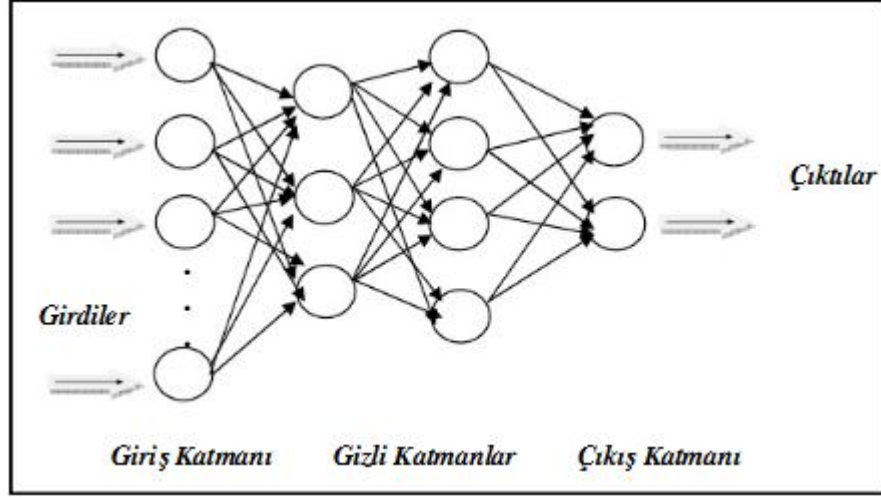
Giriş katmanından iletilen veriler saklı katmanda toplanır ve burada işlem tabii tutulur. Gizli katman giriş katmanı ile çıkış katmanı arasındaki katmandır. Bir sinir ağında gizli katman sayısının veya gizli katmanlarda bulunacak gizli hücrelerin sayısının belirlenmesinde güvenilir bir kural olmayıp bunların sayısı deneme yanılma yoluyla tespit edilir. Problemin yapısına göre gizli katmanların ve gizli katmanlarda bulunacak gizli hücrelerin sayısı deneme yanılma yoluyla artırılır veya azaltılır. Bu durumda en iyi sonucu verecek şekilde sayı tespit edilir.

##### **1.6.1.4.3. Çıkış Katmanı**

Bu katmanda çıkış hücreleri bulunur ve herhangi bir veri için beklenen çıktı değerlerini temsil eder. İstenen çıktı sayısı kadar sinir hücresi içeren çıktı katmanı,



ağırlıklar ile gizli katmana bağlıdır. Bir sinir ağında bir adet çıkış katmanı bulunur (Güngör, 2007).



Şekil 1. 9. Bir yapay sinir ağı yapısı

#### 1.6.1.5. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme

Yapay sinir ağlarında öğrenmeyi açıklayabilmek için öncelikle öğrenme kavramının açıklanması gerekir. Öğrenme için en uygun tanımlardan biri Simon tarafından önerilen ve geniş kabul gören tanımdır. Bu tanıma göre öğrenme, “zaman içinde yeni bilgilerin keşfedilmesi yoluyla davranışların iyileştirilmesi sürecidir”. Bilgisayarların öğrenebilmesi ise bilgisayara ilgili problem hakkında gerekli bilgilerin verilmesi ile mümkündür. Böylece bilgisayarlar da insanlar gibi zaman içerisinde tecrübe kazanabilmektedirler (Baş, 2006).

Yapay sinir ağlarından iyi bir sonuç etmek için ağ uyarlanabilir olmalıdır. Bu ise ancak uygun değerli ağırlıklar ve doğru bağlantılarla mümkündür. Uygun ağırlıklar ve bağlantıların elde edilebilmesi için sistemin davranışlarını öğrenmeli ya da kendi kendini örgütlemelidir. Öğrenme yapay sinir ağının çok önemli bir parçasıdır.

Yapay sinir ağlarında bilgi, ağdaki sinirlerin bağlantılarının ağırlıklarında tutulur. Bu nedenle ağırlıkların nasıl belirleneceği önemlidir. Bilgi tüm ağda saklandığı için bir düğümün sahip olduğu ağırlık değeri tek başına bir şey ifade etmez. Tüm ağdaki ağırlıklar uygun değerler almalıdır. Ancak yapay sinir ağlarında başlangıçta en uygun ağırlıkların değerlerinin bulunması için geliştirilmiş bir formül yoktur. Ağdaki işlemci elemanlar

zamanla bir takım kurallar yardımıyla en uygun ağırlık değerlerini belirlerler. Bu işleme “ağın eğitilmesi” denir. Buna göre bir ağın eğitilebilir olabilmesi için ağırlık değerlerinin belirli bir kural dâhilindedir. Ağırlıkların belirlenmesi işlemi sadece mevcut ağırlıkların değiştirilmesini içermez. Aynı zamanda;

- Yeni bağlantıların yapılması,
- Bazı bağlantı ağırlıklarının yok edilmesi

gibi durumlar da söz konusu olabilir.

Yapay sinir ağlarında genel olarak öğrenme olayı iki aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada ağırlık değerleri rasgele alınır ve ağa gösterilecek olan örnek için ağın üreteceği çıkış bulunur. Bu çıkış değerinin doğruluğuna göre ikinci aşama olarak da ağa farklı örnekler gösterilerek ağırlık değerleri değiştirilir. Buradaki amaç bu örnekler için doğru çıkışı elde etmeye yarayacak olan ağırlık değerlerini bulmaktır. Bu aşamada örneklerin seçimi önemlidir. Seçim yapılırken örnek eğitim kümesi ne kadar büyük olursa o kadar iyi olur şeklinde bir yanlış kanaat mevcuttur. Oysa bu küme en az bilgi ile öğrenmeyi sağlayacak şekilde seçilmelidir. Eğitim kümesi oluşturulurken birbirine yakın bilgiler yerine farklı ve bağımsız bilgilerin seçilmesi daha iyi sonuçlar verir. Bu amaçla örnekler ağa tekrar tekrar gösterilir. Ağın doğru çıktıyı üretecek ağırlık değerlerini bulması, ağın örneklerin temsil ettiği olaylar hakkında genelleme yapabilme yeteneğine sahip olduğunu gösterir. Ağın genelleme yapabilmesi olayına ise “ağın öğrenmesi” denir. Ağırlıkların değerlerinin değişmesi belli kurallara göre yapılmaktadır. Bu kurallar “öğrenme kuralları” olarak adlandırılır.

McCulluch ve Pitts ’in sinir ağlarının temel problemi olan öğrenmenin nasıl yapılacağına, Donald Hebb 1949 yılında yayınlanmış olan “The Organization of Behavior” adlı kitabında açıklık getirmiştir. Bu kitapta Hebb kuralı adındaki öğrenme kuralını anlatmıştır. Bu kurala göre sinirler arasındaki ağırlık değerleri, sinirlerin aynı zamanda etkinleşmesine bağlıdır. Hebb, sinirlerin hafızada basit bir yerde yerleşebileceğini varsayarak, birbirlerini uyardıkları ve bunun sonucunda aralarındaki ağırlık değerlerinin kendi etkinlikleri çarpımı oranında artacağını göstermiştir.

Hebb’den sonra birçok araştırmacı, Hebb kurallarını esas alarak öğrenme değişkenleri ve ağırlık değerlerinin belirlenmesi konusunda çalışmalar yapmışlardır ve bir takım öğrenme kuralı geliştirmişlerdir. Temelde öğrenme yöntemleri, danışmanlı öğrenme, danışmansız öğrenme ve takviyeli öğrenme olmak üzere üç grupta toplanmıştır (Baş, 2006).

### 1.6.1.5.1. Danışmanlı Öğrenme

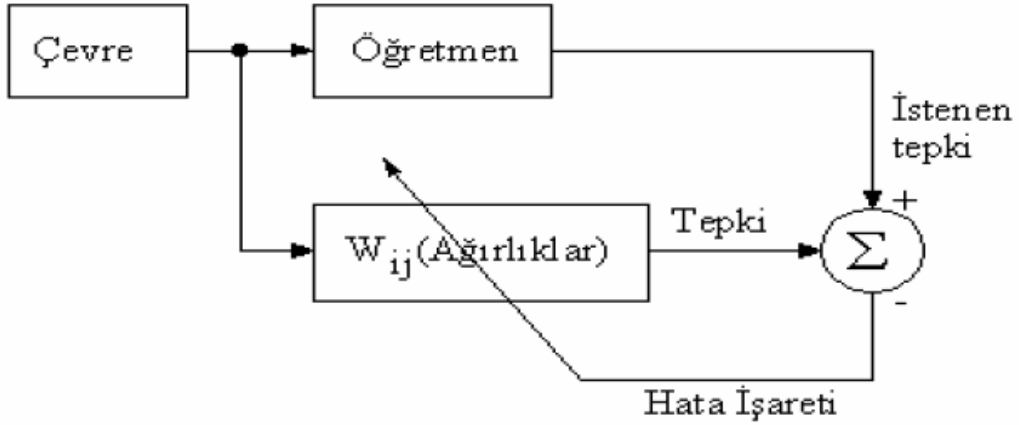
Danışmalı öğrenmede, yapay sinir ağı kullanılmadan önce eğitilmelidir. Eğitim işlemi, sinir ağına giriş ve çıkış bilgileri sunmaktan oluşur. Bu bilgiler genellikle eğitim kümesi olarak tanımlanır. Yani, her bir giriş kümesi için uygun çıkış kümesi ağı sağlanmalıdır.

Birçok uygulamada, ağı gerçek veriler uygulanmak zorundadır. Bu eğitim safhası uzun zaman alabilir. Sinir ağı, belirli bir sıralamadaki girişler için istenen istatistiksel doğruluğu elde ettiği zaman eğitim işlemi tamamlanmış kabul edilir ve eğitim işlemi bitirilir. Öğrenim aşaması tamamlandıktan sonra ağı kullanmaya başlandığında, bulunan ağırlıkların değeri sabit olarak alınır ve bir daha değiştirilemezler. Bazı ağı yapılarında ağı çalışırken çok düşük oranda eğitmeye izin verilir. Bu işlem ağların değişen koşullara uyum sağlanmasına yardımcı olur.

Eğer sistemin önemli olan özellikleri ve ilişkileri öğrenmesi gerekiyorsa, o zaman eğitim kümesi, bütün ihtiyaç duyulan bilgileri içermesi gerekir. Eğer ağı sadece bir örnekle eğitilirse, bir olayda yeterli çözüm vermez. Yeni şeyler öğrenme safhasında eski olaylar unutulabilir. Sonuç olarak, sistem gerekli bilgilerle birlikte öğrenmek zorundadır.

Giriş ve çıkış bilgilerinin nasıl sunulacağı veya nasıl kodlanacağı, bir ağı başarılı bir şekilde yönlendirmek için önemli bir unsurdur. Yapay sinir ağları sadece sayısal giriş bilgileri ile çalışırlar. Bu yüzden ham bilgiler genellikle ölçeklendirilmelidir.

Danışmalı öğrenmede giriş ve çıkış çiftlerinden oluşan eğitim bilgileri vardır. Ağı giriş bilgisine göre ürettiği çıkış değerini, istenen değerle karşılaştırarak ağırlıkların değiştirilmesinde kullanılacak bilgiyi elde eder. Girilen değerle istenen değer arasındaki fark hata değeri olarak önceden belirlenen değerden küçük oluncaya kadar eğitime devam edilir. Hata değeri istenen değer altına düştüğünde tüm ağırlıklar sabitlenerek eğitim işlemi sonlandırılır. Eğitim işlemi sırasında her bir eğitim bilgisi çifti için oluşan hata değerine göre ağırlıkların değiştirilmesine 'örüntü kipi' öğrenme, tüm eğitim kümesi için hataların toplanarak toplam hata değerine göre ağırlıkların değiştirilmesine ise 'küme kipi' öğrenme denilmektedir. Danışmalı öğrenme Şekil 1.10'da gösterilmiştir.



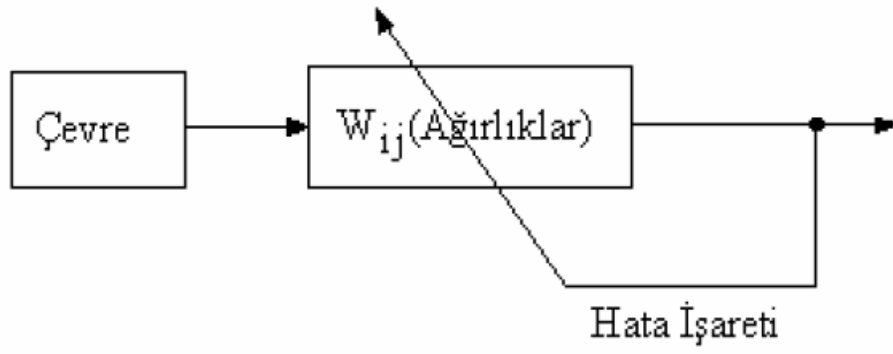
Şekil 1.10. Danışmanlı öğrenme

Eğer verilen girişe karşılık amaçlanan çıkış üretilmiyorsa, ağıın çıkış değerindeki hatayı en küçükleyecek şekilde bağlantı ağırlıklarının değiştirilmesi sağlanır (Çetin, 2003).

#### 1.6.1.5.2. Danışmansız Öğrenme

Danışmansız öğrenme metodunda yapay sinir ağına yardımcı olan danışman yoktur. Bu yöntemde sisteme sadece giriş değerleri sunulur. Ağ giriş değerlerine karşılık gelecek çıktı setini oluşturacak parametreleri belirleyerek öğrenmeyi gerçekleştirmektedir.

Danışmansız olarak eğitilebilen yapay sinir ağları giriş setindeki değerlerin özelliklerine göre ağırlık değerlerini belirler. Sınıflandırma problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Danışmansız öğrenmeye ART ağları örnek olarak gösterilebilir. Grossberg tarafından geliştirilen danışmansız öğrenme yönteminin kullanıldığı ART ağları biyolojik sinir ağlarının çalışmasından esinlenmiştir. Danışmansız öğrenme Şekil 1.11’de yer almaktadır.

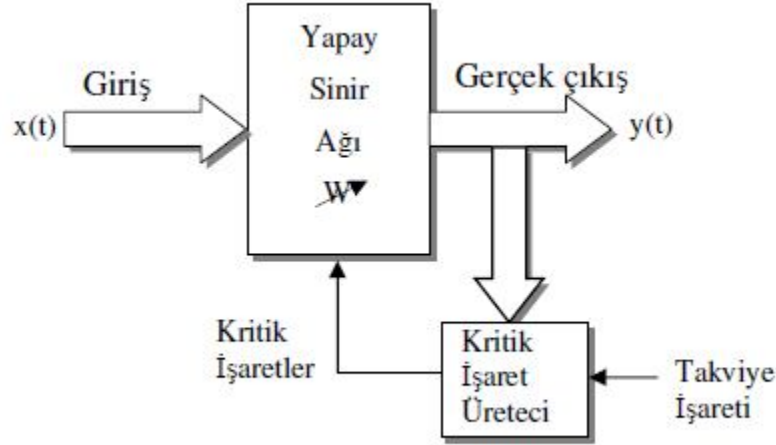


Şekil 1.11. Danışmansız öğrenme

Danışmansız öğrenmede ara katman dışarıdan destek almadan kendilerini geliştirmek durumundadır. Ağa çıktı seti sunulmadığı için önceden bilinmeyen değerlerin belirlenmesi ağın kendisini denetleyerek yaptığı denemelerle gerçekleşmektedir. Danışmansız öğrenme, yapay sinir ağlarının gelecekte daha da gelişmesine öncülük edebilecek bir yöntemdir.

#### 1.6.1.5.3. Takviyeli Öğrenme

Takviyeli öğrenmede, danışmanlı öğrenmede olduğu gibi bir eğitici yardımcı olur. Farklı olarak sisteme sadece girdi değerleri verilir, istenilen çıktı değerleri gösterilmez. Ağın kendi çıktılarını oluşturması beklenir ve eğitici tarafından çıktı değerinin ne derece doğru olduğunu belirten bir sinyal, skor veya derece bildirilir. Ağ, eğiticiden aldığı sinyalle bağlantılarının ağırlık değerlerini değiştirerek öğrenme sürecini devam ettirir (Şekil 1.12).

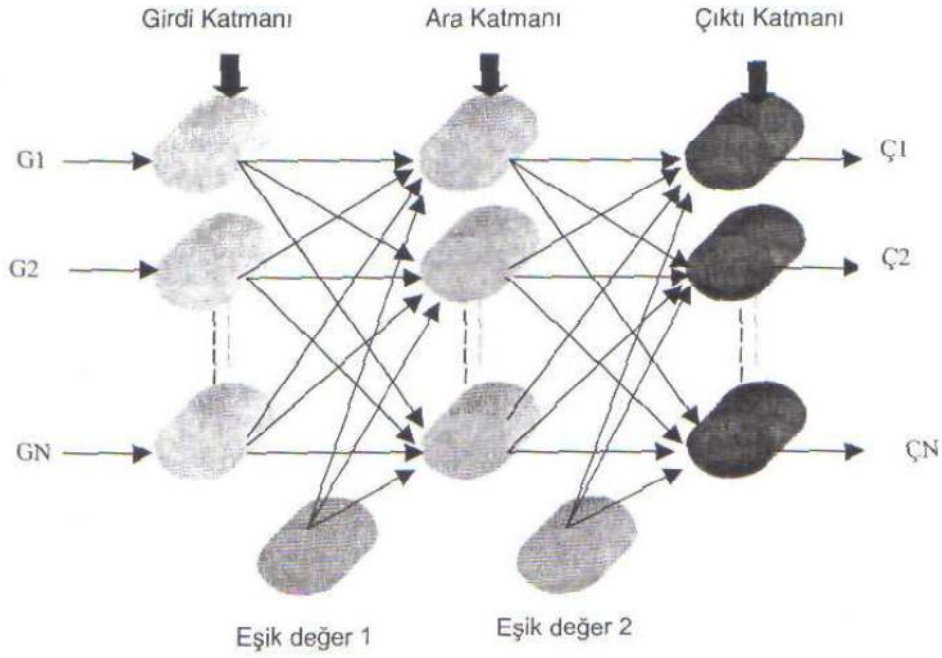


Şekil 1.12. Takviyeli öğrenme yapısı

Optimizasyon problemlerine çözüm getirmek için Hinton ve Sejnowski'nin geliştirdiği Boltzman Kuralı veya Genetik Algoritma takviyeli öğrenmeye örnektir. Bu öğrenme çevre, sorgulama ve öğrenme sistemi olmak üzere üç modülden oluşur. Öğrenme sisteminde de öğrenme birimi, bilgi tabanı ve performans birimi modülleri vardır (Baş, 2006).

#### 1.6.1.6. Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli

Bir yapay sinir ağının öğrenmesi istenen olayların girdi ve çıktıları arasındaki ilişkiler doğrusal olmayan ilişkiler olursa o zaman daha önce anlatılan modeller ile öğrenme gerçekleştirmek mümkün değildir. Bu tür olayların öğrenilmesi için daha gelişmiş modellere ihtiyaç vardır. Burada anlatılan Çok Katmanlı algılayıcı modeli bunlardan birisidir. ÇKA modeli yapay sinir ağlarına olan ilgiyi çok hızlı bir şekilde arttırmış ve yapay sinir ağları tarihinde yeni bir dönemin başlamasına neden olmuştur. Bu model günümüzde mühendislik problemlerinin hemen hemen hepsine çözümler üretebilecek bir güce sahiptir. Özellikle sınıflandırma, tanıma ve genelleme yapmayı gerektiren problemler için çok önemli bir çözüm aracıdır. Bu model Delta Öğrenme Kuralı denilen bir Öğrenme yöntemini kullanmaktadır. Temel amacı ağın beklenen çıktısı ile ürettiği çıktı arasındaki hatayı en aza indirmektir. Bunu hatayı ağa yayarak gerçekleştirdiği için bu ağa hata yayma ağı da denmektedir.



Şekil 1.13. ÇKA modeli

Şekil 1.13'den de görüldüğü gibi ÇKA ileriye doğru bağlantılı ve 3 katmandan oluşan bir ağıdır. Bunlar:

- **Girdi katmanı:** Dış dünyadan gelen girdileri ( $G_1, G_2, \dots, G_N$ ) olarak ara katmana gönderir. Bu katmanda bilgi işleme olmaz. Gelen her bilgi geldiği gibi bir sonraki katmana gider. Birden fazla girdi gelebilir. Her proses elemanın sadece bir tane girdisi ve bir tane çıktısı vardır. Bu çıktı bir sonraki katmanda bulunan bütün proses elemanlarına gönderilir. Yani, girdi katmanındaki her proses elemanı bir sonraki katmanda bulunan proses elemanlarının hepsine bağlıdır.

- **Ara katmanlar:** Ara katmanlar girdi katmanından gelen bilgileri işleyerek bir sonraki katmana gönderir. Bir ÇKA ağında birden fazla ara katman ve her katmanda birden fazla proses elemanı olabilir. Ara katmandaki her proses elemanı bir sonraki katmandaki bütün proses elemanlarına bağlıdır.

- **Çıktı katmanı:** Ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağı girdi katmanından verilen girdilere karşılık ağın ürettiği çıktıları ( $\Ç_1, \Ç_2, \dots, \Ç_N$ ) belirleyerek dış dünyaya gönderir. Bir çıktı katmanında birden fazla proses elemanı olabilir. Her proses elemanı bir önceki katmanda bulunan bütün proses elemanlarına bağlıdır. Her proses elemanın sadece bir tane çıktısı vardır (Açıkalm, 2007).

ÇKA ağları, danışmanlı öğrenme stratejisine göre çalışır. Ağlara eğitim sırasında hem girdiler hem de o girdilere karşılık üretilmesi beklenen çıktılar verilir. Ağın görevi her girdi için o girdiye karşılık gelen çıktıyı üretmektir. ÇKA ağlarının çalışması şöyledir:

- Ağın çözmesi istenen olay için daha önce gerçekleşmemiş örnekler bulunur
- Ağın topolojik yapısı belirlenir. Kaç tane girdi ünitesi, kaç ara katman ve kaç çıktı elemanı olması gerektiği belirlenir
- Ağın öğrenme katsayısı, işleme giren elemanların toplama ve aktivasyon fonksiyonları, momentum katsayısı gibi parametreler belirlenir
- Elemanları birbirine bağlayan ağırlık değerlerine başlangıç değerleri atanır
- Ağın öğrenmeye başlaması ve uygun olan ağırlıkları değiştirmesi için örnekler belirli bir düzeneğe göre ağa verilir
- Sunulan girdi için ağın çıktı değeri hesaplanır
- Ağın ürettiği hata değerleri hesaplanır
- Geri hesaplama yöntemi uygulanarak üretilen hatanın azaltılması için ağırlıkların değiştirilmesi gerçekleştirilir

Yukarıdaki adımlar ÇKA ağının öğrenmesi tamamlanıncaya kadar, yani gerçekleşen çıktı ile beklenen çıktılar arasındaki hatalar kabul edilir düzeye ininceye kadar devam eder (Öztemel, 2012).

De Vel (de Vel 1999), dokümanların sınıflandırma performansını ölçmek amacıyla Naive Bayes, K-Enyakın Komşuluk ve Destek Vektör Makinesi'nin yanı sıra ÇKA yöntemini de kullanmıştır. Diederich'in (Diederich, 2000) yazar tanıma alanında yaptığı çalışmasında ÇKA yöntemi ile de sınıflandırma yapılmış ve % 93,3'lük bir başarı elde edilmiştir.

#### **1.6.1.7. Genelleştirilmiş Delta Kuralı**

Genelleştirilmiş delta kuralı iki adımdan oluşmaktadır. İlk adımda ağın ürettiği çıktı hesaplanır. İkinci adımda ağın ürettiği hatayı en aza indirecek yeni ağırlıklar oluşturulur. Giriş katmanına ait proses elemanlarının sahip oldukları ağırlıklarla çarpımı ara katmandaki proses elemanının net girdisini oluşturur. Ara katmana ait proses elemanının net girdisi aşağıdaki gibi hesaplanır.



$$NET = \sum_{k=1}^n A_{KJ} G_k \quad (1.2)$$

Bu ifadede;

$A_{kj}$  : k. giriş katmanı proses elemanı ile j. ara katman proses elemanı arasındaki ağırlık değeri,  $G_k$  : giriş katmanındaki k. proses elemanının çıkış değeridir. Ara katmana ait proses elemanının çıktısı hesaplanan net girdinin aktivasyon fonksiyonunda işlenmesiyle elde edilir. Değişik aktivasyon fonksiyonları olmakla birlikte en çok kullanılanı sigmoid fonksiyonudur. Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonunun kullanılması durumunda çıktı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\zeta = \frac{1}{1+e^{-(NET)}} \quad (1.3)$$

Ara katman ve çıkış katmanına ait proses elemanlarının çıktıları benzer şekilde hesaplanır. Ara katman ve çıkış katmanındaki her proses elemanının hesaplanan net girdisi sigmoid fonksiyonunda işlenerek çıktılar hesaplanır.

Ağın ürettiği çıkış değeri ile gerçek çıkış değeri arasındaki fark hata olarak kabul edilmektedir. Genelleştirilmiş delta kuralı, hatanın ağırlık değerine dağıtılmasıyla oluşturulan yeni ağırlıklar sayesinde hatayı kabul edilebilir seviyeye indirmektedir. Çıkış katmanına ait bir proses elemanının hatası aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E = G - \zeta \quad (1.4)$$

Bu ifadede; E: Bir proses elemanının hatası, G: Gerçek çıkış değeri,  $\zeta$ : Ağın çıkış değeridir.

Tek proses elemanı için oluşan hata yukarıda verilmiştir. Ağın toplam hatası ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$TH = \frac{1}{2} \sum E^2 \quad (1.5)$$

Toplam hatanın azalması için çıkış katmanı ile ara katman arasındaki ağırlıklar, ara katmanlar arasındaki ağırlıklar ve ara katman ile giriş katmanı arasındaki ağırlıkların

değiştirilmesi gerekmektedir. Katmanlar arasındaki ağırlıkların değiştirilmesi benzerlik gösterdiği için burada ara katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıkların değişimi anlatılacaktır. Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılması halinde çıkış katmanına ait  $i$ . Çıkış elemanının hatası aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\delta_i = C_i (1 - C_i) E_i \quad (1.6)$$

Bu ifadede;  $\delta_i$  :  $i$ . çıkış ünitesinin hatası,  $C_i$  : Çıkış değeri,  $E_i$  : Hatadır.

Öncelikle ağırlıkların değişim miktarının hesap edilmesi gerekmektedir. Ara katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıkların  $t$ . iterasyonda değişim miktarı aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$\Delta A_{ji}(t) = \lambda \delta_i C_j + \alpha \Delta A_{ji}(t-1) \quad (1.7)$$

Yukarıdaki ifadede;  $\lambda$ : Öğrenme katsayısı,  $\alpha$ : Momentum katsayısı,  $\Delta A_{ji}$  : Ara katmandaki  $j$ . proses elemanı ile çıkış katmanındaki  $i$ . proses elemanı arasındaki ağırlığın değişim miktarıdır.

Ara katman ile çıkış katmanı arasındaki yeni ağırlıkların  $t$ . iterasyona ait değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A_{ji}(t) = A_{ji}(t-1) + \Delta A_{ji}(t) \quad (1.8)$$

Bu ifadede;  $A_{ji}$ : Ağırlığın yeni değeri,  $\Delta A_{ji}$ : Ağırlığın değişim miktarıdır.

Genelleştirilmiş delta kuralında ağırlık ürettiği çıkış değerleriyle gerçek çıkış değerleri arasındaki fark kabul edilebilir seviyeye gelinceye kadar ağırlıklar sürekli değişmektedir (Çamcı, 2006).

#### **1.6.1.8. Çok Katmanlı Algılayıcı Ağının Öğrenme Kuralı**

Çok katmanlı algılayıcı ağları danışmanlı öğrenme stratejisine göre çalışırlar. Yani; bu ağlara eğitim sırasında hem girdiler hem de o girdilere karşılık üretilmesi gereken (beklenen) çıktılar gösterilir. Ağın görevi her girdi için o girdiye karşılık gelen çıktıyı

üretmektir. Çok katmanlı algılayıcı ağının öğrenme kuralı genelleştirilmiş delta kuralıdır. İki safhadan oluşur.

- 1.safha- ileri doğru hesaplama: Ağın çıktısını hesaplama safhasıdır.
- 2.safha- geriye doğru hesaplama: Ağırlıkları değiştirme safhasıdır.

#### 1.6.1.8.1. İleri Doğru Hesaplama

Bu safhada bilgi işleme eğitim setindeki bir örneğin Girdi Katmanından (G1, G2...) ağa gösterilmesi ile başlar. Daha önce belirtildiği gibi, girdi katmanında herhangi bir bilgi işleme olmaz. Gelen girdiler hiç bir değişiklik olmadan ara katmana gönderilir. Yani girdi katmanındaki k. Proses elemanının çıktısı  $C_k^i$  şu şekilde belirlenir.

$$C_k^i = G_k \quad (1.9)$$

Ara katmandaki her proses elemanı girdi katmanındaki bütün proses elemanlarından gelen bilgileri bağlantı ağırlıklarının (A1, A2...) etkisi ile alır. Önce ara katmandaki proses elemanlarına gelen net girdi (  $NET_j^a$  ) şu formül kullanılarak hesaplanır.

$$NET_j^a = \sum_{k=1}^n A_{kj} C_k^i \quad (1.10)$$

Burada  $A_{kj}$  k. girdi katman elemanını j. ara katman elemanına bağlayan bağlantının ağırlık değerini göstermektedir. j. ara katman elemanın çıktısı ise bu net girdinin aktivasyon fonksiyonundan (genellikle sigmoid fonksiyonundan) geçirilmesiyle hesaplanır. Uygulamada genellikle bu fonksiyon kullanılmakla beraber, kullanılması zorunlu değildir. Önemli olan burada türevi alınabilir bir fonksiyon kullanmaktır. Daha önce belirtilen aktivasyon fonksiyonlardan herhangi birisini burada kullanmak mümkündür. Yalnız geriye doğru hesaplamada burada kullanılan fonksiyonun türevinin alınacağını unutmamak gerekir. Sigmoid fonksiyonu kullanılması halinde çıktı,

$$C_j^a = \frac{1}{1 + e^{-(NET_j^a + \beta_j^a)}} \quad (1.11)$$

şeklinde olacaktır. Burada  $\beta_j$ , ara katmanda bulunan j. elemana bağlanan eşik değer elemanın ağırlığını göstermektedir. Bu eşik değeri ünitesinin çıktısı sabit olup l'e eşittir. Ağırlık değeri ise sigmoid fonksiyonunun oryantasyonunu belirlemek üzere konulmuştur. Eğitim esnasında ağ bu değeri kendisi belirlemektedir.

Ara katmanın bütün proses elemanları ve çıktı katmanının proses elemanlarının çıktıları aynı şekilde kendilerine gelen NET girdinin hesaplanması ve sigmoid fonksiyonundan geçirilmesi sonucu belirlenirler. Çıktı katmanından çıkan değerler, yani çıktıları, ( $\zeta_1, \zeta_2, \dots$ ) bulununca ağın ileri hesaplama işlemi tamamlanmış olur (Öztemel, 2012).

### 1.6.1.8.2. Geriye Doğru Hesaplama

Ağa sunulan girdi için ağın ürettiği çıktı ağın beklenen çıktıları ( $B_1, B_2, \dots$ ) ile karşılaştırılır. Bunların arasındaki fark hata olarak kabul edilir. Amaç bu hatanın düşürülmesidir. O nedenle geriye hesaplamada bu hata ağın ağırlık değerlerine dağıtılarak bir sonraki iterasyonda hatanın azaltılması sağlanır. Çıktı katmanındaki m. proses elemanı için oluşan hata ( $E_m$ ).

$$E_m = B_m - \zeta_m \quad (1.12)$$

olacaktır. Bu bir proses elemanı için oluşan hatadır. Çıktı katmanı için oluşan toplam hatayı (TH) bulmak için bütün hataların toplanması gerekir. Bazı hata değerleri negatif olacağından toplamın sıfır olmasını önlemek amacı ile ağırlıkların kareleri hesaplanarak sonucun karekökü alınır. ÇKA ağının eğitilmesindeki amaç bu hatayı en azlamaktır. TH şu formül ile bulunur.

$$TH = \frac{1}{2} \sum_m E_m^2 \quad (1.13)$$

Toplam hatayı en azlamak için bu hatanın kendisine neden olan proses elemanlarına dağıtılması gerekmektedir. Bu ise proses elemanlarının ağırlıklarını değiştirmek demektir. Ağın ağırlıklarını değiştirmek için iki durum söz konusudur.

- Ara katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlıkların değiştirilmesi

•Ara katmanlar arası veya ara katman girdi katmanı arasındaki ağırlıkların değiştirilmesi (Öztemel, 2012)

#### 1.6.1.8.2.1. Ara Katman ile Çıktı Katmanı Arasındaki Ağırlıkların Değiştirilmesi

Ara katmanındaki j. proses elemanını çıktı katmanındaki m. proses elemanına bağlayan bağlantının ağırlığındaki değişim miktarına  $\Delta A^a$  denirse; herhangi bir t zamanında (t. iterasyonda) ağırlığın değişim miktarı şöyle hesaplanır.

$$\Delta A_{jm}^a(t) = \lambda \delta_m \zeta_j^a + \alpha \Delta A_{jm}^a(t-1) \quad (1.14)$$

Burada  $\lambda$  öğrenme katsayısını,  $\alpha$  momentum katsayısını göstermektedir. Öğrenme katsayısı ağırlıkların değişim miktarını, Momentum katsayısı ise ÇKA ağırlığının öğrenmesi esnasında yerel bir optimum noktaya takılıp kalmaması için ağırlık değişim değerinin belirli bir oranda bir sonraki değişime eklenmesini sağlarlar. Bu konu aşağıda tekrar tartışılacaktır. Eşitlikteki  $\delta_m$  ise m. çıktı ünitesinin hatasını göstermektedir. Şu şekilde hesaplanır.

$$\delta_m = f'(NET) \cdot E_m \quad (1.15)$$

Buradaki  $f'(NET)$  aktivasyon fonksiyonunun türevidir. Sigmoid fonksiyonunun kullanılması durumunda;

$$\delta_m = \zeta_m (1 - \zeta_m) \cdot E_m \quad (1.16)$$

olacaktır. Değişim miktarı hesaplandıktan sonra ağırlıkların t. iterasyondaki yeni değerleri şöyle olacaktır.

$$\Delta A_{jm}^a(t) = \Delta A_{jm}^a(t-1) + \Delta A_{jm}^a(t) \quad (1.17)$$

Benzer şekilde eşik değer ünitesinin dc ağırlıklarını değiştirmek gerekmektedir. Onun için öncelikle değişim miktarını hesaplamak gerekir. Eğer çıktı katmanında bulunan

proses elemanlarının eşik değer ağırlıkları  $\beta^c$  ile gösterilirse: bu ünitenin çıktısının sabit ve 1 olması nedeni ile değişim miktarı,

$$\Delta\beta_m^c(t) = \lambda \delta_m + \alpha \Delta\beta_m^c(t-1) \quad (1.18)$$

olacaktır. Eşik değer  $t$ . iterasyondaki ağırlığının yeni değeri ise,

$$\beta_m^c(t) = \beta_m^c(t-1) + \Delta\beta_m^c(t) \quad (1.19)$$

şeklinde hesaplanacaktır (Öztemel, 2012).

#### **1.6.1.8.2.2. Ara Katmanlar Arası ve Ara Katman-Girdi Katmanı Arası Ağırlıkların Değiştirilmesi**

Dikkatli incelenirse, ara katman ile çıktı katman arasındaki ağırlıkların değişiminde her ağırlık için sadece çıktı katmanındaki bir proses elemanının hatası dikkate alınmıştır. Bu hataların oluşmasında girdi katmanı ve ara katman arasındaki ağırlıkların (varsa iki ara katman arasındaki ağırlıkların) payı vardır. Çünkü en son ara katmana gelen bütün bilgiler girdi katmanı veya önceki ara katmandan gelmektedir. O nedenle girdi katmanı ile ara katman arasındaki (veya iki ara katman arasındaki) ağırlıkların değiştirilmesinde çıktı katmanındaki proses elemanların hepsinin hatasından payını alması gerekir. Bu ağırlıklardaki değişimi (mesela girdi katmanı ile ara katman arasındaki ağırlıkların değişimi)  $\Delta A^i$  ile gösterilirse değişim miktarı;

$$\Delta A_{kj}^i(t) = \lambda \delta_j^a C_k^i + \alpha \Delta A_{kj}^i(t-1) \quad (1.20)$$

olacaktır. Buradaki hata terimi  $\delta^a$  ise şöyle hesaplanacaktır.

$$\delta_j^a = f'(NET) \sum_m \delta_m A_{jm}^a \quad (1.21)$$

Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu düşünülürse bu hata değeri şu şekilde hesaplanacaktır.

$$\delta_j^a = \zeta_j^a (1 - \zeta_j^a) \sum_m \delta_m A_{jm}^a \quad (1.22)$$

Hata değeri hesaplandıktan sonra yukarıda verilen eşitlik ile değişim miktarını bulmak mümkün olur. Ağırlıkların yeni değerleri ise,

$$A_{kj}^i(t) = A_{kj}^i(t-1) + \Delta A_{kj}^i(t) \quad (1.23)$$

şeklinde olacaktır. Benzer şekilde, eşik değer ünitesinin yeni ağırlıkları da yukarıdaki gibi hesaplanır. Ara katman eşik değer ağırlıkları  $\beta^a$  ile gösterilirse değişim miktarı,

$$\Delta \beta_j^a(t) = \lambda \delta_j^a + \alpha \Delta \beta_j^a(t-1) \quad (1.24)$$

olacaktır. Ağırlıkların yeni değerleri ise t. iterasyonda şöyle hesaplanacaktır.

$$\beta_j^a(t) = \beta_j^a(t-1) + \Delta \beta_j^a(t) \quad (1.25)$$

Böylece ağırlıklarının hepsi değiştirilmiş olacaktır. Bir iterasyon hem ileri hem de geriye hesaplamaları yapılarak tamamlanmış olacaktır. İkinci bir örnek verilerek sonraki iterasyona başlanır ve aynı işlemler öğrenme tamamlanıncaya kadar yinelenir (Öztemel, 2012).

#### 1.6.1.9. Çok Katmanlı Algılayıcı Ağırlık İşlem Sırası

ÇKA ağlarının çalışması şu adımları içermektedir:

**Örneklerin toplanması:** Ağırlık çözmesi istenilen olay için daha önce gerçekleşmiş örneklerin bulunması adımıdır. Ağırlık eğitilmesi için örnekler toplandığı gibi (eğitim seti) ağırlık test edilmesi için de örneklerin (test seti) toplanması gerekmektedir. Ağırlık eğitilmesi sırasında test seti ağırlık hiç gösterilemez. Eğitim setindeki örnekler tek tek gösterilerek ağırlık olayı öğrenmesi sağlanır. Ağırlık olayı öğrendikten sonra test setindeki örnekler gösterilerek ağırlık performansı ölçülür. Hiç görmediği örnekler karşısındaki başarısı ağırlık iyi öğrenip öğrenmediğini ortaya koymaktadır.

**Ağın topolojik yapısının belirlenmesi:** Öğrenilmesi istenen olay için oluşturulacak olan ağın topolojik yapısı belirlenir. Kaç tane girdi ünitesi, kaç tane ara katman, her ara katmanda kaç tane proses elemanı ve kaç tane çıktı elemanı olması gerektiği bu adımda belirlenmektedir.

**Öğrenme parametrelerinin belirlenmesi:** Ağın öğrenme katsayısı, proses elemanlarının toplama ve aktivasyon fonksiyonları, momentum katsayısı gibi parametreler bu adımda belirlenmektedir.

**Ağırlıkların başlangıç değerlerinin atanması:** Proses elemanlarını birbirlerine bağlayan ağırlık değerlerinin ve eşik değer ünitesinin ağırlıklarının başlangıç değerlerinin atanması yapılır. Başlangıçta genellikle rastgele değerler atanır. Daha sonra ağ uygun değerleri öğrenme sırasında kendisi belirler.

**Öğrenme setinden örneklerin seçilmesi ve ağa gösterilmesi:** Ağın öğrenmeye başlaması ve yukarıda anlatılan öğrenme kuralına uygun olarak ağırlıkları değiştirmesi için ağa örnekler (Girdi / Çıktı değerleri) belirli bir düzeneğe göre gösterilir.

**Öğrenme sırasında ileri hesaplamaların yapılması:** Yukarıda anlatıldığı şekilde sunulan girdi için ağın çıktı değerleri hesaplanır.

**Gerçekleşen çıktının beklenen çıktı ile karşılaştırılması:** Ağın ürettiği hata değerleri bu adımda hesaplanır.

**Ağırlıkların değiştirilmesi:** Yukarıda anlatıldığı gibi geri hesaplama yöntemi uygulanarak üretilen hatanın azalması için ağırlıkların değiştirilmesi yapılır.

Yukarıdaki adımlar ÇKA ağının öğrenmesi tamamlanıncaya, yani gerçekleşen çıktılar ile beklenen çıktılar arasındaki hatalar kabul edilir düzeye ininceye, kadar devam eder. Ağın öğrenmesi için bir durdurma kriterinin olması gerekmektedir. Bu ise genellikle üretilen hatanın belirli bir düzeyin altına düşmesi olarak alınmaktadır (Öztemel, 2012).



## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Beton Özellikleri ve Sürtünme Katsayısı Ölçümleri

Beton yollardaki sürtünme katsayısı kayıplarına yönelik tahmin modelinin kurulması için kullanılacak veriler bir doktora tezinden (Karpuz, 2008) alınmıştır. Dokuz farklı beton karışımın her birine ait agrega özellikleri (Tablo 2.1) ve karışım başına üçer adet numuneden toplam yirmi yedi adet cilalanma deneyi numunesine ait ıslak sürtünme katsayısı ölçümlerine ait veriler (Tablo 2.2, Tablo 2.3 ve Tablo 2.4) aşağıda verilmektedir.

Tablo 2.1. Beton karışımlarda agrega özellikleri

Karışım No	İnce agrega	İri agrega LA aşınma yüzdesi	İnce agrega LA aşınma Yüzdesi	İnce agreganın İncelik Modülü
K1	Kalker	32	33,1	2,2
K2				2,7
K3				3,15
K4	% 50 Kalker +		27,8	2,2
K5				2,7
K6				3,15
K7	Bazalt		21,3	2,2
K8				2,7
K9				3,15

Tablo 2.2. Kalker ince agregalı betonlarda sürtünme katsayısı sonuçları

	Tekerleğin Geçiş (Tekerrür ) Sayıları						
	Veri	0	1000	5000	25000	100000	
K1	11	1.	74	56	55	48	44
		2.	74	55	54	48	43
		3.	74	55	54	48	43
		ORT.	74	55,3	54,3	48	43,3
	12	1.	62	52	50	48	41
		2.	60	51	50	47	41
		3.	60	52	50	48	41
		ORT.	60,6	51,6	50	48,3	41
	13	1.	72	55	54	50	45
		2.	74	56	54	50	44
		3.	72	56	53	49	44
		ORT.	72,6	55,6	53,6	49,6	44,3
K2	21	1.	72	56	55	51	43
		2.	73	56	54	51	42
		3.	72	56	54	50	43
		ORT.	72,3	56	54,3	50,6	42,6
	22	1.	69	54	48	47	39
		2.	67	52	49	46	39
		3.	68	53	48	46	38
		ORT.	68	53	48,3	46,3	38,6
	23	1.	74	53	53	52	43
		2.	73	54	52	50	43
		3.	73	54	52	50	42
		ORT.	73,3	53,6	52,3	50,6	42,6
K3	31	1.	69	54	52	50	43
		2.	70	53	52	49	43
		3.	69	53	52	49	43
		ORT.	69,3	53,3	52	49,3	43
	32	1.	70	53	52	50	42
		2.	70	54	52	50	42
		3.	69	53	51	49	41
		ORT.	69,6	53,3	51,6	49,6	41,6
	33	1.	74	58	53	54	46
		2.	73	58	56	53	46
		3.	74	58	56	53	46
		ORT.	73,6	58	56	53,3	46

Tablo 2.3. Kalker + bazalt karışık ince agregalı betonlarda sürtünme katsayısı sonuçları

	Tekerleğin Geçiş (Tekerrür ) Sayıları						
	Veri	0	1000	5000	25000	100000	
K4	41	1.	70	56	53	51	44
		2.	69	55	52	51	43
		3.	68	55	52	50	43
		ORT.	69	55,3	52,3	50,6	43,3
	42	1.	74	64	61	58	52
		2.	73	64	61	58	52
		3.	73	64	60	58	52
		ORT.	73,3	64	60,6	58	52
	43	1.	72	57	55	52	45
		2.	70	57	55	51	45
		3.	70	57	54	51	45
		ORT.	70,6	57	54,6	51,3	45
K5	51	1.	70	57	55	52	46
		2.	69	56	55	52	46
		3.	70	56	54	51	45
		ORT.	69,6	56,3	54,6	51,6	45,6
	52	1.	72	56	53	51	42
		2.	70	55	52	50	42
		3.	70	55	52	50	42
		ORT.	70,67	55,3	52,3	50,3	42
	53	1.	71	54	53	51	46
		2.	71	54	53	50	46
		3.	70	54	52	50	46
		ORT.	70,6	54	52,6	50,3	46
K6	61	1.	65	50	43	41	38
		2.	64	50	43	41	38
		3.	64	50	43	41	38
		ORT.	64,3	50	43	41	38
	62	1.	73	55	52	50	48
		2.	73	55	52	50	48
		3.	72	55	52	49	48
		ORT.	72,6	55	52	49,6	48
	63	1.	82	73	67	64	60
		2.	82	72	67	63	60
		3.	82	72	67	63	59
		ORT.	82	72,3	67	63,3	59,6

Tablo 2. 4. Bazalt ince agregalı betonlarda sürtünme katsayısı sonuçları

	Tekerleğin Geçiş (Tekerrür ) Sayıları						
		Veri	0	1000	5000	25000	100000
K7	71	1.	75	58	51	50	44
		2.	75	58	51	50	44
		3.	74	58	51	49	44
		ORT.	74,6	58	51	49,6	44
	72	1.	76	63	58	55	51
		2.	76	63	58	55	51
		3.	76	62	58	55	51
		ORT.	76	62,6	58	55	51
	73	1.	80	66	59	56	51
		2.	79	65	59	56	50
		3.	79	65	59	56	50
		ORT.	79,3	65,3	59	56	50,3
K8	81	1.	70	53	48	46	42
		2.	70	53	48	46	42
		3.	70	53	48	45	41
		ORT.	70	53	48	45,6	41,6
	82	1.	65	54	48	45	42
		2.	64	53	48	44	41
		3.	64	53	48	44	42
		ORT.	64,3	53,3	48	44,3	41,6
	83	1.	68	53	48	44	40
		2.	68	53	48	44	40
		3.	68	53	48	43	40
		ORT.	68	53	48	43,6	40
K9	91	1.	73	55	50	48	43
		2.	72	55	50	47	43
		3.	72	55	50	47	43
		ORT.	72,3	55	50	47,3	43
	92	1.	76	59	55	52	47
		2.	75	59	54	52	47
		3.	75	58	54	52	46
		ORT.	75,3	58,6	54,3	52	46,6
	93	1.	75	60	55	53	47
		2.	75	60	55	52	46
		3.	75	60	55	52	46
		ORT.	75	60	55	52,3	46,3

Sürtünme katsayısı kayıp oranları değerlendirildiğinde 5000 tekerlek geçişine kadarki cilalandırma deneyi sürecindeki sürtünme kayıplarının beton özelliklerinden bağımsız olarak, herhangi bir anlamlı ilişki olmadan gerçekleştiği görülmüştür. Bunun, beton yüzeylerin pürüzlendirilmesinden kaynaklı beton özelliklerinden bağımsız olarak oluşan aşırı-uç yüzey çıkıntılarının ilk 5000 tekerlek geçişi sırasında aşınmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bu nedenle, YSA ile beton yol yüzeyinin sürtünme katsayısı kaybı modelinin oluşturulmasında, 5000 tekerlek geçişi ve sonrasındaki ıslak sürtünme katsayısı kayıpları (Tablo 2.5) kullanılmıştır. Betondaki ince agreganın LA aşınma yüzdesi, ince agreganın incelik modülü ve beton numuneler üzerinden tekerlek geçiş sayıları girdi olarak alınmıştır. 5000 tekerlek geçiş sayısındaki sürtünme değerine kıyasla 25000 ve 100000 tekerlek geçiş sayısında oluşan sürtünme kaybı yüzdeleri çıktı olarak kullanılmıştır. Kıyas alınan 5000 tekerlek geçiş sayısındaki sürtünme kaybı sıfır alınmayıp 25000 deki sürtünme kaybının yaklaşık beşte biri oranında alınmıştır.

Tablo 2. 5. YSA ile modellemede kullanılan veriler

İnce agreganın LA Aşınma yüzdesi	İnce agreganın İncelik modülü	Tekerlek geçiş sayısı	Betonun sürtünme kaybı yüzdesi
21.3	2.2	5000	0.9
21.3	2.2	25000	4.46
21.3	2.2	100000	13.57
21.3	2.7	5000	1.55
21.3	2.7	25000	7.29
21.3	2.7	100000	14.37
21.3	3.15	5000	1.05
21.3	3.15	25000	4.9
21.3	3.15	100000	14.69
27.8	2.2	5000	0.9
27.8	2.2	25000	4.48
27.8	2.2	100000	16.13
27.8	2.7	5000	0.95
27.8	2.7	25000	4.7
27.8	2.7	100000	16.35
27.8	3.15	5000	1
27.8	3.15	25000	5
27.8	3.15	100000	10.18
33.1	2.2	5000	1.55
33.1	2.2	25000	7.6
33.1	2.2	100000	18.44
33.1	2.7	5000	0.95
33.1	2.7	25000	4.65
33.1	2.7	100000	19.96
33.1	3.15	5000	0.97
33.1	3.15	25000	4.7
33.1	3.15	100000	18.23

## 2.2. Yapay Sinir Ağlarıyla Sürtünme Kaybı Tahmin Modeli Kurulması

Yapılan çalışmada LA aşınma, incelik modülü ve tekerlek geçiş sayısına bağlı olarak, sürtünme kaybındaki değişim yapay sinir ağı yaklaşımı ile modellenmiştir. Çalışma kapsamında iki ayrı model geliştirilmiştir.

### 2.2.1. Birinci Model

LA aşınma, incelik modülü ve tekerlek geçiş sayısının sürtünme kaybına etkisini incelemek amacıyla, deney verileri eğitim ve test verileri şeklinde gruplandırılıp, farklı veri setleri oluşturularak yapay sinir ağlarını (YSA) eğitmek için kullanılmıştır. Tahmin modelinde kullanılan veri seti Tablo 2.6'da gösterilmiştir.

Gruplar için değişik ağ yapılarına ve öğrenme parametrelerine sahip farklı modeller kurulup denemeler yapılarak eğitimler gerçekleştirilmiş, ağların performansını test etmek amacıyla eğitim setinde kullanılmayan test için ayrılan verilerle modeller test edilerek en hassas sonuç elde edilmeye çalışılmıştır.

Test işlemi sonucunda bulunan tahmini değerler, gerçek değerlerle karşılaştırılmış (2.1) numaralı eşitlikle hesaplanan ortalama karesel hatanın karekökü (root mean square error) (RMSE) ve (2.2) numaralı eşitlikle hesaplanan ortalama mutlak yüzde hata (mean absolute percentage error) (MAPE) oranları dikkate alınarak en iyi tahmin değerlerini veren model, tahmin modeli olarak seçilmiştir. Tablo 2.6 ve Tablo 2.7'de, eğitim ve test verileri için bu tahmin modelleri kullanılarak hesaplanan tahmini değerler, gerçek değerler ve yüzde hata oranları ile RMSE ve MAPE oranları verilmiştir.

Tablo 2. 6. Tahmin modellerinde kullanılan eğitim verileri seti, deney ve tahmini değerler ile % hata, RMSE ve MAPE oranları

	LA Aşınma %	İncelik Modülü	Tekerlek Geçiş Sayısı	Sürtünme Kaybı %		
				gerçek	tahmin	% hata
<b>Eğitim Verileri</b>	21.3	2.2	5000	0.90	0.92	-2.14
	21.3	2.2	100000	13.57	13.73	-1.18
	21.3	2.7	25000	7.29	7.25	0.49
	21.3	2.7	100000	14.37	13.87	3.51
	21.3	3.15	5000	1.05	1.11	-5.95
	21.3	3.15	25000	4.90	4.93	-0.65
	27.8	2.2	25000	4.48	4.46	0.53
	27.8	2.2	100000	16.13	16.18	-0.28
	27.8	2.7	5000	0.95	0.97	-2.01
	27.8	2.7	25000	4.70	4.67	0.74
	27.8	3.15	5000	1.00	1.02	-2.20
	27.8	3.15	100000	10.18	10.06	1.22
	33.1	2.2	5000	1.55	1.51	2.82
	33.1	2.2	25000	7.60	7.56	0.46
	33.1	2.7	5000	0.95	0.93	1.75
	33.1	2.7	100000	19.96	19.96	0.00
	33.1	3.15	25000	4.70	4.83	-2.72
	33.1	3.15	100000	18.23	18.18	0.28
	<b>MAPE</b>			<b>1.607</b>		
	<b>RMSE</b>			<b>0.135</b>		



Tablo 2. 7. Tahmin modellerinde kullanılan test verileri seti, deney ve tahmini değerler ile % hata, RMSE ve MAPE oranları

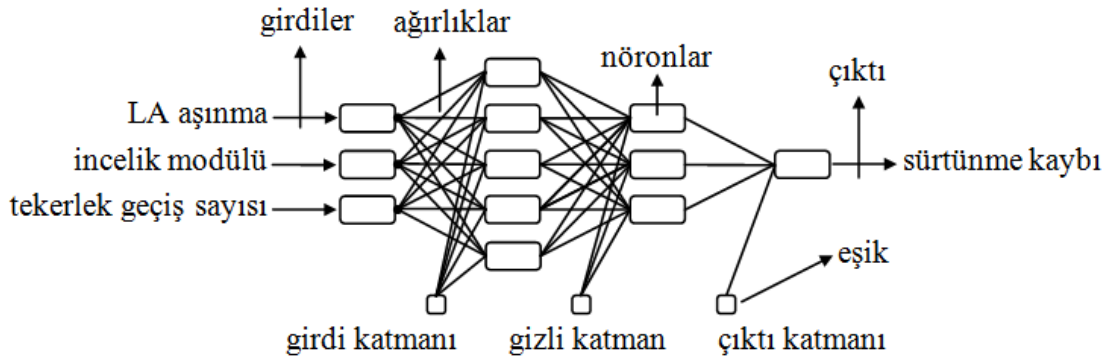
	LA Aşınma %	İncelik Modülü	Tekerlek Geçiş Sayısı	Sürtünme Kaybı %		
				gerçek	tahmin	% hata
<b>Test Verileri</b>	21.3	2.2	25000	4.46	4.47	-0.18
	21.3	2.7	5000	1.55	1.53	1.35
	21.3	3.15	100000	14.69	14.84	-1.00
	27.8	2.2	5000	0.90	0.89	1.06
	27.8	2.7	100000	16.35	17.77	-8.71
	27.8	3.15	25000	5.00	4.84	3.29
	33.1	2.2	100000	18.44	20.15	-9.28
	33.1	2.7	25000	4.65	5.19	-11.56
	33.1	3.15	5000	0.97	0.94	3.46
	<b>MAPE</b>			<b>4.434</b>		
	<b>RMSE</b>			<b>0.767</b>		

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2} \quad (2.1)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N \left[ \left| \frac{t_i - td_i}{t_i} \right| \right] \right) \times 100 \quad (2.2)$$

Burada  $t_i$ , deney değerini;  $td_i$ , model tahmin değerini;  $N$  ise hatalı terim sayısını ifade etmektedir.

Şekil 2.1’de sırasıyla sürtünme kaybı için deney değerlerine en yakın sonuçları veren 1 giriş katmanı, 2 gizli katman ve 1 çıkış katmanından oluşan YSA modeli görülmektedir. Modelde LA aşınma, incelik modülü ve tekerlek geçiş sayısı girdi değişkenleri, sürtünme kaybı çıktı değişkeni olarak alınmıştır. Gizli katmanlardaki işlem elemanı (nöron) sayıları 5 ve 3’tür.



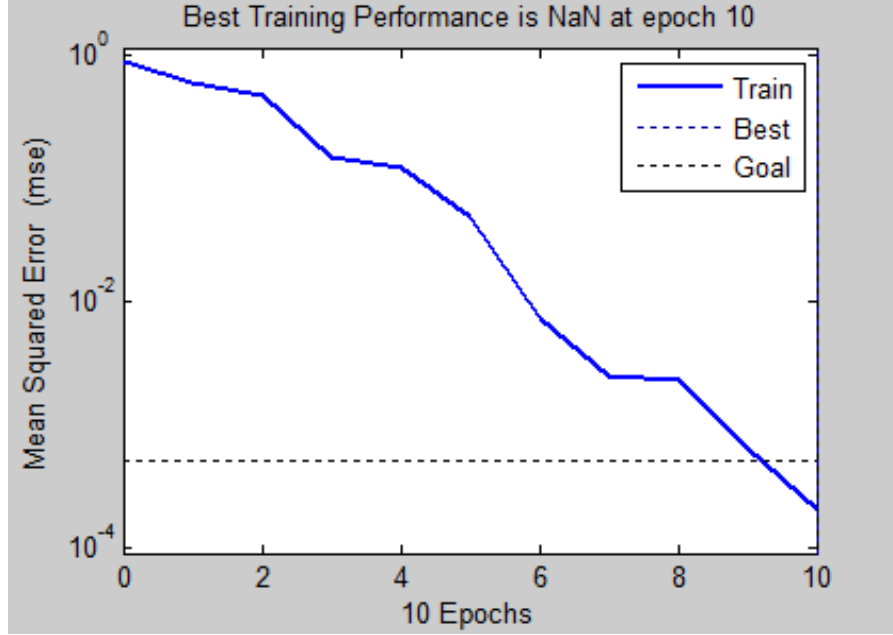
Şekil 2. 1. Tahmin modeli olarak seçilen YSA mimarisi

Problemlerin çözümünde ileri beslemeli ve geri yayımlı (Feed Forward and Back Propagation) çok katmanlı (multilayer) YSA (ANN) tercih edilmiş, ağların eğitimi ve denenmesi Matlab paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, aktivasyon (activation) (transfer) fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu (hyperbolic tangent sigmoid function) (tansig) ile doğrusal transfer fonksiyonu (linear transfer function) (purelin), eğitim algoritması olarak ta levenberg marquardt algoritması (trainlm) seçilmiş, öğrenme kuralı olarak momentumlu gradyan azaltım geri yayılım algoritması (gradient descent with momentum backpropagation algorithm) (traingdm), performans fonksiyonu olarak ta ortalama karesel hata (mean square error) (MSE) kullanılmıştır.

Her bir parametrenin modellere eşit bir şekilde katkıda bulunmasını sağlamak amacıyla eğitim ve test setindeki veriler, modellerde hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu (hyperbolic tangent sigmoid function) kullanıldığından, (-1,1) aralığında normalize edilerek ağa sunulmuş, daha sonra sonuçların yorumlanabilmesi için veriler ters normalize işlemine tabi tutulmak suretiyle orijinal değerlerine çevrilmiştir. Normalizasyon (ölçeklendirme) işlemleri, (2.3) numaralı eşitlik yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Eşitlikte  $X_{norm}$ , normalize edilmiş veriyi;  $X$ , değişkenin deney (gerçek) değerini;  $X_{min}$ , veri grubunun minimum değerini;  $X_{max}$ , ise veri grubunun maksimum değerini ifade etmektedir.

$$X_{norm} = 2 \times \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} - 1 \quad (2.3)$$

Sürtünme kaybı için seçilen yapay sinir ağlarının iterasyona bağlı hata değişim grafiği Şekil 2.2'deki grafikte görülmekte olup, modellerin eğitiminin durduğu epoch sayısı 10 dur.



Şekil 2. 2. Seçilen YSA'nın iterasyona bağlı hata değişim grafikleri

Tablo 2. 8. Birinci tahmin modeline ait ağırlık ve bias değerleri

Ağırlık													
Giriş Katmanı				Gizli Katman 1							Gizli Katman 2		
neron1	neron2	neron3	bias1	neron1	neron2	neron3	neron4	neron5	bias2	neron1	neron2	neron3	bias3
0.0083	0.1070	4.2904	1.9337	-0.8039	-0.4555	-1.4988	0.2228	-1.7113	2.4731	-0.5965	-0.7997	-0.7727	0.0569
1.7200	-0.5047	1.0215	-2.1769	-0.6039	-1.5756	0.9934	-1.3931	1.3117	0.3508				
-3.2679	1.2337	-2.0952	1.6426	-2.6973	0.7435	0.1088	0.0138	0.4954	-1.9877				
-3.4071	1.8679	1.6812	-1.2733										
-1.8701	2.0588	1.9903	-2.7971										

## 2.2.2. İkinci Model

Tablo 2.9 ve Tablo 2.10'da, eğitim ve test verileri için bu tahmin modelleri kullanılarak hesaplanan tahmini değerler, gerçek değerler ve yüzde hata oranları ile RMSE ve MAPE oranları verilmiştir.

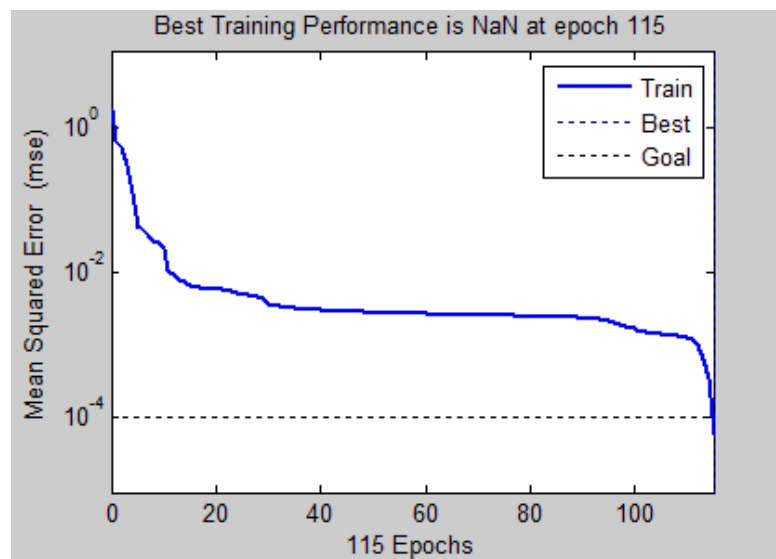
Tablo 2. 9. Tahmin modellerinde kullanılan eğitim veri seti, deney ve tahmini değerler ile % hata, RMSE ve MAPE oranları

	LA Aşınma %	İncelik Modülü	Tekerlek Geçiş Sayısı	Sürtünme Kaybı %		
				gerçek	tahmin	% hata
<b>Eğitim Verileri</b>	21.3	2.2	5000	0.90	0.88	2.69
	21.3	2.2	100000	13.57	13.56	0.06
	21.3	2.7	25000	7.29	7.30	-0.18
	21.3	2.7	100000	14.37	14.37	-0.02
	21.3	3.15	5000	1.05	0.99	5.98
	21.3	3.15	25000	4.90	4.90	-0.03
	27.8	2.2	25000	4.48	4.50	-0.42
	27.8	2.2	100000	16.13	16.13	0.01
	27.8	2.7	5000	0.95	0.99	-4.08
	27.8	2.7	25000	4.70	4.73	-0.56
	27.8	3.15	5000	1.00	0.99	1.31
	27.8	3.15	100000	10.18	10.18	0.02
	33.1	2.2	5000	1.55	1.46	5.63
	33.1	2.2	25000	7.60	7.87	-3.50
	33.1	2.7	5000	0.95	0.99	-3.84
	33.1	2.7	100000	19.96	19.96	0.00
	33.1	3.15	25000	4.70	4.70	-0.05
	33.1	3.15	100000	18.23	18.23	-0.01
	<b>MAPE</b>			<b>1.576</b>		
	<b>RMSE</b>			<b>0.070</b>		

Tablo 2. 10. Tahmin modellerinde kullanılan test verileri seti, deney ve tahmini değerler ile % hata, RMSE ve MAPE oranları

	LA Aşınma %	İncelik Modülü	Tekerlek Geçiş Sayısı	Sürtünme Kaybı %		
				gerçek	tahmin	% hata
Test Verileri	21.3	2.2	25000	4.46	4.21	5.63
	21.3	2.7	5000	1.55	1.28	17.23
	21.3	3.15	100000	14.69	14.76	-0.45
	27.8	2.2	5000	0.90	0.94	-3.93
	27.8	2.7	100000	16.35	15.11	7.56
	27.8	3.15	25000	5.00	4.79	4.19
	33.1	2.2	100000	18.44	19.50	-5.75
	33.1	2.7	25000	4.65	4.63	0.52
	33.1	3.15	5000	0.97	0.99	-1.72
	<b>MAPE</b>			<b>5.219</b>		
	<b>RMSE</b>			<b>0.561</b>		

Sürtünme kaybı için seçilen yapay sinir ağlarının iterasyona bağlı hata değişim grafiği Şekil 2.3'teki grafikte görülmekte olup, modellerin eğitiminin durduğu epoch sayısı 115 dir.



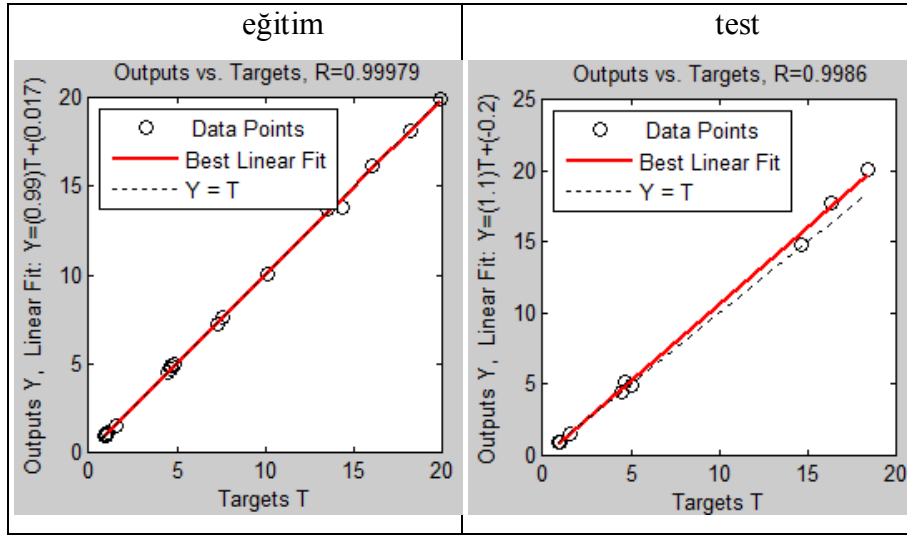
Şekil 2. 3. Seçilen YSA'nın iterasyona bağlı hata değişim grafikler

Tablo 2. 11. İkinci tahmin modeline ait ağırlık ve bias değerleri

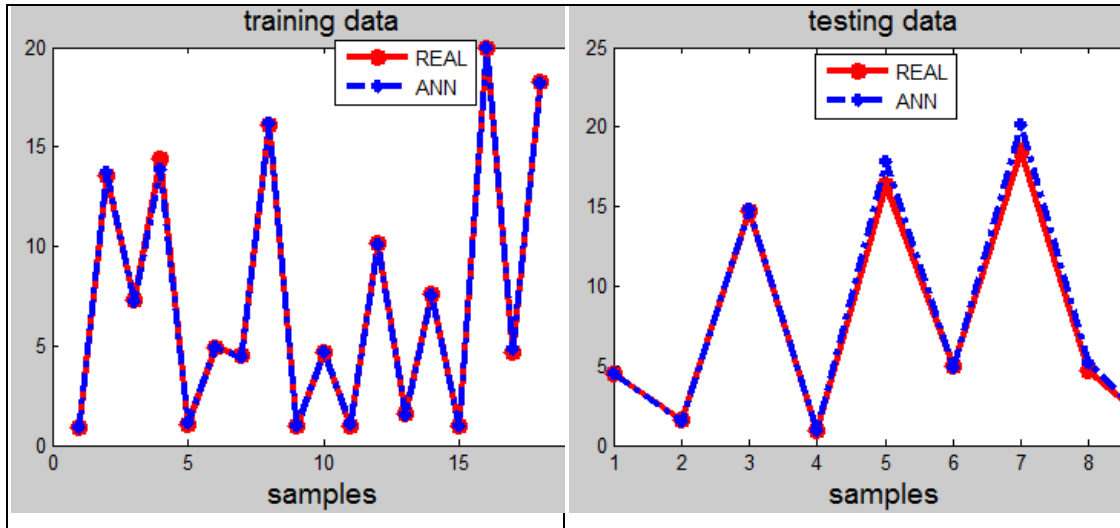
Ağırlıklar														
Giriş Katmanı				Gizli Katman 1				Gizli Katman 2						
neuron1	neuron2	neuron3	bias1	neuron1	neuron2	neuron3	bias2	neuron1	neuron2	neuron3	neuron4	neuron5	neuron6	bias3
-2.3343	-4.6056	-3.7100	-5.1393	-1.7844	0.8098	-1.6232	2.5124	-0.0313	2.0835	1.1963	0.3712	-1.5552	-2.2784	-0.0375
-0.0048	0.0040	2.8160	1.5720	-1.6370	-2.2878	1.1310	1.4595							
-1.8736	-0.6933	4.8070	-4.0992	-1.4263	-1.3129	-1.4087	0.9106							
				2.6724	-0.9605	1.9480	-1.0791							
				0.4539	-0.2903	-4.1407	2.0092							
				-1.1520	-2.9740	2.6141	2.3855							

### 3. BULGULAR

Birinci sürtünme kaybı tahmin modeli kullanılarak hesaplanan değerler ile deney değerleri arasındaki ilişki Şekil 3.1’de görülmektedir. Bu değerlerin karŐılaŐtırılmalđ grafiği de Şekil 3.2’de verilmiştir.



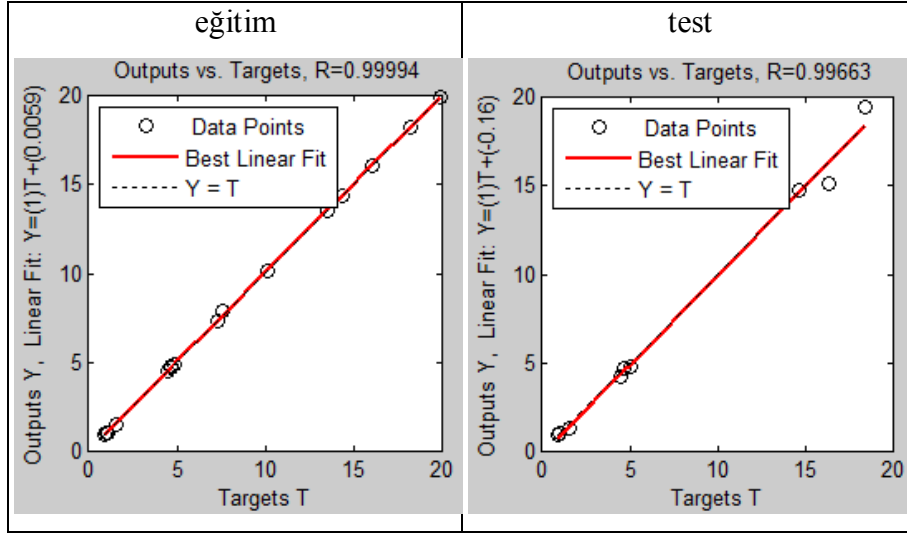
Şekil 3. 1. Deney değerleri ile YSA değerleri arasındaki ilişki



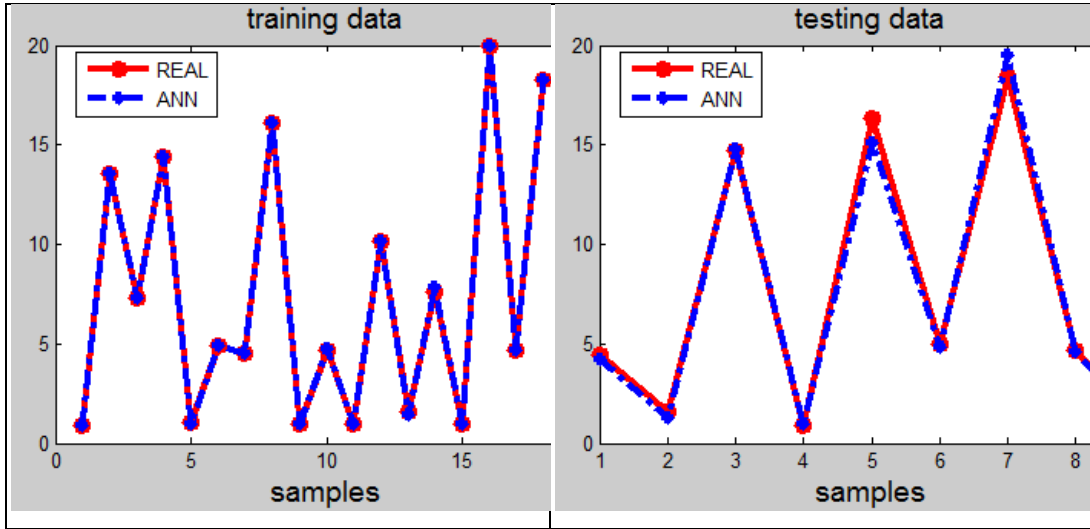
Şekil 3. 2. Deney değerleri ile YSA değerlerinin karşılaştırılması



İkinci sürtünme kaybı tahmin modeli kullanılarak hesaplanan değerler ile deney değerleri arasındaki ilişki Şekil 3.3'te görülmektedir. Bu değerlerin karşılaştırılmalı grafiği de Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3. 3. Deney değerleri ile YSA değerleri arasındaki ilişki



Şekil 3. 4. Deney değerleri ile YSA değerlerinin karşılaştırılması

Birinci tahmin modelinde eğitim çalışmasında kullanılan verilerde en küçük hata yüzdesi 0,00 iken en büyük hata yüzdesi 5,95 olmuş ve ortalama mutlak hata yüzdesi 1,607 olarak belirlenmiştir. Oluşturulan modelde, test verilerindeki en küçük hata yüzdesi 0,18

olurken en büyük hata yüzdesi 11,56 olarak gerçekleşmiş ve ortalama mutlak hata yüzdesi 4.434 olarak hesaplanmıştır.

İkinci tahmin modelinde ise, modelin eğitilmesi aşamasında kullanılan veri setinde en küçük hata yüzdesi 0,00 iken en büyük hata yüzdesi 5,98 olmuş, ortalama mutlak hata yüzdesi 1,576 olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan modelde, en küçük hata yüzdesi 0,45 olurken en büyük hata yüzdesi 17,23 olarak gerçekleşmiş ve ortalama mutlak hata yüzdesi 5,219 olarak hesaplanmıştır.

#### 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında beton yollarda taşıt tekerlekleri ile yol yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısının, trafiğin cilalandırma etkisiyle ne kadar azalacağını hesaplanmasında, yapay sinir ağlarının kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Karayolunu kullanan araçların birinci derecede etkilendiği yol özelliği ebetteki yolun yüzeyi ve yüzeyin sürtünme katsayısıdır. Güvenli bir seyahat için yol yüzeyinde özellikle ıslak iken yeterli bir sürtünme seviyesi olması şarttır. Büyük maddi harcamalarla inşa edilen, bakımı ve onarımı yapılan karayollarımızda, trafik tesiriyle kısa sayılabilecek zaman dilimi içinde cilalanarak sürtünme katsayısının hızlı bir şekilde azalmasının önüne geçmek için cilalanmaya direnci yüksek kaplama malzemesi kullanılmalıdır. Malzemenin cilalanma davranışı deneylerle belirlendiği gibi oluşturulacak tahmin modelleriyle de kısa zaman içinde gerçeğe yakın sonuçlara ulaşmak mümkündür.

Bu çalışma kapsamında yol kaplaması betonundaki ince agreganın LA aşınma yüzdesi, incelik modülü ve tekerlek geçiş sayısının girdi olarak, ıslak sürtünme katsayısı kaybının çıktı olarak kullanıldığı iki farklı YSA modeli başarıyla oluşturulmuştur.

Uygun bir YSA yapısı kullanıldığı takdirde modellemelerde hata payının düşük olduğu, bir kez eğitildikten sonra işlem hızının yüksek olduğu ve bu yönüyle de YSA'nın deneysel yöntemlere göre avantajlı olduğu anlaşılmıştır.

Bir problem için YSA'nın eğitilip test edilmesi sırasında başarılı sonuca ulaşmak için çaba sarf edilir. Eğitimdeki verilerin uygunluğu ve problemi kapsamı, gizli katman sayısı, gizli katmandaki eleman sayısı ve kullanılan aktivasyon fonksiyonunun uygunluğu başarıya ulaşmada etkili faktörlerdir. Test setindeki performans iyi ise o problemin çözümünde uygun görülen yapısı ile YSA kullanılabilir.

YSA modellemesi için geliştirilen herhangi bir bilgisayar programında parametrelerin eldeki probleme göre değiştirilmesi yeterli olabilmektedir. Bu, YSA için uygulama kolaylığı sağlamaktadır. Bilgisayar teknolojisinin sürekli geliştiği dikkate alındığında YSA modelleme programlarının da buna paralel olarak geliştirileceği açıktır.

## 5. KAYNAKLAR

- Acır, Ş., 2007, Beton Basınç Dayanımlarının Yapay Sinir Ağları İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Açıkalın, S., 2007, Atıksu Arıtma Tesisi Veriminin Yapay Sinir Ağları İle Tahmin Edilmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Ağar, E. ve Taşdemir, Y., Silindir İle Sıkıştırılabilen Beton Yollar, THBB, 2007.
- Akkaya, Y., Taşdemir, M. A., Beton Yollarda Kullanılan Malzemelerle İlgili Genel Bir Değerlendirme, THBB, 2007.
- Albayrak, S., 2005, Yapay Sinir Ağlarının Dikdörtgen Plakalara Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Arslan, M., 2007, Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Rapor, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Başka, M. A., 2006, Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi Ve Değerlendirilmesi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Baş, N., 2006, Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çamcı, F. 2006, Yapay Sinir Ağları Kullanarak İzostatik Kafes Sistem Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Çetin, E., 2003, Yapay Sinir Ağları ( Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama ), Seçkin Yayıncılık, ISBN 975 347 612 4, Ankara, 96s.
- Engin, O., 2004, Yapay Zekâ Ve Türleri. Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya
- Elbistanlı, G., 2007, Hvac Sisteminin Mlp Tipi Yapay Sinir Ağları (YSA) Kullanarak Denetlenmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Frangopol, DM., Kong, JS., Benefits of Concrete Highways, Cement Association of Canada, 2001.

- Güngör, E., 2007, Yapay Sinir Ağları Yardımı İle Makinem Arızalarının Önceden Tahmin Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli.
- İyınam, Ş., Ağar, E., 2004, Karayollarında Hazır Beton, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kandemir, A., 2005, Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kalıcılık Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Karpuz, O., 2008, Beton Yol Karışımındaki İnce Agreganın Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kavlak, Y., 2008, Isparta Gelincik Pomzasının Karayolu Esnek Üstyapıları Taban Zeminini Stabilizasyonunda Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Konak, S. D., 2012, Farklı Darbe Sayıları İle Hazırlanan Sıcak Asfalt Karışımlarda Marshall Oranının Belirlenmesi Ve Regresyon Analizi Yöntemi İle Belirlenen Sonuçların Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Kozak, M., 2011, Beton Yollar ve Beton Yol Yapımının Araştırılması, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 7, Sayı: 1.
- Özşahin, Ş., 2012, The Use Of An Artificial Neural Network For Modelling The Moisture Absorbtion And Thickness Swelling Of Oriented Strand Board, BioResources 7(1), 1053-1067.
- Öztemel, E., 2012. Yapay Sinir Ağları, Papatya yayıncılık, İstanbul, 78s.
- Öztürk, A., 2008, Yol Yapı Doğal Gereçlerinin Mühendisliği Ve Üstyapı Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Saraç, T., 2004, Yapay Sinir Ağları, Seminer Projesi, Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Serin, S., 2009, Karınca Kolonisi Yaklaşımıyla Karayolu Üstyapı Rutin Bakım Çalışmalarının Planlanması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

URL-1, <http://www.thbb.org/Utility.aspx?o=file&id=50>

URL-2, <http://www.thbb.org/Content.aspx?ID=23>

URL-3, [http://www.thbb.org/Files/File/\[202-211\].pdf](http://www.thbb.org/Files/File/[202-211].pdf)

## **ÖZGEÇMİŞ**

23 Ocak 1988 yılında Bayburt'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bayburt'ta tamamladı. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde üniversite öğrenimine başladı. 2009 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisansa başladı. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı birimde görev yapmaktadır.