

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİ İLE HEYELANLARDA STABİLİTE  
ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeofizik Mühendisi Türkan KAYA**

**HAZİRAN 2013  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİ İLE HEYELANLARDA STABİLİTE  
ANALİZİ**

**Jeofizik Müh. Türkan KAYA**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"JEOFİZİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17.05.2013  
Tezin Savunma Tarihi : 14.06.2013**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ**

**Trabzon 2013**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Türkan KAYA tarafından hazırlanan**

**YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİ İLE HEYELANLARDA STABİLİTE  
ANALİZİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2013 gün ve 1507 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ .....**

**Üye : Prof. Dr. Hakan KARSLI .....**

**Üye : Yrd. Doç. Dr. H. Tolga KAHRAMAN .....**

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

“Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Heyelanlarda Stabilité Analizi” adlı bu araştırma K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak yapılmıştır. Bu tez çalışması, BTAP-8781 kodlu proje kapsamında K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir. Destekleri için K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimine teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, planlanmasında ve çalışmalarının yürütülmesinde her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen çok kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ’ ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın YSA kısmının her safhasında desteğini, bilgisini, tecrübesini ve yardımını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN’ e ve Yrd. Doç. Dr. Hamdi Tolga KAHRAMAN’ a, ayrıca çalışma alanlarının jeolojisinin derlenmesindeki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY’ a şükranlarımı sunarım. Arazi çalışmalarında ki tüm yardımları için Arş. Gör. Ali Erden BABACAN’ a, Arş. Gör. Zeynep ÖĞRETMEN’ e, Arş. Gör. Özgenç AKIN’ a çok teşekkür ederim. Tez çalışmam boyunca bana destek olan Doç. Dr. Aysel ŞEREN’ e, Arş. Gör. Şeyda YILMAZ’ a ve tüm yardım ve desteğini eksik etmeyen Arş. Gör. Erdem BAYRAK’ a sonsuz teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyen kıymetli aileme “anneme, babama ve kardeşlerime” en içten teşekkürlerimi sunarım.

Türkan KAYA  
Trabzon 2013

## **TEZ BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Heyelanlarda Stabilitate Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ’ nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/05/2013

Türkan KAYA

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	IX
SUMMARY.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XI
TABLolar DİZİNİ .....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Heyelanlar .....	1
1.1.1. Giriş.....	1
1.1.2. Heyelanların Tarihçesi .....	2
1.1.3. Heyelanların Bölümleri.....	4
1.1.4. Heyelan Hareketlerinin Sınıflaması.....	5
1.1.5. Heyelan Oluşturan Faktörler .....	10
1.1.6. Yamaç ve Şevlerde Stabilite Analizleri .....	13
1.1.6.1. İsveç Dilim Yöntemi.....	15
1.1.6.2. Sadeleştirilmiş Bishop Yöntemi .....	16
1.1.6.3. Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi.....	16
1.1.6.4. Spencer Yöntemi .....	17
1.1.6.5. Sarma Yöntemi.....	18
1.1.6.6. Sonlu Elemanlar Analizi .....	18
1.2. Yapay Sinir Ağları.....	19
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	24

2.1.	Heyelan Araştırmalarında Kullanılan Sismik Yöntemler .....	24
2.1.1.	Sismik Kırılma Yöntemi .....	24
2.1.2.	Çok Kanallı Yüzey Dalgaları Yöntemi (MASW) .....	29
2.3.	Araziden Numune Alma .....	35
2.4.	Kayma Mukavemeti Parametreleri .....	36
2.4.1.	Kesme Kutusu Deneyi .....	36
2.4.2.	Üç Eksenli Basınç Deneyi.....	37
2.4.3.	Serbest Basınç Deneyi .....	38
2.5.	Yapay Sinir Ağları Yöntemi .....	40
2.5.1.	Yapay Sinir Ağı Nedir?.....	40
2.5.2.	YSA 'nın Genel Özellikleri.....	42
2.5.2.1.	Örneklerden Öğrenme.....	42
2.5.2.2.	Örnekleri Tanıma ve Sınıflandırma .....	42
2.5.2.3.	Örnekleri Yeniden Oluşturma .....	42
2.5.2.4.	Kendi Kendine Adapte Olabilme .....	42
2.5.2.5.	Hata Toleransı .....	43
2.5.2.6.	Bulanık Girdilere Direnç.....	43
2.5.3.	Yapay Sinir Ağlarının Yapısı .....	43
2.5.3.1.	Biyolojik Nöron.....	43
2.5.3.2.	İşlemci (Yapay Nöron) .....	45
2.5.4.	Yapay Sinir Hücresinin Temel Elemanları .....	46
2.5.4.1.	Girişler .....	46
2.5.4.2.	Ağırlıklar .....	47
2.5.4.3.	Toplama İşlevi .....	47
2.5.4.4.	Aktivasyon Fonksiyonları .....	48
2.5.4.5.	Çıkış İşlevi.....	51
2.5.5.	Yapay Sinir Ağlarının Yapısı .....	51

2.5.5.1.	Katmanlar .....	52
2.5.6.	Yapılarına Göre Yapay Sinir Ağları .....	53
2.5.6.1.	İleri Beslemeli Ağlar .....	53
2.5.6.2.	Geri Beslemeli Ağlar .....	53
2.5.7.	YSA Uygulamalarının Geliştirilme Safhaları .....	54
2.5.7.1.	Tasarım.....	54
2.5.7.2.	YSA’ da Öğrenme Stratejileri .....	55
2.5.7.2.1.	Geriye Yayılma Öğrenme Algoritması .....	57
2.5.7.3.	Test/Uygulama .....	58
2.6.	Arazi Çalışmaları .....	58
2.6.1.	Giresun Organize Sanayi Heyelanlarının Tanıtımı ve Genel Jeolojisi .....	59
2.6.1.1.	Giresun Organize Sanayi Heyelanları’ nın Arazi Verilerinin Toplanması .....	62
2.6.1.1.1.	Giresun Organize Sanayi Bölgesi Heyelan Sahasında Sismik Kırılma Ölçümü.....	63
2.6.1.1.2.	Giresun Organize Sanayi Heyelanları’ nın Yüzey Dalgası Verilerinin Toplanması.....	64
2.6.2.	Araklı-Yiğitözü Heyelanı Tanıtımı ve Genel Jeolojisi .....	64
2.6.2.1.	Araklı-Yiğitözü Heyelanı Sismik ve Yüzey Dalgası Ölçümleri .....	66
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	67
3.1.	Giresun Organize Sanayi Heyelanlarının Arazi Verilerinin Değerlendirilmesi.....	67
3.1.1.	Giresun Organize Sanayi Heyelanlarının Sismik Kırılma Ölçümlerinin Değerlendirilmesi .....	67
3.1.2.	Giresun Organize Sanayi Heyelanlarının Yüzey Dalgası Verilerinin Değerlendirilmesi .....	69
3.2.	Araklı-Yiğitözü Heyelanı Sismik ve Yüzey Dalgası Ölçülerinin Değerlendirilmeleri.....	77
3.3.	Laboratuvar Çalışmaları.....	80
3.2.	Yapay Sinir Ağı Yöntemi ile Stabilite Analizi.....	80



3.2.1.	Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Stabilite Hesaplamalarında Kullanılan Veri Setinin Hazırlanması.....	81
3.2.2.	YSA ile Stabilite Analizi.....	81
3.2.2.1.	Heyelanların YSA ile Stabilite Analizi.....	81
3.2.2.2.	Hız Bilgisi Eklenerek YSA Analizleri.....	89
3.2.2.3.	Ölçü Alınan Heyelanların YSA ile Stabilite Analizi.....	94
4.	SONUÇLAR .....	102
5.	KAYNAKLAR.....	104

ÖZGEÇMİŞ

## Yüksek Lisans Tezi

### ÖZET

#### YAPAY SINIR AĞLARI YÖNTEMİ İLE HEYELAN STABİLİTE ANALİZİ

Türkan KAYA

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Kenan GELİŞLİ  
2013, 110 Sayfa

Bu tez çalışmasında, Yapay sinir Ağları (YSA) yöntemi kullanılarak heyelanlarda yamaç/şev güvenliği hesaplanabilirliği araştırıldı. İlk olarak kullanılan YSA programı için 100 adet yapay heyelan verisi oluşturuldu ve bu heyelanların güvenlik faktörleri (GF) GeoStudio programı ile hesaplandı. Bu şekilde oluşturulan veri tabanının 80 adedi YSA'nın eğitimi, 20 adedi ise testi için kullanıldı. YSA yöntemi ile giriş parametresi olarak heyelan yüksekliği, yeraltı su tablasının derinliği, heyelan açısı, birim hacim ağırlığı, kohezyon ve içsel sürtünme açısı, çıkış parametresi olarak ise GF kullanılarak heyelanların GF'leri hesaplandı. Klasik yöntemle ve YSA ile hesaplanan GF'leri arasında iyi bir uyum elde edildi. Daha sonra zemin parametreleri dikkate alınarak NEHRP Zemin Sınıflamasına göre her bir heyelana sismik hız bilgileri eklendi. Bu durum için de YSA yöntemi ile GF'leri tekrar hesaplandı. Giresun Organize Sanayi heyelanlarında sismik kırılma ve sismik yüzey dalgası yöntemleri kullanılarak boyuna ve enine dalga hızları hesaplandı. Araklı-Yiğitözü heyelanında ise araziden numune alınarak zemin parametreleri belirlendi. Bu veriler kullanılarak üç heyelanın GeoStudio programında GF'leri hesaplandı. Heyelanların birim hacim ağırlığı, kohezyon, içsel sürtünme açılarına sismik hızlarına göre aralık değer verilerek GF'leri YSA ile hesaplandı. Sonuçlar incelendiğinde kohezyonun GF üzerinde en etkili parametre olduğu tespit edildi. Son olarak incelenen heyelanların YSA yöntemi ile GF'leri değerlendirildi. Sonuç olarak, heyelanlarda YSA yöntemi ile güvenlik faktörünün hızlı ve kolay bir şekilde hesaplanabileceği, heyelanlar için belli olmayan bazı zemin parametreleri yerine sismik hızlar kullanılarak stabilite hesaplamaları yapılabileceği ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Sinir Ağı, Heyelan, Güvenlik Faktörü, Sismik Hızlar

Master Thesis

SUMMARY

LANDSLIDE STABILITY ANALYSIS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Türkan KAYA

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Supervisor: Prof. Kenan GELİŞLİ  
2013, 110 Pages

In this thesis, accountability of slope safety on landslides was investigated using Artificial Neural Networks (ANN) method. Firstly, 100 synthetic landslide data were created for using ANN program and safety factor of these landslides were calculated with GeoStudio software. 80 of these synthetic landslides in training set and 20 of them were used in testing set. The input parameters of ANN method were the height of slope, the height of water level, the inclination of slope, the unit weight of soil, the cohesion of soil and the friction angle of soil, the output parameter were the factor of the safety of the slopes and safety factors were calculated with ANN. The safety factor of calculated by the classical method and the ANN were a very good correlation between each other. Then, seismic velocity was added each landslide according to NEHRP Soil Classification taking into account the parameters of the ground. Also, in this case safety factors were re-calculated with ANN. Compressional and shear wave velocities of Giresun Organized Industry landslides were calculated using seismic refraction and seismic surface wave methods. Soil parameters of Araklı-Yiğitözü landslide determined by sampling. The safety factor of three landslides were evaluated using these parameters with GeoStudio software. Unit weight of soil, cohesion and internal friction angle parameters of 3 landslides were given range according to seismic velocities and calculated safety factor with ANN. The results are analyzed, cohesion is detected the most effective parameter on SF. Finally, SF of analyzed landslides evaluated with ANN. As a result, safety factor of landslides can be calculated fast and easy way with ANN, stability calculation for landslides can be execute using seismic velocities instead of undefined some soil parameters.

**Key Words:** Artificial Neural Network, Landslide, Safety Factor, Seismic Velocity

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No.

Şekil 1.1.	Tipik bir heyelan kesiti ve çeşitli kısımlarına verilen isimler (Ulusay, 2001).....	4
Şekil 1.2.	Kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler (Ulusay, 2001) .....	6
Şekil 1.3.	Doğada gözlenen devrilme türleri ve kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler (Goodman ve Bray, 1976; Ulusay, 2001).....	7
Şekil 1.4.	Akma türleri (URL 1, 2008). .....	8
Şekil 1.5.	Dairesel kayma (Ulusay 2001).....	9
Şekil 1.6.	a) Düzlemsel kayma b) Kama tipi kayma c) Farklı ortamlarda gelişebilen çok yüzeyli kaymalar (Ulusay, 2001).....	10
Şekil 1.7.	Şev stabilitesi analizlerinde bir dilime etkiyen kuvvetler.....	14
Şekil 2.1.	P dalgası yayılımı (Reynolds, 1997).....	25
Şekil 2.2.	Enine dalga yayılımının yatay düzlem üzerindeki hareketi (Reynolds, 1997). ..	26
Şekil 2.3.	Rayleigh dalgasının yayılımı (Reynolds, 1997).....	27
Şekil 2.4.	Huygens prensibine göre düzlem dalga yayılımı; a) Homojen ortam b) Hızın düşey yönde doğrusal artması c) Ortam değişikliği nedeniyle hızın ani olarak değişimi (Al Sadi; 1982) .....	28
Şekil 2.5.	Snell yasası.....	29
Şekil 2.6.	Yüzey dalgalarının çok kanallı analiz yöntemi ile veri toplanması (URL-2, 2012). .....	32
Şekil 2.7.	Tüm işlemlerden sonra elde edilen dispersiyon eğrisi (Tunçel, 2008).....	34
Şekil 2.8.	Araklı-Yiğitözü Sahasında zeminden örnek alımı .....	35
Şekil 2.9.	Coulomb Kırılma Zarfı (Uzuner, 1995) .....	36
Şekil 2.10.	Serbest basınç deney sonuçlarını gösteren Mohr Dairesi ve Mukavemet Zarfı (Kocaman, 2008) .....	39
Şekil 2.11.	Biyolojik Nöron yapısının blok diyagramı (Dere, 2009).....	44
Şekil 2.12.	Biyolojik Nöronun basit yapısı (Dere, 2009).....	44
Şekil 2.13.	Tipik bir ağ modeli (Hagan ve diğ, 1999). .....	45
Şekil 2.14.	Örnek bir sinir ağı modeli (Dere, 2009). .....	46
Şekil 2.15.	Simetrik eşik transfer fonksiyonları (Hagan ve diğ, 1999).....	48
Şekil 2.16.	Tek kutuplu eşik transfer fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999). .....	49
Şekil 2.17.	Çift kutuplu eşik transfer fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999). .....	49

Şekil 2.18.	Doğrusal transfer fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999). .....	50
Şekil 2.19.	Log-Sigma transfer fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999). .....	50
Şekil 2.20.	Hiperbolik Tanjant transfer fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999).....	51
Şekil 2. 21.	Çok katmanlı bir sinir ağı yapısı (Elmas, 2003).....	52
Şekil 2. 22.	İleri beslemeli sinir ağlarının basit yapısı (Dere, 2009). .....	53
Şekil 2.23.	Geri beslemeli sinir ağlarının basit yapısı (Dere, 2009). .....	54
Şekil 2.24.	Eğitim ve test seti için hata oranını gösteren tipik bir eğitim eğrisi (Küyük, 2005).....	56
Şekil 2.25.	Geriye yayılma yapay sinir ağı modelinin genel yapısı (Elmas vd., 1998). ...	57
Şekil 2.26.	Giresun Organize Sanayi Bölgesi jeoloji haritası.....	59
Şekil 2.27.	Giresun Organize Sanayi Bölgesinin lokasyonu ve genel görünümü .....	62
Şekil 2.28.	Giresun Organize Sanayi Bölgesi heyelan alanının ve ölçü alınan profillerin görünümü (sağda birinci profil, solda ise ikinci profil görülmektedir). .....	63
Şekil 2.29.	Araklı-Yiğitözü heyelanı yer bulduru ve jeoloji haritası (Demirbaş, 2008)...	65
Şekil 3.1.	Birinci profile ait P-dalgası ilk varışları zaman-uzaklık grafiği.....	67
Şekil 3.2.	Birinci profilden hesaplanan yeraltı modeli ve P-dalgası hızları .....	68
Şekil 3.3.	İkinci profile ait P-dalgası ilk varışları zaman-uzaklık grafiği .....	68
Şekil 3.4.	İkinci profilde hesaplanan yeraltı yapısı ve P-dalgası hızları .....	69
Şekil 3.5.	Birinci profilden elde edilen yüzey dalgası ölçümü atış kaydı .....	70
Şekil 3.6.	1. Profil atış kaydının frekans-faz hızı haritası .....	70
Şekil 3.7.	Frekans-faz haritasından işaretlenen dispersiyon eğrisi .....	71
Şekil 3.8.	1. Profile ait 1-boyutlu kesme dalgası hız-derinlik profili.....	71
Şekil 3.9.	Ölçülen ve hesaplanan dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması .....	72
Şekil 3.10.	İkinci profilden elde edilen yüzey dalgası ölçümü atış kaydı .....	73
Şekil 3.11.	2. Profil atış kaydının frekans-faz hızı haritası .....	73
Şekil 3.12.	Atış kaydından elde edilen dispersiyon eğrisi.....	74
Şekil 3.14.	Yüzey dalgalarından hesaplanan 2. Profile ait 1-boyutlu kesme dalgası hız-derinlik modeli .....	74
Şekil 3.13.	Hesaplanan ile ölçülen dispersiyon eğrisinin karşılaşması.....	75
Şekil 3.15.	Giresun 1 heyelanı için Geostudio programında güvenlik faktörü hesaplanması .....	76
Şekil 3.16.	Giresun 2 heyelanı için Geostudio programında güvenlik faktörü hesaplanması.....	76

Şekil 3.17. Yiğitözü heyelanı için tüm sismik profillerden elde edilen P dalgası derinlik kesiti (Demirbaş, 2008).....	77
Şekil 3.18. Yiğitözü heyelanı için tüm sismik profillerden elde edilen heyelan alanına ait yapı kesiti (Demirbaş, 2008) .....	78
Şekil 3.19. Tüm profillerden elde edilen S dalgası derinlik kesiti (Demirbaş, 2008). .....	79
Şekil 3.20. Araklı-Yiğitözü heyelanı için GeoStudio programında güvenlik faktörü hesaplanması .....	79
Şekil 3.21. Geliştirilen YSA mimarisi .....	82
Şekil 3.22. Seçilen YSA'nın iterasyona bağlı hata değişim grafiği .....	88
Şekil 3.23. Veri setinin GeoStudio ve YSA ile hesaplanan güvenlik faktörleri arasındaki ilişki .....	89
Şekil 3.24. Hız bilgisi eklenen veri setinin GeoStudio ve YSA ile hesaplanan güvenlik faktörleri arasındaki ilişki .....	94
Şekil 3. 25. BHA'nın güvenlik faktörü üzerindeki etkisi (Araklı-Yiğitözü Heyelanı).....	96
Şekil 3.26. İçsel sürtünme açısının güvenlik faktörü üzerine etkisi (Araklı-Yiğitözü Heyelanı).....	97
Şekil 3.27. Kohezyonun güvenlik faktörü üzerindeki etkisi (Araklı-Yiğitözü Heyelanı) ..	97
Şekil 3.28. BHA'nın güvenlik faktörü üzerindeki etkisi (Giresun 1 Heyelanı) .....	98
Şekil 3.29. İçsel sürtünme açısının güvenlik faktörü üzerine etkisi (Giresun 1 Heyelanı) .	98
Şekil 3.30. Kohezyonun güvenlik faktörü üzerindeki etkisi (Giresun 1 Heyelanı).....	99
Şekil 3.31. BHA'nın güvenlik faktörü üzerindeki etkisi (Giresun 2 Heyelanı) .....	99
Şekil 3.32. İçsel sürtünme açısının güvenlik faktörü üzerine etkisi (Giresun 2 Heyelanı) .....	100
Şekil 3.33. Kohezyonun güvenlik faktörü üzerindeki etkisi (Giresun 2 Heyelanı). .....	100

## TABLULAR DİZİNİ

### Sayfa No.

Tablo 1.1. Heyelanların sınıflaması (Varnes, 1978'den basitleştirilerek alınmıştır).....	5
Tablo 3.1. Laboratuvarıda elde edilen zemin parametreleri.....	80
Tablo 3.2. Oluşturulan veri setinin YSA ile güvenlik faktörü analizi .....	83
Tablo 3.3. Tahmin modellerinde kullanılan veri seti, gerçek ve tahmini değerler ile % hata, RMSE ve MAPE oranları. ....	85
Tablo 3. 4. YSA modelinde belirlenen ağırlık değerleri.....	87
Tablo 3.5. NEHRP Zemin Sınıflaması.....	90
Tablo 3.6. Hız bilgisi eklenen veri setinin YSA analiz sonuçları.....	91
Tablo 3.7. Üç heyelanın Geostudio ve YSA ile hesaplanan güvenlik faktörü değerleri .	101

## SEMBOLLER DİZİNİ

$U_a$	: Boşluk suyu itkisi
$U_\beta$	: Yüzey suyu itkisi
$k_h$	: Yatay sismik katsayısı
$k_v$	: Düşey sismik katsayısı
$\emptyset$	: İçsel sürtünme açısı
1D-HFD	: 1 Boyutlu Hızlı Fourier Dönüşümü
2-B FD	: 2 Boyutlu Fourier Dönüşümü
2B-HFD	: 2 Boyutlu Hızlı Fourier Dönüşümü
b	: Dilim genişliği
BPNN	: Geri yayımlı sinir ağı
c	: Kohezyon
c'	: Efektif Kohezyon
CPT	: Koni penetrasyon deneyi
E	: Young modülü (Elastisite)
F	: Güvenlik Sayısı
FEM	: Sonlu elemanlar metodu
GA	: Genetik Algoritmalar
GRNN	: Genel regresyonlu yapay sinir ağı
GS	: Güvenlik Katsayısı
L	: Dilim yay uzunluğu
MASW	: Çok Kanallı Yüzey Dalgaları Yöntemi
N	: Dilim tabanına etkiyen normal kuvvet
N'	: Efektif normal kuvvet
qu	: Basınç mukavemeti



SASW	: Yüzey Dalgaları Spektral Analizi
U	: Giriş
u	: Dilim tabanına etkiyen boşluk suyu basıncı
$V_R$	: Rayleigh dalgası hızı
$V_s$	: Kesme dalgası hızı
$V_p$	: Sıkışma dalgası hızı
w	: Ağırlık
W	: Dilimin toplam ağırlığı
YSA	: Yapay Sinir Ağları
a	: Dilim tabanıyla yatay arasındaki açı
$\mu$	: Rijidite (Kayma Modülü)
$\rho$	: Yoğunluk
$\sigma$	: Poisson oranı
$\tau$	: Kayma gerilmesi
$\varphi'$	: Efektif kayma mukavemeti açısı
Q	: Dilim kuvvetlerinin bileşkesini
$\gamma$	: Birim hacim ağırlığı
$\varphi$	: İçsel sürtünme açısı

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1. 1. Heyelanlar**

#### **1.1.1. Giriş**

Heyelanlar, genel anlamı ile kütle hareketleridir. Ülkemizi çok yakından ilgilendiren, birçok doğal etken ve süreçler ile insanların çeşitli etkinliklerine bağlı olarak gelişirler. Heyelanlar kütle hareketi olmasından daha çok doğal bir afettir. Kütle dengesinin bozulmasıyla ortaya çıkmaktadır. Heyelan olayına neden olan birincil faktör yerçekimi kuvvetidir. Diğer faktörler ise; hidroloji, insan aktivitesi, deprem ve jeolojik, jeomorfolojik, meteorolojik olaylar sayılabilir. Heyelanlar tipik olarak aşırı yağış ve ani kar erimeleri, bitki örtüsü tahribatı ve yoğun sismik aktiviteler ile hareketlenebilir. Hareketin hızı ve büyüklüğü yamaç eğimi ve su miktarı ile orantılıdır. Buna ek olarak, kütle hareketini tetikleyen ve türünü belirleyen, hareketin hızını, kayma derecesini azaltan veya artıran pek çok doğal ve insan aktivitesi de söz konusudur. Heyelanlar, yıkım ölçüsünde can ve mal kayıplarına yol açabilmektedir. Heyelanların neden olduğu can kayıplarının, ekonomik olarak ölçülebilmesinin olanağı yoktur. Kaldı ki yalnızca alt ve üst yapı yatırımlarında, parasal zarara yol açan heyelanlarda bile doğrudan ve dolaylı ekonomik kayıpların değerlendirilebilmesi çok güçtür.

Heyelan konusu, jeoloji, jeofizik ve inşaat mühendisleri gibi birçok mühendislik disiplininin ilgi alanına girmektedir. Heyelanın yapısını ve su doygunluğunu ortaya koyma ve yorumlamada mühendislik jeolojisinin bilinen metotları ile çözüme ulaşmak çoğu zaman imkânsız olmaktadır. Oysa jeofizik yöntemlerin uygulanması ile çok geniş alanlarda hızlı araştırmalar yapılmakta ve çok fazla ayrımlılıkta veri üretilebilmektedir. Dolayısıyla jeofizik yöntemlerin uygulanması, bu tür sorunların çözülmesi ve daha detaylı bilgilere ulaşılması bakımından son derece yararlı ve önemlidir.

Heyelan araştırmalarında en önemli problem yamacın stabilitesinin belirlenmesidir. Yamaç ve şevlerde denge durumunu hesaplamak için Bishop, Janbu, Sarma gibi birçok yöntem geliştirilmiştir. Son yıllarda birçok mühendislik problemin çözümünde kullanılmakta olan deneysel bilgiyi alan, depolayan ve kullanan fiziksel hücreli sistemler

olarak tanımlanan yapay sinir ağı yönteminin bu tez çalışmasında güvenlik faktörü hesabında kullanılması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında; heyelan kütlesi üzerinde sismik kırılma, yüzey dalgası analiz yöntemleri kullanılarak Araklı-Yiğitözü, Giresun Organize Sanayi Heyelanlarının sismik hızlarını belirlemek, birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme açısı, kohezyon parametrelerinin laboratuvarında hesaplanmadan, hız bilgisi ve hız bilgisine göre bu üç parametreye değer verilerek yapay sinir ağı yöntemi ile güvenlik faktörünün hesaplanması amaçlanmıştır.

### 1.1.2. Heyelanların Tarihçesi

Zemin mekaniğinin gelişmesine paralel olarak heyelan inceleme yöntemleri de gelişme göstermiştir. Bu sahada 18. asrın sonlarına kadar bugünkü bilgilerimize temel olacak değerlerde bir çalışmaya pek rastlanılmamaktadır. Ancak 1773 yılında Coulomb, zemin mekaniğinin en esaslı ve ifadesi en basit kanununu ileri sürmüştür.

Coulomb granüler ve kohezyonlu malzemelerin kohezyon ve sürtünme katsayısı ile kayma kamasının dengesinin incelenmesini geliştirmiştir. 1856'da Rankin toprak kütlesi dengesine ait araştırmalar yapmış, elde edilen sonucu bazı problemlere uygulamıştır. 1865'de Culmann'da aynı kapsamda grafik bir yöntem vermiştir.

Heyelan konusu ilk kez 19. asırda büyük kanallar, yol ve demiryolu güzergâhlarının açılması ile mühendislerin karşısına bir problem olarak ortaya çıkmıştır. İlk çalışmalar Fransa'da başlamıştır. Fransız mühendisi A.Collin (1956) kanal inşaatlarında büyük kayma problemleri ile karşılaşmış ve kaymaların bir eğri boyunca meydana geldiğine dikkat çekmiştir. Benzer olarak, Alman ve İsveç mühendisleri yol ve demiryolu inşaatlarında büyük kayma problemleri ile karşılaşmışlardır. Amerika'da ise baraj yıkılmaları ve Panama Kanalı inşaatında önüne geçilemeyen kaymalar meydana gelmiştir. Bunun üzerine 1913'de İsveç'te, Amerika'daki heyelanlar ile ilgili cemiyetler kurulmuştur. Araştırmalardan ilk olumlu neticeyi K.E. Peterson (1916) almıştır. Peterson' un komisyona teklifi, kaymanın dairesel olduğu şeklindedir. W. Fellenius kohezyon ve sürtünme açısı kabulü ile kapsamlı bir stabilite analizi yapmış ve bu eserini 1927'de yazmıştır. Bu dönemden sonra K. Terzaghi ve çeşitli araştırmacıların gayretiyle önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Artık pek çok isim ve yeni metotlara rastlanıyor, bu devrede Caquot (1954) ve Jaky (1936) problemi grafik ve analitik olarak çözmek isteyenlerin başında gelmektedir.

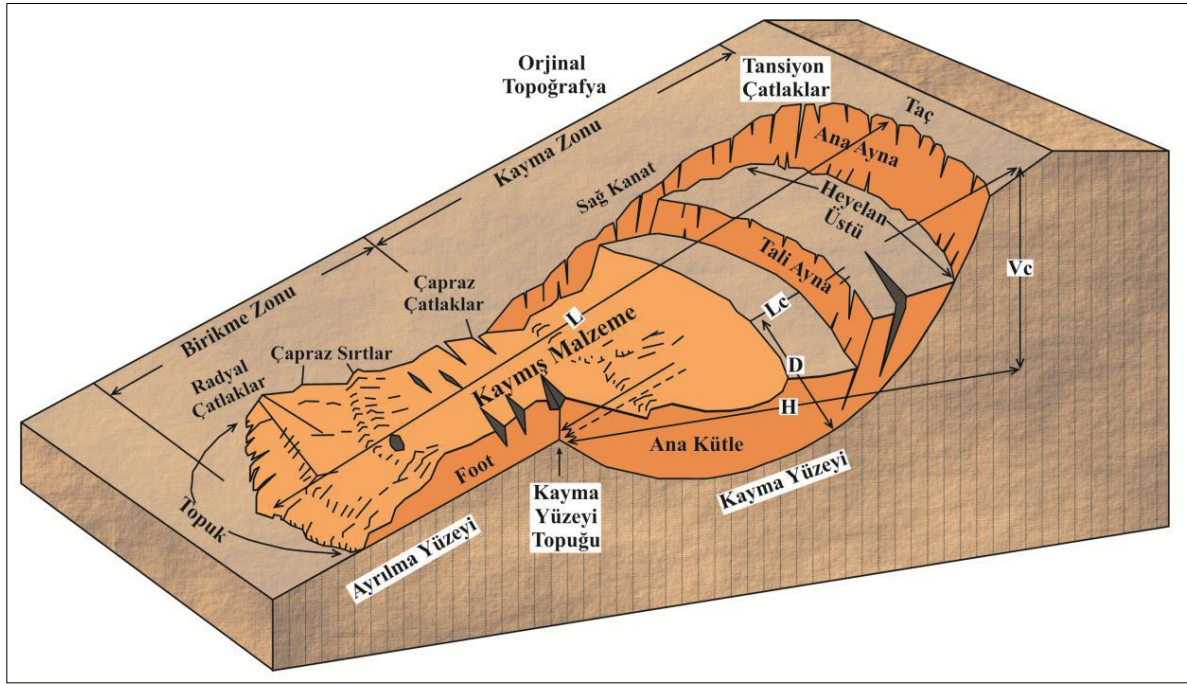
D.W. Taylor (1936) bütün yöntemleri içeren ve karşılaştıran makalesini yayınladı. Bundan sonraki çalışmalar dilim metodunda ihmal edilen yanal kuvvetleri hesaba katmayı araştırır yönde olmuştur. Janbu (1954), Bishop ve N. Morgenstern (1960). Morgenstern ve E. Price (1967) 'ın çalışmaları konu ile ilgili temel çalışmalardır.

İsveç de görsel killerde, Norveç'te ise denizsel killerinde kitle hareketleri ve heyelanlar görülmüştür. Norveç Geoteknik Enstitüsünde (NGI) ve İsveç'te heyelanların stabilitesi ile ilgili ilk çalışmalar; düşey tebeşir yamaçları ve orta kesimlerdeki mavi killer üzerinde yapılmıştır (Önalp, 1983). İsviçre'nin Elm kasabasındaki 1881'de bir taşocağında 10 milyon m<sup>3</sup> moloz ve kayanın hareketi sonucunda 115 kişi ölmüştür. Panama kanalı inşaatında toplam kazı 70 milyon m<sup>3</sup> iken heyelanlar sonucunda 175 milyon m<sup>3</sup> e yükselmiştir. İtalya'da Vajont barajında su tutulmaya başladıktan sonra Jura kireçtaşında eski bir heyelan yeniden harekete geçmiş ve 240 milyon m<sup>3</sup> malzeme baraj gövdesinden aşarak yerleşim alanlarına ulaşmış ve 2.000–3.000 kişinin ölümüne neden olmuştur (Murch ve Barbara, 1995). Ant dağlarında (Peru) Huascaran tepesinde moloz kaymasından 5.000 kişi ölmüştür. 1970 Peru depreminde (7.7 magnitüd) yine moloz kayması sonucu 18.000 kişi ölmüştür. Ant dağlarında Montara vadisinde 1974 de kaya kayması sonucunda 450 kişi ölmüştür. 1971 yılında Japonya'da deprem ve muson yağışları etkisiyle oluşan heyelanlardan 5000 konut yıkılmış ve 180 kişi ölmüştür. 1966'da Galler'de 200 m. yüksekliğinde kömür yığıntısının kayması sonucunda çoğu çocuk 144 kişi yaşamını yitirmiştir. 1972'de ABD Batı Virginia'da aynı nedenle 118 kişi ölmüştür. 1985 yılında Kolombiya'da volkanik erime sonucunda çamur akıntısı oluşmuş ve bunun sonucunda 23.000 kişi hayatını kaybetmiştir. 1987 senesinde Ekvator ülkesinde depremle gelişen heyelanda 1.000 kişi hayatını kaybetmiştir. 1999 yılında Venezüella'da aşırı yağışlarla oluşan sığ heyelanlarda ise 30.000 kişi yaşamını yitirmiştir. En yakın 2006 yılında Filipinler de deprem ve yağmurla oluşan heyelanda 18.000 insanın hayatı son bulmuştur.

Ülkemiz doğal afetlerin yoğun olarak gözlendiği bir bölge içerisinde yer almaktadır. Türkiye'de 1950–2004 yılları arasında heyelandan etkilenmiş konut sayısı yaklaşık 65.000, meydana gelen heyelan olayı sayısı yaklaşık 4.000 ve heyelandan etkilenmiş ve/veya etkilenmekte olan yerleşim yeri sayısı ise yaklaşık 3.500'dür. Meydana gelen afetler nedeni ile nakil edilen konut sayısı ise 167.787 dir (Turner ve Keith vd., 1996).

### 1.1.3. Heyelanların Bölümleri

Heyelanlarda üst seviyeler (kayma zonu) aşağı doğru hareket ederken, alt kısımlarda çökme, kabarma ve akma (birikme zonu) bölgeleri meydana gelir. Heyelan kütlesi üzerinde birbirinden farklı karakteristik kısımlar bulunmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Tipik bir heyelan kesiti ve çeşitli kısımlarına verilen isimler (Ulusay, 2001).

Bir heyelanın ana unsurları aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

**Taç:** Heyelanın en üst, ana aynanın zeminde hareketsiz kalan kısmıdır. Karakteristik olarak gerilme çatlakları gözlenir.

**Esas Ayna:** Heyelanın üst ucunda yer alan, heyelandan etkilenmeyen bölgeden hareket eden kütle ile ayrılmasıyla oluşan, düşey veya düşeye yakın yüzeydir.

**Tepe:** Hareket eden kütle ile ana aynanın kesiştiği yerin en üst noktasıdır.

**Kayma Yüzeyi:** Doğal zemin yüzeyinin altında kalan, kayan kütle üzerinde hareket ettiği, yamaç tepesi ile topuk arasında bulunan yüzeydir.

**Kayma Yüzeyi Topuğu:** Heyelanın kayma yüzeyinin genellikle gömülü olan alt bölümü ile doğal arazi yüzeyinin kesiştiği noktadır.

**Akma Ucu:** Hareket eden kütle ile en son kısmı, malzemenin toplandığı yer olarak tanımlanır.

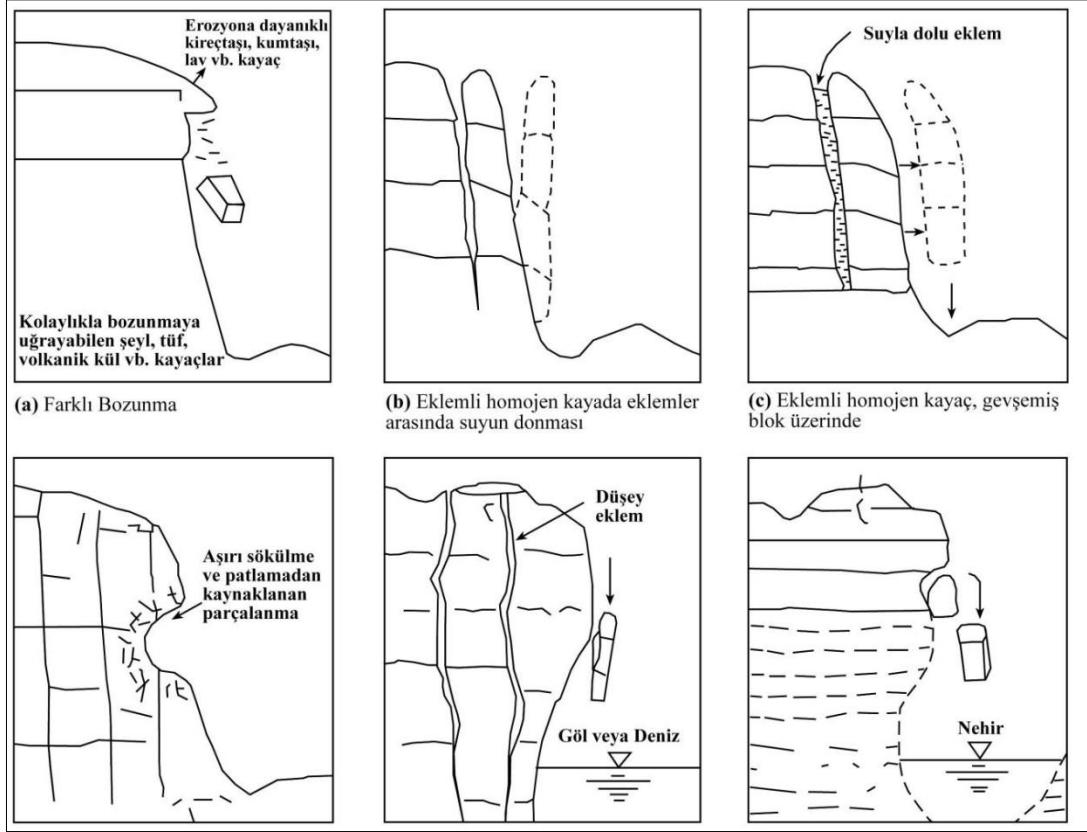
#### 1.1.4. Heyelan Hareketlerinin Sınıflaması

Terzaghi' nin 1950 senesinde yayınladığı çalışmasında, heyelan olayının son derece karışık ve çeşitli olduğunu ve birçok sınıflandırmaların yapılmasının mümkün olabileceğini belirtmiştir. Mühendisler heyelan, şev stabilite problemleri ile ayrıca ekonomik ve emniyetli inşaat projelerinin ortaya konmasından sorumludurlar. Mühendisler gayelerine en iyi şekilde ulaşabilmek için bu açıdan hareketle bir sınıflandırma yapabilirler. Heyelanların sınıflandırılması çok çeşitlidir. Mesela, içerdikleri malzemeler yönünden hız, sebep ve hareket tarihleri yönünden; birçok gruplara ayrılabilirler. Terzaghi 1950'de heyelanı oluşturan birimlerin fiziki özelliklerine göre bir sınıflandırma yapılmasını önermiştir. Savarenski tarafından geliştirilen sınıflandırma ve heyelan kayma yüzeyine göre gruplandırılan sistem olarak tarihlenmiştir (Kuran, 1975). Bu sınıflandırma (Tablo 1.1) Sovyetler Birliği'nde çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tablo 1.1. Heyelanların sınıflaması (Varnes, 1978'den basitleştirilerek alınmıştır).

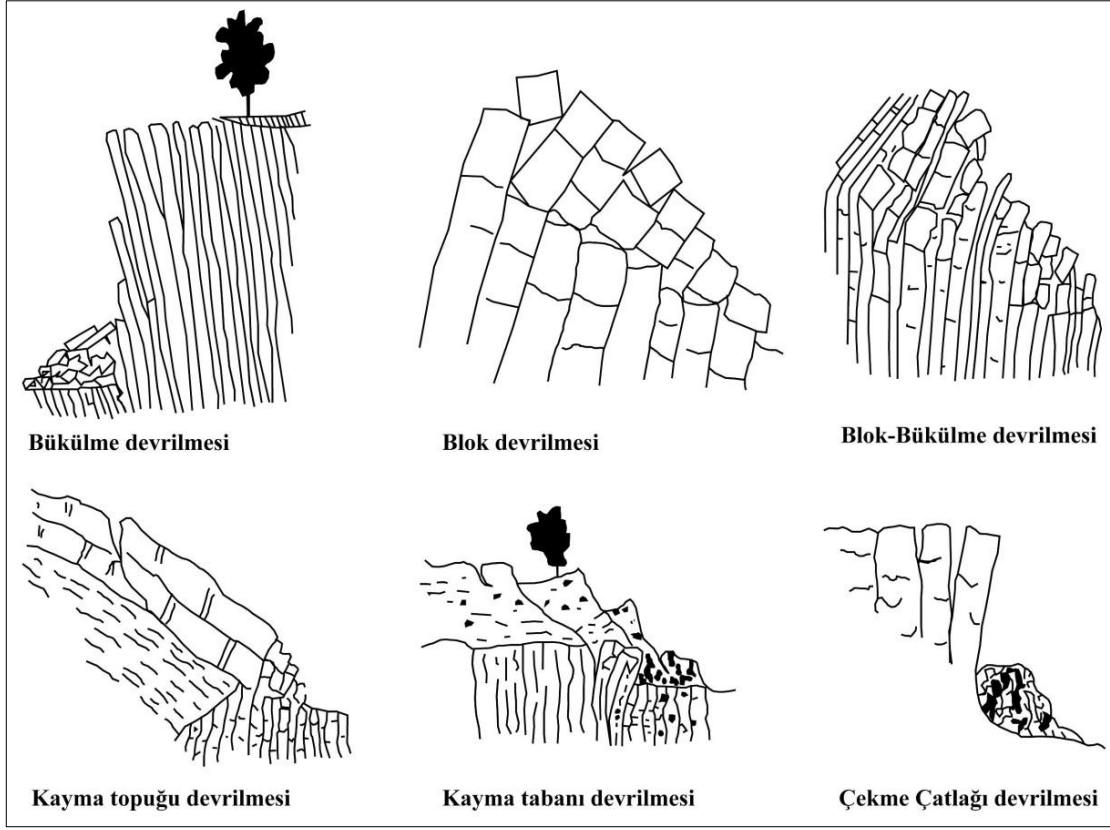
Hareket Türü		Malzemenin Türü		
		Kaya	Zemin	
		Kayaçlar	İri Taneli	İnce Taneli
Düşme		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
Devrilme		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Zeminde Devrilme
Akma	Yavaş	Kaya Kripi	Moloz Kripi	Zemin Kripi
	Hızlı	Çok Parçalı Kayaç Akması	Moloz Akması	Zemin Akması
Kayma	Ötelenmeli	Kayada Blok Türü Ötelenme	Zeminde ve Molozda Blok Türü Öteleme	
	Dönsel (Dairesel)	Sıkı Çatlaklı Kayada Dönsel Kayma	Zeminde ve Molozda Dönel Kayma	
Yanal Yayılma		Kaya Yayılması	Zemin veya Moloz Yayılması	
Karmaşık		Hareket Türü ve Malzeme Karışık		

Düşme: Deniz, göl kenarlarından ve dik kazı şevlerinden, dik yamaçlardan, mağara tavanlarından, sivri dağ doruklarından, özellikle deniz kenarındaki dik falezlerden, özellikle süreksizlik yüzeyi ile sınırlanmış münferit bloklarının değişik boy ve çeşitteki kaya veya zemin parçalarının yer çekimi etkisi ile aşağıya doğru hareket ederek düşmesi olayıdır. Düşen malzemenin cinsine göre “Kaya Düşmesi, Moloz Düşmesi, Zemin (Toprak) Düşmesi” gibi adlar alabilirler (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler (Ulusay, 2001).

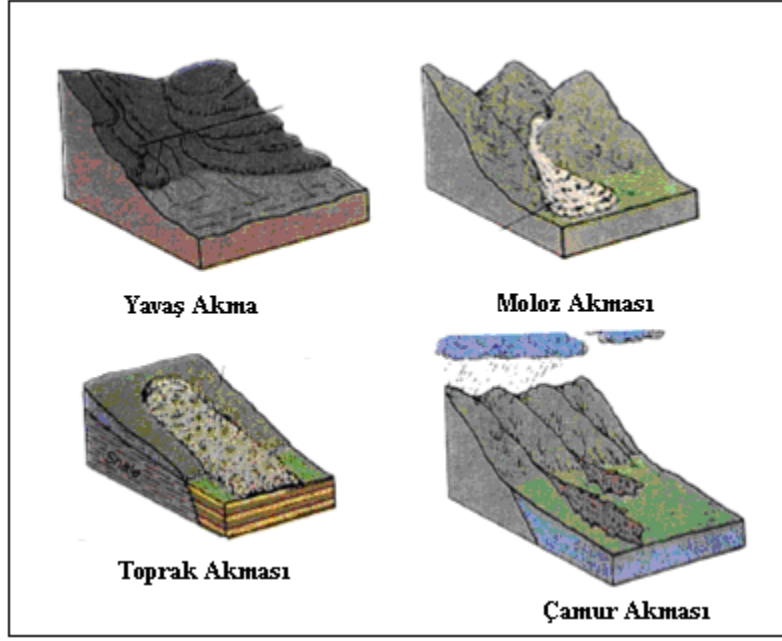
Devrilme: Fazlaca süreksizlik içeren kayaların orijinal konumlarının bozularak yıkılmalarına “Devrilme” denilmektedir. Doğada çeşitli devrilme tipleri saptanmıştır. Bükülme (Şekil 1.3) Devrilmesi, Blok Devrilmesi veya her ikisinin karışımı olan bir devrilme çeşidi oluşabilir.



Şekil 1.3. Doğada gözlenen devrilme türleri ve kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler (Goodman ve Bray, 1976; Ulusay, 2001).

Akma: Konsolide olmamış (pekişmemiş) malzemelerin doygun veya kuru halde ve yavaş veya hızlı şekilde yamaç boyunca kıvamlı bir sıvı gibi hareket etmeleri, akma duraysızlığına neden olmaktadır. Kuru kumlar ile kil boyutundan moloz boyutuna kadar değişen malzemelerde bu tür duraysızlık gelişebilir ve kum akması, çamur akması ve moloz akması şeklinde adlandırılırlar (Şekil 1.4) (Ulusay 2001).

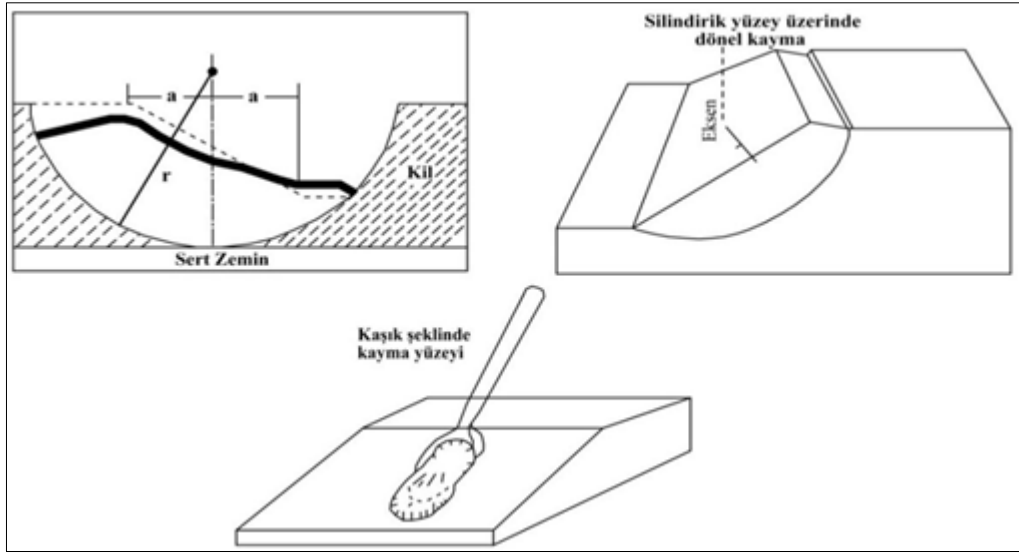




Şekil 1.4. Akma türleri (URL 1, 2008).

Kaymalar: Kayma, şevi oluşturan malzemedeki, belirgin bir yüzey boyunca ve makaslama yenilmesine bağlı olarak, kazı boşluğuna doğru dönel veya ötelenmeli (düzlem üzerinde) bir hareket sonucu meydana gelen bir duraysızlık türüdür. Şevlerde karşılaşılan en yaygın duraysızlık türü olan kaymalar, dönel ve ötelenmeli kaymalar olmak üzere iki şekilde gelişirler (Ulusay 2001).

Dairesel (Dönel) kayma: Bu tür kaymalar, dairesele (kaşık şeklinde) yüzeyler boyunca gelişir ve hareket sırasında kayan kütle geriye doğru yatmış bir konum kazanır. Kayma yavaş veya orta derecede bir hızla ve belirgin bir yenilme yüzeyi boyunca meydana gelir. Dairesel kayma; kil silt, kum vb. türdeki toprak zeminlerin yanı sıra, akarsu kanallarında, yol yarmalarında, dolgularda, atık yığınlarında ve ileri derecede eklemlili kaya kütlelerinde ve/veya ileri derecede ayrılmış kayalarda meydana gelir (Şekil 1.5).

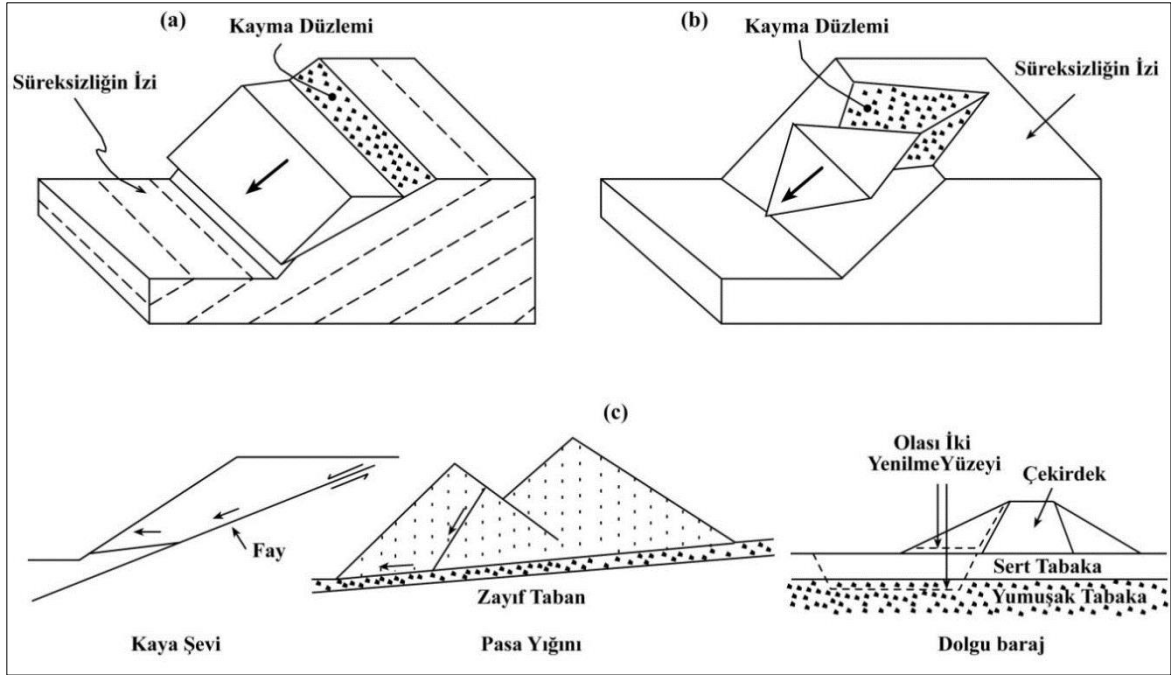


Şekil 1.5. Dairesel kayma (Ulusay 2001).

Ötelenmeli (Düzlemsel) kayma: Bu tür duraysızlıklarda kaymalar, düz veya çok az ondülasyonlu bir yüzey boyunca gelişen makaslama yenilmesine bağlı olarak, malzemenin kayma yüzeyine paralel şekilde öne doğru hareketiyle gelişir. Hareket eden kütle dairesel kaymalarla karşılaştırıldığında, aşırı derecede deforme olmaz. Bu tür duraysızlıklar kayalık veya toprak zemin malzemesine oranla daha düşük makaslama dayanımına sahip olan süreksizlik yüzeyleri (tabakalanma, eklem, fay, makaslama zonu, şistozite vb.) boyunca meydana gelen, dolayısıyla süreksizlik denetimli duraysızlıklardır. Türleri aşağıda verilmiştir.

Kama Türü Kayma: Bu tür duraysızlık, kesişen iki süreksizliğin oluşturduğu tetrahedral bir kama bloğunun, eğimi şevinkinden daha yatık olan kesişme hattı boyunca öne doğru hareket etmesi sonucu meydana gelir.

İki veya Çok Yüzeyli Kayma: Bu duraysızlık türü, birden fazla süreksizlik veya zayıflık yüzeyi üzerinde meydana gelir. Özellikle fay veya tabakalanma yüzeylerinin birleşmesi sonucu doğal ortamlarda veya zayıf zeminler üzerinde yer alan pasa yığınları ile dolgularda gelişebilen tipik bir duraysızlıktır (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. a) Düzlemsel kayma b) Kama tipi kayma c) Farklı ortamlarda gelişebilen çok yüzeyli kaymalar (Ulusay, 2001).

Karmaşık Heyelanlar: Herhangi bir heyelan çoğunlukla gelişiminin çeşitli zamanları ya da türlü kısımlarında değişik hareket tipleri gösterebilir. Böylece heyelanların çoğu karmaşıktır. Ancak bunlardan her biri hâkim karakteristik bir hareket tipini göz önüne serdiğinden kolaylıkla sınıflandırılabilir (Bekaroğlu, 1973).

Birden fazla türde heyelanın bir arada görüldüğü olaylara karmaşık heyelanlar denir. Örneğin devrilme türü bir hareket kaya düşmesine, daha sonrada kaya akmasına, kaya kayması da kaya düşmesine dönüşebilir. Killi siltli zeminlerde meydana gelen heyelan daha sonra çamur akmasını meydana getirebilir.

### 1.1.5. Heyelan Oluşturan Faktörler

Heyelanlar gerek doğal gerekse yapay faktörlerin etkisi altında meydana gelebilirler. Bölgenin jeolojik tarihçesi ve insan aktivitesi sonucu bölgede meydana gelen değişiklikler şevlerin dayanımının bozulmasına etki eder. Ayrıca meydana gelen depremler de kritik denge konumundaki yamacın stabilitesini bozarak kaymaya neden olabilmektedir. Şev stabilitesine etki eden en birincil faktör yerçekimi etkisidir. Heyelana uğrayan birimler diğer ana ve tali etkilerin de yardımıyla yerçekimi kuvvetinin etkisi altında hareket ederler.

Heyelana neden olan faktörler değişik şekillerde sınıflandırılmış olup dört ana faktör şunlardır:

- Şev açısı (Topografya),
- Yağış (Yoğun yağış, Ani kar erimesi, Uzun süreli yağış),
- Tekrar aktivite kazanabilecek eski heyelan kütlelerinin varlığı,
- Ana kaya ve onu üzerleyen konsolide olmamış birimlerin litolojik özellikleri (Jeoloji).

Kayma homojen killerde derin yüzeylerle, kohezyonsuz zeminlerde sıg yüzeylerle, kayalarda ise süreksizlik yüzeyinin konumuna bağlı olarak düşmeden blok kaymasına kadar değişen şekillerde olur. Mühendise özel sorun çıkaran ortamlar aşırı konsolide killer ve şeyller, zayıf çimentolanmış kumtaşları, kalıntı zeminler ve hızlı ayrışmaya maruz kalmış kayalardır. Kazı yapıldığında çok sağlam gözükken aşırı konsolide killer zamanla stabilite kaybı gösterir. Panama kanalının yapımı sırasında büyük ve sürekli heyelanlar benzer özellikteki şeyllerde oluşmuştur. İklim- çevre koşulları ve ana kayacın özelliklerine bağlı olarak oluşma hızı değişen kalıntı zeminler heyelan açısından önemli sorunlar oluştururlar. Türkiye’de bazı bölgelerde heyelanlar bu tür zeminde etkin olmakta, bitki örtüsünün azlığı çoğunlukla sorunu daha ciddi hale getirmektedir. Kalıntı zeminin olduğu bölgede üstte reziduel zemin altta ayrılmış kayaç (özellikle heyelan oluşumuna neden olan bölge) ve en altta ana kayaç bulunur. Özellikle granitin ayrışma ürünlerinde heyelan sık sık görülür. Eklemlili veya çatlaklı kayaçlar ve fissürlü zeminler, şistozite düzlemlerine sahip kayaçlar, değişken permeabiliteye sahip kayaç veya zeminler, gravite ile taşınan ve depolanan talus, yamaç molozu ve heyelan depoları, suyla taşınan ve depolanan alüvyal teraslar ve göl çökeltileri, okyanus dalgaları ve akıntıları ile taşınan ve depolanan kıyı çökeltileri ve deniz killeri detaylı incelenmelidir. Bunlar dışında detay olarak heyelana neden olan faktörler; jeolojik, morfolojik, fiziksel ve insan aktivitesi olarak ayrılabilir (Turner, A Keith vd, 1996).

Erguvanlı 1982’ de yaptığı çalışmada, heyelanların nedenleri iç ve dış nedenler olmak üzere ikiye ayırmıştır.

### 1-Dış Nedenler:

- a-** Şev ve yamaç eteklerinde yapılan kazılar,
- b-** Şev ve yamaç topuklarının sular tarafından oyulması,
- c-** Aşınma ile şev eğiminin artması, yani şev yüksekliğini ve şev açısının değişmesi,
- d-** Zemine doğal ve yapay olarak ek yüklerin yüklenmesi,
- e-** Zemin üstündeki bitki örtüsünün kaldırılması, yüzey sularının sızmasının kolaylaştırılması,
- f-** Çatlak ve fissürlerde suların donması,
- g-** Depremler,
- h-** Yapay patlamalar ve sarsıntılar (dinamit patlatılması gibi).

### 2- İç Nedenler:

- a-** Boşluk suyu basıncının artması,
- b-** Şev ve malzeme kohezyonunun azalması,
- c-** Kabarma ve şişme basınçları.

Kar ve yağmur, yeraltı su düzeyinin değişmesine, şev malzemesinin kısmen ya da tamamen doygun süspansiyon haline gelmesine ve dolayısıyla boşluk suyu basıncının artmasına, içsel sürtünmenin azalmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı, büyük heyelanlar şiddetli yağışlardan sonra oluşur. Yağışsız aylarda olanlar çok azdır. Ayrıca su, zeminin birim hacim ağırlığını azaltır ve ince daneli kum zeminlerde kohezyonu sağlayan yüzeysel gerilimi azaltır. Bazen de su; yağlayıcı etki yapar, ortamın kayma direncini azaltır. İçsel sürtünme açısını 2-3° düşürür. Su, bazen zeminin içindeki kayaçları kimyasal olarak değiştirir, ayrıştırır ve kitlenin direncini azaltır.

Yeraltı suları, kitle hareketlerine çeşitli yollarla etki yapar, önce boşlukları doldurur, boşluk suyu basıncı oluşur. Boşluk suyunun duraylılığa etkisi özellikle toprak barajların şevlerinde, sızıntının ve daneler arasındaki basıncın değiştiği yerlerde önemlidir (Erguvanlı,1982).

### 1.1.6. Yamaç ve Şevlerde Stabilite Analizleri

Şevlerle şekillendirilmiş zemin / kaya kütlelerinin verilen proje süresi ve yükleme koşulları (kazı ve yükleme makinelerinin taban basınçları, yapı temel yükleri, yer altı su seviyesi değişimleri, su yükleri, deprem v.b) altında denge konumlarını araştıran “stabilite analizi” zemin ve kaya mekaniğinin temel konularından biridir. Stabilite analizinde temel amaç tasarlanan şev kütlesinin verilen işletme ve yükleme koşullarında güvenlik katsayısının belirlenmesidir. Şev stabilite analizlerinde kritik kayma yüzeyleri aranmaktadır. Bu şekilde en küçük güvenlik sayısı belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu araştırmalar yapılırken, şevleri oluşturan malzemenin cinsine göre, harekete neden olan ve direnen parametreler belirlenmelidir.

Güvenlik sayısı dengeyi koruyan kuvvet veya momentlerin, kaymayı sağlayacak kuvvet ve momentlere oranı olarak ifade edilmiştir.

$$\text{Güvenlik Sayısı (F)} = \frac{\text{Kaymaya karşı koyan kuvvetler}}{\text{Kaydırmaya çalışan kuvvetler}} \quad (1.1)$$

Güvenlik sayısının hesaplanmasında kullanılan yöntemlerde, zemin kütlesi içinde kayma veya göçmeye neden olan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini ortaya koyan eşitlik Mohr-Coulomb eşitliğidir.

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (1.2)$$

Burada  $\varphi$ : içsel sürtünme açısı, c: kohezyon,  $\tau$ : kayma gerilmesi,  $\sigma$ : normal gerilmedir.

Pek çok yöntem geliştirilmiş olmakla beraber doğru çözüme en yakın sonuçlar, sonucun sayısal ve kesin olarak bulunduğu varsayılan deterministik yöntemlerle ya da istatistiksel-gözlemsel, olasılık teorisine dayanan yöntemlerle yapılmaktadır. Limit denge analizlerini kayan kütleyi dilimlere bölerek hesaplamaya yarayan, Lowe ve Karafiath metotları gibi pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin dışında Taylor, Janbu veya Spencer abakları, plastisite teorisine dayanan metotlar, sonlu elemanlar analizleri ya da deneysel metotlar kullanılarak da stabilite analizleri yapılmaktadır.

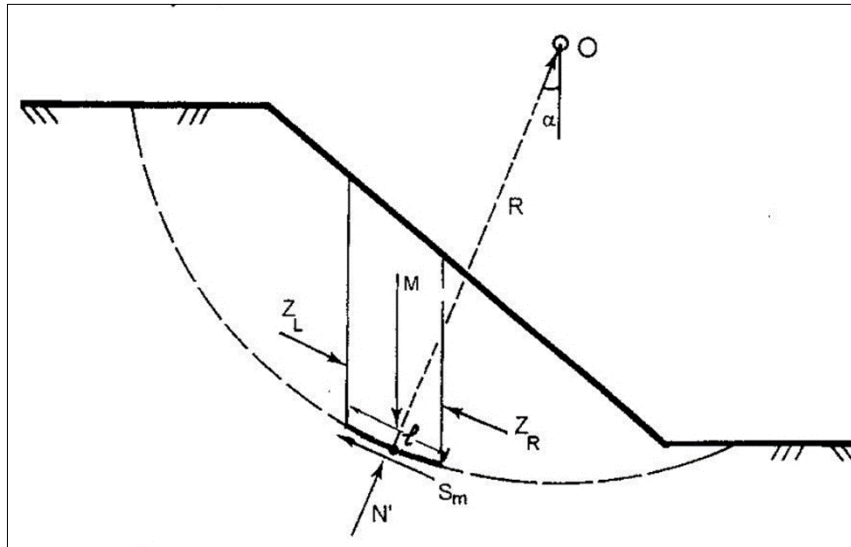
Deterministik yöntemlerin içinde yer alan limit denge yöntemleri uygulamalarında Mohr-Coulomb gibi ortamdaki ötelenmeleri göz önüne almayan elasto-plastik yenilme

kriterinden yola çıkarak analiz yapılmaktadır. Ancak yamaç ve şevlerdeki hareketler çoğu kez önemli hareketler sonrasında meydana gelmektedir. Bu amaçla geliştirilen limit gerilme yöntemleri zeminin gerilme-boy değişme özelliklerini hesaplarında içerir. Sonlu elemanlar, ayırık elemanlar ve plastisite teorisi limit gerilme yöntemlerinden bazılarıdır (Önalp ve Arel, 2004).

Limit denge yöntemleri ile analizde kaymanın belirli bir yüzeyde gerçekleştiği kabul edilmektedir. Hesaplamalarda bir veya birkaç doğru ya da eğri olarak kabul edilen kayma yüzeyi dengeyi sağlayabilecek şekilde statik ya da yarı-statik olarak hesaplanır. Bu kayma yüzeyinde kaymayı önleyen etkenlerin kaymayı kolaylaştırıcı etkenlere oranından güvenlik sayısı hesaplanır. Daha sonra pek çok farklı yüzey üzerinde analiz yaparak en düşük güvenlik sayısına ulaşılır.

Limit denge analizlerinde kayan kütle bir bütün olarak veya dilimlere ayrılarak çözüm yapılmaktadır. Kayma kütlelerinin bütün olarak ele alınması, yüzeyin bir doğrudan eğriye sapmasıyla normal gerilme dağılımını değiştirerek hiperstatik bir sistem oluşturmakta ve buna bağlı olarak çözümde kütle içi kuvvetler ihmal edildiği için hatalar ortaya çıkmaktadır (Önalp ve Arel, 2004). Bu hataları önlemek amacıyla kayan kütleleri dilimlere bölerek, her bir kütle için dengesini ve bu dilimlerin kayan kütle bütününe olan etkisini inceleme yoluna gidilmiştir (Şekil 1.7).

Yöntemlerin dayandığı kabullerin ve denge koşullarının sağlanmasındaki farklılıktan dolayı, aynı şev için yapılan analizlerde bile farklı güvenlik sayılarının hesaplanmasına yol açmaktadır.



Şekil 1.7. Şev stabilitesi analizlerinde bir dilime etkiyen kuvvetler

Fellenius, Sadeleştirilmiş Bishop, Spencer, Basitleştirilmiş ve Karmaşık Janbu, Morgenstern-Price yöntemlerini ile karşılaştırma amacıyla yapılan bir çalışmada Fellenius dilim yöntemi ile en düşük güvenlik sayısı tanımlanmıştır. Ancak bu yöntemin stabilite koşulları açısından eksiklikler taşıdığı belirtilmektedir. Üç denge koşulunu sağlayan ve uygulaması diğer yöntemlere göre daha zor olan Spencer, Morgenstern-Price gibi yöntemlerle ulaşılan güvenlik sayılarının ise Sadeleştirilmiş Bishop yöntemi ile ulaşılan sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Bishop yönteminin karmaşık ya da basitleştirilmiş olması sonuçlarda önemli bir fark yaratmamaktadır.

### 1.1.6.1. İsveç Dilim Yöntemi

İsveç dilim yöntemi ya da Fellenius metodu, göçme yüzeyi civarındaki normal gerilme değişimini belirlemek için kayan kütleği dilimlere bölerek analiz yapan ilk yöntemdir. Bu yöntemde göçme yüzeyi dairesel silindiriktir. Göçme yüzeyi üzerinde bulunan malzeme eşit aralıklarla dilimlere ayrılmaktadır. Dilimler arasındaki kuvvetlerin aynı doğrultuda ancak zıt yönlü ve birbirlerine eş oldukları kabul edilmekte ve bu sebeple hesaba katılamamaktadır. Hesaplarda yanal kuvvetler bileşkesinin her dilimin tabanına paralel etkideği ve tabana dikey kuvvet etkilediği kabul edilmiştir.

Bu yöntemde, O merkezli bir silindir kayma yüzeyi dilim genişliği sabit olacak şekilde dilimlere ayrılır. Dilimin ağırlığı, W yatay ve düşey bileşenlerine ayrılarak merkez etrafındaki moment dengesinden güvenlik sayısı, GS hesaplanır.

$$GS = \frac{c.L + \sum(W \cdot \cos\alpha \cdot \tan\phi)}{\sum W \cdot \sin\alpha} \quad (1.3)$$

Burada; GS güvenlik katsayısı, c zeminin kohezyonu,  $\phi$  zeminin kayma mukavemeti açısı, W dilim ağırlığı,  $\alpha$  her dilimin taban merkezinin yatayla yaptığı açı ve L dilim yay uzunluğunu göstermektedir.

İsveç dilim yöntemi ile yapılan hesaplarda bulunan güvenlik sayılarının yanal kuvvetlerin sıfır kabul edilmesi sebebiyle diğer yöntemlerden daha düşük çıktığı görülmüştür. Ancak boşluk suyu basınçlarının yüksek olması ve yamacın fazla yatık olması durumlarında hesap hata miktarlarında artma olduğu gözlenmiştir.



### 1.1.6.2. Sadeleştirilmiş Bishop Yöntemi

Şev ve yamaçlarda olan dairesel kaymalar için limit denge analizi ile yapılan analizlerde, dilimlere etkiyen yanal kuvvetler yatay, dilimler arası kesme kuvvetleri sıfır ve normal kuvvet ve dilim ağırlığının dilim tabanının ortasına etki ettiği varsayılmaktadır. Bishop yöntemi önce genel kayma yüzeyleri için geliştirilmiş olsa da, dairesel yüzeylerde önemli hesap hataları meydana getirmediği için sadece dairesel kayma yüzeylerinde uygulanır olmuştur (Aytekin ve Haliloğlu, 1998).

Bishop 1955 tarihli çalışmasında, dilim kesme kuvvetlerinin göz önüne alınması durumunda çözümün karmaşık hale geldiği için bu kuvvetleri iptal etmiş ve dilimler arası kuvvetlerin bileşke kuvvetinin yatay olarak kabul ederek Sadeleştirilmiş Bishop Yöntemi'ni geliştirmiştir.

$$GS = \frac{\sum(c'b + (W - ub)\tan\varphi)/m_a}{\sum W \cdot \sin\alpha} \quad (1.4)$$

$$m_a = \cos\alpha \left( 1 + \tan\alpha \frac{\tan\varphi'}{GS} \right) \quad (1.5)$$

Burada; b dilim genişliğini, W dilimin toplam ağırlığını, c' efektif kohezyon,  $\varphi'$  efektif kayma mukavemeti açısını, u = dilim tabanına etkiyen boşluk suyu basıncını göstermektedir.

Sadeleştirilmiş Bishop Yöntemi'nde olası kayma yüzeyi belirlendikten sonra kayan kütle eşit genişlikte dilimlere ayrılır. Tahmini bir güvenlik sayısı seçilerek her bir dilim için  $m_a$  değeri bulunur. Bu değer güvenlik sayısı formülünde yerine konarak gerçek güvenlik sayısı bulunur. Bu işleme hesaplanan güvenlik sayısı ile tahmin edilen güvenlik sayısı aynı olana kadar devam edilir. Bu yöntemle bulunan güvenlik sayıları İsveç Yöntemi ile bulunan güvenlik sayısından çok daha yüksek ve gerçeğe yakındır. Ancak kayma yüzeyi çok derin ise hesap hata oranları bu yöntemde artmaktadır.

### 1.1.6.3. Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi

Janbu 1956 yılında her biçimde kayma yüzeyi için uygulanabilen ve kuvvet dengesi koşullarını sağlayan bu yöntemi geliştirmiştir. Daha sonra 1968 yılında ayrıntılardan

kaçınarak Bishop yöntemine benzeyen Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi'ni geliştirmiştir. Bu yöntemde dilimler arası kesme kuvvetleri sıfır kabul edilmekte olup, yatay ve dikey kuvvet eşitliği sağlanır ama moment dengesi sağlanmaz.

Toplam yatay kuvvet denklemi;

$$\sum_{n=1}^{n=p} [F_H]_n = \sum_{n=1}^{n=p} [(N' + U_a) \sin \alpha + W k_h U_\beta \sin \beta + \sum_{n=1}^{n=p} Q \sin \delta - \frac{c + N' \tan \varphi}{F} \cos \alpha] \quad (1.6)$$

olarak ifade edilir.

$$N' = \frac{-U_a \cdot \cos \alpha - S_m \cdot \sin \alpha + W(1 - k_v) + U_\beta \cos \beta Q \cos \delta}{\cos \alpha} \quad (1.7)$$

buna göre güvenlik sayısı

$$GS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c + N' \tan \varphi) \cos \alpha}{\sum_{n=1}^{n=p} A_4 + N' \sin \alpha} \quad (1.8)$$

denklemleri ile ifade edilir.

$$A_4 = U_a \sin \alpha + W k_h + U_\beta \sin \beta + Q \sin \delta \quad (1.9)$$

Burada;  $\alpha$  dilim tabanıyla yatay arasındaki açıyı,  $U_a$  boşluk suyu itkisini,  $U_\beta$  yüzey suyu itkisini,  $k_h$  yatay sismik katsayısını,  $k_v$  = düşey sismik katsayısını göstermektedir.

#### 1.1.6.4. Spencer Yöntemi

Spencer yöntemi, Sadeleştirilmiş Bishop Yöntemi ile çözümde yatay olarak kabul edilen dilim kuvvetlerinin bileşkeleri, paralel ve tüm dilimler için sabit açıyla etkidiği esaslarına dayanmaktadır. Dilim kuvvetlerinin bileşkeleri aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$Q = \gamma b H \left[ \frac{\frac{c'}{\gamma H G S} + \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{H} \cdot \frac{\tan \varphi'}{G S} (1 - 2r_u + \cos 2a) - \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{H} \cdot \sin 2a}{\cos \alpha \cos(a - \theta) \cdot \left[ 1 + \frac{\tan \varphi'}{G S} \tan(a - \theta) \right]} \right] \quad (1.10)$$

Burada;  $N$  dilim tabanına etkiyen normal kuvveti,  $N'$  efektif normal kuvveti,  $T_m = T/GS$  tabana paralel kayma direnci kuvveti,  $Q$  dilim kuvvetlerinin bileşkesini göstermektedir.

Eğer şev üzerindeki kuvvetler dengede değilse, dilimler arası kuvvetlerin toplamı ve dilimler arası kuvvetlerin yatay ve düşey bileşenleri sıfır olmalıdır. Dönme merkezi etrafındaki dış momentlerin toplamı sıfırsa, dilimler arası kuvvetlerin moment toplamları da sıfır olur. Spencer yönteminde bu üç koşul sağlanmalıdır. Yöntemi basitleştirmek için dilim kuvvetlerinin paralel olduğu,  $\theta$  açısının sabit olduğu gibi kabuller yapılmaktadır. Dilim kuvvetlerinin bileşke değeri elde edildikten sonra sırasıyla her bir değer için, dilim kuvvetleri ve dilim tabanının ortasına göre alınan momentler ve kuvvet etkiye noktaları elde edilir (Aytekin ve Haliloğlu, 1998).

#### **1.1.6.5. Sarma Yöntemi**

Sarma yöntemi limit dengesini esas alan dilim yöntemlerinden biridir ve her bir dilimin kuvvet ve moment dengesinin sağlanması esasına dayanır.

Sarma (1973) şev güvenliğinin, zemin kütlelerini limit denge durumuna getirecek yatay ivmeye bağlı olan bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem ile konvansiyonel bir güvenlik katsayısı gerekmesi durumunda, kayma mukavemeti azaltılarak 0 yatay ivme gerektiği ana kadar iterasyon yapıyordu. Böyle bir durumda 3 iterasyon yeterli olmaktadır ve tüm denge denklemleri sağlanmaktadır (Konuk, 2005).

Sarma (1979) eğimli ara dilim sınırları için de bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde dilimler istenildiği kadar geniş tutulabilir ve kayma yüzeyinin eğimi tarafından belirlenir. Minimum bir kritik ivme değeri bulmak için her dilim sınırı arasındaki eğim değerini değiştirdiği için bu yöntem çok uzun bir süreci gerektirmektedir.

#### **1.1.6.6. Sonlu Elemanlar Analizi**

Bishop, Janbu gibi limit denge yöntemlerinde güvenlik sayısı hesaplanırken ötelenme, boşluk suyu basınçlarının değişimi gibi ek bilgiler ifade edilememektedir. Sürekli ortamlarda sonlu elemanlar ve süreksiz ortamlarda ayrık elemanlar metodu ile yapılacak hesaplamalar ile yamaç ve şevlerin gerilme-deformasyon analizleri yapılabilmektedir.

Sonlu elemanlar analizinde zemin düğüm noktalarında birleşen elemanlara bölünmektedir. Analiz sonucunda her düğüm noktasında oluşan yer değiştirmelerden hareketle gerilme ve şekil değiştirme alanları bulunur. Sonlu elemanlar analizinde sayısal modelleme kullanılarak tüm elemanların aynı yapısal davranışa göre davranmaları sağlanır. Kullanılan modelleme genelde göçmenin oluşumuna kadar elastik ve göçme sonrası tam plastik davranıştır. Kullanılan göçme kriteri genellikle Mohr-Coulomb kriteridir (Konuk, 2005).

Araştırmacılar sonlu elemanlar analizinin etkinliğinin arazide yapılacak ölçümlerle arttığını, bu nedenle zemin özelliklerinin önceden bilindiği durumlarda daha verimli sonuçlar elde edildiğini belirtmişlerdir.

Sonlu elemanlar metodu (FEM) ile yamaç ve şevlerde analiz 1960 yıllarında yapılmış olup, uygulamanın en önemli yanı zemin özelliklerinin doğrusal olmayan bir fonksiyonla modellemesidir. Sonlu elemanlar analizi ile gerilme, ötelenme ve boşluk suyu basınçlarının hesabı, yapım sırası ve sonrasında durumun şişme ve sıkışma sonucu kontrolü ve çatlama, hidrolik çatlatma, yerel yenilme ve genel duraylılığın izlenmesi bilgileri hesaplanabilir. Sonlu elemanlar yöntemine getirilen en önemli eleştiri ortamın sürekli varsayılması ve aşırı ötelenmelerin olamamasıdır. Çünkü kayada olduğu gibi zemin yamaçlarda da metrelerle ifade edilen hareketler olabilmektedir (Önalp ve Arel, 2004).

## **1.2. Yapay Sinir Ağları**

İnsanoğlu yaradılışından beri doğa ile iç içe yaşamış ve ondan esinlenerek karşılaştığı problemler için çözüm yöntemleri geliştirmiştir. Bu yöntemler bilgisayar kullanılarak yapılan sayısal hesaplamaların hızla gelişmesiyle çok ilerleme kaydetmiştir. Geliştirilen yöntemlerin bazıları canlı organizmayı örnek alarak yapılmıştır. Bu yolla geliştirilmiş olan yöntemlere örnek olarak Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Genetik Algoritmalar (GA) gösterilebilir (Şen, 2004).

YSA kavramı beyin çalışma ilkelerinin sayısal bilgisayarlar üzerinde taklit edilmesi fikri olarak ortaya çıkmış ve ilk çalışmalar beyni oluşturan nöronların matematiksel olarak modellenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile

geliştirilmişlerdir. Bu şekilde, insanoğluna özgü yaşayarak öğrenme yeteneğini bilgisayar ortamına taşıyabildiği düşünülen YSA teknolojisi birçok avantaj sunmaktadır (Efe ve Kaynak, 2000).

Yapay sinir ağları, insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan işlem elemanlarından oluşan paralel bilgi işleme yapılarıdır. YSA'ların öğrenme özelliği, araştırmacıların dikkatini çeken önemli özelliklerden birisidir. Çünkü herhangi bir olay hakkında girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi, doğrusal olsun veya olmasın, elde bulunan mevcut örneklerden öğrenerek daha önce hiç görülmemiş olayları, önceki örneklerden çağrışım yaparak ilgili olaya çözümler üretebilme özelliği YSA'lardaki zeki davranışın da temelini teşkil eder.

Yapay sinir ağları, bir sisteme ilişkin tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanan giriş verileri ile sistemin yine tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanabilen çıkışları arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir (Efe ve Kaynak, 2000).

1943 yılı Yapay Sinir Ağları (YSA)'nın gelişiminin başlangıç yılı olarak kabul edilmektedir. Bu tarihte McCulloch ve Pitts, ilk hücre modelini geliştirdi ve birkaç hücrenin ara bağlaşımını incelediler. Daha sonra Hebb, 1949 yılında hücre bağlantılarını ayarlamak için ilk öğrenme kuralını önermiştir. 1958'de Rosenblatt, algılayıcı (perceptron) modelini ve öğrenme kuralını geliştirerek, bugün kullanılan kuralların temelini koymuştur. Widrow ve Hoff (1960-1962) tarafından ADALINE'lar ve LMS kuralı geliştirilmiştir. Minsky ve Papert (1969), algılayıcının kesin analizini yapmış ve algılayıcının karmaşık lojik fonksiyonlar için kullanılamayacağını öne sürmüşlerdir. Bunun üzerine, yapay sinir ağları üzerine yapılan çalışmalar hemen hemen durma noktasına gelmiştir. 1960 yılının ortalarından, 1980 yılının başına kadar bir durgunluk dönemi yaşanmıştır. Çalışmaları büyük ölçüde azaltan bu durgunluğun en önemli faktörlerinden birisi, YSA'nın bilgi işlemede alternatifi olan günümüzün sayısal bilgisayarlarının, yarı iletken teknolojisi ile yoğun, büyük çapta ucuz ve güvenilir gerçekleştirme imkanını bulmasıdır. Seri olarak çalışan hızlı birimlerden oluşmuş sayısal bilgisayarlar, aritmetik işlemlerde yüksek hız, kapasite ve güvenilirlik sağlamışlardır. Hopfield (1982), YSA'nın birçok problemi çözebilecek kabiliyeti olduğunu göstermiştir. Optimizasyon gibi teknik problemleri çözmek için doğrusal olmayan Hopfield ağını geliştirmiştir. 1982-1984 yıllarında Kohonen öz düzenlemeli haritayı (self-organizing map) tanımlamış, kendi adıyla anılan eğitimcisiz

öğrenen bir ağ geliştirmiştir. Rumelhart (1986) geriye yayılımı tekrar meydana çıkartmıştır. 1988 yılında ise Chua ve Yang hücresel sinir ağlarını geliştirmişlerdir (Yalçın vd., 2001; Yurtoğlu, 2005).

Daha sonraları yapay sinir ağları birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılmıştır. Tung vd. (1993), SPT verilerinden sıvılaşma potansiyeli üzerinde yaptıkları çalışmada girdi parametreleri olarak; deprem büyüklüğü, yeraltı su seviyesi, sıvılaşan zeminin derinliği ve zemin penetrasyon direncini kullanmış ve denetimli eğitim sonucu 1 ile sıvılaşmayı, 0 ile güvenli durumu tanımlamışlardır.

Sakellariou ve Ferentinou (2005), bir çalışmada yapay sinir ağı ile stabilite analizi yapmayı amaçlamışlardır. Farklı iki heyelan türü için yapay sinir ağı modeli çalışmışlardır. Dairesel heyelan modelinin eğitimi için 46 veri, kama tipi heyelan modeli için 22 veri kullanmışlardır. Oluşturulan modellerin test edilmesi için daha önce yapılmış olan heyelan verileri kullanılmış ve sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu gözlenmiştir.

Fırat (2005), yapay sinir ağı kullanılarak deprem eğiliminin kestirimi adlı çalışma yapmıştır. Çalışmada depremlerin önceden tahmin edilmesi amaçlanmış ve test sonucunda eğilimi kestirmede General Regression Neural Network (GRNN) ile önemli başarı oranları elde edilmiştir.

Wang vd. (2005), Çin'in batısındaki Yudonghe heyelanı için geri yayımlı yapay sinir ağı ile stabilite analizi yapmıştır. Ağ modelinde 5 tane giriş verisi (şevin yüksekliği, şev açısı, içsel sürtünme açısı, birim hacim ağırlığı, kohezyon) ve 2 tane çıkış verisi (stabilite ve güvenlik faktörü) kullanılmıştır. Stabilite çıkış parametresinde stabil olmayan ortamlara 0, stabil olan ortamlar için 1 derecelendirilmesi yapılmıştır. Güvenlik faktörü çıkış parametresinde ise güvenlik faktörünün tam olarak kaç olduğu hesaplanmıştır. Geri yayımlı yapay sinir ağının eğitilmesinde Qing Nehri civarındaki 26 adet heyelan verisi kullanılmıştır. Ağ eğitildikten sonra Yudonghe heyelanı için yapılan analizde güvenlik faktörü 1.10 olarak hesaplanmış ve heyelanın stabil olduğu belirlenmiştir.

Liu vd. (2006), 413 takım koni penetrasyon deneyi (CPT) verileriyle girdi parametrelerini değiştirerek oluşturdukları modellerde sıvılaşma indisini tahmin etmişlerdir.

Hanna vd. (2007), 1999 Türkiye ve Taiwan depremlerinden elde ettikleri veri tabanını kullanarak GRNN yöntemiyle sivilaşma potansiyelini belirlemişlerdir.

Şen vd. (2007), sivilaşmaya karşı güvenlik katsayısının yapay sinir ağı ile hesaplanabilmesini amaçlamış ve Denizli'nin Gümüşler beldesi için yaptıkları çalışmada test sonuçlarının hesaplanan değerlere oldukça yakın çıktığı gözlenmiştir.

Güllü vd.(2007), çalışmasında en büyük yer ivmesinin yapay sinir ağı ile tahmin edilmesini amaçlamış ve yaptıkları hesaplamalarda daha doğru ivme tahmini için yapay sinir ağlarının alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Tolon (2007), çalışmasında şev stabilitesini yapay zeka mantığını kullanarak incelemiştir. Bu çalışmadaki amaç sismik zemin katsayılarının şev stabilitesindeki önemlerinin incelenmesidir. Çalışmada 170 tane yerel bölgenin şev profili verileri kullanılmıştır. Yapay zekâ mantığı yaklaşımında farklı yapay sinir ağı mimarileri kullanılmıştır. Ancak model oluşturmada sadece geri yayılmalı sinir ağı mimarisi (BPNN) ve GRNN, genel regresyonlu yapay sinir ağı mimarisi kullanılmıştır. Bu yaklaşımlarda 9 adet girdi ve 1 tane çıkış parametreleri verilmiştir. Çıkış parametresi şev güvenlik katsayısı olup, girdi parametreleri şev yüksekliği (H), şev eğimi ( $\beta$ ), yeraltı suyu derinliği (Hw), sağlam zemin derinliği (Hb), kohezyon (c), zemin içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ), kuru birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ), düşey ve yatay sismik zemin katsayıları (Kh , Kv)' dir. Sonuç olarak genel regresyon yapay sinir ağı modelinin daha başarılı olduğu ve % 92.5 başarı yüzdesine sahip olduğu görülmüş, düşey ve yatay sismik zemin katsayılarının şev yüksekliği, şev eğimi ve yeraltı suyu derinliğinden sonra şev stabilitesindeki etkisinin önemli olduğu görülmüştür.

Choobbasti vd. (2009), yaptıkları çalışmada yapay sinir ağı ile stabilite analizini amaçlamışlardır. İran Noabad' da yapılan çalışmada verilerin güvenlik faktörü önce Bishop yöntemle hesaplanmış ve daha sonra yapay sinir ağı ile hesaplanarak aralarında %95 uyum gözlenmiş ve yapay sinir ağının güvenilirliği test edilmiştir.

Zhou ve Chen (2009), çalışmasında yapay sinir ağları ile stabilite analizi yapabilmeyi amaçlamıştır. Çalışmada mühendislik hesaplamalarında en çok kullanılan yapay sinir ağı modeli olan geri yayılmalı yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır. Ağ modelinde 6 giriş verisi (birim hacim ağırlığı, kohezyon, içsel sürtünme açısı, heyelan açısı, heyelanın yüksekliği ve boşluk basıncı oranı), 13 ara nöron ve 2 çıkış verisi kullanmıştır. Veri setinde

45 heyelan örneği kullanmıştır ve bu örneklerden 40 tanesini ağı eğitimi için ve 5 tanesini de ağı test edilmesi için kullanmıştır. Ağı eğitiminde hata 0.0094 olarak hesaplanmıştır. Böylece eğitim aşamasının başarıyla gerçekleştirildiği gösterilmiştir. Test verilerinde hesaplanan değerler gerçek değerlere oldukça yakın hesaplanmıştır. Bu da BPNN 'nin mühendislik açıdan geçerliliğini göstermiştir.

Pradhan ve Lee (2009), heyelan riski olan alanların yapay sinir ağı ile belirlenmesini amaçlamışlardır. Malezya'da yapılan çalışmada Malezya'nın Penang Adası'nın çok yağış almasından ve bu yağışların heyelanlara neden olmasından dolayı daha önceden önlem alabilmek için heyelan riskinin yüksek olduğu yerlerin belirlenmesi istenmiştir. Kurulan yapay sinir ağı modelleri ile Penang Adası'ndaki heyelan riskinin yüksek olduğu yerler belirlenmiştir.

Baltacıoğlu vd. (2010), deprem hasarlarının hızlı tespitinde yapay sinir ağı yaklaşımı adlı çalışmada deprem geçirmiş bir betonarme yapının hasar durumu tahmin edilmeye çalışılmış ve bu yöntemin mevcut bir yapının hasar miktarının hızlı tespiti açısından uygun olduğu gösterilmiştir.

Zhu vd. (2010), çalışmasında geri yayımlı yapay sinir ağı'nın stabilite analizi için geçerliliğini araştırmıştır. Çin'deki bir uranyum sahasından alınan 10 heyelan verisi için yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Hesaplanan örneklerde elde edilen değerlerin tatmin edici sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu çalışmada yapay sinir ağı'nın maden ocaklarındaki heyelan stabilite analizlerinde kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Ming (2011), şev stabilitesinin yapay sinir ağı ile belirlenebilmesi amacıyla yaptığı çalışmada 130 adet heyelan verisi kullanılmıştır. 4 farklı model oluşturularak genelleştirilmiş regresyon sinir ağı ve geri yayımlı sinir ağı kullanılmıştır. Çalışmada 9 adet giriş verisi ve 1 adet de çıkış verisi kullanılmıştır. Sonuçlar şev stabilitesinin ve sismik katsayıların stabiliteye etkisinin değerlendirilmesinde GRNN' nin BPNN' ye göre daha uygun olduğunu göstermiştir. GRNN' nin stabilite analizinde alternatif bir araştırma yöntemi olabileceği ortaya konulmuştur.



## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Heyelan Araştırmalarında Kullanılan Sismik Yöntemler**

#### **2.1.1. Sismik Kırılma Yöntemi**

Yeri titreştirmek yoluyla meydana gelen sarsıntıyı, kaynaktan itibaren belirli aralıklarla yerleştirilmiş olan alıcılarla ve kayıtçılarla kaydettikten sonra; elde edilen verilerden yeraltının jeolojik yapısını hesaplayarak çıkarma işlemlerinin tümüne 'sismik yöntemler' denir. Ortamın ses dalgaları hızlarına duyarlıdır. Sismik yöntemlerde her bir alıcıda ortamda ilerleyen dalgaların varış zamanlarına göre dalga alanları kaydedilir. Buradaki dalga alanı dalgaların genliklerini göstermektedir. Yani alıcıya gelen dalgaların genlikleri zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir.

Jeofiziğin dört ana yönteminden biri olan sismik yöntemler; sorunlara getirdiği çözümlerin boyutlarının büyüklüğü, yüksek doğruluk, yüksek ayırım gücü ve hedef derinliğin fazla olması bakımından diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır. Petrol aramalarında büyük rol oynayan bu yöntemin en önemli özelliği çok sayıda veriyi bir araya getirmesidir.

En basit sarsıntı oluşturma yöntemi yer içine ses dalgası göndermektir. Kaynak olarak; patlayıcılar, ağırlık düşürme, balyoz ile vurma, titreşim düzenekleri sayılabilir. Sarsıntı sonucu oluşan dalgalar sismik dalgalar olarak adlandırılır. Bu dalgalar malzeme içinde ilerleme özelliklerine göre cisim ve yüzey dalgaları olarak ikiye ayrılırlar. Cisim dalgaları boyuna ve enine dalgalar, yüzey dalgaları ise Love ve Rayleigh dalgalarıdır.

Mükemmel elastik, izotrop ve homojen bir cismin içinde biri dilatasyon (genleşme = hacim değişmesi) dalgası, diğeri rotasyon dalgası olmak üzere iki tür dalga yayılır. Bunların ikisine birden ' Cisim Dalgaları ' denir. Cisim dalgaları P (Boyuna - Birincil) Dalgaları ve S (Enine - İkincil) Dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Boyuna Dalgalar: Sıkışma veya ilk genleşme olarak bilinirler. Bu dalgaların yayılımı sırasında kübik bir genleşme veya hacim değişikliği (deformasyon) olur. Boyuna

dalgalarda sıkışma ve genişmeyi temsil eden titreşim doğrultusu dalga yayılım doğrultusuyla aynıdır.

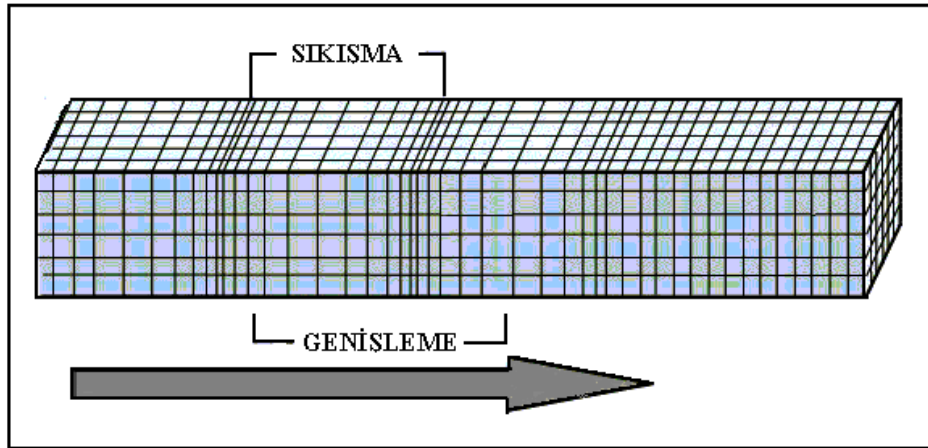
Dalga yayılımında hacim değişimiyle birlikte şekil değişimi de olur. Fakat bu şekil değişimi sırasında açılar değişmez, yani küp şeklindeki bir eleman dikdörtgen prizma'ya dönüşür. P dalgaları bir ortam içindeki en hızlı dalgalar olduğundan deprem kayıtlarında en önce kaydedilirler (Şekil 2.1).

P dalgasının hızı,

$$V_p = \sqrt{\frac{(\lambda - 2\mu)}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1 - \sigma)}{\rho(1 + \sigma)(1 - \sigma)}} \quad (2.1)$$

bağıntısıyla verilir. Burada,  $\sigma$  Poisson Oranı,  $\mu$  Katılık (Kayma Modülü),  $\rho$  Yoğunluk, E ise Young Modülü (Elastisite) nü göstermektedir.

Yukarıdaki formül de  $\mu$  'nin sıfır olduğu, cismin şekil değişikliğe karşı direncinin sona erdiği hallerde bile, P dalgasının hızı belirli bir değer taşır. Bunun anlamı, P dalgaları sıvı ve gaz gibi hiçbir katılığı olmayan maddeler içerisinde de geçebilir.



Şekil 2.1. P dalgası yayılımını (Reynolds, 1997).

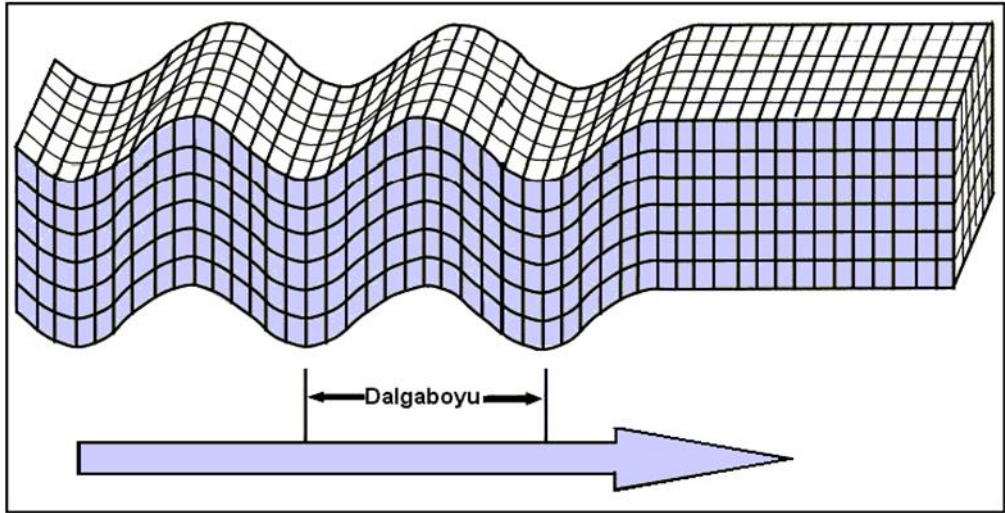
Enine dalgaların yayılımını sırasında elemanlar şekil bozulmaları, yani açılarda değişim gözlenir. Bunun nedeni; dalga yayılımını sırasında parçacıkların titreşim doğrultusunun, dalga yayılım doğrultusuna dik olmasıdır (Şekil 2.2). Bu tür dalgalar S dalgaları olarak adlandırılır. S dalgalarının yayılımında enine olan parçacık salınımı yatay

düzlem üzerinde ise dalga SH adını alır. Eğer parçacık hareketleri düşey düzlem üzerinde kalıyorsa SV dalgası olarak adlandırılır.

S dalgasının hızı  $V_s$  aşağıdaki bağıntı ile verilebilir.

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1 + \sigma)}} \quad (2.2)$$

S dalgalarının hızı, içerisinden geçtikleri cismin rijidite ve yoğunluğuna bağlıdır. Bu nedenle rijiditesi bulunmayan sıvı maddelerde S dalgaları oluşmaz.



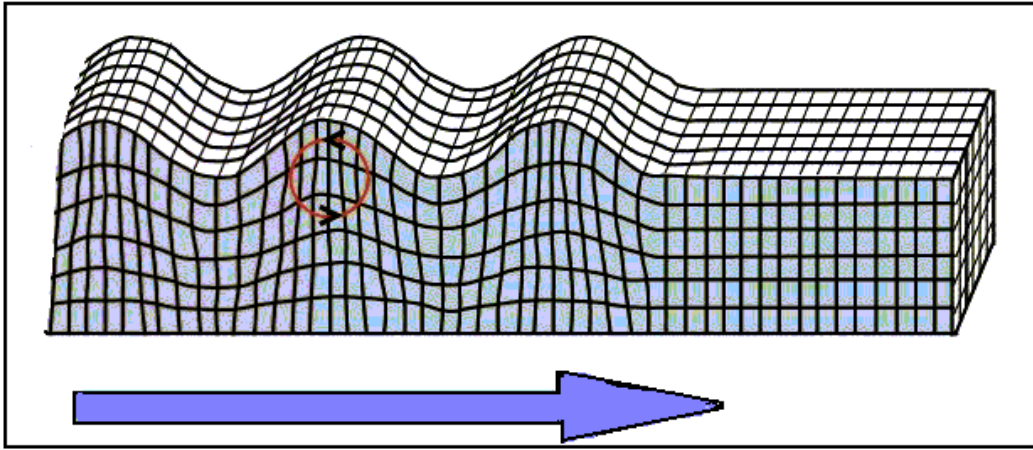
Şekil 2.2. Enine dalga yayınının yatay düzlem üzerindeki hareketi (Reynolds, 1997).

P ve S dalga hızlarının oranı ise;

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2(1 - \sigma)}{1 - 2\sigma}} \quad (2.3)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Poisson oranı,  $\sigma = 0.25$  olan değeri yukarıdaki bağıntıda yerine konulursa  $\frac{V_p}{V_s}$  oranı  $\sqrt{3}$  değerini alır. Bu da katı cisimlerde P dalgasının S dalgasından 1.7 kez daha hızlı olduğunu ifade etmektedir.

Rayleigh dalgalarının oluşabilmesi için serbest bir yüzeyle sınırlanmış bir yüzeyle sınırlanmış yarı sonsuz bir esnek ortamın bulunması gerekir. R dalgaları yayılırken geçtiği yol boyunca parçacıklar, elips hareketi çizerek ilerler. Bu elipsin büyük eksenini düşey olup; elipsin büyük eksenini boyunca titreşen, küçük eksenini boyunca da ilerleyen dalgalarıdır. Hareket, yayının doğrultusunun tersi yönündedir. Büyük genlikli ve alçak frekanslı dalgalarıdır. Periyotları 3–10 sn, dalga boyları da 50–100 km arasında değişir. Dalga boyu kadar derinliğe inebilirler.



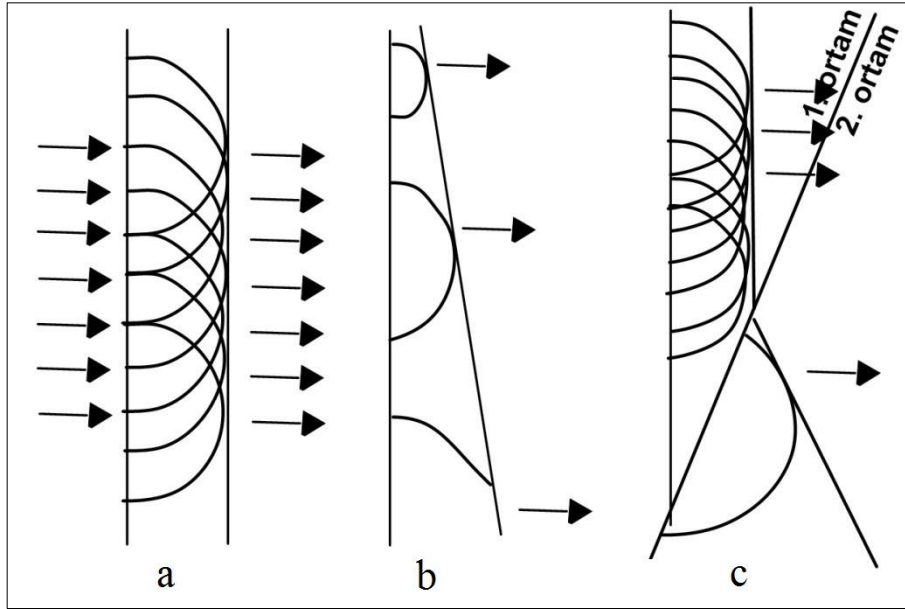
Şekil 2.3. Rayleigh dalgasının yayılımını (Reynolds, 1997).

Love dalgalarının oluşabilmesi için bir yüzey tabakasının bulunması gerekir. Yerkürenin kabuğu bu görevi görmektedir. Love dalgaları yerin serbest yüzeyi ile kabuğun tabanı arasında ardışık yansımalara uğrayan SH dalgalarının yapıcı girişiminden oluşur. Kabuk içinde hapsedilmiş olan bir tür kanal dalgalarıdır.

Love dalgasının hızı dalga sayısına dolayısıyla dalga frekansına ya da periyoduna bağlı olarak değişir. O halde her frekans değeri için ayrı bir hız elde edilir. Bu nedenle Love dalgaları saçılım (dispersiyon) gösterirler. Hızları derinlikle artar. Genlikleri eksponansiyel olarak azalır.

Bir depremde kayıt istasyonuna ilk gelen dalga P dalgasıdır. Onu S dalgası izler. Sonra yüzey dalgaları belirir. Yüzey dalgalarından önce L dalgası sonra da R dalgası belirir.

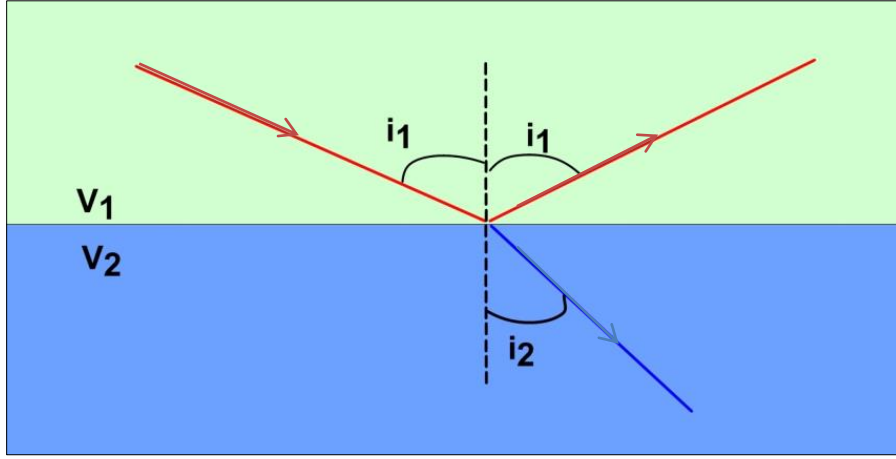
Homojen bir ortamda, bir darbe veya patlatmadan ileri gelen dalgalar, suya atılan bir taşın meydana getirdiği dalgalar gibi kaynak noktasından dışarı doğru küresel olarak yayılırlar. Bu küreyi oluşturan yüzeylere dalga cephesi adı verilir. Huygens prensibine göre, dalga cephesi üzerinde bulunan her titreşen nokta yeni bir enerji kaynağı gibi davranır (Şekil 2.4). Bu kurala göre belirli bir zaman içinde herhangi bir dalga cephesi geometrisinin bilinmesi durumunda daha sonra oluşacak dalga cephesi geometrileri belirlenebilir. Bu işlem, dalga cephesinin her noktasının bir enerji kaynağı olarak davrandığı öngörülerek bu noktalardan yayılan küresel dalgaların zarflarının çizilmesi ile yapılır.



Şekil 2.4. Huygens prensibine göre düzlem dalga yayılımı; a) Homojen ortam b) Hızın düşey yönde doğrusal artması c) Ortam değişikliği nedeniyle hızın ani olarak değişimi (Al Sadi, 1982).

Bir dalga cephesi, farklı hızlara sahip iki ortamı ayıran bir ara yüzey ile karşılaşır, enerjinin bir kısmı asıl ortamın içine geri kırılır, bir kısmı da ikinci ortam içine yayılır. Ara yüzeyde, bu doğrultuda yayılan dalga cephesi değişime uğrar. Her bir ortam içindeki dalga cephesi yönleri arasındaki ilişki Snell kanunu ile tanımlanır.

Snell yasası, farklı yayılma hızına sahip ortamlardaki ışınların kırılmasının hızları ve açıların arasındaki ilişki ile tanımlanır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Snell yasası

Bu yasa,

$$\frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2} \quad (2.4)$$

formülü ile ifade edilir. Kırılan dalganın yüzeyi ile yaptığı açı ( $i=90^\circ$ ) olursa kritik açı:

$$\sin i_c = \frac{V_1}{V_2} \text{ olur.} \quad (2.5)$$

### 2.1.2. Çok Kanallı Yüzey Dalgaları Yöntemi (MASW)

Yüzey dalgası analiz yöntemlerinde, yeraltındaki tabakalı yapıların kesme dalgası hızının ( $V_s$ ) derinlikle değişiminin hesaplanması amacıyla, Rayleigh dalgasının dispersif özelliğinden faydalanır. Yüzey dalgası yöntemleri aktif kaynaklı ve pasif kaynaklı yöntemler olmak üzere iki ana grup altında toplanabilir. Pasif kaynaklı yöntemler daha derin nüfus gücüne sahiptir. Özellikle ana kaya derinliğine ulaşılması gereken sahalarda etkin olarak kullanılabilir. Arazide ilk bakışta kolay uygulanabilir olması yöntemin avantajları olarak görülmesinin yanında, veri eldesi sırasında geometriden kaynaklanan problemler ve yüzeye yakın tabakaların tespitinde yanılğı payının olması dezavantajları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında, MASW yöntemi daha sınırlı nüfuz derinliğine sahip olmasının yanında, etkin kaynak kullanılması ile daha başarılı sonuçlar

vermektedir. Özellikle  $V_{s30}$  çalışmalarında ilk 30 metrenin önemi ve ince tabakaların tespitinde oldukça sağlıklı sonuçlar vermesi nedeniyle etkin kullanıma sahiptir. Tüm farklılıklarına rağmen, yüzey dalgası analiz yöntemleri aşağıdaki üç adımda gerçekleştirilir.

1- Yüzey dalgalarının alıcılar ile kaydedildiği arazi aşaması,

2- Veri işlem ve dispersiyon eğrilerinin elde edilmesi,

3- Dispersiyon eğrisinin farklı yöntemlerle ters çözümlenmesinden elde edilen,  $V_s$  değerlerinin derinlikle değişimi.

Dispersiyon eğrisinin elde edilmesi kritik bir adımdır. Ters çözümleme ile elde edilen  $V_s$  hız profilinin doğruluğu büyük oranda frekansa ve faz hızına bağlı olan dispersiyon eğrisinin doğruluğuna ve özelliklerine bağlıdır.

(MASW) tekniği, var olan gürültüde Yüzey Dalgaları Spektral Analizi (SASW)'nin eksiklerini gidermek amacıyla geliştirilmiştir. Benzer şekilde 12 veya daha fazla sayıda alıcı kısa (1–2 m) ve uzun (50–100 m) mesafeler arasında yerleştirilir ve impuls veya vibratör kaynağıyla kayıtlar alınarak istatistiksel açıdan yeterli miktarda faz hızı ölçülür. Hem fazlıca kaynak kullanılması hem de yığma yapılması durumunda, esas Rayleigh dalga modu baskın olarak elde edilir. Makaslama hızının iki-boyutlu yatay belirtilerini elde etmek için, profiller boyunca birçok kayıt alınıp ters çözümü yapılır. Büyük kaynakları taşımak ve birçok noktada tekrarlamak oldukça pahalı bir çaba gerektirir.

Rayleigh tipi yüzey dalgaları sismik yansıma çalışmalarında önemli bir uyumlu gürültü tipidir (ground roll gürültüsü). Bu dalgalar geleneksel sismik veri işlemde farklı frekans, dalga sayısı ve faz hızlarına sahip olayları ayrımlı bir şekilde haritalamak ve süzgeçlemek gibi çok amaçlı kullanılan f-k ve f-p dalga alanı dönüşüm teknikleri sayesinde, uygun süzgeç düzenleri ile yansıma verisinden atılırlar. Bununla birlikte son yıllarda bu dalgaların dispersiyon özellikleri jeofizik (Park ve diğ., 1996, 1998; Xia ve diğ., 1999) ve jeoteknik (Stokoe ve diğ., 1994) mühendislik çalışmalarında sığ yer altının kesme dalgası hız yapısını belirlemek için önemli bir bilgi kaynağı (frekansa karşılık faz hızı değişimleri) olarak çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

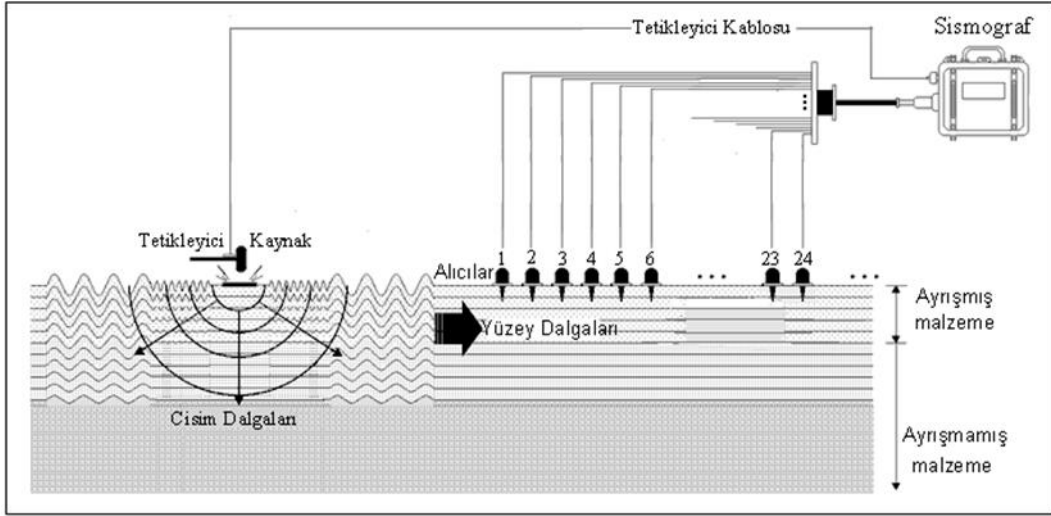
S dalgasının derinliğin fonksiyonu olarak yüksek ayrımlılık ve doğrulukta belirlenmesi, çoğunlukla dispersiyon eğrisinin tam olarak elde edilmesine bağlıdır. Çünkü

dispersiyon eğrisinin elde edilmesi en kritik aşamadır ve ters çözümleme ile elde edilen  $V_s$  hız profilinin doğruluğu büyük oranda frekansa ve faz hızına bağlı olan dispersiyon eğrisinin doğruluğuna ve özelliklerine bağlıdır (Kanlı ve diğ., 2006). Bu nedenle arazi verilerinden dispersiyon eğrisinin belirlenmesi çalışmalarında, tek istasyon verisinin tekrarlı süzgeç analizi (Dziewonski ve diğ., 1972), iki istasyon verisi ile yüzey dalgalarının spektral analizi (SASW) (Stokoe ve diğ., 1994) ve çok istasyon verisinin f-k ve f-p dalga alanı dönüşüm yöntemlerine bağlı olarak MASW (Park ve diğ., 1998; Xia ve diğ., 1999; McMechan ve Yedlin, 1981) teknikleri kullanılmaktadır.

Aktif kaynaklı MASW yönteminin arazide uygulanması için öncelikle mümkün olduğunca şehir gürültüsünden uzak alanlar seçilmelidir. Uygulama alanını seçme şansına sahip değilsek, seçilmiş olan yerin en sessiz olduğu zamanlarda arazi uygulaması yapılabilir. Uygulama amacına göre jeofon aralığı tespit edilir ve profil boyu hesaplanarak, en uygun profilde serim yapılır. MASW yöntemi uygulanırken ihtiyacımız olan ekipman; jeofon seti, kayıtçı, sismik serim kablosu ve güç kaynağıdır.

Temel olarak arazi ekipmanı yukarıdaki gibi sıralanabilir. Jeofon seti 24 jeofondan oluşmaktadır. Kayıtçı bilgisayar düzenekli bir kayıtçı olabilir ya da arazide dizüstü bilgisayara bağlanabilen bir sismik kayıtçı ile yöntem uygulanabilir. Serim kablosu jeofonların algıladığı impulsları kayıtçıya iletmek amacıyla kullanılan ve üzerinde jeofon bağlantı yerleri olan özel bir kablodur. Güç kaynağı olarak balyoz, hidrolik güç kaynağı veya yer üzerinde anlık impuls oluşturacak herhangi bir güç kaynağı olabilir. İlk olarak araziye çıkılarak çok kanallı sismik ekipman ile veriler elde edilir. Yere sismik bir kaynak aracılığı ile etki yapılır ve jeofonlar aracılığı ile bu etkilerin oluşturduğu tepkiler dinlenerek kayıt alınır (Şekil 2.6).





Şekil 2.6. Yüzeysel dalgaların çok kanallı analiz yöntemi ile veri toplanması (URL-2, 2012).

Çok kanallı verinin dispersiyon analizi için en çok kullanılanlar f-k ve f-p dalga alanı dönüşüm teknikleridir. Her iki yöntemin uygulama temelini uzaklık-zaman ortamından elde edilen verilerin farklı ortamlara ileri ve geri dönüşüm özellikleri oluşturmaktadır ve bu iki yöntem uygulamada çoğunlukla benzer sonuçlar üretirler. Bununla birlikte bu dönüşümlerin farklılığı çoğunlukla onların dönüşüm parametrelerinden ve uygulama kriterlerindeki farklılıklarından kaynaklanmaktadır (Nolet ve Panza,1976). Çok istasyon verisinin f-k dönüşüm temeline dayalı uygulaması için, kaydedilen atış verisi,  $U(x,t)$ , 2 Boyutlu Hızlı Fourier Dönüşümü (2B-HFD) ile uzaklık-zaman  $(x,t)$  ortamından frekans-dalga sayısı  $(f,k)$  ortamına aktarılır. 2 Boyutlu Fourier Dönüşümü (2-B FD) uygulamada hesaplanması çok fazla zaman ve veri depolama gerektirdiği için pratikte 1 Boyutlu Hızlı Fourier (1D-HFD) algoritmaları kullanılarak hesaplanabilir (Buttkus, 2000). Bu dönüşüm sabit bir frekans ve dalga sayısında orijinal dalga alanını bileşenlerine ayırıştırır. Kaydedilen verinin dispersiyon modları, frekansın ve dalga sayısının bir fonksiyonu olarak haritalanır. Sonra f-k spektral ortamında haritalanmış veri üzerinde yüzeysel dalgaları ile ilişkili maksimumların lokasyonundan aşağıdaki ilişki kullanılarak dispersiyon eğrisi (frekansa karşılık yüzeysel dalgası faz hızı eğrisi) elde edilir.

$$c_m(f) = \frac{2\pi f}{k_m(f)} \quad (2.6)$$

Burada;  $f$  frekansı,  $k_m(f)$  dalga boyunu ve  $c_m(f)$   $f$  frekansındaki dalganın faz hızını ifade etmektedir.

Yüzey dalgalarının dispersiyon analizinde çok kullanışlı olan diğer dalga alanı dönüşüm yöntemi f-p dönüşüm yöntemidir (Fobi, 2000). F-k dönüşüm tekniğine benzer olarak sismik veri işleme, eğimli yağma, sismik hızların analizi ve süzgeçleme, sinyal/gürültü oranını artırmak ve tekrarlıların bastırılması, göç, ters çözüm ve ters dönüşümde uzaysal örnekleme oranını artırarak izlerin interpolasyonu gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir (Buttkus, 2000; Yılmaz, 1987). Yöntemin yüzey dalgası dispersiyon analizinde kullanılmasının en önemli avantajı, kaydedilen verinin doğrudan frekans-hız ortamına aktarılmasını sağlamasıdır.

Dalga boyundan, yüzey dalgalarının faz hızı aşağıdaki ilişki ile belirlenir.

$$V_R = f\lambda_R \quad (2.7)$$

Burada  $V_R$  Rayleigh dalgası hızı,  $f$  frekansı ve  $\lambda_R$  ise Rayleigh dalgasının dalga boyunu ifade etmektedir.

$f$  frekansını değiştirerek dispersiyon eğrisi elde etmek mümkündür. f-k (frekans dalga sayısı) yönteminde,  $k_{pik}$  değeri güç spektrumunda (zaman ve mekan ortamındaki verinin frekans ve dalga sayısı ortamına dönüştürmede) en büyük genliğe tekabül eden dalga sayısıdır. Herhangi bir  $f_0$  frekansı için Rayleigh dalgası faz hızı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_R = \left( \frac{2\pi f_0}{k_{pik}} \right) \quad (2.8)$$

Ayrıca 2B Fourier dönüşümü kullanılarak veri f-k ortamına aktarılır. Rayleigh dalgası hızı ( $V_R$ ) homojen ortamda sabittir ve aşağıdaki denklemlerle hesaplanır (Ergin, 1995):

$$\frac{V_R^6}{V_S^6} - 8 \left( \frac{V_R^4}{V_S^4} \right) + \left( \frac{V_R^2}{V_S^2} \right) \left( 24 - 16 \left( \frac{V_S^2}{V_P^2} \right) V_S^4 V_R^2 - 16 \left( 1 - \left( \frac{V_S^2}{V_P^2} \right) \right) \right) = 0 \quad (2.9)$$

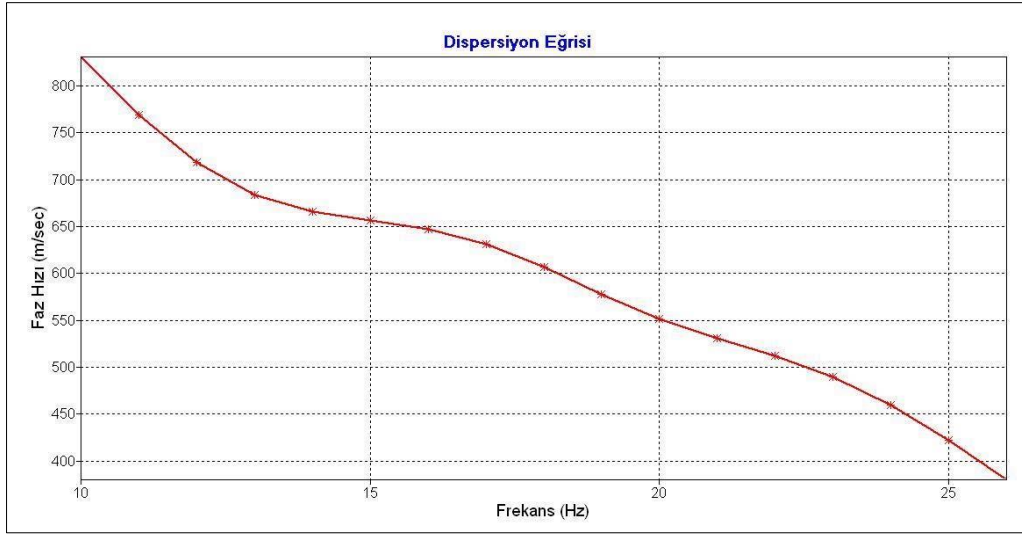
Burada  $V_R$  Uniform ortam içinde Rayleigh dalgası hızını,  $V_S$  Uniform ortam içinde kayma dalgası hızını,  $V_P$  Uniform ortam içinde sıkışma dalgası hızını göstermektedir.

Rayleigh dalgası hızı yukarıdaki denklemde görüldüğü gibi ortamın kayma ve sıkışma dalgası hızına bağlıdır.

Ayrıca basit olarak

$$V_R = V_S |(0.87 + 1.7\sigma)/(1 + \sigma)| \quad (2.10)$$

formülü ile de hesaplanabilir (Viktorov, 1967). Burada  $\sigma$  poisson oranıdır. Bu aşamalardan sonra dispersiyon eğrisi elde edilir.



Şekil 2.7. Tüm işlemlerden sonra elde edilen dispersiyon eğrisi (Tunçel, 2008).

Yüzey dalgaları, homojen ve izotropik yarı sonsuz ortamdaki Rayleigh dalgaları hariç, frekansa bağlı olarak yüzey boyunca belirli bir hız dağılımı gösterirler. Bu hız dağılımındaki dalga paketinin farklı faz hızlarıyla hareket etmesine dispersiyon denir (Aki and Richards 1980). Yüzey boyunca dispersiyona uğrayan yüzey dalgalarının hızları frekans ya da periyoda bağlıdır. Dispersiyon kuramı, yakın yüzey yer yapısının bir fonksiyonu olduğundan, yakın yüzey ile ilgili bilgiler dispersiyon eğrisinden elde edilebilir (Okada 2003). Yüzey dalgalarının frekansa bağlı hızlarına faz hızı denir ve frekansa karşılık faz hızları çizildiğinde o yüzey dalga türüne ait dispersiyon eğrisi elde edilir. Bir kaynaktan çıkan sinyal, bulunulan yerden daha uzaklarda kaydedildiğinde, sinyal üzerindeki dispersiyonun etkisi daha da dikkat çeker.

Dispersiyon olayı yüzey dalgalarında iki ayrı hız kavramını ortaya çıkarmaktadır. Bunlar, faz ve grup hızlarıdır. Her ikisi de frekansın ya da periyodun fonksiyonudurlar.

Farklı frekanslı yüzey dalgaları birbiri üzerine binerek bir dalga grubu oluştururlar. Bu dalga grubunda herhangi bir noktanın ilerleme hızına  $c(\omega)$ , faz hızı denir. Tüm dalga grubunun ilerleme hızına ise grup hızı denir. Yani grup hızı, dalga zarfının ilerleme hızıdır (Lay and Wallace 1995). Faz hızı, doğrudan tabaka parametreleri ile (kalınlık, gerçek P ve S hızları, katılık vb.) ve sınır şartları düşünüldüğünde belirli harmonik bileşenlerinin geometrik uyumu ile denetlenebilir.

### 2.3. Araziden Numune Alma

Araklı Yiğitözü heyelan sahasında stabilite hesabında kullanılmak üzere zemin malzemesinin mühendislik parametrelerinin belirlenmesi amacı ile belirli yerlerden örselenmemiş örnekler alınmıştır. Örnek alınmadan önce zemin yüzeyinin 10 cm' lik kısmı kazılmış ve örnek alım tüpü zemine çakılmıştır. Örnek alımı yapıldıktan sonra tüpün alt ve üst kısmı streç filmle iyice sarılarak hava ile teması kesilmiştir (Şekil 2.8). Doğal özelliği muhafaza edilen zemin örnekleri laboratuvara getirilerek zeminin doğal birim hacim ağırlığı, kohezyon ve içsel sürtünme açısı parametrelerinin tayinine yönelik deneyler yapılmıştır.



Şekil 2.8. Araklı-Yiğitözü Sahasında zeminden örnek alımı

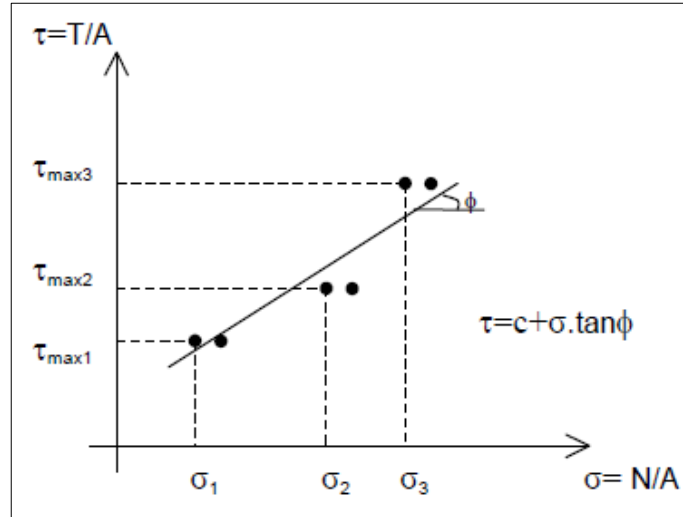
## 2.4. Kayma Mukavemeti Parametreleri

Efektif gerilmelere göre analizde kayma mukavemeti parametreleri, laboratuarda kesme kutusu deneyi, üç eksenli basınç deneyi ve serbest basınç deneyi ile belirlenir.

### 2.4.1. Kesme Kutusu Deneyi

Deneyde zemin örneği plan boyutları 6x6 cm olan kare kesitli ve iki parçalı madeni bir kutu içerisine yerleştirilir. Numuneye düşey kuvvet uygulanır. Bu işlemi takiben kesme kuvveti sıfırdan başlayarak arttırılır ve kesme kutusunun alt ve üst parçaları sabit bir deformasyon hızıyla hareket ettirilir. Kesme kuvveti kuvvet halkası (ring) ile ölçülür. Numunenin kesildiği, T kuvvetinin sabit kalırken deformasyonların hızla artması ile anlaşılır. Zemine ait kayma mukavemeti parametrelerini bulmak için aynı zeminden alınmış üç ayrı numune üzerinde farklı düşey gerilmeler altında deney tekrarlanmalıdır.

Aynı zemin üzerinde üç adet deney yapılarak; normal gerilme ve kayma gerilmesi değerleri ( $\sigma_1, \tau_{max1}$ ), ( $\sigma_2, \tau_{max2}$ ), ( $\sigma_3, \tau_{max3}$ ) bulunur ve Coulomb kırılma zarfı çizilir (Şekil 2.9). Çizilen doğrunun eğimi içsel sürtünme açısını,  $\tau$  eksenini kestiği yerde kohezyon değerini verir.



Şekil 2.9. Coulomb Kırılma Zarfı (Uzuner, 1995).

### 2.4.2. Üç Eksenli Basınç Deneyi

Zeminlerin kayma mukavemetini saptamak için kullanılan laboratuvar deney yöntemleri arasında üç eksenli basınç deneyi en gelişmişlerinden biri olmaktadır. Bu deney düzeni ile zeminin arazi koşullarında sahip olacağı kayma mukavemetini gerçeğe yakın olarak belirlemek mümkün olmaktadır. Üç eksenli basınç deneyinde kontrol edilebilen ve ölçülebilen parametreler şu şekilde sıralanabilir:

a. Zemin numunesi arazi gerilmeleri altında konsolide edilebilmekte ve doyumluk derecesi kontrol edilebilmektedir.

b. Yanal ve eksenel gerilmeler uygulamak sureti ile arazi yükleme izlerine yakın yüklemeler yapılabilmektedir.

c. Eksenel yükleme sırasında drenajsız veya drenajlı koşullar geçerli kılınabilmektedir.

d. Drenajsız yüklemelerde numunede oluşan boşluk suyu basıncı artışları, drenajlı deneylerde ise meydana gelen hacim değişimleri ölçülebilmektedir.

Üç eksenli basınç deneyinde, silindirik bir zemin numunesi bir hücre içine yerleştirilmekte ve hücreye uygulanan basınç (hava veya su basıncı) vasıtası ile zemin numunesi üzerinde hidrostatik bir basınç uygulanabilmektedir. Numune etrafına geçirilen bir lastik kılıf zeminin hücreyi dolduran su ile temas etmesini önlemekte ve numune içine ve dışına ayrı ayrı basınçlar uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Numune üst başlığına temas eden bir piston vasıtası ile eksenel gerilme uygulanmakta, numune alt ve üst başlıklarına bağlı ince kanallar vasıtası ile de deney sırasında drenaj durumu (zemin suyunun dışarı çıkıp çıkmaması) kontrol edilebilmektedir.

Üç eksenli basınç deneyi iki aşamadan oluşmaktadır;

1. Aşama: Zemin numunesi üzerine arazide yüklenmeden önce etkiyen gerilmelerin hücre basıncı vasıtası ile uygulanması. Bu aşamada drenaja izin verilirse numune konsolide edilebilmektedir.

2. Aşama: Eksenel basınç uygulanması. Bu aşama drenajlı ve drenajsız olarak gerçekleştirilebilmektedir. Drenajlı deney yapılması durumunda, yükleme hızının zeminin

permeabilitesine göre seçilerek, zemin içindeki suyun rahatlıkla dışarı çıkmasına, dolayısıyla boşluk suyu basıncı artışları oluşmamasına dikkat etmek gerekmektedir.

Yukarıdaki aşamaların her ikisinde de drenaj durumu kontrol edilerek, üç değişik türde üç eksenli basınç deneyi yürütmek mümkün olmaktadır.

a) Konsolidasyonsuz-Drenajsız deney (UU): En basit ve en hızlı olanıdır. Numuneler deney sırasında konsolide edilmeden ve drenaja engel olunarak kesilir. Bu tip deneyler, silt ve killerin doygun, örselenmemiş ve yoğrulmuş numunelerinde ayrıca arazide yüklemenin çabuk olduğu, suyun dışarı çıkmak için fırsat bulamadığı zeminlerde uygulanır.

b) Konsolidasyonlu-Drenajsız deney (CU): Bu deneyde numune uygulanan konsolidasyon basıncı altında su çıkışına izin verilir. Konsolidasyon tamamlandıktan sonra drenaj musluğu kapanır ve kesme esnasında açılmaz. Deviator gerilme ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) uygun hızda arttırılırken boşluk suyu basıncı ölçülür. Bu tip deneyler, örselenmemiş ve yoğrulmuş kil ve silt numunelerde aynı zamanda istenen şartlarda hazırlanmış kum ve çakıl numunelerde yapılabilir.

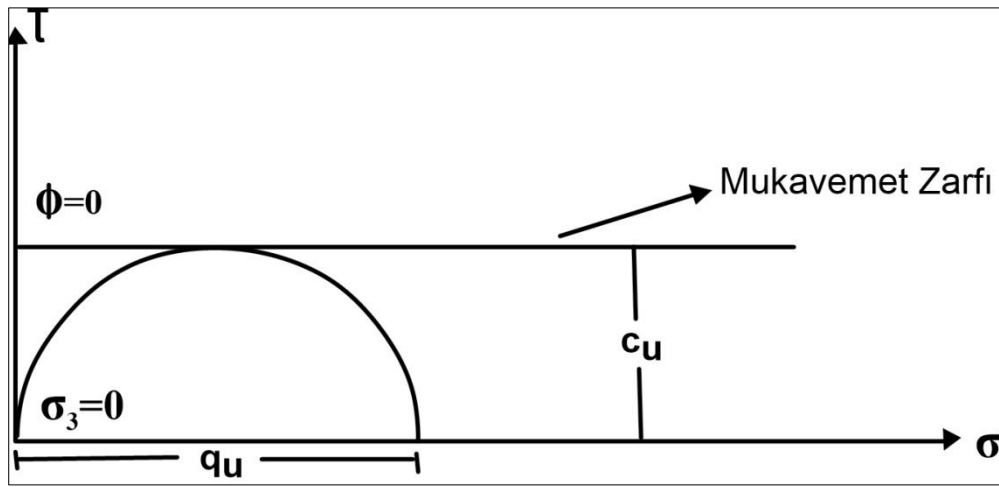
c) Konsolidasyonlu-Drenajlı deney (CD): Bu deneyde önce konsolidasyon tamamlanır. Kesme sırasında ise drenaj musluğu açık bırakılır. Gerekğinde deney süresi aylarca uzatılarak boşluk suyu basınçlarının önemsenecek değerlere yükselmesi önlenir. Deney sonucunda elde edilen toplam gerilmeler aynı zamanda efektif gerilmelerdir. Bu tip deney her tür zemin numunesine uygulanabilir.

### 2.4.3. Serbest Basınç Deneyi

Serbest basınç deneyinde silindirik bir zemin numunesi yalnızca eksenel doğrultuda yüklemeye tabi tutulmaktadır. Eksenel yük artışları altında meydana gelen numunenin boy kısılması (eksenel şekil değiştirilmesi) ölçülmekte gerilme-şekil değiştirme eğrileri elde edilmektedir. Eksenel gerilmenin en büyük değeri (veya göçme kabul edilebilecek şekil değiştirme seviyesine karşılık gelen değeri) zeminin serbest basınç mukavemeti ( $q_u$ ) değerini vermektedir. Numunede oluşan kayma düzleminin alt ve üst yükleme başlıkları ile kesişmemesi için, boy uzunluğu/çap oranının,  $(h/d) > 2$  olarak seçilmesi uygun olmaktadır.

Serbest basınç deneyi ancak herhangi bir yanal destek olmaksızın kendi kendini dik olarak ayakta tutabilecek özelliklere sahip zeminler üzerinde uygulanması mümkün

değildir, yalnızca killi zeminler için kullanılan bir deney yöntemi olmaktadır. Deney sırasında numunenin drenaj koşulları kontrol edilmediği için, hızlı yükleme yapılarak zeminin drenajsız kayma mukavemetinin elde edildiği kabul edilmektedir. Eksenel yüklemeye önce zemini konsolide etmek ve eksenel yüklemeye sırasında oluşan boşluk suyu basınçlarını ölçmek mümkün olmamaktadır. Bu kısıtlayıcı yönlerine karşın, serbest basınç deneyi killerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemede yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemi olmaktadır. Bir serbest basınç deneyinde göçme anındaki gerilme durumunu gösteren Mohr dairesi ve drenajsız kayma mukavemeti zarfı Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Serbest basınç deney sonuçlarını gösteren Mohr Dairesi ve Mukavemet Zarfı (Kocaman, 2008).

Drenajsız kayma mukavemetinin  $f = c_u = (1/2)q_u$  olarak elde edilebileceği bu şekilden açık olarak görülmektedir. Fakat bu şekilde elde edilen kayma mukavemetinin, ancak özel arazi yükleme ve drenaj koşullarında geçerli olacağını hatırdan çıkarmamız gerekmektedir.



## 2.5. Yapay Sinir Ağları Yöntemi

### 2.5.1. Yapay Sinir Ağı Nedir?

Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki sinaptik (synaptic) bağlantıların ayarlanması ile olur. Yani, insanlar doğumlarından itibaren bir “yaşayarak öğrenme” süreci içerisine girerler. Bu süreç içinde beyin sürekli bir gelişme göstermektedir. Yaşayıp tecrübe ettikçe sinaptik bağlantılar ayarlanır ve hatta yeni bağlantılar oluşur. Bu sayede öğrenme gerçekleşir. Bu durum YSA için de geçerlidir. Öğrenme, eğitime yoluyla örnekler kullanarak olur. Başka bir deyişle, gerçekleşme girdi/çıkıtlı verilerinin işlenmesiyle, yani eğitime algoritmasının bu verileri kullanarak bağlantı ağırlıklarını (weights of the synapses) bir yakınsama sağlanana kadar, tekrar tekrar ayarlanmasıyla olur.

Yapay Sinir Ağları, basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklini modellemek için tasarlanan programlardır. Modellenen sinir hücreleri nöronlar içerirler ve bu nöronlar çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanarak ağı oluştururlar. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler. Diğer bir ifadeyle, YSA' lar, normalde bir insanın düşünme ve gözlemlemeye yönelik doğal yeteneklerini gerektiren problemlere çözüm üretmektedir. Bir insanın, düşünme ve gözleme yeteneklerini gerektiren problemlere yönelik çözümler üretebilmesinin temel sebebi ise insan beyninin ve dolayısıyla insanın sahip olduğu yaşayarak veya deneyerek öğrenme yeteneğidir.

Kohonen (1987), yapay sinir ağlarını, biyolojik sinir sisteminde olduğu gibi gerçek yaşam nesnelere etkileşmeyi amaçlayan basit elemanların ve onların hiyerarşik düzenlemelerinin paralel, iç içe bağlantılı ağları” şeklinde tanımlamaktadır.

Haykin (1994), yapay sinir ağlarını bilgiyi depolamak için doğal eğilimi olan basit elemanlardan oluşmuş paralel dağılmış bir işlemci olarak tanımlamıştır.

Sağiroğlu vd. (2003), yapay sinir ağlarını; deneysel bilgiyi alan, depolayan ve kullanan fiziksel hücreli sistemler olarak tanımlamıştır.

Yapay sinir ağları, basit hesaplama elemanlarının yoğun bağlantılarından meydana gelmiş bilgi işleme elemanları olarak da tanımlanabilir (Simpson, 1990). Aynı zamanda, bağlantılı ağlar, paralel dağıtılmış ağlar ya da neuroformik sistemler olarak da adlandırılmaktadır. Yapay sinir ağları bilgisayar bilimine de bazı yenilikler getirmiştir.

Algoritmik olmayan, uyumlu, paralel programlama, dağıtılmış programlama vb. gibi tekniklerin gelişmesine katkıda bulunmuşlardır. Özellikle olaylar hakkında bilgilerin olmadığı fakat örneklerin bulunduğu durumlarda çok etkin olarak kullanılacak bir karar verme aracı ve hesaplama yöntemi olarak görülebilirler (Öztemel, 2003).

YSA' lar, ağırlıklandırılmış şekilde birbirlerine bağlanmış birçok işlem elemanından (nöronlar) oluşan matematiksel sistemlerdir. Bir işlem elemanı, aslında sık sık transfer fonksiyonu olarak anılan bir denklemdir. Bu işlem elemanı, diğer nöronlardan sinyalleri alır, bunları birleştirir, dönüştürür ve sayısal bir sonuç ortaya çıkartır. Genelde, işlem elemanları kabaca gerçek nöronlara karşılık gelirler ve bir ağ içinde birbirlerine bağlanırlar. Bu yapı da sinir ağlarını oluşturmaktadır (Elmas, 2003).

Sinirsel (neural) hesaplamanın merkezinde dağıtılmış, uyumlu ve doğrusal olmayan işlem kavramları vardır. YSA' lar, geleneksel işlemcilerden farklı şekilde işlem yapmaktadırlar. Geleneksel işlemcilerde, tek bir merkezi işlem elemanı her hareketi sırasıyla gerçekleştirir. YSA' lar ise, her biri büyük bir problemin bir parçası ile ilgilenen, çok sayıda basit işlem elemanlarından oluşmaktadır. En basit şekilde, bir işlem elemanı, bir girdiyi bir ağırlık kümesi ile ağırlıklandırır, doğrusal olmayan bir şekilde dönüşümünü sağlar ve bir çıktı değeri oluşturur. İlk bakışta, işlem elemanlarının çalışma şekli yanıtıcı şekilde basittir. Sinirsel hesaplamanın gücü, toplam işlem yükünü paylaşan işlem elemanlarının birbirleri arasındaki yoğun bağlantı yapısından ve işlem elemanlarında tanımlı transfer fonksiyonlarından kaynaklanmaktadır. Çoğu YSA' da, benzer karakteristiğe sahip nöronlar tabakalar halinde yapılandırılırlar ve transfer fonksiyonları çok çekirdekli, paralel işleme yeteneğine (kapasitesine) sahip işlemcilerde eş zamanlı olarak çalıştırılabilirler.

YSA' lar genel olarak girdi birimleri, işlem birimleri ve çıktı birimlerinden oluşur. Girdi birimleri, probleme ait giriş parametrelerini temsil ederken, çıktı birimleri ise hedeflenen parametrenin alabileceği değerleri üretir. İşlem birimi ise transfer fonksiyonuna sahip çok girişli çok çıkışlı bir elemandır. Bir YSA' da işlem birimleri kendisine girilen bilgileri transfer fonksiyonunda işleyen ve çıktı birimlerine aktaran yapıya ve çalışma prensibine sahiptir. İşlem birimleri birbirlerine belirli ağırlıklarla bağlantılıdır. Her transfer fonksiyonları, bir giriş sinyalinin belirli bir matematiksel fonksiyonda işlenmesi ve burada bir değer üretilmesi şeklinde çalışmaktadır.

## **2.5.2. YSA 'nın Genel Özellikleri**

Yapay sinir ağı modellerini klasik sistemlerden ayıran çeşitli özellikler vardır. Bu özellikler, ağır algoritmik olmayan, paralel ve yayılı bilgi işleme yeteneklerine dayanır. Bu yetenekler ise, yapay sinir ağlarının herhangi bir zorlukla karşılaşmaksızın karmaşık ve doğrusal olmayan hesaplamaları yürütmesini ve birçok problemin çözümüne hızlı bir şekilde yanıt vermesini mümkün kılar. Bahsedilen özellikler aşağıdaki gibi kısaca özetlenebilir.

### **2.5.2.1. Örneklerden Öğrenme**

Yapay sinir ağlarına, sadece öğrenilmesi istenen girdi/çıkıtı ilişkilerinin örnekleri verilir. YSA, bu örnekleri kullanarak genellemeler yapar.

### **2.5.2.2. Örnekleri Tanıma ve Sınıflandırma**

Yapay sinir ağlarına örnekler girdi olarak verilir ve YSA bu örneklerden oluşan girdi/çıkıtı eşleşmeleri ile ilgili bilgiyi depoladığı yerdeki yayılı belleğini kullanarak, girdiye karşılık gelen çıkıtıyı üretir.

### **2.5.2.3. Örnekleri Yeniden Oluşturma**

Ağda eksik durumda bulunan bir örneği yeniden oluşturma yeteneğini ifade eder. Yapay sinir ağı, eksik olan örnekteki kayıp olan bilgiyi, belleğinde bulundurduğu tam örnekteki bilgilerle ilişkilendirerek, eksik örnekteki kayıp durumda bulunan bilgi yerine tam örnekteki bilgiyi bulabilme özelliğine sahiptir.

### **2.5.2.4. Kendi Kendine Adapte Olabilme**

Self Organizing Map (SOM) gibi bazı YSA modelleri, kendi kendine organize olabilme ve öğrenme yeteneğine sahiptirler ve ortamda bazı değişiklikler olduğunda, ağ yapıları oluşan yeni duruma kendilerini kolaylıkla adapte edebilme özelliğine sahiptirler.

### **2.5.2.5. Hata Toleransı**

Bazı işlem elemanlarının çeşitli nedenlerle ağdan çıkarılması veya yok edilmesi durumunda, YSA' daki bilgi, bütün ağ boyunca yayılı olduğundan bazı bilgilerin kayıp oluşu veya yok edilişi, ağın performansını çok fazla etkileyebilir. Bu durum, çok kötü sonuçlar doğurmayacak şekilde yeteneklerin azalmasına sebep olmakta, buna rağmen sistemin toplam performansının tamamıyla başarısız olmasına neden olmayacaktır.

### **2.5.2.6. Bulanık Girdilere Direnç**

Yapay sinir ağlarına bulanık ya da eksik durumda bulunan bilgiler girdi olarak verildiği zaman yayılı bellek girdi için en uygun veya bağdaşır olan çıktıyı seçer. Yukarıda maddeler halinde verilen özellikler sayesinde YSA tekniğinin kullanımı, problemlerin yakın-optimum çözümlerinin daha kısa bir sürede bulunması açısından, cazip hale gelmektedir (Göktepe, 2008).

### **2.5.3. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı**

YSA' ların yapısı üç ana eleman içermektedir ve bu elemanlar, temel işlem elemanı olan nöron, girdi ve çıktı yolunu sağlayan bağlantı ve bu bağlantıların sağlamlığını gösteren bağlantı ağırlığıdır (Elmas, 2003).

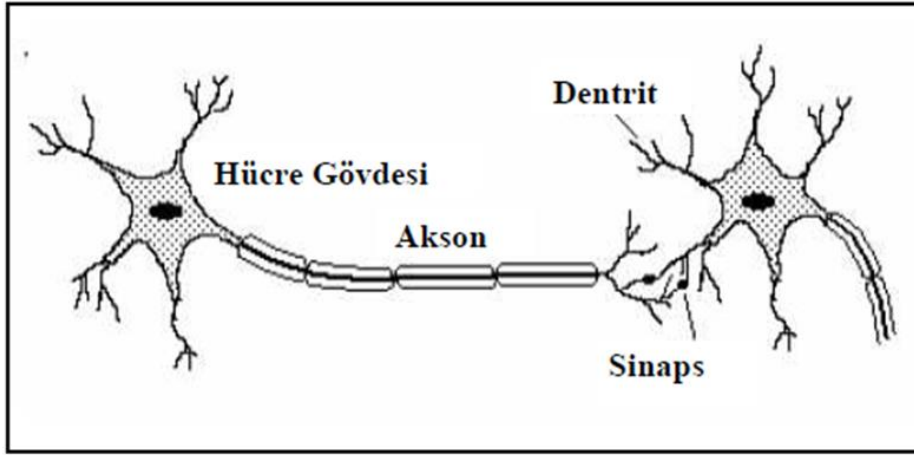
#### **2.5.3.1. Biyolojik Nöron**

Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin bulunduğu üç katmanlı bir sistem olarak açıklanır. Alıcı sinirler organizma içerisinden ya da dış ortamlardan aldıkları uyarıları, beyne bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri ise, beynin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 2.11'de bir sinir sisteminin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.11. Biyolojik Nöron yapısının blok diyagramı (Dere, 2009).

Merkezi sinir ağında bilgiler, alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yönünde değerlendirilerek uygun tepkiler üretilir. Bu yönüyle biyolojik sinir sistemi, kapalı çevrim denetim sisteminin karakteristiklerini taşır. Merkezi sinir sisteminin temel işletim elemanı, nöron olup insan beynindeki sayısının yaklaşık 10 milyar olduğu tahmin edilmektedir. Sinir hücresi; sinir gövdesi, dentritler ve aksonlar olmak üzere 3 bileşenden meydana gelmektedir (Şekil 2.12). Dentritler, diğer hücrelerden aldığı bilgileri hücre gövdesine bir ağaç yapısı şeklindeki ince yollara iletir.



Şekil 2.12. Biyolojik Nöronun basit yapısı (Dere, 2009).

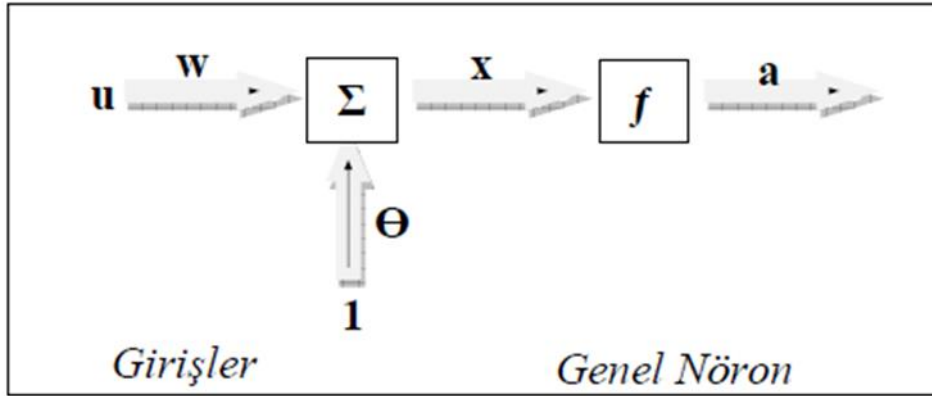
Aksonlar ise elektriksel darbeler şeklindeki bilgiyi hücreden dışarı taşıyan daha uzun bir yoldur. Aksonların bitimi, ince yollara ayrılabilir ve bu yollar, diğer hücreler için dentritleri oluşturur. Akson-dentrit arasındaki bağlantıyı sağlayan eleman Şekil 2.12'de de görüldüğü üzere, sinaps olarak isimlendirilir. Sinapstan gelen ve dentritler tarafından alınan bilgiler genellikle elektriksel darbelerdir. Ancak, sinapstaki kimyasal ileticilerden etkilenir. Belirli bir sürede bir hücreye gelen girişlerin değeri, belirli bir eşik değerine ulaştığında hücre bir tepki gösterir. Hücrenin tepkisini arttırıcı yöndeki girişler uyarıcı,

azaltıcı yöndeki girişler ise önleyici girişler olarak isimlendirilir ve bu etkiyi sinaps belirlir (Elmas, 2003).

Yapay sinir ağları insan beyninin yapısı göz önünde bulundurularak oluşturulduğu için aralarında benzerlikler bulunmaktadır. Şöyle ki, gerçek bir insan beyninde bulunan nöron; YSA' daki işlemciyi, dentrit; toplama fonksiyonunu, hücre gövdesi; transfer fonksiyonunu, aksonlar; çıkış elemanını, sinapslar ise ağırlıkları temsil eder.

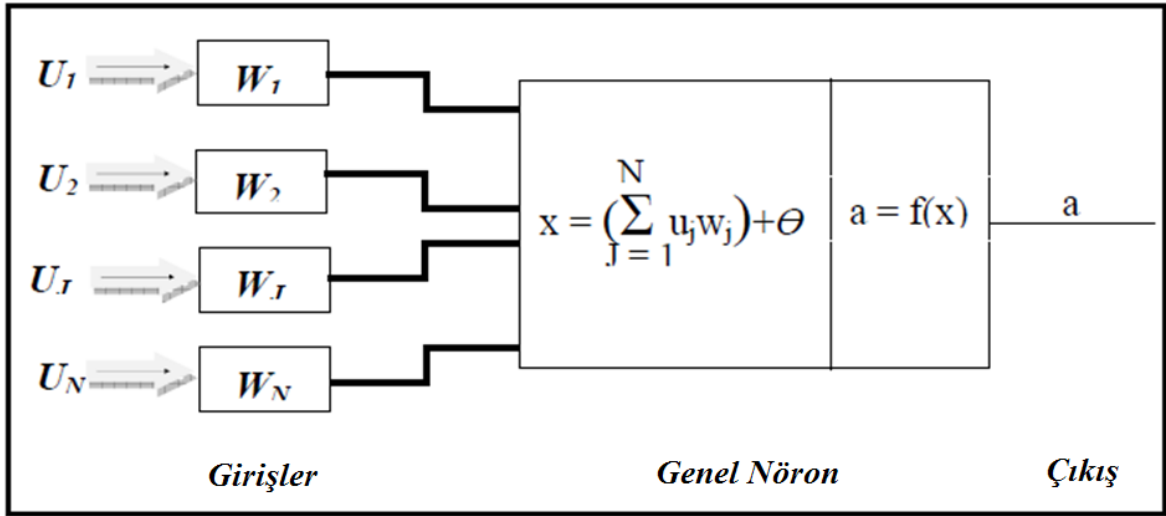
### 2.5.3.2. İşlemci (Yapay Nöron)

Bir YSA modelinin temel birimi, işlem elemanı yani nöronlardır. Şekil 2.13' de verilen ağ modeli, bazı küçük değişikliklerle beraber YSA' da geniş olarak kullanılan modellerden biridir.



Şekil 2.13. Tipik bir ağ modeli (Hagan ve diğ, 1999).

Şekilde tek girdili bir nöron gösterilmektedir. Bunun haricinde 2.14' te olduğu gibi gösterimleri de mevcuttur. Tüm yapay sinir ağları bu temel yapıdan üretilmektedir. Bu yapıdaki farklılıklar, yapay sinir ağlarının farklı sınıflandırılmasını sağlar. Bir nöronun öğrenme yeteneği, seçilen algoritma içerisindeki ağırlıkların uygun şekilde seçilmesine bağlıdır (Hagan ve diğ, 1999).



Şekil 2. 14. Örnek bir sinir ağı modeli (Dere, 2009).

Her bir giriş ( $U$ ), ağırlık ( $w$ ) ile çarpılarak eşik değeri ( $\theta$ ) ile toplanır ve sonucu oluşturmak için aktivasyon fonksiyonu (transfer fonksiyonu) ile işlem yapılarak nöron çıkışı ( $a$ ) üretilir. Nöron çıkışı  $a = f(w \cdot u + \theta)$  şeklinde hesaplanır ve bu çıkış ( $a$ ), seçilen transfer fonksiyonuna bağlıdır.

#### 2.5.4. Yapay Sinir Hücresinin Temel Elemanları

Yapay sinir ağlarının temel birimi, işlemci olarak adlandırılan yapay nöronlardır. Yapay bir nöron, biyolojik nöronlara kıyasla daha basit bir yapıda olmasına rağmen, biyolojik nöronların bazı temel işlemlerini taklit eder. Bu işlemler basit olarak 5 başlık altında toplanabilir.

##### 2.5.4.1. Girişler

Yapay bir sinir hücresinden başka bir sinir hücresine ya da dış dünyadan bilgi alımı işlemi girişler tarafından gerçekleştirilir. Giriş elemanları ağa öğretilmek istenen örnekler tarafından belirlenir.

### 2.5.4.2. Ağırlıklar

Bir ağda girişler tarafından alınan bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini belirleyen katsayılar ağırlık olarak tanımlanır. Bir sinir ağında her bir giriş için bir ağırlık vardır. Seçilen ağırlıkların büyüklüğünün ve pozitif ya da negatif olmasının girdilerin önemi ile bir bağlantısı yoktur. Yani küçük bir ağırlık, ona ait girişin önem derecesinin az olduğunu göstermez. Ancak bir ağırlık değerinin sıfır olması ağ için önemlidir (Öztemel, 2003).

### 2.5.4.3. Toplama İşlevi

Toplama işlevi, yapay bir nörondaki her bir giriş ile o girişe ait ağırlığın çarpımlarının toplamını ifade eder.

$$Net\ Toplam = \sum_j^n u_j w_j \quad (2.11)$$

Bununla beraber çoğu uygulamada eşik değeri olan  $\theta$  'da bu toplama dâhil edilmiştir.

$$Net\ Toplam = \sum_j^n u_j w_j + \theta \quad (2.12a)$$

$$Net\ Toplam = \sum_j^n u_j w_j - \theta \quad (2.12b)$$

$\theta$  eşik değeri, girişlerden bağımsız olduğu için bütün girişlerin sıfır olması durumunda dahi nöron çıkışının sıfır olma durumunu ortadan kaldırır. Bir sinir ağında eşik değerinin kullanımı, toplama fonksiyonuna +1 ya da -1 değerine sahip sabit bir girişin  $\theta$  ağırlığına sahip bir bağlantı ile eklendiği şeklinde yorumlanır.

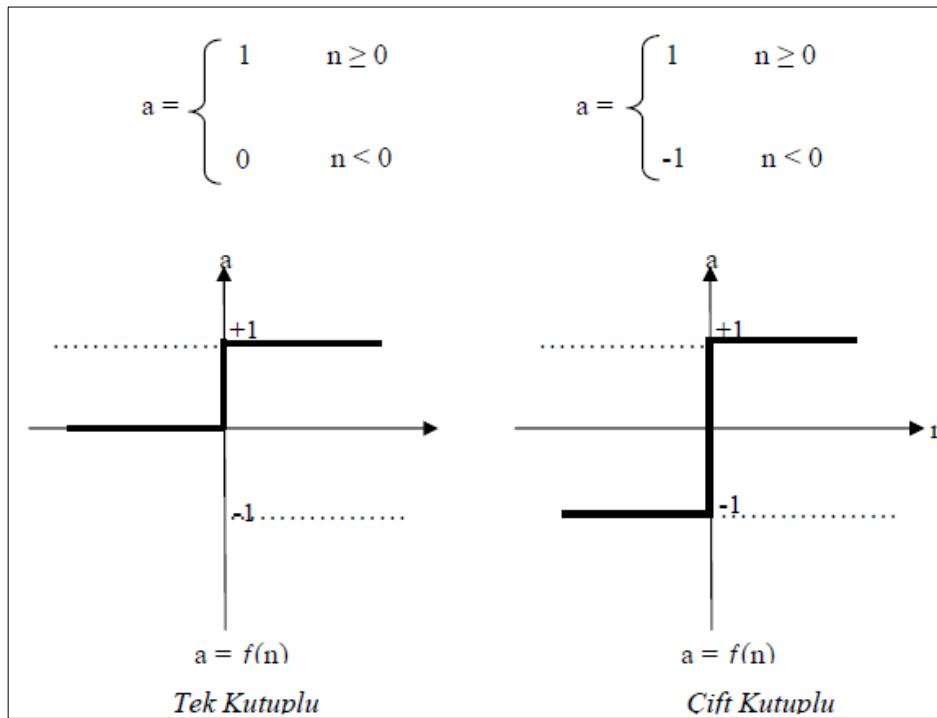
Yapay sinir ağlarında kullanılan her model ve her uygulama için bu toplama fonksiyonunun kullanılma zorunluluğu yoktur. Oluşturulan bazı modeller, kullanılacak olan toplama fonksiyonunu kendisi belirleyebilir. Bazı durumlarda daha karmaşık ve değişik toplama fonksiyonları kullanılabilir. Genel olarak kullanılan toplama fonksiyonları; çarpım, maksimum toplam, minimum toplam, çoğunluk toplamı ve kümülatif toplam olarak sıralanabilir. Bazı modellerde giriş değerleri önemli olurken, bazı modellerde ise girişlerin sayısı önem arz etmektedir. Yani bir model oluştururken kullanılacak toplama fonksiyonunu belirlemek için bir standart yoktur. En uygun toplama fonksiyonu iteratif yöntemle bulunacaktır (Efe ve Kaynak, 2000).



#### 2.5.4.4. Aktivasyon Fonksiyonları

Yapay nöronun davranışını belirleyen önemli etkenlerden biri aktivasyon fonksiyonudur. Aktivasyon fonksiyonu hücreye toplama fonksiyonunu işleyerek bu hücreye gelen girişlere karşılık olan çıkışı belirler. Hücre modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli türlerde aktivasyon fonksiyonu kullanılabilir. En uygun aktivasyon fonksiyonunu belirlemek için geliştirilmiş bir fonksiyon yoktur. Transfer fonksiyonları sabit parametrelili ya da uyarlanabilir parametrelili olarak seçilebilir. Doğrusal olmayan fonksiyonların kullanılması yapay sinir ağlarının çok karmaşık ve farklı problemlere uygulanmasını sağlamıştır. Hücre modellerinde yaygın olarak kullanılan bazı transfer fonksiyonları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Öztemel, 2003).

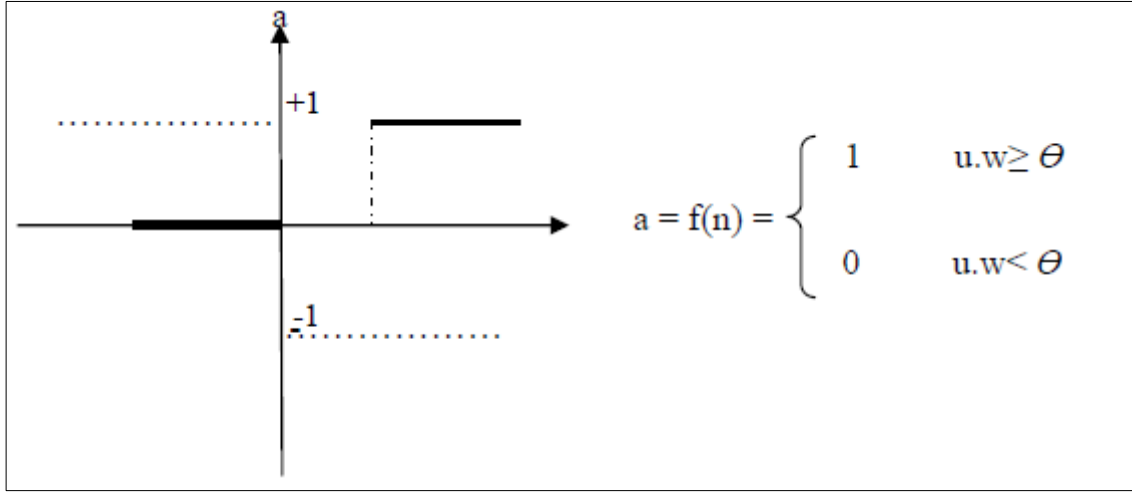
Simetrik eşik transfer fonksiyonu: McCulloch-Pitts modeli olarak bilinen eşik aktivasyon fonksiyonlu hücreler, mantıksal çıkış verir ve sınıflandırıcı ağlarda tercih edilir. Perseptron olarak da bilinen eşik fonksiyonlu hücrelerin matematiksel modeli aşağıdaki şekilde tanımlanır ve tek kutuplu, çift kutuplu olmak üzere iki çeşidi vardır (Şekil 2.15).



Şekil 2. 15. Simetrik eşik transfer fonksiyonları (Hagan ve diğ, 1999).

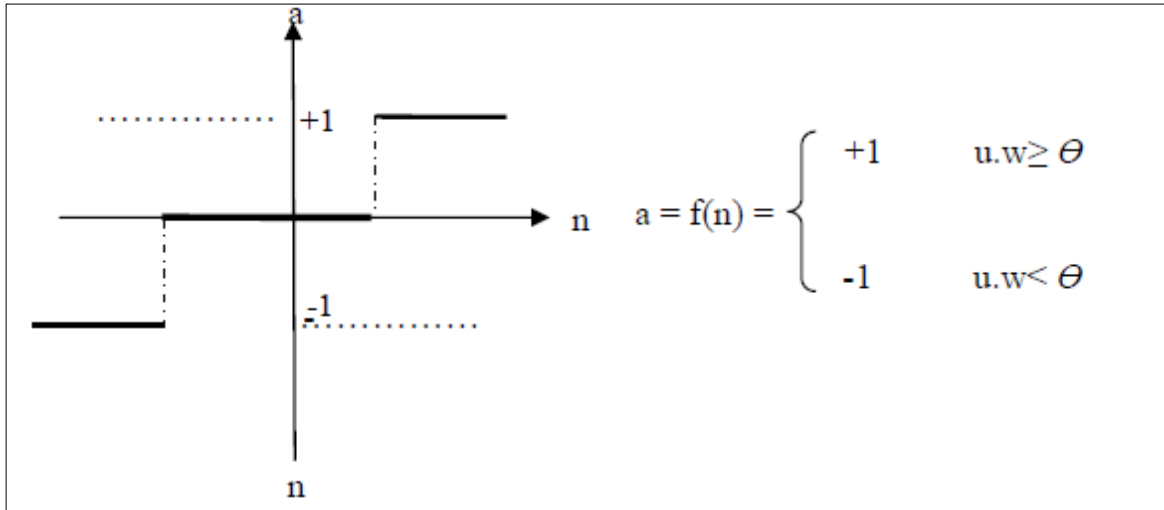
Kutuplamalı eşik transfer fonksiyonu: Kutuplama değeri tek kutuplu (Şekil 2.16) ve çift kutuplu (Şekil 2.17) eşik aktivasyon fonksiyonunun her ikisine de eklenebilir.

Aktivasyon fonksiyonu eşik değeri olan  $\theta$ ' yı aştığı zaman nöron aktif olur. Tek kutuplu eşik fonksiyonu Şekil 2.16'daki gibi ifade edilmektedir.



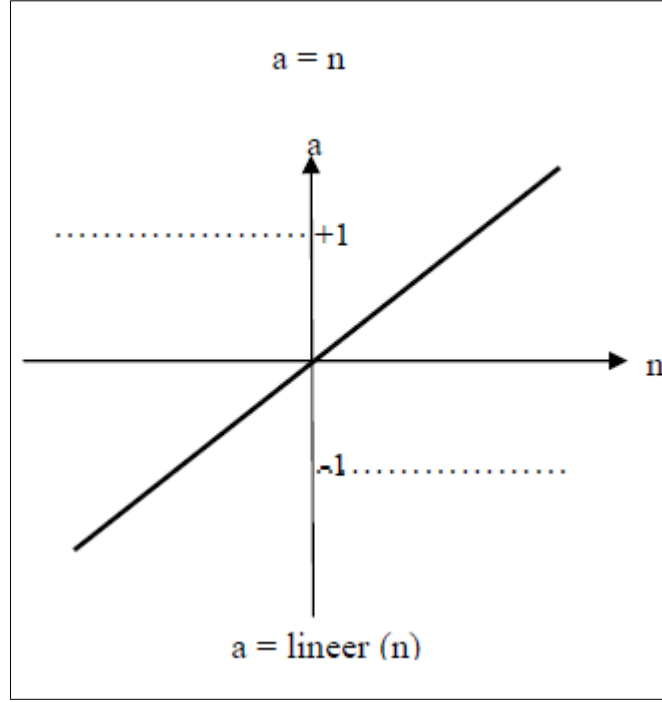
Şekil 2.16. Tek kutuplu eşik transfer fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999).

Çift kutuplu basamak fonksiyonu ise Şekil 2.17'deki gibi ifade edilmektedir.



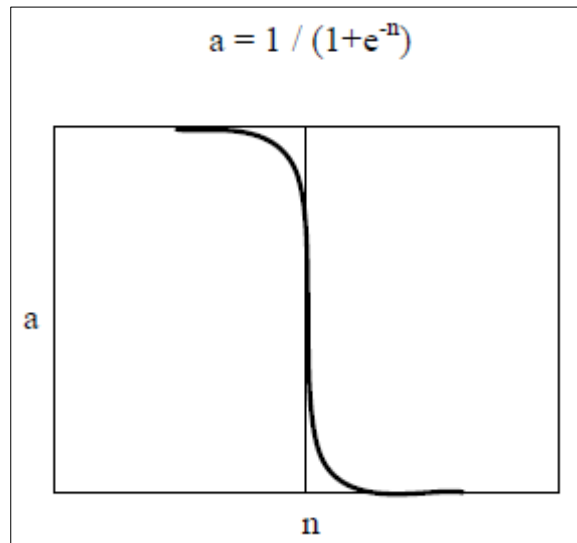
Şekil 2.17. Çift kutuplu eşik transfer fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999).

Doğrusal transfer fonksiyonu: Bu transfer fonksiyonunda, fonksiyon çıkışı girişine eşittir (Şekil 2.18). Literatürde Adaline olarak da bilinen model, genellikle klasik işaret işleme ve regresyon analizinde kullanılır.



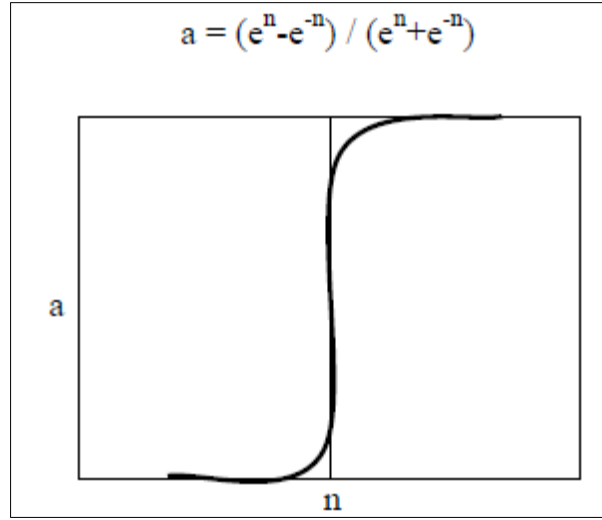
Şekil 2.18. Doğrusal transfer fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999).

Log-Sigma transfer fonksiyonu: Bu fonksiyon, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılır (Şekil 2.19). Bu transfer fonksiyonu giriş olarak  $+\infty$  ile  $-\infty$  arasında herhangi bir değer alır ve çıkış değeri 0 ile 1 arasındadır. Literatürde çift kutuplu fonksiyon olarak da adlandırılır.



Şekil 2.19. Log-Sigma transfer fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999).

Hiperbolik tanjant transfer fonksiyonu: Bu transfer fonksiyonu, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan bir fonksiyondur (Şekil 2.20). Bu transfer fonksiyonunda giriş olarak  $+\infty$  ile  $-\infty$  arasında herhangi bir değer alır ve çıkış değeri -1 ile 1 arasındadır. Literatürde çift kutuplu fonksiyon olarak da adlandırılır.



Şekil 2.20. Hiperbolik Tanjant transfer fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999).

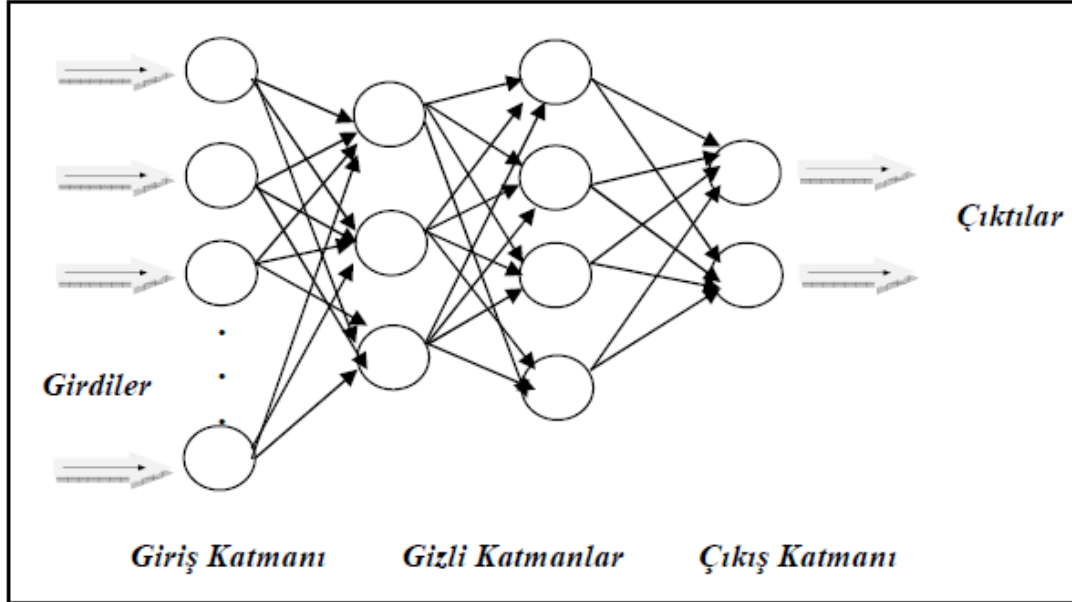
#### 2.5.4.5. Çıkış İşlevi

Çıkış  $a = f(n)$ , aktivasyon fonksiyonunun diğer sinirlere gönderilmesi olarak tanımlanır. Bir nöronun çıkışı, kendisine ve kendisinden sonra gelen bir ya da daha fazla nörona giriş olabilir. Ancak gerçek nöronlarda olduğu gibi bir nöronun birden fazla sayıda girişi olmasına karşılık yalnızca tek bir çıkışı vardır.

#### 2.5.5. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Yapay sinir ağları, birden fazla yapay sinirin birbirine bağlanması ile meydana gelir. Hücrelerin bağlanma işlemi rastgele olmaz. Ağı oluşturan sinir hücreleri katmanlar içerisine yerleştirilir. Hücreler genellikle üç katman halinde ve katmanlar içinde birbirlerine paralel olacak şekilde ağı oluştururlar. Her katmandaki düğümler yalnızca kendinden önceki katmanda yer alan düğümlerden giriş alabilir. Bir düğüm kendinden sonraki bir sinir hücresine bağlanırken kendine asla bağlanamaz. Son katmanda yer alan

işaretler ağı çıkışını vermektedir. Şekil 2.21’de çok katmanlı bir sinir ağı yapısı şematik olarak gösterilmektedir (Şekil 2.21) (Elmas, 2003; Öztemel 2003).



Şekil 2. 21. Çok katmanlı bir sinir ağı yapısı (Elmas, 2003).

### 2.5.5.1. Katmanlar

Yapay sinir ağlarının oldukça basit bir yapısı vardır. Nöronların bir kısmı girişleri alırken bir kısmı da çıkışlarını verirler. Diğerleri ise görünmediğinden ve dış dünya ile direkt olarak bağlantısı olmadığından gizli katman olarak isimlendirilirler. Yapay sinir ağlarında, nöronlar katmanlarda toplanır ve giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere toplam üç çeşit katman vardır.

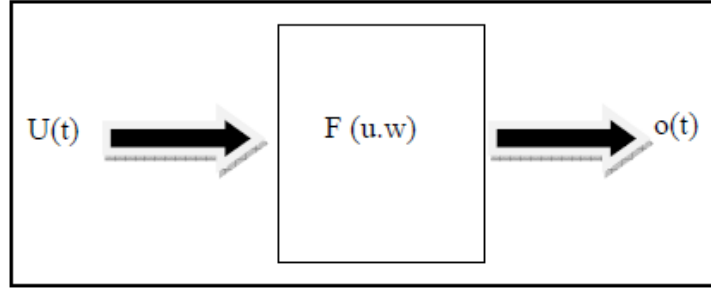
Kısaca açıklamak gerekirse; dış dünyadan girişleri alan sinirlerin bulunduğu katman giriş katmanı, ağın oluşturduğu çıkışı dış dünyaya ileten katman çıkış katmanı, giriş ve çıkış katmanı arasında bulunan katman ise gizli katman olarak tanımlanabilir. Karmaşık problemleri hesaplayabilmek için ağların gizli katmana sahip olması zorunludur. Ancak gizli katmanların sayısı artarsa ağda genelleşme sorunu ortaya çıkar. Bu nedenle ağdaki gizli katman sayısı, en iyi çıkışı verecek şekilde seçilmelidir.

### 2.5.6. Yapılarına Göre Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları yapılarına göre iki başlık altında incelenebilir.

#### 2.5.6.1. İleri Beslemeli Ağlar

İleri beslemeli ağlarda nöronlar katmanlarda bulunur. Girişler bir katmandan sonraki katmana tek yönlü bağlantı ile gönderilir. Bağlantı tek yönlü olduğu için sonraki katmandan alınan çıkışların geriye giriş olarak dönüşü mümkün değildir. Aynı zamanda statik ağlar olarak da isimlendirilirler. Şekil 2.22’ de ileri beslemeli ağların blok diyagramı görülmektedir.



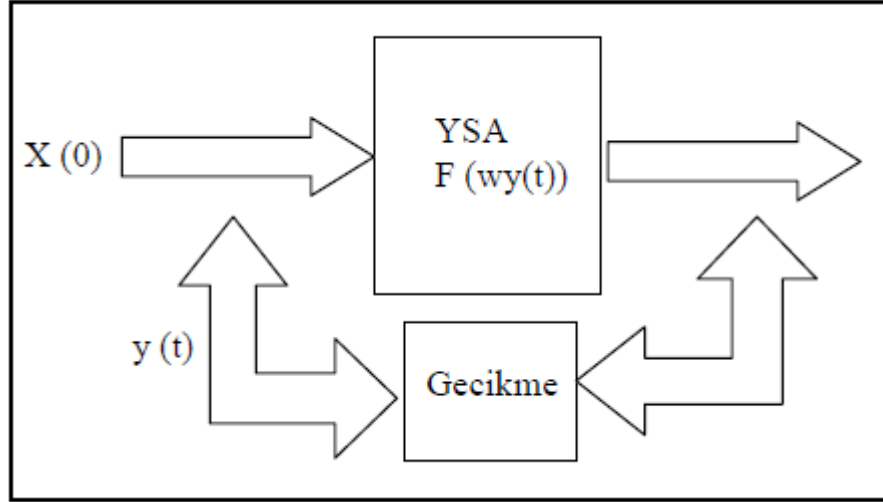
Şekil 2. 22. İleri beslemeli sinir ağlarının basit yapısı (Dere, 2009).

İleri beslemeli ağlarda ilk katmandaki sinirler için  $u$  girişleri ile  $w$  ağırlık değerlerinin bir işlevi hesaplanır ve bu sonuç sonraki tüm komşu sinirlere iletilir. İlk gizli katman gibi ikinci gizli katman sinirleri de önceki katmana tam bağlıdır. Buradaki sinirler de aynı şekilde girişler ve ağırlık değerlerinin işlevini alarak sonraki sinirlere gönderirler. Bu işlem arada tüm ara katmanlarda ve çıkış katmanında yapıldıktan sonra tamamlanır. Bu ağlara “Çok Katmanlı İleri Beslemeli Ağlar” da denir (Sağiroğlu ve diğ., 2003). İleri beslemeli ağların yaygın olarak kullanılan örnekleri Çok Katmanlı Perseptron (MLP) ve Öğrenme Vektör Nicelendirmesi (LVQ) ağları verilebilir.

#### 2.5.6.2. Geri Beslemeli Ağlar

Dinamik ağlar olarak da adlandırılan bu tip ağlarda ileri beslemeli ağlardan farklı olarak, katmanlar arası bağlantılar tek yönlü değil çift yönlüdür (Şekil 2.23). Bu nedenle bu

tip ağlarda gizli katmanların ya da çıkış katmanının çıkışları bir önceki katmana giriş olarak gönderilmektedir. Böylece bir andaki çıkış hem o andaki giriş hem de bir önceki giriş olarak kullanılır. Bu özelliklerinden dolayı bu tür ağlar tahmin uygulamaları için kullanılmaktadır. Ancak ağdaki bu geri dönüş işlemleri zaman kaybına sebep olabilmektedir. Bu nedenle de daha farklı geri dönüşümlü ağ modelleri geliştirilmektedir (Sağiroğlu ve diğ, 2003).



Şekil 2.23. Geri beslemeli sinir ağlarının basit yapısı (Dere, 2009).

Geri beslemeli ağların yaygın olarak kullanılan çeşitleri başta Elman Ağı olmak üzere, Hopfield, Uyarlanır Rezonans (ART), Öz Örgütlemeli Harita (SOM) Ağları olarak sıralanabilir.

### 2.5.7. YSA Uygulamalarının Geliştirilme Safhaları

Genel anlamda, bir YSA uygulamasının geliştirilme safhaları tasarım, öğrenme/egitime ve test/uygulama olarak üç adımla özetlenebilir.

#### 2.5.7.1. Tasarım

Tasarım, sonuca ulaşılması istenen problemin, tümüyle anlaşılmasının gerekli olduğu önemli bir adımdır. Dikkat edilmesi gereken hususlardan birisi ise, ele alınan problemin ya da uygulamanın YSA modeli çözülmesinin uygunluğudur. Eğer, problem veya

uygulamanın YSA ile çözümü uygun ise, üzerinde çalışılan problem/uygulama için bir YSA mimarisi belirlenir. Daha sonra, yapay sinir ağlarında çözümü aranan problemin giriş ve çıkış katmanında kullanılacak parametreler kesin olarak tanımlanmalıdır. Bu parametreler nitelik ya da miktar ile ilgili olabilir. Sonraki adımda, seçilen ağ mimarisine uygun olacak şekilde giriş ve çıkış değerleri uygun desenlere/değerlere dönüştürülmelidir. Bu işlem, verilerin ikili veya sürekli değerlere dönüştürülmesi ile gerçekleşecektir. Kullanılacak yapay sinir ağı mimarisi ile YSA yapısının diğer unsurlarına tam olarak karar verildikten sonra, gizli katman sayısı ve her bir katmandaki işlem elemanı sayısı belirlenmelidir. YSA'nın en iyi performans gösterdiği, başka bir ifade ile ağ hatasını minimum, öğrenme hızını maksimum yapan optimum veya optimuma yakın katman ve işlem elemanı sayıları deneme/yanılma metodu ile belirlendikten sonra, YSA modeli tasarlanmış olup eğitim için hazır durumdadır (Çağlar, 2001).

#### **2.5.7.2. YSA' da Öğrenme Stratejileri**

Çözümü istenen problem ya da uygulama için ağ mimarisi ve işlem elemanı sayısı kesin olarak belirlendikten sonra, yapay sinir ağlarının en önemli adımlarından biri olan öğrenme işlemi başlatılabilir. Bir sinir ağında öğrenmenin anlamı, ağın çözümü istenen probleme ait doğru çıktıları üretmesi amacıyla optimum ağırlık değerlerinin bulunmasıdır. Ağ boyunca bilginin ağırlıklar şeklinde dağıtılmasından dolayı tek bir bağlantı anlamlı bir bilgi değildir. Başka bir ifade ile anlamlı bir bilgi oluşturmak için işlem elemanlarının meydana getirdiği bir bağlantı grubu gerekir. Problem veya uygulamanın optimum çözümü için seçilen ağ mimarisinin bağlantılarına ait ağırlık değerlerine sahip olması gerekmektedir. Öğrenme safhası, ağırlık değerinin hangi yöntemle değiştirileceğini açıklayan bir öğrenme kuralına dayanmaktadır. Geliştirilmekte olan birçok öğrenme kuralı vardır. YSA yapısıyla ilgili olarak genel anlamda üç tip öğrenme stratejisinden söz edilebilir (Wasserman, 1989).

İlk tip öğrenme stratejisi olarak, denetimli veya öğretmenli öğrenme metodunda, problem ya da uygulamanın tam olarak kavranabilmesi için, girdi ve çıktı parametrelerinin bir öğretici tarafından seçilmesi gerekmektedir. Ağa girdi olarak verilen değer, yukarıdaki adımlardan sonra ağ tarafından çıktı olarak verilecektir. Çıktı olarak ağdan çıkan değer

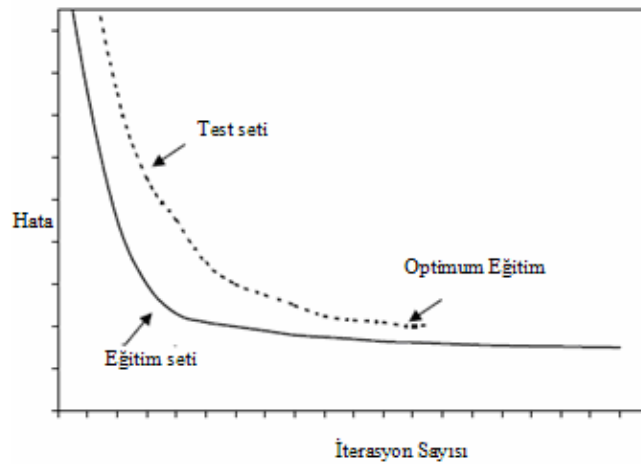


kabul edilebilir hata seviyesine erişinceye kadar, bağlantılardaki ağırlıklar her defasında yeniden ayarlanmalıdır.

Destekli öğrenme metodu ise, yine denetimli öğrenme metoduna benzer olarak bir eğitici gerektirmekte fakat çıktının ne olması gerektiği hususu ağa bildirilmemektedir. Öğretici tarafından ağa bildirilen sadece çıktı değerinin doğru olup olmadığıdır.

Literatürde yaygın olarak kullanılan üçüncü metot olan, öğretmensiz ya da denetimsiz öğrenme stratejisinde bir öğreticiye gerek duyulmamaktadır. Bu ağ mimarisinde, girdi/çıktı eşleştirmesi ağ tarafından yapılmaktadır.

Tipik bir öğrenme safhasında, önceden belirlenmiş olan kabul edilebilir hata oranına erişinceye dek, veriler ağa defalarca gösterilir. Yapay sinir ağlarının çıktı olarak üretmiş olduğu değer ile istenen çıkış değeri arasındaki hata oranı, önceden belirlenen bir sınırdan az ise ağ mimarisinin problem veya uygulamayı öğrendiği kabul edilir (Şekil 2.24).

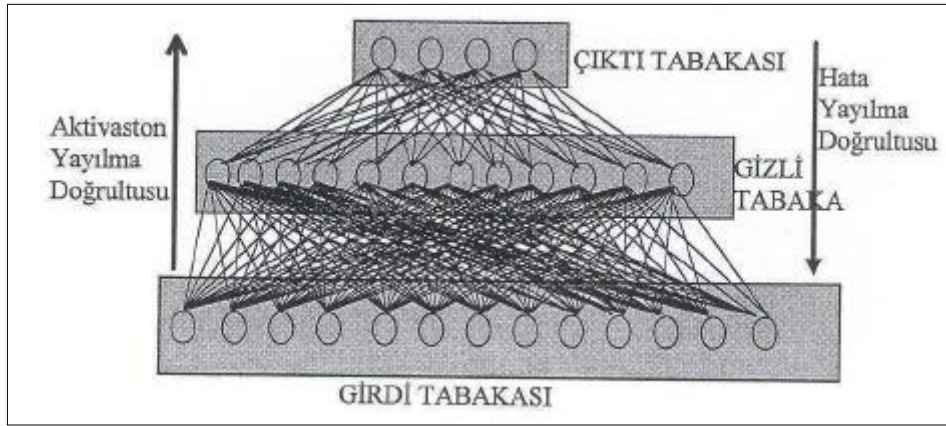


Şekil 2.24. Eğitim ve test seti için hata oranını gösteren tipik bir eğitim eğrisi (Küyük, 2005).

Genel anlamda kullanılan tipik bir yapay sinir ağı modeli, girdi katmanı, bir veya birden fazla gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere en az üç veya daha fazla katmandan oluşur. Ağ mimarisinde bulunan herhangi bir katmandaki işlem elemanları, bir önceki ve bir sonraki katmanlarla ilişkili olmakta olup, bir önceki katman elemanları bir sonraki katmanda bulunan elemanlara sadece girdi gönderebilirler. Aynı katmanda bulunan elemanların birbirleriyle ilişkisi söz konusu değildir (Çağlar, 2001).

### 2.5.7.2.1. Geriye Yayılma Öğrenme Algoritması

Seçilen ağ mimarisinin çıkışında elde edilen hatanın minimize edilerek ağ ağırlıklarının buna göre değiştirilmesi geriye yayılma öğrenme algoritmasının temel prensibidir. Bu tip yapay sinir ağlarında işlem elemanları (nöronlar) tabakalar halinde düzenlenmiştir. Şekil 2.25'den görüleceği ve tezin önceki bölümlerinde de açıklandığı üzere, her bir yapay sinir ağı modeli girdi, gizli ve çıktı olmak üzere en az üç katmandan oluşmaktadır.



Şekil 2.25. Geriye yayılma yapay sinir ağı modelinin genel yapısı (Elmas vd., 1998).

Hatayı geriye yayma ağ modeli veya başka bir ifade ile geriye yayılma öğrenme algoritması yedi öğrenme adımından oluşmakta olup, bunlardan ilk dördü ileri, son üç adım ise geriye doğru işlem adımlarıdır.

Bu adımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Ağ yapısının tanımlanması: Girdi, çıktı, ara katman ve ara katman eleman sayısı belirlenir.
2. Başlangıç ağ parametrelerinin belirlenmesi: Seçilen ağ mimarisinde kullanılacak olan ağırlık ve bias'lar belirlenir.
3. Öğrenme setinin ağa tanıtılması: Problemin veya uygulamanın çözümünde kullanılacak olan girdi ve çıktılardan oluşan bir öğrenme seti ağa tanıtılır.

4. Ağın son çıktısının bulunması: Ağ mimarisinde kullanılan her bir işlem elemanı için toplam girdi ve transfer değerleri hesaplanarak ağın son çıktısı bulunur.

5. İstenen sonuç ile ağ çıktısı arasındaki hata hesaplanır.

6. Aradaki hatanın çıktı katmanından başlamak üzere geriye doğru bağlantı ağırlıklarına dağıtılır.

7. Eğer hata kabul edilebilir sınırlar içinde ise işlem durdurulur, aksi halde 3. adıma geri dönlür.

### **2.5.7.3. Test/Uygulama**

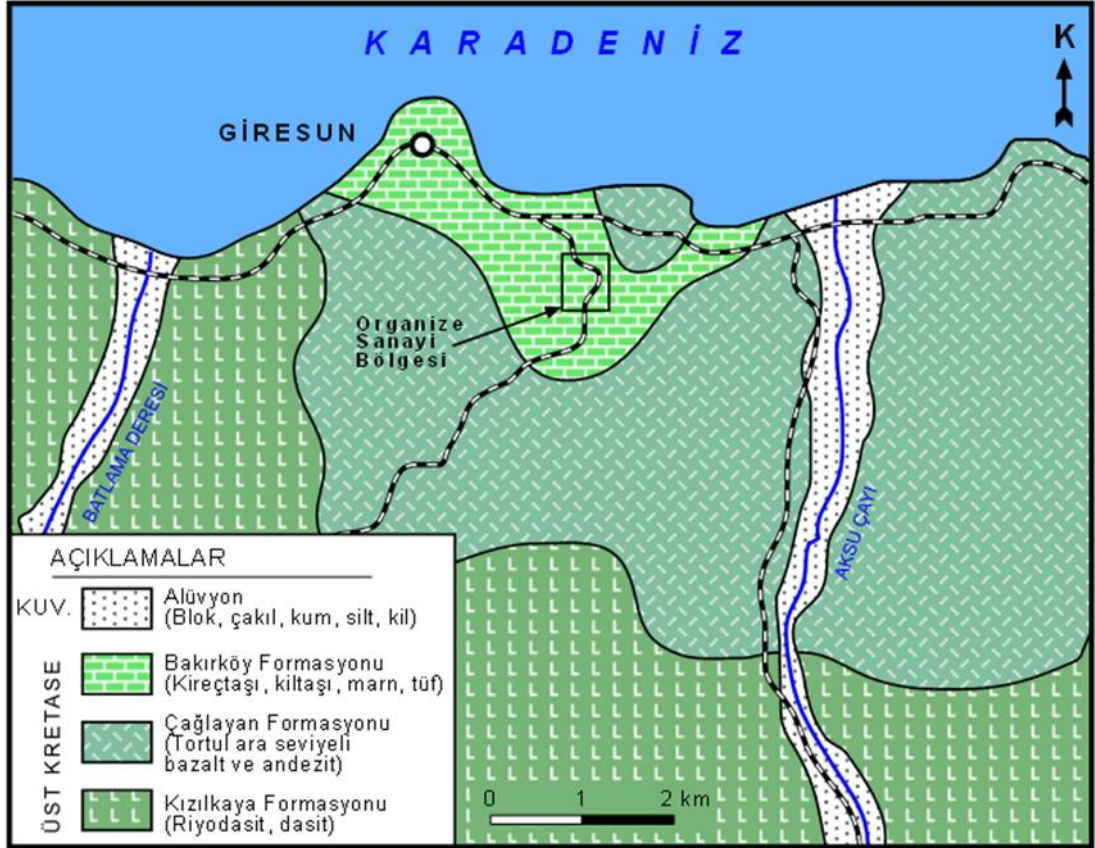
Bu adımda, seçilmiş olan ağ mimarisi, başarılı bir şekilde eğitildikten sonra, ağ mimarisinin eğitim esnasında edinmiş olduğu bilgilerden hareketle, YSA' nın daha önce hiç karşılaşmadığı durumlar için genelleme yapar. Test işlemi sonucunda, YSA' nın üretmiş olduğu sonuçlar ile çözümü istenen problem/uygulama için istenen sonuç arasındaki hata oranı, kabul edilebilir sınırlar içinde ise, kullanılan YSA' nın güvenilirliği onaylanmış olur. Aksi halde seçilmiş olan ağ mimarisi değiştirilerek eğitim ve test adımları tekrarlanmalıdır. Problem/uygulamanın çözüm aralıklarını daha iyi temsil edecek şekilde eğitim setinin seçilmesi ve ağ mimarisinin problemi daha iyi kavraması için eğitim setinin artırılması, en iyi sonucu elde etmek açısından oldukça önemlidir.

### **2.6. Arazi Çalışmaları**

Bu araştırma çerçevesinde YSA yöntemiyle bazı heyelanların stabiliteleri hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda üç farklı heyelanda zeminlerin  $V_p$ ,  $V_s$  hızları ve bazı zemin parametreleri (Birim Hacim Ağırlığı ( $\gamma$ ), kohezyon ( $c$ ), içsel sürtünme açısı ( $\phi$ )) belirlenerek YSA yöntemi ile güvenlik sayısı hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, Giresun Organize Sanayi Bölgesi'nde meydana gelen iki heyelan sahasında ve Araklı-Yiğitözü heyelan sahasında jeofizik ölçüler ve numune alınarak heyelanların sismik hızları arazi ölçümleri ile bazı zemin parametreleri de laboratuvarında belirlenmiştir.

### 2.6.1. Giresun Organize Sanayi Heyelanlarının Tanıtımı ve Genel Jeolojisi

Giresun Organize Sanayi Heyelanlarının bulunduğu çalışma sahasında üst kretase yaşlı Bakırköy, Çağlayan ve Kızılkaya Formasyonları yer alır (Şekil 2.26).



Şekil 2.26. Giresun Organize Sanayi Bölgesi jeoloji haritası

Bakırköy Formasyonu: İnceleme alanındaki volkanik ve volkano-tortul istifleri üstleyen türbiditik fasiyes çökeltileri Güven (1993) tarafından Bakırköy (Artvin) yöresinde adlandırılmıştır. Formasyon kuzey zonda yer alır.

Trabzon G - GB'sında Hacımehmet, Aktoprak, Uğurlu ve Gürbulak Köyleri civarında, inceleme alanının GD' sundaki Polut Dağı eteklerinde yaygın yüzeylenimleri bulunan formasyonun kalınlığı 200-250 m dolayındadır.

Genel olarak killi, kumlu kireçtaşı, marn, şeyl ve az oranda kumtaşı ardalanmasından oluşan formasyon doğuya doğru kumlu kireçtaşı ve resifal kireçtaşlarından oluşan Ağıllar Formasyonu ile yanal geçişlidir.

Formasyonu oluşturan litofasiyelerin ince tabakaları ve yerel kayma yapıları eğimleri bir taban üzerinde çökeldiği gösterir.

Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu tarafından açısız uyumsuz olarak örtülen Bakırköy Formasyonunda, Maastrichtiyen-Alt Paleosen yaşını belgeleyen fosil formları bulunur.

Çatak Formasyonu: Neritik kireçtaşları (Berdiga formasyonu) üzerine uyumlu olarak gelen bazik karakterli volkano-tortul istif Maçka ilçesinin güneyindeki Çatak Köyü civarında tipik olarak gözlemlendiğinden Güven (1993) tarafından Çatak Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Üst Kretase dönemi boyunca Doğu Pontidler'in kuzey zonunda gelişen aktif volkanizma sonucu bazik ve asidik karakterli lavların düzenli ardalanmasının oluşturduğu kalın bir volkano-tortul istif birikmiştir. Bu istifin ilk evreli bazik lavları Çatak, asidik lavları Kızılkaya, ikinci evreli bazik lavları Çağlayan, asidik lavları Çayırbağ formasyonlarını oluşturur. İnceleme alanının orta kesimindeki KD-GB eksenli antiklinalin çevresini saran formasyonunun kalınlığı yaklaşık 900 m dir.

Birim başlıca bazalt, andezit lav ve piroklastları ile kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşı tabaka veya seviyelerinin ardalanmasından oluşur.

Birimin lav, tuf ve breşlerden oluşan volkanik seviyeleri koyu gri, yer yer siyah, ayrıştığında kahve renklidir. Lavlar genel olarak kırıklı, çatlaklı ve boşluklu olup etkin şekilde ayrışmış ve kloritleşmiştir. Breş ve aglomeralar içinde tortul kaya çakıl ve blokları bulunabilir. Kurşuni gri renkli kumtaşı, marn ve şeyller düzenli ince tabakalanmalıdır. Bazı kesimlerde kırmızı-bordo renkli mikritler ve rekristalize kireçtaşları yaygındır.

Asidik karakterli lavlardan oluşan Kızılkaya Formasyonu ile uyumlu olarak örtülen Çatak Formasyonu tektonik hareketliliğe bağlı olarak parçalanan ve aktivite kazanan karbonat platformu üzerinde çökelmiştir.

Kızılkaya Formasyonu: Çatak Formasyonunu üstleyen asidik karakterli lav ve piroklastlar Güven (1993) tarafından Kızılkaya formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim kuzey zonda yer alır.

Maçka ilçe merkezinin kuzeydoğusunda Yomra-Kayabaşı ve Arsin-Harmanlı Köyleri güneyinde yüzeylenen birim 150-200 m kalınlığındadır.

Kızılkaya Formasyonu, çoğunlukla riyodasidik-dasidik lav ve piroklastlardan oluşur. Çatak formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen lavlar, genellikle sarımsı ayrışmalı gri renkli ve prizmatik kolon yapıları ile dikkati çekerler. Yersel çok iri kuvarslı porfiritik dokulu ve akma yapılarıdır. Yer yer düzgün tabakalanma gösteren tuf, aglomera ve breş seviyeleri formasyonun üst seviyeleri içinde daha yaygındır.

Yersel alterasyon zonları kapsayan Kızılkaya Formasyonu inceleme alanı ve tüm Doğu Karadeniz Bölgesi metalojenik provensi içinde yaygın olarak bulunan volkanojen polimetalik masif sülfid yataklarının oluşumunda rol oynayan önemli bir formasyondur.

Çağlayan Formasyonu: Asidik volkanitleri üstleyen ikinci evreli bazik karakterli volkanit, volkanoklastik ve çökel kaya ardalanmasının oluşturduğu volkano-tortul istif Güven (1993) tarafından Çağlayan formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim kuzey zonda yer alır.

Çağlayan Köyü civarında tipik yüzeylemeleri bulunan formasyon, Maçka kuzeyinde Değirmendere vadisi boyunca, Arsin-Yomra güneyinde Kayabaşı ve Harmanlı Köyleri çevresinde ve Dağbaşı Köyünün güneyinde yaygın olarak izlenir. Birimin kalınlığı 800 m kadardır.

Formasyonun egemen kaya türünü oluşturan bazalt, andezit lav ve piroklastlarının arasında kumtaşı, marn ve kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşı ara seviyeleri bulunur.

Genellikle koyu renkli olan lavlar yersel sert, kırıklı ve çatlaklıdır. Boşluklar ikinci kalsit veya kloritle doldurulmuştur. Mikroskop altında porfirik dokulu olan lavlarda zonlu yapı gösteren plajiyoklas fenokristalleri ile plajiyoklas mikrolitleri, çok bol klorit ve opak minerallerin (FeO) oluşturduğu bir hamur dikkati çeker. Kloritleşme ve epidotlaşmanın yaygın olduğu lavlarda yer yer iyi gelişmiş yastık yapıları görülür.

İyi tabakalanmalı tuf ve breşler içinde lav parçaları yanında kırmızı kireçtaşı ve killi kireçtaşlarının parçaları da izlenir. Kumtaşları çoğunlukla volkanik elemanlıdır.

Formasyon aralı volkanizmanın etkin olduğu derin bir ortamda çökelmiştir.

Çağlayan Formasyonu ikinci evreli riyolit-riyodasit lav ve piroklastlarından oluşan Çayırbağ Formasyonu tarafından uyumlu olarak üstlenir. Bu asidik karakterli lavların bulunmadığı alanlarda ise birbirleri ile yanal geçişli Bakırköy veya Ağıllar Formasyonunun Çökelleri Çağlayan Formasyonunun uyumlu örtüsüdür (Güven, 1998).

#### 2.6.1.1. Giresun Organize Sanayi Heyelanları' nın Arazi Verilerinin Toplanması

Giresun Organize Sanayi Bölgesi Giresun ilinin 4 km güneydoğusunda bulunmaktadır (Şekil 2.27). 2011 yılında meydana gelen heyelan nedeniyle Organize Sanayi Bölgesinde bazı yapısal hasarlar oluşmuştur (Şekil 2.28). Yapılan ön incelemelerden bu bölgedeki heyelanın tek olmadığı tespit edilmiş ve hasar gören fındık fabrikasının yanında ve tekstil fabrikasının üst tarafında olmak üzere iki heyelan sahasında sismik kırılma ve yüzey dalgası ölçümleri alınmıştır (Şekil 2.28).



Şekil 2.27. Giresun Organize Sanayi Bölgesinin lokasyonu ve genel görünümü



Şekil 2.28. Giresun Organize Sanayi Bölgesi heyelan alanının ve ölçü alınan profillerin görünümü (sağda birinci profil, solda ise ikinci profil görülmektedir).

#### 2.6.1.1.1. Giresun Organize Sanayi Bölgesi Heyelan Sahasında Sismik Kırılma Ölçümü

İki ayrı heyelan sahasında yeraltı yapısını ve  $V_p$  hızlarını belirlemek amacı ile birer profil sismik kırılma ve yüzey dalgası ölçüleri alınmıştır. Sismik kırılma ve yüzey dalgası ölçümleri için Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümüne ait olan Geometrics marka ES-3000 araştırma sismografi kullanılmış, toplanan veriler SeisImager programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Sismik kayıtlar beş noktadan olmak üzere (iki tane baştan, ortadan ve iki tane sondan), yer ile teması iyi sağlanmış düşey demir bir levhanın üzerine balyoz yardımıyla



vurularak elde edilmiştir. Yer altında yayılan dalgalar yer ile teması iyi sağlanmış 14 Hz' lik 12 tane düşey bileşen alıcı kullanılarak kaydedilmiştir.

#### **2.6.1.1.2. Giresun Organize Sanayi Heyelanları' nın Yüzeysel Dalgası Verilerinin Toplanması**

Giresun Organize Sanayi Bölgesinde yapılan arazi çalışmasında yüzeysel dalgalarının çok kanallı analiz yöntemini kullanmak suretiyle kesme dalgası hızları belirlenmiştir. Enerji kaynağı olarak balyoz ve demir bir plaka kullanılmıştır. Yüzeysel dalgası ölçümleri sismik kırılma ölçümleri ile aynı hatlar üzerinde yapılmıştır. Çalışmada 12 adet 4,5 Hz' lik jeofonlar kullanarak, aynı profilde kaynak noktası sabit kalmak üzere, bir atıştan sonra 12 adet serilmiş alıcılar 13-14 nolu alıcılar olacak şekilde ilerletilerek serilmiş ve yeniden atış yapılarak kayıt alınmıştır. Aynı atış için iki 12 kanal kaydı birleştirilerek 24 kanallı kayıt alınmıştır. Ölçümlerden elde edilen sismik kayıtlara 2 boyutlu Fourier dönüşümü uygulamak suretiyle dispersiyon eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen dispersiyon eğrilerine doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemini temel alan ters çözüm uygulamak suretiyle yeraltı yapısı ve 1 boyutlu S dalgası hızları elde edilmiştir.

#### **2.6.2. Araklı-Yiğitözü Heyelanı Tanıtımı ve Genel Jeolojisi**

Araklı ilçesinin merkez köyü olan Yiğitözü köyünde (Şekil 2.29) 2006 yılında bir evin yıkılmasına sebep olan bir hareket yetkililere bildirilmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde olayın bir heyelan olduğu belirlenmiştir. Bölgede iskân edenlere terk etmeleri söylenmiştir. Olay gerçekleşirken can kaybı olmamıştır.



Şekil 2.29. Araklı-Yığıtözü heyelanı yer bulduru ve jeoloji haritası (Demirbaş, 2008).

Pontit Tektonik Birliği'nde yer alan Araklı-Yığıtözü alanında büyük ölçekli, kıvrımlı yapılar gelişmemiştir. Bölgede genellikle kırık tektoniği egemen olup, yaklaşık KD-GB doğrultulu büyük ölçekli faylar gelişmiştir. İnceleme alanının da içinde yer aldığı Pontit'ler, Erken Alpin dönemine ait Avusturya, Orta Alpin dönemine ait Anadolu ve Geç Alpin dönemine ait aktif tektonik fayların etkisinde kalmıştır.

Granitik kayaçların yerleşimi de orojenik faaliyetlerle ilişkili olup, Kaçkar Granitoidi (Rize Plütönu)'nin yerleşimi Üst Kretase sonlarında (veya Paleosen) başlayıp, Eosen sonlarında da (veya Oligosen) devam etmiştir. Liyas'ta başlayarak Üst Kretase sonlarına kadar periyotlar halinde gelişimini sürdüren volkanik faaliyet, denizaltı volkanizması şeklinde olup, çökel ara katkılarla birlikte istiflenme gösterirler. Lavlarda genellikle yastık lav yapıları izlenir. Eosen döneminde yeniden hareketlenen volkanizma

etkin bir şekilde devam eder. Denizaltı ortamında yayılma nedeni ile volkano-tortul bir istif yapısı gelişmiştir. Pliyosende görülen genç volkanizma andezit breşler, volkanik çakıl taşları, hornblent-ojit-andezit, bazaltlardan oluşan volkanik seriyi verir.

Yiğitözü çalışma alanında Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu ile Pliyosen yaşlı Beşirli Formasyonu yüzeyleir. Bu birimlerinde üzerinde Karadere vadisinde izlenen alüvyonlar yer alır (Demirbaş 2008).

### **2.6.2.1. Araklı-Yiğitözü Heyelanı Sismik ve Yüzey Dalgası Ölçümleri**

Araklı-Yiğitözü heyelan alanının eğimine dik olarak 8 profil boyunca sismik kırılma yöntemi uygulanmış ve yer altına ait olan P dalgası hızları ve derinlik bilgileri elde edilmiştir. Ölçüler 12 adet 14 Hz düşey bileşenli alıcılar kullanılarak alınmıştır. Bu atışlarda elde edilen veriler SeisImager bilgisayar programı ile değerlendirmiştir.

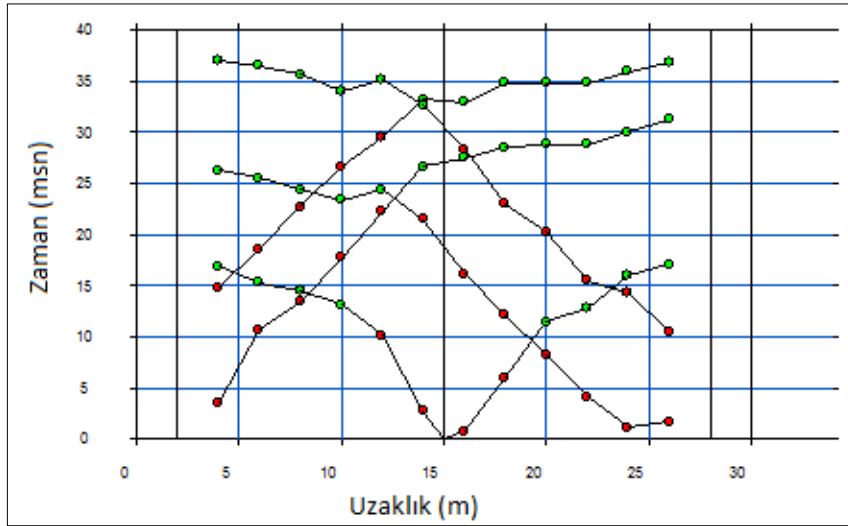
Araklı-Yiğitözü heyelan alanında S dalgası hızlarını elde etmek için yüzey dalgası çok kanallı analiz yöntemi kullanılarak 8 profil boyunca heyelanın eğimine dik olarak ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümler SeisImager bilgisayar programı ile değerlendirilmiş ve heyelan alanına ait S dalgası hız profili bir boyutlu olarak elde edilmiştir. Yüzey dalgası ölçümleri P dalgası ölçümleri ile aynı hatlar üzerinde yapılmıştır. Çalışmada 12 adet 4,5 Hz' lik düşey bileşenli alıcılar kullanılmıştır. Ölçümlerden elde edilen sismik kayıtlara 2 boyutlu Fourier dönüşümünü uygulamak suretiyle dispersiyon eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen dispersiyon eğrilerine doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemini temel alan ters çözüm uygulamak suretiyle 1 boyutlu S dalgası hızları elde edilmiştir (Demirbaş, 2008).

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

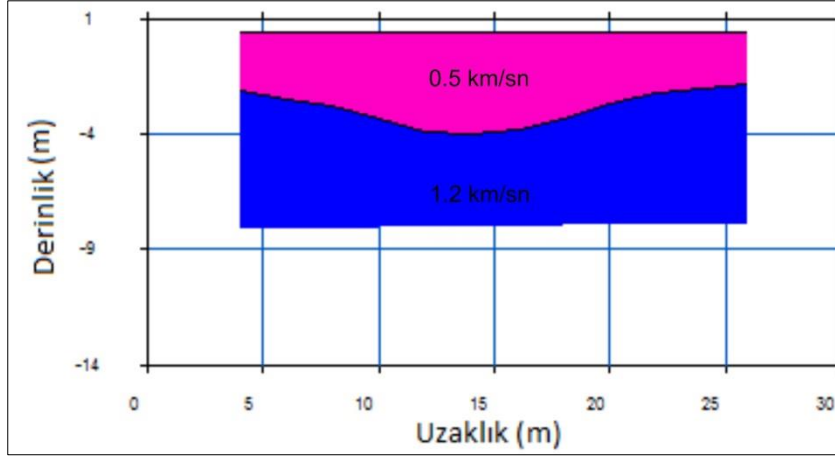
#### 3.1. Giresun Organize Sanayi Heyelanlarının Arazi Verilerinin Değerlendirilmesi

##### 3.1.1. Giresun Organize Sanayi Heyelanlarının Sismik Kırılma Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Giresun Organize Sanayi Bölgesinde sismik kırılma ölçümü alınmıştır. Birinci profil heyelandan zarar gören fabrikanın hemen yanında alınmış olup ofset 4 m ve alıcı aralıkları 2 m olarak belirlenmiş, beş atış yapılmıştır. Atış kayıtları üzerinde ilk varış noktaları okunarak Şekil 3.1’ de görülen zaman-uzaklık grafiği elde edilmiştir. Elde edilen bu grafik üzerindeki doğruların eğimlerinin tersinden  $V_p$  hızları hesaplanmış ve gecikme zamanı yöntemiyle yeraltı yapısı belirlenmiştir (Şekil 3.2). Birinci profilde çok sık ve düşük hızlı bir örtü tabakası ( $V_p=0.5$  km/sn) ve onun altında  $V_p=1.2$  km/sn hızına sahip daha az ayrılmış kil-marn karışımı ikinci tabaka görülmektedir. Örtü tabakasının derinliğinin profil boyunca 2-4 m arasında değiştiği gözlenmektedir. Örtü tabakasının kalınlığı profilin baş ve son kısımlarında yaklaşık 2 m, orta kısmında ise 4 m olarak gözlenmiştir.

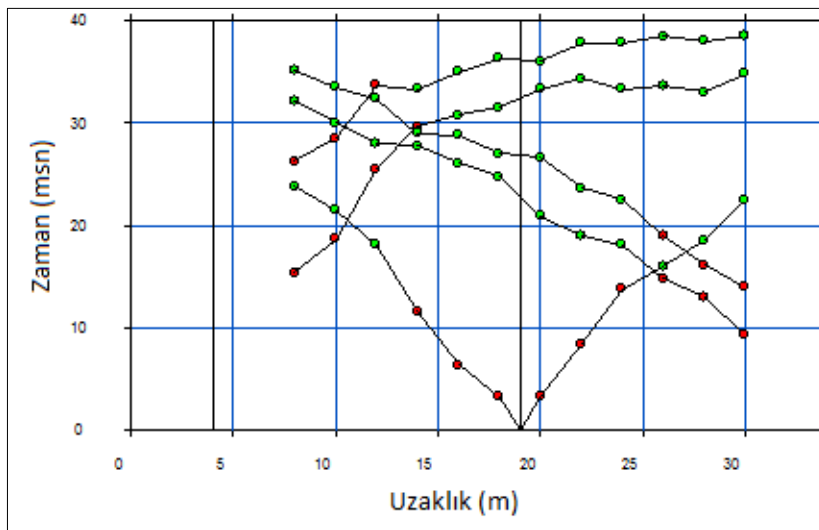


Şekil 3.1. Birinci profile ait P-dalgası ilk varışları zaman-uzaklık grafiği

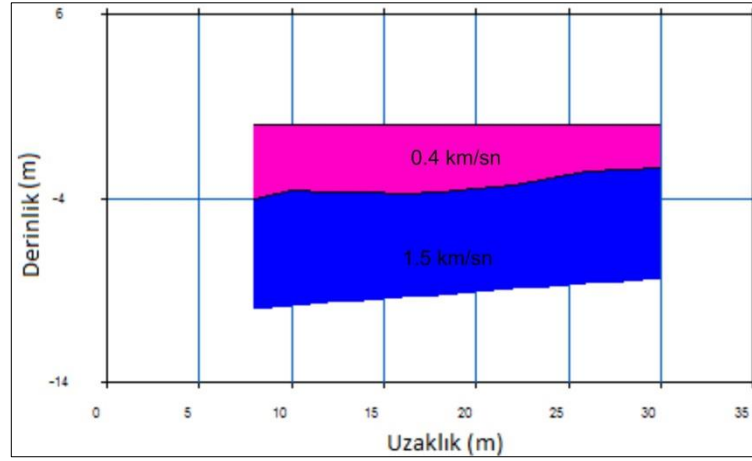


Şekil 3.2. Birinci profilden hesaplanan yeraltı modeli ve P-dalgası hızları

İkinci profil ölçüsü tekstil fabrikasının üst tarafında fabrikaya paralel bir şekilde alınmıştır. Ofset 8 m ve alıcı aralıkları 2 m olarak belirlenmiş, beş atış yapılmıştır. Atış kayıtları üzerinde P-dalgası ilk varış noktaları okunarak Şekil 3.3' de görülen zaman-uzaklık grafiği elde edilmiştir. Elde edilen bu zaman-uzaklık grafiği üzerindeki doğruların eğimlerinin tersinden  $V_p$  hızları hesaplanmış ve gecikme zamanı yöntemiyle yeraltı yapısı belirlenmiştir (Şekil 3.4). Bu profile örtü tabakası için daha düşük bir hız değeri ( $V_p=0.4$  km/sn) ve onun altında  $V_p=1.5$  km/sn hızına sahip daha az ayrılmış genel olarak killi ve kil-silt karışımı ikinci tabaka elde edilmiştir. Örtü tabakasının derinliğinin profil boyunca aynı şekilde 2-4 m arasında değiştiği gözlenmektedir.



Şekil 3.3. İkinci profile ait P-dalgası ilk varışları zaman-uzaklık grafiği



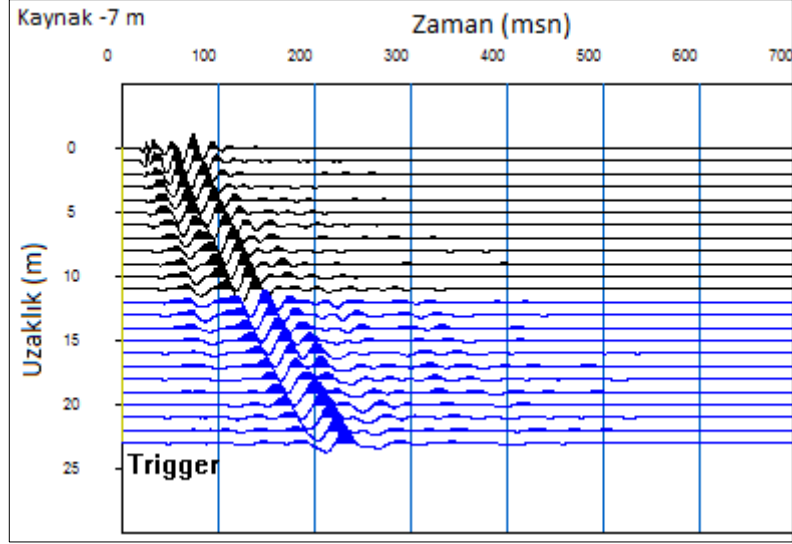
Şekil 3.4. İkinci profilde hesaplanan yeraltı yapısı ve P-dalgası hızları

### 3.1.2. Giresun Organize Sanayi Heyelanlarının Yüzey Dalgası Verilerinin Değerlendirilmesi

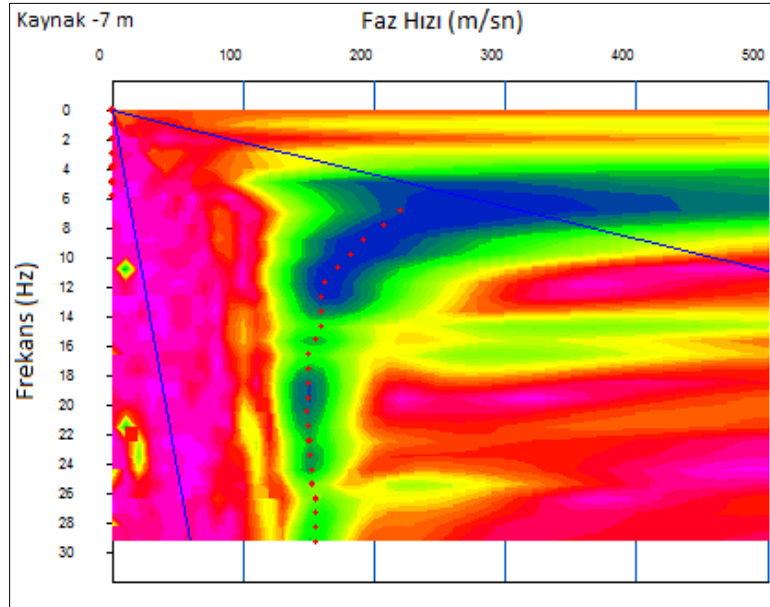
Giresun Organize Sanayi Bölgesinde sismik kırılma ölçümlerinin alındığı aynı hatlar üzerinde birer profil yüzey dalgası ölçümleri alınmıştır. Birinci profil ölçüsü heyelandan zarar gören fındık fabrikasının hemen yan tarafında alınmıştır. Kaynak alıcı ofseti 7 m ve alıcı aralığı 1.5 m alınmıştır (Şekil 2.28). Örneklem aralığı 0.5 msn seçilerek, 1 sn süreyle kayıtlar alınmış ve kayıtların yüzey dalgalarının çok kanallı analiz yöntemi ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 3.5' de yapılan ölçüm sonucu elde edilen sismik kayıt görülmektedir. Birinci profilde sıg (2-4 m) bir örtü tabakası ve onun altında 6-8 metre derinliğe kadar inen daha az ayrılmış bir tabaka mevcuttur. Kayıta hakim yüzey dalgalarında açık bir dispersiyon görülmektedir.

Şekil 3.6' da elde edilen verinin faz hızı-frekans kesiti görülmektedir. Şekil 3.7 üzerinde temel mod açıkça görülmekte ve diğer modlardan ayrımı kolaylıkla yapılabilmektedir. Şekil 3.7' deki frekans ortamındaki verinin maksimum genliklerin pik noktalarını işaretlemek suretiyle Şekil 3.8' de görülen dispersiyon eğrisi elde edilmiştir. Şekil 3.8'deki dispersiyon eğrisinin genel karakteristiğinden de hız değişiminin olmadığı açıkça görülmektedir. Elde edilen dispersiyon eğrisine yinelemeli bir çözüm uygulanır. Bu çözümde önce düz çözüm uygulanarak bir başlangıç modeli belirlenir. Başlangıç modelini program dispersiyon eğrisinin genel karakteristiğinden ve atış kaydı üzerindeki yüzey dalgası paketinin görünür hızını dikkate alarak oluşturur. Daha sonra bu başlangıç modeline doğrusal olmayan ters çözüm yöntemi uygulanarak bir boyutlu kesme dalgası

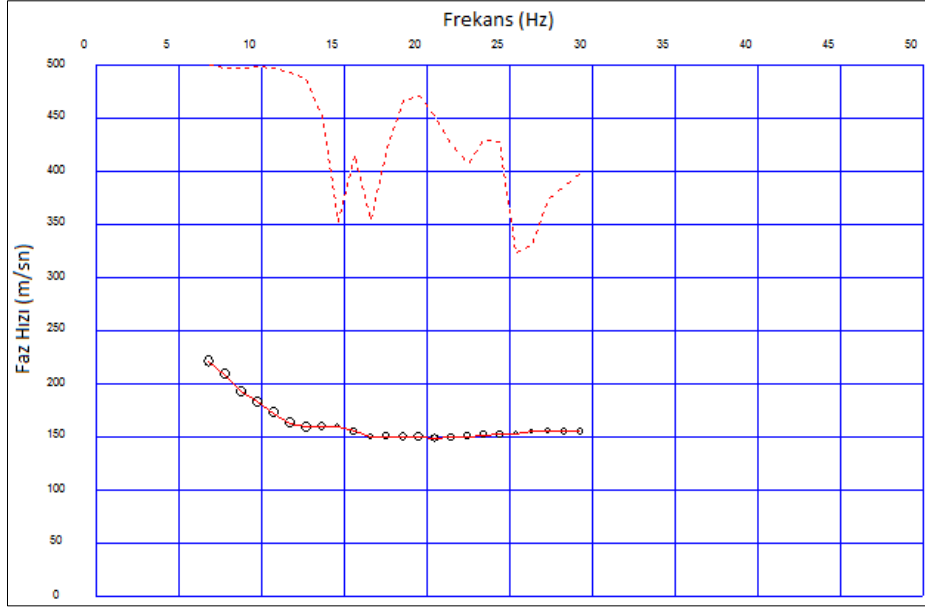
hız-derinlik modeli elde edilir (Şekil 3.8). Bu tür çalışmalarda başlangıç modeli ne kadar iyi oluşturulursa sonuç o kadar iyi olacaktır. Son adımda ise hesaplan dipersiyon eğrisi ile teorik eğrinin çakışmasına çalışılır (Şekil 3.9). Eğer çakışma sağlandıysa işlem tamamlanmış olur. Eğer çakışma sağlanmadıysa başlangıç parametreleri değiştirilir ve işlem tekrarlanır. Bu işlem en iyi çakışma sağlanana kadar devam eder.



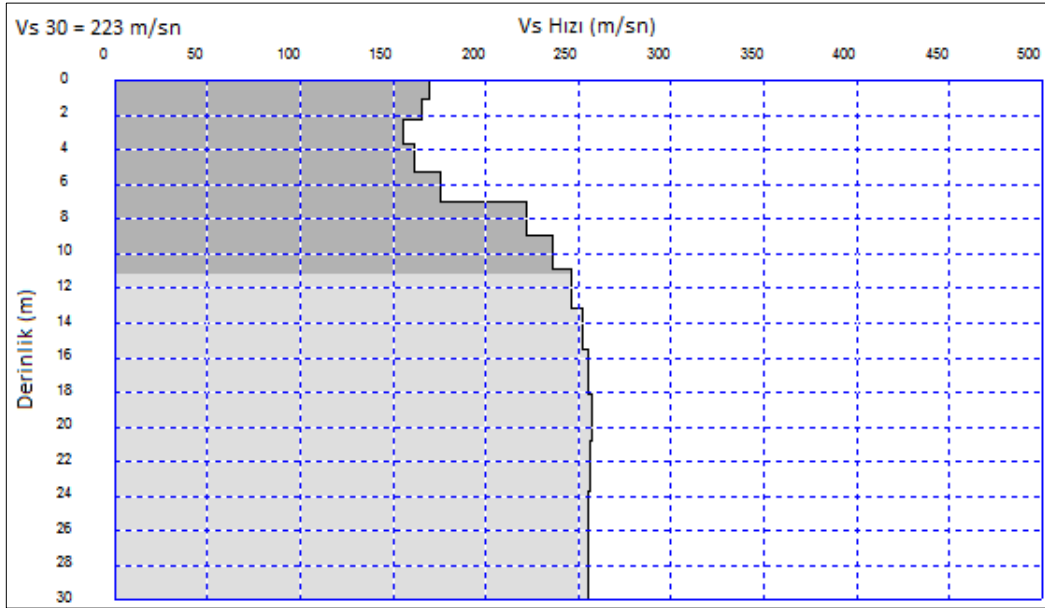
Şekil 3.5. Birinci profilden elde edilen yüzey dalgası ölçümü atış kaydı



Şekil 3.6. 1. Profil atış kaydının frekans-faz hızı haritası

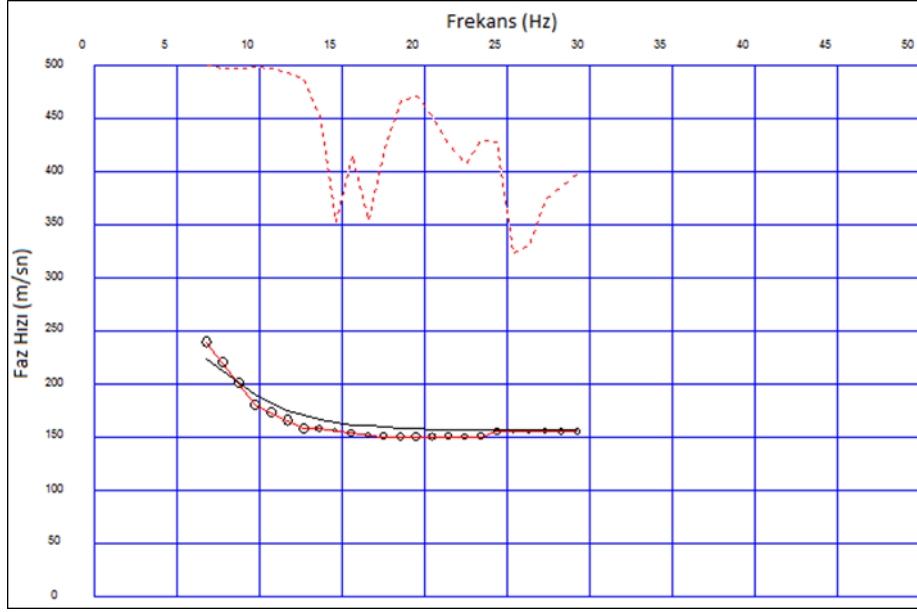


Şekil 3.7. Frekans-faz haritasından işaretlenen dispersiyon eğrisi



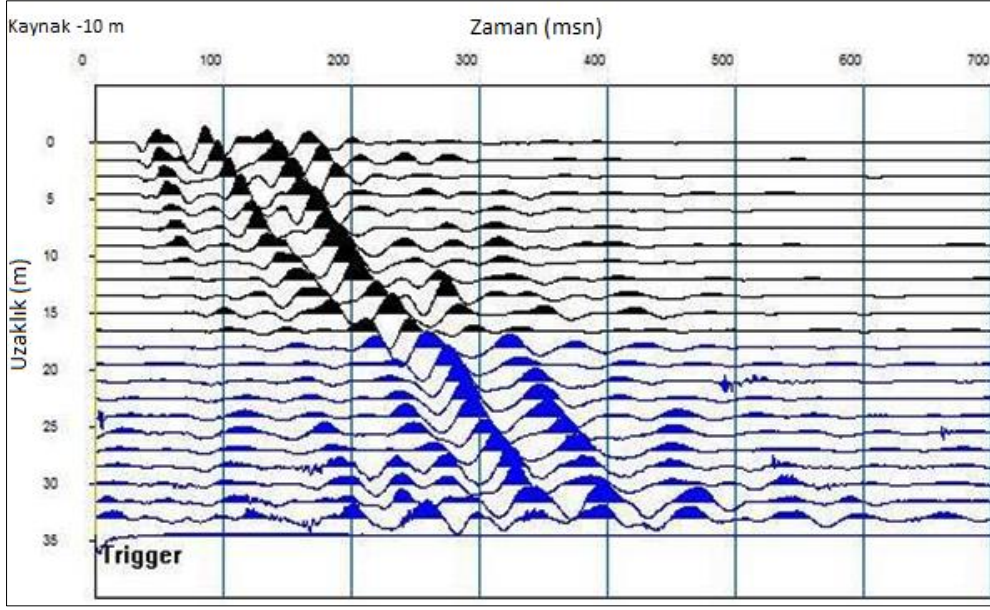
Şekil 3.8. 1. Profile ait 1-boyutlu kesme dalgası hız-derinlik profili



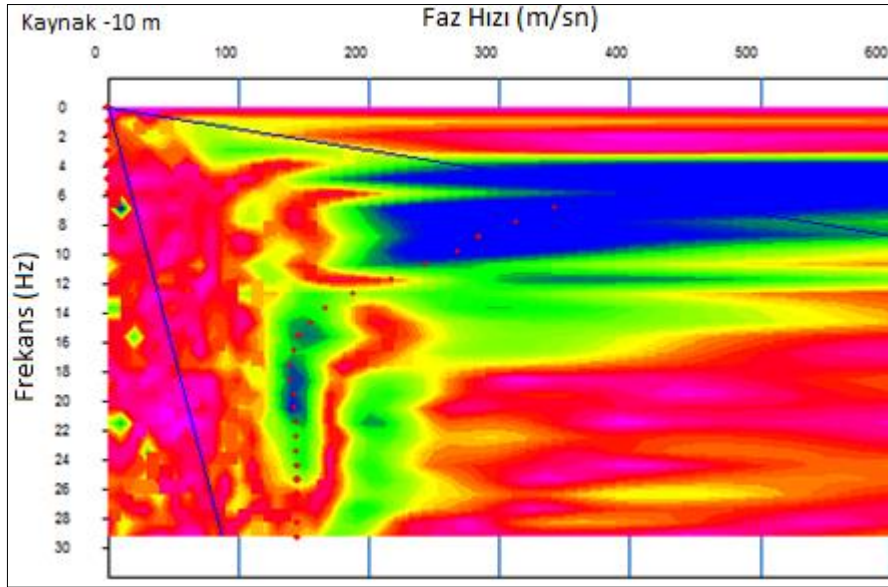


Şekil 3.9. Ölçülen ve hesaplanan dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması

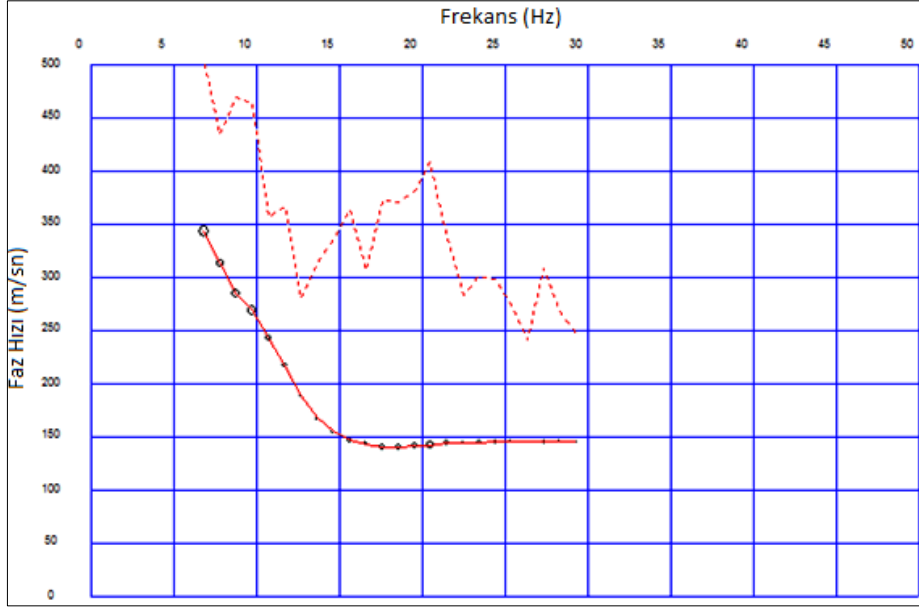
İkinci profil yüzey dalgası ölçüsü tekstil fabrikasının hemen üst tarafında alınmıştır. Kaynak alıcı ofseti 10 m ve alıcı aralığı 1.5 m alınmıştır. Örnekleme aralığı 0.5 msn seçilerek 1 sn süreyle kayıtlar alınmış ve kayıtların yüzey dalgalarının çok kanallı analiz yöntemi ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 3.10' da yapılan ölçüm sonucu elde edilen sismik kayıt görülmektedir. İkinci profilde de sığ (2-4 m) bir örtü tabakası ve onun altında da kil-silt karışımı ikinci bir tabaka mevcuttur. Şekil 3.11' de elde edilen verinin faz hızı-frekans haritası görülmektedir. Şekil 3.11' deki frekans ortamındaki verinin maksimum genliklerin pik noktalarını işaretlemek suretiyle Şekil 3.12'de görülen dispersiyon eğrisi elde edilmiştir. Dispersiyon eğrisinden  $V_s$  hızının elde edilmesine kadar yapılan işlemler birinci profildeki adımlarla aynıdır. Sismik kırılma ile 4 m'ye kadar örtü tabakası olduğu tespit edilmiş ve bu örtü tabakasının hesaplanan 1-boyutlu kesme dalgası hız-derinlik modelinde 4 m civarında olduğu de gözlenmiştir (Şekil 3.13).



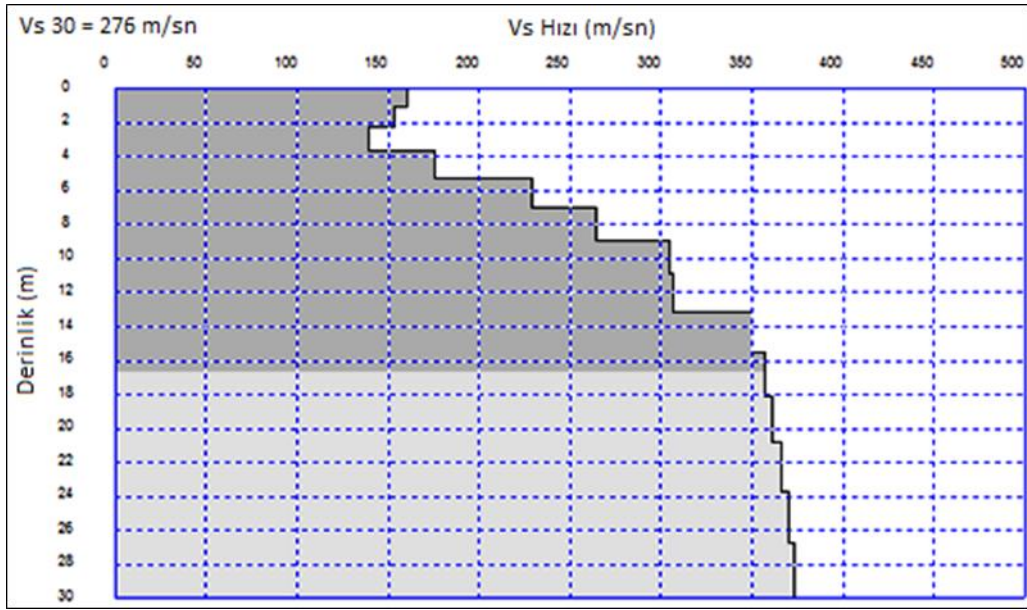
Şekil 3.10. İkinci profilden elde edilen yüzey dalgası ölçümü atış kaydı



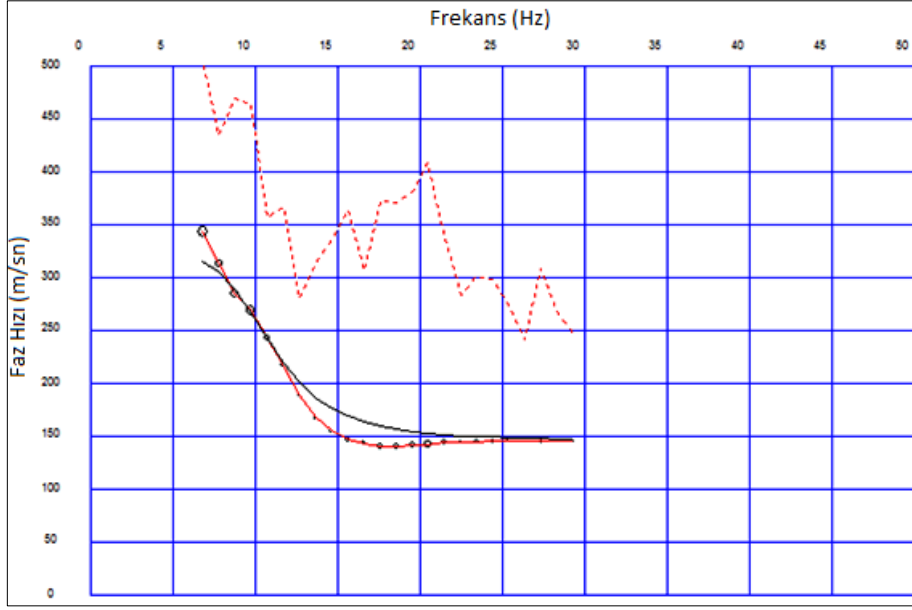
Şekil 3.11. 2. Profil atış kaydının frekans-faz hızı haritası



Şekil 3.12. Atış kaydından elde edilen dispersiyon eğrisi

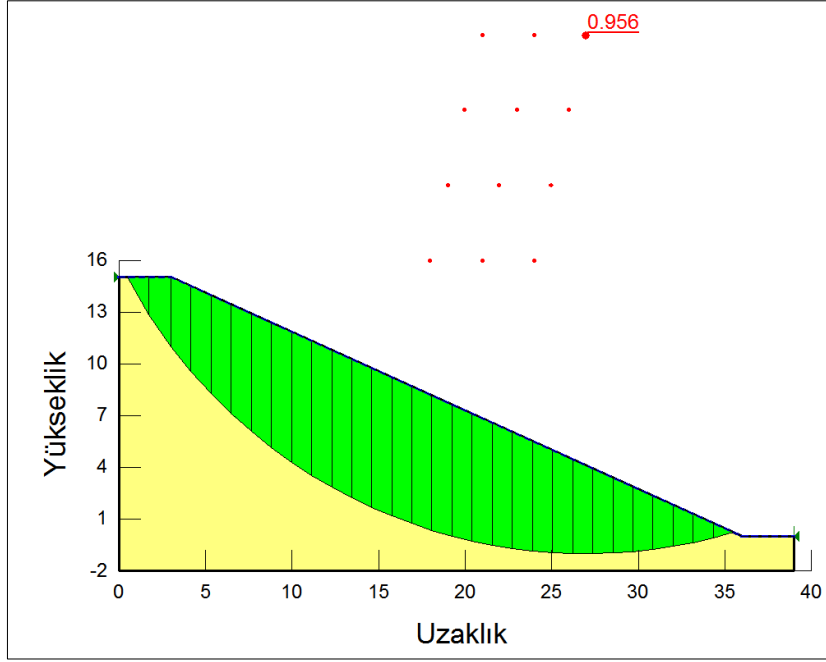


Şekil 3.13. Yüzey dalgalarından hesaplanan 2. Profile ait 1-boyutlu kesme dalgası hız-derinlik modeli

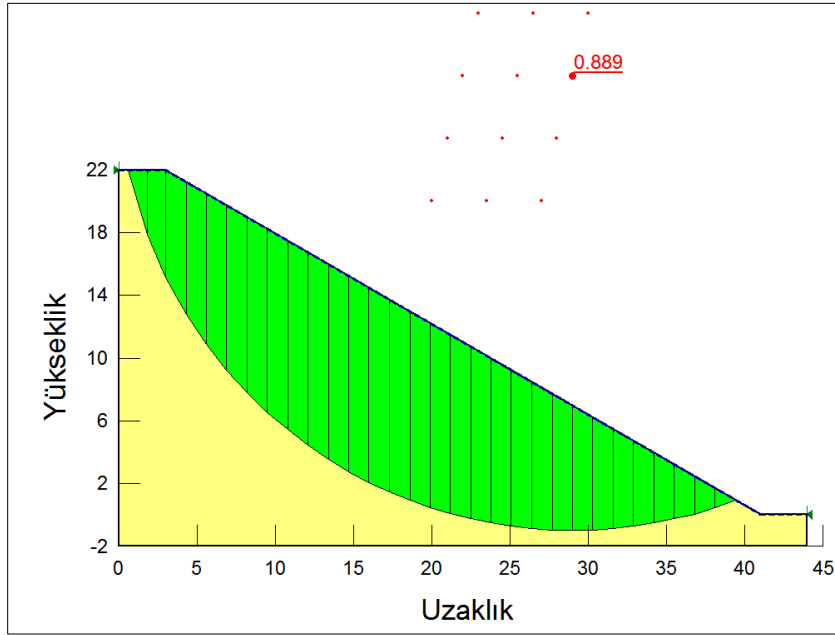


Şekil 3.14. Hesaplanan ile ölçülen dispersiyon eğrisinin çakışması

Giresun Organize Sanayi Heyelanlarında 1. profilin  $V_{S30}$  hızı 222 m/sn olarak elde edilmiş ve NEHRP zemin sınıflamasına göre bu alanın gevşek zemin (D sınıfı zemin türü) olduğu tespit edilmiştir. GeoStudio programına heyelanın yükseklik, kayma yüzeyi uzaklığı, içsel sürtünme açısı, birim hacim ağırlığı ve kohezyon değerleri girilerek güvenlik faktörü hesabı yapılır. Bu çalışmada, GeoStudio programında güvenlik faktörünü elde etmek için Janbu yöntemi kullanılmıştır ve 1. profilin güvenlik faktörü 0.96 olarak hesaplanmıştır. (Şekil 3.15). 2. profilin  $V_{S30}$  hızı 276 m/sn olarak elde edilmiş ve NEHRP zemin sınıflamasına göre bu alanın da gevşek zemin (D sınıfı zemin türü) olduğu tespit edilmiştir. Bu heyelan için güvenlik faktörü 0.88 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.16). Bu iki alanın da gevşek zemin olduğu ve stabilitesinin 1'in altında olduğu için duraysız olduğu tespit edilmiştir. İki profil içinde  $V_{S30}$  hızı gevşek zemin türü olarak belirlenmiş ve düşük sismik hız olması durumunda stabilitenin de duraysız olduğu gözlenmiştir. Yani, sismik hızlar ve güvenlik faktörü arasında bir ilişki olduğu söylenebilir.

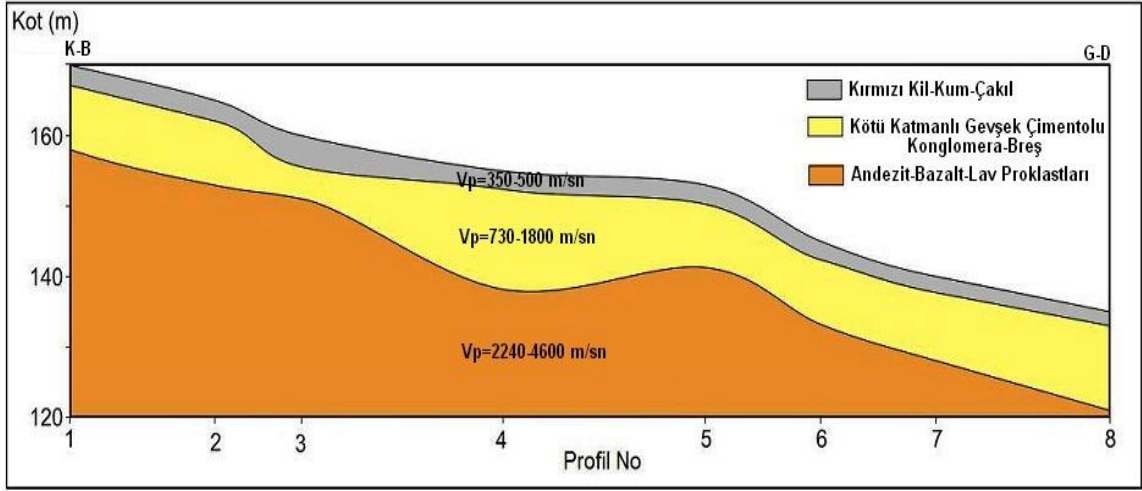


Şekil 3.15. Giresun 1 heyelanı için GeoStudio programında güvenlik faktörü hesaplanması



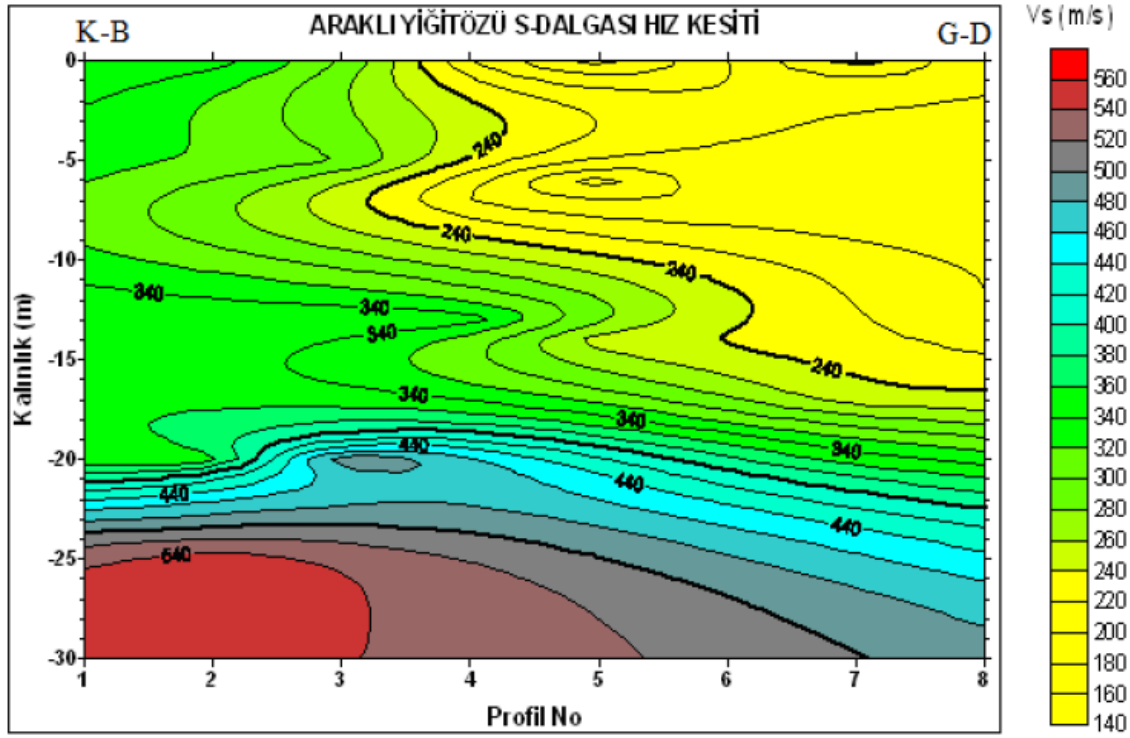
Şekil 3.16. Giresun 2 heyelanı için GeoStudio programında güvenlik faktörü hesaplanması





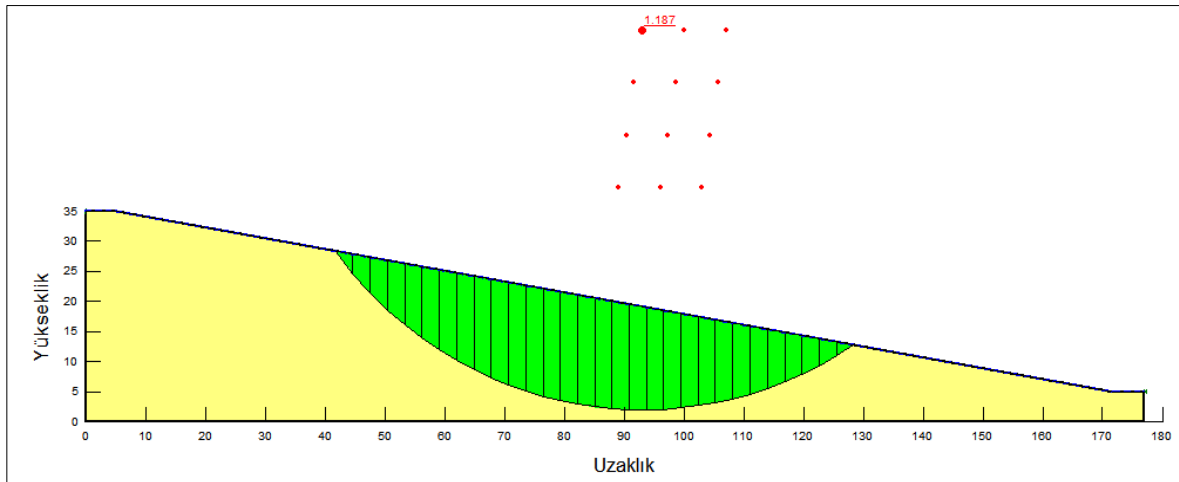
Şekil 3.18. Yiğitözü heyelanı için tüm sismik profillerden elde edilen heyelan alanına ait yapı kesiti (Demirbaş, 2008)

Heyelan eğimine dik olarak 8 profilin belli noktalardan elde edilen heyelan alanının S dalgası hız-derinlik kesiti oluşturulmuştur (Şekil 3.19). Bu şekilden görüleceği gibi hız dağılımı ortamın üç tabakalı bir yapıda olduğunu göstermektedir. Daha önceden hesaplanan P dalgası bilgileri ile jeolojik yapı yönünden uyumludur. Tüm S dalgası hız kesitlerinde ortalama 0 ile 2.5 metreler arasında gözlenen hız düşümünün sebebinin ortamın içerdiği nemlilikten kaynaklandığı düşünülmektedir. Ortalama hızı  $<300$  m/sn olan, yaklaşık 3 metre kalınlığında gevşek kırmızı kil, kum ve çakıldan oluşan örtü tabakası, 3–12 metreler arasında ortalama hızı 300–600 m/sn olan yüksek oranda nemli, kötü katmanlı gevşek çimentolu konglomera ve breşlerden oluşan akma ve çökmelerin geliştiği örtü ile birlikte Beşirli formasyonunu temsil eden jeolojik birim bulunmaktadır. 12 metrelerden derinlere doğru devam eden, hızı  $>600$  m/sn’ den büyük olan sıkı andezit, bazalt ve lav proklastlarından oluşan Kabaköy Formasyonu bulunmaktadır.



Şekil 3.19. Tüm profillerden elde edilen S dalgası derinlik kesiti (Demirbaş, 2008).

Sismik kırılma yöntemi Araklı-Yiğitözü heyelanının sismik hızlarını belirlemek amacı ile uygulanmıştır (Demirbaş, 2008). Araklı-Yiğitözü heyelan sahasında sismik yöntemle  $V_{s30}$  hızı 260 m/sn olarak elde edilmiş ve NEHRP zemin sınıflamasına göre bu alanın gevşek zemin (D sınıfı zemin türü) olduğu tespit edilmiştir. GeoStudio programında güvenlik faktörü hesaplanmış ve 1.19 bulunmuştur (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Araklı-Yiğitözü heyelanı için GeoStudio programında güvenlik faktörü hesaplanması



### 3.3. Laboratuvar Çalışmaları

Daha önce yapılan tez çalışmasında hız bilgileri elde edilen Araklı-Yiğitözü heyelanının bazı zemin parametrelerinin belirlenebilmesi için araziden numune alımı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra numunelerin laboratuvarda üç eksenli basınç deneyi uygulanarak zeminin kayma direnç parametreleri belirlenmiştir. Araklı-Yiğitözü sahası ve Giresun Organize Sanayi heyelanları için zeminlerin belirlenen kayma direnç parametreleri Tablo 3.1' de verilmektedir.

Tablo 3.1. Laboratuvarda elde edilen zemin parametreleri

	Kohezyon (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (°)	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )
Araklı-Yiğitözü	25	18	18
Giresun 1	10	11	20
Giresun 2	8	13	19

Bu parametreler içerdikleri zeminlerin türlerine göre farklı değerler alırlar. Kil içeren zeminlerde içsel sürtünme açısı yaklaşık 10-20<sup>0</sup> arasında değerler alır (Hoek, 1970). Birim hacim ağırlığı gevşek kum, silt, killi zeminlerde 16 kN/m<sup>3</sup> değeri alırken sağlam kayalarda 24 kN/m<sup>3</sup> değerini alabilir (Tezcan vd., 2010).

### 3.2. Yapay Sinir Ağı Yöntemi ile Stabilite Analizi

Bu çalışmada yapay sinir ağı yöntemi ile heyelan stabilite analizi yapılması amaçlanmış ve bu kapsamda 100 adet yapay heyelan verisi oluşturulmuş ve bu heyelanların güvenlik faktörleri önce klasik yöntemle daha sonrada yapay sinir ağı yöntemi ile hesaplanmıştır. YSA ile hesaplama yapıldıktan sonra 100 adet heyelan verisine sismik hız bilgisi eklenmiş ve tekrar yapay sinir ağı yöntemi ile güvenlik faktörü hesaplanmıştır. Son olarak da hız bilgisi eklenmiş veri setinden yararlanılarak arazi çalışmaları yapılan üç heyelanın yapay sinir ağı yöntemiyle güvenlik faktörlerinin hesaplamaları yapılmıştır.

### **3.2.1. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Stabilité Hesaplamalarında Kullanılan Veri Setinin Hazırlanması**

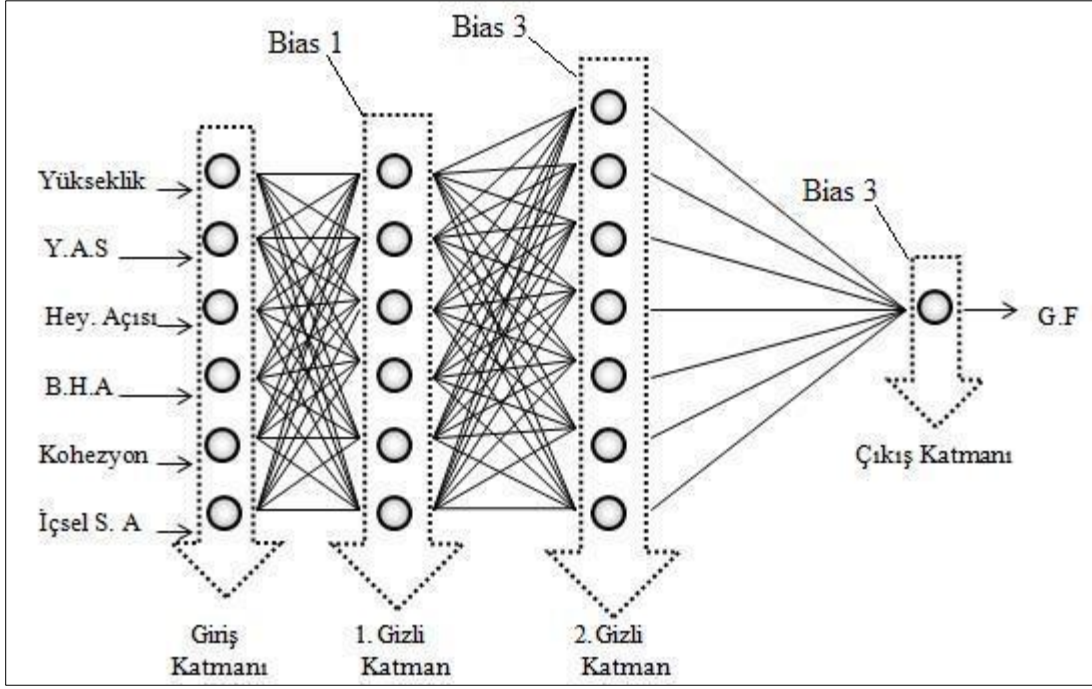
Yapay sinir ağı yönteminde veri sayısı önemli olduğundan bu tez çalışmasında veri tabanının oluşturulması amacı ile 100 adet yapay heyelan verisi oluşturulmuştur. Heyelan verileri oluşturulurken birbirinden farklı heyelanlar olmalarına dikkat edilmiştir. Her bir heyelanın yükseklik, su tablasının derinliği, heyelan açısı, birim hacim ağırlığı, kohezyon, içsel sürtünme açısı parametreleri belirlendikten sonra GeoStudio adlı programda güvenlik faktörleri hesaplanmıştır.

100 heyelandan oluşan veri setinin 80 tanesi yapay sinir ağı analizinin eğitim setinde 20 tanesi ise test setinde kullanılmıştır. Eğitim ve test setleri oluşturulurken parametre değerleri birbirine benzer heyelanların hem eğitim setinde hem de test setinde olmasına dikkat edilmiştir. Eğitim ve test setlerinde farklı heyelanlar olacak şekilde sıralama değişikliği yapılarak 4 farklı veri seti oluşturulmuş ve ön analiz yapılarak 4 veri setinden en az hata oranı vereni seçilmiş ve bütün hesaplamalar o veri seti üzerinden yapılmıştır.

### **3.2.2. YSA ile Stabilité Analizi**

#### **3.2.2.1. Heyelanların YSA ile Stabilité Analizi**

Genel anlamda, bir YSA uygulamasının geliştirilme safhaları tasarım, öğrenme/eğitme ve test/uygulama olarak üç adımla özetlenebilir. YSA ile çözülmeye karar verilen problemin ilk adımı YSA mimarisinin belirlenmesidir. YSA mimarisinde ilk önce giriş ve çıkış katmanında hangi parametrelerin kullanılacağı belirlenmelidir. YSA ile heyelan stabilité analizi yapılacak olan bu çalışmanın giriş katmanında yükseklik, yeraltı su tablasının derinliği, heyelanın açısı, birim hacim ağırlığı, kohezyon ve içsel sürtünme açısı ve çıkış katmanında ise güvenlik faktörü parametreleri kullanılmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Geliştirilen YSA mimarisi

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 3.2’ de verilmiştir.

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. Tablo 3.2’ de sarı renk ile gösterilen değerler YSA test setinde kullanılan verileri göstermektedir.

Test işlemi sonucunda bulunan tahmini değerler, gerçek değerlerle karşılaştırılmış eşitlik (3.1) ile hesaplanan ortalama karesel hatanın karekökü (root mean square error) (RMSE) ve eşitlik (3.2) ile hesaplanan ortalama mutlak yüzde hata (mean absolute percentage error) (MAPE) oranları dikkate alınarak en iyi tahmin değerlerini veren model, tahmin modeli olarak seçilmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.2. Oluşturulan veri setinin YSA ile güvenlik faktörü analizi

Heyelan No	heyelan yüks. (m)	su tablasının derinliği (m)	heyelan açısı (°)	birim hacim ağır. (kN/m <sup>3</sup> )	Kohezyon (kPa)	içsel sürt. Açısı (°)	güvenlik faktörü	tahmin	sapma	% hata
1	6	1	45	18	10	37	2,00	1,99	0,01	0,64
2	7	1	19	17	10	20	1,49	1,51	-0,02	1,34
3	7	0	35	15	2	10	2,05	2,04	0,01	0,50
4	7	0	19	18	1	20	0,80	0,82	-0,02	2,71
5	8	0	23	18	15	20	1,61	1,60	0,01	0,44
6	8	0	23	18	5	20	0,72	0,72	0,00	0,51
7	8	2	14	19	17	7	2,10	2,08	0,02	1,06
8	9	2	36	9	25	20	2,01	2,03	-0,02	1,16
9	10	0	45	15	10	10	0,73	0,73	0,00	0,33
10	10	1	30	18	20	10	1,05	1,06	-0,01	1,33
11	10	0	45	16	10	15	1,67	1,67	0,00	0,04
12	10	1	12	16	10	10	1,40	1,41	-0,01	0,84
13	10	0	45	17	20	20	1,33	1,34	-0,01	0,71
14	10	1	18	13	10	16	1,31	1,31	0,00	0,01
15	11	0	26	17	9	20	0,77	0,72	0,05	6,96
16	12	0	40	18	1	20	0,27	0,29	-0,02	8,99
17	12	3	21	16	25	20	2,20	2,20	0,00	0,17
18	12	1	30	19	11	20	0,96	0,95	0,01	1,39
19	12	1	14	17	20	10	1,78	1,78	0,00	0,19
20	12	0	18	18	20	20	1,61	1,62	-0,01	0,67
21	13	0	26	17	27	7	1,42	1,39	0,03	2,02
22	15	2	16	18	20	20	1,84	1,83	0,01	0,32
23	15	0	22	18	5	10	0,36	0,37	-0,01	3,37
24	15	0	18	18	10	15	1,11	1,03	0,08	7,53
25	15	0	22	18	15	10	0,83	0,81	0,02	2,23
26	16	0	57	22	16	37	0,36	0,37	-0,01	1,79
27	16	0	33	12	10	30	0,53	0,53	0,00	0,52
28	16	1	17	12	20	18	1,45	1,45	0,00	0,32
29	16	1	48	19	14	20	0,49	0,49	0,00	0,84
30	16	1	17	22	16	30	1,69	1,70	-0,01	0,73
31	17	0	26	19	10	27	0,70	0,72	-0,02	2,36
32	17	1	23	15	10	14	0,62	0,65	-0,03	5,41
33	17	0	23	15	15	10	0,74	0,77	-0,03	3,54
34	17	0	18	20	16	20	1,20	1,16	0,04	3,03
35	18	1	35	19	9	27	0,57	0,57	0,00	0,69

Tablo 3.2 devamı

36	18	1	26	18	15	10	0,69	0,65	0,04	5,10
37	18	0	16	20	18	18	1,17	1,18	-0,01	0,70
38	18	1	26	18	15	20	0,86	0,87	-0,01	0,95
39	20	0	33	18	41	15	1,40	1,39	0,01	1,00
40	20	0	45	18	24	30	0,77	0,78	-0,01	0,98
41	20	0	18	16	20	17	1,26	1,14	0,12	9,63
42	20	0	21	16	20	17	0,94	1,01	-0,07	7,00
43	22	1	36	18	10	14	0,40	0,42	-0,02	3,87
44	22	0	23	20	22	18	1,02	1,06	-0,04	4,15
45	22	0	36	15	18	11	0,55	0,56	-0,01	1,71
46	23	2	37	14	15	15	0,53	0,54	-0,01	1,45
47	23	0	20	25	15	10	1,00	1,05	-0,05	4,74
48	23	0	20	18	22	20	1,18	1,14	0,04	3,74
49	24	0	33	16	8	11	0,20	0,19	0,01	4,20
50	24	0	34	16	20	15	0,54	0,58	-0,04	7,71
51	24	0	21	18	27	20	1,22	1,21	0,01	1,20
52	24	0	21	20	25	18	1,11	1,13	-0,02	1,76
53	25	2	32	22	20	15	0,64	0,64	0,00	0,36
54	25	0	22	20	25	15	1,00	1,05	-0,05	5,37
55	25	0	32	18	20	14	0,54	0,50	0,04	7,75
56	26	0	26	17	44	12	1,21	1,24	-0,03	2,85
57	26	0	23	21	27	17	1,12	1,09	0,03	3,03
58	27	1	35	18	10	20	0,85	0,85	0,00	0,04
59	27	0	21	18	20	25	1,13	1,12	0,01	0,58
60	30	3	30	18	14	25	1,26	1,27	-0,01	0,45
61	30	0	23	24	26	19	1,02	1,06	-0,04	4,27
62	30	2	45	18	14	25	0,42	0,44	-0,02	4,27
63	30	2	28	17	9	20	0,44	0,44	0,00	0,60
64	32	0	32	18	10	14	0,35	0,36	-0,01	2,00
65	32	0	32	17	32	16	0,78	0,77	0,01	1,85
66	33	0	32	20	18	8	0,57	0,56	0,01	2,44
67	34	1	36	20	0	15	0,50	0,51	-0,01	1,13
68	34	1	20	14	11	26	0,70	0,69	0,01	1,54
69	34	0	23	22	30	20	1,09	1,07	0,02	2,23
70	36	1	20	11	15	21	0,45	0,47	-0,02	5,46
71	36	2	35	15	18	20	0,55	0,55	0,00	0,57
72	36	0	19	14	25	26	1,14	1,15	-0,01	1,01
73	36	0	19	15	27	20	1,05	1,03	0,02	2,11
74	38	1	38	37	23	0	0,42	0,42	0,00	0,96
75	38	1	20	17	32	16	1,00	1,01	-0,01	1,42
76	40	2	30	20	16	26	0,62	0,63	-0,01	2,22
77	40	1	16	20	16	26	1,13	1,12	0,01	1,29
78	40	0	33	19	9	27	0,70	0,69	0,01	1,25
79	44	0	20	22	16	18	1,06	1,06	0,00	0,04

Tablo 3.2 devamı

80	44	0	20	22	16	38	1,39	1,38	0,01	0,49
81	8	0	14	19	17	7	1,19	1,35	-0,16	13,20
82	9	2	26	16	8	10	0,92	0,84	0,08	8,69
83	10	0	30	18	20	10	1,07	1,13	-0,06	5,53
84	12	0	33	19	5	32	0,59	0,51	0,08	12,86
85	12	2	17	18	5	20	1,11	1,32	-0,21	18,79
86	15	0	18	17	20	10	1,30	1,25	0,05	4,08
87	16	0	21	18	18	15	1,16	1,06	0,10	9,00
88	17	0	18	15	20	10	1,17	1,14	0,03	2,22
89	18	0	16	18	27	10	1,34	1,42	-0,08	5,75
90	20	0	21	17	15	18	0,77	0,93	-0,16	20,46
91	20	0	30	15	20	10	0,75	0,73	0,02	3,01
92	22	0	23	18	25	20	1,15	1,16	-0,01	1,15
93	24	0	33	16	20	11	0,57	0,54	0,03	5,30
94	25	0	22	18	25	20	1,01	1,12	-0,11	10,85
95	27	1	35	18	20	18	0,74	0,63	0,11	14,49
96	30	2	30	18	24	18	0,85	0,72	0,13	15,78
97	32	1	23	27	25	18	1,11	1,09	0,02	1,47
98	34	1	20	14	20	26	0,99	0,95	0,04	4,16
99	38	1	20	20	18	25	1,26	1,08	0,18	14,60
100	40	1	16	19	24	20	1,08	1,07	0,01	1,00

Tablo 3.3. Tahmin modellerinde kullanılan veri seti, gerçek ve tahmini değerler ile % hata, RMSE ve MAPE oranları.

nöron sayıları		eğitim		test	
1. katman	2. katman	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE
6	7	2,48	7,61	0,04	0,09

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2} \quad (3.1)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N \left[ \left| \frac{t_i - td_i}{t_i} \right| \right] \right) \times 100 \quad (3.2)$$

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

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 (Demuth ve Beale, 2000) 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) kullanılmıştır. Çalışmada bütün aktivasyon fonksiyonları denenmiş ve en iyi sonuç veren aktivasyon fonksiyonları seçilmiştir. Eğitim algoritması olarak ta Levenberg Marquardt algoritması (trainlm) seçilmiş, öğrenme kuralı olarak momentumlu gradyan azaltım geri yayılım algoritması (gradient descent with momentum backpropagation algoritm) (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, 3.3 numaralı eşitlik yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Eşitlikte

$$X_{norm} = 2 \times \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} - 1 \quad (3.3)$$

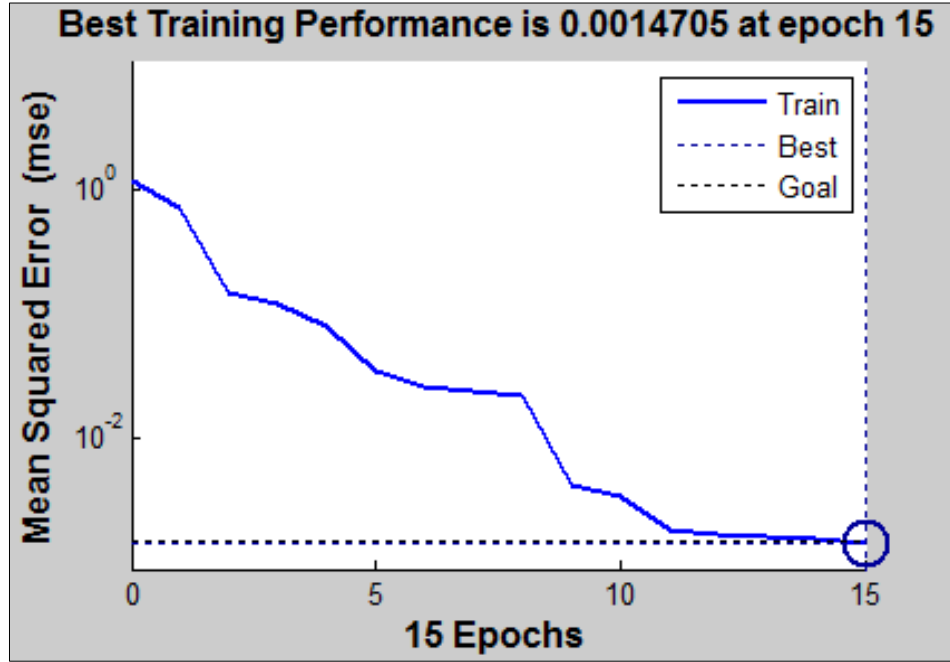
$X_{norm}$ , normalize edilmiş veriyi;  $X$ , değişkenin gerçek değerini;  $X_{min}$ , veri grubunun minimum değerini;  $X_{max}$ , ise veri grubunun maksimum değerini ifade etmektedir.

Bilgiler, bağlantılar üzerindeki ağırlıklar üzerinden hücreye girer ve ağırlıklar, ilgili girişin hücre üzerindeki etkisini belirler. Ağırlıklar bir nöronda girdi olarak kullanılacak değerlerin göreceli kuvvetini (matematiksel katsayısını) gösterir. Yapay sinir ağı içinde girdilerin nöronlar arasında iletimini sağlayan tüm bağlantıların farklı ağırlık değerleri bulunmaktadır. Böylelikle ağırlıklar her işlem elemanının her girdisi üzerinde etki yapmaktadır. Bias değeri ise her bir nöronda sistemin otomatik olarak eklediği katsayı değerleridir. Heyelan stabilite analizi için kurulan programda en az hata oranını veren YSA mimarisi için ağırlık ve bias değerleri Tablo 3.4' de verilmiştir.





Güvenlik faktörü için seçilen yapay sinir ağlarının iterasyona bağlı hata değişim grafiği Şekil 3.22'deki grafikte görülmekte olup, modellerin eğitiminin durduğu epoch sayısı 15 tir.

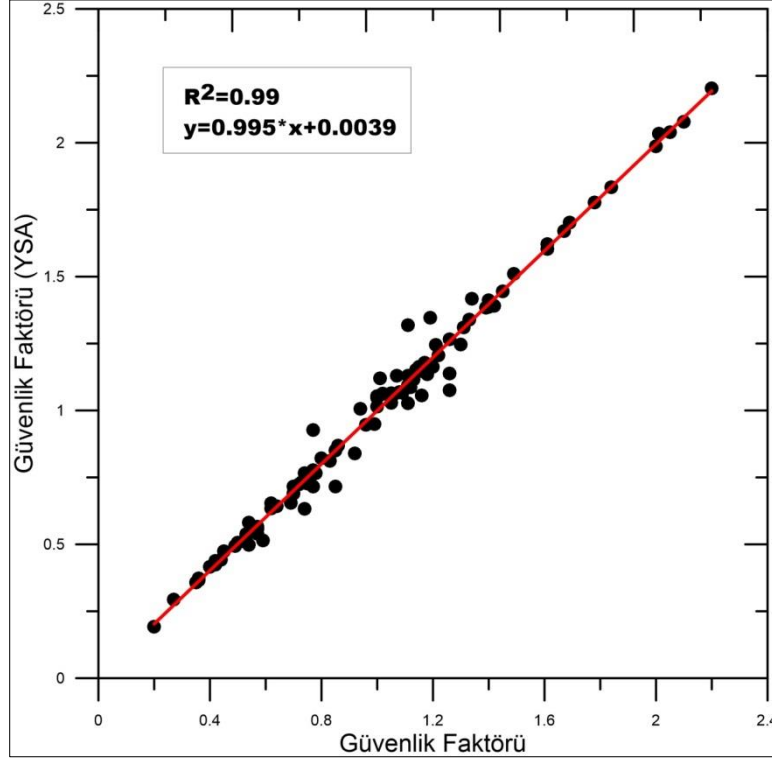


Şekil 3.22. Seçilen YSA'nın iterasyona bağlı hata değişim grafiği

Tablo 3.2 YSA için kullanılan giriş ve çıkış parametrelerini ve YSA ile elde edilen sonuçları içermektedir. Heyelan stabilitesi üzerinde etkisi olan altı parametre (heyelan yüksekliği, su tablasının derinliği, heyelan açısı, birim hacim ağırlığı, kohezyon, içsel sürtünme açısı) YSA için kullanılan giriş parametreleridir. Güvenlik faktörü değerleri GeoStudio programında Janbu yöntemi ile hesaplanmış olan değerlerdir ve bu değerler YSA' da çıkış parametresi olarak kullanılmıştır. Tahmin sütunu YSA' nın hesaplamış olduğu her bir heyelan için güvenlik faktörü değerlerini içermektedir ve sapma sütunu GeoStudio ve YSA ile hesaplanan güvenlik faktörleri arasındaki farkı göstermektedir. Hata sütununda da YSA' nın güvenlik faktörünü % kaç hata ile tahmin ettiği gösterilmektedir.

İlk oluşturulan veri setinin GeoStudio ile hesaplanan ve YSA ile hesaplanan güvenlik faktörleri arasındaki ilişkinin  $R^2=0.99$  derecesinde uyumlu olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.23). Bu regresyon analizine göre iki parametre arasında çok iyi bir uyum olduğu tespit

edilmiş ve YSA ile hesaplanan güvenlik faktörü değerlerinin de stabilite çalışmalarında kullanılabileceğini göstermiştir.



Şekil 3.23. Veri setinin GeoStudio ve YSA ile hesaplanan güvenlik faktörleri arasındaki ilişki

### 3.2.2.2. Hız Bilgisi Eklenerek YSA Analizleri

Çalışmanın bu kısmında ise güvenlik faktörü hesabında sismik hızların da kullanılması amaçlanmıştır. 100 heyelan içeren veri setindeki her bir heyelana sismik hız bilgisi eklenmiştir.

Heyelan alanlarında sismik hızların önemli olduğu bilinmektedir. Heyelanlarda zemin türüne göre sismik hız değerindeki değişimler ortamın güvenli olup olmadığını verebilir. Örneğin; sismik hız değeri düşük, suya doygun bir zeminde güvenlik faktörünün düşük olması ya da sismik hız değeri yüksek olan sağlam zeminlerde güvenlik faktörünün yüksek olması beklenebilir. Sismik hızların düşük olduğu gevşek zeminlerde kohezyon değeri de düşüktür. Yani kohezyon ve sismik hız gibi parametrelerin güvenlik faktörü

üzerinde önemli etkisi vardır. Sismik hız etkisinin önemli olduğu düşünülerek YSA hesaplamalarında sismik hız bilgisinin de kullanılması amaçlanmıştır.

Veri setine hız bilgisi eklenirken NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Programme) Zemin Sınıflaması dikkate alınmıştır (Tablo 3.5). NEHRP zemin sınıflamasında, zeminler  $V_{s30}$  ortalama değerine göre, A ile F sınıfı arasında 6 sınıfa ayrılmıştır. NEHRP' e göre en yüksek kalitedeki A tipi zemin,  $V_{s30}$  hızı 1500 m/sn veya daha yüksek olan, en düşük kalitedeki E tipi zemin,  $V_{s30}$  hızı 180 m/sn veya daha düşük olan zeminler olarak tanımlanmıştır. YSA analizi için NEHRP Zemin Sınıflamasında A-F arasında değişen zemin türlerine 1-5 arasında değerler verilmiştir. Veri setine hız bilgisi eklemek amacıyla, heyelanların suya doymun olup olmamalarına, kohezyon, içsel sürtünme açıları ve de güvenlik faktörü değerleri dikkate alınarak 1-5 arasında değişen değerler verilmiştir.

Tablo 3.5. NEHRP Zemin Sınıflaması

YSA Zemin Sınıfı	Zemin Sınıfı	Zemin türü	$V_{s30}$ (m/sn)
5	F	% 100 suya doymun toprak	< 150
4	E	Bataklık, sazlık türü	150-180
3	D	Gevşek toprak	180-360
2	C	Sıkı, katı toprak Bozmuş kaya	360-760
1	B	Sağlam kaya	760-1500
	A	Çok sağlam	>1500

Hız bilgisi eklenen veri setinin YSA ile analizinin yapılması için yeni YSA mimarisi geliştirilmiştir. YSA'nın giriş parametrelerinde heyelan yüksekliği, hız, heyelan açısı, birim hacim ağırlığı, kohezyon, içsel sürtünme açısı çıkış parametresinde ise güvenlik faktörü kullanılmıştır.

Hesaplama sonuçları Tablo 3.6' da görülmektedir. Tahmin sütunu YSA' nın hesaplamış olduğu her bir heyelan için güvenlik faktörü değerlerini içermektedir ve sapma sütunu GeoStudio ve YSA ile hesaplanan güvenlik faktörleri arasındaki farkı

göstermektedir. Hata sütununda da YSA' nın güvenlik faktörünü % kaç hata ile tahmin ettiği gösterilmektedir.

Tablo 3.6. Hız bilgisi eklenen veri setinin YSA analiz sonuçları

Heyelan No	heyelan yüks. (m)	hız (m/sn)	heyelan açısı (°)	birim hacim ağır. (kN/m <sup>3</sup> )	kohezyon (kPa)	içsel sürt. Açısı (°)	güvenlik faktörü	tahmin	sapma	% hata
1	6	3	45	18	10	37	2	1,99	0,01	0,28
2	7	4	19	17	10	20	1,49	1,50	-0,01	0,39
3	7	3	35	15	2	10	2,05	2,06	-0,01	0,60
4	7	5	19	18	1	20	0,8	0,80	0,00	0,27
5	8	3	23	18	15	20	1,61	1,62	-0,01	0,84
6	8	5	23	18	5	20	0,72	0,77	-0,05	7,43
7	8	3	14	19	17	7	2,1	2,11	-0,01	0,44
8	9	3	36	9	25	20	2,01	2,01	0,00	0,23
9	10	5	45	15	10	10	0,73	0,72	0,01	1,00
10	10	4	30	18	20	10	1,05	1,17	-0,12	11,20
11	10	4	45	16	10	15	1,67	1,67	0,00	0,27
12	10	4	12	16	10	10	1,4	1,33	0,07	4,97
13	10	4	45	17	20	20	1,33	1,31	0,02	1,26
14	10	4	18	13	10	16	1,31	1,30	0,01	0,64
15	11	5	26	17	9	20	0,77	0,77	0,00	0,58
16	12	5	40	18	1	20	0,27	0,27	0,00	0,84
17	12	3	21	16	25	20	2,2	2,17	0,03	1,55
18	12	4	30	19	11	20	0,96	0,99	-0,03	2,65
19	12	3	14	17	20	10	1,78	1,77	0,01	0,64
20	12	4	18	18	20	20	1,61	1,60	0,01	0,61
21	13	4	26	17	27	7	1,42	1,29	0,13	9,42
22	15	3	16	18	20	20	1,84	1,84	0,00	0,22
23	15	5	22	18	5	10	0,36	0,39	-0,03	7,52
24	15	4	18	18	10	15	1,11	1,11	0,00	0,19
25	15	5	22	18	15	10	0,83	0,79	0,04	4,39
26	16	5	57	22	16	37	0,36	0,36	0,00	0,79
27	16	5	33	12	10	30	0,53	0,54	-0,01	2,59
28	16	4	17	12	20	18	1,45	1,49	-0,04	3,09
29	16	5	48	19	14	20	0,49	0,48	0,01	1,98
30	16	4	17	22	16	30	1,69	1,68	0,01	0,67
31	17	5	26	19	10	27	0,7	0,70	0,00	0,37
32	17	5	23	15	10	14	0,62	0,59	0,03	5,54

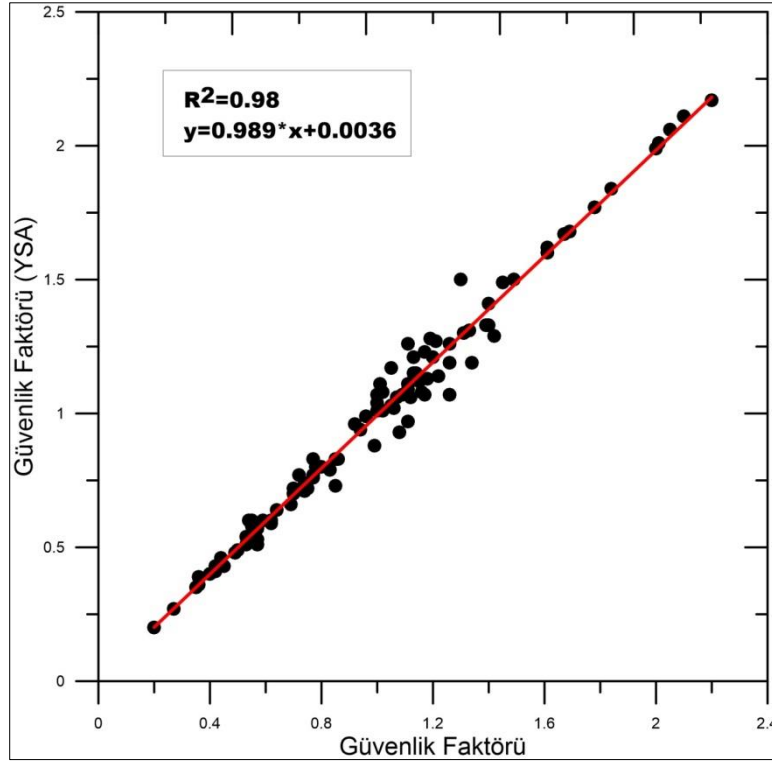
Tablo 3.6 devamı

33	17	5	23	15	15	10	0,74	0,74	0,00	0,09
34	17	4	18	20	16	20	1,2	1,21	-0,01	0,50
35	18	5	35	19	9	27	0,57	0,53	0,04	6,85
36	18	5	26	18	15	10	0,69	0,66	0,03	4,52
37	18	4	16	20	18	18	1,17	1,23	-0,06	4,74
38	18	5	26	18	15	20	0,86	0,83	0,03	3,72
39	20	4	33	18	41	15	1,4	1,41	-0,01	0,61
40	20	5	45	18	24	30	0,77	0,76	0,01	0,73
41	20	4	18	16	20	17	1,26	1,19	0,07	5,48
42	20	5	21	16	20	17	0,94	0,94	0,00	0,33
43	22	5	36	18	10	14	0,4	0,40	0,00	0,64
44	22	4	23	20	22	18	1,02	1,08	-0,06	5,93
45	22	5	36	15	18	11	0,55	0,58	-0,03	4,72
46	23	5	37	14	15	15	0,53	0,51	0,02	3,48
47	23	4	20	25	15	10	1	1,04	-0,04	4,24
48	23	4	20	18	22	20	1,18	1,13	0,05	3,82
49	24	5	33	16	8	11	0,2	0,20	0,00	1,13
50	24	5	34	16	20	15	0,54	0,52	0,02	3,48
51	24	4	21	18	27	20	1,22	1,14	0,08	6,86
52	24	4	21	20	25	18	1,11	1,09	0,02	1,93
53	25	5	32	22	20	15	0,64	0,64	0,00	0,61
54	25	4	22	20	25	15	1	1,07	-0,07	7,08
55	25	5	32	18	20	14	0,54	0,60	-0,06	10,46
56	26	4	26	17	44	12	1,21	1,27	-0,06	5,32
57	26	4	23	21	27	17	1,12	1,06	0,06	5,21
58	27	5	35	18	10	20	0,85	0,83	0,02	2,20
59	27	4	21	18	20	25	1,13	1,15	-0,02	1,93
60	30	4	30	18	14	25	1,26	1,26	0,00	0,05
61	30	4	23	24	26	19	1,02	1,01	0,01	0,61
62	30	5	45	18	14	25	0,42	0,41	0,01	1,57
63	30	5	28	17	9	20	0,44	0,46	-0,02	4,47
64	32	5	32	18	10	14	0,35	0,35	0,00	0,06
65	32	5	32	17	32	16	0,78	0,80	-0,02	2,28
66	33	5	32	20	18	8	0,57	0,57	0,00	0,28
67	34	5	36	20	0	15	0,5	0,49	0,01	1,38
68	34	5	20	14	11	26	0,7	0,70	0,00	0,51
69	34	4	23	22	30	20	1,09	1,07	0,02	2,13
70	36	5	20	11	15	21	0,45	0,43	0,02	5,38
71	36	5	35	15	18	20	0,55	0,60	-0,05	8,24
72	36	4	19	14	25	26	1,14	1,15	-0,01	1,08
73	36	4	19	15	27	20	1,05	1,03	0,02	2,14
74	38	5	38	37	23	0	0,42	0,43	-0,01	2,20
75	38	4	20	17	32	16	1	1,01	-0,01	0,65
76	40	5	30	20	16	26	0,62	0,60	0,02	3,69

Tablo 3.6 devamı

77	40	4	16	20	16	26	1,13	1,21	-0,08	7,21
78	40	5	33	19	9	27	0,7	0,72	-0,02	2,80
79	44	4	20	22	16	18	1,06	1,02	0,04	3,75
80	44	4	20	22	16	38	1,39	1,33	0,06	4,30
81	8	4	14	19	17	7	1,19	1,28	-0,09	7,88
82	9	4	26	16	8	10	0,92	0,96	-0,04	3,97
83	10	3	30	18	20	10	1,07	1,06	0,01	1,15
84	12	5	33	19	5	32	0,59	0,60	-0,01	1,37
85	12	4	17	18	5	20	1,11	1,26	-0,15	13,35
86	15	3	18	17	20	10	1,3	1,50	-0,20	15,18
87	16	4	21	18	18	15	1,16	1,08	0,08	6,72
88	17	4	18	15	20	10	1,17	1,07	0,10	8,73
89	18	4	16	18	27	10	1,34	1,19	0,15	11,50
90	20	5	21	17	15	18	0,77	0,83	-0,06	7,24
91	20	5	30	15	20	10	0,75	0,72	0,03	4,57
92	22	4	23	18	25	20	1,15	1,12	0,03	2,49
93	24	5	33	16	20	11	0,57	0,51	0,06	10,01
94	25	4	22	18	25	20	1,01	1,11	-0,10	9,82
95	27	5	35	18	20	18	0,74	0,71	0,03	4,10
96	30	5	30	18	24	18	0,85	0,73	0,12	13,72
97	32	4	23	27	25	18	1,11	0,97	0,14	12,44
98	34	5	20	14	20	26	0,99	0,88	0,11	10,64
99	38	4	20	20	18	25	1,26	1,07	0,19	15,34
100	40	4	16	19	24	20	1,08	0,93	0,15	14,01

Hız bilgisi eklenen veri setinin GeoStudio ile hesaplanan ve YSA ile hesaplanan güvenlik faktörleri arasındaki ilişkinin  $R^2=0.98$  derecesinde uyumlu olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.24). Bu regresyon analizine göre güvenlik faktörünü hesaplamak için hız verisinin de kullanılabileceğini açıkça söyleyebiliriz.



Şekil 3.24. Hız bilgisi eklenen veri setinin GeoStudio ve YSA ile hesaplanan güvenlik faktörleri arasındaki ilişki

### 3.2.2.3. Ölçü Alınan Heyelanların YSA ile Stabilité Analizi

Tez çalışmasının bu aşamasında yapay sinir ağı yöntemi ile Araklı-Yiğitözü, Giresun 1 ve Giresun 2 heyelanlarının güvenlik faktörünün hesaplanması amaçlanmıştır. Güvenlik faktörü hesaplanırken de, birim hacim ağırlığı, kohezyon, içsel sürtünme açısı parametrelerinin laboratuvarda hesaplanmadan doğru sonuca ulaşılması amaçlanmıştır. Hız bilgisi eklenmiş veri setinin YSA ile sonucu elde edildikten sonra 3 heyelanın araziden hız bilgisi elde edilip, laboratuvar çalışmaları yapılmadan güvenlik faktörünün bulunması istenmiştir.

Yapılan sismik ve yüzey dalgası arazi çalışmalarında her üç heyelanın da  $V_{s30}$  değerinin yaklaşık 200 ile 300 m/sn arasında değiştiği gözlenmiştir. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda  $V_s$  hızının 200 ile 300 m/sn arasında olduğunda birim hacim hacim ağırlığı, kohezyon ve içsel sürtünme açısı parametrelerin hangi aralıklarda değiştiği araştırılmıştır. Şişman (1995) yaptığı çalışmada birim hacim ağırlığının  $V_s$  hızı 200 ile 300 m/sn arasında olduğunda birim hacim hacim ağırlığının 1.7-2.0  $gr/cm^3$  yani 17-20  $kN/m^3$  arasında değiştiğini belirlemiştir. Aynı çalışmada  $V_s$ -kohezyon değerleri arasındaki

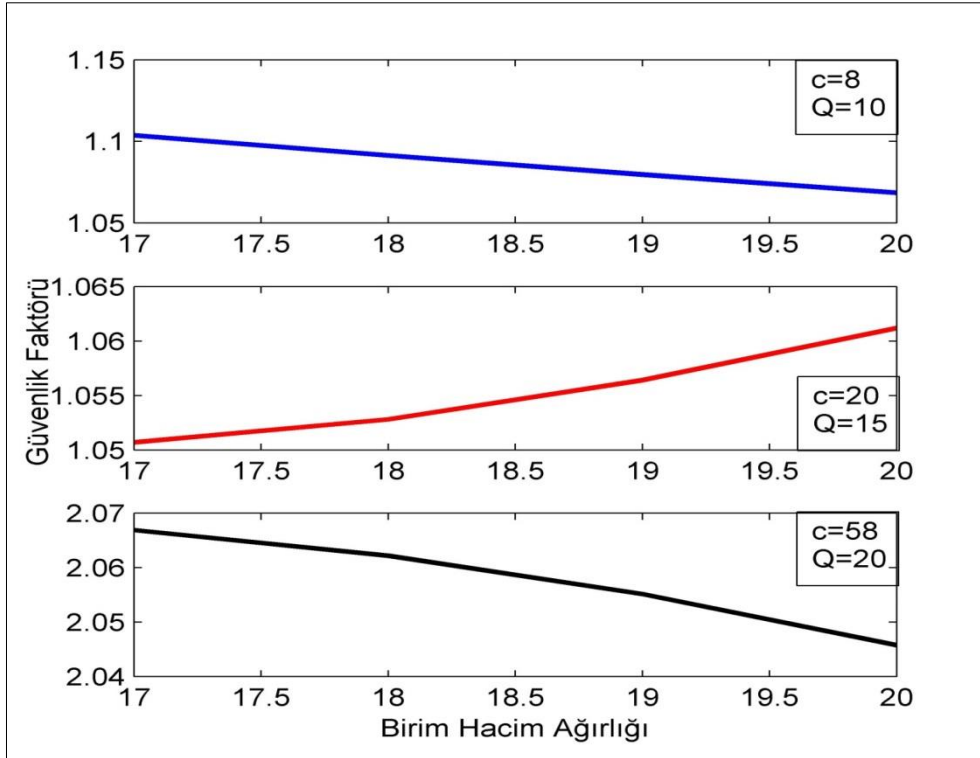
ilişki incelendiğinde  $V_s$  200-300 m/sn arasında olduğunda kohezyon değerinin 0.09-0.6 kg/cm<sup>2</sup> yani yaklaşık 8-58 kPa arasında değişmektedir. Yine aynı çalışmada  $V_s$ -içsel sürtünme açısı arasındaki ilişki incelendiğinde içsel sürtünme açısının  $V_s$  hızı 200-300 m/sn arasında olduğunda 10<sup>0</sup> ile 20<sup>0</sup> derece arasında değer aldığı gözlenmektedir.

Arazide sismik hızları elde edilen heyelanlar için yukarıdaki aralıklar dikkate alınarak birim hacim ağırlığına 17-20 kN/m<sup>3</sup>, kohezyona 8-58 kPa, içsel sürtünme açısına 10 - 20° arasında değişen değerler verilmiştir. Araklı-Yiğitözü, Giresun 1 ve Giresun 2 heyelanları için hız bilgisi ve bu üç parametrenin aralık verilen değerlerinin tüm kombinasyonlarını içeren yeni bir veri seti hazırlanmıştır.

Binlerce değer içeren bu veri setinin YSA ile analizi yapılmıştır. Bu analizler sonucunda veri setinde birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme açısı, kohezyon değerlerinin farklı değerler aldığında güvenlik faktörü üzerindeki etkisi de gözlenmektedir. Bu üç parametrenin değişiminin güvenlik faktörünü ne yönde etkilediğini elde etmek için sonuçlar üzerinde analizler yapılmıştır.

İlk olarak birim hacim ağırlığının güvenlik faktörü üzerindeki etkisini incelemek için üç heyelan alanı için de;  $c=8, 20, 58$  kPa ve  $\phi=10, 15, 20^0$  olduğu durumlar irdelenmiştir (Şekil 3.25-3.28-3.31). Grafiklerden de görüldüğü gibi kohezyon ve içsel sürtünme açısının sabit olduğu durumlarda birim hacim ağırlığının güvenlik faktöründe  $\pm 0.01-0.03$  gibi çok küçük değişimlere neden olduğu gözlenmiştir.



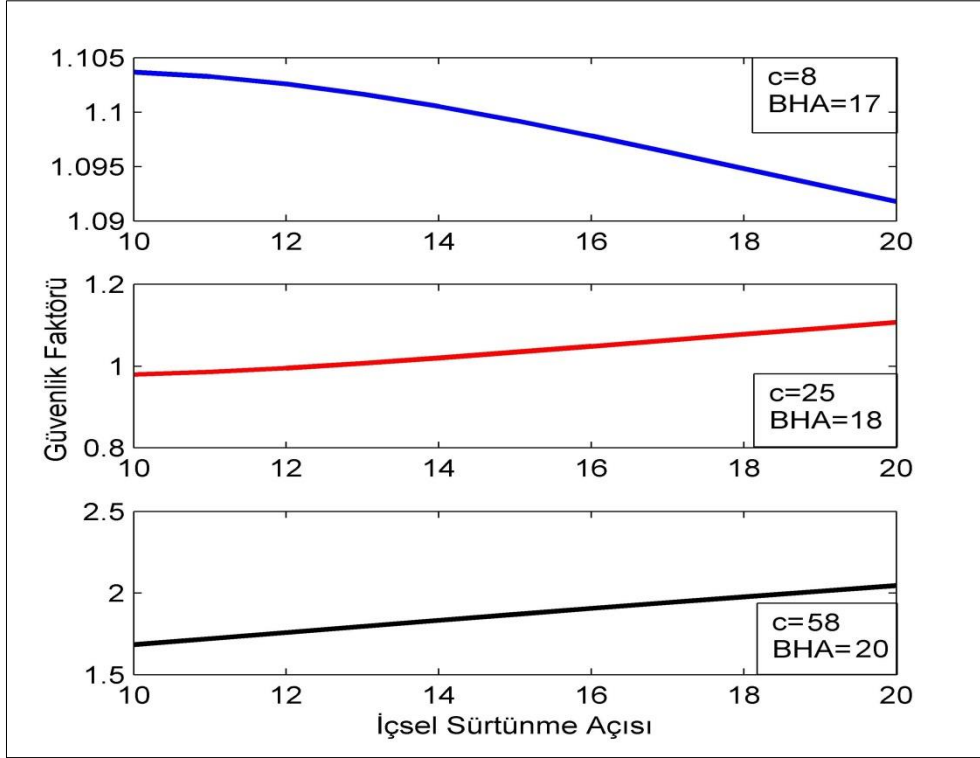


Şekil 3. 25. BHA'nın güvenlik faktörü üzerindeki etkisi (Araklı-Yığıtözü Heyelanı)

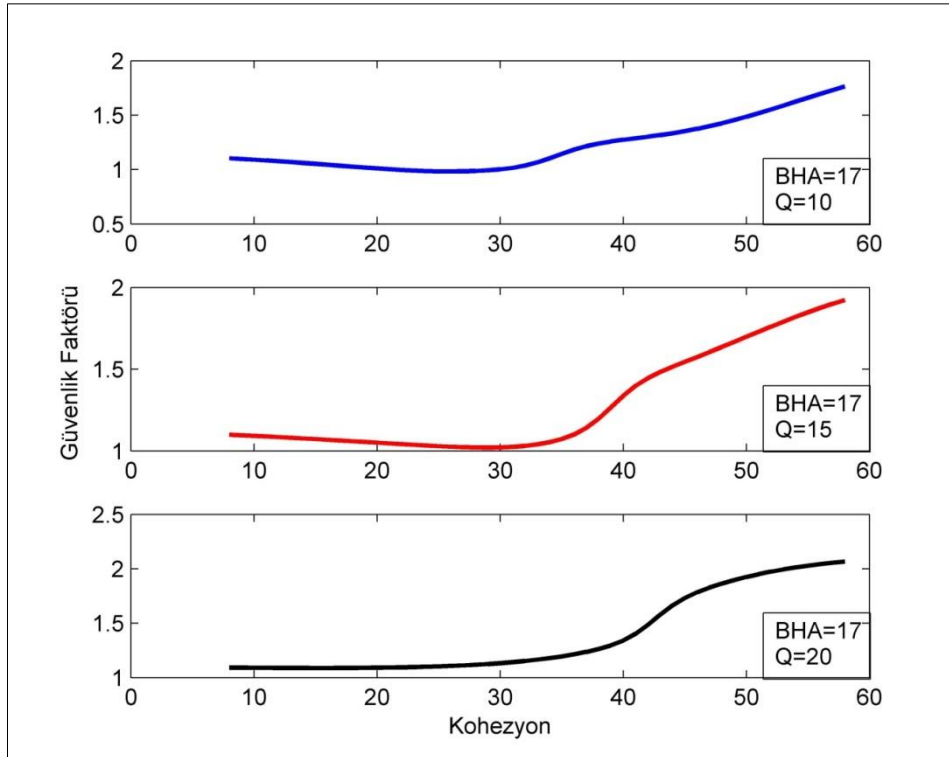
İçsel sürtünme açısının güvenlik faktörü üzerindeki etkisini incelemek için sırasıyla kohezyonun 8, 25, 58 kPa ve birim hacim ağırlığının 17, 18, 20 kN/m<sup>3</sup> olduğu durumlar incelenmiştir. İçsel sürtünme açısında ki değişim üç heyelan için de güvenlik faktöründe ortalama  $\pm 0.2$  kadar farklılığa neden olmuştur (Şekil 3.26-3.29-3.32).

Kohezyonun güvenlik faktörü üzerindeki etkisini incelemek için birim hacim ağırlığının 17, içsel sürtünme açısının 10, 15, 20 olduğu durumlar incelenmiştir. Üç heyelan alanı için de kohezyon değerinin 8 kPa olduğunda güvenlik faktörü yaklaşık 1 iken, kohezyon değeri 50 kPa olduğunda güvenlik faktörünün yaklaşık 2 olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.27-3.30-3.33).

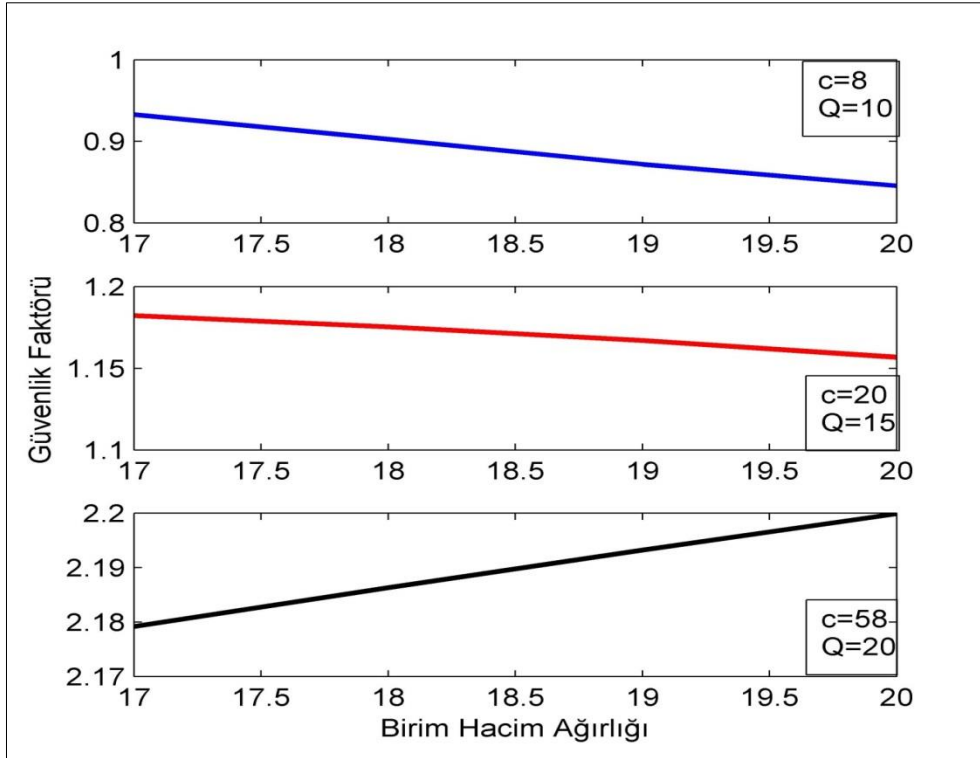
Yapılan incelemelerde, birim hacim ağırlığı ve içsel sürtünme açısının güvenlik faktörünü oldukça az, kohezyondaki değişimin ise oldukça fazla etkilediği gözlenmiştir.



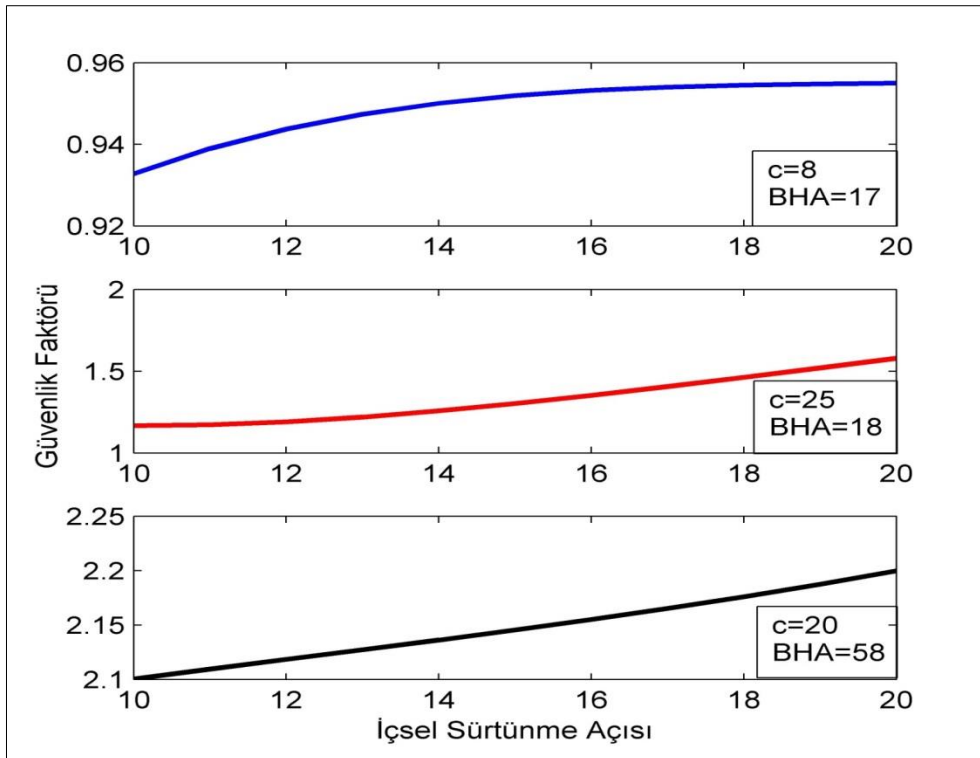
Şekil 3.26. İçsel sürtünme açısının güvenlik faktörü üzerine etkisi (Araklı-Yiğitözü Heyelanı)



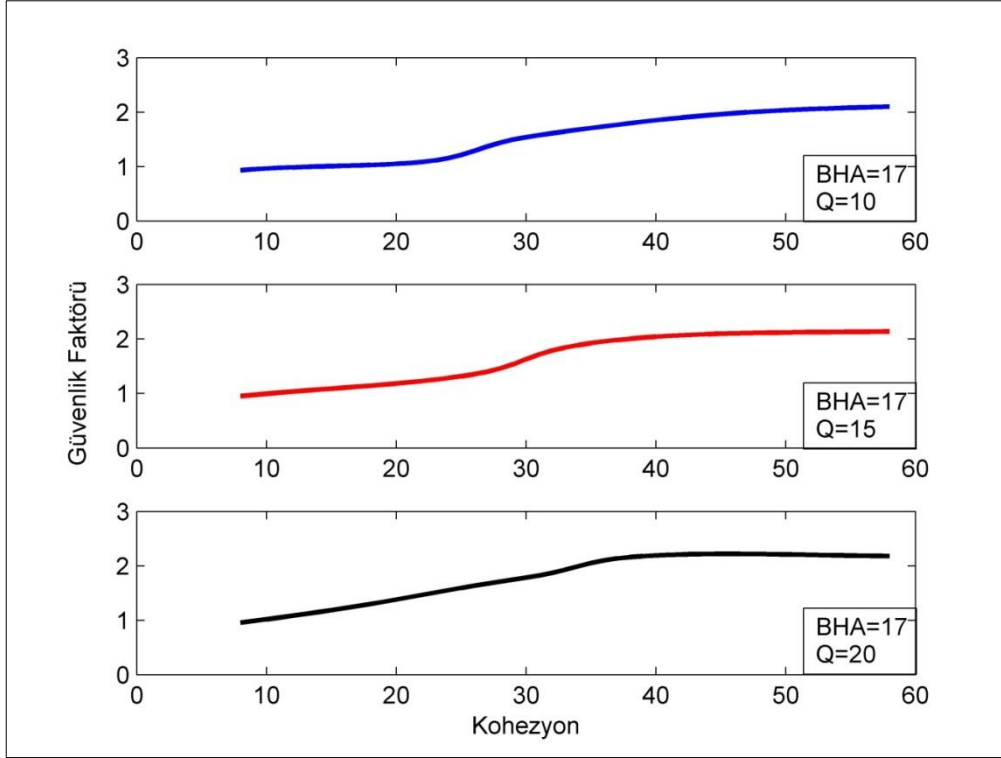
Şekil 3.27. Kohezyonun güvenlik faktörü üzerindeki etkisi (Araklı-Yiğitözü Heyelanı)



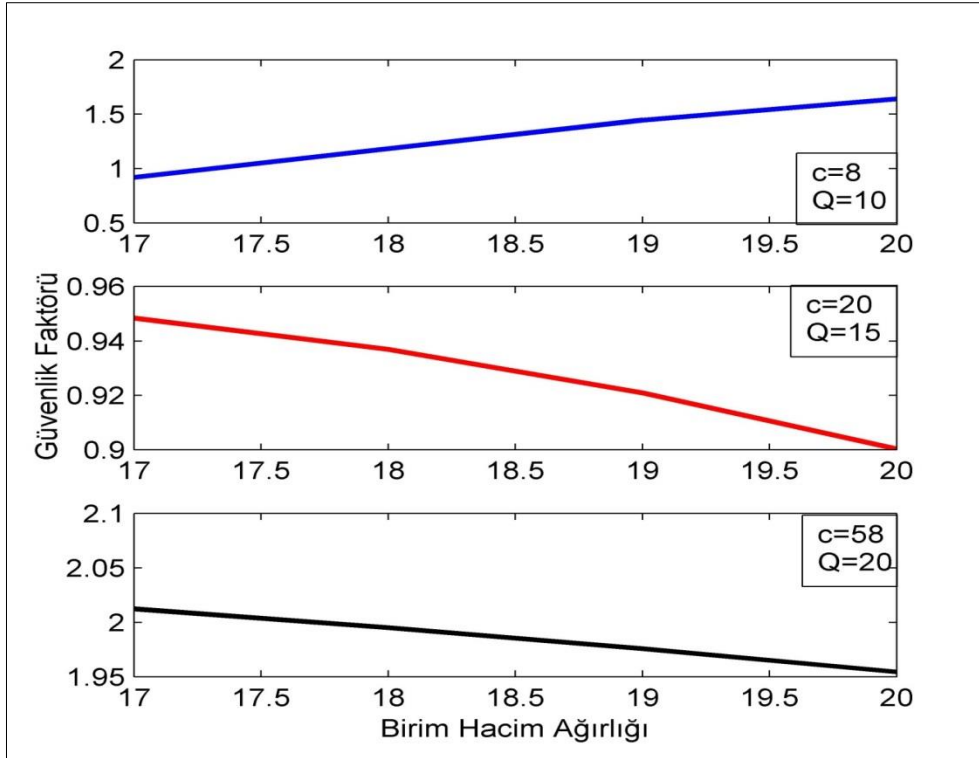
Şekil 3.28. BHA'nın güvenlik faktörü üzerindeki etkisi (Giresun 1 Heyelanı)



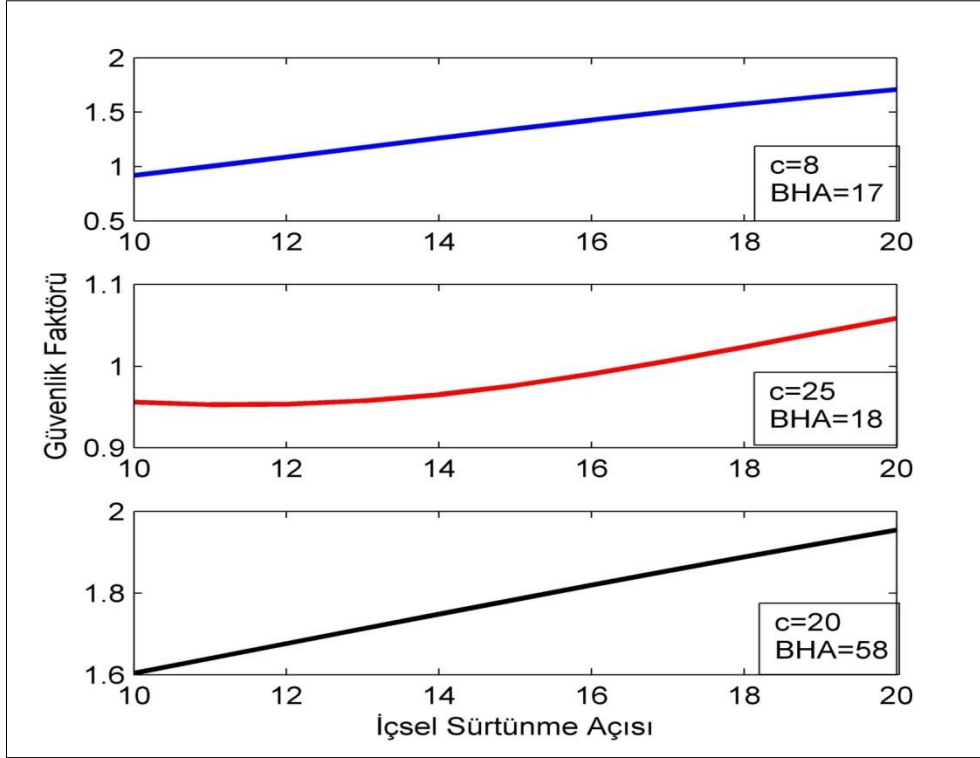
Şekil 3.29. İçsel sürtünme açısının güvenlik faktörü üzerine etkisi (Giresun 1 Heyelanı)



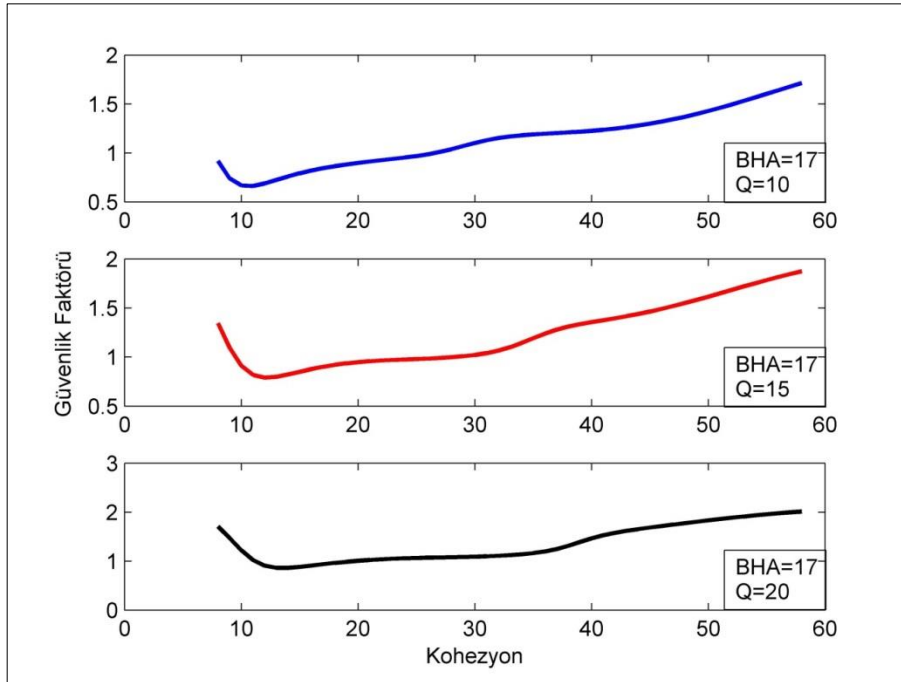
Şekil 3.30. Kohezyonun güvenlik faktörü üzerindeki etkisi (Giresun 1 Heyelanı)



Şekil 3.31. BHA'nın güvenlik faktörü üzerindeki etkisi (Giresun 2 Heyelanı)



Şekil 3.32. İçsel sürtünme açısının güvenlik faktörü üzerine etkisi (Giresun 2 Heyelanı)



Şekil 3.33. Kohezyonun güvenlik faktörü üzerindeki etkisi (Giresun 2 Heyelanı)

Çalışmada son olarak Araklı-Yiğitözü, Giresun 1, Giresun 2 heyelanlarının gerçek birim hacim ağırlığı, kohezyon, içsel sürtünme açısı değerleri ile güvenlik faktörü YSA ile hesaplanmıştır. Aralık değer verilerek oluşturulmuş olan ve YSA ile güvenlik faktörünün hesaplandığı veri setinde 3 heyelanın gerçek parametre değerleri olduğunda YSA ile GF'nün kaç hesaplandığı incelenmiştir (Tablo 3.7).

Tablo 3.7. Üç heyelanın GeoStudio ve YSA ile hesaplanan güvenlik faktörü değerleri

	Heyelan yüksekliği	Hız	Hey. Açısı	Birim H.A	Kohezyon	İçsel S.A	Güvenlik Faktörü	Güvenlik Faktörü (YSA)
Araklı-Yiğitözü	30	3	12	18	25	18	1.19	1.078024188
Giresun1	15	3	24	20	10	11	0.96	0.8915865
Giresun2	22	3	30	19	8	13	0.88	0.97606743

Araklı-Yiğitözü, Giresun 1, Giresun 2 heyelanlarının GeoStudio programında güvenlik faktörleri sırasıyla 1.19, 0.96, 0.88 bulunmuştur ve bu üç heyelanın YSA ile güvenlik faktörleri yaklaşık 1.08, 0.89, 0.97 hesaplanmıştır. Geostudio ve YSA ile hesaplanan güvenlik faktörleri değerlerinin birbirine oldukça yakın ve kullanılabilir olduğu gözlenmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, son yıllarda büyük gelişim gösteren ve mühendislik alanında da geniş bir uygulama alanı bulan Yapay Sinir Ağları yönteminin heyelan stabilite analizinde uygulanabilmesi amaçlanmıştır.

YSA ile güvenlik faktörü hesaplanması amacıyla öncelikle 100 adet yapay heyelan verisi oluşturuldu ve bu heyelanların geleneksel yöntemlerle güvenlik faktörü belirlendi. YSA ile GF hesabı yapılabilmesi için veri setindeki heyelanların 80 adedi YSA' nın eğitim setinde, 20 adedi ise test setinde kullanılmıştır. Giriş parametresi olarak heyelan yüksekliği, yeraltı su tablasının derinliği, heyelan açısı, birim hacim ağırlığı, kohezyon ve içsel sürtünme açısı, çıkış parametresi olarak ise güvenlik faktörü kullanılmıştır. Klasik yöntemle GeoStudio programında GF hesaplanan heyelanların YSA yöntemi ile tekrar GF değerleri hesaplanmıştır. İlk oluşturulan veri setinin GeoStudio ve YSA ile hesaplanan güvenlik faktörleri arasındaki ilişkinin  $R^2=0.99$  derecesinde uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bu regresyon analizine göre iki parametre arasında çok iyi bir uyum olduğu tespit edilmiştir.

100 heyelan içeren veri setindeki her bir heyelana NEHRP zemin sınıflamasında  $V_{s30}$  hızı dikkate alınarak sismik hız bilgisi eklenmiştir. Sismik hız bilgisi içeren veri setindeki heyelanların da YSA ile analizi yapılmıştır. Hız bilgisi eklenen veri setinin GeoStudio ve YSA ile hesaplanan güvenlik faktörleri arasındaki ilişkinin  $R^2=0.98$  derecesinde uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Daha sonra YSA ile gerçek verilere dayanarak güvenlik faktörü hesaplamak için Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan 3 heyelan sahası seçilmiştir (Araklı-Yiğitözü, Giresun 1, Giresun 2). Giresun 1, Giresun 2 heyelan sahalarında sismik kırılma ve yüzey dalgası yöntemleri uygulanarak ortamların sismik hızları belirlenmiştir. Sismik hızları bilinen Araklı-Yiğitözü heyelan sahasında numune alınarak zemin parametreleri bulunmuştur.

Arazide sismik hızları elde edilen heyelanlar için birim hacim ağırlığına 17-20  $kN/m^3$ , kohezyona 8-58 kPa, içsel sürtünme açısına 10 - 20° arasında değişen değerler verilmiştir. Araklı-Yiğitözü, Giresun 1 ve Giresun 2 heyelanları için hız bilgisi ve bu üç parametrenin aralık verilen değerlerinin tüm kombinasyonlarını içeren yeni bir veri seti

hazırlanmıştır ve bu veri setindeki tüm heyelanların YSA ile güvenlik faktörü hesaplanmıştır.

Bu analizler sonucunda veri setinde birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme açısı, kohezyon değerlerinin farklı değerler aldığında güvenlik faktörü üzerindeki etkisi de gözlenmektedir. Bu üç parametrenin değişiminin güvenlik faktörünü ne yönde etkilediğini elde etmek için sonuçlar üzerinde analizler yapılmıştır. Kohezyon ve içsel sürtünme açısının sabit olduğu durumlarda birim hacim ağırlığının güvenlik faktöründe  $\pm 0.01-0.03$  gibi çok küçük değişimlere neden olduğu gözlenmiştir. İçsel sürtünme açısının güvenlik faktörü üzerindeki etkisini incelemek için sırasıyla kohezyonun 8, 25, 58 kPa ve birim hacim ağırlığının 17, 18, 20 kN/m<sup>3</sup> olduğu durumlar incelenmiştir. İçsel sürtünme açısında ki değişim üç heyelan için de güvenlik faktöründe ortalama  $\pm 0.2$  kadar farklılığa neden olmuştur. Kohezyonun güvenlik faktörü üzerindeki etkisini incelemek için birim hacim ağırlığının 17, içsel sürtünme açısının 10, 15, 20 olduğu durumlar incelenmiştir. Üç heyelan alanı için de kohezyon değerinin 8 kPa olduğunda güvenlik faktörü yaklaşık 1 iken, kohezyon değeri 50 kPa olduğunda güvenlik faktörünün yaklaşık 2 olduğu gözlenmiştir.

Son olarak arazi çalışması yapılan Araklı-Yiğitözü, Giresun 1, Giresun 2 heyelanlarının gerçek bütün parametreleri kullanılarak YSA ile GF'nün hesaplanması amaçlanmıştır. BHA, kohezyon, içsel sürtünme açısına aralık değer verilerek GF'nün YSA ile hesaplandığı veri setinde 3 heyelanın gerçek parametrelerine karşılık gelen güvenlik faktörü değerleri incelenmiştir. GeoStudio ile hesaplanan GF ile YSA ile hesaplanan GF değerlerinin birbirine yakın ve kullanılabilir olduğu gözlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar YSA yönteminin, heyelanların güvenlik faktörünü belirlemede, geleneksel yöntemler kadar başarılı sonuçlara ulaşabileceğini ortaya koymaktadır. Böylelikle arazide sismik hızları belirlenmiş olan heyelanların zor ve zaman alıcı bir kısım laboratuvar çalışmalarına gerek kalmadan, YSA ile güvenlik faktörü daha kısa sürede ve daha az maliyetle belirlenebilecektir.



## 5. KAYNAKLAR

- Aki, K. ve Richards, P., 1980. Quantitative seismology: Theory and Methods: Freeman Co., NY.
- Al-Sadi, H., 1982. Seismic exploration, 215, Birkhauser Verlag, Stuttgart.
- Atalay, F. ve Bekâroğlu, N., 1973. Heyelanlar ve Mühendislik Uygulanması, Bayındırlık Bakanlığı yayınları, Ankara.
- Aytekin, M. ve Haliloğlu, S. B., 1998. Heyelan Analizinde Kullanılan Yöntemler ve Bazı Bilgisayar Uygulamaları, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği VII. Ulusal Kongresi, Y.T.Ü., Ekim, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 382-392.
- Baltacıoğlu, A. K., Civalek, Ö., Akgöz, B. ve Korkmaz, A., 2010. Deprem Hasarlarının Hızlı Tespitinde Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı, Journal of Engineering Science and Design, 1, 1, 22-27.
- Bishop, A. W., 1955. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes, Geotechnique, Great Britain, 5, 1, 7-17.
- Bishop, A. W. ve Morgenstern, N., 1960. Stability Coefficients for Earth Slopes, Geotechnique, 10, 4, 29-50.
- Buttkus, B., 2000. Spectral Analysis and Filter Theory in Applied Geophysics by Burkhard ISBN-10, 3540626743, Springer.
- Caquot, A., 1954. Methode Exacte pour le calcul de la Rupture d'un Massif par Glissement Cylindrique, Proc. Eur. Conf. Stockholm, 1, 28.
- Choobbasti, A. J., Farrokhzad, F. ve Barari, A., 2009. Prediction of slope stability using artificial neural network (case study: Noabad, Mazandaran, Iran), Arab J Geosci, 2, 311-319.
- Chua, L. ve Yang, L., 1988. Cellular neural networks: Theory, IEEE Trans. Circuits and Systems, 35, 10, 1257-1272.
- Collin, A., 1956. Landslides in Clays, Çeviren, N.R. Schriever, 160, University of Toronto Press, Toronto.
- Çağlar, N., 2001. Yapay Sinir Ağları ile Binaların Dinamik Analizi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Demirbaş, N., 2008. Jeofizik Yöntemler ile Heyelan Araştırmaları, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Demuth, H. ve Beale, M., 2000. Neural Network Toolbox for Use with Matlab, User's Guide Version 4, The MathWorks.
- Dere, A., 2009. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Sıvılaştırma Analizi ve Adapazarı İçin Örnek Bir Uygulama, Sakarya Üni., Fen Bil. Ens., Sakarya.
- Dziewonski A.M. ve Hales A.L., 1972. Numerical analysis of dispersive seismic waves, B.A. Bolt, (Ed.), Methods in computational physics, 271–295.
- Efe, M. Ö. ve Kaynak, O., 2000. Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, 696, 141, İstanbul: Bogaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Elmas, M., Çağlar, N. ve Mert, N., 1998. Determination of Earthquake Damage on RC Structures Using Neural Network, Proceedings of 2nd International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, Turkey, August, Sakarya.
- Elmas, Ç., 2003. Yapay Sinir Ağları, ISBN:9753476124, Seçkin Yayıncılık, İstanbul.
- Ergin, K., 1995. Advanced Seismology (Rays and waves), TÜBİTAK, Marmara Research Center, Department of Earth Sciences, İstanbul.
- Erguvanlı, K., 1982. Mühendislik Jeolojisi, İ.T.Ü. Yayını, 590, İstanbul.
- Fırat, U., 2005. Yapay Sinir Ağı Kullanarak Deprem Eğiliminin Kestirimi, Deprem Sempozyumu, Mart, Kocaeli, Bildiriler Kitabı: 1348-1352.
- Goodman, R. E. ve Bray, J., 1976. Toppling of Rock Slopes, Rock Engineering for Foundations and Slopes, Proc. Spec. Conf. Univ. of Colorado, 201-235.
- Göktepe, F., 2008. Adapazarı Killerinin Sınıflandırılmasında Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bil. Ens., Sakarya.
- Grant, F. S. ve West, G. F., 1965. Interpretation Theory in Applied Geophysics, ISBN-10: 0070241007, 583 p., McGraw-Hill, New York.
- Güllü, H., Pala, M. ve İyisan, R., 2007. Yapay sinir ağları ile en büyük yer ivmesinin tahmin edilmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Ekim, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 185-193.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin 1/25 000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu, MTA Dergisi Yayınları, Ankara.
- Güven, İ., H., 1998. 1/100.000 Ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları No: 57, 58, 59, 60, MTA Yayını, Ankara.
- Hagan, M., T., Demuth, H. B. ve Beale, M., 1999. Neural Network Design, PWS, Publishing Company, Boston.

- Hanna, A.M., Ural, D. ve Saygılı, G., 2007. Neural network model for liquefaction potential in soil deposits using Turkey and Taiwan earthquake data, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Elsevier, 27, 521-540.
- Haykin, S., 1994. Neural Network, A Comprehensive Foundation. New York: Macmillan College Publishing Company.
- Hebb, D.O., 1949. The Organization of Behavior: A neuropsychological theory. New York: Wiley.
- Hoek, E., 1970. Estimating the stability of excavated slopes in opencast mines, Institution of Mining and Metallurgy, 105-132.
- Hopfield, J.J., 1982. Neural networks and physical systems with emergent collective computation abilities: Proceeding of the National Academy of Science, 79, 2554-2558.
- Jaky, J., 1936. Stability of earth slopes 1. int conf. soil mech. Found. 11, 200-207.
- Janbu, N., 1954. Application of composite slip circles for stability analysis, proc. European conf. on stability of Earth slopes, Stockholm, 4, 43-49.
- Janbu, N., Bjerrum, L. ve Kjaernsli, B., 1956. Veileding ved losning av fundamentering-soppgaver, Publication No. 16, Norwegian Geotechnical Institute.
- Kanlı, A. I., Tildy, P., Pronay, Z., Pınar, A. ve Hermann, L., 2006. VS30 mapping and soil classification for seismic site effect evaluation in Dinar region, SW Turkey, Geophys. J. Int. 165, 223–35.
- Kohonen, T., 1982. Self-organized formation of topologically correct feature maps: Biological Cybernetics, 43, 59-69.
- Kohonen, T., 1984. Self-organization and associative memory, Springer, Berlin Heidelberg, New York.
- Kohonen, T., 1987. State Of The Art In Neural Computing', IEEE First International Conference on Neural Networks, California, 1, 79-90.
- Konuk, Ç., 2005. Şev Stabilitesi Analizi ve Şevlerde Deprem Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kuran, U., 1975. Yer Altı Suyundan Maksimum Verim Elde Edilebilecek Sahanın Jeofizik Çalışmalarla Saptanması ve Bunların Mühendislik Problemlerinin Çözümündeki Önemi, Jeofizik Mecmuası, Türkiye Jeofizikçiler yayını, No:6.
- Küyük, S. H., 2005. Yapay Sinir Ağları ile Kesme Donatısız Betonarme Kirişlerin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.U Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Lay, T. ve Wallace, T.C., 1995. *Modern Global Seismology*, ISBN-10: 012732870X, first edition, 521, San Diego: Academic Press.
- Liu, B., Ye, M., Xiao, M. ve Miao, S., 2006. Artificial neural network methodology for soil liquefaction evaluation using CPT values, *ICIC*, 329-336.
- McCulloch, W.S., ve Pitts, W.H., 1943. A logical calculus of the ideas imminent in nervous activity: *Bull. Math. Biophy.* 5, 115-133.
- McMechan, G. A., ve Yedlin, M. J., 1981. Analysis of dispersive waves by wave field transformation, *Geophysics*, 46, 869–874.
- Ming, Z., 2011. A Neural Network Application in Predicting Slope Stability, *Electric Information and Control Engineering (ICEICE)*, 2011 International Conference on, 15-17 April 2011.
- Minsky, M. ve Papert, S., 1969. *Perceptrons.*: MIT Press, Cambridge, MA.
- Morgenstern, N. R. ve Price, V. E., 1967. A Numerical Method for Solving the Equations of Stability of General Slip Surfaces, *The Computer Journal*, 9, 388-393.
- Nolet, G. ve Panza, G.F., 1976. Array Analysis of Seismic Surface Waves: Limits and Possibilities, *Pure and Applied Geophysics*, 114, 776–790.
- Okada, H., 2003. *The Microtremor Survey Method*, Geophysical Monograph Series 12, SEG, Tulsa.
- Önalp, A., 1983. *İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi Cilt II*.
- Önalp, A. ve Arel, E., 2004. *Geoteknik Bilgisi II, Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği*, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul.
- Öztemel, E., 2003. *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Park, C.B., Miller, R.D. ve Xia, J., 1998. Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record, Technical Program with Biographies, *SEG*, 68th Annual Meeting, New Orleans, Louisiana, 1377–1380.
- Pradhan, B. ve Lee, S., 2009. Landslide risk analysis using artificial neural network model focussing on different training sites, *International Journal of Physical Sciences*, 4, 001-015.
- Reynolds, J.M., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, Reynolds Geo-Sciences Ltd, UK.

- Rosenblatt, F., 1958. The perceptron: a Probabilistic model for information storage and organization in the brain, Psych. Rev., 65, 386-408.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. ve Williams, R. J., 1986. Learning internal representations by error propagation. In Parallel Distributed Processing, Explorations in the Microstructure of Cognition, Volume 1: Foundations. David E. Rumelhart, James L. McClelland and the PDP Research Group. Cambridge, MA: MIT Press, pp. 318—362.
- Sağıroglu, S., Besdok, E. ve Erler, M., 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları, Ufuk Kitapevi, Kayseri.
- Sakellariou, M. G. ve Ferentinou, M. D., 2005. A study of slope stability prediction using neural networks, Geotechnical and Geological Engineering, 23, 419–445.
- Sarma, S.K., 1973. Stability analysis of embankments and slopes, Geotechnique, 23, 3, 423-433.
- Sarma, S.K., 1979. Stability analysis of embankments and slopes, A.S.C.E., Journal of the Geotechnical Engineering Division, 105, 1511-1524.
- Sheriff, R. E. ve Geldart, L.P., 1982. Exploration Seismology, 1-2. Cambridge University Press.
- Simpson, P. K., 1990. Neural Networks Theory, Technology and Applications, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers Press.
- Stokoe, K. H., Wright, G. W., James, A. B. ve Jose, M. R. 1994. Characterization of geotechnical sites by SASW method, R. D. Woods, (ED.), Geophysical characterization of sites, New Delhi: Oxford Publishers.
- Şen, Z., 2004. Yapay Sinir Ağları ve İlkeleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Şen, G., Akyol, E. ve Fırat, M., 2007. Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi: Denizli-Gümüşler örneği, S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg., 22, 1-2.
- Şişman, H., 1995. Sismik Dalga Hızları ile SPT ve Pressiometre Deney Sonuçları Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Taylor, D.W., 1937. Stability of Earth Slopes Cont. Soil Mech. Soc. Civil Eng. Boston.
- Terzaghi, K., 1950. Mechanism of Landslides. Form Theory to Practice in soil mechanics, 202–245.

- Tezcan, S., Keçeli, A. ve Özdemir, Z., 2010. Zemin ve Kayaçlarda Emniyet Gerilmesinin Sismik Yöntem ile Belirlenmesi, TUBAV Bilim Dergisi, 1, 1-10.
- Tolon, M., 2007. Artificial neural network approaches for slope stability, M.S. Thesis, I.T.U. Institute of Science and Technology, Istanbul.
- Tunçel, A., 2008. Sismik Kırılma Yöntemi ve Mikrotremör Ölçümlerinden Elde Edilen Dinamik Zemin Parametrelerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Tung, A.T.Y., Wang, Y.Y. ve Wong, F.S., 1993. Assessment of liquefaction potential using neural Networks, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 12, 325-335.
- Turner, A., Keith ve Schuster, R., 1996. Landslides investigations and mitigation. National Academy Press, 673 s. Washington.
- Ulusay, R., 1989. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Ulusay, R., 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, JMO Yayın No.38, Ankara.
- URL-1, <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/images/fig3grouping-2LG.jpg>, 16.05.2008.
- URL-2, <http://www.istanbul.edu.tr/eng/jfm/ozcep/mikrobolgeleme/MikrobolgelemeDokuman.htm>, 14.09.2012.
- Uzuner, B.A., 1995. Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Yayınevi, Trabzon.
- Varnes, D. J., 1978. Slope movement types and processes. In: Special Report 176:Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.
- Viktorov, I.A., 1967. Rayleigh and Lamb Waves, Physical Theory and Applications, New York: Plenum Press.
- Wang, H.B., Xu, W.Y. ve Xu, R.C., 2005. Slope stability evaluation using Back Propagation Neural Networks, Engineering Geology, 80, 302– 315.
- Wasserman, P. D., 1989. Neural Computing Theory and Practice, Coriolis Group, ISBN-10: 0442207433, 230.
- Widrow, B. ve Hoff, M.E., 1960. Adaptive switching circuits, 1960 IRE Western Electric Show and Convention Record, 4, 8, 96-104.

- Widrow, B., 1962. Generalization and information storage in networks of adaline Neurons, in *Self-organizing Systems*, Jovitz, M.C., Jacobi, G.T. ve Goldstein, G. eds., Sparten Books, 435-461.
- Xia, J., Miller, R.D. ve Park, C.B., 1999. Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave, Geophysics, 64, 691–700.
- Yalçın, E., Johan A.K., ve Suykens P.L., 2001. Cellular Neural Networks, Multi-Scroll Chaos and Synchronization, World Scientific.
- Yilmaz, O., 1987. *Seismic Data Processing*. SEG.
- Yurtoglu, H., 2005. *Sinir Agları Metodolojisiyle Öngörü Modellenmesi*, Uzmanlık Tezi, Devlet Planlama Teskilatı, Ankara.
- Zhou, K. ve Chen, Z., 2009. Stability Prediction of Tailing dam Slope Based on Neural Network Pattern Recognition, 2009 Second International Conference on Environmental and Computer Science, Dubai.
- Zhu, Y., Ding, X., Li, Z. ve Zhou, S., 2010. Analysis on Uranic Slope Stability Based on Neural Network, International Forum on Information Technology and Applications 2010, China.

## ÖZGEÇMİŞ

06.07.1986'da Gümüşhane'de doğdu. İlköğretimini Sami Yücel İlköğretim okulunda, orta öğretimini Fatsa lisesinde bitirdi. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne girmeye hak kazandı. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü bitirdikten sonra aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.