

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIVILAŞMA NEDENİYLE OLUŞAN YANAL
YAYILMANIN BİR YAPAY SİNİR AĞI(YSA)
MODELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

NECMETTİN DOĞAN ÖNDER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GEBZE

2010

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SIVILAŞMA NEDENİYLE OLUŞAN YANAL
YAYILMANIN BİR YAPAY SİNİR AĞI(YSA)
MODELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

NECMETTİN DOĞAN ÖNDER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Bilge SİYAHİ

GEBZE

2010



**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ**

JÜRİ ONAY FORMU

JÜRİ

ÜYE (BAŞKAN) :

ÜYE :

ÜYE :

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı ile yukarıdaki öğretim elemanlarından oluşmuş jüri tarafından düzenlenen/...../..... tarihli Tez Savunma Tutanağı neticesinde Yüksek Lisans / Doktora öğrencisi'ın çalışması GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Yönetim Kurulu/...../..... tarih ve /.... /..... sayılı kararıyla Anabilim Dalında Yüksek Lisans / Doktora tezi olarak onaylanmıştır.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : SIVILAŞMA NEDENİYLE OLUŞAN YANAL YAYILMANIN BİR YAPAY SİNİR AĞI(YSA) MODELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

YAZAR ADI : NECMETTİN DOĞAN ÖNDER

Deprem sırasında sıvılaşma nedeniyle oluşan yanal yayılma en çok hasar veren zemin göçmelerinden biridir. Daha önce yaşanmış depremlerde yapılan gözlemler birkaç metreye ulaşan yanal yayılmaların çevre arazilerde ciddi hasarlara neden olduğu gözlenmiştir. Sıvılaşma, deprem ve zemin parametrelerini içeren karmaşık bir zemin göçmesi olduğu için sıvılaşma nedeniyle oluşan zemin deformasyonu doğrusal olmayan metotlarla incelenmelidir. Sunulan bu çalışmada deprem sırasında oluşan zemin hareketlerinden sıvılaşmanın neden olduğu yanal yayılma için bir “Yapay sinir ağı (neural Networks,NN)” modeli geliştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan YSA modeli 9 girdi parametreleri olarak lokal manyitüd (M_L) ve gözlem noktalarının mevcut faya veya dışmerkeze (episantr) uzaklığını (R) , deprem ivmesinin yer çekimi ivmesine oranı(a/g) çevre gerilmesi (σ_0) , efektif çevre gerilmesi (σ_0') , standart penetrasyon drenci (SPT) , toplam çevre gerilmesine göre normalize edilmiş ortalama kayma mukavemeti (τ_{ort}/σ_0), ince malzeme oranı (F), ortalama dane çapı (D_{50}) ve 1 çıktı (yanal yayılma miktarı) parametresinden oluşmaktadır. Yanal yayılma ve zemin ve deprem parametreleri arasında geri yayılım algoritması ile eğitilmiş ve test edilen ileri beslemeli ve çok katmanlı bir YSA modeli ile ilişki kurulmuştur. YSA modelinde geçmiş depremlerden alınan 25 data seti hazırlanmıştır. Bu data setinin %80'i modelin eğitimi için ayrılmış, %20'si ise modelin sınanması için kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan yaklaşımın, depremler sırasında meydana gelen sıvılaşmalara bağlı yanal yayılmaları oldukça yüksek doğruluk derecesinde tahmin edebildiği gösterilmiştir. Sonuçlar regresyon analizi (MLR) yöntemlerinden Youd ve Perkins(1987) ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelime:Sıvılaşma, Yanal Yayılma, Yapay Sinir Ağları

SUMMARY

THESIS NAME : EVALUATION OF LIQUEFACTION – INDUCED LATERAL SPREADING BY A NEURAL NETWORK (NN) MODEL

AUTHOR’S NAME: NECMETTİN DOĞAN ÖNDER

Liquefaction-induced lateral spreading during an earthquake ground motion (EQGM) is considered to be one of the major soil failure types. The observations from the previous earthquakes show that the magnitude of lateral spreading can reach earthquake parameters, liquefaction-induced soil deformations should be investigated by nonlinear methods. In this study, a NN model has been developed to investigate the liquefaction-induced lateral spreading during an earthquake ground motion. The NN model used in this study was constructed using 8 input parameters (magnitude of EQGM, σ_0 (kPa), σ_0' (kPa), N (SPT), a/g , $\tau_{\text{ort}}/\sigma_0$, F (%), D_{50}) and 1 output parameter (lateral spreading). A relationship is established between the lateral spreading and the soil and earthquake ground motion parameters by developing and testing a multi-layered feed-forward NN model trained with the back-propagation algorithm. A total of 175 cases were used for constructing the NN model. Results indicates that N(SPT) is the most effective parameter; whereas a/g is the least effective parameter on liquefaction-induced lateral spreading. The approach adapted in this study was shown to be capable of providing the best accurate estimates of liquefaction-induced lateral spreading during an earthquake ground motion.

Keywords: Liquefaction, Lateral Spreading, Neural Network

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince benden hiçbir yardımı esirgemeyen, kaynak ve doküman temininde bana yardımcı olan, çalışmamı olumlu katkılarıyla geliştiren değerli danışmanım Prof.Dr. Bilge SİYAHİ' ye teşekkürü bir borç bilirim.

Özellikle yapay sinir ağları kullanımındaki yardımlarından dolayı değerli hocam Yrd. Doc. Dr. Bülent AKBAŞ 'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmamın jürisinde bulunan ve fikirleriyle çalışmama katkı sağlayan değerli hocam Prof.Dr Okay EROSKAY 'a teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımda her zaman yanımda çalışmalarımı maddi manevi destekleyen aileme özellikle çevirilerimden tez düzenlemesinde bana yardımcı olan anneme teşekkür ederim .

İş hayatının yoğun temposuna rağmen bu çalışmayı tamamlamamda maddi manevi desteğini hiç eksik etmeyen ,eğitime verdiği önemden dolayı beni teşvik eden ANKA MÜHENDİSLİK Ltd. Şti 'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	İİİ
SUMMARY	İV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	Vİİİ
ŞEKİLLER DİZİNİ	İX
ÇİZELGE DİZİNİ	X
RESİM DİZİNİ	Xİ
GİRİŞ	1
1. DEPREM NEDENİYLE OLUŞAN SIVILAŞMA	2
1.1.Sıvılaşma ve Sıvılaşmayı Etkileyen Faktörler	2
1.2. Sıvılaşma Analiz Yöntemleri	3
1.2.1.Geliştirilmiş Çin Kriterleri (Finn vd., 1994)	4
1.2.2.Çin Kriterlerinin Yeniden (2000) Değerlendirilmesi	5
1.2.3. Laboratuar Deneylerinde Örselenmemiş Numunelerin Kullanılması	6
1.2.4. Arazi Deneyleri ile Korelasyonlara Dayanan Ampirik Bağlılıkların Kullanılması	6
1.2.5. SPT (Standart Penetrasyon Deneyi) Verilerine Dayanan Kriterler	6
1.2.6. Basitleştirilmiş Yöntem (Seed vd ., 1984, 1985)	7
1.2.7. Geliştirilmiş Basit Yöntem (NCEER, 1997; Youd vd., 2001)	8
1.2.8. Çetin vd. (2000) ve Seed vd. (2001) Tarafından Geliştirilen Yeni Yöntemler	12
1.2.9. CPT (Konik Penetrasyon Deneyi) Verilerine Dayanan Kriterler	16
1.2.10. Vs (Kayma Dalgası Hızı) verilerine dayanan kriterler	19
1.2.11. Analitik Yöntemler	22
1.2.12. Ampirik Yöntemler	22
1.3.Sıvılaşma Etkilerinin Değerlendirilmesi	25
1.3.1.Ishihara Yöntemi	25
1.3.2.lwasaki vd. (1982) Tarafından Önerilen Yöntem	27
1.4.Sıvılaşmaya Bağlı Oluşan Hasarlar	28
1.5.Sıvılaşma Sonucu Oluşan Deformasyon Türleri	30
1.6.Sıvılaştırma Olasılığına Göre Bölgeleme	32

2.SIVILAŞMAYA BAĞLI OLUŞAN YANAL YAYILMALAR	33
2.1.Yanal Yayılma	33
2.2.Yanal Yayılmanın Alt Yapıya Etkisi	35
2.3.Sivilaşmaya Bağlı Yanal Yayılmalar	37
3.YANAL YAYILMA ANALİZ YÖNTEMLERİ	39
3.1.Yanal Yayılma Tahmininde Simülasyon Modelleri	39
3.2.Yanal Yayılma Hesaplama Yöntemlerinde Deneysel Modeller	40
3.2.1.Youd and Perkins (1987LSI model)	41
3.2.2.Hamada vd.,(1986)	43
3.2.3.Barlett ve Youd.,(1992)MLR Model	43
4.YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)	46
4.1.Yapay Sinir Ağları ve Sivilaşma Problemi	47
4.2.Geri Yayılımlı Ağlar	48
5. SORUNLU ZEMİNLERDE ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	50
5.1. Islanmayla Çöken Zeminlerde Temel Tasarımı	50
6.SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN YSA İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	52
7.SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	62
KAYNAKÇA	64
ÖZGEÇMİŞ	71

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Birim

(ML)	Manyitüd
(R)	Gözlem Noktalarının Mevcut Faya veya Dışmerkeze (Episandır) Uzaklığı
(a/g)	Deprem İvmesinin Yer Çekimi İvmesine Oranı
(σ_0)	Çevre Gerilmesi
(σ'_0)	Efektif Çevre Gerilmesi
(SPT)	Standart Penetrasyon Drenci
(τ_{ort}/σ_0)	Toplam Çevre Gerilmesine Göre Normalize Edilmiş Ortalama Kayma Mukavemeti
(F)	İnce Malzeme Oranı
(D50)	Ortalama Dane Çapı
LSI	Değeri İnç Cinsinden Maksimum Yanal Deformasyon Miktarı
R	km Cinsinden Deprem Merkezine Olan Uzaklık
M_w	Depremin Moment Manyetüdü

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Deprem sırasındaki sıvılaşma sonucunda oluşan yanal yayılmanın şematik tanımlanması(Rouch 1997)	2
1.2. Geliştirilmiş Çin Kriterleri (Finn vd., 1994)	5
1.3. $M_w = 7.5$ büyüklüğündeki depremler ve farklı ince dane oranları için eşdeğer tekrarlı gerilme oranı ve SPT ($N_{1,60}$) değeri arasındaki ilişki (Seed vd., 1984, 1985)	8
1.4. Önerilen Deprem Büyüklüğü İlişkili Süre Ağırlık Faktörü'nün $N_{1,60}$ değerinin bir fonksiyonu olarak gösterilmesi (Seed vd., 2001'den)	14
1.5. $\sigma_v > 2$ atm için Önerilen K_σ değerleri (Seed vd., 2001)	15
1.6. Önerilen SPT'ye dayanan sıvılaşmanın tetiklenme ilişkisi ($M_w = 7.5$ $\sigma'_v = 1$ atm için)	16
1.7. Sıvılaşma direncini CPT verilerinden hesaplamak için önerilen eğri (Robertson ve Wride, 1998'den)	19
1.8. Sıvılaşma Direncini V_s Verilerinden Hesaplamak İçin Önerilen Eğri (Andrus Ve Stokoe, 2000'den)	21
1.9. Sıvılaşma ile zemin yüzeyinde meydana gelen hasarın oluşumunu belirlemek için sınır eğrileri (Ishihara, 1985)	26
1.10. Yüzeydeki sıvılaşmayan ve altındaki sıvılaşabilir zemin tabakalarının tanımları (Ishihara, 1985)	27
1.11 Deprem sırasındaki sıvılaşma sonucunda oluşan hasarların şematik tanımlanması(Rouch., 1997)	31
1.12 İzmir Şehri İçin Sıvılaşma Olasılığı	32
2.1. Sıvılaşma Nedeniyle Oluşan Sınırlı Yanal Yayılma Modelleri	34
2.2.Sıvılaşma Nedeniyle Oluşan Büyük Ölçekli Yanal Yer Değiştirme Modelleri	35
2.3. Sıvılaşma Nedeniyle Oluşan Yanal Yayılmadan Etkilenen Boru Hatlarında Meydana Gelen Hasarın Şeması	36
3.1. LSI' nın Uzaklık ve Deprem Büyüklüğü İle Değişimi Youd ve Perkins (1986).	41
4.1. Geri Yayılma Neural Ağ Yapısı	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Robertson ve Wride (1998) tarafından oluşturulan SPT düzeltmeleri (Youd vd.,2001)	10
1.2. Barlett ve Youd (1992) ve Bardet vd. (2002) modelleri için katsayıların değerleri.	24
3.1. Sıvılaştırılabilir zeminlerin genişçe yayılım gösterdiği alanlarda farklı LSI değerleri için sıvılaşma etkilerinin genel karakteri ve çokluk durumu.	42
3.2. Barlett & Youd.,(1992) MLR Modelinin Kullanılabilirliği İçin Gerekli Şartlar	45

RESİMLER DİZİNİ

<u>Resim</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Lower San Fernando Barajı	28
1.2. 1964 Niiagata Depremi	29
1.3. Sıvılaşma, Adapazarı	29
1.4. Hanshin (Japonya) Expres Yol	30
6.1. Girdi ve Çıktıların İşaretlenmesi	52
6.2. Data Setinde Eğitim ve Test Oranlarının Belirlenmesi	53
6.3. Gizli Katman Seçimi	54
6.4. Öğrenme Kuralları Seçimi	54
6.5. Çıkış Katamanı Öğrenme Kuralı	55
6.6. Öğrenme İçin İdeal Çevirim Sayısının Ayarlanması	55
6.7. Program Çalışırken Gerekli Çizelgelerin Seçimi	56
6.8. Hata oranları	56

GİRİŞ

Sıvılaşma, depremler sırasında suya doygun zemin tabakalarında oluşan boşluk suyu basıncı artışı ve kayma mukavemetinin azalması ile daneli malzemenin katı durumdan sıvı hale geçmesidir. Bu durum kohezyonsuz zeminlerde ve düşük kohezyonlu siltler de ve su akımı engellenmiş çakıllı kumlarda ortaya çıkar. Sıvılaşma oluşunca zemin yumuşamakta ve büyük kayma ve şekil değişiklikleri oluşmaktadır. Hafif eğimli veya düz zeminlerde sıvılaşma zemin çökmelerine, kırılmalarına ve yanal kaymalara yol açabilir. Gevşek zeminlerde sıvılaşma, zemin sıkışmasına oturmalara neden olmaktadır. Muhtemel Sıvılaşma bölgelerini tespit etmek için öncelikle sorulması gereken bazı sorular vardır.

Olası sismik hareketlerde zeminin sıvılaşma eğilimi var mıdır?

Eğer sıvılaşma olur ise ne gibi sonuçlar doğurur?(Seed.,1987; Barlett ve Youd.,1992b)

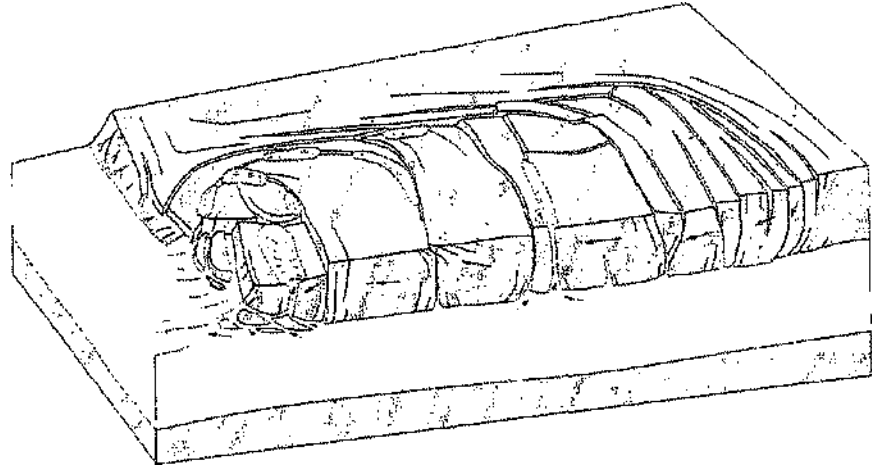
Yanıtlar önceden tahmin edilebilirse hasarı azaltma yöntemleri de geliştirilebilir. Sıvılaşma nedeniyle kalıcı zemin deformasyonlarını tahmin etmek insan hayatında çok önemli olan su ,elektrik, kanalizasyon, ulaşım, iletişim, doğalgaz ve petrol boru hatları gibi yaşam hatlarının yapımında en önemli parametreler arasındadır.

Yaşanmış pek çok depremde sıvılaşmaya ve yanal yayılmaya bağlı zemin taşıma gücü kayıpları, şev kaymaları, bina hasarları gibi trajik hasarların maliyetinin 1 milyar doları aştığı tahmin edilmektedir. 1964 ‘den beri araştırmacılar belirli bir alandaki olası sıvılaşma ve yanal yayılma potansiyelini tahmin edebilmek için güvenilir metotlar bulmaya çalışmaktadırlar. Bu çalışmalarda olası sıvılaşma ve yanal yayılma potansiyelini öngörmek için bu güne kadar kullanılan ampirik ve analitik yöntemler incelenmiş, yeni yaklaşımlar tanıtılmıştır.

Sunulan bu çalışmada yeni gelişmekte bir hesaplama yöntemi olan yapay sinir ağları kullanılarak sıvılaşma potansiyelini etkileyen zemin karakteristikleri ve sismik parametreler incelenmiş ve deprem sırasında oluşan zemin hareketlerinden sıvılaşmanın neden olduğu, olası yanal yayılmayı güvenilir bir şekilde öngörebilmek için bir YSA modeli geliştirilmiştir.

1. DEPREM NEDENİYLE OLUŞAN SIVILAŞMA

Depremeler sırasında suya doymun zemin tabakalarında çevrimli yüklemeler altında oluşan boşluk suyu basıncı artışları ve kayma mukavemetinin azalması zeminde katı fazdan sıvı faza dönüşme olarak nitelendirilebilecek sıvılaşma durumunun ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Önceleri yalnızca kohezyonsuz zeminlerde olduğu zannedilen sıvılaşmanın son yıllarda yapılan arazi gözlemleri ve laboratuar araştırmaları sonucu düşük kohezyonlu siltlerde ve su akımı engellenmiş çakıllı kumlarda da ortaya çıkabileceği görülmüştür. Katı durumdan sıvı duruma dönüşüm düşük geçirimli gevşek-orta sıkı yerleşimli siltli kumlar veya az geçirimli kaplama ve ara tabakalar ile boşluk suyunu drene olması engellenen kumlu çakıllı zeminlerde daha hızlı bir şekilde ortaya çıkmakta, sıvılaşma oluşunca zemin yumuşamakta ve büyük kayma ve şekil değişiklikleri oluşmaktadır.



Şekil 1.1. Deprem sırasındaki sıvılaşma sonucunda oluşan yanal yayılmanın şematik tanımlanması (Rouch 1997)

1.1. Sıvılaşma ve Sıvılaşmayı Etkileyen Faktörler

Sıvılaşma, boşluk suyu basıncındaki artış ve efektif gerilmedeki azalma sonucunda daneli malzemenin katı durumdan, sıvı hale geçmesi olarak tanımlanır (Martin vd.,

1975; Marcuson,1978; Castro ve Poulos, 1977). Boşluk suyundaki artış, daneli malzemelerin tekrarlı kayma deformasyonları altında sıkışma eğilimi göstermesi sonucunda meydana gelmektedir. Malzemenin kıvamındaki değişim özellikle geçirgen olmayan çökellerle kaplı veya bunları içeren siltli kumlar, kumlar ve çakıllar gibi gevşek ve/veya az sıkı daneli zeminlerde gerçekleşmektedir. Sıvılaşma meydana geldiğinde zemin tabakası yumuşamakta ve büyük tekrarlı deformasyonlar ortaya çıkmaktadır. Gevşek malzemelerde yumuşama ile beraber kayma mukavemetindeki kayıplar, örneğin bir temelin altında veya eğimli zeminlerde büyük kayma deformasyonlarına, hatta akmalara neden olabilmektedir. Nispeten daha sıkı malzemelerde ise sıvılaşma geçici yumuşamaya ve artan tekrarlı kayma gerilmelerine neden olmakta, ancak kayma sırasındaki ayrılma eğilimi, büyük mukavemet kayıplarını ve zemin deformasyonlarını engellemektedir. Kısmen daha sıkı malzemelerin sıvılaşmasının ardından çevrimsel(cyclic) yer değiştirme veya toptan sıvılaşma durumu gelişebilir.

Hafif eğimli veya düz zeminlerde, akma veya tekrarlı yer değiştirme sonucunda, sıvılaşma zemin titreşimlerine veya yanıl yayılmalara yol açabilir. Gevşek zeminler de, sıvılaşma sırasında sıkışmaya ve konsolidasyona uğrayarak zeminde oturmaları neden olmaktadır. Ayrıca ilave boşluk suyu basıncının sönümlenmesi sırasında, kum tepcikleri de oluşabilmektedir (Youd vd.,2001).

1.2. Sıvılaşma Analiz Yöntemleri

Özellikle geoteknik santrifüj modelleri ile, depremler sırasında ve sonrasında meydana gelen sıvılaşma ve sıvılaşmaya neden olan faktörler üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar, santrifüj ve fiziksel modelleme topluluğunun, konferanslarının bildiri kitaplarında bulunabilir (Corte 1988, Ko ve McLean 1991, Leung vd. 1994, Kimura vd. 1998 veya Phillips vd. 2002). Bu konuda elde edilen en son bulguların bazıları burada verilmiştir.

Sıvılaşma sürecinin açıklanması, VELACS (Verification of Liquefaction Analysis using Centrifuge Studies, Arulanandan vd., 1994) adı verilen bir çatı altında geliştirilen ileri ölçüm yöntemleri ile fiziksel ve nümerik modelleme tekniklerine dayanmaktadır. Bundan sonra, Kutter ve Balakrishnan (1998) sıvılaşma potansiyelinin incelenmesi için gerekli dinamik fiziksel modelleme yöntemlerinin

geliştirilmesini açıklamıştır. Su geçirmeyen kayma dalgası transduserleri veya harmonik dalga parçacığı yöntemleri gibi, daha yeni gelişmeleri kullanarak, bir zemin kütlesi içindeki sıvılaştıran bölgenin tanımlanması mümkündür (Teymur ve Madabhushi 2002, Imamura ve Fujii 2002). Bu yöntemlerin gelecekte depremler sırasında zemin ve farklı yapı türleri arasındaki etkileşimi daha ayrıntılı olarak incelemek için kullanılması mümkündür. Sıvılaşma üzerine daha özel çalışmalarda, örneğin laboratuvar araştırmaları ile karşılaştırmalar ve buna bağlı olarak laboratuvar araştırmalarının güvenilirliklerinin değerlendirilmesi amacıyla, laboratuvar deney sonuçları ile santrifüj deney verileri arasında karşılaştırmalar yapılmaktadır. Burada, santrifüj model deneylerinden veriler, tanımlanan sınır koşullar altında arazi ölçümlerinin yerine kullanılmaktadır (Dief ve Figueira, 2002).

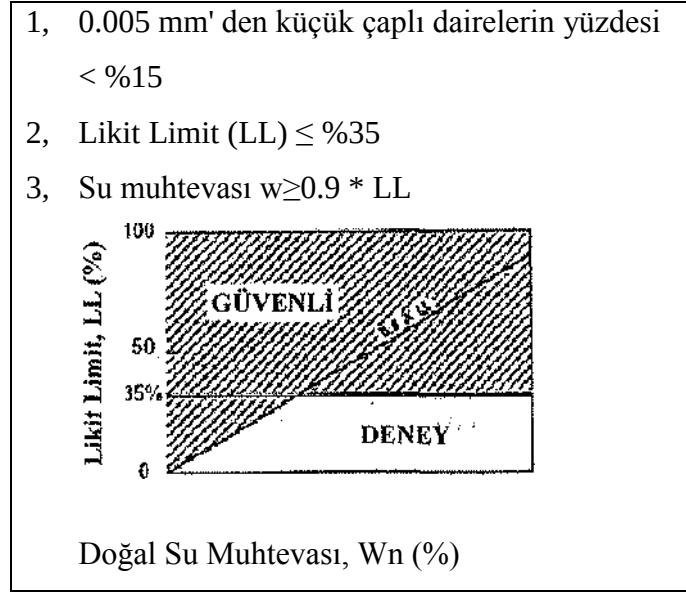
Sıvılaşma üzerine bazı çalışmalarda fiziksel modellemelerle veya gerçeğe uygun ölçekli olayların analizini içeren yöntemlerle ilgilidir. Örneğin, Vallejo ve Scovazzo (2002), sarsma tablasını kullanarak, belirli P-dalgası koşulları için kum merceklerinden oluşan kum tepeciklerini çalışmışlardır. Malvick vd., (2002) deprem sırasında zemin koşullarındaki değişimi gözlemiş ve bir şevdeki zemin tabakalarındaki kayma birim şekil değiştirmelerinin gelişimini, yer hareketi girdisi, relatif sıkılık ve sarsıntı dizisini esas alarak göstermiştir.

1.2.1.Geliştirilmiş Çin Kriterleri (Finn vd., 1994)

Zeminlerin doğal su muhtevaları ve likit limitlerini dikkate alan Casagrande kartındaki yerlerine göre sıvılaşma potansiyelleri hesaplanır. Bu sisteme göre zeminler aşağıdaki koşullar sağlanması durumunda sıvılaşma potansiyeline sahip demektir.

Şekil 1.1'de de gösterildiği üzere, bu kriterlere göre zeminler aşağıdaki durumlarda potansiyel olarak sıvılaşabilirler (Seed vd., 2001'den).

- (1) kil yüzdesi (Çin tanımına göre 0.005 mm' den küçük boyutlu daneler kil olarak tanımlanmaktadır) % 15 'ten küçükse,
- (2) likit limit %35'e eşit veya daha küçükse,
- (3) arazideki mevcut su muhtevası likit limitin %90'ına eşit veya daha büyükse.



Şekil 1.2. Geliştirilmiş Çin Kriterleri (Finn vd., 1994)

1.2.2.Çin Kriterlerinin Yeniden (2000) Değerlendirilmesi

Andrews ve Martin (2000), Seed vd. (1984,1985) oluşturduğu veritabanından sınılaşma ile ilgili geçmiş vakaları analiz etmiş ve Geliştirilmiş Çin Kriterlerini Amerika'daki geleneksel koşullara göre (kil boyutlarını 0.002 mm' den küçük kabul ederek) uygulamışlardır. Andrew ve Martin %10'dan az kil içeren ve 40 no' lu elek altına geçen bölümünün likit limiti (LL) %32'nin altında olan zeminleri potansiyel sınılaşabilir olarak nitelemişler, bu koşulların aksi durumları sağlayan zeminlerde tekrarlı gerilmelerle meydana gelen klasik sınılaşmanın gerçekleşmesinin mümkün olmadığı sonucuna varmışlardır. Bu iki zemin türü arasında kalan zeminlerde ise, numuneler alınarak, deney yöntemleri ile sınılaşma potansiyellerinin belirlenmesinin gerektiğini belirtmişlerdir. Şekil 1.2' de bu kriterlerin bir özeti verilmiştir.

	Likit limit < %32	Likit limit ≥ 32
Kil içeriği < %10	Sınılaşmaya hassas	İleri çalışmalar gerekli
Kil içeriği ≥ %10	İleri çalışmalar gerekli	Sınılaşma tehlikesi yok

Notlar:1. Casagrande deney aleti ile belirlenen likit limit

2. Kil dane boyutu 0.002mm den küçük malzeme olarak tanımlanmıştır.

1.2.3. Laboratuvar Deneylerinde Örselenmemiş Numunelerin Kullanılması

Örselenmemiş numuneler üzerinde laboratuvarda yapılan deneylerin kullanımı, numunenin alınması ve laboratuvarda tekrar konsolide edilmesi sırasındaki örselenmeden kaynaklanan güçlüklerle ilgili olarak karmaşık hale gelmektedir. Bunun yanında, yüksek kaliteli dinamik basit kesme deneylerinin yapılması zor ve pahalıdır, dinamik üç eksenli deneyleri ise sismik problemlerin çoğunun ilgilendiği temel yükleme durumlarını eksik olarak temsil etmektedir. Uygun "donmuş" numune alma tekniklerinin kullanılması ve ardından yapılan kaliteli dinamik basit kesme veya burulmalı kesme deneyleri bir seviyeye kadar yardımcı olabilmektedir. Fakat bu yöntemlerin zorlukları ve maliyetleri, bu yöntemlerin kullanımını birçok mühendislik çalışmasının kapsamından çıkarmaktadır (Seed vd., 2001)

1.2.4. Arazi Deneyleri ile Korelasyonlara Dayanan Ampirik Bağıntıların Kullanılması

Arazi deneylerinin kullanılması, sıvılaşma potansiyelini sayısal olarak değerlendirmek için mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır. Zeminlerin sıvılaşma direncini değerlendirmek için iki değişkenin hesaplanması veya tahmin edilmesi gereklidir (Seed vd., 2001; Youd vd., 2001):

- (1) CSR olarak ifade edilen, bir zemin tabakasındaki oluşan tekrarlı gerilme oranı(Cyclic Stres Ratio)
- (2) CRR olarak ifade edilen, bir zeminin sıvılaşmaya karşı koyma kapasitesi.(Cyclic Resistance Ratio)

1.2.5. SPT (Standart Penetrasyon Deneyi) Verilerine Dayanan Kriterler

Sıvılaşma direncinin karakterizasyonu konusunda A.B.D.'nde ve diğer birçok ülkede en çok kullanılan yerinde deney standart penetrasyon deneyidir (SPT);

sıvılaşma direncini yükseltme eğilimindeki faktörler {örnek; yoğunluk, önceki sismik deformasyonlar, aşırı konsolidasyon oranı, yanal zemin basınçları ve maruz kalınan basınç altında geçen süre) SPT direncini de arttırmaktadır. Seed vd. (1983) belirli bir SPT direncine sahip temiz kumda sıvılaşma oluşturması beklenen minimum devirsel gerilme oranını belirlemek için, $M=7,5$ depremlerde sıvılaşmanın gözlemlendiği veya gözlenmediği temiz kum ve siltli kum sahalarındaki düzeltilmiş SPT direnci ile devirsel gerilme oranını karşılaştırmışlardır.

İnce tanelerin varlığı SPT direncini etkiler ve bu nedenle de sıvılaşma direncinin değerlendirilmesinde hesaba katılmalıdır , ince tane oranı %5'i geçmediği sürece kumların sıvılaşma direncinin ince taneden etkilenmediği anlaşılmaktadır. Daha yüksek ince tane oranlarında, ince taneli malzeme sıvılaşmayı [yani; (belirli bir (M)eo değerinde) sıvılaşmayı başlatmak için gerekli CSR'yi] sınırlama eğilimindedir. İnce taneli malzemenin plastisitesi de sıvılaşma direncini etkiler. Plastik özellikli tanelerin birbirine yapışması münferit partiküllerin göreceli hareketini engelleme eğiliminde olup, depremler sırasındaki aşırı boşluk suyu basıncı oluşumunu azaltır.

Sıvılaşma direncinin SPT verilerine dayanan kriterlere göre değerlendirilmesi $CSR-N_{1,60}$ grafiğinde geniş olarak somutlaştırılmıştır (Şekil 1.3)(Youd vd., 2001).

1.2.6. Basitleştirilmiş Yöntem (Seed vd ., 1984, 1985)

Bu yöntem, SPT deney yöntemini etkileyen mevcut düşey gerilme ve enerji faktörleri ile ekipman ve deneyin uygulanmasına bağlı faktörlere göre $N_{1,60}$ değerlerine düzeltilmiş SPT (N) değerleri ile tekrarlı yüklemelerin şiddetini deprem büyüklüğünün ağırlıklı eşdeğer uniform tekrarlı gerilme oranı (CSR_{eq}) olarak ifade eden ilişkiyi esas almaktadır. Şekil 2.4'te gösterildiği üzere, düzeltilmiş $N_{1,60}$ değerleri ve sıvılaşmayı tetiklemek için gerekli tekrarlı gerilmenin büyüklüğü arasındaki korelasyon aynı zamanda ince dane oranının da bir fonksiyonudur (Seed vd., 2001).

CSR_{eq} , Seed ve Idriss (1971)'in basitleştirilmiş yönteminden aşağıdaki gibi tahmin edilebilir,

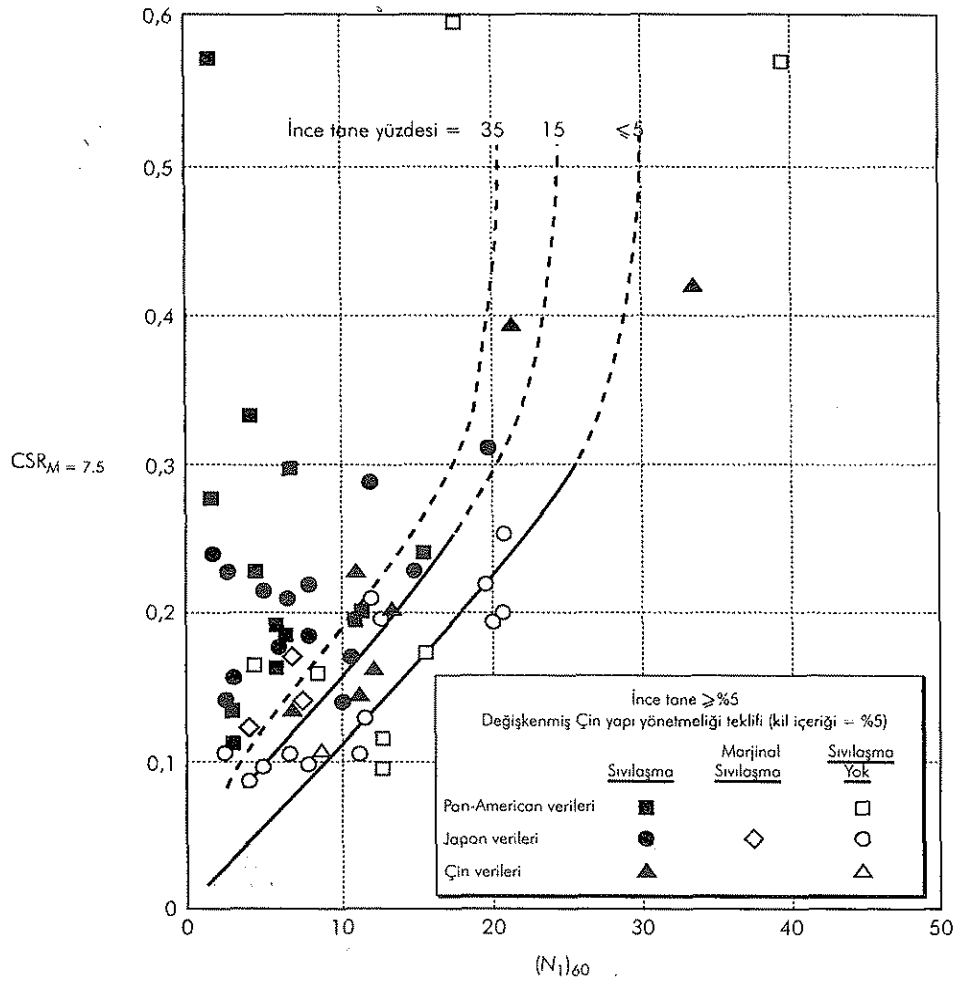
$$CSR_{peak} = \frac{a_{maks}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} r_d \quad (1.1)$$

$$CSR_{esdeger} = 0.65 CSR_{peak} \quad (1.2)$$

burada a_{max} = yüzeydeki en büyük yatay ivme, g =yer çekimi ivmesi, σ_v =toplam düşey gerilme, σ'_v =efektif düşey gerilme, r_d =gerilme azaltma katsayısı olmaktadır,

$$r_d = 1 - 0.015z \quad (1.3)$$

olarak bağıntısından tahmin edilebilir. Burada, z , metre biriminde yüzeyden derinliktir.



Şekil 1.3. $M_w = 7.5$ büyüklüğündeki depremler ve farklı ince dane oranları için eşdeğer tekrarlı gerilme oranı ve SPT $(N_1)_{60}$ değeri arasındaki ilişki (Seed vd., 1984, 1985)

1.2.7. Geliştirilmiş Basit Yöntem (NCEER, 1997; Youd vd., 2001)

Basitleştirilmiş Yöntemin iyileştirilmiş hali olan bu yöntem Youd vd. (2001) özetlenmiştir.

1. Adım: Tekrarlı Kayma Gerilmesi Oranı (CSR), Seed ve Idriss (1971),

$$CSR = \frac{\tau_{ort}}{\sigma_v} = 0,65 \frac{a_{maks}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} r_d \quad (1.4)$$

olarak hesaplanır. Burada; a_{maks} =yüzeydeki en büyük yatay ivme, g =yer çekimi ivmesi, σ_v =toplam düşey gerilme, σ_v' =efektif düşey gerilme, r_d =gerilme azaltma katsayısı olmakta, r_d değerlerinin ortalaması ise, z , metre biriminde yüzeyden derinlik olmak üzere, Liao ve Whitman (1986)' dan tahmin edilmektedir,

$$z \leq 9.15m \text{ için} \quad r_d = 1.0 - 0.00765z \quad (1.5a)$$

$$9.15m < z \leq 23m \text{ için} \quad r_d = 1.174 - 0.0267z \quad (1.5b)$$

2. Adım: Düzeltilmiş $N_{1,60}$ değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$N_{1,60} = N C_N C_R C_S C_B C_E \quad (1.6)$$

Burada, N =Ölçülen standart penetrasyon direnci, $C_N=N$ değerini ortak bir referans olarak alınan efektif düşey gerilmeye göre normalize etmek için bir katsayı, C_R =tij boyu düzeltilmesi, C_S = standart olmayan numune alıcılar için düzeltme, C_B = kuyu çapı düzeltilmesi, C_E = tokmak enerji oranı için düzeltme, C_N Liao ve Whitman (1986) dan hesaplanmaktadır.

$$C_N = \sqrt{\left(\frac{P_a}{\sigma_v'}\right)} \quad (1.7)$$

burada C_N , N değerini efektif jeolojik gerilmeye, σ_v' , yaklaşık olarak $P_A=100$ kPa (1 atm) basıncına normalize etmektedir. C_N , 1.7 değerini aşmamalıdır. C_N , Kayen vd., (1992) tarafından önerilen ve C_N 'in maksimum değerini 1.7 olarak sınırlayan bağıntıya göre de hesaplanabilir.

$$C_N = \frac{2,2}{(1,2 + \frac{\sigma_v'}{P_a})} \quad (1.8)$$

Çizelge 1.1' de (1.6) bağıntısında kullanılan diğer düzeltme sayılarının değerleri özetlenmiştir.

Çizelge 1.1 Robertson ve Wride (1998) tarafından oluşturulan SPT düzeltmeleri (Youd vd.,2001)

Faktör	Ekipmana Bağımlılık	Terim	Düzeltilme
Mevcut düşey basınç	—	C_N	$(P_A / \sigma'_v)^{0.5}$
Mevcut düşey basınç	—	C_N	$C_N \leq 1.7$
Enerji oranı	Tamburlu tokmak	C_E	0.5-1.0
Enerji oranı	Güvenlik kilitli tokmak	C_E	0.7-1.2
Enerji oranı	Tamburlu otomatik tokmak	C_E	0.8-1.3
Kuyu çapı	65-115 mm	C_B	1.0
Kuyu çapı	150 mm	C_B	1.05
Kuyu çapı	200 mm	C_B	1.15
Tijboyu	<3m	C_R	0.75
Tijboyu	3-4 m	C_R	0.8
Tij boyu	4-6 m	C_R	0.85
Tijboyu	6-10 m	C_R	0.95
Tijboyu	10-30 m	C_R	1.0
Numune alma yöntemi	Standart numune alıcı	C_S	1.0
Numune alma yöntemi	İç kılıfsız numune alıcı	C_S	1.1-1.3

3. Adım: $N_{1,60}$ değerleri ince dane oranını (FC) hesaba katmak için aşağıdaki bağıntıyı kullanarak düzeltilir.

$d < 65$ ft (19.8 m):

$$r_d(d, M_w, a_{\max}, V_{s,40}^*) = \left[\frac{1 + \frac{-23.013 - 2.949a_{\max} + 0.999M_w + 0.016V_{s,40}^*}{16.258 + 0.201e^{0.104(-d + 0.0785V_{s,40}^* + 24.888)}}}{1 + \frac{-23.013 - 2.949a_{\max} + 0.999M_w + 0.016V_{s,40}^*}{16.258 + 0.201e^{0.104(0.0785V_{s,40}^* + 24.888)}}} \right] \pm \sigma_{\varepsilon_{rd}} \quad (1.9)$$

$d \geq 65$ ft (19.8 m):

$$r_d(d, M_w, a_{\max}, V_{s,40}^*) = \left[\frac{1 + \frac{-23.013 - 2.949a_{\max} + 0.999M_w + 0.016V_{s,40}^*}{16.258 + 0.201e^{0.104(-65 + 0.0785V_{s,40}^* + 24.888)}}}{1 + \frac{-23.013 - 2.949a_{\max} + 0.999M_w + 0.016V_{s,40}^*}{16.258 + 0.201e^{0.104(0.0785V_{s,40}^* + 24.888)}}} \right] - 0.0014(d - 65) \pm \sigma_{\varepsilon_{rd}} \quad (1.10)$$

Burada $d < 40$ ft (12.2m) için $\sigma_{erd}(d) = d^{0.850} 0.0072$

$d \geq 40$ ft (12.2m) için $\sigma_{erd}(d) = 40^{0.850} 0.0072$

olmakta ve d derinliği ft olarak alınmaktadır.

4.Adım: Elde edilen $N_{1,60}$ değerleri sıvılaşma direncini CRR (tekrarlı gerilme oranı) değerlendirmek için (Seed vd., 1985) tarafından önerilen %5 veya düşük ince dane oranı eğrilerine göre düzenlenir (Şekil 1.3).

Şekil 1.4’de verilen grafikteki eğrinin denklemi aşağıdaki gibi yaklaşık olarak tanımlanabilir,

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - N_{1,60}} + \frac{N_{1,60}}{135} + \frac{50}{(10N_{1,60} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (1.11)$$

Bu eşitlik $N_{1,60} < 30$ için geçerlidir. $N_{1,60} \geq 30$ için temiz kaba daneli zeminler sıvılaşma açısından çok sıkıdırlar ve sıvılaşmayan zeminler olarak sınıflandırılırlar (Youd vd., 2001).

5.Adım: Şekil 1.4'teki eğriler sadece 7.5 büyüklüğündeki depremler için geçerli olduğundan, diğer büyüklükteki depremlere geçebilmek için deprem ölçeklendirme katsayısı (MSF, Magnitude Scaling Factor) kullanılır ve güvenlik sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$FS = (CRR_{7.5}/CSR) MSF \quad (1.12)$$

burada MSF , manyitüd ölçeklendirme faktörü , önerilen aralık değerlerine göre aşağıdaki gibi seçilecektir (Youd vd., 2001),

$$M_w > 7.5 \text{ için } 10^{2.24}/M_w^{2.56} \text{ (Idriss1995)} \leq MSF \leq \left(\frac{M_w}{7.5}\right)^{-2.56}$$

$$\text{(Andrus ve Stokoe, 1997)} \quad (1.13)$$

$$M_w > 7.5 \text{ için } MSF = 10^{2.24}/M_w^{2.56} \text{ (Idriss1995)} \quad (1.14)$$

1.2.8. Çetin vd. (2000) ve Seed vd. (2001) Tarafından Geliştirilen Yeni Yöntemler

Çetin vd. nin geliştirdiği yöntem aşağıda özetlenmiştir.

1. Adım Ölçülen N değerleri (1.15) bağıntısına göre $N_{1.60}$ değerlerine dönüştürülecek, bu hesaplamalarda C_N aşağıdaki gibi bulunacaktır (Liao ve Whitman, 1986),

$$C_N = \left(\frac{1}{\sigma_v}\right)^{0.5} \quad (1.15)$$

Çizelge 1.1' de, (1.16) bağıntısında kullanılması önerilen düzeltme sayılarının değerleri özetlenmiştir.

2. Adım Elde edilen $N_{1.60}$ değerleri ince dane oranına (FC) göre aşağıdaki bağıntı kullanılarak düzeltilecek ve $N_{1.60}$ değerleri bulunacaktır,

$$N_{1.60,cs} = N_{1.60} C_{FC} \quad (1.16)$$

burada C_{IDO} regresyon ilişkisi ile aşağıdaki gibi bulunmaktadır,

$$FC > 5\% \text{ ve } FC < 35\% \text{ arasında: } C_{FC} = (1 + 0.004FC) + 0.005 \quad (1.17)$$

yukarıda FC = ince dane yüzdesi (0.074 mm' den küçük danelerin ağırlıkça yüzdesi) olmakta ve tam sayı olarak ifade edilmektedir (örn. %15, 15 olarak ifade edilir).

$N_{1.60}$ ise vuruş/30cm birimindedir.

3. Adım Arazideki eşdeğer tekrarlı gerilme oranı CSR_{eq} , Seed ve Idriss (1971)'den (1.4) bağıntısında aşağıdaki bağıntılarla hesaplanan r_d değerlerini kullanarak tahmin edilecektir,

$d < 65$ ft (19.8m):

a_{max} = yüzeydeki en büyük ivme

M_w = deprem büyüklüğü

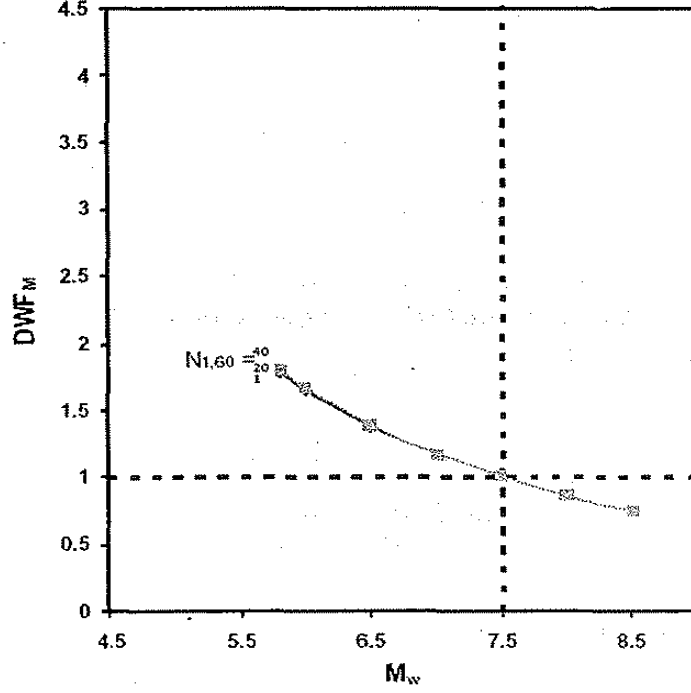
$V_{s,40}$ zemin esnekliği, ft/sn.(40 ft' in (12.2m), kayma dalgasının bu mesafeden geçiş

Zamanına bölünerek elde edilen, üst 40 ft (12.2m) için ortalama kayma dalgası hızı)

4. Adım Elde edilen CSR_{eq} değeri, deprem büyüklüğü ile ilişkilendirilen Süre Ağırlık Katsayısı (DWF_M) kullanılarak, CSR_N değerlerine aşağıdaki gibi çevrilir,

$$CSR_N = CSR_{eq,M=7.5} = CSR_{eq} / DWF_M \quad (1.18)$$

burada CSR_N süre için (veya eşdeğer tekrar sayısı için) düzeltilmiş CSR_{eq} değerleridir ve $M_w = 7.5$ büyüklüğünde eş süreye sahip ortalama bir depremin eşdeğer CSR değerini temsil etmektedir. Şekil 1.4de $DWF_M, N_{1.60}$ değerlerinin bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Önerilen Deprem Büyüklüğü İlişkili Süre Ağırlık Faktörü'nün $N_{1.60}$ değerinin bir fonksiyonu olarak gösterilmesi (Seed vd., 2001'den)

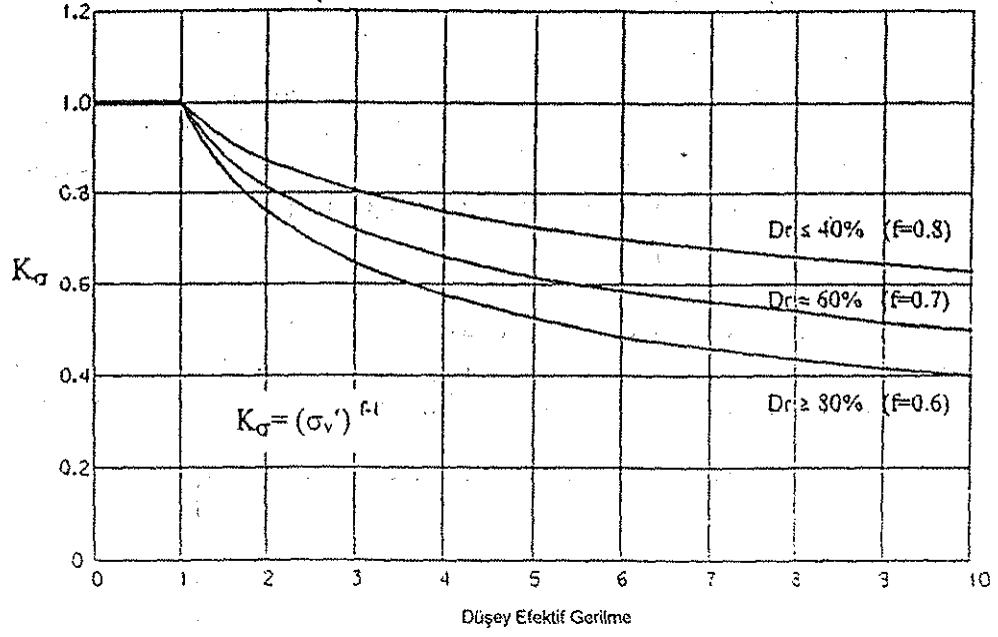
5.Adım Yeni *CSRN* daha sonra efektif düşey basınca göre düzeltilir,

$$CSR^* = CSR_{eq, M=7.5, 1atm} = CSRN/K_\sigma \quad (1.19)$$

burada K_σ aşağıdaki gibi tahmin edilebilir

$$K_\sigma = +(\sigma'_v)^{f-1} \quad (1.20)$$

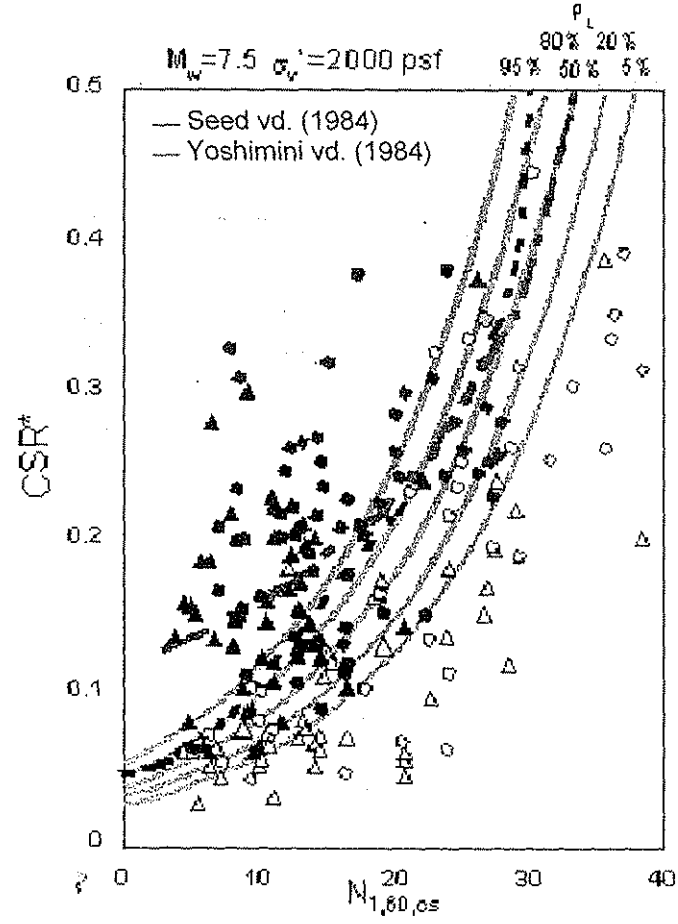
yukarıdaki bağıntıda $f \approx 0.6-0.8$ ($N_{1.60.CS}$ 1 ile 40 vuruş/30cm arasında olmak üzere) olmaktadır. $\sigma'_v > 2atm$ için, Şekil 1.5'in kullanılması önerilmektedir. (Seed vd., 2001).



Şekil 1.5. $\sigma_v > 2$ atm için Önerilen K_σ değerleri (Seed vd., 2001)

6. Adım Elde edilen tam düzeltilmiş ve normalize edilmiş ve $N_{1.60,CS}$ ve $CSR_{eq, M=7.5, 1atm}$

değerleri, sıvılaşmanın başlangıç olasılığını değerlendirmek için Şekil 1.6 ile beraber.



Şekil 1.6. Önerilen SPT'ye dayanan sıvılaşmanın tetiklenme ilişkisi ($M_w=7.5$ $\sigma_v'=1$ atm için)

1.2.9. CPT (Konik Penetrasyon Deneyi) Verilerine Dayanan Kriterler

Bu konuda en çok kullanılan yöntemlerden biri de Robertson write (1998) yöntemidir. Bu yöntemde adımlar;

1. Adım CSR , Seed ve Idriss (1971)'ten Geliştirilmiş Basit Yönteme göre hesaplanacaktır,

2. Adım Uç direnci, q_c , yaklaşık olarak 100 kPa (1 atm)'e göre aşağıdaki bağıntı ile oranlanarak boyutsuz bir orana dönüştürülecektir,

$$q_c/N = c_q(q_c / \text{Pa}) \quad (1.21)$$

burada

$$c_q = P_a / \sigma'v \cdot n \quad (1.22)$$

ve

c_q = koni penetrasyon direncini normalize etmek için bir sayı,

$P_a = \sigma'v$ ile aynı birimde 1 atmosfer basıncı,

n = zemin türüne göre değişen üs,

q_c = konik penetrasyon uç direnci.

olmaktadır. Yüzeye yakın derinliklerde c_q düşük jeolojik basınçtan dolayı, küçülmektedir, ancak yinede bu parametre için 1.7'den büyük değerler kullanılmamalıdır (Youd vd., 2001). n üssünün değerleri zemin danelerinin özelliklerine bağlı olarak 0.5 ve 1.0 arasında değişmektedir (Olsen, 1997). Killi zeminler için 1.0, temiz kumlar için 0.5, siltler ve kumlu siltler için 0.5-1 arasında değişen değerler n için uygun olmaktadır (Youd vd., 2001).

3.Adım Boyutsuz uç direnci oranı q_c/N , ince danelerin oranını da hesaba katmak için aşağıdaki bağıntı ile düzeltilerek q_c/N_{CS} değerleri elde edilir,

$$q_c/N_{CS} = K_c q_c/N \quad (1.23)$$

burada K_c , Robertson ve Wride (1998) tarafından dane özelliklerine bağlı olarak tanımlanan düzeltme sayısıdır,

$$I_c \leq 1.64 \text{ için } K_c = 1.0 \quad (1.24a)$$

$$I_c > 1.64 \text{ için } K_c = -0.403 I_c^4 + 5.581 I_c^3 + 33.75 I_c^2 - 17.88 \quad (1.24b)$$

burada zemin davranış türü endeksi I_c , Robertson ve Wride (1998)'den aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$I_c = [(3.47 - \log q)^2 + (1.22 + \log F)^2]^{0.5} \quad (1.25)$$

bu bağıntıda

$$q = [(q_c - \sigma_v) / P_a] \cdot [(P_a / \sigma'_v)^n] \quad (1.26)$$

ve

$$F = [fs(q_c - \sigma_v)] \times 100\% \quad (1.27)$$

f s ise sürtünme direnci olmaktadır. Robertson ve Wride (1998) zemin davranış türü endeksi I_c 'yi hesaplamak için aşağıdaki işlemi önermektedir:

I. Eğer $Q = [(q_c - \sigma_v) / P_a] \cdot [P_a / \sigma'_v]^{1.0}$ bağıntısından hesaplanan $I_c < 2.6$ ise, zemin killi ve sıvılaşmayan olarak sınıflandırılır ve analiz tamamlanır.

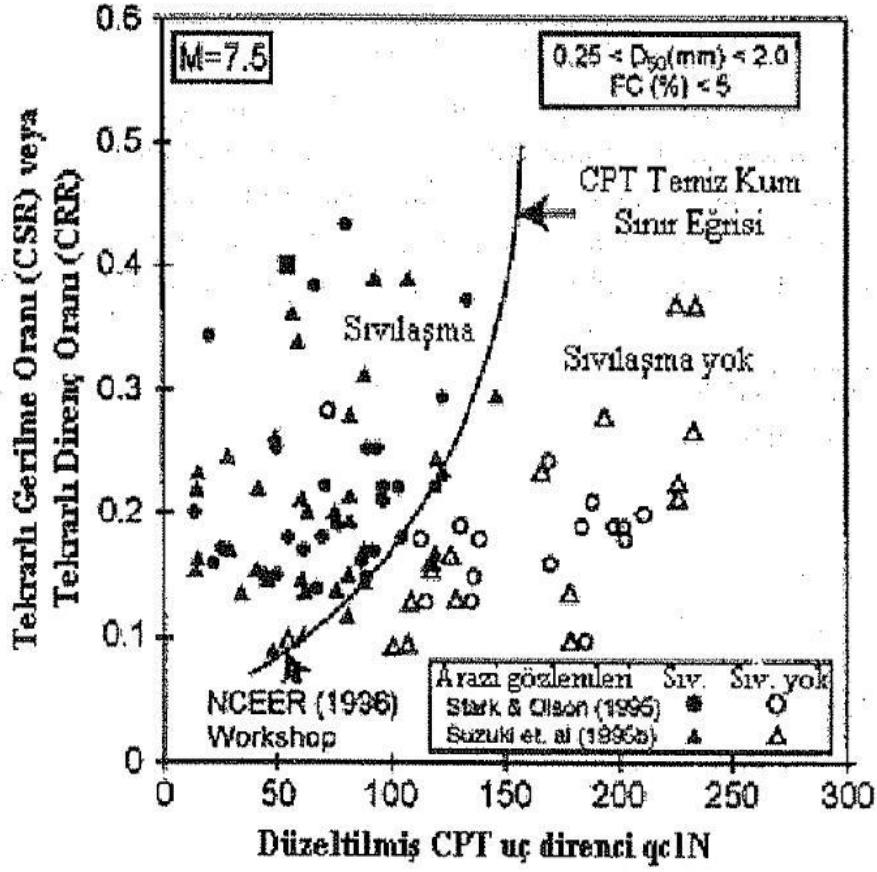
II. Eğer $Q = [(q_c - \sigma_v) / P_a] \cdot [P_a / \sigma'_v]^{1.0}$ bağıntısından hesaplanan $I_c > 2.6$ ise, zemin daneli olarak sınıflandırılır, CQ ve Q , $n = 0.5$ alınarak tekrar hesaplanır ve I_c değeri (1.26) bağıntısıyla yeniden belirlenir.

a. Eğer tekrar hesaplanan $I_c < 2.6$ ise, zemin plastik olmayan ve daneli kabul edilerek, yeni I_c değeri sıvılaşma analizinde kullanılır.

b. Eğer tekrar hesaplanan $I_c > 2.6$ ise, zemin siltli kabul edilir ve $n = 0.7$ alınarak I_c tekrar hesaplanır. Bu şekilde bulunan I_c sıvılaşma analizinde kullanılır.

$I_c \geq 2.4$ olan bütün zeminlerde zemin türünü doğrulamak ve sıvılaşabilirliği başka kriterlere göre belirlemek için numune alınarak laboratuvar da deney yapılması önerilir (Youd vd., 2001)

4. Adım Elde edilen q_c / N_{cs} değerleri Robertson ve Wride (1998) tarafından geliştirilen eğri ile beraber kullanılarak sıvılaşma direnci CRR tahmin edilir (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Sıvılaşma direncini CPT verilerinden hesaplamak için önerilen eğri (Robertson ve Wride, 1998'den)

Bu eğrinin denklemi yaklaşık olarak aşağıdaki hali almaktadır,

$$q_{c1N,CS} < 50 \text{ için} \quad CRR_{7,5} = 0,833 \frac{q_{c1N,CS}}{1000} + 0,05 \quad (2,29a)$$

$$50 \geq q_{c1N,CS} < 160 \text{ için} \quad CRR_{7,5} = 93 \left(\frac{q_{c1N,CS}}{1000} \right)^3 + 0,08 \quad (2,29b)$$

5. Adım İyileştirilmiş Basitleştirilmiş Yöntemin 5. adımı uygulanarak, CRR değerleri, 7.5'ten farklı deprem büyüklüğüne göre düzeltilir ve sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı hesaplanır.

1.2.10. Vs (Kayma Dalgası Hızı) verilerine dayanan kriterler

Bu konuda en çok kullanılan yöntemlerden biri de Andrus (1997, 2000) yöntemidir. Bu yöntemde adımlar;

1. Adım CSR, Seed ve Idriss (1971)'ten geliştirilmiş basit yöntemdeki gibi hesaplanır.

2. Adım Ölçülen V_s değerleri aşağıdaki gibi düzeltilerek V_{s1} değerleri elde edilir (Kayen vd., 1992; Robertson vd., 1992),

burada olmaktadır.

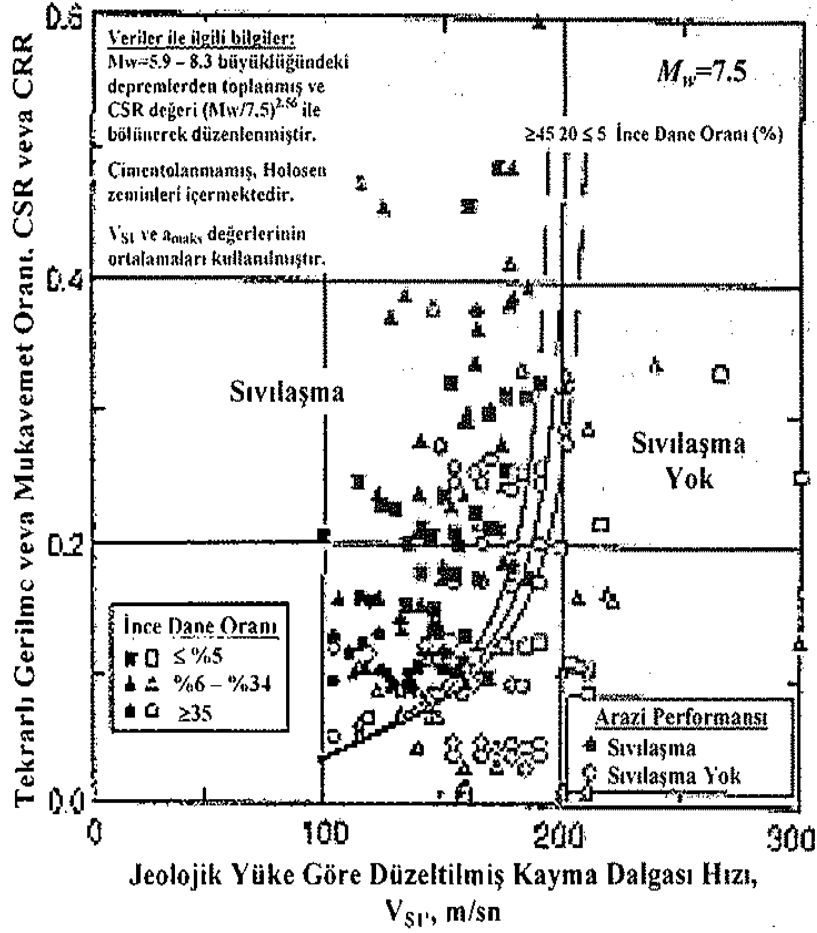
$$V_{s1} = V_s \left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^{0.25} \quad (1.29)$$

V_{s1} = düşey gerilmeye göre düzeltilmiş kayma dalgası hızı

P_a = σ'_v ile aynı birimde 1 atmosfer basıncına karşı gelen değer

σ'_v = efektif düşey gerilme

3. Adım Sonuç olarak elde edilen V_{s1} değerleri ile Andrus ve Stokoe,(1998) tarafından geliştirilen ilişki kullanılarak sıvılaşma direnci CRR elde edilecektir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Sıvılaşma Direncini Vs Verilerinden Hesaplamak İçin Önerilen Eğri (Andrus Ve Stokoe, 2000'den)

Bu eğrinin denklemi yaklaşık olarak aşağıdaki hali almaktadır,

$$CRR_{7.5} = 0.022 \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + 2.8 \left(\frac{1}{V_{s1}^* - V_{s1}} - \frac{1}{V_{s1}^*} \right) \quad (1.30)$$

burada $V_{s1}^* = V_{s1}$ için sıvılaşmanın gerçekleşebileceği üst sınır değerdir. V_{s1}^* değerleri ince dane oranı $\leq \%5$ ve $\%35$ arasında değişen zeminler için doğrusal olarak 215 m/sn ve 200 m/sn arasında değişmektedir.

3. Adım İyileştirilmiş Basitleştirilmiş Yöntemin 5. adımı uygulanarak, CRR değerleri, 7.5'ten farklı deprem büyüklüğüne göre düzeltilir ve sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı hesaplanır.

1.2.11. Analitik Yöntemler

Sıvılaşma nedeni ile zeminde meydana gelen deformasyonları tahmin etmek için analitik yöntemlere dayanan farklı modeller önerilmiştir (örn. Baziar vd., 1992; Jibson, 1994; Towhata vd., 1996, 1997; France vd., 2000; Shamoto vd., 1998). Bu yöntemlerin kullanılmasındaki temel güçlük, analizler için gerekli çok sayıda parametrenin belirlenmesi ve bu parametrelerin hassaslığının değerlendirilmesidir.

1.2.12. Ampirik Yöntemler

Analitik yöntemlere alternatif bir yaklaşımda, sıvılaşma nedeni ile arazide meydana gelen zemin deformasyonu vakalarının istatistik analizine dayanan ampirik yöntemleri kullanmaktır. Bu konuda Önerilen başlıca yöntemler Hamada vd. (1986), Youd ve Perkins (1987), Bartlett ve Youd (1992) ve Bardet vd. (2002) tarafından önerilen modelleri kapsamaktadır. Bu modellere uygulanacak yöntemler Bardet vd. (2002)'den özetlenmiştir.

Hamada vd. (1986) yönteminde;

Buradaki model, zemindeki yatay yer değiştirmeyi topografik ve geoteknik parametrelere göre tahmin etmektedir

$$D=0.75H^{0.5}\theta^{0.33} \quad (1.31)$$

burada D = yatay yer değiştirme (m)

θ = zemin yüzeyinin veya sıvılaşan zemin tabanının eğimi (%)

H = sıvılaşan zeminin kalınlığı, olarak ifade edilir.

Youd ve Perkins (1987) yönteminde;

En büyük yatay ötelemeler sismik parametreler cinsinden tahmin edilmektedir,

$$\log LSI = -3.49 -1.86 \log R + 0.98M \quad (1.32)$$

burada LSI= zemin mukavemetine bağlı genel yer değiştirmenin en büyük genliği (inch),

R = merkez üssünden (episentırdan) uzaklık (km)

M= depremin moment büyüklüğüdür.

Bu model kullanılarak hesaplanan LSI 2.5 metreyi geçmemelidir (Youd ve Perkins, 1987).

Bartlett ve Youd (1992) yönteminde;

Model, zemindeki yatay yer değiştirmeyi sismik, topografik, jeolojik ve geoteknik parametrelere göre aşağıdaki gibi tahmin etmektedir,

$$\log(D + 0.01) = b_0 + b_{off} + b_1 M + b_2 \log(R) + b_3 R + b_4 \log(W) + b_5 \log(S) + b_6 \log(T_{15}) + b_7 \log(100 - F_{15}) + b_8 D_{50/15} \quad (1.33)$$

burada

D= yatay yer değiştirme, (m),

M= depremin moment büyüklüğü,

R= merkez üssünden (episentırdan) uzaklık, (km),

S= zemin yüzeyinin eğimi, (%),

W= serbest-yüzey oranı (%),

T₁₅ = doymuş kaba daneli zeminlerin kalınlığı N_{1.60} <15, (m),

F₁₅ = ortalama ince dane oranı, (%),

D_{50/15} = T₁₅ 'teki ortalama D₅₀ dane boyutu (mm) olmaktadır.

Katsayıların değerleri (b_0 , b_{off} ve b_1 'den b_8 'e) Çizelge 2.2'de verilmiştir. Model, hem serbest-yüzey, hem de eğimli-yüzey durumları için uygulanabilmektedir. Serbest yüzeylerde, $b_5 = 0$ olmakta ve b_{off} değeri Çizelge 2.2'den alınacaktır. Eğimli yüzeylerde ise, b_4 ve b_{off} değerlerinin ikisi de 0 alınacaktır.

Bardet vd. (2002) yönteminde;

Model, yatay yer değiştirmeyi aşağıdaki ilişki ile tahmin etmektedir,

$$\log(D + 0.01) = b_0 + b_{off} + b_1 M + b_2 \log(R) + b_3 R + b_4 \log(W) + b_5 \log(S) + b_6 \log(T_{15}) \quad (1.34)$$

buradaki değişkenler (1.34) bağıntısında tanımlanmış, katsayılar ise Çizelge 1.2'de verilmiştir. Barlett ve Youd (1995) modeline benzer olarak bu model de hem serbest-yüzey, hem de eğimli-zemin durumları için kullanılabilir (serbest yüzey için $b_5=0$; eğimli yüzey için $b_4=0$ ve $b_{off}=0$).

Çizelge 1.2. Barlett ve Youd (1992) ve Bardet vd. (2002) modelleri için katsayıların değerleri.

Katsayılar	Barlett ve Youd	Bardet vd.
b_0	-15.787	-6.815
b_{off}	-0.579	-0.465
b_1	1.178	1.017
b_2	-0.927	-0.278
b_3	-0.013	-0.026
b_4	0.657	0.497
b_5	0.429	0.454
b_6	0.348	0.558
b_7	4.527	—
b_8	-0.922	—
r^2	82.60%	64.25%
Veri sayısı	467	467

Yukarıda anlatılan modellerden tahmin edilen değerlerin, ölçülen yer değiştirmelerle (Barlett ve Youd (1992) veritabanındaki verilerle karşılaştırılması ile aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

(1). Youd ve Perkins, (1987) modelinin kullanılması durumunda hesaplanan ve ölçülen değerler arasında zayıf bir uyum vardır, (2). Barlett ve Youd (1992) ve

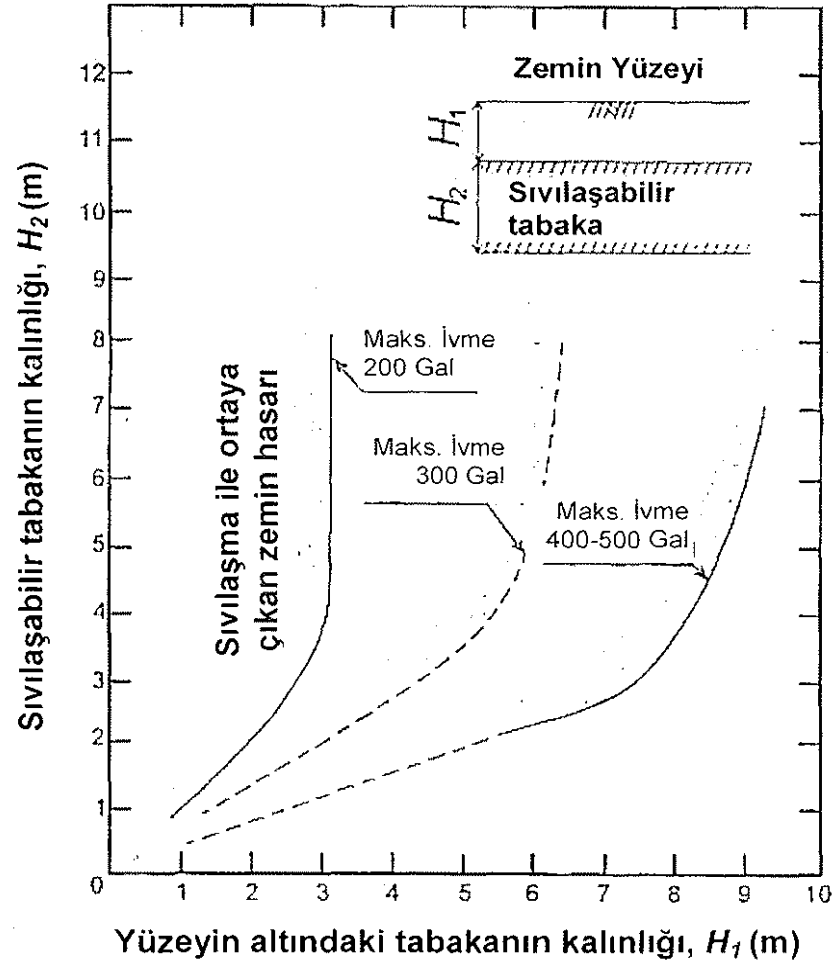
Bardet vd. (2002) modellerinin her ikisinden tahmin edilen değerlerin 2:1 ve 1:2 eğimleri için saçılımı yüksek, ancak 1:1 eğimi için yapılan tahminler ise kusursuzdur. (3). 6 parametrelili Barlett ve Youd (1992) modeli, 4 parametrelili Bardet vd. (2002) modelinden daha doğrudur. Kullanılacak modelin seçimi, mevcut geoteknik verilere bağlıdır. Barlett ve Youd(1992) modeli, zeminlerin dane boyutu dağılımı ile ilgili bilgi olması durumunda önerilmektedir (Bardet vd., 2002).

1.3.Sıvılaşma Etkilerinin Değerlendirilmesi

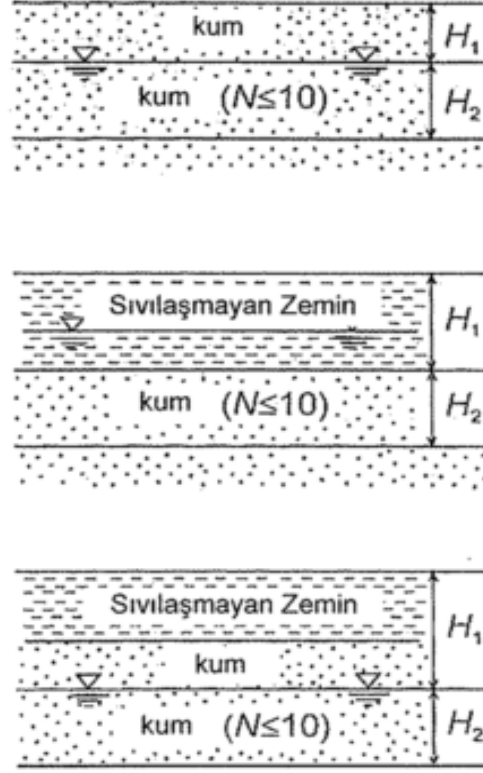
Sıvılaşabilen bir zemin tabakasının tahmininden sonra, sıvılaşmanın yapılar (örn. bina üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi gereklidir. Aşağıda bu etkinin genel olarak değerlendirilmesi için önerilen ve kullanılan iki yöntem verilmiştir (Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards, 1999).

1.3.1.Ishihara Yöntemi

Sıvılaşan zemin tabakasının zemin yüzeyinde hasara neden olup olmayacağına, Şekil 2.10'de gösterilen kriterler kullanılarak, bu tabakanın kalınlığının, bu tabakanın üstünde kalan zemin tabakalarının kalınlığı ile karşılaştırılmasıyla karar verilebilir. Eğer yüzeyin hemen altındaki tabakanın kalınlığı, H_1 ,aşağıda kalan sıvılaşabilir tabakanın kalınlığından büyükse, zemin yüzeyinde meydana gelecek hasar önemsizdir. Eğer yeraltı suyu zemin yüzeyinin altında ise, H'_1 'in tanımlanması Şekil 1.9'da gösterildiği üzere yüzeydeki tabakanın özelliklerine bağlıdır. Kumlu zemin çökellerinde, H_1 kalınlığı yeraltı suyu derinliğine eşit alınabilir.



Şekil 1.9. Sıvılaşma ile zemin yüzeyinde meydana gelen hasarın oluşumunu belirlemek için sınır eğrileri (Ishihara, 1985)



Şekil 1.10. Yüzeydeki sıvılaşmayan ve altındaki sıvılaşabilir zemin tabakalarının tanımları (Ishihara, 1985)

1.3.2. Iwasaki vd. (1982) Tarafından Önerilen Yöntem

Iwasaki vd. (1982) herhangi bir sahadaki olası bir sıvılaşmanın şiddetini, sıvılaşma potansiyel endeksi, P_L , isimli bir parametre ile sayısal olarak aşağıdaki gibi tanımlamışlardır,

$$P_L = \int F(z)w(z)dz \quad (1.35)$$

burada z , metre biriminde yeraltı suyu seviyesinin altındaki derinlik; $F(z)$ sıvılaşma direnci faktörü F_L 'nin bir fonksiyonu olarak $F(z)=1-F_L'e$ eşit, ancak $F_L > 1.0$ durumunda $F(z)=0$; ve $w(z)=10-0.5z$ 'dir. (2.36) bağıntısı 0 ve 100 arasında değişen P_L değerleri vermektedir. Bu endeksi Japonya'da 63 sıvılaşma gözlenen ve 22 sıvılaşma gözlenmeyen sahada hesaplayan Iwasaki vd. (1982) P_L değerlerinin yaklaşık olarak 15'ten büyük olduğu sahalarda sıvılaşmaya bağlı şiddetli etkiler, P_L değerlerinin yaklaşık olarak 5'ten küçük olduğu sahalarda ise sıvılaşmaya bağlı hafif etkiler meydana geldiği sonucuna varmıştır (ISSMFE/TC4, 1999).

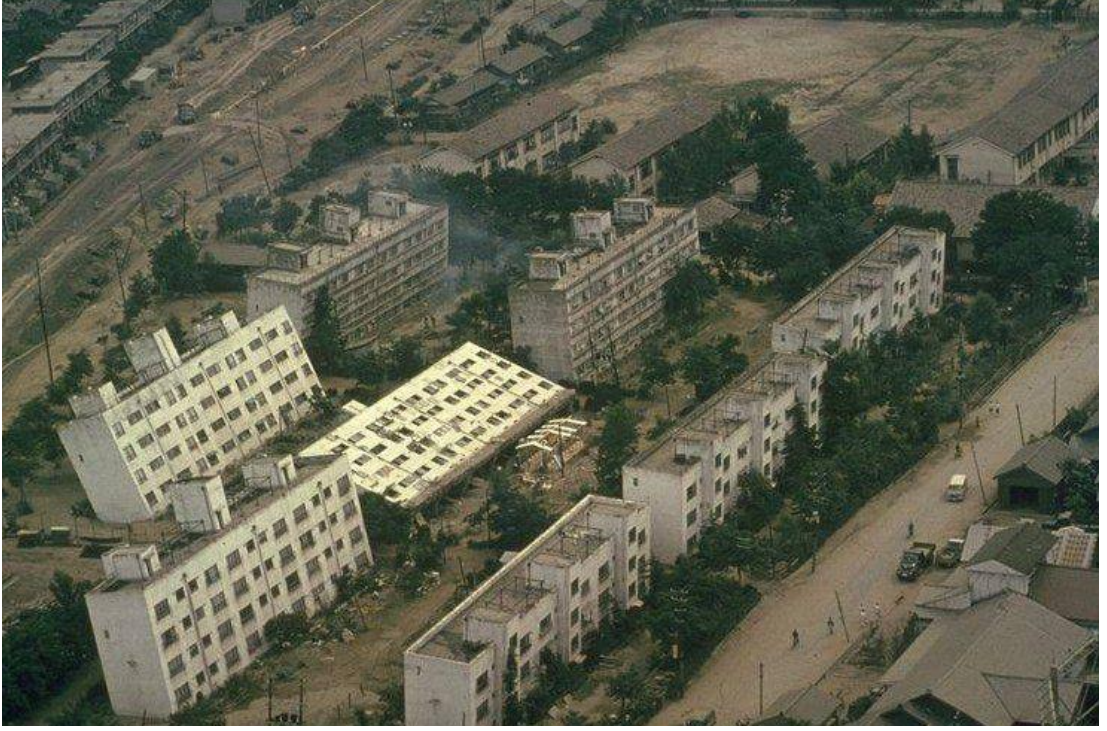
1.4.Sıvılaşmaya Bağlı Oluşan Hasarlar

Depremler sırasında gevşek ve suya doymun zeminlerdeki sıvılaşma son 40 yıldır incelenmeye başlanmıştır.

Japonya (1964) ve Alaska (1964) depremlerinde sıvılaşmaya bağı zemin taşıma gücü kayıpları, şev kaymaları gibi trajik hasarların maliyetinin 1 milyar doları bulduğu tahmin edilmektedir. 1964'ten beri araştırmalar belirli bir alandaki olası sıvılaşma ve yanal yayılmayı tahmin edebilmek için güvenilir metotlar bulunmaya çalışılmaktadır. Bu aşamada iki önemli soru karşımıza çıkmaktadır:



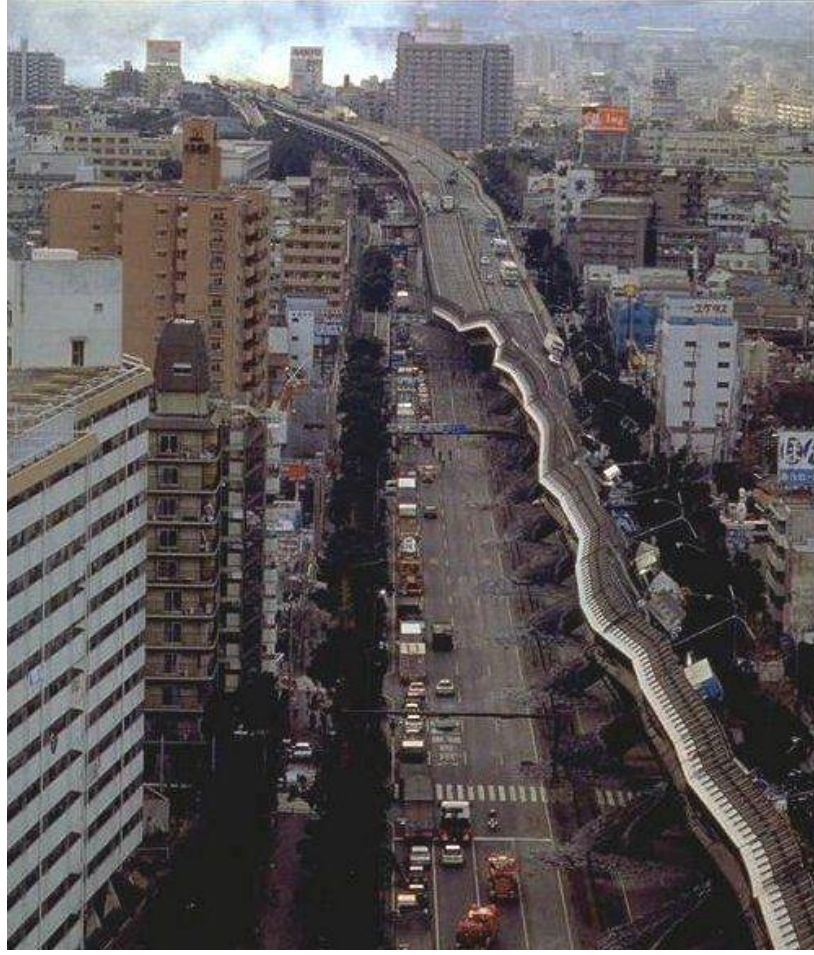
Resim 1.1. Lower San Fernando Barajı



Resim 1.2. 1964 Niiagata Depremi



Resim 1.3. Sıvılaşma, Adapazarı



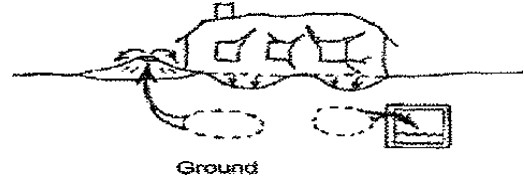
Resim 1.4. Hanshin (Japonya) Expres Yol

1.5.Sıvılaşma Sonucu Oluşan Deformasyon Türleri

Sıvılaşmaya bağlı zemin taşıma gücü kayıpları; zeminin taşıma gücünü yitirmesi, zeminin oturması, zeminin yer değiştirmesi, yanal yayılma, akma türü kaymadır.



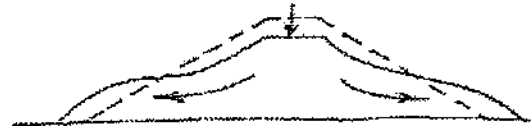
(a) Yoğunluk değişimi nedeniyle oluşan zemin hasarı



(b) Zemin kaynaması nedeniyle erozyona uğrayan zemin



(c) Genel yer değiştirmeler ya da çevrimsel arazi yer değiştirmeleri



(d) Yığılma ya da sınırlı yayılma deformasyonları



(e) Yanal yayılma ve birbirinden ayrılan bloklar



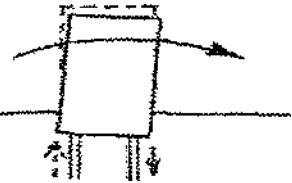
(f) Bölgesel yanal zemin hareketleri



(g) Zeminin tümüyle sağlamlığını yitirmesi



(h) Kısmi zemin hasarı



(i) Toprak yumuşamasıyla oluşan temel oturması

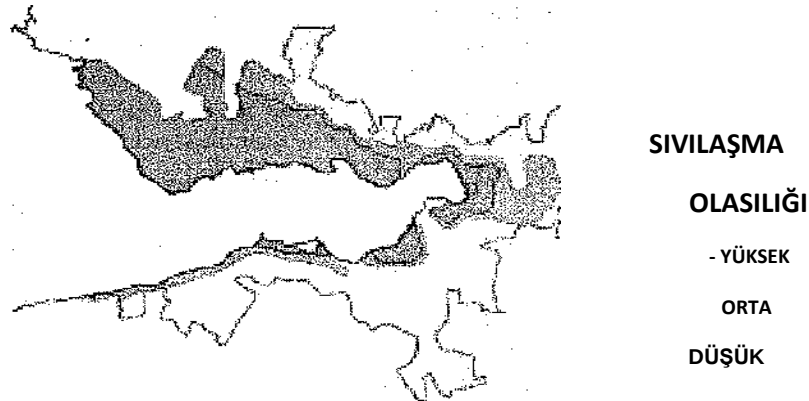
Şekil 1.11 Deprem sırasında sivilaşma sonucunda oluşan hasarların şematik tanımlanması(Rouch., 1997)

1.6.Sıvılaşma Olasılığına Göre Bölgeleme

Sıvılaşma olasılığının araştırmak, deprem sırasında oluşabilecek hasarların öngörülebilmesi için bölgeleme çalışmaları yapmak koruyucu önlemler alabilme açısından çok önemlidir.

Sıvılaşmaya karşı mukavemet arazi veya laboratuvar deneyleri ile tahmin edilebilir. Sıvılaşma olasılığının tahmini için en çok kullanılan deneyler standart(SPT) ve konik penetrasyon(CPT) deneyleridir. SPT deneyine dayanan yöntemler, Seed ve Idriss (1971), Seed vd. (1985), İwasaki vd. (1978), Tokimatsu ve Yoshimi (1983), İai vd. (1989) ve Japon Yol Birliği (JRA, 1991) tarafından geliştirilmiştir. CPT deneyini kullanan yöntemler ise, Seed ve Alba (1986), Ishihara (1985), Shibata ve Teparaksa (1988) ve Robertson ve Campanella (1985) yöntemleridir. Mühendislik amaçları açısından, arazi araştırmalarından elde edilen sondaj ve laboratuvar deneyleri verilerinin SPT ve CPT' ye dayanan yöntemlerin yanında kullanılması gereklidir (Finn, 1993; Ansal, 1991).

Sıvılaşmaya göre yapılan çok sayıda bölgeleme çalışması vardır (örn. Hitchcock vd., 2000). Örnek olarak, Şekil 1.12'de gösterildiği üzere, Erdik vd. (2000) tarafından yapılan çalışmada, İzmir şehri için sıvılaşma olasılığı çok sayıda sondajdan elde edilen SPT deney sonuçları kullanılarak Seed vd. (1985) tarafından önerilen yöntemle hesaplanmıştır. Bu çalışmada, sıvılaşma olasılığı güvenlik sayılarına göre yüksek, orta ve düşük olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 1.12 İzmir Şehri İçin Sıvılaşma Olasılığı

2.SIVILAŞMAYA BAĞLI OLUŞAN YANAL YAYILMALAR

2.1.Yanal Yayılma

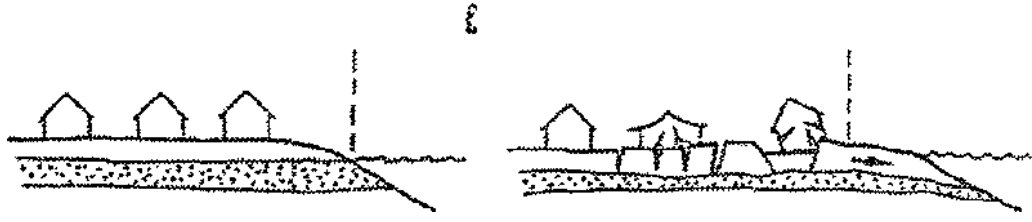
Deprem sırasında sivilaşan tabakanın üzerindeki tabaka geniş bloklara ayrılır ve bloklar yanal yönde hareket ederler. Bu hareket depremden kaynaklanan çekim kuvvetleri ve içsel kuvvetlerin birlikte etkilemesiyle oluşmaktadır. Yanal yayılma genellikle eğimi son derece düşük (0.3% - 3%) olan yamaçlarda eğim yönünde, nehir yatağı, göl veya deniz kıyısı gibi harekete engel olamayacak yerlerde serbest yüzeylere doğru gelişir.

Yüzeyde belirli kalınlıktaki katman sivilaşan katman üzerinde hareket eder. Yüzeyde gözlenen bu hareket sonucunda, binalarda çekme ve gerilmelerden kaynaklanan ciddi çatlaklar, farklı oturmalar oluşur.1999 Marmara depreminde Gölcük-Çınarcık kıyı şeridinde kıyı şeridinin bir kısmı körfeze doğru kaymıştır.

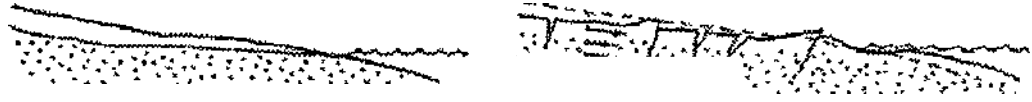
Akma hareketi prensip olarak yanal hareketin daha geniş bir bölgeye yayılmış biçimi olup, genellikle 5% eğime sahip olan arazilerde görülür.

Binalarda yanal yer değiştirmeler, farklı oturmalarından dolayı ciddi yapısal hasarlar oluşur. Binaların maruz kalacağı “farklı oturma” değeri “yapısal hasarlar” ın düzeyini belirler. Gerek yanal yayılmada gerekse akma hareketinde gözlenen maksimum çökme değerleri binalarda izin verilebilir çökme değerinden (50-60mm) daha büyüktür.

Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 te sınırlı yanal yayılma ve büyük ölçekli yer değiştirme modelleri görülmektedir.



(a) Serbest yüzeye doğru yayılma



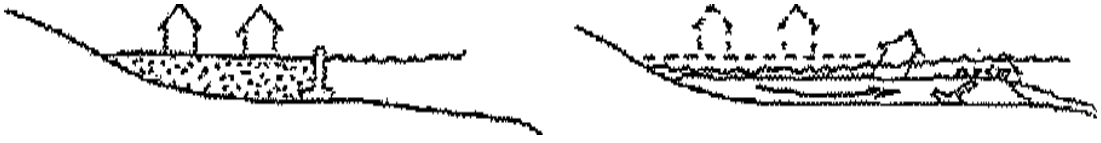
(b) Eğim yönünde yayılma ve çökmeler



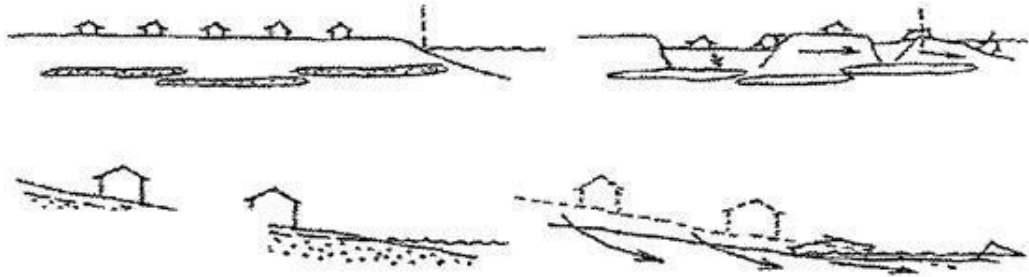
(c) bölgesel, farklı yönlerde doğru yanıl yayılma

Şekil 2.1. Sıvılaşma Nedeniyle Oluşan Sınırlı Yanal Yayılma Modelleri

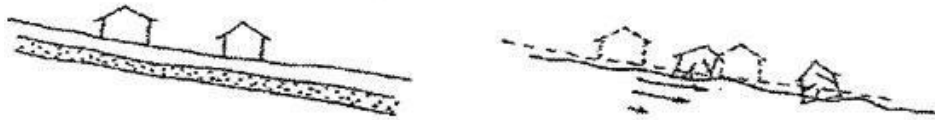
Drene edilmemiş düşük dirençli sıvılaşmış zemin



(a) Kenar çökmesi / akma



(b) Kenar çökmesi / yanal yayılma ile yeniden şekillenme



(c) Akma

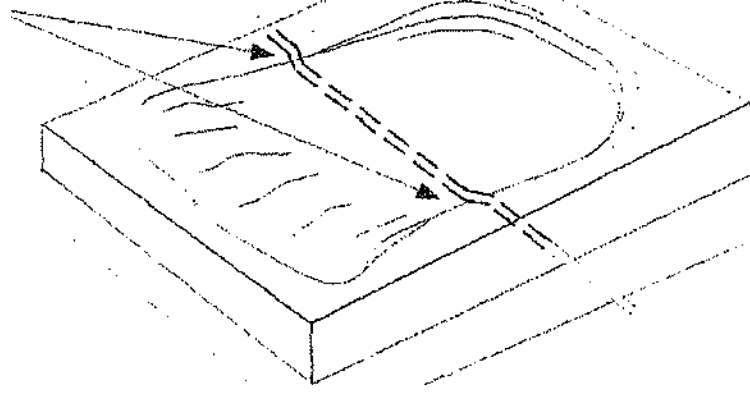
Şekil 2.2. Sıvılaşma Nedeniyle Oluşan Büyük Ölçekli Yanal Yer Değiştirme Modelleri

2.2. Yanal Yayılmanın Alt Yapıya Etkisi

Birkaç metreye kadar olan yanal yayılmalar yapılarda hasarlara yol açarlar. Kayma noktasının başındaki yapılar ,bazen kırılırlar, taban noktasındakiler zemine gömülür ya da yan yatarlar. Oturma ,yanal deformasyon vb. çok büyük zemin hareketleri yapıları yıkarken düşük şiddetteki depremlerde yatay ve dikey yer değiştirmeler ciddi hasarlara neden olur.

Yaşam hatları (lifeline) gibi düz giden alt yapılar yanal yayılmaya karşı dayanıksızdır. Şehirlerde bu yapılar yaşam damarları olarak düşünülür ve depremden zarar görmeden kesintisiz çalışmaları beklenir.

Bükülmüş boru hattı



Şekil 2.3. Sıvılaşma Nedeniyle Oluşan Yanal Yayılmadan Etkilenen Boru Hatlarında Meydana Gelen Hasarın Şeması

O'Rourke ve Lane (1989), yaşam hatlarında (lifeline) ciddi hasarlara yol açtığını söylemişlerdir. Bu yüzden boru hatlarında meydana gelebilecek hasarları önlemek için yanal yayılma öngörülleri yapabilmek önemlidir. Yanal yayılmaya maruz kalan bir petrol hattının görünüşleri (Şekil 2.3)de gösterilmiştir.

Yanal yayılmanın yol açtığı hasarları azaltma yolları;

Yapıyı yanal yayılmanın olmadığı yerde inşa etmek,

Zemin iyileştirilmesi (zemin sıkılaştırılması vs.)

Yapı etrafındaki dar alanlardaki yanal yayılım deformasyonların giderilmesi,

Yanal yayılmanın görüldüğü tepe eğimlerinde yer alan yapıların temellerinin sağlamlaştırılması,

Kullanılan yapıların güçlendirilmesi, boru hatlarının zeminle birlikte kırılmadan hareket edebilecek şekilde dizayn edilmesi ya da olası zemin deformasyonlarına dayanıklı temel inşa edilmesidir.

2.3.Sıvılaşmaya Bağlı Yanal Yayılmalar

Yanal yayılma hafif eğimli zeminlerde görülen yatay yer değiştirmeler olarak tanımlanabilir. Deprem sırasında zeminin alt katmanlarında görülen boşluk suyu basıncının artması sıvılaşmaya neden olur. Zemin deformasyonları sınıflandırırken Varnes (1978) yanal yayılmayı şu şekilde tanımlar:

Zeminin genişlemesi ya da kırılmasına neden olan yükler sıvılaşma nedeniyle alt katmanlardaki malzemeyi plastik akmaya uğratar, birbirine yapışık üst tabakalar döner, kayar, yer değiştirir ya da ayrışır. Deformasyon mekanizması kayma ve dönmenin yanı sıra akmaı da içerir.

Deprem sırasında zemin sıvılaşmasından meydana gelen zemin deformasyonlarından yanala yayılıma çok büyük ve yüzeysel zemin bloklarının yüzeye yakın katmanlardaki sıvılaşmalarına bağılı olarak oluşur. Eğimler artıkça eğim yönündeki yatay yer değiştirmelerde artmaktadır. Suya doğun zeminlerdeki sıvılaşma büyük yer değiştirmeleri hafifletir. Buna bağılı olarak da sıvılaşmaya bağılı yer yanal yayılmalarda geniş zemin deformasyonlarını da hafifletir.

Barlett ve Youd (1992a,1992 b) eğimi düşük şevlerde alt katmanlarında gevşek kum ve boşluk suyu bulunması durumunda yanal yayılmanın meydana geldiğini söylemiştir. Bu tür zeminler boşluk suyu basıncına dayanıksızdır ve büyük yükler altında kolayca sıvılaşır. Sıvılaşma olduğunda üsteki suya doymamış zeminler aşırı yük altında alt tabakalardaki sıvılaşan katmanın üzerine çöker. Sahalarda görüldüğü üzere zemin yer değiştirmeleri devam eder ve eğimin sonlandığı ırmak, göl kenarı gibi bölgelere doğru yarıklar ve kaymalar meydana gelir. Yanal yayılmayı yönlendiren jeolojik koşullar düşük eğimli zeminler sığ su tabanı sıvılaşan kohezyonsuz zeminlerdir. Bunlara daha çok nehir kıyılarında, kıyı şeritlerinde,

alüvyonlu deltaların yanı sıra gevşek zeminlerde, suya doymamış ve kumlu zeminlerde de rastlanır (Youd ve House 1976).

Yanal yayılmalarda yer değiştirmeler birkaç santimlerden birkaç metreye kadar sıralanır. Kaymanın başında zemin yarıkları ve çatlaklar eğim yönüne dik bir şekilde oluşur. Yarıklar kayan bölgenin üst sınırında kıvrımlar şeklindedir. Çökme tipik olarak yanal yayılmanın tepe noktasında oluşur. Dip kısmında yığılma yapar, sıvılaşmanın sonucu olarak kum kaynar.

3.YANAL YAYILMA ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.1.Yanal Yayılma Tahmininde Simülasyon Modelleri.

Kontrollü şartlarda yanal yayılmayı laboratuarlarda canlandırarak ölçen cihazlar geliştirilmiştir. Bunların başlıcaları “sarsma tablası” (shake table) ve “santrifüj” modelidir. Depremler sırasındaki zemin-yapı etkileşimi problemini incelemek için fiziksel modelleme türlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü arazi gözlemleri çok ender olarak deprem koşulları altındaki zemin yapı etkileşimi problemlerini incelemeye imkan verir. Bu nedenle, doğru gerilme seviyelerinde fiziksel modellemeler yapmak, tanımlanan sınır koşullar altında gerekli çalışmalar yapmak için tek olasılıktır. Fiziksel model deneyleri ile zemin içindeki gerilme durumunu model etmek için sadece iki ihtimal vardır. Sarsma tablası üzerindeki tam ölçekli bir deneyde gerçek gerilme durumlarını temsil etmek için genellikle zemin tabakalarının en az birkaç metre yüksekliğindeki örneklerle ve önemli bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda bu deneylerde doğru yüklemeyi uygulayabilmek için devasa sarsma tablaları gereklidir. Küçük ölçekli modellerde daha yüksek ivmeler etkiletilen geoteknik santrifüj yöntemlerini kullanmak daha kolay bir çözümdür. Depreme bağlı santrifüj modellemenin başlangıcından itibaren birçok zemin-yapı etkileşimi problemi araştırılmıştır. İlk evrelerde, bu çalışmaların çoğu göçme mekanizmasını gözlemek ve anlamak ile ilgilidir. Buna örnek olarak, Habibian (1987) tarafından tabakalı kumlardaki sahil bentlerinin temellerinin sismik yükler altındaki davranışı üzerine yapılan çalışma gösterilebilir. Günümüzde, birçok çalışmada daha detaylı olarak, sıvılaşmaya karşı alınacak önlemler ile ilgilenilmektedir. Santrifüj model deneylerinin farkı önlemler üzerinde çalışmak ve bunları geliştirmek için uygulanabilirliği Koga vd. (1991) tarafından incelenmiştir. Bu modeller sıvılaşma sonucu meydana gelen yanal yayılmaları incelemekte bize yardımcı olmakla beraber deformasyon miktarlarını tahmin etmekte yetersiz kalmaktadır.

3.2.Yanal Yayılma Hesaplama Yöntemlerinde Deneysel Modeller

Yanal yayılma öngörüsünde bulunmak için simülasyon modellerine ek olarak sayısal deneysel modeller de geliştirilmiştir. Bu modeller zemin davranışlarını ve geometrisini tanımlamak için kayda değer bir veri girişi gerektirir. Bu sayısal modeller için gereken çaba ve uzmanlık sadece yanal yayılmandan etkilenen kritik yapıların analizi ile tanımlanabilir. Basitleştirilmiş analitik yöntemler arazide yanal yayılmayı modellemede yeterli olmamıştır. Üstelik bu sayısal ve çözümsel modeller tümüyle özel test ve analizler gerektiren tahmin edilmesi güç, tanımlanmamış parametrelere dayanmaktadır. Bu modeller basit cebirsel eşitlikler ve verilen bölge için daha önce tanımlanmış değişkenleri kullanırlar.

Geoteknik deprem mühendisliği uygulamalarında zemin deformasyonlarına neden olan sıvılaşma tahminlerinde genellikle aşağıda verilen deneysel modeller kullanılır. Bunlar:

Sıvılaşmanın oluşumu (Seed et al 1985)

Zeminin oturması (Ishihara 1996)

Yanal zemin deformasyonu (Hamada ve ark., 1986; Barlett ve Youd, 1995)

Sıvılaşma nedeniyle oluşan yanal yayılmaların hesaplanmasında kullanılan aşağıdaki temel yöntemler vardır.

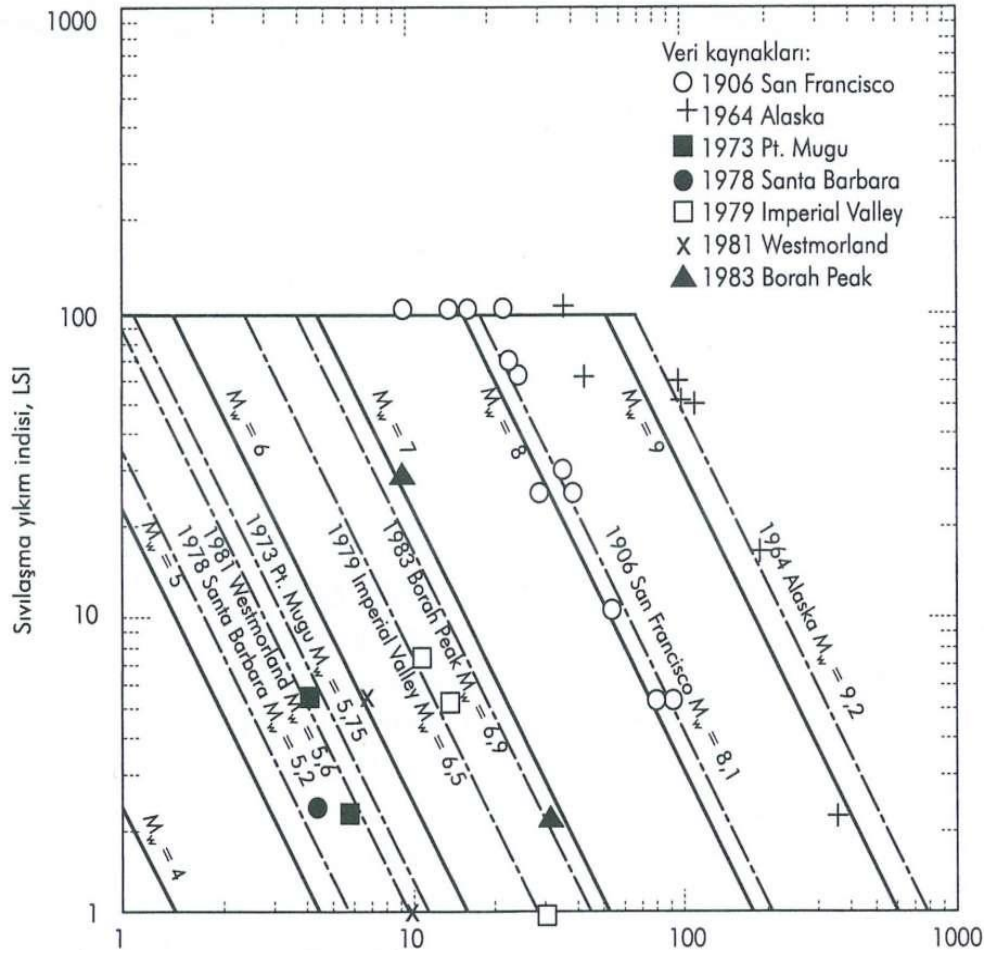
Youd ve Perkins (1987 LSI model),Hamada ve ark., (1986) Barlett ve Youd (1992),Rouch (1997)

3.2.1. Youd and Perkins (1987) LSI model)

Youd ve Perkins çalışmaları sonucunda LSI modeldeki pik ivme grafiğinin düzleştirilip moment manyetude, yatay zemin deformasyonu ve deprem merkezine uzaklık arasında ilişkilendirilmiştir. Bulunan formül ;

$$\log LSI = -3.49 - 1.86 \log R + 0.98 M_w \quad (3.1)$$

Eşitliğindeki LSI değeri inç cinsinden maksimum yanal deformasyon miktarını vermektedir, R km cinsinden deprem merkezine olan uzaklıktır, M_w ise depremin moment manyetidüdür.



Şekil 3.1. LSI' nin Uzaklık ve Deprem Büyüklüğü İle Değişimi Youd ve Perkins (1986).

Çizelge 3.1. Sıvılaşabilir zeminlerin genişçe yayılım gösterdiği alanlarda farklı LSI değerleri için sıvılaşma etkilerinin genel karakteri ve çokluk durumu.

LSI	Açıklama
5	Çapı 0,5 m'ye kadar yayımlı kum kaynamaları; 0,1 m genişliğe kadar açıklıktaki minör zemin fisürleri ve 25 mm'ye kadar zemin oturmalarının çok seyrek dağılımlarını içeren çok seyrek minör zemin etkileri. Bu etkilerin gözlemlendiği yerler başlıca açığa çıkmış nehir yatakları, aktif sel düzlükleri, çamur düzlükleri, kıyı kenarları vb. gibi güncel çökme alanları ile sığ yeraltı suyunun birlikte bulunduğu yerlerdir.
10	Yayılım alanı çapı 1 m'ye kadar olan kum kaynamaları; 0,3 m genişliğe kadar açıklıktaki zemin fisürleri ve gevşek kumla dolmuş kanal veya hendek gibi alanlarda birkaç inç boyutunda zemin oturmalarının seyrekçe dağılımları. Dik nehir kıyıları boyunca birkaç dm'ye kadar oturmalar. Bu etkiler başlıca su tablasının 3 m'den daha sığ olduğu güncel çökellerde gözlenmektedir.
30	Yayılım çapı 2 m'ye kadar olan kum kaynamaları, birkaç dm genişlikteki zemin fisürleri, bazı çit ve yolların önemli ölçüde ötelenmesi, 0,3 m kadar olan ve ender görülen türde zemin oturmaları ve dik nehir kıyıları boyunca yaygın yerdeğiştirmelerde 0,3 m'ye kadar oturmalar içeren genellikle seyrek fakat yerel olarak bol zemin etkileri. Etkilerin önemli bir bölümü su tablasının 3 m'den daha sığ olduğu güncel çökellerde gözlenir.
50	Geniş fisür bantları ile genellikle birleşen ve yayılım çapı 3 m'ye kadar olan kum kaynamaları, 1,5 m genişliğe varan yarıklar, genellikle çok sayıda kola ayrılmış, nehre paralel veya çöküntü alanına doğru eğrili yarıklar, bazı yerlerde 1,5 m kadar birbirinden ayrılmış, ötelenmiş yol veya çitler, 0,3 m'den daha fazla yerel zemin oturmaları ve dik nehir kıyıları boyunca yaygın bir metrelik oturmalar şeklindeki yaygın zemin etkileri.
70	Çok sayıda büyük çaplı kum kaynamaları (genellikle yarıklarla birleşen 6 m'den daha büyük yayılım çapında), nehirlere veya kıyılara paralel uzun yarıklar, genişliği 2 m'yi bulan ve çok sayıda kollara ayrılan yarıklar, nehirler veya diğer dik kıyılar boyunca çok sayıda büyük oturmalar, tatlı eğimli yamaçlarda yarıklar arasında bütünlüğü bozulmadan 1-2 m yerdeğiştiren zemin kütleleri ve 0,3 m'den daha büyük ve sıkça gelişen zemin oturmaları şeklinde yaygın zemin etkileri.
90	Çok geniş çaplı ve çok sayıda kum kaynaması, bazı alanlarda %30 veya daha fazla kesimin yeni çökelmiş kumla kaplanması, genişliği 2 m veya daha fazla, nehirlere veya kıyı çizgilerine paralel, uzun yarıklar, tatlı eğimli yamaçlarda yarıklar arasında bütünlüğü bozulmadan 2 m kadar yerdeğiştiren zemin kütleleri, nehir boylarında veya diğer dik kıyılarda büyük oturmalar ve 0,3 m'den daha büyük miktarda yaygın zemin oturmaları içeren çok yaygın zemin etkileri.

3.2.2.Hamada vd.,(1986)

Hamada vd. Yaklaşımı: Hamada vd. (1986) 1964 Niigata (M=7,5), 1971 San Fernando (M=7,1) ve 1983 Nihonkai-Chubu (M =7,7) depremlerinde orta tane boyundaki üniform kumlarda gözlenen kalıcı zemin yer değiştirmelerindeki jeoteknik ve topoğrafik etkileri göz önüne almışlardır. Kalıcı deformasyonların en çok sıvılaştıran katmanın kalınlığı ile zemin yüzeyinin ve sıvılaştıran zonun alt sınırının eğiminden etkilendiği bulunmuştur. Kalıcı yatay zemin yer değiştirmesi D 'nin aşağıdaki ampirik ilişkiye göre değiştiği bulunmuştur:

$$D = 0.75H^{0.5}Q^{0.33} \quad (3.2)$$

Burada, H : sıvılaştıran zeminin kalınlığı (m) ve Q : zemin yüzeyi eğimi ile sıvılaştıran zeminin alt sınırının eğimi arasında büyük olanıdır (% cinsinden). Bahsedilen üç depremdeki incelemelerde gözlenen yer değiştirmelerin %80'i (10-20) eşitliği ile kestirilen değerlere göre 2 kat mertebesinde. (10-20) eşitliğinin sıvılaştıran zeminin dayanımını hesaba katmadığına dikkat ediniz. Böyle ampirik yaklaşımların tümünde olduğu gibi, yaklaşımın geliştirildiği şartlardakinden farklı durumlara uygulandığında dikkatli olunmalıdır.

3.2.3.Barlett ve Youd.,(1992)MLR Model

Barlett & Youd iki ayrı model geliştirmiştir. Birinci model düşük eğimli yamaçlarda kullanılmak üzere ikinci model ise serbest yüzeyler için geliştirilmiştir. 2002 yılında Düşük eğimli yamaçlarda;

Formüllerde düzeltmeler yapılarak bu gün kullanılan haline gelmiştir.

Düşük eğimli yamaçlarda;

$$\begin{aligned} \log D_h = & - 16.213 + 1.532M - 1.406\log R^* - 0.012R + 0.338\log S + \\ & 0.540\log T_{15} + 3.413\log(100-F_{15}) - 0.795\log(D_{50}(15) + 0.1 \text{ mm}) \end{aligned} \quad (3.3a)$$

Serbest yüzeylerde;

$$\text{LogDh} = - 16.713 + 1.532M - 1.406\log R^* - 0.012R + 0.592\log W + 0.540\log T15 + 3.413\log(100-F15) - 0.795\log(D50(15) + 0.1 \text{ mm}) \quad (3.3b)$$

Bu formüllerde;

Dh= yatay deplasman tahmini

M= moment magnitude

R= Deprem merkezine olan uzaklık

T15= suya doymuş tabakaların düzeltilmiş SPT değerlerinin 15 den küçük olanlarının toplam kalınlıkları.

F15= T15 içindeki ince dane oranı (200 lük elekten geçen danenin geçmeyenlere oranı)

D50(15)= ortalama dane çapı

S= Yamaç eğimi

W= Serbest yüzey oranı (W=H/L)

Yukarda ki eşitliklerin kullanılabilmesi için gerekli şartlar aşağıdaki Çizelge de düzenlenmiştir.

Çizelge 3.2. Barlett & Youd.,(1992) MLR Modelinin Kullanılabilmesi İçin Gerekli Şartlar.

Girdi Parametresi	Değerler Aralığı
Magnitüd	$6,0 < M, < 8,0$
Serbest yüzey oranı	$\% 1,0 < W < \%20$
Gevşek katmanın kalınlığı	$0,3 \text{ m} < T15 < 12 \text{ m}$
İnce tane oranı	$\%0 < F15 < \%50$
Ortalama tane çapı	$0,1 \text{ mm} < (D_{50})15 < 1,0 \text{ mm}$
Zemin eğimi	$\%0,1 < S < \%6$
Kesitin tabanına olan derinlik	Sıvılaşan zonun tabanına derinlik $< 15 \text{ m}$

4.YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

Genel anlamada yapay sinir ağı beynin bir işlevini yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA yapay sinir hücrelerinin birbirine bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Donanım olarak elektronik devrelerle ya da bilgisayar yazılımı olarak gerçekleştirilebilir. Son 25 yıldır mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

YSA ağ modelleri arasında Hopfield(1982) modeli , Kohonen(1984) modeli , Boltzmann mekanizması (Hinton et al. 1984) ve geri yayımlı model (Rumelhart et al 1986) vardır. Geri yayımlı model katmanlardan oluşmaktadır;

Giriş katmanı, saklı katmanlar ve çıkış katmanı (Ghaboussi et al. 1991). Saklı katman sayısı çözümlenecek problem türüne ve karışıklığına göre değişebilmektedir. Her katmanın neuronları bir üst tabakanın neuronlarını bağlıdır. Aynı katman içerisinde bulunan neuron ünitelerinin arasında iletişim bulunmamaktadır. Her neuron kendi çıktısını bir üst katmana iletmektedir. Bu iletişim bağları ilk başta rastgele iletilmekte daha sonra üst tabakadan gelen sonuçlar doğrultusunda tekrar çevirim yapılırken dataların ağırlıkları azaltılıp artırılmaktadır. Bu süreç YSA'nın eğitim süreci denilir.

Eğitim sürecinde daha önceden hesaplanmış sonuçların dataları YSA'nın eğitilmesi için kullanılır. Hesap sonuçlarına göre YSA datalarla katmanlar arasında katsayılar kullanılarak sonuca ulaşmaya çalışır. Sonuç kabul edilebilen hata sınırlarına geldiğinde YSA eğitilmiş olur. Bu aşamadan sonra daha önce hesaplanmamış dataların hesaplanmasında kullanılabilir.

4.1.Yapay Sinir Ağları ve Sıvılaşma Problemi

Sıvılaşma potansiyeli, kohezyonsuz zeminlerin boşluk suyu basıncının artışı ve kayma mukavemetinin azalması ile meydana gelmektedir. Azalmış olan kayma mukavemeti, boşluk suyu basıncı fazlasının drenajından sonra geri kazanılmaktadır. Bu durum altında zemin sıvı haline gelir ve yük kaldıramaz. Genelde, sıvılaşma gevşek durumda olan kohezyonsuz zeminlerde sıkça görülmektedir.

Deprem sırasında meydana gelen sıvılaşmanın yol açtığı büyük çaplı yapısal hasarın insan hayatına ve ekonomiye olan negatif etkisinden dolayı, son yıllarda bu konuda yapılan araştırmalar artmaktadır. Sıvılaşma oluşumunu 1936 yılında Casagrande kritik boşluk oranı ile açıklamıştır. Bu çalışmada belirtilen, herhangi bir kum yatağının boşluk oranı, kritik boşluk oranından büyük ise, deprem sırasında hacmi azalmaktadır. Eğer kum yatağı drenajsız ise, boşluk suyu basıncı yükselip, sıvılaşma riski artmaktadır. Bu araştırma sonucunda verilen etken faktörün (boşluk oranının) dışında, daha sonra yapılan araştırmalar (Castro, 1975; Seed, 1979) ile deprem manyitüd ve şiddeti, zemin türü ve yapısal özellikleri, sismik karakteristikler ve diğer arazi özelliklerinin sıvılaşma potansiyeline etkisi olduğu gözlenmiştir.

Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi, jeoteknik açıdan kompleks bir problemdir. Yapılan araştırmalar ile değişik yöntemler geliştirilmiştir ve ikiye ayrılmıştır. Birincisi (Seed ve Idriss, 1967, 1971) arazideki tahmini kayma gerilmesi düzeyi ve devrinin deprem tasarımında kullanılmasıdır. Bu sonuçların laboratuarda yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılması ile sıvılaşma olasılığı yüksek yöreler belirlenmektedir. İkinci metot da, arazinin geçmişte olan depremlere dayanıklılığı gözlemlenmektedir. Deprem karakteristiği ve SPT'den tespit edilen zemin direnci ile çeşitli zeminler için ampirik korelasyon verilmektedir. Bu metot, deprem ivmesi sonucu meydana gelen dinamik gerilme (Seed et al. 1985) veya enerji yöntemi ile geliştirilmektedir (Figueora, 1994).

Sunulan çalışmada, yeni gelişmekte olan bir hesaplama yöntemi olan "Neural Ağ" yaklaşımı ile sıvılaşma potansiyelini etkileyen zemin karakteristikleri ve sismik parametreleri incelenecektir.

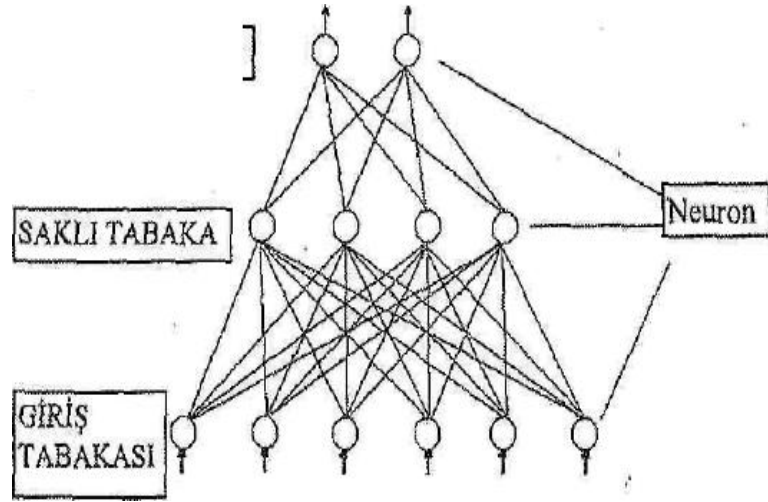
4.2.Geri Yayımlı Ağlar

Neural Ağlar yapay zeka'nın bir çeşididir Bu yöntem, beyinin fonksiyonel yapısını baz alarak geliştirilmiştir. Neural ağ, bilgi işlemci ünitelerden meydana gelmektedir. Bu üniteler "neuron"dır. Her iki "neuron arasındaki bağlantının ağırlığı veya önemi, numerik veri ile belirlenmektedir.

Neural ağ modelleri arasında Hopfield (1982) modeli, Kohonen (1984) modeli, Boltzmann mekanizması (Hinton et al. 1984) ve geri yayımlı model (Rumelhart et al. 1986) vardır. Geri yayımlı model (Şekil 1) tabakalardan oluşmaktadır; giriş tabakası, saklı tabakalar., ve çıkış tabakası (Ghaboussi et al., 1991). Saklı tabaka sayısı çözümlenecek problem türüne ve karışıklığına göre değişebilmektedir. Her tabakanın neuron'ları bir üst tabakanın neuronlarına bağlıdır. Aynı tabaka içerisinde bulunan neuron ünitelerinin arasında iletişim bulunmamaktadır. Her neuron "output" mesajını bir üst tabakaya iletmektedir. Bu iletişim bağlarının ağırlığı ilk başta stokastik olarak verilmekte, ve veri bilgilerinin neural ağa verilmesinden sonra iletişim bağ ağırlığı iteratif olarak eğitimden geçirilerek değiştirilmektedir.

Giriş tabakasından öncelikle sinyal verilmektedir. Bu giriş verilerine bağlı olarak hesaplanan sonuçların gerçek değerlerinden farkı, yanılmayı tespit etmekte kullanılmaktadır. Daha sonra bağlantı ağırlıkları, saklı ve çıkış tabakalarında yanılmayı azaltabilmek için ayarlanmaktadır. Eğitim fazı, iteratif yöntemin yakınsamasına kadar devam etmektedir. -Eğitim fazı başarı ile tamamlandığında, Neural ağ yöntemi, yeni bir veri grubunu kullanarak sonuç tahmin edebilmektedir.

[ÇIKIŞ TABAKASI]



Şekil 4.1. Geri Yayılma Neural Ağ Yapısı

Zeminlerin sınıflaştırma potansiyelini, çeşitli zemin ve sismik parametreler kontrol etmektedir. Etkisi fazla olan parametreler tespit edilip, duyarlılık incelemesi yapılacaktır.

5. SORUNLU ZEMİNLERDE ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de temel denilen yapı elemanın yapımının güç olduğu veya yapıldıktan sonra önemli derecede etkilendiği koşullarla karşılaşmaktadır. İslanma ile yapısal göçme görülen zeminler ,kabarmave büzülme görülen zeminler atık dolgular , don etkisinde kalan zeminler , deprem etkisiyle sıvılaşma gösteren zeminler temel inşaatı yönünden sorunlu oldukları varsayılan varsayılan zemin türleri oluşturmaktadır . Bu tür zeminlerin arazide tanınmaları inşaat yapımından önce bazı önlemlerin alınmasına olanak tanımakta ve sonradan alınacak pahalı önlemlerin başlangıçta daha ekonomik çözülebilmelerini sağlamaktadır. Aşağıda bu tür zeminlerde kullanılması gereken temel tasarımları açıklanmıştır.

5.1. İslanmayla Çöken Zeminlerde Temel Tasarımı

Bu olasılığın yüksek olduğu zeminler üzerine yapılan temeller , temel altı zemininde su kapsamının yükselmesi engellenebiliyorsa herhangi bir yüzeysel temel gibi tasarlanabilir. İslanma göçmesi olasılığı olan zeminlerden su kapsamı fazla olanlarında kritik bir temel altı gerilmesine kadar oturmalar gerilmelerle doğru orantılı gelişmekte kritik bir gerilmeye ulaşıncaya birden ve büyük bir oturma gözlenmektedir. Bu nedenle ıslanma olmasa bile bu tür zeminlerde temel tasarımı büyüdükçe bir güvenlik sayısı seçilerek kritik temel altı gerilmesinin aşılması sağlanmalıdır. Bunu için alınacak önlemler aşağıda sıralanmıştır.

Sonradan beklenen zemin kalınlığı 1.5-2 m gibi ise , su ile ağır sıkıştırıcılar kullanılarak sıkıştırılmak. Gerektiğinde dinamik konsolidasyon tekniği de kullanılarak iyileştirilen zemin üzerine yüzeysel temeller düzenlenebilir.

Sodyum silikat ve kalsiyum klorit eriyiklerinin zemin boşluklarına sızdırılması ile iyileştirmesinde kullanılan bir yöntemdir.

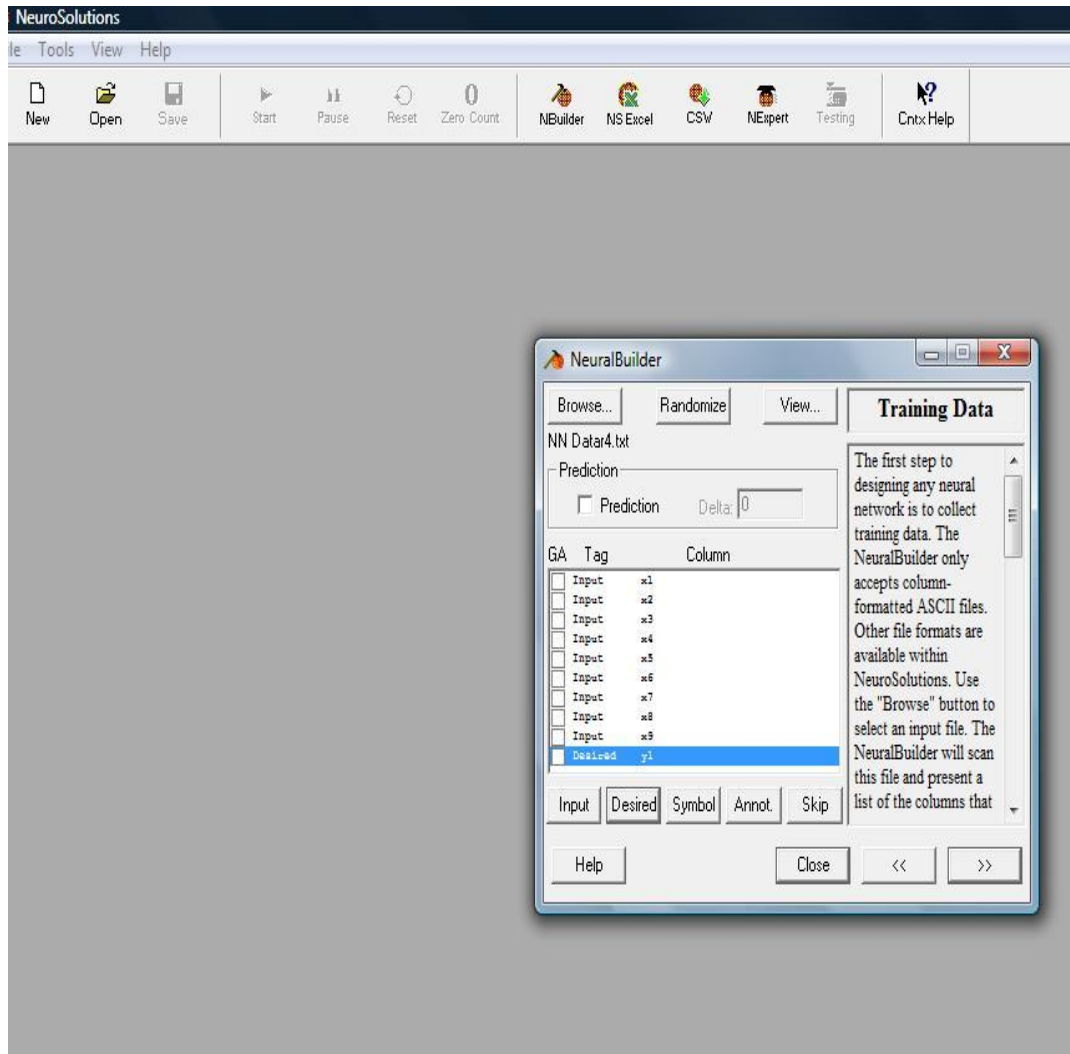
Şüpheli zemin kalınlığı fazla ise zemin geçirimsizliğine bağlı olarak suyla göllendirmek veya vibroflotasyon tekniklerinden birisi kullanılabilir. Arada geçirimsiz tabaka olması halinde uygulanabilecek olan göllenme tekniğinde suyla zemin tümüyle doyurulsa bile temel yapımından sonra bir parça daha oturma olabileceği göz önünde tutulmalıdır.

Zeminin önceden çökertilmesi uygulamada kolay değil ise temel yüklerinin derin temeller yardımı ile ıslanma zonu dışına yani derine aktarılması düşünülebilir. Bu durumda ıslanma zonunda negatif çevre sürtünme doğması olasılığı tasarımda göz önüne alınmalıdır. Taş kolon teşkil ederek yükleri derine aktarmak yöntemleri de benzer şekilde düşünülebilir.

6.SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN YSA İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

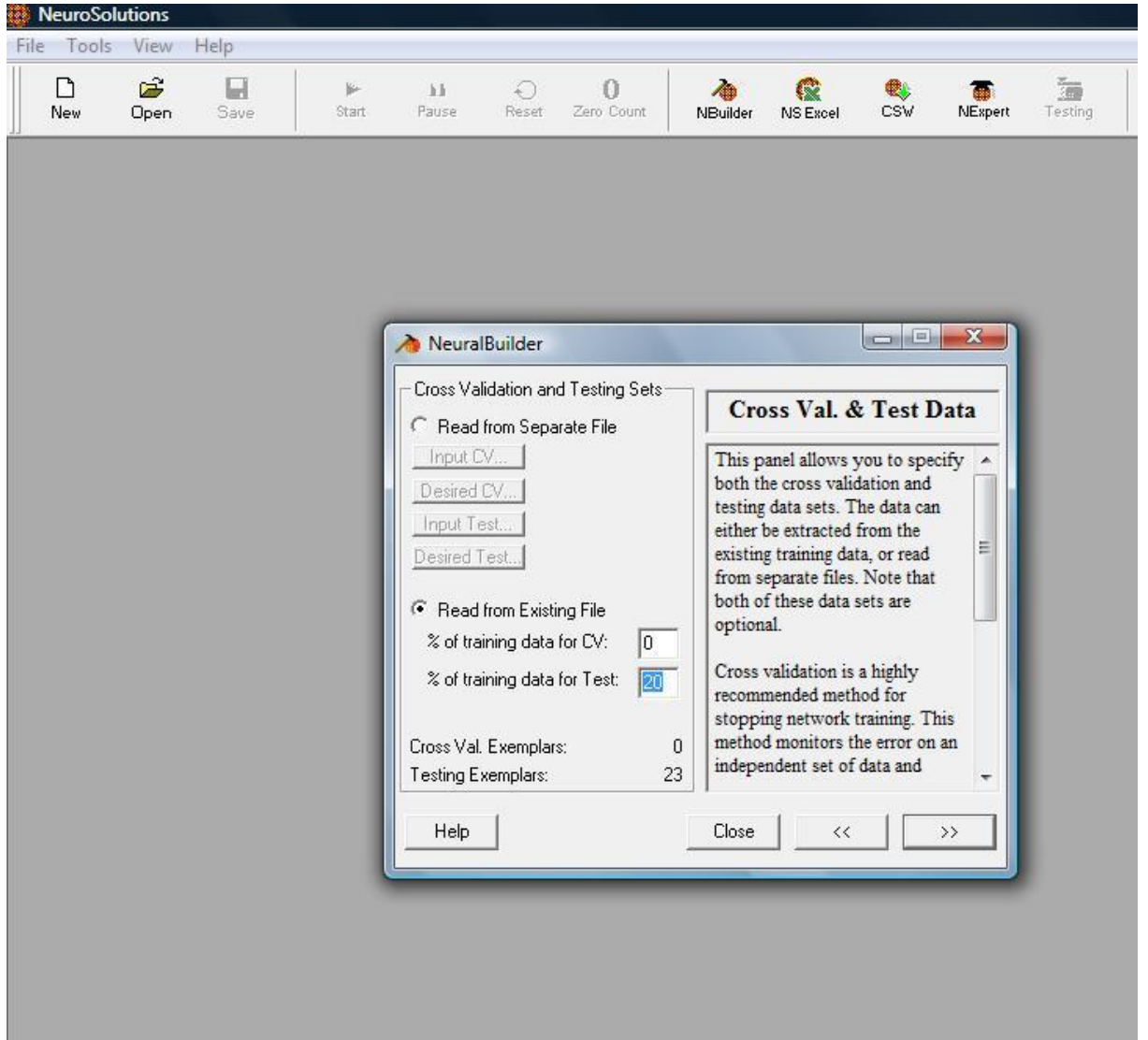
Sunulan çalışmada yeni gelişmekte olan Yapay Sinir Ağları yaklaşımı kullanılarak “Neural Solutions” programı vasıtasıyla zemin karakteristiği ve sismik parametreler yardımıyla yanal yayılma öngörülere yapılmaktadır.

Tezde kullandığımız neuro solutions programında aşağıdaki işlem sırasıyla hareket edilmiştir.



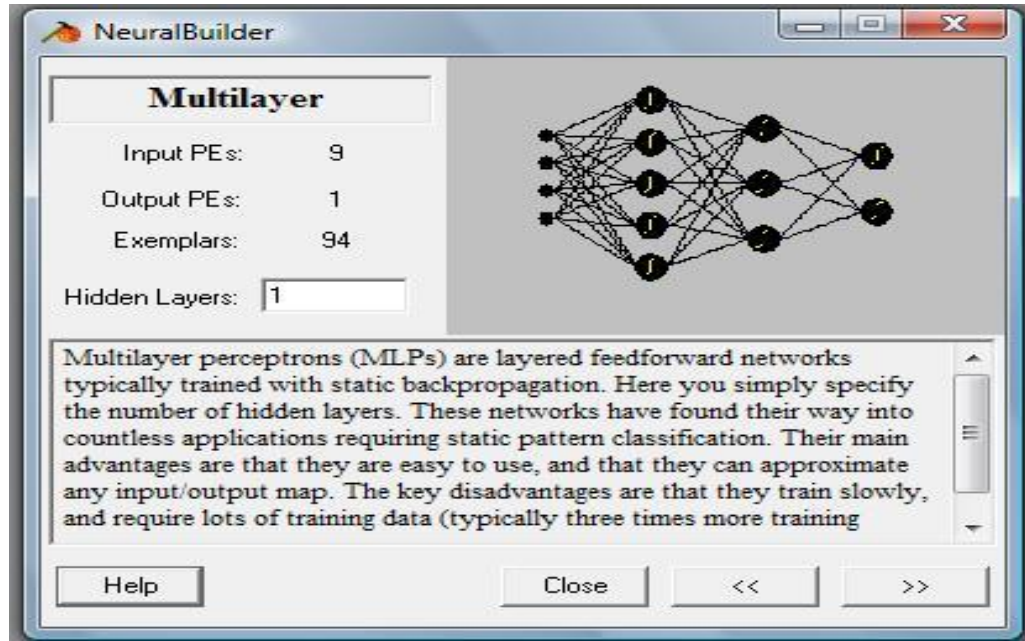
Resim 6.1. Girdi ve Çıktıların İşaretlenmesi

Düzenlenmiş ve düzeltilmiş olarak hazırladığımız data setinin programa tanıtılması 10 ad datadan sonuncusu yanal yayılma miktarını belirten Y1 çıktı olarak işaretleniyor. Programdan bu sonuçları küçük sapmalarla tahmin etmesi bekleniyor.



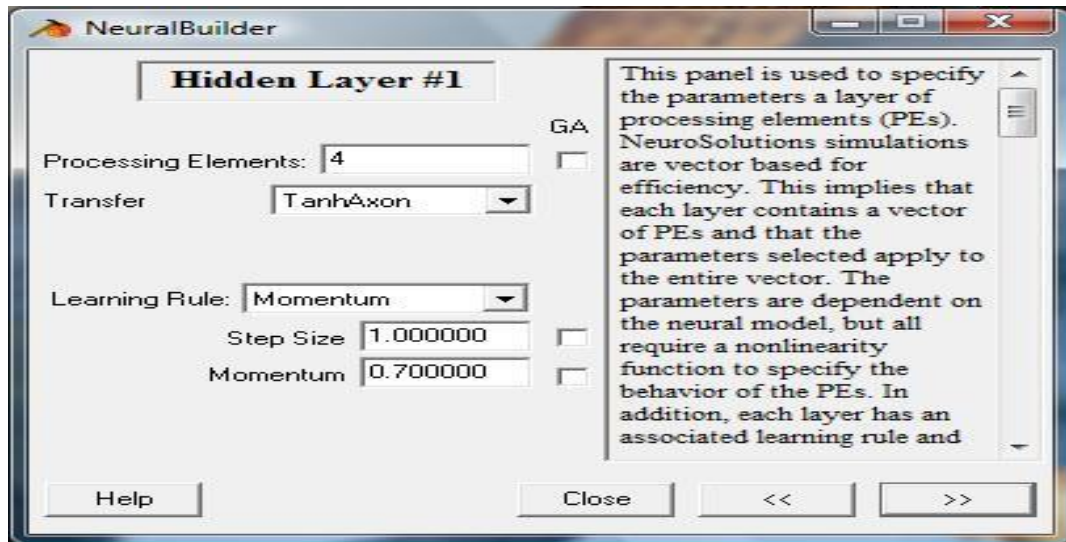
Resim 6.2. Data Setinde Eğitim ve Test Oranlarının Belirlenmesi

Data setinde yapılan düzenlemeler sonucunda test için kullanılacak datalar en alt sıralara düzensiz yerleştirilir. Bu pencerede dataların %20 test için ayrılır.



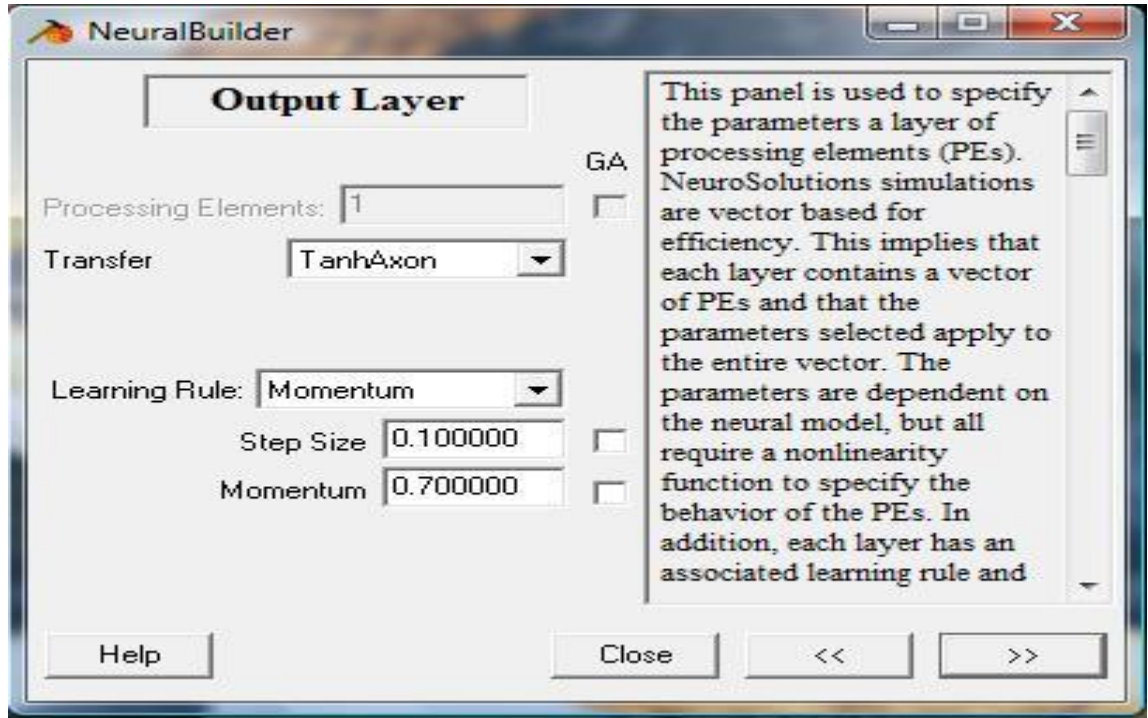
Resim 6.3. Gizli Katman Seçimi

Gizli katman sayıları seçilir çalışmada tek gizli katman ile ideal hata oranına ulaşıldı.



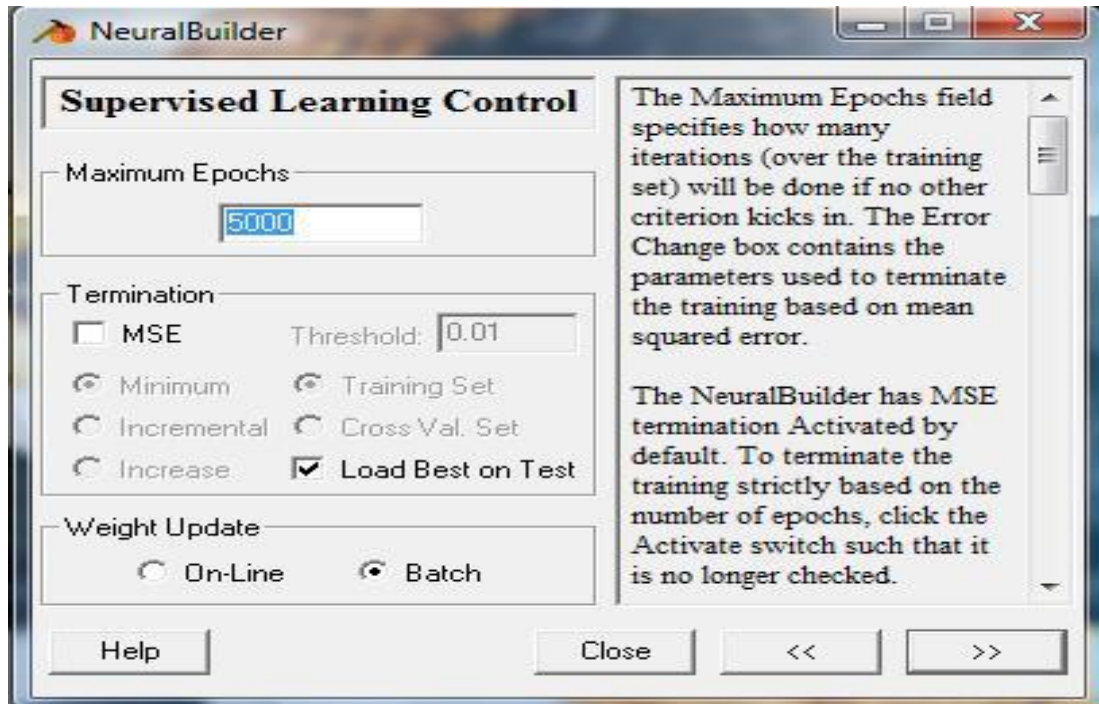
Resim 6.4. Öğrenme Kuralları Seçimi

Çalışmada gizli katmandaki öğrenme kurallarından momentumu seçildi.



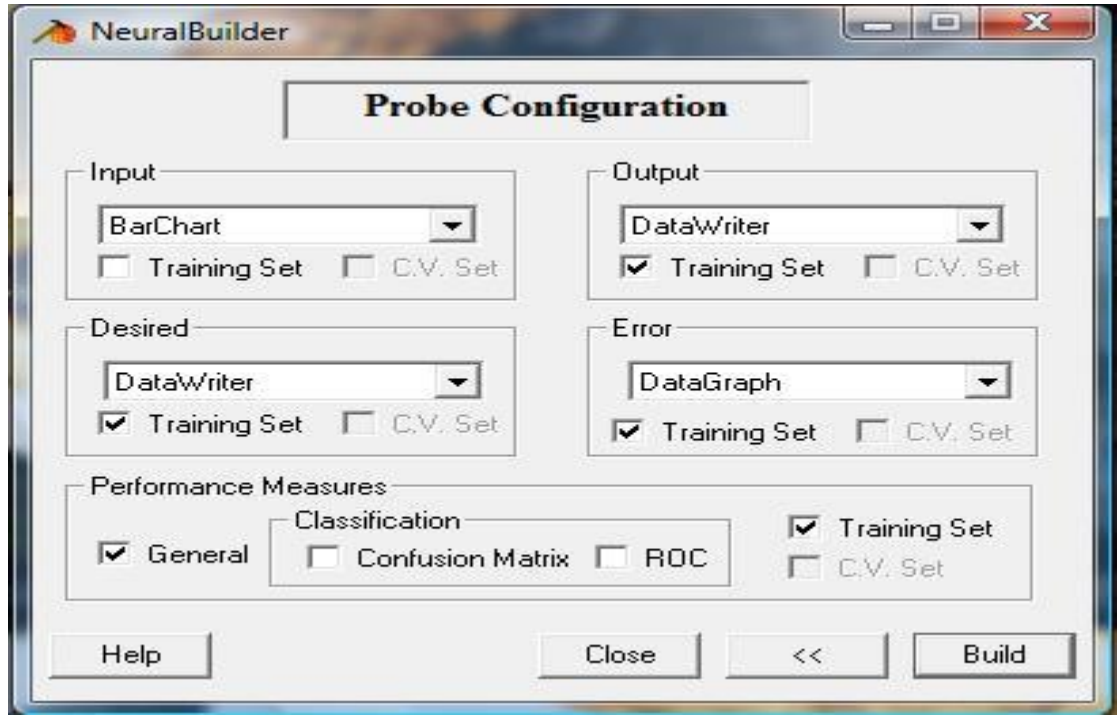
Resim 6.5. Çıkış Katamanı Öğrenme Kuralı

Çıkış katmanındaki öğrenme kuralını da momentum olarak seçilir.



Resim 6.6. Öğrenme İçin İdeal Çevirim Sayısının Ayarlanması

Bu pencerede en çevirim sayısını ideal çevirime göre ayarlandı. Çalışmada denemler sonunda ideal çevirim sayısını 5000 olarak belirlendi.



Resim 6.7. Program Çalışırken Gerekli Çizelgelerin Seçimi

Program çalıştırıldı ve hesaplanan deplasmanlarla programın tahmin ettiği deplasmanlar da görüldü ki %1.52 lik ortalama hatayla tahmin gerçekleşebiliyor.

Active Performance	
MSE	0.000262881944
NMSE	0.001206882880
r	0.999401063259
% Error	1.520146109874
AIC	-684.917717896743
MDL	-672.693585295668

Resim 6.8. Hata oranları

ML	s0 (kPa)	s0' (kPa)	N (SPT)	a/g	tort/s0	F (%)	D50 (mm)	R(KM)	LSI(YOUD & PERKINS)
7,90	186,40	96,10	20,0	0,32	0,36	0,0	0,46	140,00	1,82
7,90	130,50	82,40	10,0	0,32	0,32	5,0	0,28	140,00	1,82
7,90	111,80	71,60	17,0	0,28	0,28	3,0	0,80	140,00	1,82
7,90	93,20	67,70	13,0	0,28	0,25	4,0	0,60	140,00	1,82
7,90	122,60	93,20	10,0	0,20	0,16	10,0	0,25	140,00	1,82
7,90	141,30	102,00	1,0	0,20	0,17	14,0	0,25	140,00	1,82
7,90	71,60	69,70	3,0	0,20	0,13	22,0	0,18	140,00	1,82
7,90	149,10	80,40	17,0	0,20	0,23	1,0	0,28	140,00	1,82
7,90	93,20	63,80	12,0	0,20	0,19	5,0	0,30	140,00	1,82
8,00	89,30	59,80	8,0	0,20	0,19	10,0	0,40	150,00	2,01
8,00	64,70	35,30	1,0	0,20	0,24	27,0	0,20	150,00	2,01
8,00	50,00	45,10	2,0	0,20	0,15	30,0	0,15	150,00	2,01
8,00	130,50	81,40	10,0	0,16	0,16	5,0	0,28	150,00	2,01
7,30	123,60	91,20	19,0	0,35	0,27	4,0	0,65	90,00	1,07
7,30	74,60	47,10	8,0	0,40	0,38	0,0	0,45	90,00	1,07
5,50	111,80	48,10	6,0	0,19	0,10	3,0	0,20	20,00	0,30
7,50	130,50	71,60	8,0	0,16	0,17	2,0	0,30	100,00	1,38
7,50	186,40	98,10	10,0	0,16	0,17	2,0	0,30	100,00	1,38
7,50	80,40	38,20	4,0	0,16	0,21	10,0	0,40	100,00	1,38
7,50	84,40	46,10	6,0	0,16	0,18	0,0	0,40	100,00	1,38
8,30	56,90	53,00	10,0	0,16	0,22	10,0	0,20	150,00	3,95
7,90	74,60	45,10	5,0	0,20	0,21	20,0	0,12	130,00	2,09
7,90	74,60	41,20	6,0	0,23	0,27	5,0	0,25	130,00	2,09
6,60	72,60	86,30	9,00	0,45	0,29	20,00	0,10	60,00	0,47
7,50	72,60	28,40	8,00	0,14	0,17	3,00	1,00	120,00	0,98

ML	s0 (kPa)	s0' (kPa)	N (SPT)	a/g	tort/s0	F (%)	D50 (mm)	R(KM)	LSI(YOUD & PERKINS)
6,60	58,90	51,00	4,00	0,60	0,45	25,0	0,12	50,00	0,66
6,60	72,60	46,10	7,00	0,21	0,21	0,10	0,09	50,00	0,66
6,70	61,80	34,30	5,00	0,12	0,12	5,00	0,70	45,00	1,00
6,70	80,40	47,10	11,00	0,12	0,11	0,00	0,40	45,00	1,00
7,40	118,70	66,70	10,00	0,20	0,21	0,00	0,60	80,00	1,67
7,40	61,80	34,30	5,00	0,32	0,35	5,00	0,70	80,00	1,67
7,40	61,80	41,20	7,00	0,32	0,29	4,00	0,28	80,00	1,67
7,40	80,40	47,10	11,00	0,24	0,25	0,00	0,40	80,00	1,67
7,40	80,40	54,90	4,00	0,24	0,21	10,00	0,40	80,00	1,67
7,40	61,80	41,20	13,00	0,24	0,22	7,00	1,60	80,00	1,67
7,40	80,40	41,20	8,00	0,24	0,28	12,00	1,20	80,00	1,67
7,40	103,00	83,40	9,00	0,24	0,17	5,00	0,34	80,00	1,67
7,40	108,90	70,60	8,00	0,24	0,21	4,00	0,36	80,00	1,67
7,40	59,80	56,90	11,00	0,28	0,18	5,00	0,53	80,00	1,67
7,40	74,60	56,80	6,00	0,24	0,18	10,00	0,25	80,00	1,67
7,40	93,20	68,70	9,00	0,24	0,19	20,00	0,15	80,00	1,67
7,40	111,80	77,50	12,00	0,24	0,20	3,00	0,35	80,00	1,67
7,40	74,60	49,10	4,00	0,28	0,18	10,00	0,15	80,00	1,67
6,90	45,90	31,80	4,00	0,25	0,19	2,00	0,26	50,00	1,29
6,90	86,30	45,90	11,00	0,25	0,21	1,00	0,40	50,00	1,29
6,90	54,80	31,80	9,00	0,25	0,20	2,00	0,80	50,00	1,29
6,90	31,80	28,20	8,00	0,25	0,17	3,00	0,80	50,00	1,29
6,90	31,80	31,90	4,00	0,25	0,16	10,00	0,60	50,00	1,29
6,90	30,00	28,20	5,00	0,25	0,17	3,00	0,60	50,00	1,29
6,90	70,60	47,70	15,00	0,25	0,19	8,00	0,30	50,00	1,29
6,90	127,20	51,20	4,00	0,25	0,22	7,00	0,19	50,00	1,29

ML	s0 (kPa)	s0' (kPa)	N (SPT)	a/g	tort/s0	F (%)	D50 (mm)	R(KM)	LSI(YOUD & PERKINS)
6,90	26,50	17,66	5,00	0,25	0,20	35,00	0,10	50,00	1,29
6,90	93,60	42,40	10,00	0,25	0,22	3,00	0,80	50,00	1,29
6,90	70,60	44,20	13,00	0,25	0,20	3,00	0,50	50,00	1,29
6,90	167,80	37,00	12,00	0,25	0,25	27,00	0,20	50,00	1,29
6,90	98,90	26,50	10,00	0,25	0,25	2,00	1,00	50,00	1,29
6,90	86,50	28,20	12,00	0,25	0,24	3,00	1,00	50,00	1,29
6,90	44,10	31,80	10,00	0,25	0,19	1,00	0,10	50,00	1,29
6,90	150,10	40,60	14,00	0,25	0,22	1,00	0,20	50,00	1,29
6,90	44,10	31,80	12,00	0,25	0,19	2,00	0,20	50,00	1,29
6,90	63,60	33,60	12,00	0,25	0,21	15,00	0,80	50,00	1,29
7,30	70,70	49,10	6,00	0,17	0,15	15,00	0,20	100,00	0,88
7,30	53,00	39,30	4,00	0,17	0,10	0,00	0,30	100,00	0,88
7,30	26,50	21,60	3,00	0,17	0,13	10,00	0,30	100,00	0,88
7,30	61,20	33,10	4,00	0,17	0,19	0,00	0,40	100,00	0,88
7,80	88,30	49,00	9,00	0,35	0,38	0,00	0,40	25,00	35,80
7,80	105,90	64,70	10,00	0,35	0,33	0,00	0,50	25,00	35,80
6,80	53,00	28,45	5,00	0,35	0,40	20,00	0,30	40,00	1,56
6,80	61,80	37,30	3,00	0,35	0,35	20,00	0,30	40,00	1,56
6,80	70,60	36,30	4,00	0,35	0,41	20,00	0,40	40,00	1,56
6,80	55,00	27,50	8,00	0,35	0,28	35,00	0,40	40,00	1,56
6,80	62,00	32,40	8,00	0,35	0,30	35,00	0,40	40,00	1,56
6,80	73,00	33,70	4,00	0,35	0,38	35,00	0,50	40,00	1,56
6,80	68,00	25,60	5,00	0,35	0,38	35,00	0,50	40,00	1,56
6,80	51,00	34,50	11,00	0,35	0,37	30,00	0,60	40,00	1,56
6,80	56,00	38,50	15,00	0,35	0,40	30,00	0,60	40,00	1,56
6,80	55,80	34,70	18,00	0,35	0,40	30,00	0,40	40,00	1,56
6,80	67,30	23,60	12,00	0,35	0,41	30,00	0,40	40,00	1,56

ML	s0 (kPa)	s0' (kPa)	N (SPT)	a/g	tort/s0	F (%)	D50 (mm)	R(KM)	LSI(YOUD & PERKINS)
6,80	65,40	28,50	13,00	0,35	0,41	25,00	0,60	40,00	1,56
6,80	57,40	27,50	15,00	0,35	0,42	25,00	0,60	40,00	1,56
6,80	58,80	36,40	18,00	0,35	0,42	25,00	0,70	40,00	1,56
6,80	67,30	23,60	21,00	0,35	0,42	20,00	0,80	40,00	1,56
6,80	64,00	34,80	25,00	0,35	0,42	15,00	0,40	40,00	1,56
6,80	63,20	33,10	25,00	0,35	0,41	15,00	0,40	40,00	1,56
6,80	71,10	38,60	41,00	0,35	0,38	3,00	0,50	40,00	1,56
7,40	258,83	110,58	19,30	0,32	0,37	19,00	0,12	55,00	3,35
7,40	29,33	26,08	6,70	0,32	0,23	33,00	0,27	55,00	3,35
7,40	83,73	39,48	8,10	0,32	0,42	31,00	0,60	55,00	3,35
7,40	156,83	74,08	25,70	0,32	0,41	10,00	1,50	55,00	3,35
7,40	29,33	27,08	10,50	0,32	0,22	13,00	0,31	55,00	3,35
7,40	88,83	51,58	20,40	0,32	0,34	9,00	0,75	55,00	3,35
7,40	114,33	62,08	24,40	0,32	0,36	7,00	0,85	55,00	3,35
7,40	139,83	72,58	26,80	0,32	0,38	1,00	0,88	55,00	3,35
7,40	165,33	83,08	28,10	0,32	0,38	2,00	0,92	55,00	3,35
7,40	114,33	60,08	23,00	0,32	0,38	7,00	0,31	55,00	3,35
7,40	139,83	70,58	23,70	0,32	0,39	14,00	0,26	55,00	3,35
7,40	165,33	81,08	25,30	0,32	0,39	14,00	0,27	55,00	3,35
7,40	250,33	116,08	27,10	0,32	0,35	3,00	0,49	55,00	3,35
7,40	335,33	160,08	24,90	0,32	0,28	4,00	3,20	55,00	3,35
7,40	114,33	65,08	18,50	0,32	0,35	45,00	0,18	55,00	3,35
7,40	139,83	69,58	20,50	0,32	0,39	13,00	1,99	55,00	3,35
7,40	165,33	80,08	23,10	0,32	0,39	6,00	1,50	55,00	3,35
7,40	216,33	101,08	22,40	0,32	0,37	7,00	1,80	55,00	3,35
7,40	199,33	100,08	15,70	0,32	0,36	40,00	0,11	55,00	3,35
7,40	250,33	121,08	17,00	0,32	0,34	27,00	0,16	55,00	3,35
7,40	88,83	56,58	26,30	0,32	0,31	5,00	2,30	55,00	3,35

ML	s ₀ (kPa)	s ₀ ' (kPa)	N (SPT)	a/g	tort/s ₀	F (%)	D ₅₀ (mm)	R(KM)	LSI(YOUD & PERKINS)
7,40	114,33	67,08	17,40	0,32	0,34	29,00	1,85	55,00	3,35
7,40	139,83	77,58	21,80	0,32	0,35	17,00	1,60	55,00	3,35
7,40	165,33	88,08	22,80	0,32	0,36	16,00	0,39	55,00	3,35
7,40	207,83	105,58	16,10	0,32	0,35	18,00	0,30	55,00	3,35
7,40	29,33	23,08	9,60	0,32	0,26	45,00	0,00	55,00	3,35
7,40	114,33	57,08	19,80	0,32	0,40	13,00	0,15	55,00	3,35
7,40	71,83	42,58	6,80	0,32	0,34	28,00	0,18	55,00	3,35
7,40	71,83	55,58	5,10	0,32	0,26	33,00	0,10	55,00	3,35
7,40	156,83	81,58	26,80	0,32	0,37	8,00	0,50	55,00	3,35
7,40	29,33	19,08	6,70	0,32	0,32	44,00	0,08	55,00	3,35
7,40	105,83	52,58	20,60	0,32	0,40	33,00	0,00	55,00	3,35
7,40	233,33	106,08	18,90	0,32	0,37	47,00	0,00	55,00	3,35
7,40	29,33	21,08	4,80	0,32	0,29	39,00	0,00	55,00	3,35

Kullanılan data seti yukarıda verilmiştir.

7.SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Depremler sırasında meydana gelen sıvılaşmalar ve sıvılaşmanın neden olduğu yanal yayılmalar zemin hasarları içerisinde en çok gözlenen davranışlardır. Geçmiş depremlerde yaşanan tecrübelerde, sıvılaşmaya bağlı gelişen oturmaların, yanal yayılmaların arazilerde ve mühendislik yapılar da ciddi hasarlar meydana getirdiği gözlenmiştir. Bu nedenle tezde depremler sırasındaki sıvılaşma ve sıvılaşmaya bağlı yanal yayılma davranışları detaylı olarak ele alınmış, sıvılaşmaya etki eden her faktör tek tek incelenmiştir. Sıvılaşma davranışının öngörülmesi deprem ve zemin parametrelerini içeren karmaşık bir fenomendir. Sıvılaşmanın doğası nedeniyle meydana gelebilecek zemin deformasyonlarının doğrusal yöntemlerle incelenmesi çoğu zaman gerçek olamayacak kadar afaki sonuçlar verebilmektedir. Tezde gerçekleştirilen çalışmada sıvılaşma olayı deprem ve zemin parametreleri olarak sınıflandırılmış, her parametrenin birbirleriyle doğrusal olmayan ilişkileri yapay sinir ağları yaklaşımıyla araştırılmıştır. Depremler sırasındaki sıvılaşma olayı tekrarlanabilir karakterde olduğundan ve benzer depremlerde sıvılaşma hassaslığına sahip zeminlerin yeniden sıvılaştığı gözlemlendiğinden, doğrusal olmayan yöntemlerin bu olayı açıklamadaki yeterliliği araştırılmıştır.

Tezde geçmiş lokal manyetüdü 5.5 ile 8.3 ile değişen 12 büyük deprem verileri kullanılmıştır. Deprem parametreleri olarak lokal manyetüd (ML) ve gözlem noktalarının mevcut faya veya dışmerkeze (episantr) uzaklığını (R) , deprem ivmesinin yer çekimi ivmesine oranı(a/g) alınmıştır. Sıvılaşmanın gerçekleştiği zeminlerde yapılan detaylı arazi ve laboratuvar deneylerinden 6 ad parametre ele alınmıştır. Bu parametreler sıvılaşmanın olduğu derinlikteki toplam çevre gerilmesi (σ_0) , efektif çevre gerilmesi (σ'_0) , standart penetrasyon dreci (SPT) , toplam çevre gerilmesine göre normalize edilmiş ortalama kayma mukavemeti (τ_{ort}/σ_0), ince malzeme oranı (F), ortalama dane çapı (D50) olarak sıralanır.

Tezde kullanılan tüm deprem verileri içinde sıvılaşma gerçekleşmiştir. Bu verilerden hareketle sıvılaşmaya bağlı yanal yayılmalar, Youd ve Perkins (LSI) yöntemine göre hesaplanmıştır. Aynı zamanda yanal yayılma tahmini yapay sinir

ağları yaklaşımıyla da analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır Yapılan karşılaştırmada Youd ve Perkins yöntemine göre hesaplanan yanal yayılma miktarları yapay sınır ağlarıyla elde edilen yanal yayılma miktarına göre %1,52 lik ortalama hata bulunmuştur.

KAYNAKÇA

1. Tokimatsu, K., and H. B. Seed, 1987, "Evaluation of settlements in sand due to earthquake shaking," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 113, No. 8, pp. 861-878.
2. Bartlett, S. F. and T. L. Youd, 1992, .Empirical analysis of horizontal ground displacement generated by liquefaction-induced lateral spreads,. Technical report NCEER-92-0021, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York, Buffalo, pp. –
- 4 Martin, G.R Finn W.D.L ve Seed H.B (1975)”Fundamentals of liquefaction under cyclic loading” journal of geotechnical engineering ASCE (101)GT5:423-438
- 5 Marcuson 1978 journal of soil Mechanics and Foundation Division
- 6 Castro, G. Ve Poulos J.J (1977) “Factors Affecting Liquefaction and Cyclic Mobility”, ASCE Journal of Geotechnical Engineering (103)GT6:501-516
7. Youd, T.L. and Idriss, I.M., Co-Chairs, 2001, Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER
- 8.H.-Y. Ko and F.G. McLean, Editors, Centrifuge 91. Proceedings of the International Conference on Geotechnical Centrifuge Modelling (1991).
9. 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. On Physical Modelling in Geotechnics, St. Johns, Canada (Phillips, Guo, Popescu, ... Wilson, D.W. and Kutter, B.L. (2002).
10. Verification of liquefaction analysis using centrifuge studies – Arulanandan vd. 1994

11. Arulanandan, K, and R. F. Scott, 1993-1994, Verification of Numerical procedures for the analysis of` soil liquefaction problems," Proceedings of the International Conference on the Verification of Numerical Procedures for the Analysis of Soil Liquefaction Problems, Vols. 1 and 2, A. A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands.
12. Canadian Geotechnical Journal, 42(3) 957-963. Haigh, S.K., Teymur, B., Madabhushi, S.P.G. & Newland, D.E. (2002)
13. Shake Table Calibration and Specimen Preparation for Liquefaction Studies in the Centrifuge Dief HM, Figueroa JL.
14. R.O. Davis and J.B. Berrill [2001] "Correlation of Pore Pressure and Dissipated Energy in Earthquakes - Field Verification
15. Proceedings ASCE/AEG/UMKC Geotechnical Conference, Kansas City, MO, April 6, 2002. Kulasingam, R., Malvick, E. J., Boulanger
16. Çetin, K.Ö., Seed, R.B. and Youd, T.L., Investigation and Evaluation of Liquefaction-Induced Ground Deformations at Izmit Bay During the 1999 Kocaeli (Izmit), Turkey Earthquake. "Tenth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering", , (2001),
17. Finn W.D.L., Ledbetter, R.H ve Wu, G. (1994) "Liquefaction in Silty Soils: Design and analysis "Ground Failures under Seismic Conditions, Geotechnical Special Publication 44, ASCE 51-76
18. Andrews D.C.A & Martin .G.R. 2000 Criteria for Liquefaction of silty soils Proc of the 12th world conference on Earthquake Engineering Auckland.
19. Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F.; Chung R.M (1985) "Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations" Journal of Geotechnical engineering ASCE, (111)12:1425-1445

20. Youd TL., Idriss I.M., ark., (2001), "Liquefaction resistance of Soils", Summary Report from the NCEER and NSF Workshop, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 127(10): 817- 833

21. NCEER 1997 National Centre for Earthquake Engineering Research

22. Seed, H. B., and P. De Alba, 1986, "Use of SPT and CPT Tests for evaluating the liquefaction resistance of sands," Use of In-Situ Tests in Geotechnical Engineering, ASCE, Geotechnical Special Publication No. 6, pp. 281-302.

23. Liao, S. S. C., 1986, "Statistical modeling of earthquake-induced liquefaction," Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 470 p.

24. Wride CE, McRoberts EC, Robertson PK (1999) "Reconsideration of case histories for estimating undrained shear strength in sandy soils" Canadian Geotechnical Journal, 36:907-933.

25. Andrus RD, Stokoe KH ? (2000) "Liquefaction Resistance of Soils from Shear Wave Velocity," Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering . ASCE, 126 (11):1015-1025.

26. Boulanger, R. W., and Idriss, I. M. (1995). "Liquefaction susceptibility criteria for silts and clays." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 132(11).

27. Çetin, K.Ö., Seed, R.B. and Youd, T.L., Investigation and Evaluation of Liquefaction-Induced Ground Deformations at Izmit Bay During the 1999 Kocaeli (Izmit), Turkey Earthquake. "Tenth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering", , (2001),

28. Olsen R.S 1997 Cyclic Liquefaction Based on the cone penetrometer Test in proceeding of the NCEER workshop on evaluation of liquefaction Resistance soil.

29. Baziar, M. H., R. Dobry, and A. W. M. Elgamal, 1992, Engineering evaluation of permanent ground deformation due to seismically-induced liquefaction," Technical report NCEER-92-0007, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York, Buffalo, 2 Vol. .

30. Towhata, I., H. Toyota, and W. M. Vargas, 1996, "A transient study on lateral flow on liquefied ground," Proceedings of the 7th International Symposium on Landslides, Trondheim, Norway, A. A. Balkema, The Netherlands, Vol. 2, pp. 1047-1054.

31. Shamuto, Y., J.-M. Zhang, and K. Tokimatsu, 1998, "Methods for evaluating residual post-liquefaction ground settlement and horizontal displacement," Soils and Foundations, Special Issue Vol. 2, Japanese Geotechnical Society, pp. 69-84.

32. Hamada, M., S. Yasuda, R. Isayama, and K. Emoto, 1986, . Study on Liquefaction induced permanent ground displacement, " Report for the Association for the Development of Earthquake Prediction. .

33. Youd, T. L., and D. M. Perkins, 1987, . Mapping of Liquefaction Severity Index,. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, No. 11, pp. 1374-1392.

34. Bartlett, S. F. and T. L. Youd, 1992, .Empirical analysis of horizontal ground displacement generated by liquefaction-induced lateral spreads,. Technical report NCEER-92-0021, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York, Buffalo, pp. 5-14-15.

35. Youd, T. L., and D. M. Perkins, 1987, . Mapping of Liquefaction Severity Index,. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, No. 11, pp. 1374-1392.

36. Manual for Zonation on seismic Geotechnical Hazards ,1999

37. Iwasaki, T., Arakawa, T., and Tokida, K.I., Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes, *Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 3, No. 1, pp 49-58, 1984

38..ISSMFE/TC4,1999 International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.

39. Rauch, A. 1997, EPOLLS: An empirical method for predicting surface displacement ,due to liquefaction-induced lateral spreading in earthquakes, PhD thesis, Virginia i Polytechnic Institute, Virginia.

40. Tokimatsu, K.,Yoshimi, Y.(1983) "Emprical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N –Value and Finest Content" *Soil and Foundation*, Vol 23, No 4, pp 56-74

41. Lai, K.W. & Shaw, R. (1989). San Tin. Hong Kong Geological Survey Sheet 2. solid and superficial geology.

42. Shibata T.& Teboraksa,V. 1988 Evaluation of Liquefaction potentials of Soil using Cone penetration tests

43. Robertson, P.,K., Campanella, R.,G., 1985, Liquefaction Potential Of Sands Using The. Cone Penetration Test, *Journal of Geotechnical Engineering*.

44. Seed, H. B., and P. De Alba, 1986, "Use of SPT and CPT Tests for evaluating the liquefaction resistance of sands," *Use of In-Situ Tests in Geotechnical Engineering*, ASCE, Geotechnical Special Publication No. 6, pp. 281-302.

45. Ansal,A (1991) "Evaluation of Liquefaction Susceptibility", 5th Int. Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Karlsruhe, Germany, 23-26 Eylül, pp.303-312

46. Hitchcock, C.S., and Helley, E.J., 2000, Geotechnical characterization of subsurface sediments, southern San Francisco Bay Area

47. Erdik M., E. Durukal (2000). Assessment of Design Basis Earthquake Ground Motions for Near-Fault Conditions, in Proceedings of the 12 the World Conference on Earthquake Engineering, Paper No: 2361, Auckland, New Zealand, February 2000.

48. O'Rourke, T. D., and P. A. Lane, 1989, .Liquefaction hazards and their effects on buried pipelines,. Technical report NCEER-89-0007, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York, Buffalo.

49. Bartlett, S. F. and T. L. Youd, 1992, .Empirical analysis of horizontal ground displacement generated by liquefaction-induced lateral spreads,. Technical report NCEER-92-0021, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York, Buffalo,

50. Youd, T.L. and Hoose, S.N., 1976, Liquefaction during 1906 San Francisco earthquake: American Society of Civil Engineers

51. Koga, Y. and Matsuo, O., Shaking table tests of embankments resting on liquefiable sandy ground. Soil Found., 1990, 30, 162–174

52. Hopfield, J. J. (1982) "Gelişen Hesaplama Yetenekli Neural Ağlar ve Fizik Sistemleri" Proc. Nat. Acad. Sei., 79, pp. 2554-2558

53. Kohonen, T. (1984) Kendi içinden organizasyon ve ona Bağlı Hafıza. Springer-Verlag, Berlin, Germany

54. Hinton, G. E., Sejnowski, T. J., and Ackley, D. H. (1984) "Boltzmann Mekanizması: Eğitilebilen Sınırlı Tatminkar Ağlar" Tech. Rep. No. CMU-CS-84-119, Department of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pa.,

55. Rumelhart, D. e., Mc Clelland, J. L. (1986) "Parallel Distributed Processing, Vol.1-2, The Mit Press, Cambridge. Massachusetts

56. Ghaboussi, J., Garret, J.H., Wu, X(1991) "Knowledge-Based Modelling of Material Behaviour with Neural Networks." J.Engineering Mechanic, Vol.117 No1 pp.132-153

57. Castro, G. (1975) "Sıvılaşma ve Doygun Kum'un Devirsel Hareketi", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 101(GT6), pp.551-569

58. Seed, H.B. (1979) " Deprem Sırasında Yer Yüzeyinde Zemin Sıvılaşması ve Devirsel Hareketi", Journal of the Geotechnical Division, ASCE 105(GT5) , pp.201-255,

59. Neuro Solutions (2003) Neurodimension ,Inc Version 4.24.

ÖZGEÇMİŞ

İnşaat mühendisi Necmettin Doğan ÖNDER 1982 yılında İstanbul’da doğdu. 2001 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek öğrenime başladı. Buradan 2006 yılında mezun oldu ve ANKA MÜHENDİSLİK firmasında şantiye şefi olarak göreve başlayan N.Doğan ÖNDER 2007 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.