



SIVILAŞMA RİSKİNİN BELİRLENMESİNDE GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMI

Gulmustafa ŞEN

Temmuz 2010
DENİZLİ

**SIVILAŞMA RİSKİNİN BELİRLENMESİNDE
GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMI**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarafından Kabul Edilen
Doktora Tezi
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

Gulmustafa ŞEN

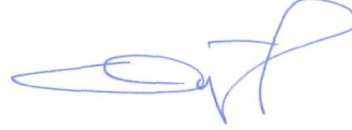
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Erdal AKYOL

Temmuz, 2010

DENİZLİ

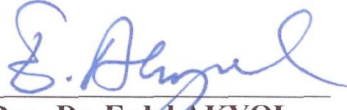
DOKTORA TEZİ ONAY FORMU

Gulmustafa ŞEN tarafından Yrd. Doç. Dr. Erdal AKYOL yönetiminde hazırlanan “Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesinde Genetik Algoritma Yaklaşımı” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.



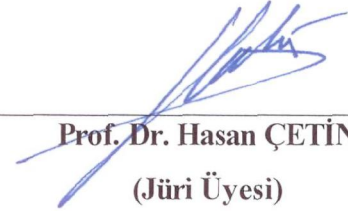
Prof. Dr. Okay GÜRPINAR

(Jüri Başkanı)



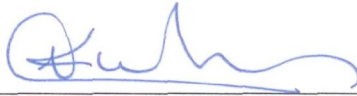
Yrd. Doç. Dr. Erdal AKYOL

(Jüri Üyesi, Danışman)




Prof. Dr. Hasan ÇETİN

(Jüri Üyesi)



Doç. Dr. Osman KULAK

(Jüri Üyesi)



Doç. Dr. Selçuk TOPRAK

(Jüri Üyesi)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../.....tarih vesayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Halil KARAHAN

Müdür

TEŞEKKÜR

Öncelikle, değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Erdal AKYOL'a çalışmalarım esnasındaki maddi-manevi destekleri ve teşvik edici yönlendirmeleri için minnettarım.

Görüş ve önerileri için Prof. Dr. Okay GÜRPINAR, Prof. Dr. Hasan ÇETİN, Doç. Dr. Osman KULAK, Doç. Dr. Selçuk TOPRAK ve Yrd. Doç. Dr. Salih YILMAZ'a teşekkür ederim.

Değerli çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. Hayri Baytan ÖZMEN ve Arş. Gör. Hacı Alim BARAN'a yardımları için teşekkür ederim.

Ayrıca değerli görüş ve önerileri ile katkıda bulunan Yrd. Doç. Dr. M. Tamer AYVAZ ve Arş. Gör. Yusuf ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Çalışmanın tamamlanması için maddi destek sağlayan Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve arazi çalışmalarının gerçekleştirilmesi esnasında gösterdikleri özverili çalışma ve yardımları için Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş. (ZETAŞ) çalışanları ve yöneticilerine teşekkür ederim.

Özverili desteklerini esirgemeyen aileme minnettarım. Bu tez çalışmam sırasında gösterdiği anlayıştan ötürü sevgili eşime ve oyun vakitlerinden fedakarlık yapmak zorunda bıraktığım oğluma çok teşekkür ederim.

Gulmustafa ŞEN

Aileme, Eşim ve oğlum Tarık Yusuf a...

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza

: 

Öğrenci Adı Soyadı : Gulmustafa ŞEN

ÖZET

SIVILAŞMA RİSKİNİN BELİRLENMESİNDE GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMI

ŞEN, Gulmustafa

Doktora Tezi, Jeoloji Mühendisliği ABD
Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Erdal AKYOL

Haziran 2010, 183 Sayfa

Zemin sıvılaşması, deprem hasarlarının en önemli nedenlerinden birisi olup binalar, yollar, köprüler, barajlar ve önemli candamarı (lifeline) sistemleri (doğalgaz, su, elektrik vb.) üzerinde yıkıcı etkilere yol açabilmektedir. Son 40 yılda meydana gelen gelişmeler ışığında sıvılaşma zararlarının daha net ortaya çıkması sonucu, sıvılaşma potansiyelinin daha etkili ve güvenli bir şekilde ortaya konulması gerekmektedir. Sıvılaşma riskinin belirlenmesinde arazi ve laboratuvar verileri kullanılmaktadır. Arazi verilerinin kullanılması doğal zemin koşullarının yerinde değerlendirilmesine de olanak sağladığı için çalışmalar bu konu üzerinde yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmada sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde en yaygın kullanılan in-situ deneylerden Konik Penetrasyon Testi (CPT) ve Standart Penetrasyon Testi (SPT) verilerinden faydalanılmıştır. Bu veriler geçmiş depremlerin olduğu bölgelerdeki sıvılaşmış ya da sıvılaşmamış gerçek arazi verilerinden oluşmaktadır. Dünyanın değişik bölgelerinden derlenen bu veri seti ile mühendislik uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılan Genetik Algoritma (GA) yöntemine uygun bir veri tabanı oluşturulmuştur.

GA en yaygın optimizasyon algoritmalarından biridir. Bu çalışmayla GA yöntemi kullanılarak, sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemle CPT ve SPT verilerini kullanan yeni bir Sıvılaşma İndeksi (SI) önerilmiştir.

GA yöntemi kullanılarak GALIQ isimli bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılımın tezin konusunu oluşturan sıvılaşma potansiyelinin tahminine yönelik olarak kullanılabilmesi için sıvılaşma potansiyeline etki eden parametrelerin yer aldığı veri tabanından çok değişkenli fonksiyonlar GA yaklaşımı ile üretilerek optimum çözümler değerlendirilmiştir. Yazılımın önemli avantajlarından birisi de tahmin fonksiyonunun yazılım tarafından üretilmesidir. GALIQ yazılımı, fonksiyonun tüm bileşenlerini verilen bir şablonu esas alarak kendisi oluşturmaktadır. Yani, SI tahmin fonksiyonu terimlerinin katsayı ve üslerinin yanında bu terimde yer alacak fonksiyonların tiplerini de yazılım belirlemektedir. Bu yönüyle de GA tekniğine önemli bir katkı sağlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar, Robertson ve Wride (1998) ve Youd vd (2001) önerdiği yöntemle karşılaştırılmıştır. CPT verilerine dayalı önerilen yöntem %7,5 hata oranına sahipken literatürdeki yöntem (Robertson ve Wride 1998) %39,0 hatalı sonuçlar vermiştir. Aynı şekilde SPT verilerine dayalı önerilen yöntem ise %15,0 hata oranına sahipken literatürdeki yöntem (Youd vd 2001) % 25,8 hatalıdır. Böylece sınıflama potansiyelinin değerlendirilmesinde önemli ölçüde daha iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sınıflama, Sınıflama İndeksi, Genetik Algoritma, Standart Penetrasyon Testi, Koni Penetrasyon Testi, Deprem.

Yrd. Doç. Dr. Erdal AKYOL

Prof. Dr. Okay GÜRPINAR

Prof. Dr. Hasan ÇETİN

Doç. Dr. Osman KULAK

Doç. Dr. Selçuk TOPRAK

ABSTRACT**ESTIMATION OF LIQUEFACTION POTENTIAL
USING GENETIC ALGORITHM APPROACH**

ŞEN, Gulmustafa

PhD. Thesis in Geological Engineering
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Erdal AKYOL

June 2010, 183 Pages

Liquefaction is one of the main causes of seismic hazard and may have detrimental effects on buildings, roads, bridges, dams and important lifeline systems during earthquakes. Considering the events in the last forty years that reveals the harmful consequences of the liquefaction in a more remarkable manner, the need for more efficient and reliable assessment of the liquefaction potential has been arisen. Field and laboratory data were used for determination of liquefaction risk. The studies were more focused on use of field data as it enables the evaluation of the natural soil conditions in place.

In this study, the data of the most widely used in-situ tests for determination of liquefaction potential: Cone Penetration Test (CPT) and Standard Penetration Test (SPT) were used. These data were composed of information about the regions that had been reported as liquefied or non-liquefied during past earthquakes. A database, containing information from different regions of the world, is established for the Genetic Algorithms (GA) method. GA is the one of the most common optimization algorithms, which is efficiently used for many engineering applications.

The aim of this study was the determination of liquefaction potential by using GA method. A new Liquefaction Index (LI) has been suggested. A software called as GALIQ has been developed for the calculation of the LI by GA method. Using the database that included the variables affecting liquefaction potential, functions with multiple parameters were produced by GA approach and evaluated for optimum solution.

One of the significant advantages of the software is the establishment of the objective function by itself based on a given template. Besides the product and power coefficients of the variables of the objective function, software decides which of the earthquake/soil parameters should be used and if necessary as part of an inner function. In this sense, it is a major contribution to use of GA method.

The obtained results were compared to widely used methods of Robertson and Wride (1998) and Youd et al. (2001). The developed method based on the CPT values has a misestimation ratio of 7.5% while Robertson-Wride's method (1998) has 39%. The same figures are 15% for recommended SPT method and 25.8% for

Youd et al. (2001). It was observed that suggested formulation gave considerably better estimations based on SPT and CPT data.

Keywords: Liquefaction, Liquefaction Index, Genetic Algorithm, Standard Penetration Test, Cone Penetration Test, Earthquake

Asst. Prof. Dr. Erdal AKYOL

Prof. Dr. Okay GÜRPINAR

Prof. Dr. Hasan ÇETİN

Assoc. Prof. Dr. Osman KULAK

Assoc. Prof. Dr. Selçuk TOPRAK

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Konu	1
1.2. Amaç ve Kapsam.....	1
1.3. Tezin Organizasyonu.....	3
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. Giriş	4
2.2. Tarihsel Gelişim	5
2.3. Sıvılaşıma Hasarları.....	12
2.4. Literatürün Değerlendirilmesi.....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Genetik Algoritmalar (GA).....	19
3.1.1. Uygunluk Fonksiyonu (UF)	21
3.1.2. Seçim Operatörü.....	21
3.1.3. Çaprazlama Operatörü	23
3.1.4. Mutasyon Operatörü	23
3.2. GALIQ Yazılımı	23
3.2.1. Yazılımın Algoritması	24
3.3. Yazılımın Test Edilmesi ve Test Fonksiyonları.....	26
3.3.1. Tek değişkenli optimizasyon problemleri.....	26
3.3.1.1. Test uygulama 1	26
3.3.1.2. Test uygulama 2	28
3.3.2. İki değişkenli optimizasyon problemleri	30
3.3.2.1. Test uygulama 3	30
3.3.2.2. Test uygulama 4.....	31
3.3.2.3. Test uygulama 5	33
3.3.3. Çok değişkenli optimizasyon problemleri	35
3.3.3.1. Test uygulama 6.....	36
3.3.3.2. Test uygulama 7.....	37
3.4. En İyi Parametre Setinin Belirlenmesi	39
3.4.1. Normallik testi.....	41
3.4.2. F testi.....	41
3.4.3. Çoklu karşılaştırma testleri	42
3.5. CPT Verileri ve GALIQ ile Model Geliştirilmesi.....	42
3.5.1. CPT verileri	42
3.5.2. GA parametreleri	45
3.6. SPT Verileri ve GALIQ ile Model Geliştirilmesi	47
3.6.1. SPT verileri	47
3.6.2. GA parametreleri	50
4. CPT TABANLI GA ÇÖZÜMLERİ	52
4.1. GA Çözümleri	52
4.2. Model Performansları	66
4.3. Modellerde Etkili Parametreler	80
5. SPT TABANLI GA ÇÖZÜMLERİ	81

5.1. GA Çözümleri	81
5.2. Model Performansları	89
5.3. Modellerde Etkili Parametreler	92
6. GELİŞTİRİLEN MODELLERİN TEST EDİLMESİ: SAHA ÇALIŞMASI.....	98
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	111
KAYNAKLAR.....	114

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 1964 Niigata depreminde zemin sıvılaşmasına bağlı olarak binaların oturması ve devrilmesi (Steinbrugge Collection, EERC, University of California, Berkeley) 14	14
Şekil 2.2 Sıvılaşma etkileri a)Olympia-Washington 2001 b)Kobe-Japan 1995 c) Loma Prieta-California, 1989	14
Şekil 2.3 Sıvılaşma sonucu oluşmuş hasar tiplerine örnekler	15
Şekil 3.1 Rulet tekeri seçimi (Şahin 2009)	22
Şekil 3.2 (a): Başlangıç toplumunun değerlendirilmesi ve rölatif seçim olasılıklarının hesaplanması, (b): Rulet tekeri ve turnuva seçim yöntemleri ile yeni toplum için bireylerin seçilmesi, (c): Seçilen bireylerle yeni toplumun oluşturulması (Ayvaz 2008).....	22
Şekil 3.3 Seçilen iki bireyin çaprazlanması	23
Şekil 3.4 Mutasyon işlemi.....	23
Şekil 3.5 Akış diyagramı.....	25
Şekil 3.6 Geliştirilen programın ana menü görüntüsü.....	26
Şekil 3.7 Test uygulama 1 için kullanılan fonksiyonun grafiği.....	27
Şekil 3.8 Test uygulama 1 çözümü için kullanılan GA parametreleri	27
Şekil 3.9 Test uygulama 1 için yakınsama grafiği.....	28
Şekil 3.10 Test uygulama 2 için kullanılan fonksiyonun grafiği.....	28
Şekil 3.11 Test uygulama 2 çözümü için kullanılan GA parametreleri	29
Şekil 3.12 Test uygulama 2 için yakınsama grafiği.....	29
Şekil 3.13 Test uygulama 3 için kullanılan fonksiyonun grafiği.....	30
Şekil 3.14 Test uygulama 3 çözümü için kullanılan GA parametreleri	31
Şekil 3.15 Test uygulama 3 için yakınsama grafiği.....	31
Şekil 3.16 Test uygulama 4 için kullanılan fonksiyonun grafiği.....	32
Şekil 3.17 Test uygulama 4 çözümü için kullanılan GA parametreleri	33
Şekil 3.18 Test uygulama 4 için yakınsama grafiği.....	33
Şekil 3.19 Test uygulama 5 için kullanılan fonksiyonun grafiği.....	34
Şekil 3.20 Test uygulama 5 çözümü için kullanılan GA parametreleri	35
Şekil 3.21 Test uygulama 5 için yakınsama grafiği.....	35
Şekil 3.22 Test uygulama 6 için kullanılan fonksiyonun grafiği.....	36
Şekil 3.23 Test uygulama 6 çözümü için kullanılan GA parametreleri	37
Şekil 3.24 Test uygulama 6 için yakınsama grafiği.....	37
Şekil 3.25 Test uygulama 7 için kullanılan fonksiyonun grafiği.....	38
Şekil 3.26 Test uygulama 7 çözümü için kullanılan GA parametreleri	39
Şekil 3.27 Test uygulama 7 için yakınsama grafiği.....	39
Şekil 3.28 a_{max} değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı	44
Şekil 3.29 D_{50} değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı	44
Şekil 3.30 YASS değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı	44
Şekil 3.31 q_c değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı	45
Şekil 3.32 X_i , f_i ve t_i değişkenlerinin alabileceği değerler	45
Şekil 3.33 a_{max} değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı	49
Şekil 3.34 D_{50} değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı	49
Şekil 3.35 YASS değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı	49
Şekil 3.36 SPT-N değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı	49
Şekil 3.37 X_i , f_i ve t_i değişkenlerinin alabileceği değerler	50
Şekil 4.1 Eğitim verileri hata oranı ve test verileri hata oranı arasındaki ilişki.....	68
Şekil 4.2 Robertson ve Wride'nin (1998) yöntemi ile hesaplanan sıvılaşma sonuçlarının karşılaştırılması.....	70

Şekil 4.3 Bu çalışmada önerilen SI ile hesaplanan sıvılaşma sonuçlarının karşılaştırılması	71
Şekil 4.4 Uygunluk fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi (UF1-S1)	73
Şekil 4.5 Uygunluk fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi (UF2-S2)	75
Şekil 4.6 Uygunluk fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi (UF2-S3)	77
Şekil 4.7 Uygunluk fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi (UF2-S4)	79
Şekil 5.1 Eğitim verileri hata oranı ve test verileri hata oranı arasındaki ilişki	91
Şekil 5.2 SI ve GK değerlerinin birlikte değerlendirilmesi	92
Şekil 5.3 Uygunluk fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi (UF1-S1)	95
Şekil 5.4 Uygunluk fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi (UF2-S2)	97
Şekil 6.1 İnceleme alanında yapılan SPT ve CPT deneylerine ait yerbulduru haritası ..	99
Şekil 6.2 Arazi çalışmalarında kullanılan sondaj kamyonu	100
Şekil 6.3 Çalışmalarda kullanılan CPT ekipmanı.....	100
Şekil 6.4 1999 Kocaeli depreminden sonra oluşmuş sıvılaşma hasarları (Yılmaz ve Yavuzer 2005'ten değiştirilerek).....	101
Şekil 6.5 AF Goldberg tipi CPT ekipmanı	102
Şekil 6.6 CPT lokasyon bilgilerinin kaydedilmesi	102
Şekil 6.7 İnceleme alanında açılan CPT01, CPT04, CPT06, CPT07, CPT08 ve CPT09'un korelasyonu (Ölçeksiz).....	103
Şekil 6.8 CPT1 için SI değerlerinin değişimi.....	104
Şekil 6.9 CPT2 için SI değerlerinin değişimi.....	105
Şekil 6.10 CPT3 için SI değerlerinin değişimi.....	105
Şekil 6.11 CPT4 için SI değerlerinin değişimi.....	105
Şekil 6.12 CPT5 için SI değerlerinin değişimi.....	106
Şekil 6.13 CPT6 için SI değerlerinin değişimi.....	106
Şekil 6.14 CPT7 için SI değerlerinin değişimi.....	107
Şekil 6.15 CPT8 için SI değerlerinin değişimi.....	107
Şekil 6.16 CPT9 için SI değerlerinin değişimi.....	108
Şekil 6.17 CPT10 için SI değerlerinin değişimi.....	108
Şekil 6.18 CPT11 için SI değerlerinin değişimi	108
Şekil 6.19 SK1 için SI değerlerinin değişimi.....	109
Şekil 6.20 SK2 için SI değerlerinin değişimi.....	110
Şekil 6.21 SK3 için SI değerlerinin değişimi.....	110

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1 Farklı zemin sınıflarının birim hacim ağırlıkları ve ortalama tane çapı (Iwasaki vd 1981).....	8
Tablo 2.2 SPI değerlerine göre sınıflama potansiyeli dereceleri (Iwasaki vd 1978, 1982).....	8
Tablo 3.1 En iyi parametre setinin belirlenmesinde kullanılan değerler	40
Tablo 3.2 ANOVA testi için seçilen parametre grupları	40
Tablo 3.3 Normallik testi sonuçları	41
Tablo 3.4 F-test istatistiği sonuçları	41
Tablo 3.5 Çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	42
Tablo 3.6 Kullanılacak GA parametreleri.....	42
Tablo 3.7 GA çözümlerinde kullanılan parametrelerin minimum ve maksimum değerleri	43
Tablo 3.8 CPT tabanlı tüm verilerin dağılımı	43
Tablo 3.9 GA modelleri için çalıştırılan seriler.....	47
Tablo 3.10 Tüm serilerde çalıştırılan modeller	47
Tablo 3.11 GA çözümlerinde kullanılan parametrelerin minimum ve maksimum değerleri.....	48
Tablo 3.12 SPT tabanlı tüm verilerin dağılımı.....	48
Tablo 3.13 GA modelleri için çalıştırılan seriler.....	51
Tablo 3.14 Serilerde çalıştırılan modeller.....	51
Tablo 4.1 S1 ile elde edilen model parametreleri.....	54
Tablo 4.2 S1 ile elde edilen model fonksiyonları.....	55
Tablo 4.3 S1 ile elde edilen model katsayı ve üsleri	56
Tablo 4.4 S2 ile elde edilen model parametreleri.....	57
Tablo 4.5 S2 ile elde edilen model fonksiyonları.....	58
Tablo 4.6 S2 ile elde edilen model katsayı ve üsleri	59
Tablo 4.7 S3 ile elde edilen model parametreleri.....	60
Tablo 4.8 S3 ile elde edilen model fonksiyonları.....	61
Tablo 4.9 S3 ile elde edilen model katsayı ve üsleri	62
Tablo 4.10 S4 ile elde edilen model parametreleri.....	63
Tablo 4.11 S4 ile elde edilen model fonksiyonları.....	64
Tablo 4.12 S4 ile elde edilen model katsayı ve üsleri	65
Tablo 4.13 S1 OKHK	66
Tablo 4.14 S2 OKHK	67
Tablo 4.15 S3 OKHK	67
Tablo 4.16 S4 OKHK	68
Tablo 5.1 S1 ile elde edilen model parametreleri.....	83
Tablo 5.2 S1 ile elde edilen model fonksiyonları.....	84
Tablo 5.3 S1 ile elde edilen model katsayı ve üsleri	85
Tablo 5.4 S2 ile elde edilen model parametreleri.....	86
Tablo 5.5 S2 ile elde edilen model fonksiyonları.....	87
Tablo 5.6 S2 ile elde edilen model katsayıları	88
Tablo 5.7 S1 OKHK	90
Tablo 5.8 S2 OKHK	90

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma	Açıklama
a_{max}	Maksimum yatay yer ivmesi (g) ($g=9,81 \text{ m/s}^2$)
CPT	Konik Penetrasyon Testi
CRR	Devirsel Direnç Oranı
CSR	Devirsel Gerilme Oranı
C_q	Konik penetrasyon direnci için üst tabaka yükü düzeltme katsayısı
D_{50}	Ortalama tane çapı (mm)
GA	Genetik Algoritma
g	Yerçekimi ivmesi ($g=9,81 \text{ m/s}^2$)
İTO	İnce tane oranı (%)
M	Magnitüd (Büüklük)
M_w	Moment magnitüdü
OKHK	Ortalama Karesel Hataların Karekökü
q_c	Ölçülen uç direnci (MPa)
q_{c1}	Üst tabaka yüküne göre düzeltilmiş uç direnci (kPa)
r_d	Gerilme azaltma katsayısı
SI	Sıvılaşma İndeksi
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi
SPT-N	Standart penetrasyon testi darbe sayısı
SSSR	Deprem nedeniyle oluşan devirsel gerilme oranı
$SSSR_{7.5}$	$M=7.5$ 'a göre düzeltilmiş devirsel gerilme oranı
TMH	Toplam Mutlak Hata
UF	Uygunluk Fonksiyonu
z	Zemin yüzeyinden itibaren CPT veya SPT deney derinliği (m)
σ_{v0}	Düşey toplam gerilme (kPa)
σ'_{v0}	Düşey efektif gerilme (kPa)
YASS	Zemin yüzeyinden itibaren yeraltı suyu seviyesi yükseklik değeri (m)

1. GİRİŞ

1.1. Konu

Bir maddenin sıvı hale dönüşmesi süreci sıvılaştırma olarak tanımlanabilir. Zeminler de bir deprem esnasında gözenek basıncının artması sonucu sıvıların özelliklerini gösterebilir. Biraz çakıl da içerebilen temiz, kohezyonsuz kum gibi tamamen doygun zeminler kesme dalgalarının yukarı doğru yayılması nedeniyle devirsel yükleme sonucu sıvılaşabilirler, bu durumda gözenek basıncı örtü basıncı kadar yüksek bir değere ulaşabilir ve etkin bir şekilde çökel ile örtü malzemesinin yüzer hale gelmesini sağlar (Obermeier 1989, 1994). Depreme bağlı sıvılaştırma genellikle 15 metre'ye kadar olan derinliklerde ve Holosen yaşlı çökellerde gözlenmektedir.

Sıvılaştırma üzerine ilginin artması ise 1964 yılında meydana gelen Niigata (Japonya, $M=7,5$), Alaska (ABD, $M_w=9,2$) depremlerinden sonra olmuştur. 1989 Loma Prieta (ABD, $M_w=6,9$) depremi, 1995 Kobe (Japonya, $M_w=6,8$), 1999 Chi-Chi (Tayvan, $M_w=7,6$) depremlerinde de gözlemlendiği gibi sıvılaştırma önemli deformasyonlara neden olmuştur.

Ülkemizde meydana gelen Ceyhan-Adana 1998, ($M_w=6,2$) ve Kocaeli 1999 ($M_w=7,4$) depremlerinde de önemli sıvılaştırma kökenli hasarlar gözlenmiştir. Bütün bu veriler göz önüne alındığında depremler sonucu oluşacak sıvılaştırmanın önceden belirlenmesi büyük önem kazanmış ve çok sayıda araştırmacı bu konu üzerinde yoğunlaşmıştır.

1.2. Amaç ve Kapsam

Kentsel yaşamı etkileyen doğal afetlerden birisi de depremlerdir. Dünyada her yıl yaklaşık olarak 700 adet yıkıcı hasar oluşturan deprem meydana gelmektedir. Depremlerde pek çok mühendislik yapısı hasar görmekte veya yıkılmaktadır. Bu hasarlar çok sayıda can ve mal kaybına yol açmaktadır.

Deprem hasarlarının önemli sebeplerinden birisi de zemin sıvılaşmasıdır. 1964 Niigata (Japonya, $M_s=7,5$) ve Alaska (ABD, $M_w=9,2$) depremlerinden sonra zemin sıvılaşmasının, deprem hasarlarının çok önemli bir kısmını oluşturduğu görülmüştür. Son 20 yılda ülkemizde meydana gelen bazı depremlerde de (27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli) gözlemlendiği üzere zemin sıvılaşması önemli hasarlara neden olmuştur (Kasapoglu vd 1999, Aydan ve Ulusay 2000, Aydan vd 2000, Ulusay vd 2000, Towhata vd 2001, Yasuda vd 2001, Cetin vd 2002, Sancio vd 2002, Ulusay vd 2002, Mollamahmutoglu vd 2003, Cetin vd 2004a, Cetin vd 2004b, Rathje vd 2004, Ulusay ve Kuru 2004, Yilmaz ve Yavuzer 2005, Kanıbir vd 2006, Sonmez vd 2008).

Sıvılaşma, suya doygun ince taneli kumlu ve siltli zeminlerin, deprem titreşimleri sırasında boşluk suyu basıncı değerinin artması ile efektif gerilmenin sıfır olması sonucu, zeminin sıvı haline dönüşmesi olarak da tanımlanabilir. Zemin sıvılaşması, binalar, yollar, köprüler, barajlar ve can damarı sistemleri üzerinde yıkıcı etkilere yol açabilmektedir. Sıvılaşma riskinin belirlenmesine yönelik çalışmalar jeoteknik mühendisliğinin önemli bir araştırma alanını oluşturmaktadır. Bu çalışmaların amacı, belirli jeolojik ve sismik koşullar altında sıvılaşma potansiyelinin daha gerçekçi olarak belirlenmesidir. Sıvılaşma potansiyelinin çok daha başarılı şekilde önceden tahmin edilmesi sıvılaşma hasarlarının azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

Kum, siltli kum gibi zemin içeren tabakaların, bir deprem esnasında sıvılaşma potansiyelini saptayabilmek amacıyla arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilebilen zemin ve sismik parametrelerin bir arada kullanıldığı çeşitli yöntemler önerilmiştir. Deprem mühendisliğinde sıvılaşma riskini belirlemek için yaygın olarak yerinde (in-situ) deneyler kullanılmaktadır. Bu deneylerden en çok kullanılanları da Standart Penetrasyon Testi (SPT) ve Konik Penetrasyon Testi (CPT)'dir.

Bu doktora çalışmasında, sıvılaşma riskinin belirlenmesinde Genetik Algoritma (GA) yöntemiyle yeni bir Sıvılaşma İndeksi (SI) belirlenmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen bu yeni yöntem SPT ve CPT verilerine dayalı olarak sıvılaşma riskinin belirlenmesini kapsamaktadır. Yöntemin geliştirilmesi için GA metoduna uygun veritabanı oluşturulmuştur. Bu veritabanı, dünyanın farklı yerlerinde meydana gelen depremler sonucunda sıvılaşma olan ve olmayan bölgelerde yapılan SPT ve CPT verilerini kapsamaktadır. GA yöntemi kullanılarak ortaya konulan SI, arazide yapılan

deneylerle de test edilmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında Sapanca (Adapazarı) ve yakın civarı belirlenmiş ve Sapanca Gölü çevresinde SPT ve CPT deneyleri yapılmıştır. Elde edilen saha verileriyle oluşturulan yeni GA modellerinin ve literatürde yer alan mevcut yöntemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

1.3. Tezin Organizasyonu

Bu doktora tezi yedi ana bölümden oluşacak şekilde organize edilmiştir. Birinci bölüm, bu çalışmanın önemi, yararları ve kapsamı hakkında bilgi vermektedir. İkinci bölümde ise konuyla ilgili detaylı literatür araştırması bulunmaktadır. Üçüncü bölümde kullanılan materyal ve yöntemlerle ilgili bilgi verilmiştir. Dördüncü ve beşinci bölümler sırasıyla geliştirilen yeni yöntemin CPT ve SPT tabanlı olarak ayrıntılı değerlendirilmesini içermektedir. Altıncı bölüm arazi verileri ile karşılaştırılması için yapılan saha çalışmasını kapsamaktadır. Yedinci bölümde ise bu doktora çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar ve bundan sonra yapılacak çalışmalar için öneriler yer almaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu bölüm öncelikle sıvılaşmanın tanımı ve sıvılaşma çalışmalarının tarihsel gelişimi hakkında bilgi içermektedir. Sıvılaşma analizi ve sıvılaşma riskinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler ile optimizasyon tekniklerinden “Genetik Algoritma” yöntemi hakkında literatürde yer alan çalışmalar gruplandırılarak kronolojik olarak ayrıntılı bir şekilde aşağıda sunulmuştur.

Deprem esnasında hasar oluşturan en önemli etkenlerden biri, suya doymuş gevşek ince taneli (kum, silt) zeminlerin sıvılaşmasıdır. Genel olarak zemin sıvılaşması; yük uygulanması sırasında zeminde aşırı boşluk suyu basıncı üretilmesi nedeniyle zeminin kesme mukavemetinde meydana gelen ani düşme olarak tanımlanabilir (Castro vd 1982). Yükün uygulanması depremde olduğu şekliyle çevrimsel ya da yamaç kaymalarındaki gibi monotonik şekilde olabilir (Bonita, 2000).

Youd (1992) sıvılaşmayı; suya doymuş ince taneli kumlu ve siltli zeminlerin, deprem titreşimleri sırasında boşluk suyu basıncı değerinin artması ile efektif gerilmenin sıfır olması sonucu, zeminin sıvı haline dönüşmesi veya bir sıvı gibi davranması olarak tanımlamaktadır.

Sıvılaşmaya sebep olan etkileri ve mekanizmaları tanımlamak için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Tüm sıvılaşma olaylarının en karakteristik özelliği, drenajsız yükleme şartlarında oluşan aşırı boşluk suyu basıncıdır. Zemin tanelerinin çapı, şekli ve dizilimi, rölatif sıkılık, ince tane oranı, gerilme düzeyi, drenaj karakteristikleri, gerilme tarihçesi, titreşim karakteristikleri ve yükleme periyodu sıvılaşma sürecinde en önemli etkiye sahiptir (Castro ve Poulos 1977, Seed vd 1978, 1983, Ishihara 1993, Thevanayagam 2000a, Kokusho vd 2004). Bu özellikler etkin olmakla birlikte özellikle doymuş temiz kum ve ince tane (kil-silt) içeren kumların; arazide (Robertson ve Campanella 1985, Holzer vd 1989) ve laboratuvar (Lee ve Seed 1967, Koester 1994) çalışmalarında sıvılaşabilirliği araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur. İnce taneli kumlar, iri taneli kumlara göre boşluk suyu basıncını hızlı düşüremediği için

sıvılaşmaya karşı dirençleri daha azdır (Chang vd 1982, Kuerbis vd 1988, Chang 1990, Pitman vd 1994, Singh 1994, Vaid 1994, Andrus ve Stokoe 2000, Thevanayagam 2000a, Thevanayagam 2000b, Thevanayagam and Mohan 2000, Thevanayagam vd 2000, Polito ve Martin 2001, Youd ve Idriss 2001).

2.2. Tarihsel Gelişim

Tarihteki birçok büyük depremde de sıvılaşma izlerine rastlanmasına rağmen, sıvılaşma kavramını ilk olarak Casagrande 1930'lu yılların sonlarında ortaya atmıştır (Casagrande 1936, 1975). Casagrande (1936) kritik boşluk oranı yaklaşımı ile hangi şartlarda sıvılaşma olabileceğini Fort Peck Barajı'nda (Montana) meydana gelen toprak kaymalarını ve aşağı Mississippi Nehri boyunca oluşan akma kaymalarını açıklamakta kullanmıştır.

Terzaghi ve Peck (1948), çok gevşek kumlarda akma yenilmeleri ve belirgin dayanım kayıplarını açıklamak için sıvılaşma terimini kullanmıştır.

1953 yılında Mogami ve Kubo adlı araştırmacılar ilk kez sıvılaşmayı, suyun zemin ortamından uzaklaşmadığı koşullarda, suya doygun kohezyonsuz zeminlerin tekdüze, geçici veya tekrarlanmalı şekilde örselenmesinden kaynaklanan zemin deformasyonlarını kapsayan davranış biçimlerinin tümü için kullanmışlardır.

1960'lı ve 1970'li yıllarda H. B. Seed ve meslektaşları tarafından California Üniversitesi'nde yapılan çalışmalar, sıvılaşma olayının anlaşılmasında büyük rol oynamıştır. Bu çalışmalar, genellikle sıvılaşmayı tetikleyen yükleme koşullarının tespitine yöneliktir. Sıvılaşmayı tetikleyen yükleme koşulları, devirsel kayma gerilmeleri olarak tanımlanmış ve sıvılaşma potansiyeli, deprem anında meydana gelen kayma gerilmelerinin devir sayısı ve büyüklüğü temel alınarak belirlenmiştir. Bu yaklaşım, günümüzde yaklaşık yöntem (simplified procedure) olarak bilinmektedir ve sıvılaşma analizinde standart olarak kabul edilmiştir. Yöntem, arazi gözlemleri, arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen verilerle geliştirilen, ampirik bir hesap yöntemidir. Kum kaynaması, yüzey çatlakları veya yanal yayılma görülen zeminlerde sıvılaşmanın olduğu kabul edilerek toplanan veriler, çoğunlukla düz yüzeyli ve sığ derinliklerdeki (<15 m) alüvyon ve nehir sedimanlarından alınmıştır.

Kumlu zeminlerin davranışı ile ilgili devirsel üç eksenli ve devirsel basit kesme deneyi gibi çok kapsamlı laboratuvar çalışması yapılmıştır (Chang 1990, Koester 1994, Singh 1994, Vaid 1994, Vaid ve Thomas 1995, Thevanayagam 2000a, Polito ve Martin 2001). Bu çalışmalar, gevşekten sıkıya kadar olan depolanma yoğunluğunu ve çevre basıncı ile ilgili verileri kapsamaktadır. Devirsel Gerilme Oranının (DGO-CSR) hesaplanması için devirsel basit kesme ve devirsel üç eksenli deneyi kullanılmaktadır. Devirsel basit kesme deneyi için CSR, devirsel kesme gerilmesinin ilksel efektif düşey gerilmeye oranını tanımlar. Devirsel üç eksenli deneyde CSR, maksimum devirsel kesme gerilmesinin ilksel efektif çevre basıncına oranıdır (Ecemis 2008).

Sıvılaşma olgusunun tanımlanmasından sonra araştırmacılar, sıvılaşma olasılığını daha önceden belirleyebilmek için sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesine yönelik çok sayıda yaklaşım geliştirmişlerdir. Bunlar; devirsel gerilme yaklaşımı (Seed ve Idriss 1971, Seed vd 1983, 1985, Youd vd 2001), devirsel gerilme yaklaşımı (Dobry vd 1982), Arias şiddeti yaklaşımı (Kayen ve Mitchell 1997), kumlar için enerji tabanlı yaklaşım (Nemat-Nasser ve Shokooh 1979), ve diğer yaklaşımlar şeklinde gruplandırılabilir.

Zemin sıvılaştıktan sonra aşırı boşluk suyu basıncı sönümlenmeye başlar. Zeminin sıvılaşmış halde kalma süresi iki ana faktöre bağlıdır: (1) deprem nedeniyle sismik sarsıntının süresi ve (2) sıvılaşan zeminin drenaj şartları. Depremden kaynaklanan devirsel kayma gerilmeleri süresi ne kadar uzun ve ne kadar güçlü ise, sıvılaşma durumu da o kadar uzun sürer. Ayrıca, sıvılaşan katman üstten ve alttan geçirimsiz zemin tabakası ile sınırlanmış ise, sıvılaşan zeminden suyun akışı ile aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi daha uzun zaman alır. Sıvılaşma işlemi tamamlandıktan sonra, zemin biraz daha sıkı durumda kalır.

Genelde, gevşek alüvyal çökeller, özellikle kil bulunmayan kum, silt ve bazen çakıl tabakaları sıvılaşma potansiyeline sahiptirler. Yeraltı suyu seviyesinin yüzeye 10 m'den daha yakın olması da sıvılaşma tehlikesini artırır. Buna karşılık yeraltı suyu seviyesinin 20 m'den daha derinde bulunması durumunda ve sıkı zeminlerde sıvılaşma potansiyeli azdır.

Zeminlerin sıvılaşma duyarlılığının belirlenmesinde arazi ve laboratuvar deneylerine bağlı birçok analiz yöntemi bulunmaktadır. Laboratuvarda yapılan dinamik üç eksenli

deneylerde, sıvılaşma olasılığı yüksek zeminlerin çoğundan örselenmemiş zemin örnekleri almak zor olduğundan, arazi deneylerine dayalı değerlendirmeler uygulamada daha çok kullanım alanı bulmuştur. Bu arazi deneylerinden başlıca SPT ve CPT en yaygın olarak kullanılanlar olup, bunlar dışında Beker Penetrasyon Deneyi (BPT), Kayma Dalga Hızına (V_s) bağlı analiz yöntemleri de sıvılaşma analizinde kullanılmaktadır. Tarihsel gelişim içinde önce SPT'ye dayalı yöntemler geliştirilmiş, diğerleri onu izlemişlerdir. Ama özellikle son 20 yıl içinde CPT deneylerinin yaygınlaşması ile birlikte CPT'ye dayalı yöntemler de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu konuda daha ayrıntılı bilgi edinmek için çeşitli kaynaklar bulunmaktadır (Seed ve Idriss 1971, Tokimatsu ve Yoshimi 1983, Robertson ve Campanella 1985, Seed ve De Alba 1986, Stark ve Olson 1995, Robertson ve Wride 1997, 1998, Toprak vd 1999, Youd vd 2001, Toprak ve Holzer 2003).

SPT darbe sayılarını kullanarak sıvılaşma analizinin yapılması ile ilgili ilk temel yöntem Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilmiştir. Adına yaklaşık yöntem de denilen bu metot daha sonra araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. (Seed vd 1985, Youd vd 2001, Idriss ve Boulanger 2004, Cetin vd 2004).

Iwasaki vd (1981), arazi direnci olarak da tanımladıkları devirsel direnç oranını (DDO-CRR), drenajsız devirsel kesme kutusu deney sonuçlarından yararlanarak elde ettikleri basit bir yaklaşımla belirlemişlerdir. Iwasaki vd (1981), devirsel direnç oranını hesaplarken, ince tane oranı yerine ortalama tane çapını (D_{50}) dikkate almışlar ve formülleri ona göre oluşturmuşlardır. Dolayısıyla, bu yöntemde ortalama tane çapının mutlaka bilinmesi gerekmektedir. Bu yüzden, deneysel yöntemlerle ortalama tane çapının belirlenemediği durumlarda, yardımcı olabilmek amacıyla Tablo 2.1 verilmiştir. Bu çizelge yardımıyla D_{50} değerleri zemin sınıfına göre tahmin edilebilir. Iwasaki vd (1981), yönteminde dikkat çeken nokta, denklemlerin geçerli olduğu ortalama tane çapının oldukça dar aralıkta kalmasıdır.

Tokimatsu ve Yoshimi (1983), sıvılaşan suya doymuş kumların laboratuvar deney sonuçlarını dikkate almışlar ve sıvılaşmaya neden olan sismik yer hareketi etkilerinin yatay yer ivmesi (a_{max}) ve belli bir yer hareketinin devir sayısı ile gösterebileceğini öne sürmüşler ve bunların bir araya getirilmesiyle yeni bir eşitlik elde etmişlerdir. Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yaptıkları laboratuvar deneylerinde 15 devir sonunda kayma gerilmesi oranı ile relatif sıkılık (D_r) arasında bir ilişki önermişlerdir.

Tablo 2.1 Farklı zemin sınıflarının birim hacim ağırlıkları ve ortalama tane çapı (Iwasaki vd 1981)

Zemin Sınıfı	Birim hacim ağırlığı γ (kN/m ³)	Ortalama tane çapı D_{50} (mm)
Yüzey zemini	17	0.02
Silt	17.5	0.025
Kumlu silt	18	0.04
Çok ince kum	18.5	0.01
İnce kum	19.5	0.15
Orta kum	20	0.35
İri kum	20	0.6
Çakıl	21	2.0

SPT tabanlı sıvılaşma potansiyeli değerlendirmelerinin incelendiği ve kritik edildiği önemli çalışmalardan birisi National Research Council (1985) raporunda yer almaktadır. 1996 ve 1998 yıllarında zeminlerin sıvılaşma dirençlerinin belirlenmesi ve dünya çapında bu konuda bir standart yöntem oluşturulması amacı ile bu konuda çalışan 20 uzman T. Leslie Youd ve I. M. Idriss başkanlığında NCEER (National Center for Earthquake Engineering Research) bünyesinde toplanmıştır. Bu toplantılar sonucunda önceki yaklaşımlar ve yöntemler değerlendirilmiş ve araştırmacılar tarafından gerekli görülen düzeltme ve eklemelerle birlikte yayınlanmıştır (Youd ve Idriss 1997, Youd vd 2001).

Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi, zeminin sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Güvenlik katsayısı (GK), zeminin sıvılaşması için gerekli tekrarlı direnç oranının ($CRR_{7.5}$), depremin oluşturduğu tekrarlı gerilim oranına (CSR) bölünmesi ve magnitud düzeltme faktörü (MSF) ile çarpılması sonucu bulunur (Youd vd 2001).

Zeminlerin sıvılaşma duyarlılığının güvenlik katsayısı ile değerlendirilmesinin yanında, Iwasaki vd (1978, 1982), tarafından önerilen sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) ile sıvılaşma potansiyeli çok düşükten çok yükseğe kadar değişik derecelere ifade edilebilmektedir (Tablo 2.2). LPI, Iwasaki vd (1978, 1982), tarafından sıvılaşmanın yapısal bir hasar meydana getirip getiremeyeceğinin tahmini için geliştirilmiştir. Sönmez (2003), Sönmez ve Gökçeoğlu (2005), yaptıkları çalışmada Iwasaki vd (1982)'nin, önerdiği sıvılaşma potansiyeli sınıflamasında değişiklikler önermişlerdir.

Tablo 2.2 SPI değerlerine göre sıvılaşma potansiyeli dereceleri (Iwasaki vd 1978, 1982)

Sıvılaşma İndeksi (SPI)	Sıvılaşma Potansiyeli Derecesi
0	Çok Düşük
$0 < LPI \leq 5$	Düşük
$5 < LPI \leq 15$	Orta
$15 < LPI$	Yüksek-Çok Yüksek

CPT verileri kullanılarak, üç farklı yöntemle sıvılaşma potansiyeli analizi yapılabilir. Seed ve De Alba (1986), geliştirdikleri bu yöntemde SPT'ni temel almışlardır. Yöntemde SPT-N değerlerine göre hazırlanmış sıvılaşma eğrileri, CPT uç direncine göre tekrar düzenlenmelidir. Ölçülen uç direnci, üst tabaka yüküne göre normalize edilmelidir. SPT deneyinde olduğu gibi, CPT deneyinde de zemindeki ince tanelerin etkileri göz önüne alınmalı, zemindeki ince tane oranının sıvılaşma direncini artırıcı etkisi uç direncine de yansıtılmalıdır.

Suzuki vd (1997), Japonya'da 68 bölgede yapılan CPT deneyleri temel alınarak başka bir yöntem önermişlerdir. Yöntem, zemin indeksi (I_z)'nin hesaplanmasını ve düzeltilmiş uç direncin zemin indeksine göre yeniden düzenlenmesini içerir. Ölçülen uç direnc, üst tabaka yüküne göre normalize edilir.

Robertson ve Wride'in (1998) önerdikleri yöntemde, Suzuki vd (1997) yönteminde olduğu gibi zemin indeksinin bulunmasını içerir. Farklı olarak, burada iterasyon kullanılmıştır. Bu durum Robertson ve Wride yönteminin elle hesaplamalarda tercih edilmemesine neden olmaktadır. Robertson ve Wride (1998) yönteminde, q_c uç direnci üst tabaka yükü düzeltme katsayısı C_Q kullanılarak normalize edilir. C_Q , sığ derinliklerde düşük efektif gerilme nedeniyle büyük değerler alabilmesine rağmen, uygulamada 1,7'den büyük değerler dikkate alınmaz. CPT sürtünme oranı genellikle ince tane oranı ve zemin plastisitesinin büyüklüğüne paralel olarak artış gösterir. Sürtünme oranının bu özelliği sayesinde CPT verileri kullanılarak zeminin tipi ve ince tane oranı hakkında bir tahmin yapılabilir.

Gilstrap ve Youd (1998), CPT verileri ile hesaplanan zeminlerin sıvılaşma direncini 19 farklı bölgede karşılaştırmışlar ve CPT deneyinin sıvılaşmanın oluşup oluşmayacağını %85'lik güvenilirlikle belirlediği sonucuna varmışlardır.

Ulusay ve Kuru (2004) yaptıkları çalışmada, 27 Haziran 1998 Ceyhan'da (Adana) dışmerkezi Abdioğlu köyü ve 23 km derinlikte meydana gelen ($M_s=6,2$) depremde, yaygın sıvılaşma ve kum kaynamaları, zemin çatlakları (fisür) ve yanal yayılmalar boyunca zemin deformasyonları gözlemişlerdir. Sıvılaşma hassasiyeti analizlerinde kullanılan verilerle mikrobölgeleme haritaları yapmışlardır. Yaptıkları ön çalışmalarda derinliği 5 metre'den fazla olan ince kum tabakalarının sıvılaşma hassasiyeti azalma eğilimindedir. Sıvılaşma potansiyeli, açılan 16 adet sondaj kuyusundan elde edilen SPT

verilerinden hesaplanmıştır. Yer altı suyu seviyesi 1,5-3,0 metre arasında değiştiği, inceleme alanındaki zeminler siltli kum ve siltli kil olarak tespit edilmiş, sıvılaşabilir zeminin yüzeyden 2-7 metre derinde olduğu belirlenmiştir.

Cetin vd (1999) yaptıkları çalışmada, 1998’de Adana’da ($M_s=6,3$) meydana gelen 145 kişinin hayatını kaybettiği depremde Misis ve Abdioglu köyleri yakınlarında sıvılaşma hasarları, Ceyhan nehri kenarlarında yanal yayılmalar gözlemlenmiştir. Kum kaynamalarının olduğu lokasyonları tespit eden araştırmacılar aynı zamanda yatayda 22 cm, 14 cm sağ-yanal yayılma ve yaklaşık 5 cm düşey ayrılma ölçmüşlerdir.

Ulusay vd (2004) yaptıkları çalışmada, Çay-Eber (Afyon) bölgesinde 3 Şubat 2002’de $M_d=6,0$ büyüklüğündeki depremde meydana gelen hasarları jeoteknik açıdan değerlendirmişlerdir. Ayrıca bu çalışmada yazarlar inceleme alanında sıvılaşma, şev yenilmeleri ve kaya düşmelerini de gözlemlemişlerdir. Sıvılaşma analizi için inceleme alanında açılan sondajlarda SPT deneyleri yapılmış ve alınan zemin numunelerinden laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Jeoteknik değerlendirme için hem jeofizik çalışmalar yapılmış hemde inceleme alanı ve yakın çevresinde daha önceden DSİ ve Karayolları gibi kuruluşlar tarafından açılan kuyulardan yararlanılmıştır. Düzeltilmemiş SPT-N değerlerinin 6-50 arasında değiştiği belirtilmiştir. Zemin sınıfı olarak SP-SM yaygın olarak gözlenmiş, çakıllı ve killi seviyelerin varlığında çalışmada belirtilmiştir. İnceleme alanında gözlenen kum volkanlarının çapı 3-16 cm ile 20-50 cm arasında değişmektedir.

Toprak ve Holzer (2003), yaptığı çalışmada CPT sonuçlarını, Monterey Bay, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri, bölgesinde uygulamışlar ve SPI değerinin 5 ve 15 olduğu durumlarda sıvılaşmanın yüzeyde görülebilme olasılığının sırasıyla % 58 ve % 93 olduğunu belirtmişlerdir.

Jinguuji vd (2007), elektrik rezistivite yönteminden faydalanarak geliştirdikleri deney seti ile sıvılaşma riskinin değerlendirilmesinde yeni bir yaklaşım getirmişlerdir (Jinguuji ve Toprak 2003, Jinguuji vd 2001, 2006, 2007).

Literatürde sıvılaşma riskinin belirlenmesinde “Çin Kriterleri” olarak bilinen yaklaşımda ise, aşağıda belirtilen 3 maddelik koşulun sağlanması halinde “sıvılaşma olabilir” aksi takdirde “sıvılaşma olmaz” (Seed ve Idriss 1982, Finn vd 1994) tanımı yapılmaktadır.

1. Likit limit (LL) < %35
2. İnce tane oranı (Elek açıklığı < 0.005 mm) < %15
3. Doğal su içeriği > 0,9*LL

İlk olarak Arias (1970), tarafından geliştirilen Arias şiddetine bağlı olarak sınılaşma potansiyeli değerlendirmesi Kayen ve Mitchell (1997) tarafından geliştirilmiştir. Green ve Mitchell (2003), tarafından yapılan çalışmada ise bu yaklaşımın kullanılabilirliği ve diğer yöntemlerle kıyaslanması yapılmıştır.

Deprem mühendisliğindeki yeni gelişmeler ve bilgisayar teknolojisindeki önemli ilerlemenin sonucunda, bulanık mantık, yapay sinir ağları, sonlu elemanlar ve optimizasyon (en iyileme) modellemelerinin mühendislik problemlerinde uygulamaları söz konusu olmuştur. Geliştirilen bu yeni yaklaşımlarla sınılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi araştırmacıların ilgisini çekmiş ve birçok araştırmacı bu konularla ilgili çalışmalar yapmışlardır (Chen ve Chen 1997, Wang 1999, Wang ve Rahman 1999, Chi ve Ou 2003, Hwang vd 2004, Garcia vd 2008, Ramakrishnan vd 2008).

GA çeşitli mühendislik problemlerinde ise optimizasyon amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Jeoloji mühendisliğinde ise uygulama imkanı bulan bu yöntemi araştırmacılar çalışmalarında değerlendirmişlerdir. Simpson ve Priest (1993) yaptıkları çalışmada, oldukça önemli miktarda iterasyon ve hesaplama gücü gerektiren sismik kırılma deneyleri yoluyla kaya kütlelerinde süreksizlik frekanslarının belirlenmesinde GA tekniğini kullanmışlardır. Zolfaghari vd (2005), şev stabilite analizinde dairesel olmayan kritik kayma yüzeyinin GA kullanılarak bulunması konusunda çalışma yapmışlardır.

Bu problemlerin hemen hemen hepsi çok geniş bir çözüm havuzunun taranmasını gerektirmektedir. Bu çözüm havuzunun geleneksel yöntemlerle taranması çok uzun sürmesine karşın GA ile kısa bir sürede kabul edilebilir sonuçlar alınabilmektedir.

Yukarıda da belirtildiği gibi sınılaşma potansiyelinin tahminine yönelik çalışmalar arazi verilerinin kullanılması üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ancak son 10 yıldır sınılaşma hesabında yapay zeka teknikleri kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu gelişmeler ışığında bir optimizasyon tekniği olan GA kullanılarak, sınılaşma belirtilerinden olan yanal yer değiştirme ve yanal yayılmaların tahminine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Juang

ve Chen, 1999; Baziar ve Ghorbani, 2005; Baziar ve Nilipour, 2003; Javadi vd 2006). Bunun yanında GA doğal afetlerin değerlendirilmesinde de araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Iovine vd 2005, D'Ambrosio vd 2006). şimdiye kadar yapılan literatür araştırmalarında sıvılaşma potansiyelinin GA tekniği kullanılarak tahminine yönelik çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu açıdan çalışma özgün değere sahiptir. Bu çalışmada GA tekniği kullanılarak yeni bir sıvılaşma potansiyeli formülü CPT ve SPT tabanlı olarak geliştirilmiştir. Ayrıca sıvılaşma hesaplamalarında etkin olan parametreler GALIQ tarafından seçilmektedir. Bu yönüyle de çalışma özgün değere sahiptir.

Hanna vd (2007), yaptıkları çalışmada zeminlerin doğrusal olmayan sıvılaşma riski değerlendirilmesinde araştırmacılar tarafından basitleştirilmiş bir yöntem geliştirilmiştir. Birçok arazi çalışmaları ve örselenmemiş numunelerle yapılan laboratuvar deneyleri kullanılarak çıkartılan çeşitli basitleştirilmiş yöntemler, gerilme tabanlı (stres-based), gerilme-şekil değiştirme tabanlı (strain-based) ve Çin kriterleri geliştirilmiştir. Yazarlar bu çalışmalarında regresyon yapay sinir aę modeli (GRNN) ile sıvılaşma riskinin belirlenmesinde kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır. Çalışmada Türkiye (Kocaeli) ve Tayvan'dan elde edilen SPT verileri kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda GRNN yöntemiyle geliştirilen model, Youd vd'nin (2001) önerdiği (gerilme tabanlı) yöntem, Dobry vd'nin (1982) önerdiği (şekil değiştirme tabanlı) yöntem ve Finn vd'nin (1994) önerdiği (Çin kriterleri) yöntemle bulunan çözümlerle karşılaştırılmıştır. Zemini karakterize edecek 12 adet veri kullanıldığı değerlendirmeler sonucunda SPT en önemli parametre, kayma dalgası hızı ise en az öneme sahip parametre olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar literatürde yer alan çalışmalarla uygun sonuçlar vermektedir. Ancak çalışmada, deprem magnitüdlerinin sınırlı olması ($M=7,6$ ve $M=7,4$) ve buna bağlı olarak a_{max} değerlerinin sabit olması (0,18g, 0,40g, 0,67g), çalışma sonucunda önerilen bir formülasyonun olmaması ve herkesin yapay sinir ağlarını kullanmasını bilmemesi gibi dikkat çeken olumsuzluklar bulunmaktadır.

2.3. Sıvılaşma Hasarları

Dünyada ve Ülkemizde yıkıcı hasar oluşturan büyük depremlerde mühendislik yapıları zarar görmekte ve çok sayıda can ve mal kaybı oluşmaktadır. Zemin sıvılaşması önemli deprem hasarlarına neden olmakta ve bu 1964 Niigata (Japonya, $M_s=7,5$) ve Alaska (ABD, $M_w=9,2$) depremlerinde de gözlenmiştir. Ülkemizde son 20 yılda

meydana gelen depremlerde de (Ceyhan-Adana 1998 ve Marmara 1999) zemin sıvılaşması önemli hasarlara neden olmuştur.

17 Ağustos 1999'da meydana gelen ve önemli hasarlara yol açan Kocaeli depremi sonucunda Adapazarı ve yakın çevresinde (Sapanca Gölü ve İzmit Körfezi) sıvılaşma meydana geldiği ve sıvılaşma nedeniyle meydana gelen hasarlar araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Kasapoglu vd 1999, Aydan vd 2000, Aydan ve Ulusay 2000, Towhata vd 2001, Yasuda vd 2001, Cetin vd 2002, Sancio vd 2002, Ulusay vd 2002, Mollamahmutoglu vd 2003, Cetin vd 2004a, Cetin vd 2004b, Rathje vd 2004, Yilmaz ve Yavuzer 2005, Kanıbir vd 2006, Sonmez vd 2008).

Ayrıca 27 Haziran 1998'de meydana gelen Ceyhan-Adana depremi (Ulusay vd 2000, Ulusay ve Kuru 2004) ve 3 Şubat 2002 Çay-Eber (Afyon) depremleri (Ulusay vd 2004) sonucu da sıvılaşma meydana gelen bölgeler hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Depremle sıvılaşan gevşek kum çökeli üzerindeki yapı batır veya devrilir; gevşek kum sıvılaştığı zaman gömülü tanklar yüzeye doğru yüzer ve çoğu kez kum kaynamaları da gözlenir (Seed 1970). Sıvılaşma, zemin yüzeyinin oturmasına veya temel taşıma gücü yenilmesine neden olabilir. Sıvılaşma, şevlerin yanal hareketine de neden olabilir veya katkıda bulunabilir.

1964'de meydana gelen Richter ölçeğine göre büyüklüğü 7,3 olan Niigata (Japonya), 7,1 büyüklüğündeki 1989 Loma Prieta-California (ABD) depremi (Bennet ve Tinsley 1995) ve 1995 Kobe (Japonya) depremlerinde de gözlemlendiği gibi sıvılaşma önemli deformasyonlara neden olmuştur (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2).

Deprem kuşağında yer alan ülkemizde, son yıllarda meydana gelen depremlerle oluşan can kaybı ve maddi hasarlar bu konuda yeterince hazırlığımızın olmadığını bir kez daha göstermiştir (Şekil 2.3). Şekilde de görüldüğü gibi devrilen, yan yatan binalar, farklı oturma sonucu hasar gören yapılar, yıkılan köprüler, barajlar, istinat duvarları ve hasar gören can damarı (su, doğalgaz, elektrik vb. gibi) sistemleri önemli mal ve can kayıplarına neden olabilmektedir.



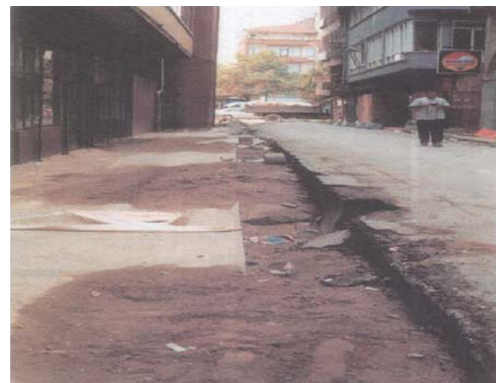
Şekil 2.1 1964 Niigata depreminde zemin sıvılaşmasına bağlı olarak binaların oturması ve devrilmesi (Steinbrugge Collection, EERC, University of California, Berkeley)



Şekil 2.2 Sıvılaşma etkileri a)Olympia-Washington 2001 b)Kobe-Japan 1995 c) Loma Prieta-California, 1989



a) Adapazarı'nda sıvılaşma sonucu yan yatmış binalar (Yeniğün-Tığcılar mahallesi, Hasırcılar sokakta yer alan Yağcılar ve Teverler Apartmanları) (Durgunoglu vd 2000)



b) Adapazarı'nda Çark Caddesi civarında bir sokak boyunca zemin yüzeyine fişkırmış silt ve ince kum öbekleri (Sucuoglu vd 2000)



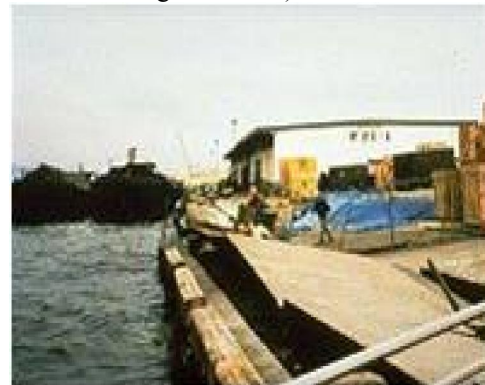
c) Sıvılaşma sonucu yan devrilmiş bina (Mollamahmutoglu vd 2003).



d) Sıvılaşma sonucu oturma meydana gelmiş, ikinci katı birinci kat seviyesine gelmiş, bina (Mollamahmutoglu vd 2003).



e) Barajlarda yenilme (Aşağı San Fernando Barajı, 1971)



f) İstinat duvarlarında yenilme (Kobe, 1995).

Şekil 2.3 Sıvılaşma sonucu oluşmuş hasar tiplerine örnekler

Deprem öncesi önlemlerin alınması için yapılacak bir birimlik harcama deprem sonrası yapılacak yirmi beş birimlik harcamaya karşılık geldiği bilinmektedir. Meydana gelebilecek hasarların önceden tahmin edilmesi ve acil eylem planlarının hazırlanması için gerekli model çalışmaları ve senaryolar üretilmeye devam etmektedir. Sıvılaşma hasarlarının önceden tahminine katkı bağlamında bu çalışma önem arz etmektedir.

2.4. Literatürün Değerlendirilmesi

Sıvılaşma araştırmalarında sağlanan gelişmelerin çoğu nispeten yeni olup, sıvılaşma olgusunun tanımı ve terminolojisi ile ilgili olarak literatürde farklılıklar söz konusudur. Sıvılaşmanın sebep ve etkileri ile farklı zemin türlerinin göreceli duyarlılığına dair geniş bir uzlaşma söz konusu olsa da, gerek sıvılaşma olasılığını hesaplama ve gerekse sıvılaşmanın yapılar üzerindeki etkilerini değerlendirmek için gerekli sismik ve zemin parametrelerinin tanımlanması ve korelasyonu konusunda halen tam bir uzlaşma sağlanmış değildir.

Genellikle akma sıvılaşması ve devirsel hareketlilik (cyclic mobility) şeklindeki iki sıvılaşma olgusu birbirinden ayrı tutulmaktadır (Krinitzsky vd 1993). Akma sıvılaşması, boşluk suyu basıncının tekrarlı veya statik yükler altında sürekli olarak artması ve bir noktadan sonra sabit bir değerde korunması ile efektif çevre basıncının çok küçük bir değere düşmesi sonucu zemin kayma mukavemetinin kaybolması ve çok büyük şekil değiştirmeler ve akmaların olduğu durumdur (Seed vd 1975). Devirsel hareketlilik ise, tekrarlı yükler altında bir yükleme çevrimi sonunda bir ön sıvılaşmanın oluşması ve bunu izleyen yükleme çevrimlerinde zemin elemanında bir artık dayanım bulunmasından veya hacim kabarmasından dolayı boşluk suyu basıncının düşmesi ile şekil değiştirmelerin sınırlı kalması ve zemin elemanının tekrarlı yükler altında duraylı bir konuma gelmesi durumuna denmektedir (Seed vd 1975).

Depremi neden olduğu CSR'nin hesaplanmasında başlıca bilinmeyen, analizde kullanılması gereken maksimum yatay yer ivmesidir (a_{max}). a_{max} kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarından elde edilen ivme kayıtları sonucu belirlenebilmektedir. Kayıt istasyonlarının yetersiz olduğu durumlarda a_{max} 'ın hesabı için üç ayrı metot kullanılmaktadır. Belirli bir sahada a_{max} 'ın hesabı için tercih edilen yöntem, deprem magnitudü, sismik enerji kaynağından olan mesafe ve yerel arazi koşullarının bir fonksiyonu olarak geliştirilmiş olan azalım ilişkileridir. Bir azalım ilişkisinin seçimi ülke, bölge, fay tipi ve saha koşulu vb. gibi faktörlere dayandırılmalıdır. Saha koşullarının mevcut azalım ilişkileri ile uyumlu olmadığı durumlarda, a_{max} yerel saha tepki analizlerinden tahmin edilebilir. Bu hesaplar için, SHAKE veya DESRA gibi bilgisayar programları kullanılabilir. a_{max} 'ın tahmininde üçüncü ve en az arzu edilen yöntem Idriss (1990), tarafından geliştirilen büyütme faktörleri kullanmaktır. Ancak kullanılacak azalım ilişkileri konusunda bir fikir birliği oluşmamıştır.

Derinlik azaltma faktörü (r_d); gerilme azaltma katsayısı (boyutsuz) olarak da bilinir. Daha önceden de bahsedildiği gibi r_d zemin kolonunun deprem esnasında rijit bir cisim gibi davranmadığı gerçeğini açıklamak için tanımlanmıştır. Zeminin rijit bir cisim olmadığı fakat daha çok deforme olabilirliğini açıklamak için, derinlikle birlikte r_d azalmaktadır. Idriss (1999), r_d değerlerinin deprem büyüklüğüne bağlı olduğunu belirtmektedir. Pratik olarak, r_d değerleri genellikle Seed ve Idriss (1971)'te, tanımlanan eğriden elde edilir. Diğer seçenek, derinliğe karşı r_d 'nin doğrusal şekilde değiştiğini kabul etmek ve Kayen vd (1992)'nin önerdiği denklemi kullanmaktır. Cetin ve Seed

(2004), CSR'nin hesaplanmasında kullanılan r_d parametresinin geliştirilmesi ile ilgili yeni bir formül önermişlerdir. Derinlik düzeltme faktörü (r_d) ile ilgili araştırmacıların önerdiği farklı formüller yer almakta ve henüz bu konuda da fikir birliği oluşmamıştır.

Sıvılaşma analizinde çok sayıda farklı denklem ile birlikte, senaryo depremin neden olduğu devirsel gerilme oranı ve arazideki zeminin devirsel direnç oranının ikisine de uygulanan düzeltmeler önerilmiştir. Örneğin, $(N_1)_{60}$ değerini hesaplamak amacıyla SPT-N değerine uygulanan farklı düzeltmeler (E_m , C_b , C_r , ve σ'_{vo}) söz konusudur. Bu farklı denklemlerin ve düzeltmelerin tümü, analizin sadece kaba bir yaklaşım olduğu durumda, mühendise yüksek bir doğruluk hissi verir.

CPT verileri kullanılarak sıvılaşma riskinin değerlendirilmesinde ise; numune alınamayışı dolayısıyla zeminin fiziksel özelliklerinin deneysel olarak ortaya konulamamasına sebep olmaktadır. Kullanılan ekipman ve maliyet nedeniyle SPT deneyi gibi yaygın kullanıma sahip değildir.

Bütün bu veriler ışığında bu çalışma ile, araziden elde edilmiş gerçek veriler kullanılarak jeoteknik mühendisliği uygulamalarında nispeten yeni olan optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Kullanılan GA tekniği ile CPT ve SPT verilerine dayalı yeni bir sıvılaşma indeksi önerilmiş ve elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Geliştirilen yeni yöntem, yapılan saha çalışmasında elde edilen veriler ile test edilmiş ve sonuçlar ortaya konmuştur.

Sıvılaşma potansiyelini belirlemede, avantaj ve dezavantajlarına rağmen, arazi deneyleri (CPT, SPT) yaygın olarak kullanılmaktadır. CPT, ayrıntılı zemin stratigrafisi ve sıvılaşma direncinin ön tahminini sağlar. SPT, örselenmiş zemin numuneleri alınmasına imkan sağlayan ve tane çapının da belirlenebildiği, ülkemizde de yaygın bir biçimde kullanılmakta olan bir deneydir. Sıvılaşma direncinin değerlendirilmesinde iki veya daha fazla deney yöntemi uygulanması daha uygun görünmektedir.

Seed ve Idriss (1971), tarafından SPT verileri kullanılarak geliştirilen yaklaşık yöntem, sıvılaşma analizinde sık kullanılan bir yöntemdir. Youd vd (2001) tarafından yapılan çalışmalarda, yöntem yeniden irdelenmiş ve yeni düzenlemeler yapılmıştır. Iwasaki vd (1981), tarafından ortalama tane çapı ele alınarak yapılan sıvılaşma analizi

çok dar bir zemin aralığında analiz yapma imkanı sunmaktadır. Bu durum Iwasaki yöntemi için bir dezavantaj teşkil etmektedir.

CPT deney verileri kullanılarak yapılan sıvılaştırma analizinde ise yine Youd vd (2001) tarafından son hali verilen Robertson ve Wride (1998), yöntemi en geçerli yöntem olarak kabul edilmektedir. SPT-N değerlerinin CPT uç direncine dönüştürülmesi ile elde edilen Seed De Alba (1986) yöntemi ve Suzuki (1997) yöntemi kimi zaman Robertson ve Wride (1998) yöntemi ile benzer sonuçlar vermemektedir (Mollamahmutoğlu ve Babuğu 2006).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Genetik Algoritmalar (GA)

Genetik algoritmalar yapay zekânın son yıllarda hızla gelişen bir kolu olan evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturmaktadır. Adından da anlaşıldığı üzere GA, Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek oluşturulmuştur. John Holland bu konuda ilk çalışmaları yaparak sonuçlarını 1975'teki Machine Learning adlı kitabında yayınlamıştır. Herhangi bir problemin GA ile çözümü, problemi sanal olarak evrimden geçirmek suretiyle yapılmaktadır. Rastgele arama prensibine göre çözüm yapan GA optimizasyon tekniği ile teorik olarak global optimum sonuçlar bulunabilmesine karşılık, pratikte sadece global optimuma yakın sonuçlar elde edilebilmektedir (Goldberg 1989, Michalewicz 1992).

Optimizasyon, rastgele üretilmiş kromozomları içeren başlangıç toplumu ile başlar ve her bir kromozom genetik operatörlerle yapay olarak evrimden geçirilir. Kromozom genellikle ikilik sayı bitlerinden oluşan bir sayı zinciri ile temsil edilir ve bir bireyi oluşturur. Daha sonra, uygunluk fonksiyonu değerlerine göre seçim operatörü ile mevcut toplumdaki yeni bir toplum oluşturulur. Toplum içerisindeki bazı bireyler seçilerek çaprazlama operatörü ile bu bireylerden yeni bireyler üretilir. Son olarak, mevcut toplum içerisinde genetik çeşitliliği sağlamak amacıyla bazı bireyler mutasyon operatörü ile rastgele değişime uğratılırlar. GA'nın her bir döngüsünde (nesil-jenerasyon), "en iyi olan yaşar" prensibine göre yeni kromozomlar üretilir (Ayvaz 2008).

GA geleneksel yöntemlerle çözümü zor ve/veya karmaşık olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bu problemlerin hemen hemen hepsi çok geniş bir çözüm havuzunun taranmasını gerektirmektedir. Bu çözüm havuzunun geleneksel yöntemlerle taranması çok uzun sürmekte, GA ile kısa bir sürede kabul edilebilir bir sonuç alınabilmektedir. Çok genel anlamda GA'nın üç uygulama alanı bulunmaktadır. Bunlar deneysel çalışmalarda optimizasyon, pratik endüstriyel uygulamalar ve sınıflandırma sistemleridir. GA, Goldberg (1989), Gen ve Cheng'in (1997) yayınlarından sonra diğer

mühendisliklerin yanında jeoteknik mühendisliğinin problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

GA optimizasyon tekniği klasik optimizasyon teknikleri ile karşılaştırıldığında aşağıdaki farklılıklar ön plana çıkmaktadır (Goldberg 1989):

1. GA ile optimizasyon işleminde ilgili karar değişkenlerinin kodlanmasıyla oluşturulmuş sayı dizileri kullanılır;
2. GA ile global optimuma yakın sonuçlar bir tek çözüm yerine başlangıçta rastgele olarak üretilmiş birden çok çözüm ile araştırılır;
3. GA ile optimizasyon işlemi, amaç fonksiyonunun karar değişkenlerine göre türevleri yerine doğrudan amaç fonksiyonunun değerine göre devam eder;
4. Optimizasyon işlemi deterministik ara işlemler yerine stokastik ara işlemlere göre yapılmaktadır.

GA optimizasyon tekniğine uygun olarak bir problemin çözümü belirli sayıdaki kromozomun rastgele oluşturulması ile çözüme başlar ve aşağıdaki adımlar gerçekleştirilerek yapılır.

1. *Çözümün başlatılması:* Her bireyi problemin muhtemel bir çözümünü simgeleyen ilk popülasyonun oluşturulması;
2. *Uygunluk değerlerinin hesaplanması:* Her birey için uygunluğun $f(x)$ değerlendirilmesi;
3. *Yeni birey üretimi:* Popülasyondaki bireylere farklı işlemler uygulanarak popülasyonun çoğalması;
 - a. *Çaprazlama:* Yeni bir birey oluşturmak için seçim yöntemine uygun olarak belirlenen ebeveynlerin çaprazlanması;
 - b. *Mutasyon:* Popülasyondaki mevcut bireylerden seçilen bir veya birden çok genin uygun bir yöntemle değişime uğratılması;
4. *Yeni popülasyon seçimi:* Çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonucunda büyüyen popülasyonun orijinal boyutuna düşürülmesi için uygunluğu yüksek

bireylerin seçilme olasılığı fazla olacak şekilde yeni popülasyona aktarılacak bireylerin seçimi;

5. *Test*: Eğer elde edilen sonuç algoritmanın durdurma kriterlerini sağlıyorsa çözüm tamamlanır, sağlamıyorsa 3. adıma gidilir.

Çözümün kodlanması GA'nın çok önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Probleme GA uygulanmadan önce modelin hızlı ve güvenilir çalışması için verinin uygun şekilde kodlanması gerekir.

3.1.1. Uygunluk Fonksiyonu (UF)

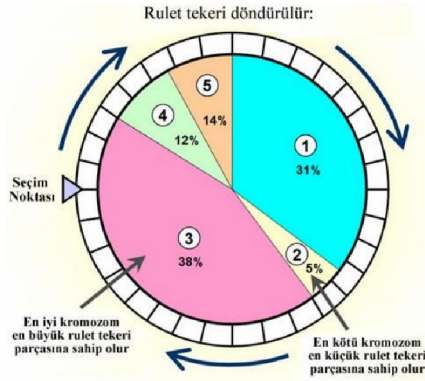
Her nesil (jenerasyon) için topluluktaki tüm bireyler uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilirler. Uygunluk değeri daha iyi olan bireylerin yeni bireyleri oluşturmak için eşleştirme havuzuna seçilme olasılıkları daha yüksektir. Uygunluk değeri daha iyi olan bireyler problemin gerçek çözümüne daha yakın çözümleri ifade etmektedirler. Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen GA'da yapılan çözümlerle iki farklı uygunluk fonksiyonu kullanılmıştır. Belirlenen uygunluk fonksiyonları ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 3.5.2 ve 3.6.2'de anlatılmıştır.

3.1.2. Seçim Operatörü

Seçim operatörü yardımıyla boyutu çaprazlama ve mutasyon işlemleri ile artan popülasyondan yeni bir nesil oluşturulmaktadır. Mevcut popülasyondan uygunluk fonksiyonu değerlerine göre bireyler seçilerek bir sonraki nesil oluşturulur. Yeni toplumun oluşturulması için geliştirilen seçim yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılan Rulet Teker ve Turnuva seçim yöntemlerinin açıklaması aşağıda yapılmıştır (Goldberg ve Deb 1991).

3.1.2.1. Rulet tekeri seçimi

Rulet tekeri seçim yönteminde, toplum içerisindeki her bir birey uygunluk fonksiyonu değerlerine bağlı olarak bir rulet tekeri etrafında gruplanır. Daha büyük alana sahip bireylerin seçilme şansı daha fazla olacaktır. Her bir çevirme sonucunda rulet tekerinin durduğu noktadaki pasta dilimine ait birey yeni havuza atanmakta ve sonraki nesile aktarılmaktadır (Şekil 3.1).



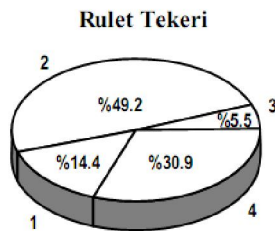
Şekil 3.1 Rulet tekeri seçimi (Şahin 2009)

3.1.2.2. Turnuva seçimi

Turnuva seçim yönteminde, toplumdaki her bir birey, yine toplumdaki rastgele seçilmiş başka bir bireyle UF değerlerine göre karşılaştırılmakta ve UF değeri büyük olan birey yeni toplum için seçilmektedir. Örneğin, büyüklüğü 4 olan bir toplumdaki bireylerin uygunluk fonksiyonlarının değerlerine göre rulet tekeri ve turnuva seçim yöntemleri ile seçilmesi Şekil 3.2’de detaylı olarak gösterilmiştir (Ayvaz 2008).

Başlangıç Toplum	$f(x)$	p_{si}
1	169	0.144
2	576	0.492
3	64	0.055
4	361	0.309
	1170	1.000

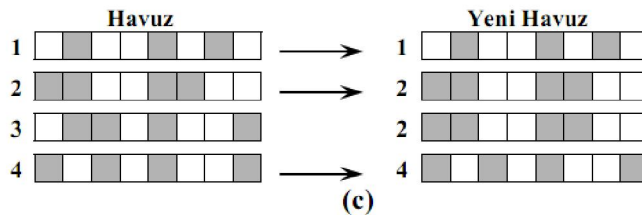
(a)



Turnuva

Birey	$f(x)$	Rastgele Birey	$f(x)$	Seçilen Birey
1	169	3	64	1
2	576	4	361	2
3	64	2	576	2
4	361	1	169	4

(b)

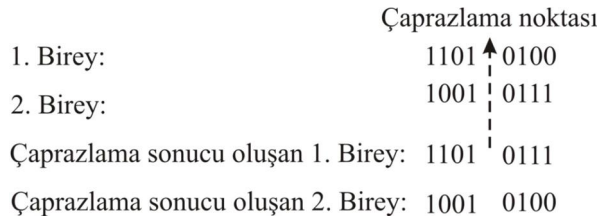


(c)

Şekil 3.2 (a): Başlangıç toplumunun değerlendirilmesi ve rölatif seçim olasılıklarının hesaplanması, (b): Rulet tekeri ve turnuva seçim yöntemleri ile yeni toplum için bireylerin seçilmesi, (c): Seçilen bireylerle yeni toplumun oluşturulması (Ayvaz 2008)

3.1.3. Çaprazlama Operatörü

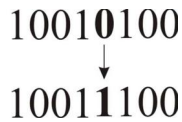
Çaprazlama operatörü ile mevcut popülasyondan rastgele seçilen iki bireyden bir çaprazlama olasılığına bağlı olarak yeni bir birey oluşturulmaktadır. Sonuç olarak toplum içerisindeki iki ebeveyn bireyden iki yeni birey oluşturulmuş ve mevcut nesilin devam etmesi sağlanmıştır. Çaprazlama işlemi ile iki yeni bireyin oluşumu Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Seçilen iki bireyin çaprazlanması

3.1.4. Mutasyon Operatörü

Seçim ve çaprazlama işlemlerinin uygulanmasının ardından, toplum içerisindeki bireylere ait önemli genetik bilgilerin kaybolma olasılığı ile erken yakınsamayı önlemek ve genetik çeşitliliği arttırmak amacıyla mutasyon operatörü kullanılmaktadır (Ayvaz 2008). Mutasyon işlemi için seçilen bir bit 0 ise 1, 1 ise 0 yapılır. Şekil 3.4'te mutasyon işleminin gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.4 Mutasyon işlemi

3.2. GALIQ Yazılımı

Bu doktora tez çalışması kapsamında, sınıflama potansiyelinin tahminine yönelik Microsoft Visual C# .NET ortamında GALIQ isimli bir yazılım geliştirilmiştir. Programın akış diyagramı Şekil 3.5'de verilmiştir. Program rastgele oluşturulan ilk popülasyon ile çalışmaya başlamaktadır. Programın çalışması bitiş şartının sağlanmasına kadar yeni nesiller üretilerek devam etmektedir. Program basit, kısıtsız optimizasyon problemlerinin çözümünü gerçekleştirmektedir. Programın yeterliliği literatürde yer alan pek çok fonksiyon ile denenmiştir. Bu fonksiyonlardan bazıları Bölüm 3.3'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Fonksiyon sonuçları ve geliştirilen yazılımın çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında ya aynı ya da daha iyi

sonuçların bulunduğu gözlenmiştir. Program bu yönüyle kullanılabilir bir GA yaklaşımı içermektedir.

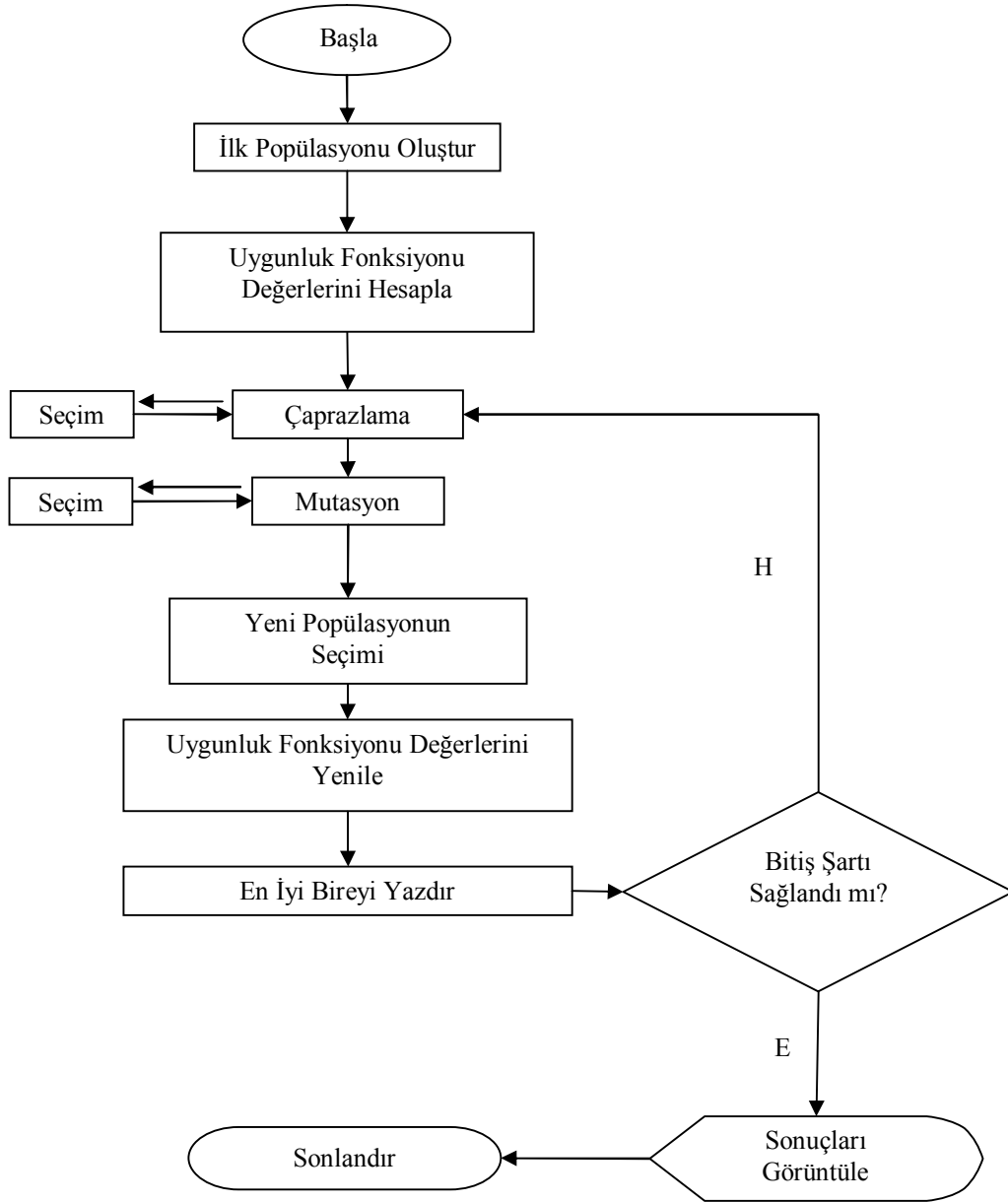
Geliştirilen programın tezin konusunu oluşturan sıvılaşma potansiyelinin tahminine yönelik olarak kullanılabilmesi için sıvılaşma potansiyeline etki eden parametrelerin yer aldığı veri tabanından çok değişkenli fonksiyonlar, GA yaklaşımı ile üretilerek optimum çözümler değerlendirilmiştir. Program Microsoft Excel dosyalarından veri okuyarak analiz edebilmekte ve bu verileri kullanarak bir sıvılaşma indeksi fonksiyonu üretmektedir.

Yazılımın en önemli avantajı tahmin fonksiyonunun yazılım tarafından üretilmesidir. Bilindiği gibi GA ile yapılan benzer uygulamalarda çoğunlukla kullanılacak fonksiyon(lar)da yer alacak terimler kullanıcı tarafından belirlenmektedir. GA ise çoğunlukla kullanıcı tarafından girilen şablon denklemlerin katsayı ve üslerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. GALIQ'te ise yazılım fonksiyonun tüm bileşenlerini verilen bir şablonu esas alarak kendisi belirlemektedir. Yani, SI tahmin fonksiyonu terimlerinin katsayı ve üslerinin yanında bu terimde yer alacak zemin/deprem parametrelerinin ne olacağına ve bu parametrelerin başka bir fonksiyonun girdisi olarak kullanılıp kullanılmayacağına da yazılım karar vermektedir. Bu yönüyle de GA tekniğine önemli bir katkı sağlanmış olacaktır.

İlk popülasyonun rastgele oluşturulması için Nishimura ve Matsumoto (1998), tarafından geliştirilen, bir çekirdek etrafında normal dağılıma sahip Mersenne Twister isimli rastgele sayı üretici kod kullanılmıştır.

3.2.1. Yazılımın Algoritması

GALIQ yazılımı, ilk olarak rastgele oluşturulan bir popülasyonla başlar. Popülasyon sayısı program çalıştırmadan önce ana menüden (Şekil 3.6) girilen sayıda oluşturulur. Daha sonra GA operatörlerinin devreye girmesiyle (mutasyon, çaprazlama ve seçim operatörü) yeni nesiller oluşturularak optimum çözüme ulaşıncaya kadar program çalışır. Daha önceden belirlenen bitiş şartı sağlanıncaya kadar program çalışmasını sürdürür ve girilen parametreler için en uygun çözüm ilgili dosyaya yazdırılır.



Şekil 3.5 Akış diyagramı

Programın her çalıştırılması sonucunda yeni bir çözüm üretilir. Ana menüden girilen parametreler programın çalışma süresini doğrudan etkilemektedir. Programın çalışma süresi saniyelerle ifade edilen kısalıkta olabileceği gibi günlerce de sürebilir.

The screenshot shows the GALIQ software interface. It features a title bar with the text 'GALIQ' and standard window controls. The main area contains several input fields and two buttons. The input fields are: 'Populasyon Büyüklüğü: 100', 'Mutasyon Olaslığı: 0,01', 'Çaprazlama Oranı: 0,8', 'Seçim Şekli: Rulet Tekerli', 'Min. Nesil Sayısı: 200', 'Elit Oranı: 0,02', 'Max. Kitle İmha: 25', and 'İmha Elit Oranı: 0,01'. The buttons are 'Hesapla' and 'Sonuçları Gönder'. Below the input fields is a table with the following data:

	Değişken No	Alt Sınır	Üst Sınır	Hassasiyet
	1	0	1	0.0000001
	2	-5	5	0.00001
	3	-5.12	5.12	0.001
	4	-3	3	0.000001
	5	-500	500	0.001
	6	-1	1	0.0000000001

Şekil 3.6 Geliştirilen programın ana menü görüntüsü

3.3. Yazılımın Test Edilmesi ve Test Fonksiyonları

Bu çalışma kapsamında geliştirilen GA kodu, literatürde yer alan daha önceden denenmiş fonksiyonların (Mathworks, 2008) çözümünde kullanılmıştır. Böylece geliştirilen yeni GA kodunun yeterliliği test edilmiştir. Test için bir ve iki değişkenli fonksiyonların yanında çok değişkenli (5, 7) fonksiyonlar da kullanılmıştır.

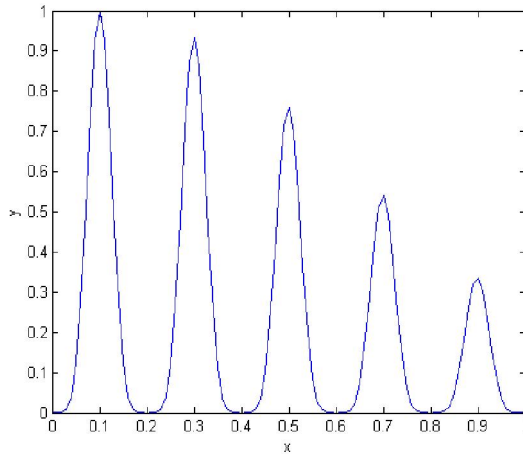
3.3.1. Tek değişkenli optimizasyon problemleri

3.3.1.1. Test uygulama 1

İlk uygulama aşağıdaki tek değişkenli maksimizasyon probleminin çözümü ile yapılmıştır ve Şekil 3.7’te fonksiyonun grafiği verilmiştir. Fonksiyonun maksimum değerini aldığı nokta $x = 0.1$ ’dir. Bu değer için $f = 1.0$ olmaktadır.

$$maks.f = 2 \cdot \sin^6 \left(\frac{x-0.1}{0.9} \right) \cdot \pi \cdot x$$

$$0 \leq x \leq 1$$

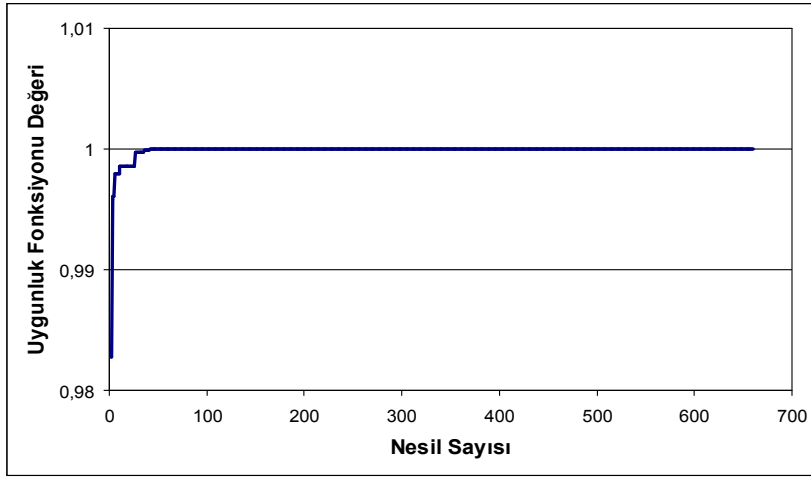


Şekil 3.7 Test uygulama 1 için kullanılan fonksiyonun grafiği

Geliştirilen GALIQ programında söz konusu fonksiyon uygunluk fonksiyonu olarak verilmiş ve Şekil 3.8’te görülen parametreler kullanılarak çözüm yapılmıştır. Elde edilen yakınsama grafiği Şekil 3.9’te görülmektedir. Programın işletilmesi sonunda maksimum değerin olduğu nokta $x = 0.1$ için $f(x) = 1$ olarak bulunmuş ve bu problemin gerçek çözümüdür.

	Değişken No	Alt Sınır	Üst Sınır	Hassasiyet
▶	1	0	1	0,0000001
*				

Şekil 3.8 Test uygulama 1 çözümü için kullanılan GA parametreleri



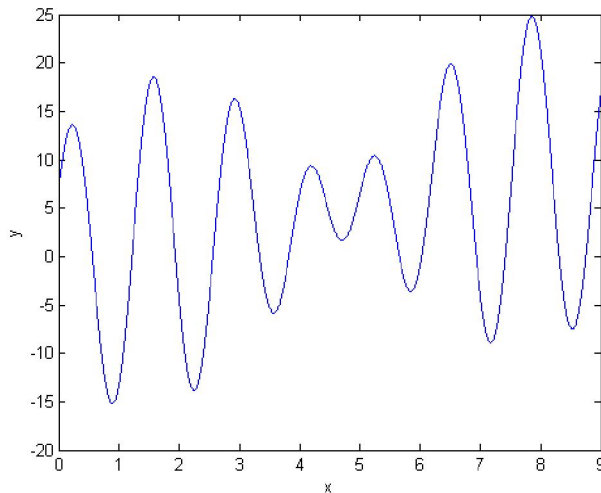
Şekil 3.9 Test uygulama 1 için yakınsama grafiği

3.3.1.2. Test uygulama 2

İkinci test uygulama aşağıdaki tek değişkenli minimizasyon probleminin çözümü ile yapılmış ve Şekil 3.10'da fonksiyonun grafiği verilmiştir. Problemin teorik çözümü $x = 0.8912$ için $f(x) = -15.164$ 'dür.

$$\min .f(x) = x + 10 \cdot \sin(5 \cdot x) + 7 \cdot \cos(4 \cdot x)$$

$$0 \leq x \leq 9$$



Şekil 3.10 Test uygulama 2 için kullanılan fonksiyonun grafiği

Geliştirilen GALIQ yazılımı maksimizasyon problemlerinin optimizasyonunu yaptığı için programa uygunluk fonksiyonu girdisi “ $-f$ ” olarak verilmiştir. Bu şekilde “ $-f$ ” fonksiyonu için bulunan maksimum nokta, “ f ” fonksiyonun minimum noktasıdır. Şekil 3.11'de verilen parametreler kullanılarak çözüm yapılmış ve elde

edilen yakınsama grafiği Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Programın çalıştırılması sonucunda maksimum değer olduğu nokta $x = 0.8912$ için $-f(x) = 15.164$ olarak bulunmuştur (Şekil 3.12). $f(x)$ fonksiyonun minimum noktası için çözüm bu durumda $f(x) = -15.164$ olacaktır. Görüldüğü gibi bu çözüm de problemin teorik çözümü ile aynıdır.

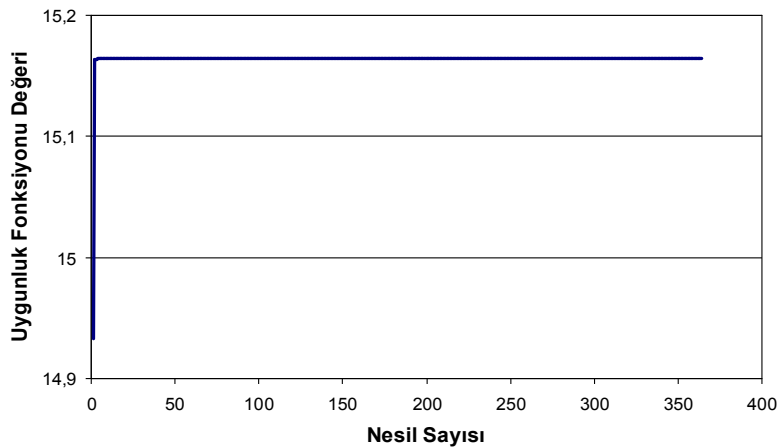
The screenshot shows the GALIQ software interface with the following parameters:

- Popülasyon Büyüklüğü: 100
- Mutasyon Olasılığı: 0,01
- Çaprazlama Oranı: 0,8
- Seçim Şekli: Rulet Tekerli
- Max. Nesil Sayısı: 200
- Elit Oranı: 0,02
- Max. Kitle İmha: 25
- İmha Elit Oranı: 0,01

Buttons: Hesapla, Sonuçları Gönder

	Değişken No	Alt Sınır	Üst Sınır	Hassasiyet
✎	1	0	9	0.00000000001
*				

Şekil 3.11 Test uygulama 2 çözümü için kullanılan GA parametreleri



Şekil 3.12 Test uygulama 2 için yakınsama grafiği

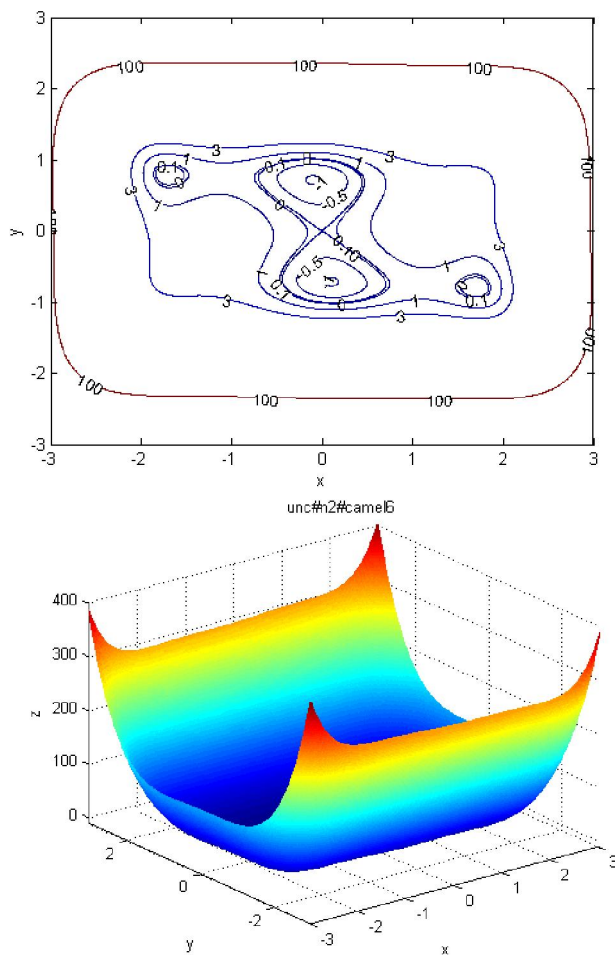
Yapılan bu iki uygulamada programın tek değişkenli optimizasyon problemleri için oldukça hızlı ve başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

3.3.2. İki değişkenli optimizasyon problemleri

3.3.2.1. Test uygulama 3

Bu uygulamada aşağıdaki iki değişkenli minimizasyon problemi GALIQ ile çözülmüştür. Fonksiyonun x-y düzlemindeki izdüşümü ve üç boyutlu grafiği Şekil 3.13’da verilmiştir.

$$\begin{aligned} \min .f &= 4x_1^2 - 2.1x_1^4 + x_1^6 / 3 + x_1x_2 - 4x_2^2 + 4x_2^4 \\ -3 &\leq x_1 \leq 3 \\ -3 &\leq x_2 \leq 3 \end{aligned}$$



Şekil 3.13 Test uygulama 3 için kullanılan fonksiyonun grafiği

Problem için Şekil 3.14’da verilen parametreler kullanılarak çözümlenmiş ve elde edilen yakınsama grafiği Şekil 3.15’de gösterilmiştir. Programın çalıştırılması sonucunda minimum değerin olduğu nokta $x = (-0.089842, 0.712655)$ için $-f(x) = 1.031628$ olarak bulunmuştur (Şekil 3.15). Bu nokta aynı zamanda problemin

iki teorik çözümünden ($x = (0.0898, -0.7127)$) ya da $x = (-0.0898, 0.7127)$ için $f(x) = -1.0316$ birisidir.

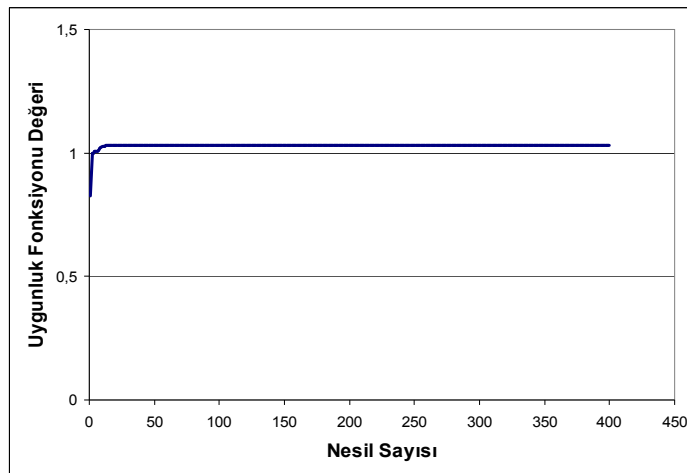
The screenshot shows the GALIQ software interface with the following parameters:

- Popülasyon Büyüklüğü: 100
- Mutasyon Olaslığı: 0,1
- Çaprazlama Oranı: 0,6
- Seçim Şekli: Rulet Tekerli
- Max. Nesil Sayısı: 400
- Elit Oranı: 0,02
- Max. Kitle İmha: 25
- İmha Elit Oranı: 0,01

Buttons: Hesapla, Sonuçları Gönder

Değişken No	Alt Sınır	Üst Sınır	Hassasiyet
1	-3	3	0.000001
2	-3	3	0.000001
▶*			

Şekil 3.14 Test uygulama 3 çözümü için kullanılan GA parametreleri



Şekil 3.15 Test uygulama 3 için yakınsama grafiği

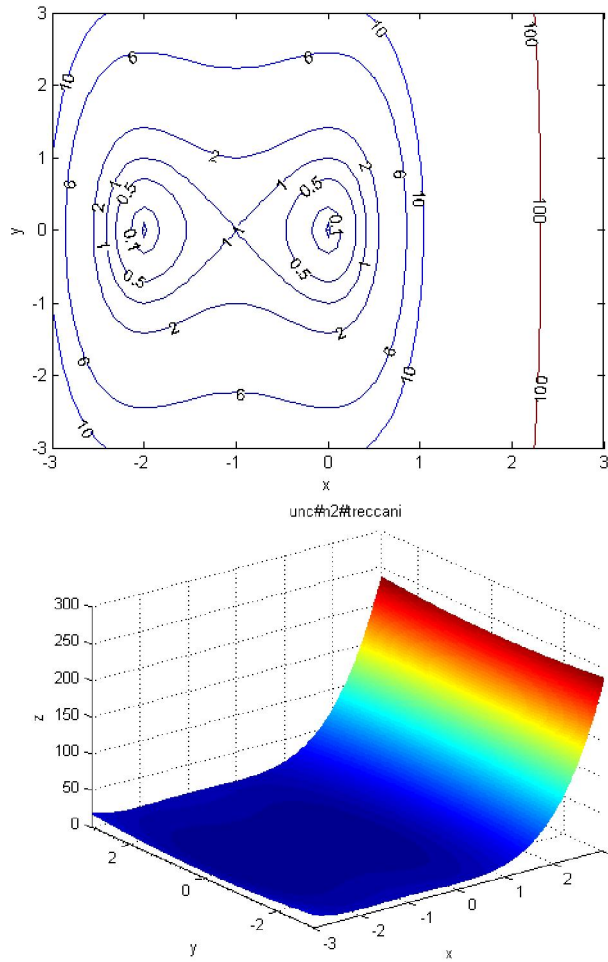
3.3.2.2. Test uygulama 4

Dördüncü test uygulama aşağıdaki iki değişkenli minimizasyon probleminin çözümü ile yapılmıştır. Fonksiyonun x-y düzlemindeki izdüşümü ve üç boyutlu grafiği Şekil 3.16'de verilmiştir.

$$\min.f(x) = (2 \cdot x_1^2) - (1.05 \cdot x_1^4) + (x_1^6 / 6) - (x_1 \cdot x_2) + (x_2^2)$$

$$-3 \leq x_1 \leq 3$$

$$-3 \leq x_2 \leq 3$$



Şekil 3.16 Test uygulama 4 için kullanılan fonksiyonun grafiği

Problem için Şekil 3.17’te verilen parametreler kullanılarak çözüm yapılmış ve elde edilen yakınsama grafiği Şekil 3.18’te gösterilmiştir. Programın çalıştırılması sonucunda minimum değerinin olduğu nokta $x = (4.47 \cdot 10^{-8}, -4.47 \cdot 10^{-8})$ için $-f(x) = 7.99361 \cdot 10^{-15}$ olarak bulunmuştur (Şekil 3.18). Bu nokta aynı zamanda problemin iki teorik çözümünden ($x = (0;0)$ ya da $x = (-2;0)$ için $f(x) = 0$) birisidir.

GALLO

Popülasyon Büyüklüğü: 100

Mutasyon Olasılığı: 0,01

Çaprazlama Oranı: 0,8

Seçim Şekli: Rulet Tekerli

Min. Nesil Sayısı: 200

Elit Oranı: 0,02

Max. Kitle İmha: 25

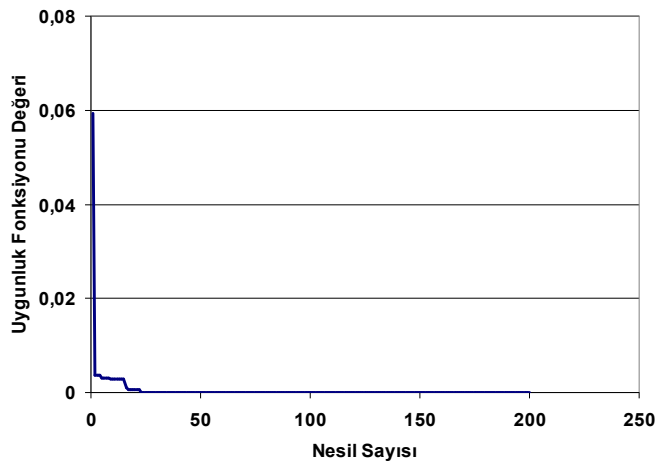
İmha Elit Oranı: 0,01

Hesapla

Sonuçları Gönder

Değişken No	Alt Sınır	Üst Sınır	Hassasiyet
1	-3	3	0.0000001
2	-3	3	0.0000001
*			

Şekil 3.17 Test uygulama 4 çözümü için kullanılan GA parametreleri



Şekil 3.18 Test uygulama 4 için yakınsama grafiği

3.3.2.3. Test uygulama 5

İki değişkenli problemlerden sonuncusu aşağıda verilen minimizasyon problemidir. Fonksiyonun x-y düzlemindeki izdüşümü ve üç boyutlu grafiği Şekil 3.19’te verilmiştir. Programın çalıştırılması sonucunda minimum değerinin olduğu nokta $x = (-0.00147785, -1.00051158)$ için $-f(x) = 3.000500562$ olarak bulunmuştur. Bu nokta aynı zamanda problemin teorik çözümüdür ($x = (0; -1)$ için $f(x) = 3$).

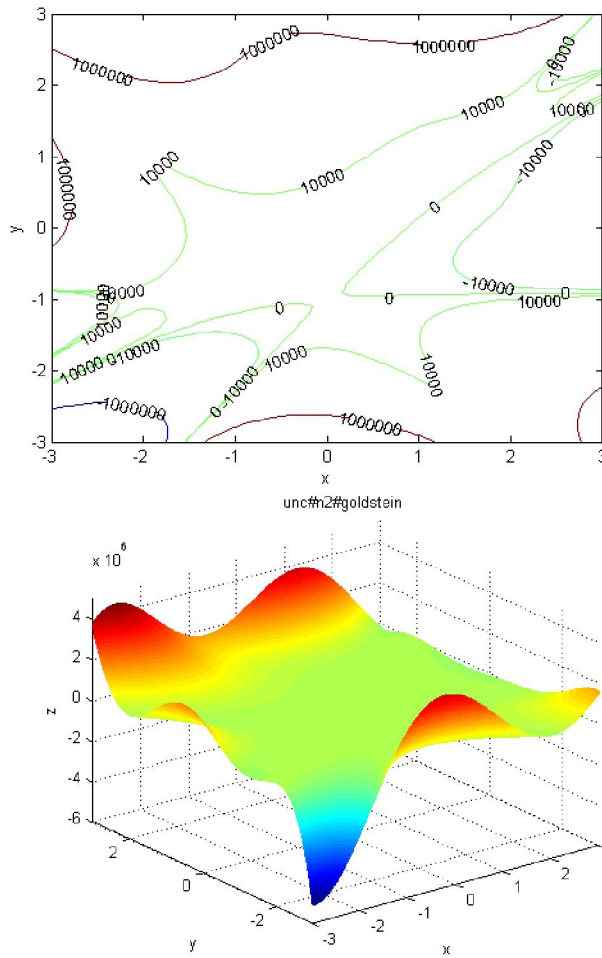
$$g = 1 + (x_1 + x_2 + 1)^2 \cdot (19 - 14 \cdot x_1 + 3 \cdot x_1^2 - 14 \cdot x_2 + 6 \cdot x_1 \cdot x_2 + 3 \cdot x_2^2)$$

$$h = 30 + (2 \cdot x_1 - 3 \cdot x_2)^2 \cdot (18 - 32 \cdot x_1 + 12 \cdot x_1^2 + 48 \cdot x_2 - 36 \cdot x_1 \cdot x_2 + 27 \cdot x_2^2)$$

$$\min .f = g \cdot h$$

$$-3 \leq x_1 \leq 3$$

$$-3 \leq x_2 \leq 3$$



Şekil 3.19 Test uygulama 5 için kullanılan fonksiyonun grafiği

Problem için Şekil 3.20’de verilen parametreler kullanılarak çözüm yapılmıştır. Elde edilen yakınsama grafiği Şekil 3.21’de verilmiştir.

GALIQ

Popülasyon Büyüklüğü: 100

Mutasyon Olaslığı: 0,01

Çaprazlama Oranı: 0,8

Seçim Şekli: Rulet Tekerli

Min. Nesil Sayısı: 200

Elit Oranı: 0,02

Max. Kille İmha: 25

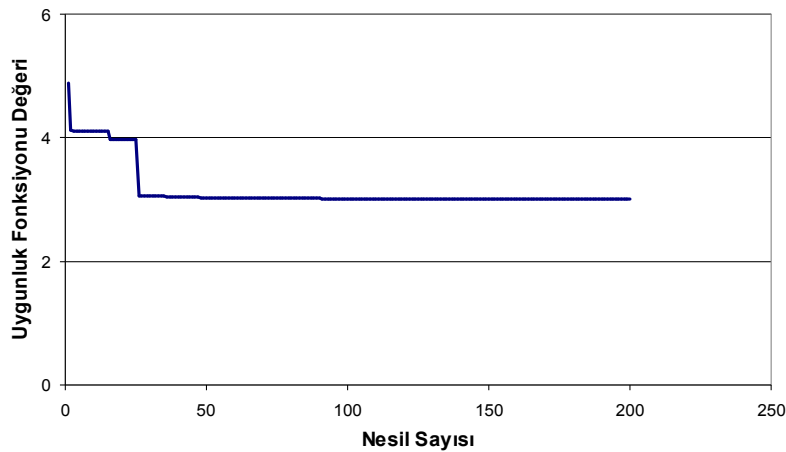
İmha Elit Oranı: 0,01

Hesapla

Sonuçları Gönder

Değişken No	Alt Sınır	Üst Sınır	Hassasiyet
1	-3	3	0.0000001
2	-3	3	0.0000001
*			

Şekil 3.20 Test uygulama 5 çözümü için kullanılan GA parametreleri



Şekil 3.21 Test uygulama 5 için yakınsama grafiği

Yapılan üç uygulama ile GALIQ'in 2 değişkenli problemlerde de başarılı olarak çalıştığı görülmüştür. Bu çözümler saniyelerle ifade edilebilecek sürelerde tamamlanmaktadır.

3.3.3. Çok değişkenli optimizasyon problemleri

Pek çok mühendislik uygulaması çok değişkenli ve karmaşık problemlerin çözümünü gerektirmektedir. Bu problemler çok değişkenli olmalarının yanı sıra çok sayıda lokal minimum ve maksimum noktalar içermektedir. Bu sebeple GALIQ'in bu

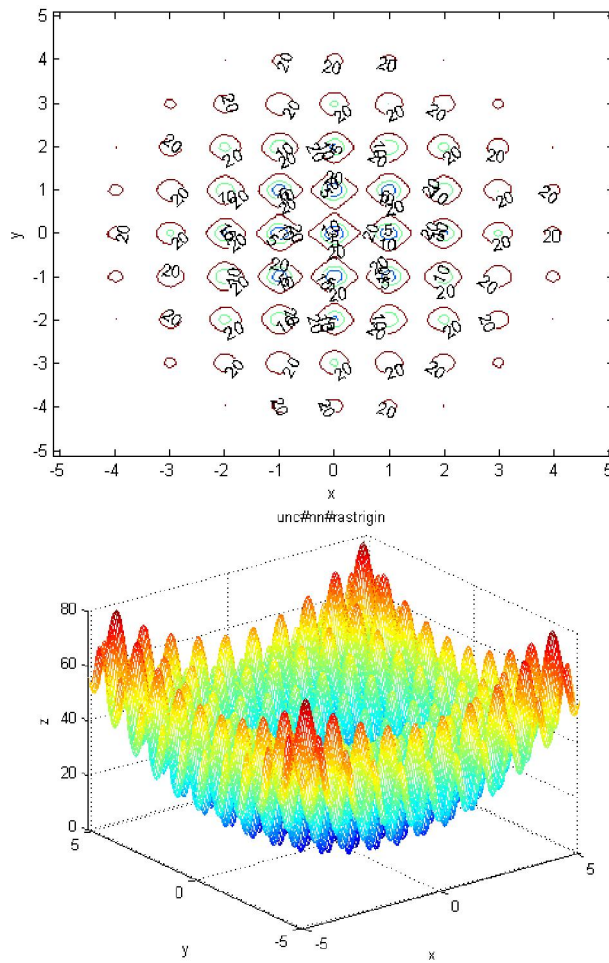
tür problemler için de performansı denenmiştir. Altıncı ve yedinci problemler bu sebeple sırasıyla yedi ve beş değişkenli olarak çözülmüştür.

3.3.3.1. Test uygulama 6

Altıncı test uygulama aşağıdaki n değişkenli minimizasyon probleminin çözümü olacaktır. Problem istenilen sayıda değişkenle çözülebilmektedir. Fonksiyonun 2 değişkenli hali için grafikleri Şekil 3.22’de verilmiştir. Bu uygulama için fonksiyon $n=7$ değişkenli olarak çözülmüştür. Problemin çözümü $x_i (i=1;7)=0$ için $f(x)=0$ olarak teorik olarak bulunmuştur.

$$\min .f(x) = 10n + \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos(2 \cdot \pi \cdot x_i))$$

$$-5.12 \leq x_i \leq 5.12$$



Şekil 3.22 Test uygulama 6 için kullanılan fonksiyonun grafiği

Problem için Şekil 3.23’de verilen parametreler kullanılarak GALIQ ile çözüm yapılmış ve elde edilen yakınsama grafiği Şekil 3.24’te gösterilmiştir. Programın çalıştırılması sonucunda minimum değerin olduğu nokta $x_i = (-0.00031252)$ için $-f(x) = 0.000135636$ olarak bulunmuştur (Şekil 3.24).

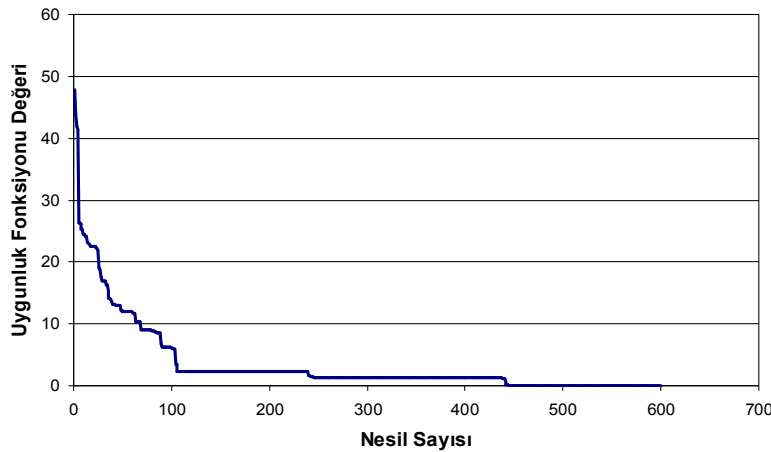
The screenshot shows the GALIQ software interface with the following parameters:

- Popülasyon Büyüklüğü: 200
- Mutasyon Olaslığı: 0,1
- Çaprazlama Oranı: 0,6
- Seçim Şekli: Rulet Tekerli
- Min. Nesil Sayısı: 600
- Elit Oranı: 0,02
- Max. Kitle İmha: 25
- İmha Elit Oranı: 0,01

Buttons: Hesapla, Sonuçları Gönder

Değişken No	Alt Sınır	Üst Sınır	Hassasiyet
1	-5.12	5.12	0.001
2	-5.12	5.12	0.001
3	-5.12	5.12	0.001
4	-5.12	5.12	0.001
5	-5.12	5.12	0.001
6	-5.12	5.12	0.001

Şekil 3.23 Test uygulama 6 çözümü için kullanılan GA parametreleri



Şekil 3.24 Test uygulama 6 için yakınsama grafiği

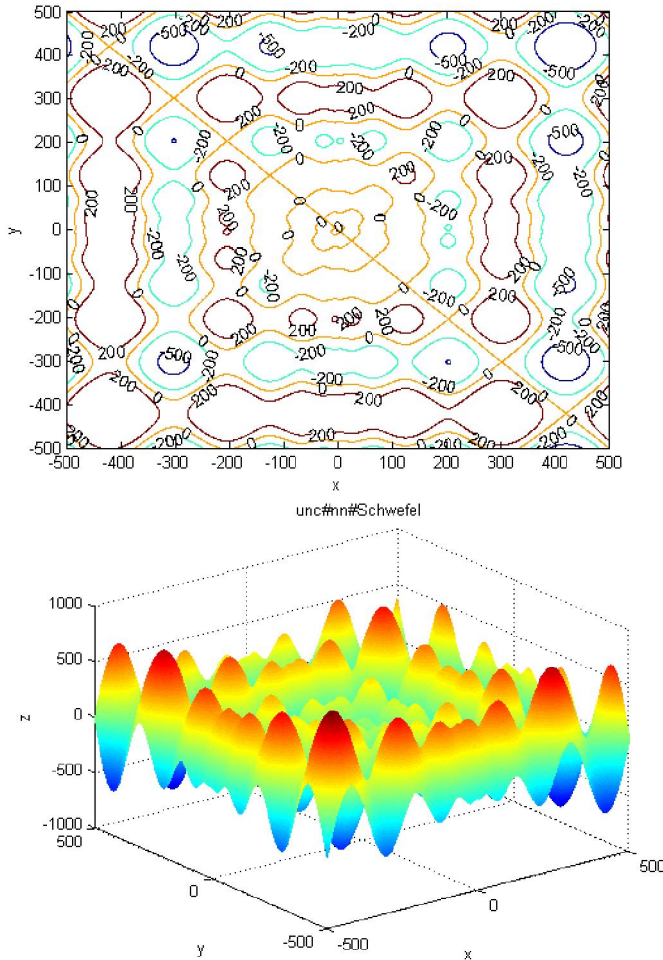
3.3.3.2. Test uygulama 7

Son uygulamada aşağıdaki n değişkenli (n=5) minimizasyon problemi çözülmüştür. Fonksiyonun iki değişkenli hali için grafiği Şekil 3.25’te verilmiştir. Bu fonksiyonda

istenilen sayıda değişkenli olabilmektedir. Ancak her durumda $x_i = 420.9687$ ($i=1.....n$) çözüm noktası olmakta $f(x)_{\min} = -n \cdot 418.9829$ ($n=5$ için 2094.9145) olmaktadır.

$$f(x) = \sum_{i=1}^n -x_i \sin(\sqrt{|x_i|})$$

$$-500 \leq x_i \leq 500$$



Şekil 3.25 Test uygulama 7 için kullanılan fonksiyonun grafiği

Problem için Şekil 3.26'da verilen parametreler kullanılarak çözüm yapılmış ve elde edilen yakınsama grafiği Şekil 3.27'de verilmiştir. Programın çalıştırılması sonucunda minimum değerin olduğu nokta $x = (-420.968934, -421.8758792)$ için $-f(x) = 2094.810558$ olarak bulunmuştur (Şekil 3.27). Bu nokta aynı zamanda problemin teorik çözümüdür.

GALIQ

Popülasyon Büyüklüğü: 200

Mutasyon Olasılığı: 0,1

Çaprazlama Oranı: 0,6

Seçim Şekli: Rulet Tekeri

Min. Nesil Sayısı: 400

Elit Oranı: 0,02

Max. Kitle İmha: 25

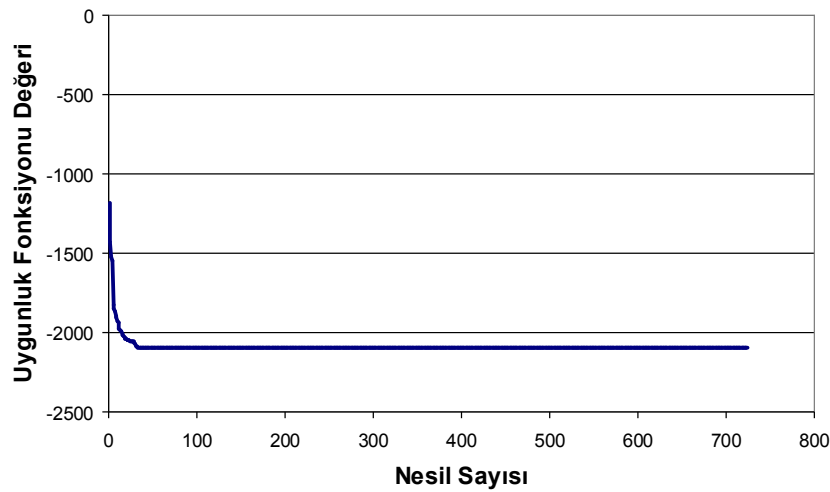
İmha Elit Oranı: 0,01

Hesapla

Sonuçları Gönder

Değişken No	Alt Sınır	Üst Sınır	Hassasiyet
1	-500	500	0.001
2	-500	500	0.001
3	-500	500	0.001
4	-500	500	0.001
5	-500	500	0.001

Şekil 3.26 Test uygulama 7 çözümü için kullanılan GA parametreleri



Şekil 3.27 Test uygulama 7 için yakınsama grafiği

Her iki uygulamada da program çözümü başarılı olmuş ve programın güvenle kullanılabileceğini göstermiştir.

3.4. En İyi Parametre Setinin Belirlenmesi

En uygun parametrelerin belirlenmesi için 2 GB RAM belleği olan ve 2.93 Ghz hızında çift işlemcili standart bir masaüstü bilgisayarda modeller çalıştırılmıştır. Varyans Analizi (ANOVA) testinin uygulanarak en iyi parametre setinin belirlenebilmesi için farklı parametre değerleri kullanılarak her bir modeli ortalama 70

saat süren toplam 30 model çalıştırılmıştır. Bu modellerde kullanılan parametre değerleri Tablo 3.1’de özetlenmiştir.

Tablo 3.1 En iyi parametre setinin belirlenmesinde kullanılan değerler

<i>Parametre</i>	<i>Kullanılan Değerler</i>
Deney Tekrar Sayısı	5
Kromozom sayısı	125
Çaprazlama Yöntemi	Uniform
Çaprazlama Oranı (%)	20-40-60-80
Kromozom seçim yöntemi	Rulet Tekeri
Mutasyon yöntemi	Yerine koyma
Mutasyon yüzdesi	0,5-1,0-5,0-10,0

Tablo 3.1’de belirtilen parametre değerleri kullanılarak 5 tekrarlı deneylerin yapılmasının ardından, en iyi ortalama uygunluk değerine sahip 5 parametre seti seçilerek Tekyönlü Varyans Analizi (TANOVA) gerçekleştirilmiştir. Seçilen parametre setleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir. İlk sütundaki “Parametre Seti” ifadesi o parametre grubu ile çalıştırılan modellere karşılık gelmektedir. Özdamar (2004), Tekyönlü Varyans Analizini, normal dağılım gösteren k toplumdaki alınan k bağımsız grup denemelerinden elde edilen nicel verilerin analizinde yararlanılan bir yöntem olarak tarif etmektedir. Bu analiz k grup ortalamalarının birbirine eşitliğini test eder.

Tablo 3.2 ANOVA testi için seçilen parametre grupları

<i>Parametre Seti</i>	<i>Uygunluk</i>	<i>İstatistikî Analizdeki Deney Numarası</i>	<i>Parametre Seti</i>	<i>Uygunluk</i>	<i>İstatistikî Analizdeki Deney Numarası</i>
S1M14	4,8870	1	S1M3	5,0693	4
S1M14	4,3588	1	S1M3	4,8535	4
S1M14	4,4470	1	S1M3	6,0077	4
S1M14	3,5217	1	S1M3	4,7063	4
S1M14	4,0226	1	S1M3	4,8920	4
S3M16	1,8595	2	S2M15	2,6290	5
S3M16	2,5176	2	S2M15	2,6027	5
S3M16	2,6039	2	S2M15	2,6170	5
S3M16	2,4244	2	S2M15	2,8555	5
S3M16	3,1823	2	S2M15	2,9385	5
S4M6	2,2487	3			
S4M6	2,9210	3			
S4M6	4,4370	3			
S4M6	2,6640	3			
S4M6	3,7060	3			

3.4.1. Normallik testi

Tek yönlü ANOVA’da, k toplumun $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ ortalamalı ve ortak σ^2 varyanslı normal dağılım gösterdiği varsayımı kabul edilir. Tek yönlü varyans analizini verilere uygulamadan önce grup verilerinin normal dağılım gösterip göstermediği normallik testlerinden uygun birisi ile (Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk, KS tek örnek vb.) test edilmelidir (Özdamar, 2004). Veri analizi için SPSS 16 paket programı kullanıldığı için bu testlerden Kolmogorov-Smirnov testi kullanılmıştır. Yapılan normallik testlerinin sonuçları Tablo 3.3’te verilmiştir. Bütün parametre gruplarında anlamlılık değeri 0,05’ten büyük olduğu için veriler normal dağılıma sahiptir.

Tablo 3.3 Normallik testi sonuçları

Deney no	Kolmogorov-Smirnov (a)		
	İstatistik	df	Anlamlılık
1	0,187	5	0,200
2	0,227	5	0,200
3	0,223	5	0,200
4	0,328	5	0,084
5	0,337	5	0,065

3.4.2. F testi

ANOVA sonuçları, SPSS çıktı sayfasında ANOVA tablosu ile gösterilir. Tek yönlü ANOVA’da toplam varyasyon iki bileşen halinde bölümlendirilir. Gruplar arası, grup ortalamaların genel ortalama etrafında değişimini ifade eder. Grup içi ise, ilgili grup içerisinde yer alan her bir değer için grup ortalaması etrafındaki çeşitliliğini ifade eder. Tabloda yer alan “Anlamlılık” ifadesi yapılan F testinin anlamlılık düzeyini göstermektedir. Küçük anlamlılık değerleri ($<0,05$) gruplar arasında farklılığın bulunduğunu gösterir. Tablo 3.4’ten de görüleceği üzere, Anlamlılık $< 0,05$ olduğu için “en az 1 parametre grubunun bulunduğu alan diğerlerinden farklıdır” denir.

Tablo 3.4 F-test istatistiği sonuçları

	Kareler toplamı	df	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
Gruplar arası	23,865	4	5,966	19,346	,000
Grup içi	6,168	20	0,308		
Toplam	30,033	24			

3.4.3. Çoklu karşılaştırma testleri

Varyans analizi sonucunda F test istatistiği “önemli düzeyde farklılık var” şeklinde çıkmışsa, hangi grup ortalamasının farklı olduğunu belirlemek ve ortalamaları farklı olan grupları bulmak için çoklu karşılaştırma testleri gerçekleştirilir. SPSS içerisinde yer alan testlerden Tukey HSD testi çoklu karşılaştırma testi olarak seçilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucu ortaya çıkan gruplar Tablo 3.5’te verilmiştir. 5 parametre seti 2 gruba ayrılmıştır. 2, 3 ve 5 numaralı parametre setleri 1. grupta yer alırken 1 ve 4 numaralı parametre setleri 2. grupta yer almaktadır.

Tablo 3.5 Çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Deney no	N Alfa = 0,05 için alt gruplar	
		1	2
Tukey HSD (a)	2	5	2,5175
	5	5	2,7285
	3	5	3,1953
	1	5	4,2474
	4	5	5,1058
Anlamlılık		0,335	0,144

S3M16 modeline ait parametre değerleri Tablo 3.6’da verilmiştir. En iyi parametre setinin belirlenmesinin ardından, diğer modeller, ilgili GA parametreleriyle denenmiştir.

Tablo 3.6 Kullanılacak GA parametreleri

Popülasyon Büyüklüğü	125
Çaprazlama Yöntemi	Uniform
Çaprazlama Oranı	%20
Mutasyon Yöntemi	Yerine koyma
Mutasyon Oranı	%10
Elitizm Oranı	%1
Aile Seçim Metodu	Rulet tekeri

3.5. CPT Verileri ve GALIQ ile Model Geliştirilmesi

3.5.1. CPT verileri

Bu doktora çalışması kapsamında mümkün olduğunca çok sayıda arazi ve laboratuvar deney parametresi içeren CPT verileri derlenmiştir (Youd ve Bennet 1983, Arulanandan vd 1986, Shibata ve Teparaksa 1988, Bennett 1989, 1990, Tuttle vd 1990, Kayen vd 1992, Charlie vd 1994, Mitchell vd 1994, Suzuki vd 1995, Stark ve Olson 1995, Boulanger vd 1997, Toprak vd 1999, Olson 2001). Düzenlenen veri tabanı hataların bir gruba (sıvılaştıran zeminler veya sıvılaşmayan zeminler) yığılmaması için

eşit sayıda sınılaşan ve sınılaşmayan durum içeren 242 adet veriyi içermektedir. Bu verilerden rastgele olarak yine eşit sayıda 200 adet sınılaşma olan ve olmayan saha verisi eğitim için ayrılmıştır. Geriye kalan 42 adet veri ise geliştirilen formülün test edilmesi için ayrılmıştır. Eğitim için ayrılan veri seti Ek-1’de ve test verileri ise Ek-2’de yer almaktadır.

GA ile model geliştirilmesi için kullanılan veri tabanında yer alan parametrelerin maksimum ve minimum değerleri Tablo 3.7’de verilmiştir. Geliştirilen modellerin kullanımında GA ve diğer yapay zeka yöntemlerine dayanan modellerin geliştirildikleri veri yapıları için geçerli sonuçlar verdiği hatırdan çıkarılmamalıdır.

Tablo 3.7 GA çözümlerinde kullanılan parametrelerin minimum ve maksimum değerleri

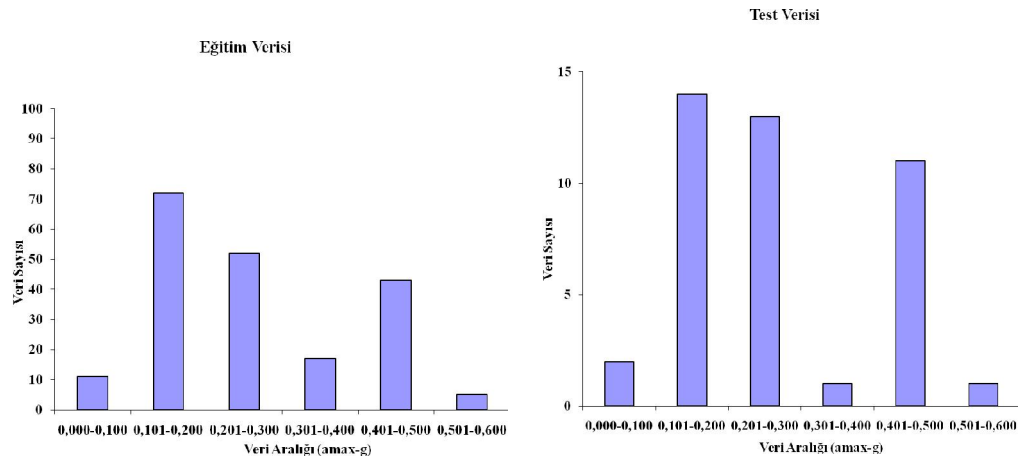
	a_{max} (g)	σ_{v0} (kPa)	σ'_{v0} (kPa)	q_{c1} (kPa)	D_{50} (mm)	YASS (m)	z (m)	C_q	r_d	SSSSR	SSSSR _{7.5}	q_c (MPa)	σ_{v0}/σ'_{v0}	YASS/z
Min	0.100	16,7	13,9	440	0,016	0,2	0,9	0,590	0,820	0,080	0,080	0,379	1,00	0,017
Maks	0.600	296,3	227,5	34870	0,480	8,4	15,1	1,920	0,990	0,520	0,460	26,022	2,48	1,00

Tablo 3.8’de, bu çalışmada kullanılan CPT tabanlı verilerin literatürden elde edilen kaynakları, veri sayısı ve depremlere ait ayrıntılı bilgi verilmiştir.

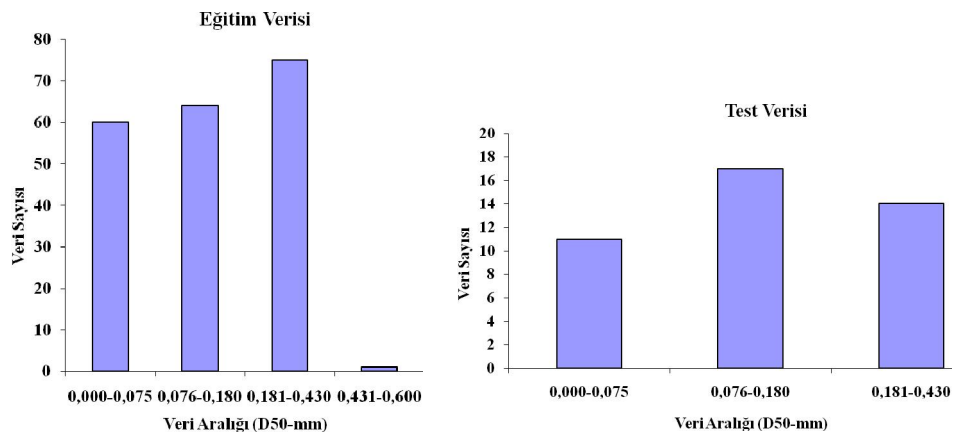
Tablo 3.8 CPT tabanlı tüm verilerin dağılımı

<i>Deprem</i>	<i>Magnitüd (M)</i>	<i>CPT veri sayısı</i>	<i>Kaynak</i>	<i>Kaynak no</i>
1975 Haicheng Depremi	7,3	10	Arulanandan vd 1986	1
1971 San Fernando Valley Depremi	6,4	54	Bennett 1989	2
1989 Loma Prieta Depremi	7,1	24	Bennett 1990	3
1989 Loma Prieta Depremi	7,1	6	Charlie vd 1994	4
1989 Loma Prieta Depremi	7,1	27	Kayen vd 1992; Mitchell vd 1994	5-6
1983 Nihonkai-Cho Depremi	7,7	5	Olson 2001	7
1983 Nihonkai-Cho Depremi	7,7	3	Stark ve Olson 1995	8
1964 Niigata Depremi, 1976 Tangshan Depremi, 1977 Vrancea Depremi	7,5; 7,8; 7,2;	91	Shibata ve Teparaksa 1988	9
1988 Saguenay Depremi	5,9	13	Tuttle vd 1990	10
1979 Imperial Valley Depremi	6,6	9	Youd ve Bennett 1983	11

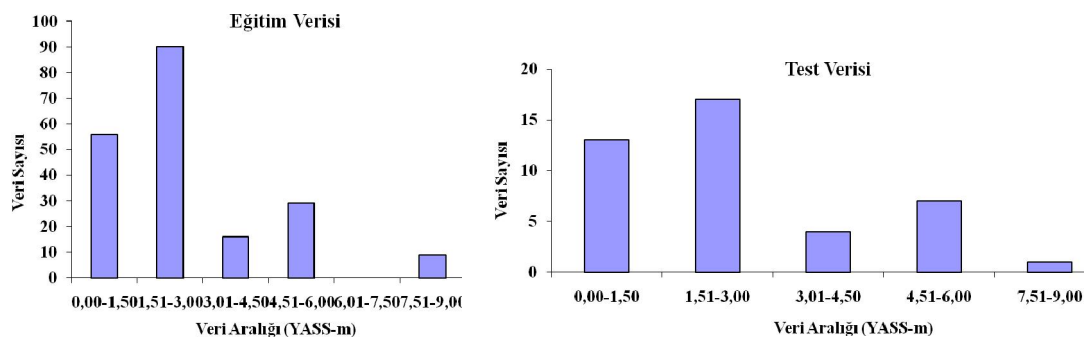
Şekil 3.28-31’de veritabanında yer alan sınılaşma parametrelerinin dağılımı görülmektedir. Genel olarak eğitim ve test verileri arasındaki parametrik dağılımın düzenli olduğu görülmektedir.



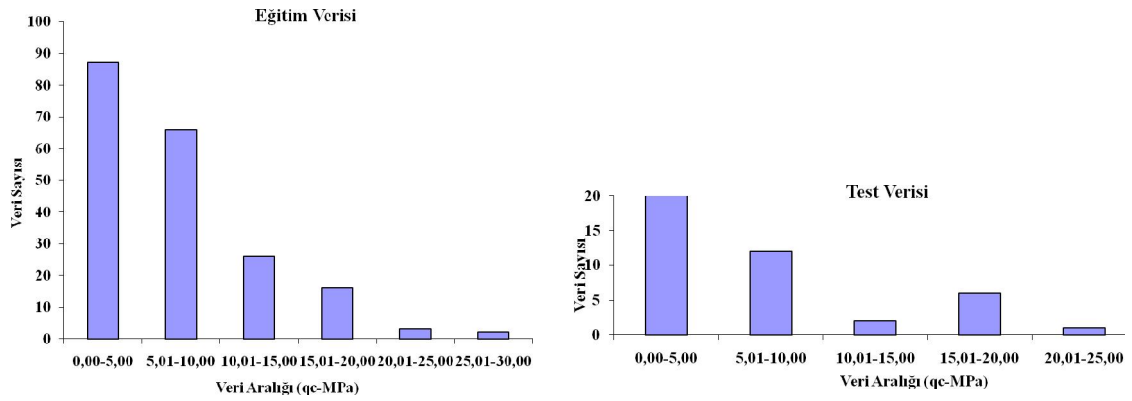
Şekil 3.28 a_{max} değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı



Şekil 3.29 D_{50} değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı



Şekil 3.30 YASS değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı



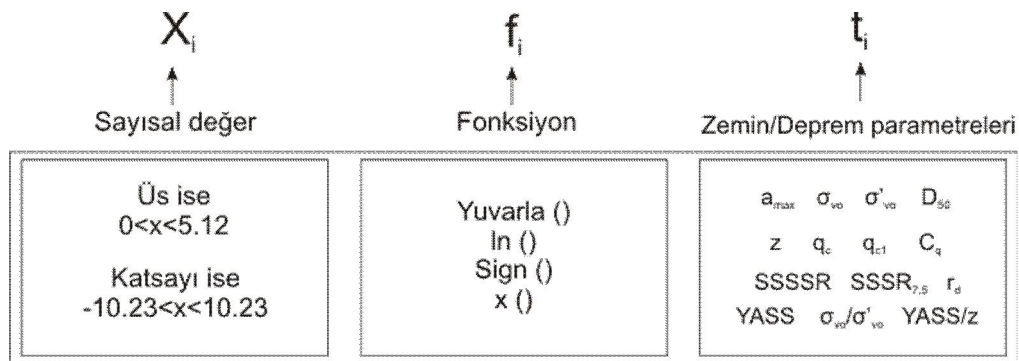
Şekil 3.31 q_c değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı

3.5.2. GA parametreleri

Veri tabanı kullanılarak sıvılaşma indeksi tahmini GALIQ ile gerçekleştirilmiştir. Bunun için Denklem 3.1'de verilen fonksiyon şablonuna uygun SI tahmin fonksiyonları GA kodu tarafından üretilmiştir.

$$X_0 + X_1 \cdot f_1(t_1^{x_2}) + X_3 \cdot f_2(t_2^{x_4}) + X_5 \cdot f_3(t_3^{x_6}) + X_7 \cdot f_4(t_4^{x_8}) \cdot f_5(t_5^{x_9}) + X_{10} \cdot f_6(t_6^{x_{11}}) \cdot f_7(t_7^{x_{12}}) + X_{13} \cdot f_8(t_8^{x_{14}}) \cdot f_9(t_9^{x_{15}}) + X_{16} \cdot f_{10}(t_{10}^{x_{17}}) \cdot f_{11}(t_{11}^{x_{18}}) \cdot f_{12}(t_{12}^{x_{19}}) \quad (3.1)$$

Oluşturulan şablonda yer alan X_i değişkenleri GALIQ tarafından belirlenen denklem katsayı ve üslerini; f_i değişkenleri GALIQ tarafından belirlenen önceden tanımlanan fonksiyonları; t_i değişkenleri ise GALIQ tarafından belirlenen zemin/deprem parametrelerini ifade etmektedir. Şekil 3.32'de X_i , f_i ve t_i değişkenlerinin alabileceği değerler gösterilmiştir.



Şekil 3.32 X_i , f_i ve t_i değişkenlerinin alabileceği değerler

Burada, yuvarla fonksiyonu, aldığı parametreyi en yakın tam sayıya yuvarlama işlemini yapmaktadır. Kullanılan $\ln()$ fonksiyonu ise, $\ln = (x^2 + 1)$ işlemini gerçekleştirmektedir. $\text{Sign}()$ fonksiyonu, işaret fonksiyonunu döndürmektedir yani negatif değerleri -1, pozitif değerleri +1, sıfır ise 0 döndürmektedir. $x()$ fonksiyonu ise, fonksiyonun kendi değerini ifade etmektedir.

Verilen şablona uyan SI fonksiyonlarının üretilmesi için Denklem 3.2 ve 3.3'te verilen uygunluk fonksiyonları ($UF1$, $UF2$) kullanılmıştır. Kullanılan veritabanında tahmin edilmek istenen çıktı değerleri 1 (sıvılaşma var) ve 0 (sıvılaşma yok) şeklinde verilmiştir. $UF1$ ile SI fonksiyonu tahminlerinin mümkün olduğunca 1 ve 0 değerlerine yaklaşması hedeflenmiştir. Bu amaçla tüm veriler için tahmin edilen SI değeri ile gerçekleşen 1 veya 0 değeri arasındaki mutlak farklar toplanarak toplam mutlak hata elde edilmiştir.

$$\text{minimizasyon } UF1 = \sqrt{\sum_{i=1}^{200} (f_{i,\text{gerçek}} - f_{i,\text{tahmin}})^2} \quad (3.2)$$

İkinci uygunluk fonksiyonu için ise tahminlerin mutlaka 1 ve 0 olması gerekliliği ortadan kaldırılarak farklı bir yaklaşım benimsenmiştir. Buna göre hesaplanan SI değerlerinin 0,5'ten küçük olması sıvılaşma olmadığı, 0,5'ten büyük olması ise sıvılaşma olduğunu göstermektedir. Bu uygunluk fonksiyonunda toplam mutlak hatanın hesaplanması için sadece yanlış tahmin edilen değerler toplama dahil edilmektedir. Doğru tahminler 1 veya 0 değerinden farklı bile olsa hataya dahil edilmemektedir. Böylece doğru tahminlerin daha da iyileştirilmesinden çok yanlış tahminler doğru tarafa çekilmeye çalışılmıştır.

$$\text{minimizasyon } UF2 = \sqrt{\sum_{i=1}^{200} p_i \cdot (f_{i,\text{gerçek}} - f_{i,\text{tahmin}})^2} \quad (3.3)$$

$$p_i = 0 \quad (f_{i,\text{gerçek}} = 1 \vee f_{i,\text{tahmin}} \geq 0.5) \wedge (f_{i,\text{gerçek}} = 0 \vee f_{i,\text{tahmin}} < 0.5)$$

$$p_i = 1 \quad (f_{i,\text{gerçek}} = 0 \vee f_{i,\text{tahmin}} \geq 0.5) \wedge (f_{i,\text{gerçek}} = 1 \vee f_{i,\text{tahmin}} < 0.5)$$

Sıvılaşma indeksinin belirlenmesine yönelik CPT tabanlı çalışmalarda toplam 4 farklı seri (S1, S2, S3, S4) ve iki farklı uygunluk fonksiyonu ($UF1$, $UF2$) denenmiştir (Tablo 3.9). Her seride 16 farklı model çalıştırılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. $UF1$ ve $UF2$ uygunluk fonksiyonları ile geliştirilen modellerin GA çözümlerinde kullanılan parametreler Tablo 3.10'da verilmiştir. GA'nın seçim operatörü olarak,

uygunluk değeri yüksek olan bireylerin seçilme şansını artıran rulet tekerleği kullanılmıştır. Burada seçme ilkesi bir çarkın döndürülmesi ve rastgele olarak herhangi bir dilimde durmasının beklenmesi esasına dayanmaktadır.

Tablo 3.9 GA modelleri için çalıştırılan seriler

Seriler	Populasyon	Uygunluk Fonksiyonu	Çaprazlama
S1	Sabit (125)	<i>UF1</i>	Tek nokta
S2	Sabit (125)	<i>UF2</i>	Tek nokta
S3	Sabit (125)	<i>UF2</i>	Rastgele
S4	Azalan	<i>UF2</i>	Rastgele

Tablo 3.10 Tüm serilerde çalıştırılan modeller

Model adı	Popülasyon Sayısı	Mutasyon Olasılığı (%)	Çaprazlama Oranı (%)
M1	125	0,5	80
M2	125	0,5	60
M3	125	0,5	40
M4	125	0,5	20
M5	125	5,0	80
M6	125	5,0	60
M7	125	5,0	40
M8	125	5,0	20
M9	125	1,0	80
M10	125	1,0	60
M11	125	1,0	40
M12	125	1,0	20
M13	125	10,0	80
M14	125	10,0	60
M15	125	10,0	40
M16	125	10,0	20

3.6. SPT Verileri ve GALIQ ile Model Geliştirilmesi

3.6.1. SPT verileri

Bu doktora çalışması kapsamında, SPT tabanlı verilerden derlenen mümkün olduğunca çok saha verisi ve deney parametresi içeren veriler ilgili kaynaklardan derlenmiştir (Hryciw vd 1990, Ishihara vd 1993, Tokimatsu vd 1994, Saka 1998, Toprak vd 1999, Hwang ve Yang 2001, Olson 2001, Andrus vd 2004, Cavus 2004, Cetin vd 2004c, Ulusay vd 2004, Lai vd 2005, Li 2006, Hanna vd 2007, Lee vd 2007). Düzenlenen veri tabanı hataların bir gruba (sıvılaştan zeminler veya sıvılaştmayan zeminler) yığılması için eşit sayıda sıvılaştan ve sıvılaştmayan durum içeren 154 adet

veriyi içermektedir. Bu verilerden rastgele olarak yine eşit sayıda sınıflaşma olan ve olmayan saha verisi eğitim için ayrılmıştır. Eğitim veri tabanının içerdiği veri sayısı 120'dir. Geriye kalan 34 adet veri ise geliştirilen formülün test edilmesi için ayrılmıştır. Eğitim için ayrılan veri seti Ek-3'te ve test verileri ise Ek-4'te yer almaktadır.

Geliştirilen modellerin GA çözümlerinde kullanılan parametrelerin minimum ve maksimum değerleri Tablo 3.11'de verilmiştir. GA'nın seçim operatörü olarak rulet tekerleği kullanılmıştır.

Tablo 3.11 GA çözümlerinde kullanılan parametrelerin minimum ve maksimum değerleri

	<i>SPT-N</i>	σ_{vo} (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	<i>YASS</i> (m)	<i>z</i> (m)	a_{max} (g)	M_w	<i>İTO</i> (%)	<i>D</i> ₅₀ (mm)	$\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}$	$\frac{YASS}{z}$
<i>Minimum</i>	1	28.2	28.2	0.1	1.50	0.100	5.5	0.0	0.080	1.000	0.10
<i>Maksimum</i>	32	190.0	155.9	8.2	10.00	0.840	8.3	47.0	1.600	2.111	1.00

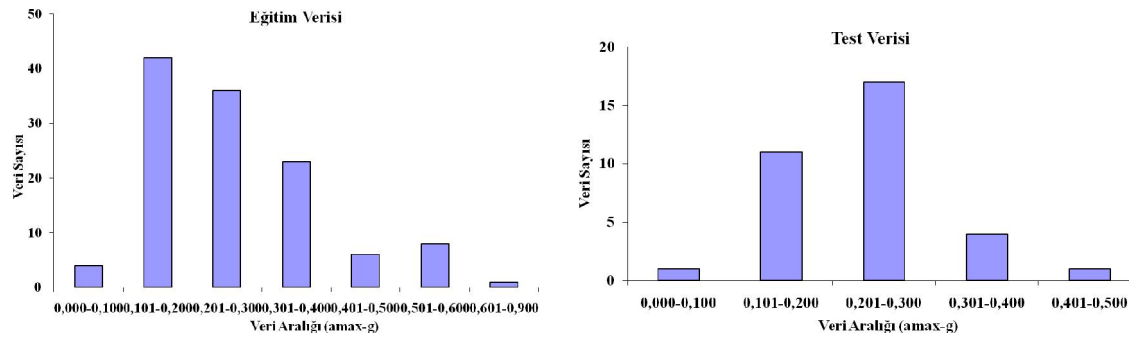
Tablo 3.12'de, bu çalışmada kullanılan SPT tabanlı verilerin literatürden elde edilen kaynakları, veri sayısı ve depremlere ait ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Tablo 3.12 SPT tabanlı tüm verilerin dağılımı

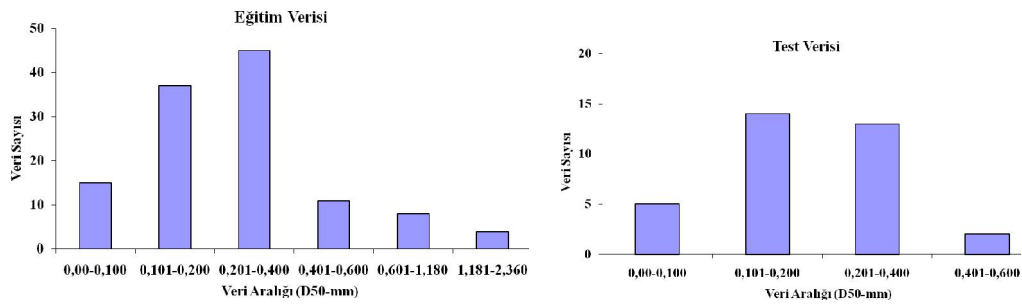
<i>Deprem</i>	<i>Magnitüd</i> (<i>M</i>)	<i>SPT veri</i> sayısı	<i>Kaynak</i>	<i>Kaynak</i> no
1971 San Fernando Depremi	6,6	5	Toprak vd 1999	2
1979 Imperial Valley Depremi	6,5	9	Toprak vd 1999	2
1987 Superstition Hills Depremi	6,6	10	Toprak vd 1999	2
1989 Loma Prieta Depremi	6,9	50	Toprak vd 1999	2
1994 Northridge Depremi	6,7	5	Toprak vd 1999	2
Alaska Depremi	8,3	1	Saka 1998	1
Fukui Depremi	7,3	6	Saka 1998	1
ImpVal Depremi	6,6	4	Saka 1998	1
Kanto Depremi	7,9	4	Saka 1998	1
Mino Depremi	7,9	4	Saka 1998	1
Miyaki Depremi	6,7	14	Saka 1998	1
Miyaki Depremi	7,4	24	Saka 1998	1
Niigata Depremi	7,5	10	Saka 1998	1
SanF.	5,5	1	Saka 1998	1
SanFe.	6,6	1	Saka 1998	1
Tohnank	8,0	2	Saka 1998	1
Tokach	7,9	4	Saka 1998	1

Şekil 3.33-36'da veritabanında yer alan SPT tabanlı sınıflaşma potansiyeli hesabında kullanılan parametrelerin dağılımı görülmektedir. Genel olarak eğitim ve test verileri arasındaki parametrik dağılımın düzenli olduğu görülmektedir. Ancak YASS'a ait

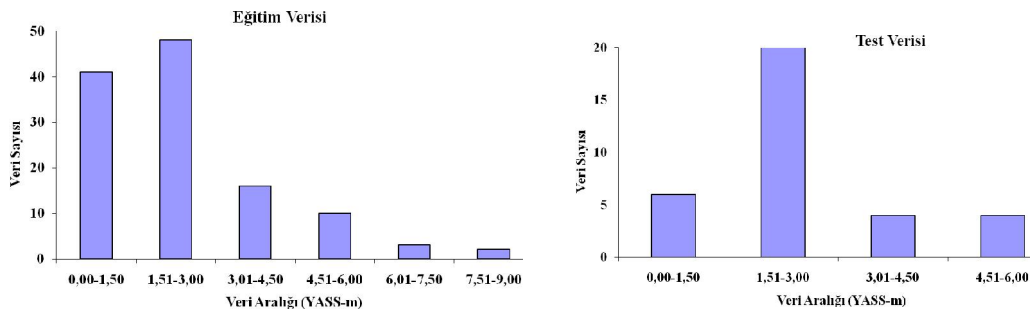
dağılım incelendiğinde 0-1,5m arasındaki eğitim verilerinin test verilerine oranla daha fazla sayıda olduğu görülmektedir (Şekil 3.35).



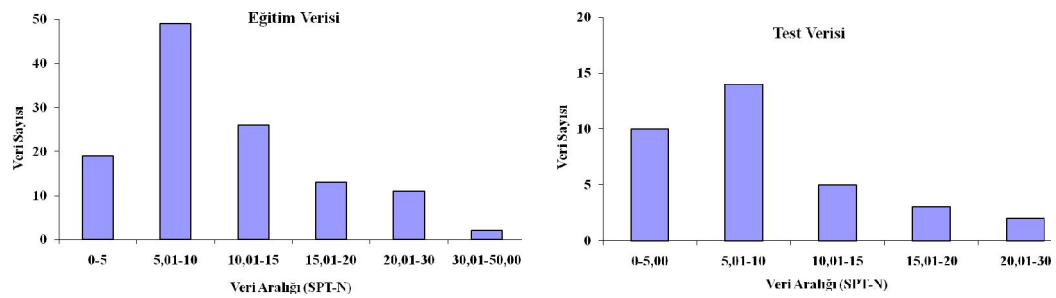
Şekil 3.33 a_{max} değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı



Şekil 3.34 D_{50} değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı



Şekil 3.35 YASS değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı

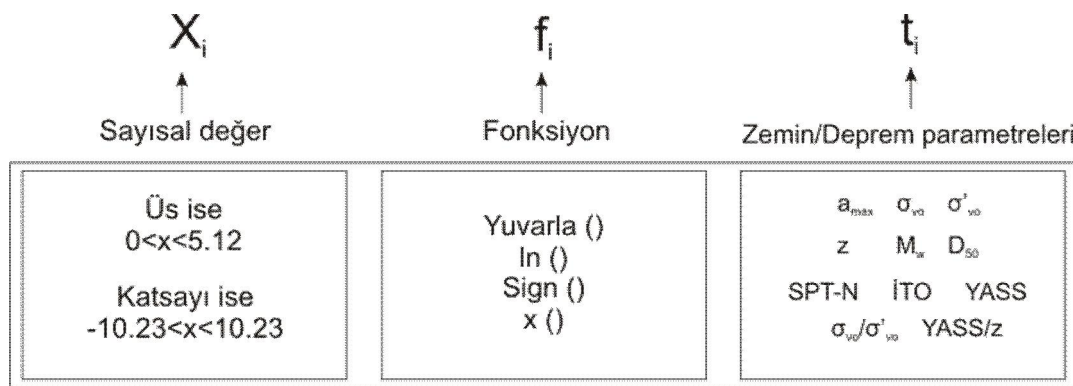


Şekil 3.36 SPT-N değerlerinin eğitim ve test veritabanlarında dağılımı

3.6.2. GA parametreleri

Veri tabanı kullanılarak sıvılaşma indeksi tahmini GALIQ ile gerçekleştirilmiştir. Bunun için Denklem 3.1’de verilen fonksiyon şablonuna uygun SI tahmin fonksiyonları GA kodu tarafından üretilmiştir.

Oluşturulan şablonda yer alan X_i değişkenleri GALIQ tarafından belirlenen denklem katsayı ve üslerini; f_i değişkenleri GALIQ tarafından belirlenen önceden tanımlanan fonksiyonları; t_i değişkenleri ise GALIQ tarafından belirlenen zemin/deprem parametrelerini ifade etmektedir. Şekil 3.37’te X_i , f_i ve t_i değişkenlerinin alabileceği değerler gösterilmiştir.



Şekil 3.37 X_i , f_i ve t_i değişkenlerinin alabileceği değerler

Bu şablona uyan SI fonksiyonlarının üretilmesi için Denklem 3.4 ve 3.5’de verilen uygunluk fonksiyonları ($UF1$, $UF2$) kullanılmıştır. Kullanılan veritabanında tahmin edilmek istenen çıktı değerleri 1 (sıvılaşma var) ve 0 (sıvılaşma yok) şeklinde verilmiştir. $UF1$ ile SI fonksiyonu tahminlerinin mümkün olduğunca 1 ve 0 değerlerine yaklaşması hedeflenmiştir. Bu amaçla tüm veriler için tahmin edilen SI değeri ile gerçekleşen 1 veya 0 değeri arasındaki mutlak farklar toplanarak toplam mutlak hata elde edilmiştir.

$$\text{minimizasyon } UF1 = \sqrt{\sum_{i=1}^{120} (f_{i,\text{gerçek}} - f_{i,\text{tahmin}})^2} \quad (3.4)$$

İkinci uygunluk fonksiyonu için ise tahminlerin mutlaka 1 ve 0 olması gerekliliği ortadan kaldırılarak farklı bir yaklaşım benimsenmiştir. Buna göre hesaplanan SI değerlerinin 0,5’ten küçük olması sıvılaşma olmadığı, 0,5’ten büyük olması ise sıvılaşma olduğunu göstermektedir. Bu uygunluk fonksiyonunda toplam mutlak hatanın

hesaplanması için sadece yanlış tahmin edilen değerler toplama dahil edilmektedir. Doğru tahminler 1 veya 0 değerinden farklı bile olsa hataya dahil edilmemektedir. Böylece doğru tahminlerin daha da iyileştirilmesinden çok yanlış tahminler doğru tarafa çekilmeye çalışılmıştır.

$$\text{minimizasyon } UF2 = \sqrt{\sum_{i=1}^{120} p_i \cdot (f_{i,\text{gerçek}} - f_{i,\text{tahmin}})^2} \quad (3.5)$$

$$p_i = 0 \quad (f_{i,\text{gerçek}} = 1 \vee f_{i,\text{tahmin}} \geq 0.5) \wedge (f_{i,\text{gerçek}} = 0 \vee f_{i,\text{tahmin}} < 0.5)$$

$$p_i = 1 \quad (f_{i,\text{gerçek}} = 0 \vee f_{i,\text{tahmin}} \geq 0.5) \wedge (f_{i,\text{gerçek}} = 1 \vee f_{i,\text{tahmin}} < 0.5)$$

Sıvılaşma indeksinin belirlenmesine yönelik SPT tabanlı çalışmalarda 2 farklı seri (S1, S2) ve iki farklı uygunluk fonksiyonu ($UF1$, $UF2$) denenmiştir (Tablo 3.13) Her seride 16 farklı model çalıştırılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. $UF1$ ve $UF2$ uygunluk fonksiyonları ile geliştirilen modellerin GA çözümlerinde kullanılan parametreler Tablo 3.14'te verilmiştir. GA'nın seçim operatörü olarak rulet tekerleği seçimi kullanılmıştır.

Tablo 3.13 GA modelleri için çalıştırılan seriler

Seriler	Popülasyon	Uygunluk Fonksiyonu	Çaprazlama
S1	Sabit (125)	UF1	Tek nokta
S2	Sabit (125)	UF2	Rastgele

Tablo 3.14 Serilerde çalıştırılan modeller

Model adı	Popülasyon Sayısı	Mutasyon Olasılığı (%)	Çaprazlama Oranı (%)
M1	125	0,5	80
M2	125	0,5	60
M3	125	0,5	40
M4	125	0,5	20
M5	125	5,0	80
M6	125	5,0	60
M7	125	5,0	40
M8	125	5,0	20
M9	125	1,0	80
M10	125	1,0	60
M11	125	1,0	40
M12	125	1,0	20
M13	125	10,0	80
M14	125	10,0	60
M15	125	10,0	40
M16	125	10,0	20

4. CPT TABANLI GA ÇÖZÜMLERİ

UF1 ve *UF2* uygunluk fonksiyonları ile geliştirilen modeller ve çalıştırılan farklı serilere ait değerlendirmeler aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.1. GA Çözümleri

UF1 uygunluk fonksiyonu ile çok sayıda model geliştirilmiştir. Ancak burada en iyi sonucu veren (Hata oranı %50'den az olan) modeller seçilerek verilmiştir. S1 setine ait model parametreleri Tablo 4.1'de, model fonksiyonları Tablo 4.2'de, model katsayı ve üsleri ise Tablo 4.3'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu modellerden S1M6, S1M7, S1M13, S1M14 ve S1M15 eğitim verileri için %25'ten daha az hata içermektedir. Eğitim verilerinde en az hatayı veren model S1M7 olmasına rağmen OKHK'sine göre ise en iyi performansa sahip modelin S1M14 olduğu görülmektedir. Test verilerinde ise en az hatayı veren model S1M7 olmasına rağmen OKHK'ye göre en iyi performansa sahip modelin S1M15 olduğu görülmektedir. Bütün bu veriler göz önüne alındığında OKHK'ye göre en iyi performansa sahip model S1M14'tür.

UF2 uygunluk fonksiyonu kullanılarak üç set halinde çok sayıda modeller geliştirilmiştir. Bu modellerden S2 setine ait model parametreleri Tablo 4.4'te, model fonksiyonları Tablo 4.5'te, model katsayı ve üsleri ise Tablo 4.6'da ayrıntılı olarak verilmiştir. S3 setine ait model parametreleri Tablo 4.7'de, model fonksiyonları Tablo 4.8'de, model katsayı ve üsleri ise Tablo 4.9'da ayrıntılı olarak sunulmuştur. S4 setine ait model parametreleri Tablo 4.10'da, model fonksiyonları Tablo 4.11'de, model katsayı ve üsleri ise Tablo 4.12'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

UF1 ve *UF2*'ye bağlı olarak çalıştırılan setlere ait model performansları ise, bu modellerin %50'den az hata veren ve en iyi sonuç almanlar seçilerek Tablo 4.13-16'da ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu modellerden S2M1, S2M5, S2M8, S2M13, S2M14, S2M15, S2M16 eğitim verileri için %15'ten daha az hata içermektedir. Burada en az hata (13 adet-%6,5) içeren model S2M15'tir. Test verilerine bakıldığında aynı hata oranına sahip (3 adet-%7,1) S2M5 ve S2M8 modelleri dikkat çekmektedir. Eğitim

verilerinin OKHK oranları dikkate alındığında en iyi performansa sahip model S2M5 iken test verilerinde ise S2M14'tür. Bütün bu veriler birlikte değerlendirildiğinde ilk set için en iyi OKHK performansı S2M5 modelindedir.

UF2 kullanılarak geliştirilen ikinci set için çalıştırılan modeller incelendiğinde, S3M16 eğitim, test ve OKHK parametrelerine göre en iyi performansı gösterdiği görülmüştür. Ayrıca S3M16, özellikle test verilerinde hiç hata yapmadan hepsinde gerçek sonuca ulaşmıştır.

UF2 kullanılarak geliştirilen üçüncü set için çalıştırılan modeller incelendiğinde, S4M2, S4M6, S4M8, S4M11, S4M12, S4M13 ve S4M14 eğitim verileri için %15'ten az hata içeren modeller olarak görülmektedir. Test verilerinde ise S4M6, S4M7 ve S4M8 aynı hata oranına (%9,5) sahip modellerdir. OKHK değerlerine göre incelendiğinde ise eğitim için S4M6, test verileri için S4M8, tümü değerlendirildiğinde ise S4M6 en iyi performansa sahip modeldir.

Tablo 4.1 S1 ile elde edilen model parametreleri

Model adı	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t ₁₁	t ₁₂
S1M1	SSSR _{7.5}	σ_{vo}/σ'_{vo}	D ₅₀	z	SSSR _{7.5}	D ₅₀	z	r _d	σ'_{vo}	r _d	σ_{vo}/σ'_{vo}	D ₅₀
S1M2	a _{max}	SSSR _{7.5}	YASS/z	SSSR _{7.5}	r _d	a _{max}	D ₅₀	SSSSR	σ_{vo}/σ'_{vo}	σ_{vo}	r _d	D ₅₀
S1M3	r _d	D ₅₀	SSSR _{7.5}	z	SSSR _{7.5}	a _{max}	σ_{vo}/σ'_{vo}	σ_{vo}/σ'_{vo}	a _{max}	a _{max}	a _{max}	σ'_{vo}
S1M4	σ_{vo}/σ'_{vo}	1	C _q	a _{max}	YASS	r _d	YASS/z	D ₅₀	C _q	SSSR _{7.5}	C _q	SSSSR
S1M5	D ₅₀	a _{max}	σ'_{vo}	YASS/z	SSSSR	a _{max}	1	YASS/z	a _{max}	SSSR _{7.5}	r _d	C _q
S1M6	SSSSR	r _d	r _d	D ₅₀	YASS/z	q _c	σ_{vo}/σ'_{vo}	D ₅₀	YASS/z	SSSR _{7.5}	r _d	SSSSR
S1M7	1	q _c	r _d	z	1	σ'_{vo}	σ_{vo}/σ'_{vo}	SSSR _{7.5}	YASS/z	σ_{vo}/σ'_{vo}	a _{max}	D ₅₀
S1M8	SSSSR	SSSR _{7.5}	D ₅₀	YASS	SSSSR	SSSR _{7.5}	YASS/z	YASS	a _{max}	SSSSR	YASS	YASS/z
S1M9	SSSSR	D ₅₀	σ'_{vo}	SSSSR	1	SSSSR	a _{max}	r _d	YASS/z	r _d	SSSSR	a _{max}
S1M10	SSSR _{7.5}	a _{max}	SSSSR	a _{max}	SSSR _{7.5}	D ₅₀	YASS/z	D ₅₀	q _{c1}	σ_{vo}/σ'_{vo}	a _{max}	SSSSR
S1M11	q _c	r _d	a _{max}	q _c	SSSSR	r _d	SSSR _{7.5}	1	σ'_{vo}	SSSSR	a _{max}	YASS
S1M12	D ₅₀	SSSR _{7.5}	SSSR _{7.5}	SSSR _{7.5}	YASS	D ₅₀	q _{c1}	r _d	D ₅₀	D ₅₀	1	SSSR _{7.5}
S1M13	σ'_{vo}	SSSR _{7.5}	D ₅₀	SSSR _{7.5}	YASS/z	σ'_{vo}	q _c	r _d	SSSR _{7.5}	D ₅₀	D ₅₀	SSSSR
S1M14	q _c	1	1	a _{max}	a _{max}	SSSR _{7.5}	C _q	σ_{vo}/σ'_{vo}	D ₅₀	a _{max}		YASS
S1M15	r _d	C _q	1	C _q	q _c	r _d	σ_{vo}/σ'_{vo}	YASS/z	C _q	D ₅₀	r _d	σ_{vo}
S1M16	a _{max}	SSSR _{7.5}	YASS/z	1	q _{c1}	SSSR _{7.5}	C _q	SSSR _{7.5}	1	σ'_{vo}	YASS/z	a _{max}

Tablo 4.2 S1 ile elde edilen model fonksiyonları

Model adı	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	f ₇	f ₈	f ₉	f ₁₀	f ₁₁	f ₁₂
S1M1	Sign()	Sign()	yuvarla()	Sign()	x()	x()	Sign()	ln()	Sign()	Sign()	yuvarla()	ln()
S1M2	Sign()	x()	yuvarla()	x()	ln()	x()	Sign()	ln()	Sign()	Sign()	yuvarla()	ln()
S1M3	x()	x()	Sign()	x()	yuvarla()	x()	ln()	x()	ln()	yuvarla()	ln()	ln()
S1M4	ln()	Sign()	Sign()	ln()	Sign()	yuvarla()	Sign()	x()	ln()	x()	yuvarla()	x()
S1M5	x()	Sign()	Sign()	ln()	yuvarla()	ln()	ln()	Sign()	ln()	x()	yuvarla()	yuvarla()
S1M6	ln()	Sign()	x()	x()	yuvarla()	ln()	Sign()	yuvarla()	ln()	x()	Sign()	yuvarla()
S1M7	yuvarla()	x()	x()	Sign()	ln()	Sign()	Sign()	x()	x()	yuvarla()	ln()	x()
S1M8	yuvarla()	x()	Sign()	x()	ln()	x()	x()	Sign()	x()	ln()	yuvarla()	yuvarla()
S1M9	ln()	yuvarla()	Sign()	yuvarla()	yuvarla()	yuvarla()	x()	yuvarla()	Sign()	ln()	yuvarla()	x()
S1M10	x()	Sign()	Sign()	ln()	x()	ln()	yuvarla()	Sign()	Sign()	yuvarla()	ln()	Sign()
S1M11	Sign()	yuvarla()	yuvarla()	x()	ln()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	Sign()	yuvarla()	x()	Sign()
S1M12	yuvarla()	x()	Sign()	x()	x()	x()	yuvarla()	yuvarla()	ln()	x()	Sign()	yuvarla()
S1M13	Sign()	Sign()	x()	yuvarla()	ln()	Sign()	ln()	ln()	ln()	yuvarla()	Sign()	ln()
S1M14	ln()	ln()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	ln()	x()	ln()	x()	ln()	yuvarla()	yuvarla()
S1M15	yuvarla()	ln()	x()	x()	yuvarla()	yuvarla()	yuvarla()	x()	ln()	yuvarla()	yuvarla()	Sign()
S1M16	x()	ln()	x()	yuvarla()	Sign()	ln()	ln()	yuvarla()	ln()	x()	yuvarla()	ln()

Tablo 4.3 S1 ile elde edilen model katsayı ve üsleri

Model adı	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉
S1M1	-7,79	-0,37	3,66	10,10	1,76	-2,95	2,54	0,66	2,95	1,52	-6,58	0,15	2,64	5,78	2,03	2,97	5,11	4,92	2,21	1,12
S1M2	3,11	-2,25	5,06	3,52	4,33	0,14	4,54	5,11	1,28	2,53	-2,56	1,31	3,76	-5,12	1,61	3,20	6,39	3,64	4,34	3,28
S1M3	4,84	0,12	5,11	-9,81	4,11	-3,92	2,98	-8,41	4,82	2,60	10,23	3,20	2,56	-8,96	0,63	1,76	7,70	1,04	3,83	0,64
S1M4	-2,51	3,70	0,32	-3,35	1,38	0,93	1,90	5,12	1,27	4,00	-0,45	0,03	0,78	3,57	0,04	0,55	-4,48	2,64	2,62	1,04
S1M5	-0,91	-2,77	2,84	6,55	0,80	-4,47	3,76	1,75	2,76	0,43	-4,85	0,66	3,90	-10,24	4,79	3,92	2,40	2,69	4,04	3,21
S1M6	-9,20	10,23	2,56	8,74	1,58	2,24	2,56	-5,28	1,70	2,64	-0,46	0,50	2,48	9,62	0,69	4,46	-10,24	4,00	2,42	0,87
S1M7	-5,68	-0,32	4,08	-2,29	0,14	5,87	0,36	-2,38	2,59	3,69	5,20	1,21	1,37	7,67	2,35	4,29	10,23	4,37	0,66	2,56
S1M8	7,76	0,63	0,34	0,59	0,80	-7,67	2,38	-10,24	1,43	3,04	5,62	1,23	0,32	-4,80	0,66	1,52	10,23	1,92	0,98	1,75
S1M9	-0,65	-1,12	4,48	-0,96	0,66	6,30	0,60	5,24	1,13	3,19	4,44	0,95	3,53	-4,65	0,08	0,86	-5,18	2,56	0,64	1,05
S1M10	5,03	10,23	3,20	-7,85	0,56	7,34	1,33	-10,24	1,11	3,84	-7,68	1,28	1,44	-3,53	2,23	4,03	-2,56	4,24	1,76	0,90
S1M11	5,60	-5,01	3,00	0,63	5,11	-7,58	1,60	-10,24	0,96	3,20	6,72	4,99	1,87	-0,31	3,41	0,50	4,04	3,31	4,41	0,87
S1M12	10,21	-6,66	1,69	0,36	2,24	-9,68	3,70	-2,56	2,88	1,11	-10,23	3,20	0,13	10,23	3,97	2,56	5,75	1,34	4,42	0,34
S1M13	-4,30	9,29	4,97	-4,04	3,10	1,45	2,88	-5,28	0,57	2,56	-0,12	3,73	1,68	10,23	5,07	0,88	-9,60	0,23	5,02	2,04
S1M14	9,60	-6,43	0,06	-2,84	4,13	-2,28	0,11	-10,24	3,20	0,90	2,87	1,28	1,68	1,28	4,47	1,92	7,84	4,43	2,01	1,88
S1M15	-1,62	0,52	1,27	1,56	0,63	1,24	4,34	-0,32	0,62	0,46	-0,08	3,87	1,60	-0,15	2,78	4,96	0,23	0,33	4,48	3,40
S1M16	1,81	-7,36	2,40	2,64	0,74	0,32	0,64	-1,93	4,77	2,57	2,61	1,16	1,59	1,19	0,43	1,93	7,65	0,31	1,87	2,55

Tablo 4.4 S2 ile elde edilen model parametreleri

Model adı	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t ₁₁	t ₁₂
S2M1	D ₅₀	$\frac{YASS}{z}$	r _d	1	r _d	$\frac{YASS}{z}$	a _{max}	σ_{vo}	σ_{vo}/σ'_{vo}	r _d	q _{c1}	1
S2M2	r _d	a _{max}	D ₅₀	C _q	r _d	D ₅₀	r _d	SSSSR	1	q _{c1}	SSSSR	σ'_{vo}
S2M3	r _d	C _q	q _{c1}	D ₅₀	1	D ₅₀	q _{c1}	D ₅₀	D ₅₀	D ₅₀	YASS	YASS
S2M4	z	$\frac{YASS}{z}$	C _q	r _d	$\frac{YASS}{z}$	SSSSR	r _d	σ_{vo}	D ₅₀	a _{max}	1	1
S2M5	$\frac{YASS}{z}$	D ₅₀	D ₅₀	q _c	q _{c1}	σ_{vo}	SSSSR	$\frac{YASS}{z}$	SSSR _{7.5}	r _d	r _d	SSSR _{7.5}
S2M6	C _q	q _c	D ₅₀	C _q	a _{max}	C _q	SSSR _{7.5}	σ'_{vo}	SSSSR	SSSSR	SSSSR	YASS
S2M7	C _q	D ₅₀	SSSR _{7.5}	q _c	σ'_{vo}	SSSSR	q _c	D ₅₀	σ_{vo}/σ'_{vo}	SSSSR	D ₅₀	D ₅₀
S2M8	$\frac{YASS}{z}$	SSSR _{7.5}	1	D ₅₀	SSSSR	σ_{vo}/σ'_{vo}	D ₅₀	SSSR _{7.5}	r _d	1	SSSSR	q _c
S2M9	SSSSR	D ₅₀	C _q	D ₅₀	r _d	SSSR _{7.5}	SSSSR	YASS	D ₅₀	D ₅₀	σ_{vo}	D ₅₀
S2M10	C _q	σ_{vo}	a _{max}	SSSR _{7.5}	q _{c1}	q _c	SSSSR	q _c	σ'_{vo}	a _{max}	D ₅₀	σ'_{vo}
S2M11	D ₅₀	SSSR _{7.5}	a _{max}	$\frac{YASS}{z}$	SSSSR	SSSR _{7.5}	q _c	SSSR _{7.5}	σ'_{vo}	1	$\frac{YASS}{z}$	SSSSR
S2M12	q _{c1}	1	σ_{vo}	SSSR _{7.5}	z	SSSR _{7.5}	1	z	SSSR _{7.5}	D ₅₀	$\frac{YASS}{z}$	1
S2M13	YASS	D ₅₀	$\frac{YASS}{z}$	σ_{vo}/σ'_{vo}	D ₅₀	a _{max}	D ₅₀	q _c	q _{c1}	D ₅₀	SSSR _{7.5}	r _d
S2M14	SSSSR	z	D ₅₀	σ'_{vo}	SSSSR	C _q	SSSR _{7.5}	q _c	a _{max}	z	SSSR _{7.5}	$\frac{YASS}{z}$
S2M15	D ₅₀	q _c	SSSR _{7.5}	a _{max}	$\frac{YASS}{z}$	SSSSR	a _{max}	D ₅₀	$\frac{YASS}{z}$	SSSR _{7.5}	1	q _c
S2M16	q _c	SSSR _{7.5}	σ'_{vo}	D ₅₀	a _{max}	D ₅₀	q _c	z	D ₅₀	1	r _d	r _d

Tablo 4.5 S2 ile elde edilen model fonksiyonları

Model adı	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	f ₇	f ₈	f ₉	f ₁₀	f ₁₁	f ₁₂
S2M1	x()	Sign()	ln()	Sign()	x()	x()	x()	Sign()	Sign()	Sign()	x()	x()
S2M2	ln()	Sign()	yuvarla()	Sign()	yuvarla()	x()	x()	Sign()	x()	x()	yuvarla()	x()
S2M3	yuvarla()	Sign()	Sign()	ln()	yuvarla()	Sign()	Sign()	yuvarla()	x()	x()	yuvarla()	ln()
S2M4	Sign()	ln()	Sign()	Sign()	Sign()	ln()	x()	ln()	ln()	ln()	ln()	yuvarla()
S2M5	Sign()	ln()	Sign()	ln()	Sign()	ln()	ln()	yuvarla()	x()	yuvarla()	ln()	x()
S2M6	Sign()	yuvarla()	ln()	ln()	ln()	x()	ln()	Sign()	Sign()	yuvarla()	ln()	Sign()
S2M7	ln()	x()	x()	Sign()	Sign()	ln()	x()	x()	yuvarla()	Sign()	Sign()	Sign()
S2M8	x()	Sign()	Sign()	Sign()	ln()	x()	x()	ln()	ln()	ln()	ln()	yuvarla()
S2M9	ln()	Sign()	yuvarla()	Sign()	ln()	Sign()	x()	ln()	x()	ln()	ln()	x()
S2M10	x()	Sign()	Sign()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	x()	Sign()	ln()	yuvarla()	x()	Sign()
S2M11	Sign()	yuvarla()	yuvarla()	Sign()	ln()	x()	Sign()	yuvarla()	ln()	ln()	yuvarla()	ln()
S2M12	Sign()	Sign()	Sign()	ln()	yuvarla()	Sign()	x()	Sign()	yuvarla()	x()	ln()	ln()
S2M13	Sign()	ln()	Sign()	Sign()	x()	Sign()	Sign()	ln()	Sign()	x()	ln()	ln()
S2M14	yuvarla()	Sign()	ln()	yuvarla()	ln()	ln()	x()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	ln()	yuvarla()
S2M15	x()	yuvarla()	ln()	x()	yuvarla()	x()	yuvarla()	x()	yuvarla()	x()	x()	ln()
S2M16	Sign()	Sign()	Sign()	x()	x()	x()	ln()	x()	ln()	Sign()	yuvarla()	yuvarla()

Tablo 4.6 S2 ile elde edilen model katsayı ve üsleri

Model adı	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉
S2M1	-10,22	8,08	1,40	5,17	5,06	5,28	1,51	-0,13	3,44	0,00	9,21	5,11	2,67	7,48	2,79	4,79	-0,69	4,24	0,24	5,03
S2M2	-7,96	2,80	2,56	10,20	1,86	9,67	2,81	-3,08	1,08	2,73	-1,11	0,10	4,95	0,48	0,19	3,07	-2,32	2,41	2,40	0,29
S2M3	-4,04	1,92	4,26	-0,95	4,85	-5,36	0,54	7,68	3,35	3,85	8,96	1,23	2,55	8,96	0,60	3,99	-1,77	5,03	2,60	1,44
S2M4	2,75	-2,28	,025	0,32	3,83	1,32	2,24	-1,28	2,48	0,55	10,23	4,00	0,00	-5,45	1,12	4,09	-5,13	3,75	0,94	4,24
S2M5	8,14	-8,88	4,54	2,55	2,56	1,28	2,11	-0,11	1,69	4,05	-3,63	2,31	4,03	-4,48	1,27	3,76	4,84	5,02	0,63	2,88
S2M6	-8,72	8,23	1,00	-5,36	0,15	-9,60	4,16	0,32	2,32	0,49	-2,38	4,51	2,56	6,30	3,16	4,27	-1,90	3,69	2,10	1,96
S2M7	-5,40	0,12	0,64	-7,69	4,08	5,00	3,91	4,95	4,16	3,07	-1,29	4,17	2,58	0,96	3,71	4,96	0,85	3,43	2,25	0,01
S2M8	-0,15	0,07	5,11	8,82	5,08	-8,14	3,72	-9,93	3,23	2,07	5,12	1,92	3,95	8,32	1,08	3,84	-0,14	0,94	0,21	0,76
S2M9	6,07	2,89	0,12	-7,23	3,84	0,04	4,26	0,24	0,32	2,71	-7,69	0,88	4,15	-2,25	3,52	4,55	2,55	2,55	3,83	1,91
S2M10	-8,02	0,10	1,37	8,79	2,53	-1,52	3,89	-5,61	2,47	5,05	-0,09	2,20	3,53	1,22	2,99	0,05	-6,48	3,35	0,21	3,33
S2M11	-4,61	5,11	1,38	-7,79	3,79	5,76	2,51	-3,85	4,72	3,27	1,59	5,10	4,95	-9,84	3,46	0,23	2,56	2,72	2,52	3,19
S2M12	-2,92	6,60	3,78	6,96	3,11	-1,08	1,71	-3,85	2,97	0,57	-9,05	1,83	3,93	-0,25	0,77	0,95	-8,33	3,19	2,59	5,09
S2M13	8,87	-5,60	1,21	-9,60	2,06	-0,93	0,88	3,82	2,34	2,56	4,56	4,43	3,64	-9,09	0,02	4,46	7,68	0,49	0,64	3,83
S2M14	6,55	4,80	3,69	-6,09	2,70	10,23	2,56	-0,01	2,24	5,11	0,77	1,06	1,37	-0,01	2,64	1,33	6,88	1,70	2,23	3,46
S2M15	-0,80	5,76	0,39	-0,25	1,04	2,55	0,97	4,07	1,66	3,30	-9,61	2,63	0,84	-10,24	2,56	1,92	10,23	3,84	2,84	1,15
S2M16	-3,82	-4,60	4,50	3,36	1,85	1,36	3,32	10,16	4,12	0,45	-2,74	3,99	0,48	6,17	0,27	2,72	4,20	4,05	4,20	3,73

Tablo 4.7 S3 ile elde edilen model parametreleri

Model adı	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t ₁₁	t ₁₂
S3M1	q _c	a _{max}	C _q	SSSSR	1	D ₅₀	$\frac{YASS}{z}$	1	D ₅₀	SSSSR	SSSSR	σ_{vo}/σ'_{vo}
S3M2	1	D ₅₀	D ₅₀	$\frac{YASS}{z}$	D ₅₀	σ_{vo}/σ'_{vo}	D ₅₀	r _d	$\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}$	SSSR _{7.5}	q _c	σ_{vo}
S3M3	a _{max}	r _d	D ₅₀	SSSSR	1	$\frac{YASS}{z}$	r _d	a _{max}	r _d	SSSR _{7.5}	r _d	$\frac{YASS}{z}$
S3M4	C _q	a _{max}	C _q	SSSSR	r _d	D ₅₀	σ_{vo}	a _{max}	$\frac{YASS}{z}$	1	D ₅₀	SSSSR
S3M5	SSSSR	r _d	a _{max}	1	r _d	q _{c1}	a _{max}	D ₅₀	$\frac{YASS}{z}$	D ₅₀	C _q	σ_{vo}/σ'_{vo}
S3M6	SSSR _{7.5}	a _{max}	D ₅₀	SSSSR	σ'_{vo}	SSSSR	SSSR _{7.5}	YASS	r _d	SSSSR	r _d	C _q
S3M7	q _c	r _d	1	$\frac{YASS}{z}$	q _c	q _{c1}	1	YASS	SSSSR	r _d	D ₅₀	SSSR _{7.5}
S3M8	SSSSR	z	q _{c1}	q _{c1}	C _q	1	q _c	D ₅₀	C _q	D ₅₀	SSSSR	σ_{vo}/σ'_{vo}
S3M9	r _d	D ₅₀	$\frac{YASS}{z}$	1	1	σ_{vo}	SSSR _{7.5}	SSSSR	a _{max}	a _{max}	σ_{vo}	a _{max}
S3M10	SSSSR	$\frac{YASS}{z}$	z	a _{max}	σ_{vo}/σ'_{vo}	D ₅₀	D ₅₀	C _q	SSSSR	SSSSR	C _q	a _{max}
S3M11	r _d	q _c	SSSR _{7.5}	D ₅₀	a _{max}	a _{max}	σ_{vo}/σ'_{vo}	SSSR _{7.5}	D ₅₀	$\frac{YASS}{z}$	SSSSR	a _{max}
S3M12	a _{max}	D ₅₀	SSSR _{7.5}	r _d	q _c	q _c	r _d	1	1	r _d	SSSSR	1
S3M13	SSSSR	SSSSR	YASS	D ₅₀	$\frac{YASS}{z}$	σ_{vo}	q _c	1	q _{c1}	σ_{vo}/σ'_{vo}	C _q	SSSR _{7.5}
S3M14	a _{max}	q _c	D ₅₀	SSSSR	C _q	SSSSR	z	SSSSR	$\frac{YASS}{z}$	σ_{vo}/σ'_{vo}	D ₅₀	σ'_{vo}
S3M15	$\frac{YASS}{z}$	C _q	1	$\frac{YASS}{z}$	D ₅₀	q _{c1}	YASS	σ_{vo}/σ'_{vo}	q _c	SSSR _{7.5}	$\frac{YASS}{z}$	a _{max}
S3M16	q _c	D ₅₀	SSSR _{7.5}	D ₅₀	D ₅₀	1	1	z	SSSSR	a _{max}	SSSSR	z

Tablo 4.8 S3 ile elde edilen model fonksiyonları

Model adı	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	f ₇	f ₈	f ₉	f ₁₀	f ₁₁	f ₁₂
S3M1	Sign()	yuvarla()	Sign()	x()	Sign()	ln()	Sign()	yuvarla()	x()	Sign()	x()	yuvarla()
S3M2	yuvarla()	yuvarla()	x()	Sign()	x()	x()	ln()	Sign()	yuvarla()	yuvarla()	ln()	Sign()
S3M3	yuvarla()	ln()	ln()	Sign()	ln()	yuvarla()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	yuvarla()
S3M4	Sign()	ln()	ln()	Sign()	Sign()	Sign()	Sign()	ln()	ln()	ln()	ln()	yuvarla()
S3M5	ln()	yuvarla()	ln()	ln()	Sign()	Sign()	ln()	ln()	yuvarla()	Sign()	Sign()	Sign()
S3M6	ln()	Sign()	ln()	ln()	Sign()	yuvarla()	x()	Sign()	Sign()	x()	x()	yuvarla()
S3M7	yuvarla()	yuvarla()	ln()	Sign()	ln()	Sign()	ln()	yuvarla()	ln()	Sign()	x()	x()
S3M8	Sign()	Sign()	Sign()	ln()	Sign()	Sign()	Sign()	x()	x()	yuvarla()	x()	ln()
S3M9	x()	Sign()	Sign()	x()	ln()	Sign()	x()	x()	ln()	yuvarla()	Sign()	ln()
S3M10	Sign()	Sign()	Sign()	Sign()	Sign()	ln()	ln()	ln()	ln()	yuvarla()	Sign()	yuvarla()
S3M11	x()	Sign()	yuvarla()	ln()	Sign()	yuvarla()	Sign()	ln()	Sign()	yuvarla()	Sign()	ln()
S3M12	yuvarla()	x()	x()	x()	Sign()	x()	x()	yuvarla()	x()	x()	yuvarla()	yuvarla()
S3M13	x()	yuvarla()	Sign()	x()	Sign()	Sign()	ln()	ln()	Sign()	Sign()	x()	ln()
S3M14	x()	ln()	ln()	x()	x()	x()	Sign()	x()	x()	ln()	x()	Sign()
S3M15	Sign()	x()	x()	yuvarla()	x()	Sign()	Sign()	Sign()	x()	Sign()	ln()	ln()
S3M16	ln()	yuvarla()	ln()	x()	Sign()	Sign()	Sign()	x()	ln()	x()	ln()	ln()

Tablo 4.9 S3 ile elde edilen model katsayı ve üsleri

Model adı	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉
S3M1	0,40	-8,67	1,73	-8,31	4,05	9,10	0,19	-4,48	2,32	1,77	8,32	2,23	3,91	-6,00	2,35	2,76	2,55	4,04	4,56	3,75
S3M2	2,54	-2,17	2,26	3,49	4,96	-4,40	3,67	6,88	1,84	3,87	-10,24	4,15	3,84	0,13	1,34	0,57	10,01	1,97	2,00	3,31
S3M3	-2,53	-3,99	3,05	1,44	2,71	-8,96	2,72	3,41	4,26	2,96	-0,26	5,07	3,29	-9,29	4,06	5,00	4,44	1,11	4,01	3,09
S3M4	-0,90	4,49	4,09	0,28	0,75	4,53	0,09	-7,23	3,27	1,24	0,93	1,79	0,02	1,28	0,63	2,39	6,65	2,85	1,62	2,45
S3M5	0,02	1,44	0,41	3,40	2,36	5,11	0,88	6,15	0,75	0,40	-7,69	4,71	1,03	-8,97	1,94	0,72	-7,44	0,06	4,52	3,94
S3M6	3,61	10,23	4,48	-4,48	2,09	-7,69	2,27	-8,01	1,39	3,47	-1,61	0,96	2,55	1,35	2,17	1,70	8,55	2,40	4,17	0,90
S3M7	4,48	-6,56	0,16	2,00	4,08	8,96	0,53	-0,39	4,56	0,16	-7,68	4,36	1,92	-6,41	2,56	4,47	7,04	1,21	1,10	1,52
S3M8	10,02	-5,07	2,04	-10,03	1,65	8,97	0,80	-0,77	0,21	4,57	-4,13	4,60	1,73	3,90	0,07	0,16	2,26	0,36	2,87	4,64
S3M9	-5,01	1,92	4,51	-4,53	4,52	7,89	2,32	0,96	3,43	3,48	4,80	1,48	2,45	-10,24	1,92	2,56	0,12	0,31	3,13	0,05
S3M10	9,46	3,42	3,92	0,86	2,64	-8,94	0,12	-4,30	4,73	3,03	-4,21	2,35	0,71	4,15	2,55	2,52	-0,33	0,67	1,45	1,00
S3M11	-3,35	6,21	0,30	-2,21	3,12	-0,33	0,87	-8,32	2,48	1,87	-5,82	1,39	1,24	3,92	1,69	4,50	5,12	2,47	0,66	2,87
S3M12	0,31	-1,82	1,25	5,08	1,44	4,90	0,53	9,63	2,56	3,76	-0,89	0,51	5,11	-8,75	4,00	4,91	7,10	3,99	1,44	3,00
S3M13	7,34	-4,29	4,01	7,72	4,49	-0,85	3,38	6,23	4,65	4,62	-0,01	0,08	2,56	-8,61	2,92	2,24	1,01	4,46	1,15	0,92
S3M14	2,23	-0,76	3,84	-2,48	0,03	-9,92	4,48	0,81	1,42	1,05	-8,48	4,72	0,51	1,14	1,36	3,39	6,56	2,56	4,67	4,39
S3M15	9,48	-5,36	4,32	0,05	2,88	6,16	1,47	7,04	0,33	3,25	-8,89	1,95	1,11	-0,73	1,32	0,19	9,84	2,04	3,83	1,87
S3M16	-1,60	-1,70	0,06	0,17	0,18	1,41	0,74	3,21	2,98	3,09	3,13	2,93	1,74	-3,58	1,93	3,35	9,55	2,08	1,31	0,08

Tablo 4.10 S4 ile elde edilen model parametreleri

Model adı	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t ₁₁	t ₁₂
S4M1	SSSSR	1	a _{max}	D ₅₀	1	a _{max}	1	SSSR _{7.5}	a _{max}	D ₅₀	C _q	D ₅₀
S4M2	1	q _c	D ₅₀	$\frac{YASS}{z}$	SSSSR	YASS	r _d	C _q	SSSSR	$\frac{YASS}{z}$	D ₅₀	σ_{vo}/σ'_{vo}
S4M3	q _{c1}	q _c	D ₅₀	D ₅₀	1	q _{c1}	SSSR _{7.5}	SSSSR	σ_{vo}/σ'_{vo}	r _d	1	σ_{vo}/σ'_{vo}
S4M4	SSSSR	D ₅₀	SSSSR	SSSR _{7.5}	$\frac{YASS}{z}$	D ₅₀	SSSR _{7.5}	a _{max}	D ₅₀	D ₅₀	a _{max}	D ₅₀
S4M5	a _{max}	σ'_{vo}	SSSR _{7.5}	z	σ_{vo}/σ'_{vo}	r _d	σ_{vo}	D ₅₀	σ_{vo}/σ'_{vo}	a _{max}	$\frac{YASS}{z}$	C _q
S4M6	SSSR _{7.5}	$\frac{YASS}{z}$	r _d	D ₅₀	SSSR _{7.5}	D ₅₀	σ_{vo}/σ'_{vo}	q _c	r _d	D ₅₀	YASS	$\frac{YASS}{z}$
S4M7	σ_{vo}/σ'_{vo}	SSSSR	SSSSR	q _c	r _d	SSSSR	q _c	r _d	σ_{vo}/σ'_{vo}	r _d	SSSSR	q _{c1}
S4M8	a _{max}	r _d	1	σ_{vo}/σ'_{vo}	SSSSR	D ₅₀	σ_{vo}/σ'_{vo}	$\frac{YASS}{z}$	SSSR _{7.5}	1	D ₅₀	q _c
S4M9	C _q	r _d	σ_{vo}	YASS	SSSR _{7.5}	q _{c1}	SSSSR	SSSR _{7.5}	a _{max}	σ'_{vo}	σ'_{vo}	SSSR _{7.5}
S4M10	SSSSR	SSSR _{7.5}	D ₅₀	SSSR _{7.5}	C _q	1	σ_{vo}/σ'_{vo}	σ_{vo}	1	z	$\frac{YASS}{z}$	D ₅₀
S4M11	a _{max}	D ₅₀	q _{c1}	r _d	D ₅₀	σ_{vo}/σ'_{vo}	D ₅₀	YASS	r _d	YASS	$\frac{YASS}{z}$	a _{max}
S4M12	D ₅₀	SSSSR	1	YASS	SSSSR	D ₅₀	YASS	q _c	$\frac{YASS}{z}$	q _c	σ_{vo}/σ'_{vo}	SSSR _{7.5}
S4M13	q _c	1	D ₅₀	$\frac{YASS}{z}$	D ₅₀	YASS	SSSSR	D ₅₀	r _d	YASS	q _c	D ₅₀
S4M14	D ₅₀	SSSR _{7.5}	SSSR _{7.5}	$\frac{YASS}{z}$	SSSSR	D ₅₀	a _{max}	q _c	1	σ'_{vo}	D ₅₀	YASS
S4M15	$\frac{YASS}{z}$	q _{c1}	r _d	σ_{vo}/σ'_{vo}	D ₅₀	q _c	$\frac{YASS}{z}$	SSSR _{7.5}	r _d	$\frac{YASS}{z}$	D ₅₀	r _d
S4M16	r _d	SSSR _{7.5}	SSSR _{7.5}	q _c	1	D ₅₀	SSSSR	q _{c1}	SSSR _{7.5}	σ_{vo}/σ'_{vo}	z	a _{max}

Tablo 4.11 S4 ile elde edilen model fonksiyonları

Model adı	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	f ₇	f ₈	f ₉	f ₁₀	f ₁₁	f ₁₂
S4M1	Sign()	Sign()	ln()	yuvarla()	yuvarla()	x()	yuvarla()	Sign()	ln()	x()	Sign()	yuvarla()
S4M2	yuvarla()	x()	ln()	ln()	x()	Sign()	yuvarla()	ln()	x()	Sign()	ln()	x()
S4M3	Sign()	x()	Sign()	yuvarla()	ln()	ln()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	Sign()	x()	Sign()
S4M4	Sign()	Sign()	ln()	ln()	Sign()	x()	x()	Sign()	x()	ln()	yuvarla()	x()
S4M5	ln()	Sign()	x()	Sign()	Sign()	yuvarla()	Sign()	ln()	ln()	ln()	Sign()	Sign()
S4M6	x()	Sign()	ln()	x()	x()	ln()	yuvarla()	ln()	x()	ln()	yuvarla()	yuvarla()
S4M7	Sign()	Sign()	Sign()	yuvarla()	ln()	Sign()	Sign()	x()	yuvarla()	ln()	ln()	ln()
S4M8	Sign()	yuvarla()	x()	Sign()	Sign()	ln()	ln()	yuvarla()	ln()	Sign()	ln()	yuvarla()
S4M9	Sign()	Sign()	Sign()	yuvarla()	ln()	Sign()	Sign()	yuvarla()	ln()	Sign()	ln()	yuvarla()
S4M10	Sign()	ln()	x()	ln()	Sign()	x()	Sign()	Sign()	ln()	Sign()	x()	x()
S4M11	Sign()	x()	ln()	x()	Sign()	yuvarla()	yuvarla()	Sign()	x()	yuvarla()	ln()	ln()
S4M12	yuvarla()	Sign()	x()	x()	yuvarla()	ln()	Sign()	ln()	Sign()	yuvarla()	x()	x()
S4M13	x()	ln()	x()	x()	x()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	x()	Sign()	yuvarla()	ln()
S4M14	x()	ln()	x()	yuvarla()	ln()	Sign()	ln()	ln()	Sign()	Sign()	x()	Sign()
S4M15	ln()	Sign()	ln()	yuvarla()	ln()	Sign()	Sign()	Sign()	Sign()	ln()	x()	ln()
S4M16	yuvarla()	ln()	yuvarla()	yuvarla()	Sign()	x()	x()	ln()	ln()	yuvarla()	Sign()	ln()

Tablo 4.12 S4 ile elde edilen model katsayı ve üsleri

Model adı	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉
S4M1	-10,16	1,36	0,16	9,92	2,99	-1,43	0,13	8,46	0,80	4,73	1,55	1,50	4,11	-6,41	3,39	2,15	-0,41	1,63	1,29	0,27
S4M2	-7,35	6,01	5,09	-2,35	0,05	7,67	3,84	8,96	3,83	2,87	4,37	1,93	2,88	0,11	3,19	2,60	7,51	4,79	2,60	2,55
S4M3	-7,54	-0,70	1,71	-4,65	0,06	9,34	2,55	-8,76	3,52	3,17	-8,06	1,77	2,91	-10,24	3,20	1,89	4,66	1,27	2,20	3,24
S4M4	-3,52	8,02	3,52	-3,99	2,30	7,67	4,80	-4,53	2,55	2,34	0,80	2,39	3,83	-3,87	4,84	3,98	7,96	0,91	0,52	1,24
S4M5	-9,04	2,55	2,08	5,89	1,38	3,15	0,09	-7,32	3,20	3,34	8,37	4,02	3,76	-3,92	1,93	0,31	-2,89	1,30	4,11	0,95
S4M6	4,17	-5,13	4,39	-5,05	0,57	2,29	0,80	9,91	1,31	1,40	-8,97	3,19	3,92	-0,06	1,31	5,11	-8,97	3,87	4,48	1,18
S4M7	9,22	4,98	2,95	-7,27	0,70	-4,86	4,71	-0,01	1,40	5,11	-2,43	3,66	4,81	1,00	1,16	0,14	-2,57	5,11	5,11	0,48
S4M8	6,07	-0,16	3,20	0,50	4,57	-0,66	5,02	-5,25	1,67	4,97	2,56	3,74	0,16	0,72	2,60	5,07	-0,35	2,16	3,51	0,54
S4M9	9,64	-5,81	0,48	-1,96	2,84	-4,06	4,89	-3,85	2,71	4,45	2,70	3,86	5,06	-4,74	1,83	2,74	8,59	2,47	3,94	3,02
S4M10	0,00	7,84	4,36	2,52	0,69	-0,97	3,84	-8,33	1,22	4,17	-9,68	0,84	3,87	3,36	2,64	2,75	-5,13	4,44	1,71	2,55
S4M11	8,09	-4,77	1,03	3,59	1,00	-1,29	0,35	-2,35	0,40	0,87	-0,11	4,92	0,64	7,11	3,29	0,79	0,80	2,44	3,01	3,35
S4M12	6,92	-8,36	2,96	-3,08	4,52	-2,72	4,68	-3,24	2,21	2,24	1,57	0,14	3,01	-1,64	0,08	3,39	0,26	0,56	2,23	3,17
S4M13	-2,00	-1,31	0,05	5,64	1,69	-0,64	4,32	-0,45	3,87	0,95	-2,73	2,49	4,03	0,08	0,37	2,51	7,68	2,31	1,66	4,92
S4M14	1,08	0,11	1,12	-6,21	0,48	7,51	1,35	8,32	3,08	1,27	-5,12	4,62	2,00	-0,06	1,44	4,38	2,23	2,85	2,56	3,45
S4M15	-5,81	0,30	4,47	5,01	0,05	0,29	2,55	9,04	4,48	3,83	-8,03	2,42	0,63	9,19	5,11	0,86	-5,13	4,11	1,19	1,27
S4M16	-2,23	8,30	3,99	2,56	3,05	7,68	4,73	-5,57	0,15	5,08	-1,60	4,96	2,90	7,68	1,28	4,53	-5,40	1,23	4,71	4,13

4.2. Model Performansları

Geliştirilen modellerin eğitim ve test verileri ile olan performansı Tablo 4.13-16'da ayrıntılı olarak görülmektedir. Burada hata oranı %50'den az olan modeller verilmiştir. Bu modellerin geliştirilmesi için yüzlerce model denenmiştir.

Uygunluk fonksiyonunun ve GA parametrelerinin değiştirilmesi ile elde edilen modeller hem toplam hatalı tahmin sayısına göre hem de OKHK'ye göre değerlendirilmiştir. Toplam hatalı tahmin sayısı dikkate alındığında eğitim verilerinde en az sayıda hata (12 hata, % 6) S3M16'de ortaya çıkmaktadır. Bu modellerin test verileri ile denenmesi ile en iyi sonucu % 0,0 hata oranı ile yine aynı model S3M16 vermiştir. Daha sağlıklı bir değerlendirme için eğitim ve test verileri bir arada değerlendirilmiştir (Şekil 4.1). Burada S3M16 modelinin hem eğitim hem de test verileri için en düşük toplam mutlak hatayı verdiği görülmektedir. Hatalı tahminlerin oranı da eğitim verilerinde % 6, test verilerinde % 0 olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 4.13 S1 OKHK

Model no	Eğitim Verisi		Test Verisi		OKHK	OKHK	OKHK
	Hata	% hata	Hata	% hata	Eğitim Verileri	Test Verileri	Tüm Veriler
S1M1	67	33,5	10	23,8	6,9984	2,8061	7,5401
S1M2	80	40,0	19	45,2	7,3857	3,4830	8,1657
S1M3	72	36,0	16	38,1	7,9394	3,6925	8,7560
S1M4	78	39,0	15	35,7	7,3279	3,4845	8,1142
S1M5	70	35,0	17	40,5	7,0815	3,4809	7,8908
S1M6	42	21,0	4	9,5	5,5041	2,3559	5,9871
S1M7	26	13,0	3	7,1	5,0975	2,1932	5,5493
S1M8	59	29,5	12	28,6	6,7282	3,1174	7,4153
S1M9	71	35,5	16	38,1	8,5629	4,1272	9,5056
S1M10	79	39,5	16	38,1	7,9875	3,5628	8,7460
S1M11	70	35,0	13	31,0	7,8079	3,6403	8,6148
S1M12	75	37,5	17	40,5	7,2692	3,5520	8,0906
S1M13	34	17,0	5	11,9	4,9943	2,1809	5,4497
S1M14	28	14,0	6	14,3	4,8870	2,1654	5,3453
S1M15	39	19,5	7	16,7	4,9084	2,1634	5,3640
S1M16	58	29,0	10	23,8	6,7342	2,8475	7,3115

Tablo 4.14 S2 OKHK

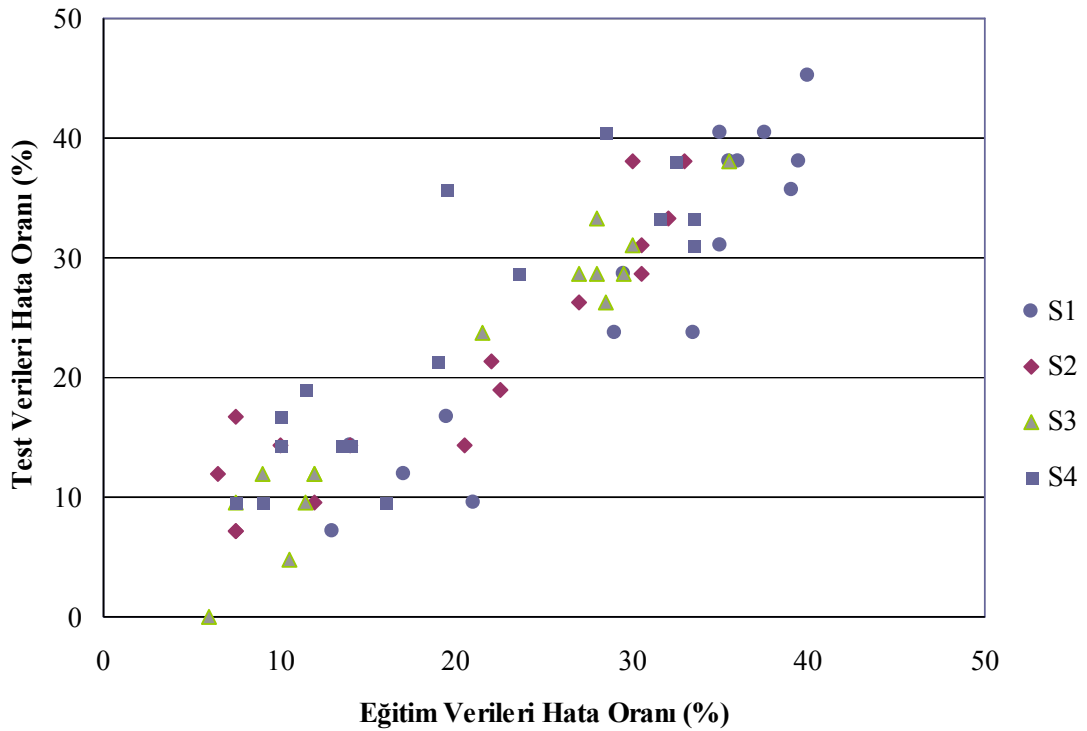
Model no	Eğitim Verisi		Test Verisi		OKHK	OKHK	OKHK
	Hata	% hata	Hata	% hata	Eğitim Verileri	Test Verileri	Tüm Veriler
S2M1	28	14,0	6	14,3	6,2836	3,1534	7,0304
S2M2	66	33,0	16	38,1	4,6922	2,2265	5,1937
S2M3	61	30,5	12	28,6	4,2132	1,8384	4,5968
S2M4	64	32,0	14	33,3	4,2778	1,9518	4,7020
S2M5	15	7,5	3	7,1	2,0872	0,9434	2,2905
S2M6	44	22,0	9	21,4	3,5562	1,6358	3,9144
S2M7	41	20,5	6	14,3	3,4745	1,2723	3,7001
S2M8	15	7,5	3	7,1	2,1336	0,8834	2,3093
S2M9	45	22,5	8	19,0	3,9045	1,7642	4,2846
S2M10	54	27,0	11	26,2	4,0181	1,7175	4,3697
S2M11	60	30,0	16	38,1	3,8816	2,0011	4,3670
S2M12	61	30,5	13	31,0	4,0306	1,8314	4,4272
S2M13	24	12,0	4	9,5	3,0081	1,2238	3,2475
S2M14	15	7,5	7	16,7	2,3753	0,7624	2,4946
S2M15	13	6,5	5	11,9	3,6006	2,0547	4,1456
S2M16	20	10,0	6	14,3	2,2381	1,2263	2,5520

Tablo 4.15 S3 OKHK

Model no	Eğitim Verisi		Test Verisi		OKHK	OKHK	OKHK
	Hata	% hata	Hata	% hata	Eğitim Verileri	Test Verileri	Tüm Veriler
S3M1	71	35,5	16	38,1	5,6221	2,7004	6,2370
S3M2	79	39,5	22	52,4	4,4750	2,3553	5,0570
S3M3	60	30,0	13	31,0	4,6600	2,2584	5,1785
S3M4	56	28,0	12	28,6	4,4571	2,0611	4,9106
S3M5	56	28,0	14	33,3	4,4877	2,1423	4,9729
S3M6	43	21,5	10	23,8	3,4711	1,7141	3,8713
S3M7	15	7,5	4	9,5	2,1370	1,0644	2,3874
S3M8	18	9,0	5	11,9	3,0230	1,5848	3,4132
S3M9	59	29,5	12	28,6	5,4433	2,5616	6,0159
S3M10	54	27,0	12	28,6	3,6988	1,7374	4,0865
S3M11	57	28,5	11	26,2	4,1941	1,8405	4,5802
S3M12	24	12,0	5	11,9	4,5171	1,7810	4,8556
S3M13	23	11,5	4	9,5	2,5359	1,0236	2,7347
S3M14	21	10,5	2	4,8	2,5056	0,7830	2,6251
S3M15	24	12,0	5	11,9	3,0782	1,4369	3,3971
S3M16	12	6,0	0	0,0	1,8595	0,0000	1,8595

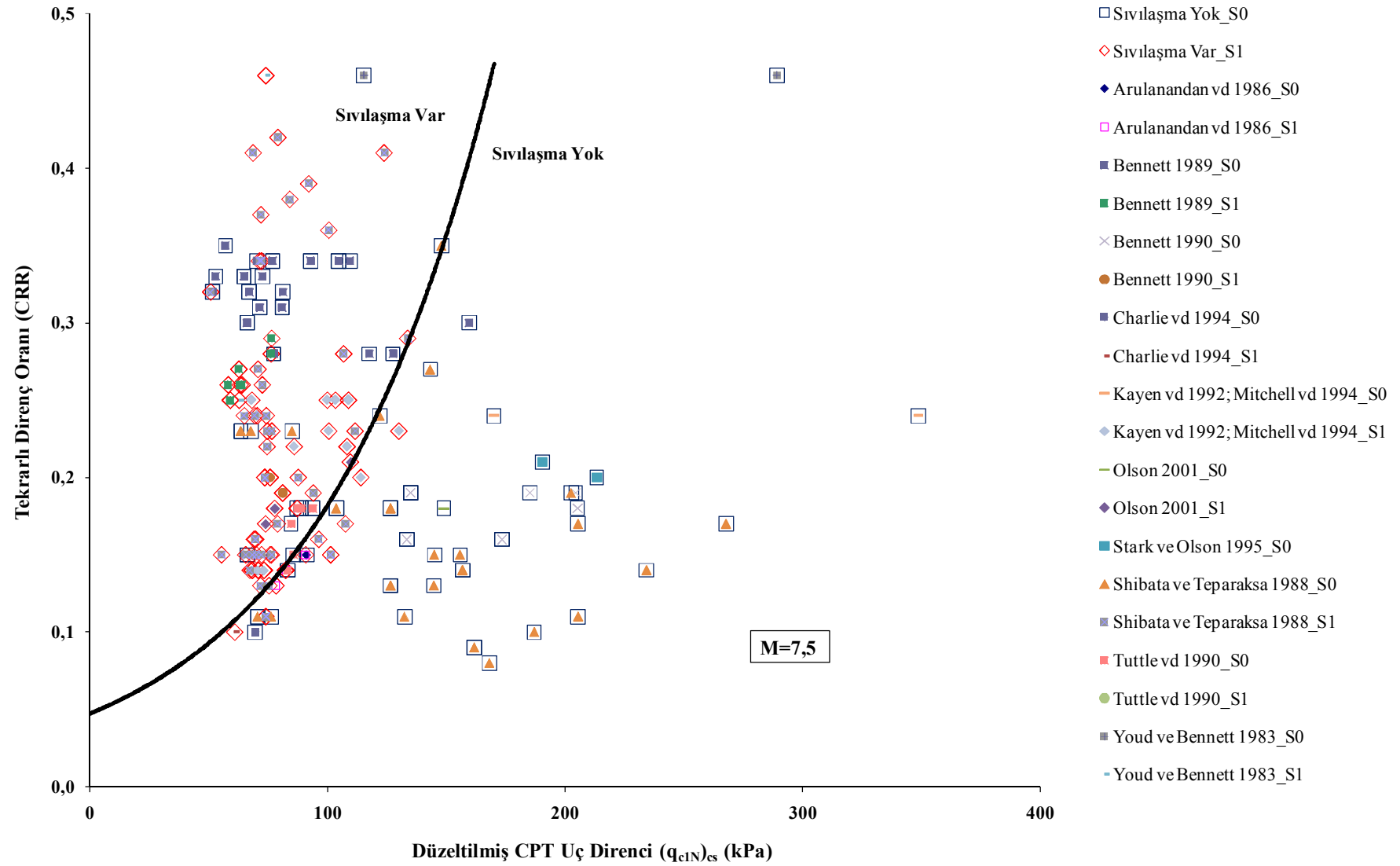
Tablo 4.16 S4 OKHK

Model no	Eğitim Verisi		Test Verisi		OKHK	OKHK	OKHK
	Hata	% hata	Hata	% hata	Eğitim Verileri	Test Verileri	Tüm Veriler
S4M1	65	32,5	16	38,1	4,2998	2,0970	4,7839
S4M2	28	14,0	6	14,3	3,1132	1,4251	3,4238
S4M3	38	19,0	9	21,4	4,5286	2,1660	5,0199
S4M4	63	31,5	14	33,3	4,2485	1,9469	4,6733
S4M5	57	28,5	17	40,5	4,2138	2,2988	4,8001
S4M6	15	7,5	4	9,5	2,2487	1,0837	2,4962
S4M7	32	16,0	4	9,5	3,0119	1,0966	3,2053
S4M8	18	9,0	4	9,5	2,2913	1,0000	2,5000
S4M9	67	33,5	14	33,3	4,1759	1,9082	4,5912
S4M10	67	33,5	13	31,0	4,9491	1,9869	5,3330
S4M11	27	13,5	6	14,3	5,4189	2,7970	6,0981
S4M12	23	11,5	8	19,0	2,7540	1,6178	3,1940
S4M13	20	10,0	6	14,3	2,4894	1,2809	2,7997
S4M14	20	10,0	7	16,7	2,6412	1,5388	3,0567
S4M15	47	23,5	12	28,6	3,5960	1,8111	4,0263
S4M16	39	19,5	15	35,7	3,1616	1,9571	3,7183

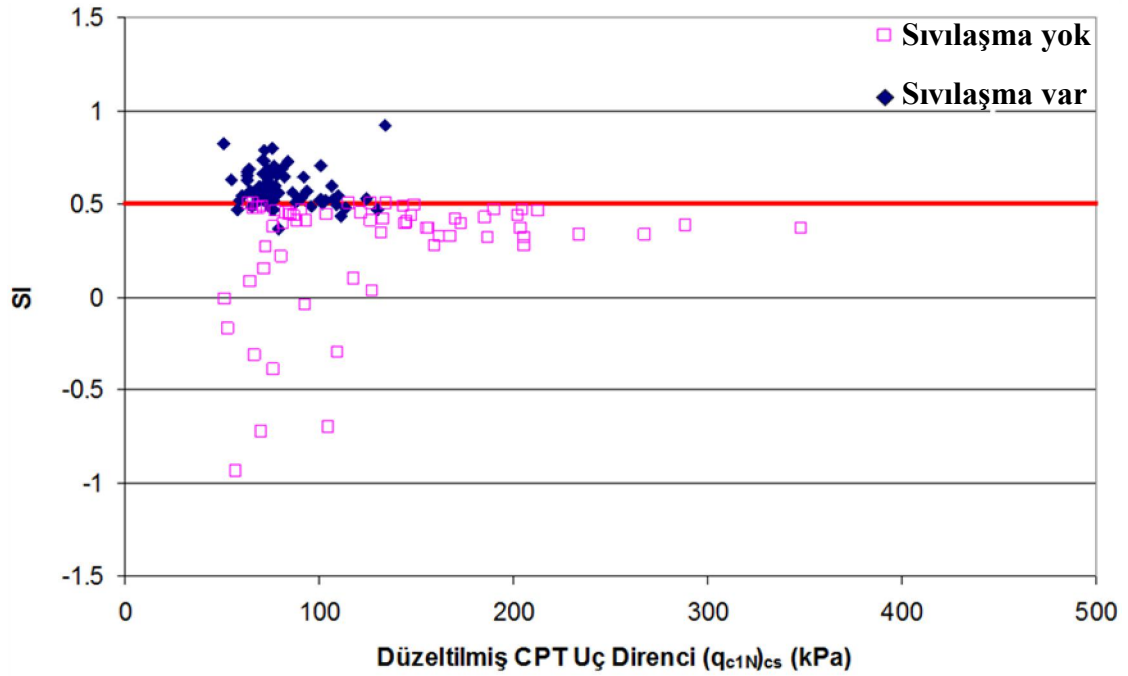
**Şekil 4.1** Eğitim verileri hata oranı ve test verileri hata oranı arasındaki ilişki

Bu çalışma sonucunda geliştirilen yeni yöntem, literatürde yaygın kullanıma sahip Robertson ve Wride'nin (1998) yöntemi ile karşılaştırılmıştır (Sen ve Akyol 2010). Robertson ve Wride'nin (1998) yönteminde verilen abaktaki eğrinin altındaki noktalarda sıvılaşma olmayacağı, üstündeki noktalarda ise sıvılaşma riskinin yüksek olduğu değerlendirilmektedir. Sahada sıvılaştığı ve sıvılaşmadığı bilinen noktalar abak üstüne yerleştirildiğinde gerçekte sıvılaştıran noktaların büyük kısmı sıvılaşma olmayan bölgede veya bu bölgeye oldukça yakın noktalardadır. Diğer yandan, sıvılaşma olmayan noktaların önemli bir kısmı sıvılaşma bölgesinde görülmektedir. Robertson ve Wride'nin (1998) yöntemi ile veri tabanındaki noktalar değerlendirildiğinde tahminlerin %39'unun hatalı olduğu görülmüştür (Şekil 4.2). Bu hataların büyük bölümü de gerçekte sıvılaşma beklenmemesi gereken noktaların Robertson ve Wride'a (1998) göre sıvılaşabilir olarak değerlendirilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu tarz bir hatalı tahmin, zemin iyileştirme çalışmalarına olan ihtiyacı arttıracığı için ekonomik açıdan uygun olmayabilir.

Bu doktora çalışmasında önerilen SI tahmin yöntemi ile hata miktarı %7,5 seviyesine kadar düşmüştür (Şekil 4.3). Böylece önerilen yeni yöntemin Robertson ve Wride'nin (1998) yöntemine göre daha iyi sonuçlar verebileceği görülmüştür.



Şekil 4.2 Robertson ve Wride'nin (1998) yöntemi ile hesaplanan sıvılaşma sonuçlarının karşılaştırılması

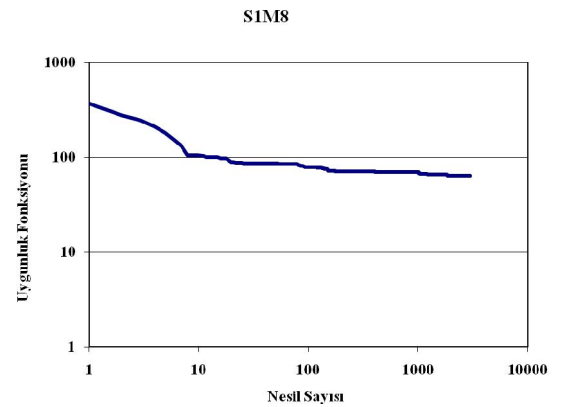
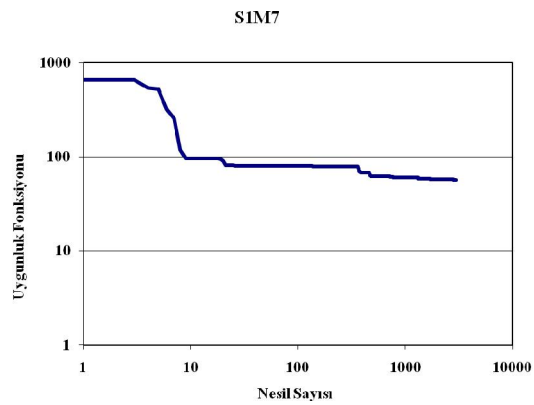
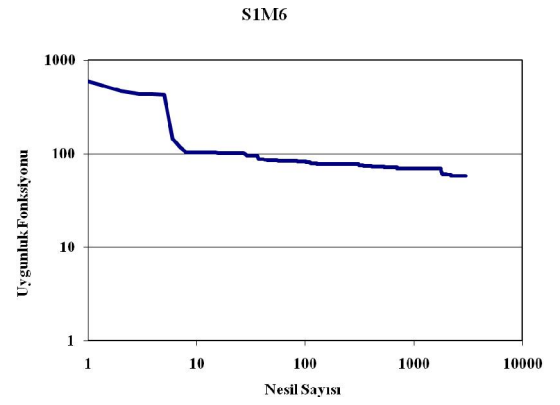
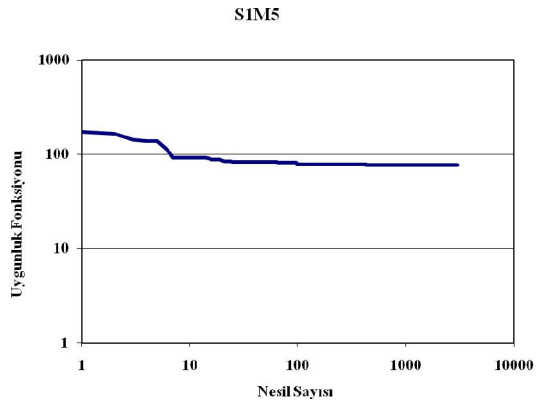
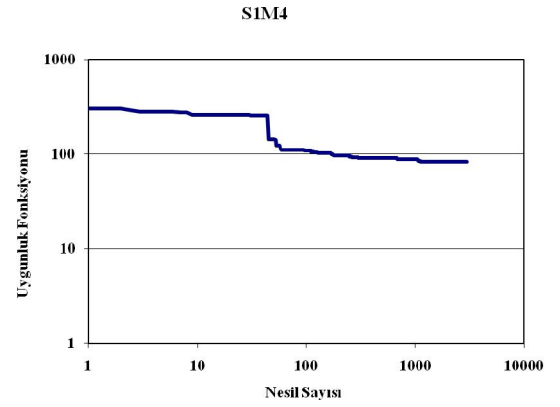
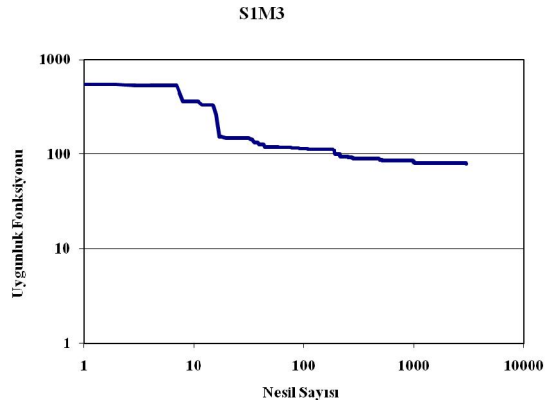
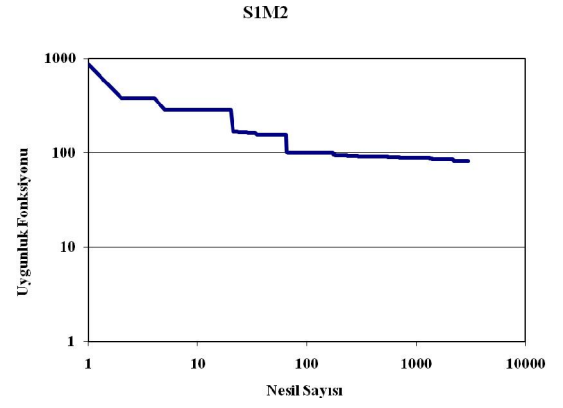
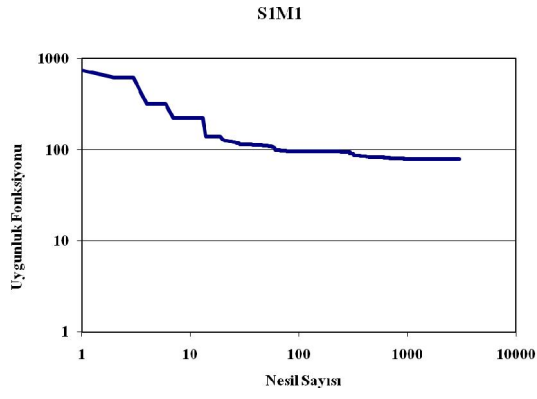


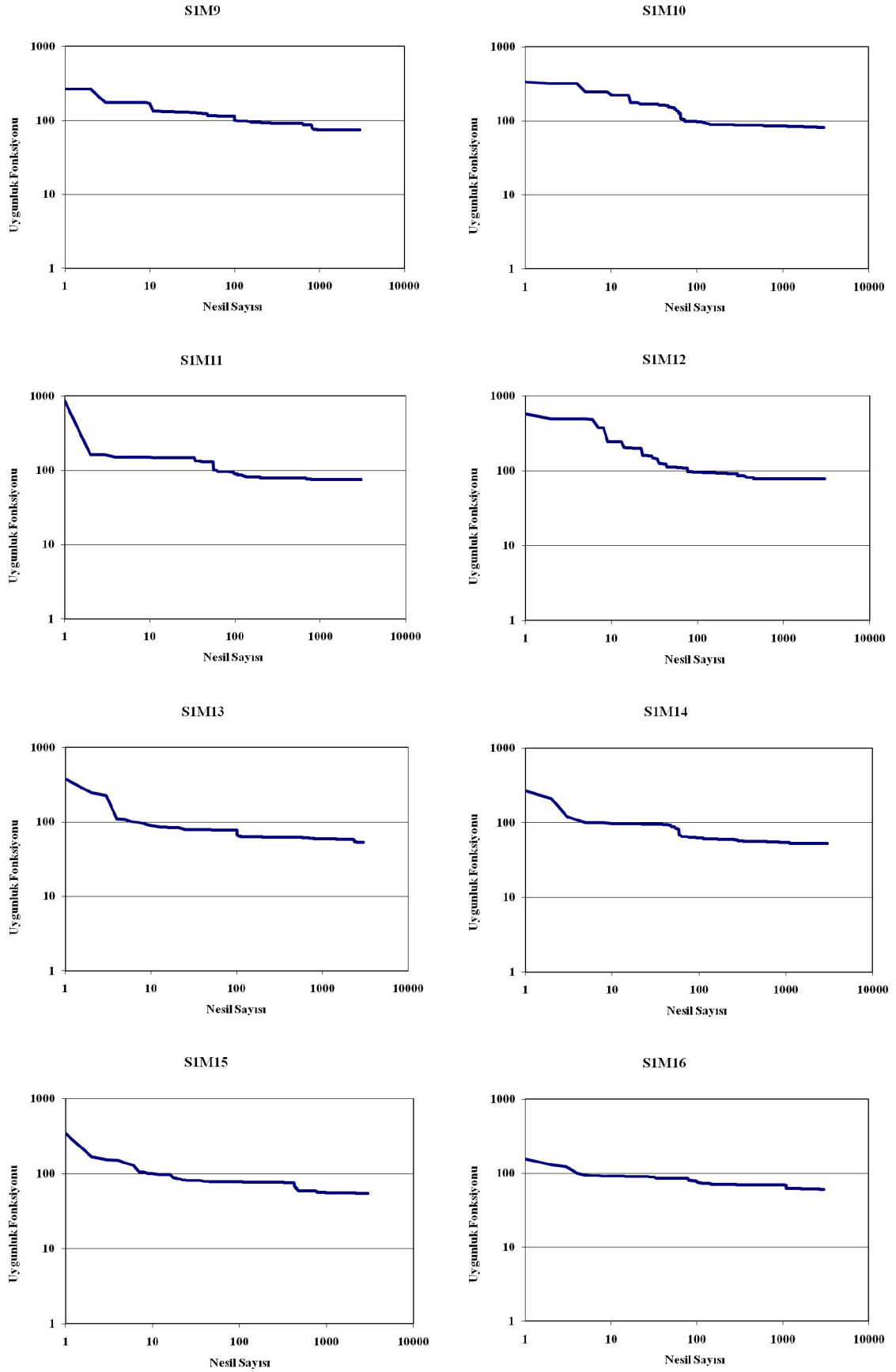
Şekil 4.3 Bu çalışmada önerilen SI ile hesaplanan sıvılaşma sonuçlarının karşılaştırılması

Oluşturulan bu modellerde toplam mutlak hatanın nesil sayısındaki artışla birlikte azalması *UF1* ve *UF2* uygunluk fonksiyonları için sırasıyla Şekil 4.4-7'de gösterilmiştir.

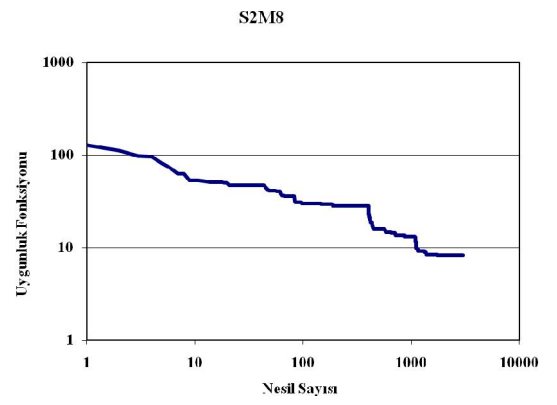
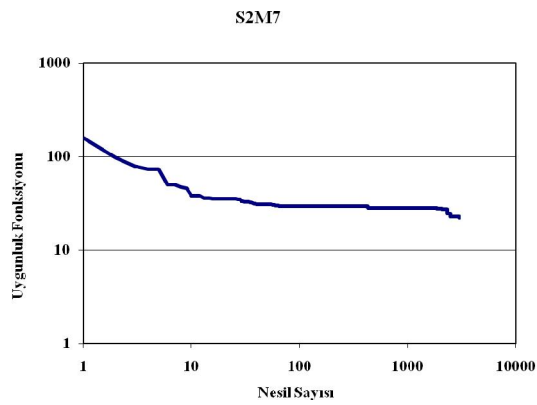
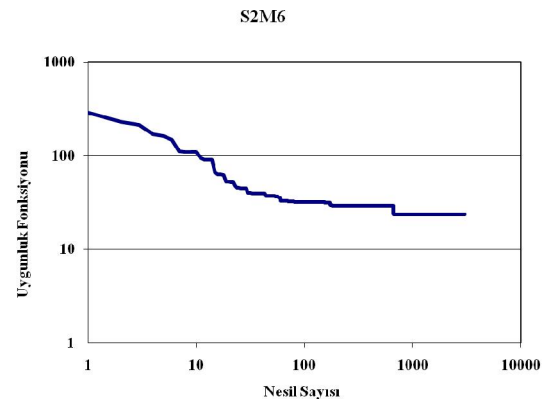
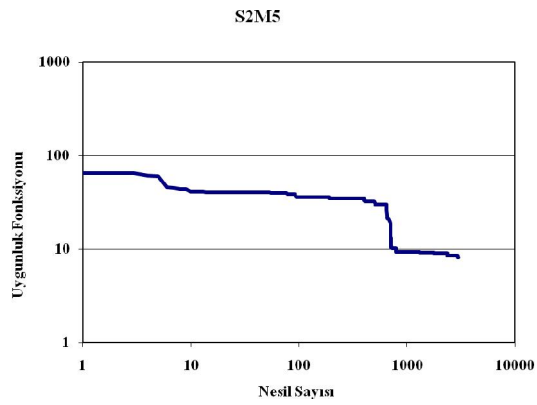
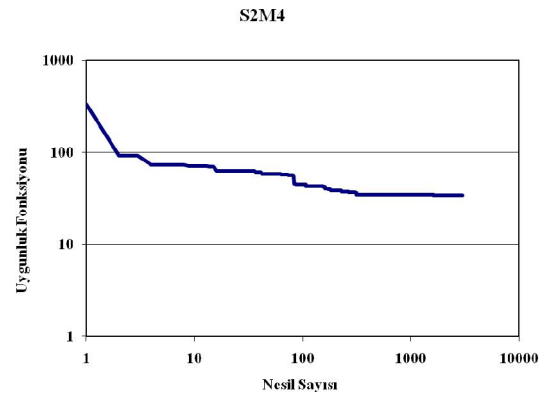
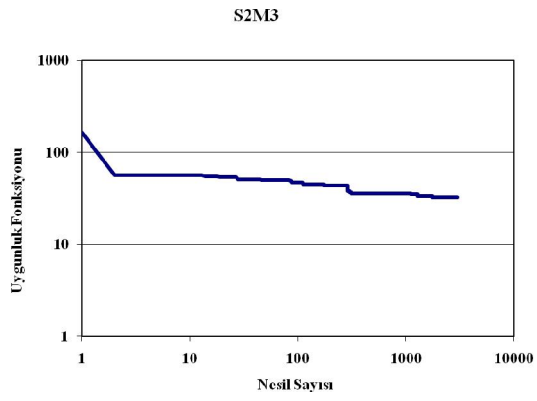
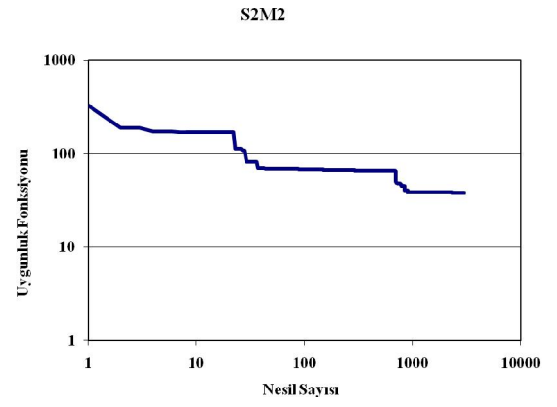
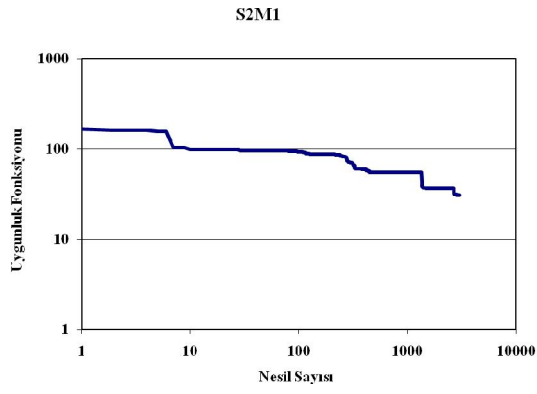
UF1 uygunluk fonksiyonu ile üretilen fonksiyonlarda en düşük toplam mutlak hatanın S1M6, S1M7, S1M13, S1M14 ve S1M15 modellerinde elde edildiği Şekil 4.4'te görülmektedir. Ancak, hatalı tahmin sayısının S1M7'de daha düşük olduğu görülmektedir.

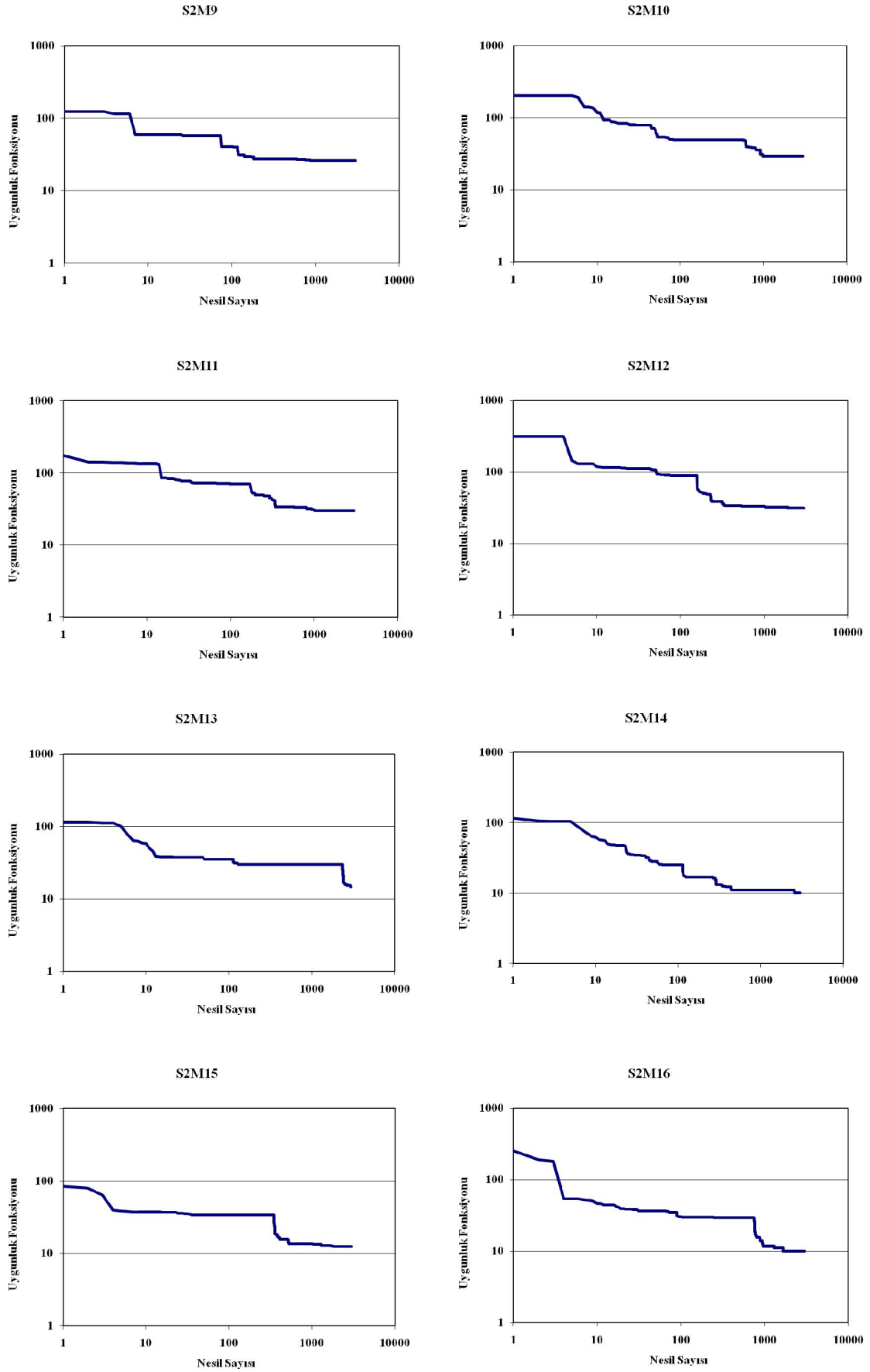
Şekil 4.5'te uygunluk fonksiyonu değerlerindeki iyileşme gösterilmiştir. *UF2* ile üretilen fonksiyonlarda en düşük toplam mutlak hatanın S2M1, S2M5, S2M8, S2M13, S2M14, S2M15, S2M16 modellerinde elde edildiği, Ayrıca S3M7, S3M8, S3M16, S4M6, S4M8, modellerinin de benzer olarak sonuçları görülmektedir (Şekil 4.5-7).



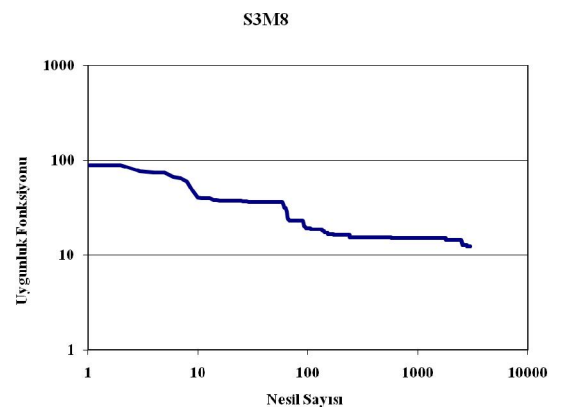
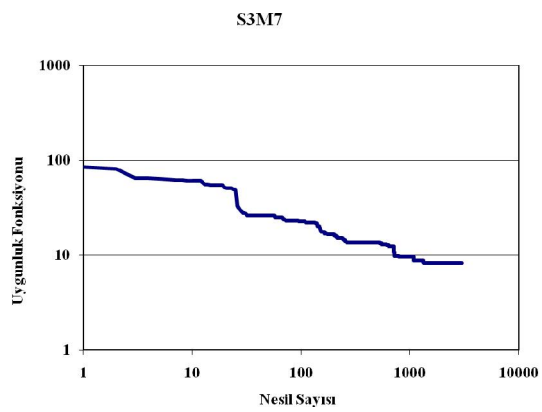
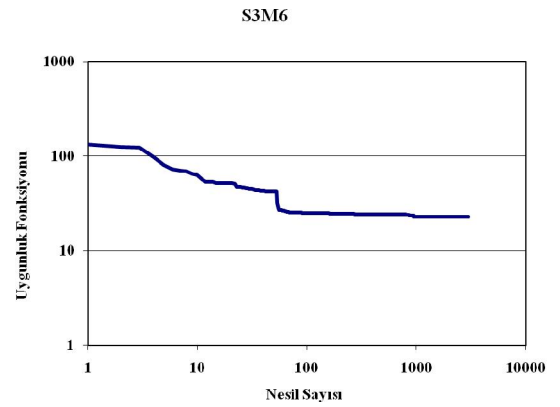
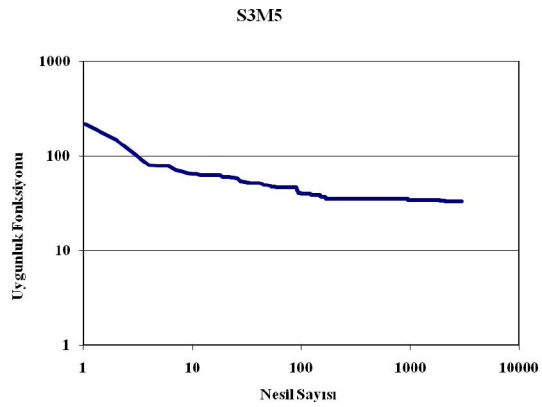
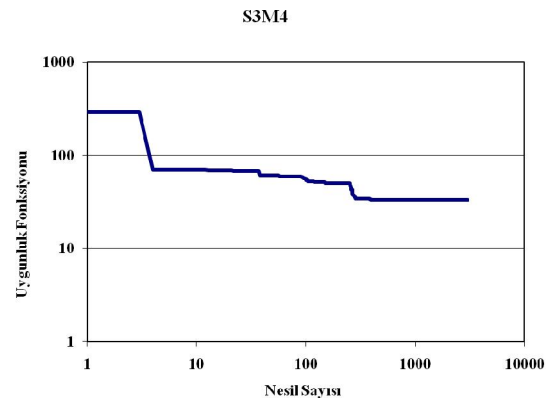
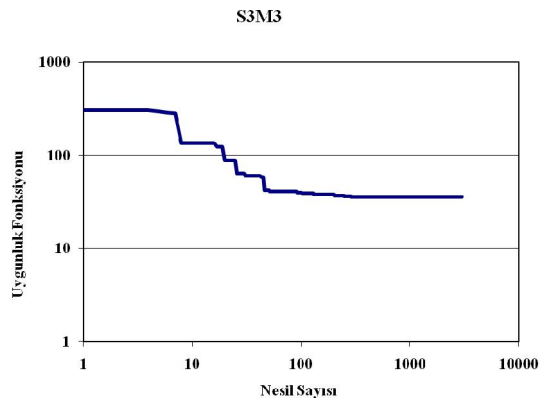
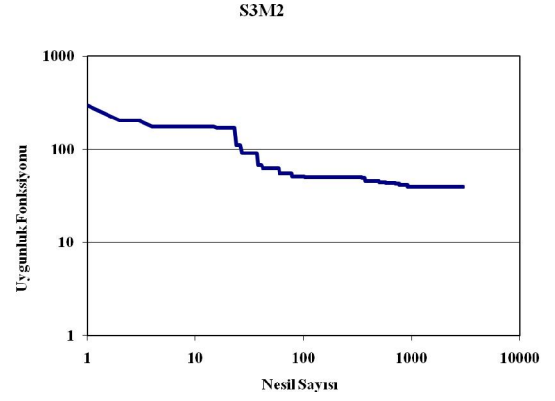
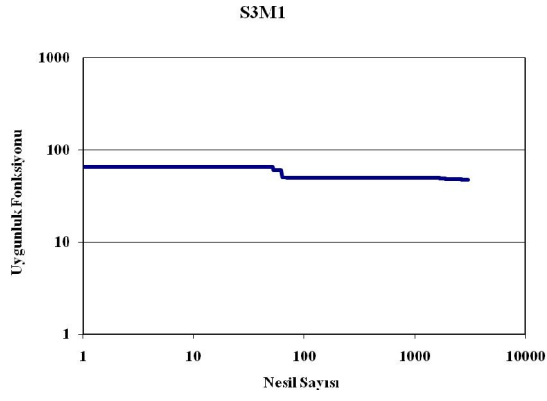


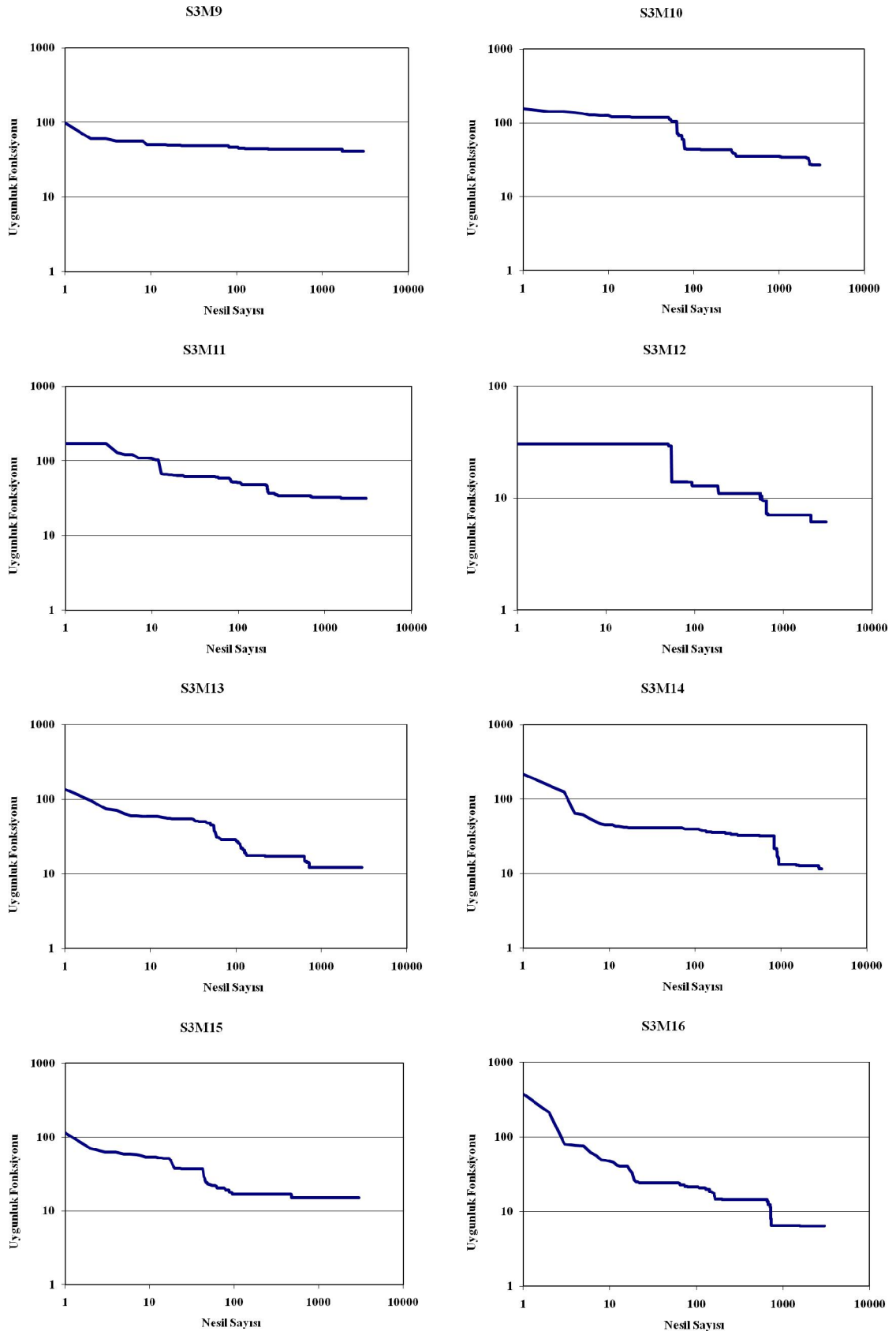
Şekil 4.4 Uygunluk fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi (UF1-S1)



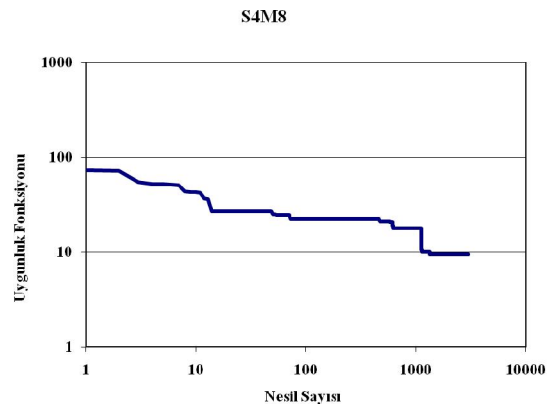
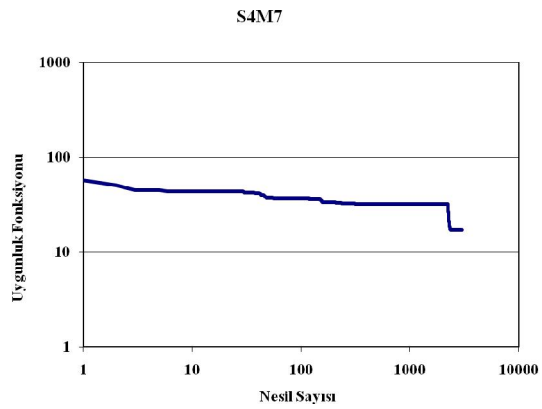
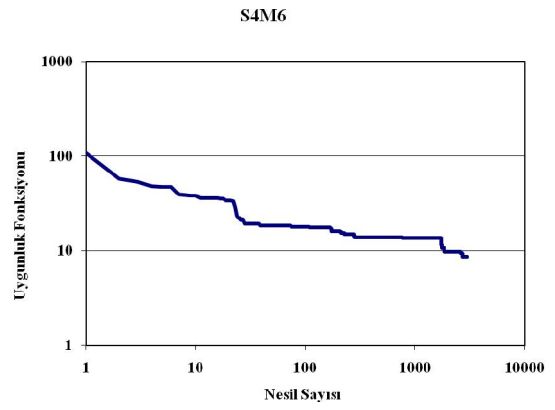
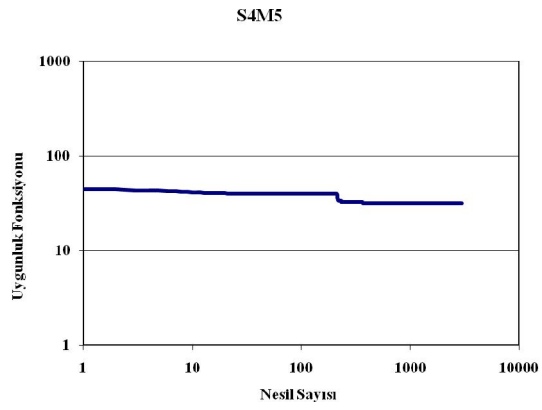
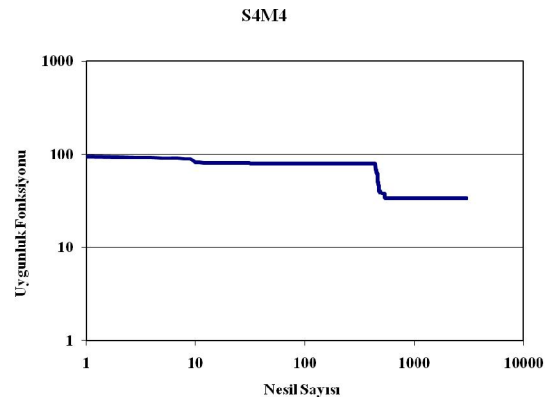
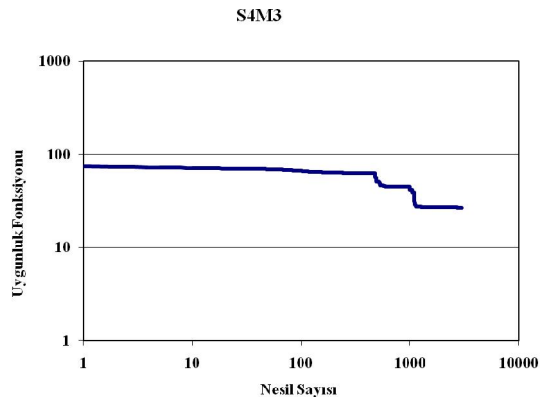
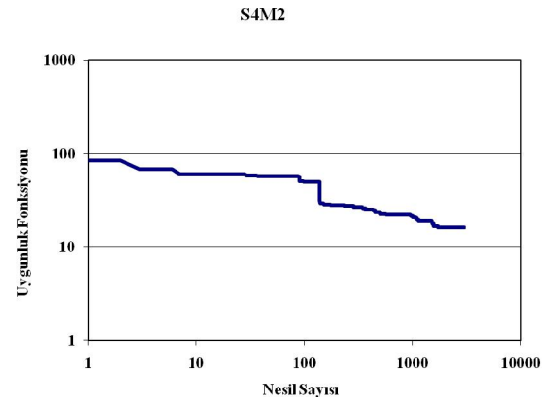
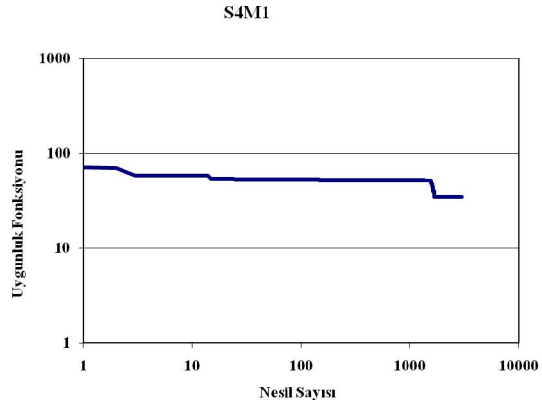


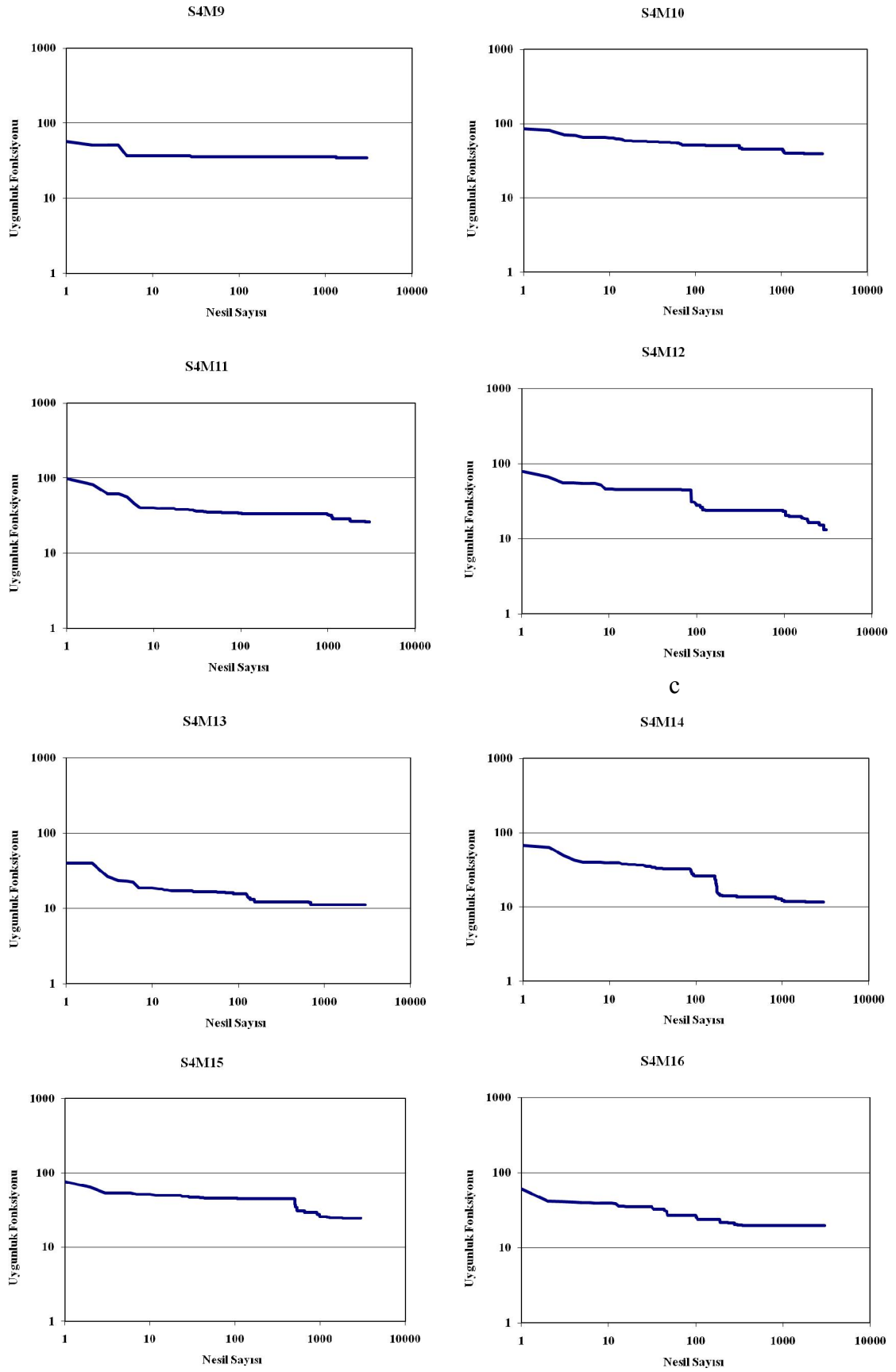
Şekil 4.5 Uygunluk fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi (UF2-S2)





Şekil 4.6 Uygunluk fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi (UF2-S3)





Şekil 4.7 Uygunluk fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi (UF2-S4)

4.3. Modellerde Etkili Parametreler

GA çözümlerinde kullanılan CPT tabanlı veritabanı için etkili parametreler değerlendirilmiş ve ayrıntılı bilgi Tablo 4.1-4-7-10'da sunulmuştur. *UF1* için geliştirilen en iyi modellerin tamamında D_{50} , YASS, z ve q_c parametrelerinin olduğu görülmektedir. *UF1* için geliştirilen fonksiyonlarda q_{c1} 'in hiç yer almadığı görülse de, q_c 'nin bu fonksiyonların tümünde bulunması sebebiyle etkin bir parametre olduğu ortadadır. Elde edilen bu dört fonksiyondan bir tanesinde deprem karakteristikleri SSSSR ve SSSR_{7.5}, iki tanesinde a_{max} ve SSSR_{7.5} ile temsil edilmektedir. S1M15'de ise deprem karakteristiklerini temsil edebilecek herhangi bir parametre yer almamaktadır. Bu sebeple bu fonksiyonlar içerisinde sadece 6, 7 ve 14 nolu modellerin kullanılması uygundur.

UF2 için verilen Tablo 4.4'te D_{50} parametresinin tüm modellerde yer aldığı dikkat çekmektedir. Deprem büyüklüğünü temsilen a_{max} , SSSSR ve SSSR_{7.5} parametrelerinden en az birisinin tüm modellerde yer aldığı görülmektedir. Bu anlamda *UF2* için elde edilen modellerde hem deprem hem de zemini temsil eden parametrelerin bir arada bulunması nedeniyle daha sağlıklı sonuç vereceği ortadadır.

En düşük toplam mutlak hatayı veren S2M5 ve S2M8 modelleri için kullanılmayan parametrelere bakıldığında etkilerinin diğer parametrelerde yer aldığı görülmektedir. Yani, S2M5'de a_{max} yer almamasına rağmen deprem karakteristiklerini yansıtabilecek SSSSR ve SSSR_{7.5}, parametrelerinin olduğu gözlenmektedir. σ'_{vo} parametresi de yer almamasına rağmen YASS, σ_{vo} ve z parametrelerinin olması zemin karakteristiğini yansıtabilmesi açısından dikkat çekmektedir.

S3 setindeki modeller içerisinde en iyi performansa sahip S3M16 modeli zemin (D_{50} , q_c) ve deprem (a_{max} , SSSSR ve SSSR_{7.5}) parametrelerinden en az birini içermekle birlikte YASS'nin seçilmemiş olması dikkat çekicidir.

S4 setindeki en iyi performansa sahip modellerde ise zemin, deprem ve deney parametrelerinden en az bir tanesi yer almaktadır. S4M8 modelinde S4M6 modelinden farklı olarak a_{max} 'in da hesaplamalarda yer alması önemli bir katkı sağlamaktadır.

5. SPT TABANLI GA ÇÖZÜMLERİ

UF1 ve *UF2* uygunluk fonksiyonları ile geliştirilen modeller ve çalıştırılan farklı serilere ait değerlendirmeler aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

5.1. GA Çözümleri

UF1 uygunluk fonksiyonu ile çok sayıda model geliştirilmiş ancak burada en iyi sonucu veren modeller seçilerek verilmiştir. *UF1*'e bağlı olarak geliştirilen modellerde kullanılan parametreler, fonksiyonlar ve denklem katsayı ve üsleri Tablo 5.1-3'te, *UF2*'ye bağlı olarak geliştirilen modellerde kullanılan parametreler, fonksiyonlar ve denklem katsayı ve üsleri ise Tablo 5.4-6'da ayrıntılı olarak sunulmuştur. Veri tabanı kullanılarak sıvılaşma indeksi tahmini GALIQ ile gerçekleştirilmiştir. Bunun için Denklem 3.1'de verilen fonksiyon şablonuna uygun SI tahmin fonksiyonları GA kodu tarafından üretilmiştir. Bu şablona uyan SI fonksiyonlarının üretilmesi için Denklem 3.4 ve 3.5'te verilen uygunluk fonksiyonları kullanılmıştır.

Kullanılan veritabanında hesaplanan SI değerlerinin 0.5'ten küçük olması sıvılaşma olmadığı, 0.5'ten büyük olması ise sıvılaşma olduğunu göstermektedir. Bu uygunluk fonksiyonunda toplam mutlak hatanın hesaplanması için sadece yanlış tahmin edilen değerler toplama dahil edilmektedir. Doğru tahminler 1 veya 0 değerinden farklı bile olsa hataya dahil edilmemektedir. Böylece doğru tahminleri daha da iyileştirmekten ziyade yanlış tahminleri doğru tarafa çekmeye çalışılmıştır.

GA ile model geliştirilmesi için kullanılan veri tabanında yer alan parametrelerin maksimum ve minimum değerleri Tablo 3.11'da verilmişti. Geliştirilen modellerin kullanımında GA ve diğer yapay zeka yöntemlerine dayanan modellerin geliştirildikleri veri yapıları için geçerli sonuçlar verdiği hatırdan çıkarılmamalıdır.

Sıvılaşma indeksinin belirlenmesine yönelik SPT tabanlı çalışmalarda iki farklı seri ve iki farklı uygunluk fonksiyonu denenmiştir (Tablo 3.13). İlk seri (S1) tek noktadan çaprazlanmış ve *UF1* uygunluk fonksiyonu ile çalıştırılmış, diğer seri ise (S2) rastgele çaprazlama yapılmış ve *UF2* ile çalıştırılmıştır.

Yukarıda detayları verilen 2 tip seri için Tablo 3.14’de yer alan GA parametreleri kullanılarak modeller çalıştırılmıştır.

UF1 uygunluk fonksiyonu kullanılarak geliştirilen modellerin %50 ve daha az hata veren modeller Tablo 5.7’de verilmiştir. S1M2, S1M5, S1M6, S1M7, S1M8, S1M10, S1M13, S1M14, S1M15 ve S1M16 modellerinin %31,7 hata oranı içermesi dikkat çekmektedir.

UF2 uygunluk fonksiyonu kullanılarak geliştirilen modellerin %50’den az hata veren ve en iyi sonuç alınanlar Tablo 5.8’de verilmiştir. Bu modellerden S2M5, S2M7, S2M11, S2M12, S2M13, S2M15 ve S2M16, eğitim verileri için %25’ten daha az hata içermektedir. Burada en az hata (18 adet-%15) içeren model S2M15’tir. Test verilerine bakıldığında aynı hata oranına sahip (9 adet-%26,5) S2M13, S2M15 ve S2M16 modelleri dikkat çekmektedir. Eğitim verilerinin OKHK oranlarına baktığımızda en iyi performansa sahip model S2M15 iken test verilerinde ise S2M16’dır. Bütün bu veriler birlikte değerlendirildiğinde en iyi OKHK performansı S2M16 modelindedir.

Tablo 5.1 S1 ile elde edilen model parametreleri

Model adı	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t ₁₁	t ₁₂
S1M1	YASS/z	a _{max}	a _{max}	a _{max}	YASS/z	a _{max}	İTO	YASS/z	İTO	a _{max}	D ₅₀	SPT-N
S1M2	a _{max}	a _{max}	σ'_{vo}	İTO	a _{max}	a _{max}	1	a _{max}	a _{max}	a _{max}	a _{max}	a _{max}
S1M3	z	a _{max}	a _{max}	σ_{vo}	a _{max}	İTO	D ₅₀	a _{max}	1	a _{max}	σ_{vo}/σ'_{vo}	a _{max}
S1M4	a _{max}	D ₅₀	a _{max}	z	a _{max}	a _{max}	a _{max}	a _{max}	YASS/z	a _{max}	D ₅₀	a _{max}
S1M5	SPT-N	a _{max}	D ₅₀	σ_{vo}/σ'_{vo}	a _{max}	a _{max}	1	D ₅₀	a _{max}	a _{max}	İTO	D ₅₀
S1M6	a _{max}	a _{max}	a _{max}	D ₅₀	a _{max}	a _{max}	a _{max}	σ'_{vo}	a _{max}	D ₅₀	a _{max}	1
S1M7	a _{max}	a _{max}	a _{max}	a _{max}	a _{max}	a _{max}	D ₅₀	a _{max}	D ₅₀	D ₅₀	YASS/z	D ₅₀
S1M8	M _w	a _{max}	D ₅₀	İTO	a _{max}	a _{max}	a _{max}	a _{max}	İTO	YASS/z	D ₅₀	a _{max}
S1M9	a _{max}	İTO	a _{max}	1	D ₅₀	a _{max}	a _{max}	D ₅₀	a _{max}	1	İTO	D ₅₀
S1M10	D ₅₀	a _{max}	a _{max}	İTO	a _{max}	D ₅₀	a _{max}	D ₅₀	z	a _{max}	z	İTO
S1M11	a _{max}	İTO	a _{max}	İTO	a _{max}	a _{max}	a _{max}	a _{max}	σ_{vo}/σ'_{vo}	σ_{vo}/σ'_{vo}	a _{max}	a _{max}
S1M12	D ₅₀	YASS/z	SPT-N	D ₅₀	YASS/z	1	a _{max}	a _{max}	D ₅₀	1	İTO	a _{max}
S1M13	D ₅₀	a _{max}	a _{max}	a _{max}	σ_{vo}/σ'_{vo}	D ₅₀	YASS/z	M _w	SPT-N	a _{max}	YASS/z	SPT-N
S1M14	σ_{vo}	a _{max}	D ₅₀	D ₅₀	a _{max}	a _{max}	a _{max}	a _{max}	σ_{vo}/σ'_{vo}	a _{max}	D ₅₀	SPT-N
S1M15	D ₅₀	1	İTO	M _w	z	a _{max}	YASS/z	D ₅₀	a _{max}	M _w	σ'_{vo}	a _{max}
S1M16	a _{max}	İTO	a _{max}	a _{max}	D ₅₀	a _{max}	SPT-N	M _w	1	a _{max}	a _{max}	SPT-N

Tablo 5.2 S1 ile elde edilen model fonksiyonları

Model adı	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	f ₇	f ₈	f ₉	f ₁₀	f ₁₁	f ₁₂
S1M1	yuvarla()	ln()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	Sign()	ln()	yuvarla()	Sign()
S1M2	yuvarla()	x()	Sign()	Sign()	ln()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	yuvarla()	yuvarla()	Sign()	ln()
S1M3	yuvarla()	x()	Sign()	Sign()	ln()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	yuvarla()	yuvarla()	Sign()	ln()
S1M4	yuvarla()	yuvarla()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	x()	yuvarla()	x()	yuvarla()	ln()	x()	yuvarla()
S1M5	ln()	yuvarla()	Sign()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	yuvarla()	Sign()	Sign()	yuvarla()	Sign()	Sign()
S1M6	yuvarla()	ln()	yuvarla()	yuvarla()	yuvarla()	Sign()	yuvarla()	x()	yuvarla()	yuvarla()	ln()	ln()
S1M7	ln()	yuvarla()	yuvarla()	yuvarla()	x()	yuvarla()	ln()	ln()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	yuvarla()
S1M8	ln()	yuvarla()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	yuvarla()	x()	yuvarla()	Sign()	yuvarla()	yuvarla()	ln()
S1M9	yuvarla()	ln()	yuvarla()	ln()	ln()	yuvarla()	x()	yuvarla()	ln()	Sign()	Sign()	yuvarla()
S1M10	ln()	Sign()	yuvarla()	Sign()	ln()	yuvarla()	ln()	Sign()	ln()	yuvarla()	Sign()	Sign()
S1M11	yuvarla()	Sign()	yuvarla()	Sign()	yuvarla()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	x()	yuvarla()	yuvarla()	Sign()
S1M12	ln()	ln()	Sign()	yuvarla()	yuvarla()	Sign()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	x()	Sign()	ln()
S1M13	Sign()	ln()	yuvarla()	yuvarla()	yuvarla()	yuvarla()	yuvarla()	yuvarla()	Sign()	yuvarla()	x()	yuvarla()
S1M14	ln()	yuvarla()	yuvarla()	yuvarla()	yuvarla()	yuvarla()	Sign()	yuvarla()	Sign()	ln()	yuvarla()	Sign()
S1M15	Sign()	yuvarla()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	yuvarla()	Sign()	ln()	yuvarla()	Sign()	x()	yuvarla()
S1M16	yuvarla()	Sign()	yuvarla()	ln()	ln()	yuvarla()	Sign()	ln()	x()	ln()	yuvarla()	yuvarla()

Tablo 5.3 S1 ile elde edilen model katsayı ve üsleri

Model adı	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉
S1M1	0,00	0,00	1,76	3,88	0,91	0,58	4,69	20,47	1,92	5,08	17,83	4,18	1,76	0,00	2,57	1,77	12,93	1,78	4,71	0,54
S1M2	0,00	0,95	0,41	0,00	2,96	0,00	1,04	0,17	3,32	0,80	0,00	5,07	5,06	12,93	4,62	3,18	2,58	4,93	3,91	3,83
S1M3	0,00	0,00	1,73	1,27	0,47	3,04	5,05	8,31	0,08	4,04	0,63	1,57	0,75	7,18	3,98	4,68	0,00	3,31	4,45	3,83
S1M4	0,00	7,67	4,40	0,00	2,14	0,95	0,37	5,54	2,55	4,33	0,04	2,56	0,37	0,00	2,38	4,95	14,39	2,28	2,14	4,58
S1M5	0,00	0,00	4,91	1,33	4,35	0,00	4,45	0,00	3,90	5,01	0,95	0,40	5,03	0,00	3,86	5,07	0,05	0,41	2,06	4,77
S1M6	0,00	0,78	0,41	0,00	0,96	4,18	4,02	0,22	0,21	0,41	12,12	1,57	4,91	19,17	1,21	4,27	0,00	3,20	2,22	0,01
S1M7	0,00	0,14	0,64	0,95	0,41	2,34	4,33	16,61	4,42	3,46	4,68	5,09	0,73	14,94	2,75	3,59	4,45	4,08	5,11	0,79
S1M8	0,00	0,00	4,79	0,05	0,41	0,00	0,79	6,90	1,82	4,81	10,89	4,03	1,05	0,95	0,40	1,80	0,20	5,07	1,27	4,41
S1M9	0,00	14,12	4,77	0,00	2,31	2,66	4,56	0,00	5,03	5,11	0,52	0,41	0,64	16,66	3,64	2,58	0,16	1,47	3,57	0,74
S1M10	0,00	0,00	1,45	0,00	5,09	0,63	0,41	0,33	0,64	1,20	20,47	3,71	2,74	0,00	2,18	2,79	0,31	0,40	0,74	2,66
S1M11	0,00	0,03	2,54	0,00	1,34	0,08	5,03	0,10	3,53	0,64	4,17	4,79	1,62	0,31	0,41	0,23	10,29	0,37	4,16	3,19
S1M12	0,00	0,00	0,78	0,00	1,57	0,00	4,26	0,63	1,05	4,98	0,21	3,08	4,99	19,16	1,72	3,71	2,23	2,73	0,04	1,28
S1M13	0,00	0,00	1,50	0,00	4,85	0,01	0,41	0,99	0,41	0,08	5,12	4,89	4,05	0,00	1,14	2,38	3,38	4,95	3,66	3,15
S1M14	0,00	0,00	2,12	0,05	0,41	0,00	2,20	18,12	3,79	3,94	0,95	0,41	0,29	8,58	5,03	2,20	0,00	5,11	3,61	1,29
S1M15	0,00	0,00	1,51	0,00	2,36	0,00	2,18	0,00	0,40	0,43	0,05	0,40	1,05	1,37	0,00	0,41	12,95	3,92	0,48	5,00
S1M16	0,00	0,31	0,41	0,00	4,36	0,62	0,40	0,00	5,08	4,91	0,07	0,40	1,33	0,00	4,85	2,58	19,15	3,32	4,35	3,51

Tablo 5.4 S2 ile elde edilen model parametreleri

Model adı	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t ₁₁	t ₁₂
S2M1	σ'_{vo}	YASS/z	D ₅₀	σ_{vo}/σ'_{vo}	YASS/z	a _{max}	İTO	a _{max}	a _{max}	a _{max}	YASS	σ_{vo}/σ'_{vo}
S2M2	YASS	a _{max}	1	İTO	a _{max}	σ_{vo}/σ'_{vo}	a _{max}	1	a _{max}	D ₅₀	YASS	D ₅₀
S2M3	a _{max}	1	1	YASS/z	a _{max}	z	a _{max}	a _{max}	a _{max}	a _{max}	SPT-N	D ₅₀
S2M4	SPT-N	σ_{vo}	σ_{vo}/σ'_{vo}	1	1	a _{max}	z	z	M _w	YASS	SPT-N	a _{max}
S2M5	YASS/z	YASS/z	1	YASS/z	YASS/z	1	SPT-N	D ₅₀	a _{max}	σ'_{vo}	σ_{vo}/σ'_{vo}	YASS/z
S2M6	SPT-N	YASS/z	YASS/z	M _w	D ₅₀	SPT-N	YASS/z	M _w	SPT-N	1	a _{max}	YASS/z
S2M7	SPT-N	a _{max}	a _{max}	YASS/z	YASS/z	a _{max}	İTO	σ'_{vo}	M _w	YASS/z	M _w	SPT-N
S2M8	z	YASS/z	σ'_{vo}	a _{max}	M _w	M _w	M _w	a _{max}	σ'_{vo}	D ₅₀	a _{max}	1
S2M9	a _{max}	D ₅₀	1	σ_{vo}	M _w	D ₅₀	a _{max}	a _{max}	YASS/z	D ₅₀	YASS/z	İTO
S2M10	D ₅₀	z	D ₅₀	1	z	a _{max}	YASS	1	D ₅₀	SPT-N	D ₅₀	z
S2M11	1	σ_{vo}/σ'_{vo}	1	z	SPT-N	YASS/z	σ_{vo}	D ₅₀	1	D ₅₀	M _w	a _{max}
S2M12	z	a _{max}	YASS/z	a _{max}	SPT-N	σ_{vo}/σ'_{vo}	a _{max}	a _{max}	D ₅₀	a _{max}	σ_{vo}	a _{max}
S2M13	YASS/z	z	σ'_{vo}	1	a _{max}	z	SPT-N	a _{max}	YASS/z	a _{max}	z	σ_{vo}/σ'_{vo}
S2M14	D ₅₀	SPT-N	σ'_{vo}	D ₅₀	σ'_{vo}	SPT-N	M _w	a _{max}	SPT-N	D ₅₀	YASS/z	D ₅₀
S2M15	M _w	SPT-N	M _w	a _{max}	z	SPT-N	σ'_{vo}	YASS/z	a _{max}	1	a _{max}	1
S2M16	D ₅₀	z	a _{max}	a _{max}	1	a _{max}	YASS	SPT-N	SPT-N	SPT-N	SPT-N	1

Tablo 5.5 S2 ile elde edilen model fonksiyonları

Model adı	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	f ₇	f ₈	f ₉	f ₁₀	f ₁₁	f ₁₂
S2M1	Sign()	x()	Sign()	ln()	x()	x()	ln()	x()	Sign()	Sign()	Sign()	Sign()
S2M2	Sign()	x()	x()	x()	yuvarla()	ln()	ln()	ln()	x()	Sign()	ln()	yuvarla()
S2M3	x()	x()	ln()	Sign()	Sign()	x()	yuvarla()	x()	x()	ln()	yuvarla()	yuvarla()
S2M4	ln()	Sign()	Sign()	yuvarla()	yuvarla()	x()	Sign()	Sign()	Sign()	Sign()	Sign()	x()
S2M5	Sign()	Sign()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	yuvarla()	x()	x()	x()	Sign()	x()	yuvarla()
S2M6	Sign()	x()	yuvarla()	yuvarla()	x()	ln()	x()	Sign()	Sign()	yuvarla()	ln()	ln()
S2M7	ln()	x()	yuvarla()	Sign()	ln()	x()	Sign()	Sign()	x()	x()	Sign()	Sign()
S2M8	Sign()	Sign()	Sign()	Sign()	ln()	ln()	yuvarla()	x()	Sign()	Sign()	x()	ln()
S2M9	yuvarla()	Sign()	Sign()	Sign()	Sign()	ln()	ln()	yuvarla()	ln()	yuvarla()	x()	Sign()
S2M10	ln()	Sign()	Sign()	yuvarla()	Sign()	ln()	x()	x()	ln()	ln()	x()	ln()
S2M11	yuvarla()	Sign()	Sign()	Sign()	ln()	Sign()	Sign()	Sign()	Sign()	ln()	yuvarla()	x()
S2M12	Sign()	x()	Sign()	Sign()	x()	Sign()	ln()	yuvarla()	Sign()	ln()	x()	yuvarla()
S2M13	ln()	ln()	Sign()	yuvarla()	x()	ln()	Sign()	x()	yuvarla()	ln()	Sign()	yuvarla()
S2M14	ln()	ln()	Sign()	ln()	Sign()	Sign()	yuvarla()	Sign()	ln()	Sign()	yuvarla()	yuvarla()
S2M15	Sign()	Sign()	x()	Sign()	Sign()	x()	Sign()	yuvarla()	x()	Sign()	ln()	ln()
S2M16	x()	Sign()	Sign()	x()	yuvarla()	Sign()	Sign()	Sign()	Sign()	ln()	Sign()	ln()

Tablo 5.6 S2 ile elde edilen model katsayıları

Model adı	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉
S2M1	-3,51	5,19	1,71	6,29	0,46	4,57	1,69	-4,29	3,72	3,86	-0,33	1,86	2,60	5,11	1,44	1,32	-9,83	2,37	2,26	4,08
S2M2	9,83	-7,57	0,86	-1,28	4,16	-1,93	3,23	2,83	1,88	3,36	1,72	0,72	0,67	-6,40	4,91	4,48	-0,04	3,78	0,80	1,30
S2M3	7,20	6,41	3,89	-2,67	0,66	-2,61	2,16	-2,23	0,34	1,62	2,07	3,65	3,30	2,00	5,09	3,75	-5,28	5,07	1,77	0,07
S2M4	-10,10	-4,33	0,00	5,50	1,16	0,16	4,76	7,80	0,54	3,74	6,40	3,39	0,54	0,13	0,60	2,30	-6,40	2,53	0,96	3,84
S2M5	8,32	-4,54	4,49	-5,52	2,34	3,12	2,81	-0,52	0,28	0,64	-0,08	3,41	0,66	5,12	1,34	1,91	-0,13	2,84	2,60	0,22
S2M6	-9,69	7,66	1,13	2,90	3,63	1,28	3,04	0,02	0,46	1,28	-0,82	1,38	4,11	2,46	4,41	3,87	7,69	4,72	1,03	0,79
S2M7	0,03	-0,59	0,32	7,68	2,79	3,56	3,24	3,63	2,63	1,27	-10,24	3,84	4,56	0,24	2,72	0,87	-2,89	2,63	4,88	2,81
S2M8	-5,22	8,87	0,63	-1,39	4,09	0,59	4,81	3,09	1,23	0,20	-6,41	0,11	0,03	-8,32	3,04	1,41	8,96	3,49	2,55	0,85
S2M9	-9,36	-7,48	4,62	5,18	0,86	-3,78	3,45	8,45	2,09	2,92	5,12	5,11	3,19	5,11	1,30	4,00	0,16	0,33	3,19	3,75
S2M10	1,82	3,41	2,17	-4,63	2,23	0,98	2,19	2,32	0,85	3,28	1,20	3,03	1,12	1,26	5,11	5,11	-0,21	2,96	3,84	0,00
S2M11	8,14	9,57	1,33	-2,90	5,00	0,07	3,92	-6,41	5,05	0,08	-2,22	4,14	4,30	-6,66	3,27	2,34	7,68	0,65	1,18	3,11
S2M12	7,64	3,41	4,70	-10,24	2,56	-5,36	4,79	-4,88	3,74	0,06	8,68	2,60	0,83	6,57	3,63	1,24	3,26	4,44	2,31	2,53
S2M13	3,56	-0,77	0,11	-2,76	4,79	-2,51	1,14	8,61	2,39	5,11	4,35	3,03	1,95	7,68	3,47	0,99	-10,03	2,72	5,03	0,85
S2M14	1,86	0,23	0,84	0,28	1,68	0,81	0,53	-0,15	2,72	1,98	-0,64	0,64	0,51	-0,61	2,91	0,86	-0,04	1,80	4,80	0,36
S2M15	1,51	5,03	4,18	-6,16	2,65	2,24	0,36	-1,16	4,43	0,90	-3,10	0,06	3,36	0,48	1,15	1,35	1,28	1,89	0,33	1,90
S2M16	8,32	1,91	0,02	-8,56	4,09	6,55	0,54	0,30	0,65	2,39	-10,13	4,64	3,98	3,12	4,33	3,70	-1,33	0,06	3,70	1,80

5.2. Model Performansları

Geliştirilen modellerin eğitim ve test verileri ile olan performansı Tablo 5.7 ve 5.8'de ayrıntılı olarak görülmektedir. Burada hata oranı %50 den az olan modeller verilmiştir. Bu modellerin oluşturulması için yüzlerce model denenmiştir.

Uygunluk fonksiyonunun değiştirilmesi ve GA parametrelerinin değiştirilmesi ile elde edilen modeller hem toplam hatalı tahmin sayısına göre hem de toplam mutlak hataya göre değerlendirilmiştir. *UF1* ile geliştirilen modellerin *UF2* ile geliştirilen modellere oranla daha kötü performansa sahip olduğu görülmektedir. Burada uygunluk fonksiyonunun seçimi GA ile optimizasyon çalışmalarında ne kadar önemli olduğu bir kez daha görülmüştür.

Toplam hatalı tahmin sayısı dikkate alındığında eğitim verilerinde en az sayıda hata (18 hata, % 15) S2M15'te ortaya çıkmaktadır. Ancak bu modeller test verileri ile denendiğinde ise en iyi sonucu % 26,5 hata oranı ile S2M16 vermiştir. Daha sağlıklı bir değerlendirme için eğitim ve test verileri bir arada değerlendirilmiştir (Şekil 5.1). Burada S2M15 ve S2M16 modellerinin hem eğitim hem de test verileri için en düşük toplam mutlak hatayı verdiği görülmektedir. Hatalı tahminlerin oranı da eğitim verilerinde % 15, test verilerinde % 26,5 olarak gerçekleşmiştir.

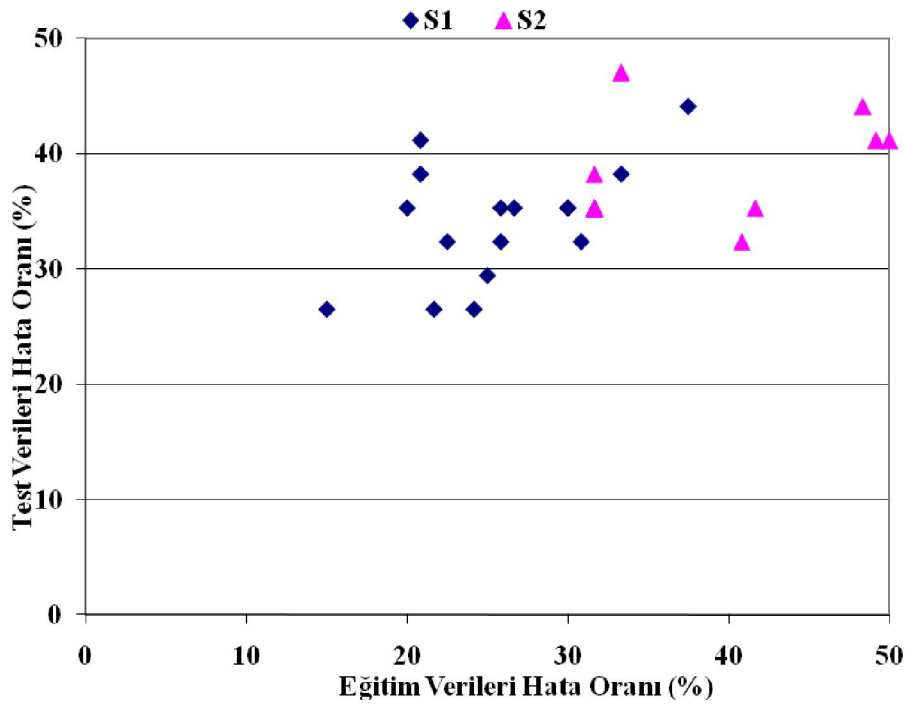
Oluşturulan bu modellerde toplam mutlak hatanın nesil sayısındaki artışla birlikte azalması *UF1* ve *UF2* uygunluk fonksiyonları için Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te gösterilmiştir. *UF2* uygunluk fonksiyonu ile üretilen fonksiyonlarda en düşük toplam mutlak hatanın S2M15 ve S2M16 modellerinde elde edildiği Şekil 5.4'te görülmektedir.

Tablo 5.7 S1 OKHK

Model no	Eğitim Verisi		Test Verisi		OKHK	OKHK	OKHK
	Hata	% hata	Hata	% hata	Eğitim Verileri	Test Verileri	Tüm Veriler
S1M1	49	40,8	11	32,4	5,5683	2,3751	6,0537
S1M2	38	31,7	12	35,3	6,0246	3,3577	6,8971
S1M3	50	41,7	12	35,3	5,0693	2,4235	5,6188
S1M4	40	33,3	16	47,1	6,0381	3,8037	7,1364
S1M5	38	31,7	12	35,3	6,1406	3,4641	7,0504
S1M6	38	31,7	12	35,3	6,1644	3,4641	7,0711
S1M7	38	31,7	12	35,3	6,0458	3,369	6,9216
S1M8	38	31,7	13	38,2	6,1406	3,5920	7,1141
S1M9	59	49,2	14	41,2	5,8412	2,8694	6,5079
S1M10	38	31,7	12	35,3	5,8487	3,3101	6,7204
S1M11	60	50,0	14	41,2	5,3062	2,5371	5,8815
S1M12	58	48,3	15	44,1	6,7433	3,4681	7,5829
S1M13	38	31,7	12	35,3	6,1644	3,4641	7,0711
S1M14	38	31,7	12	35,3	6,1644	3,4641	7,0711
S1M15	38	31,7	12	35,3	6,1625	3,4629	7,0687
S1M16	38	31,7	12	35,3	6,1644	3,4641	7,0711

Tablo 5.8 S2 OKHK

Model no	Eğitim Verisi		Test Verisi		OKHK	OKHK	OKHK
	Hata	% hata	Hata	% hata	Eğitim Verileri	Test Verileri	Tüm Veriler
S2M1	40	33,3	13	38,2	7,6127	2,8737	8,1371
S2M2	31	25,8	11	32,4	3,3114	1,7882	3,7633
S2M3	31	25,8	12	35,3	2,9610	1,8055	3,4681
S2M4	36	30,0	12	35,3	3,2935	1,7868	3,7469
S2M5	24	20,0	12	35,3	3,1448	2,1609	3,8157
S2M6	30	25,0	10	29,4	4,3581	3,8346	5,8049
S2M7	25	20,8	14	41,2	3,3555	2,5645	4,2233
S2M8	36	30,0	12	35,3	3,4340	1,7896	3,8723
S2M9	45	37,5	15	44,1	3,5275	2,0396	4,0747
S2M10	37	30,8	11	32,4	4,4633	1,6865	4,7713
S2M11	27	22,5	11	32,4	5,0626	3,0635	5,9173
S2M12	25	20,8	13	38,2	3,3745	2,7751	4,3689
S2M13	29	24,2	9	26,5	3,1825	1,6531	3,5863
S2M14	32	26,7	12	35,3	3,0474	1,8336	3,5565
S2M15	18	15,0	9	26,5	2,6290	1,9038	3,2459
S2M16	26	21,7	9	26,5	2,6732	1,5946	3,1126



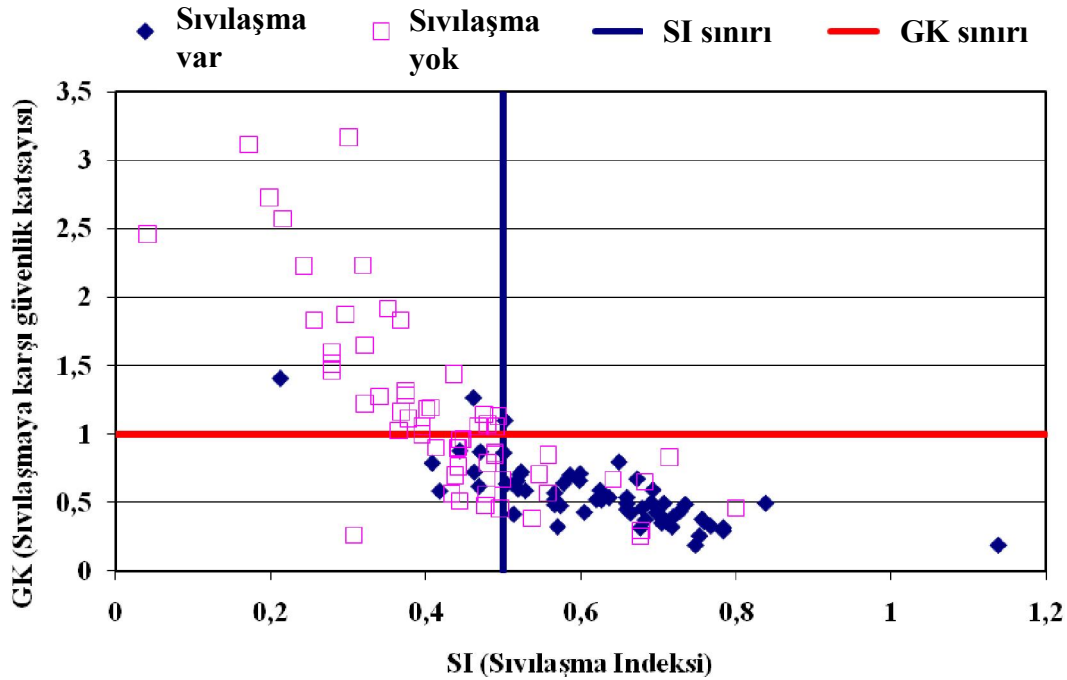
Şekil 5.1 Eğitim verileri hata oranı ve test verileri hata oranı arasındaki ilişki

Bu çalışma kapsamında geliştirilen SPT tabanlı SI modelleri literatürde yaygın kullanıma sahip, ilk olarak Seed ve Idris (1971) tarafından geliştirilen, daha sonra Youd vd'nin (2001) son şeklini verdiği yöntemle karşılaştırılmıştır (Şekil 5.2). Şekildeki, GK (sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı) değerleri Ek-3'te yer alan veriler kullanılarak Youd vd (2001) önerdiği yöntemle hesaplanmıştır. Veri tabanındaki SPT-N değerleri, literatürde yer alan atmosfer basıncı düzeltmesi (N_1) ve sondaj düzeltmeleri (N_1)₆₀ veri tabanının oluşturulduğu kaynakların tamamında verilmediği için düzeltmeler hesaplanmıştır. Bunun için etkili parametrelerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri bulunmuş ve ortalama (N_1)₆₀ değerleri GK hesaplamalarında kullanılmıştır. Buna karşılık çizdirilen SI (sıvılaşma indeksi) değerleri ise, bu çalışmada önerilen modellerden S2M15 ile geliştirilen formülle hesaplanmıştır.

Hesaplanan GK ile SI değerleri karşılaştırıldığında SI'nin daha iyi performansa sahip olduğu görülmektedir. 120 adet veride GK 31 hata (% 25,8) SI ise 18 hata (% 15) içermektedir. Ayrıca GA modeliyle geliştirilen formül (SI) gerçekte sıvılaşma olan arazi verileri (60 adet) ile karşılaştırıldığında 8 hata (%13,3) verirken hesaplanan GK 3 hata (%5) ile daha iyi performansa sahipken, gerçekte sıvılaşma olmayan arazi verilerinde (60 adet) SI 10 hata (%16,6) içermekte ve GK 28 hata (%48,6) ile çok fazla miktarda hatalı sonuç vermektedir. Bu sonuç ise sıvılaşma ihtimali olmayacak bölgeler için

gereğinden fazla mühendislik önlemi alınmasını dolayısıyla da ekonomik açıdan gereksiz harcamaların yapılmasına neden olacaktır.

Bu sonuçlar göz önüne alındığında sıvılaşma riskinin belirlenmesinde GA yaklaşımının kullanılabilirliği görülmekte ve daha gerçekçi sonuçlar elde edilmektedir.



Şekil 5.2 SI ve GK değerlerinin birlikte değerlendirilmesi

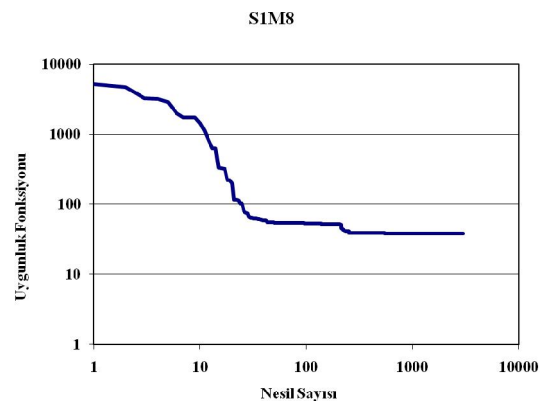
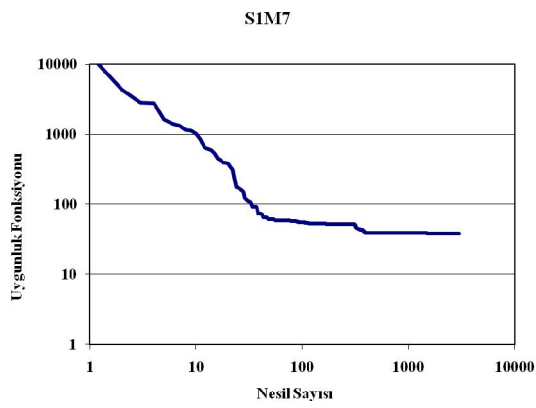
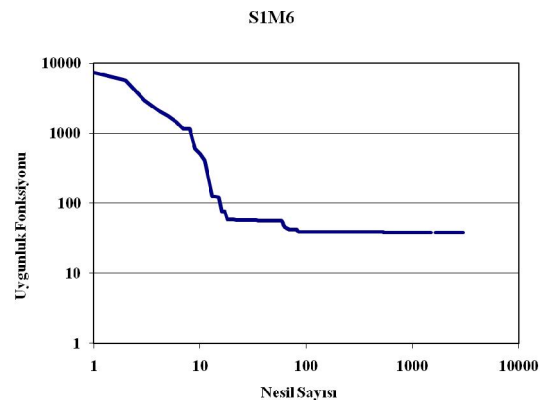
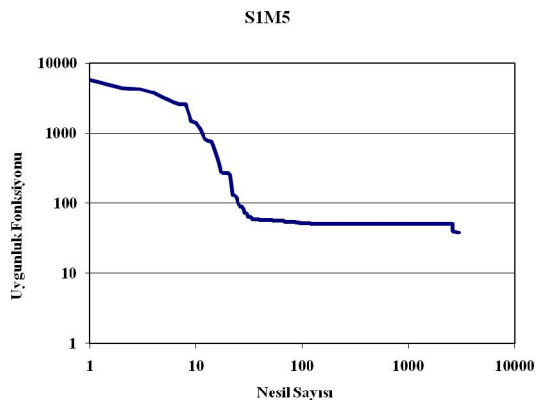
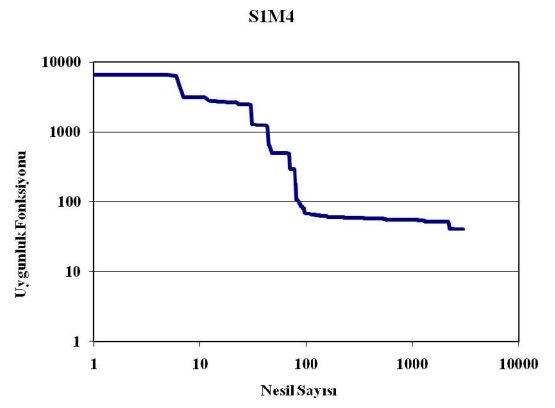
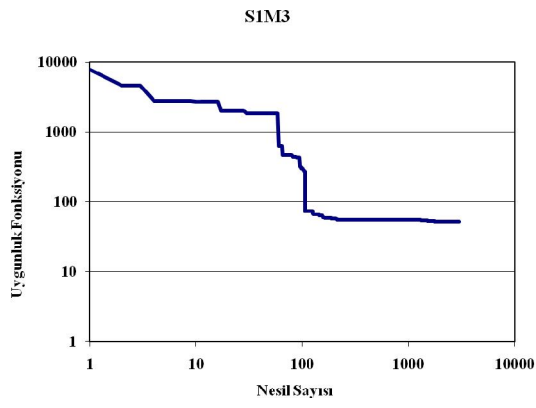
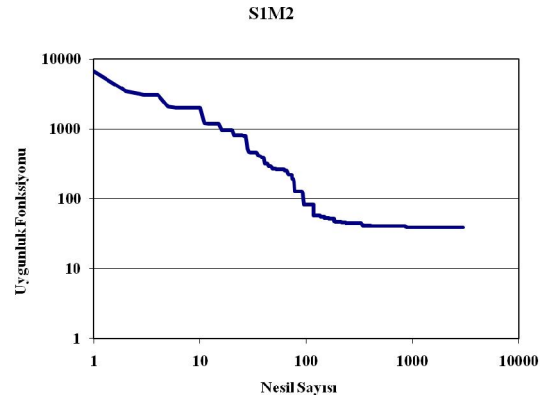
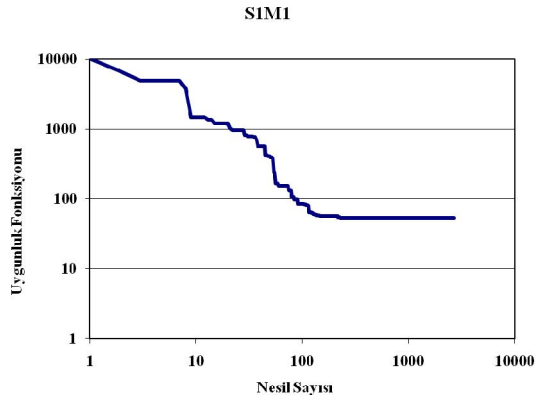
5.3. Modellerde Etkili Parametreler

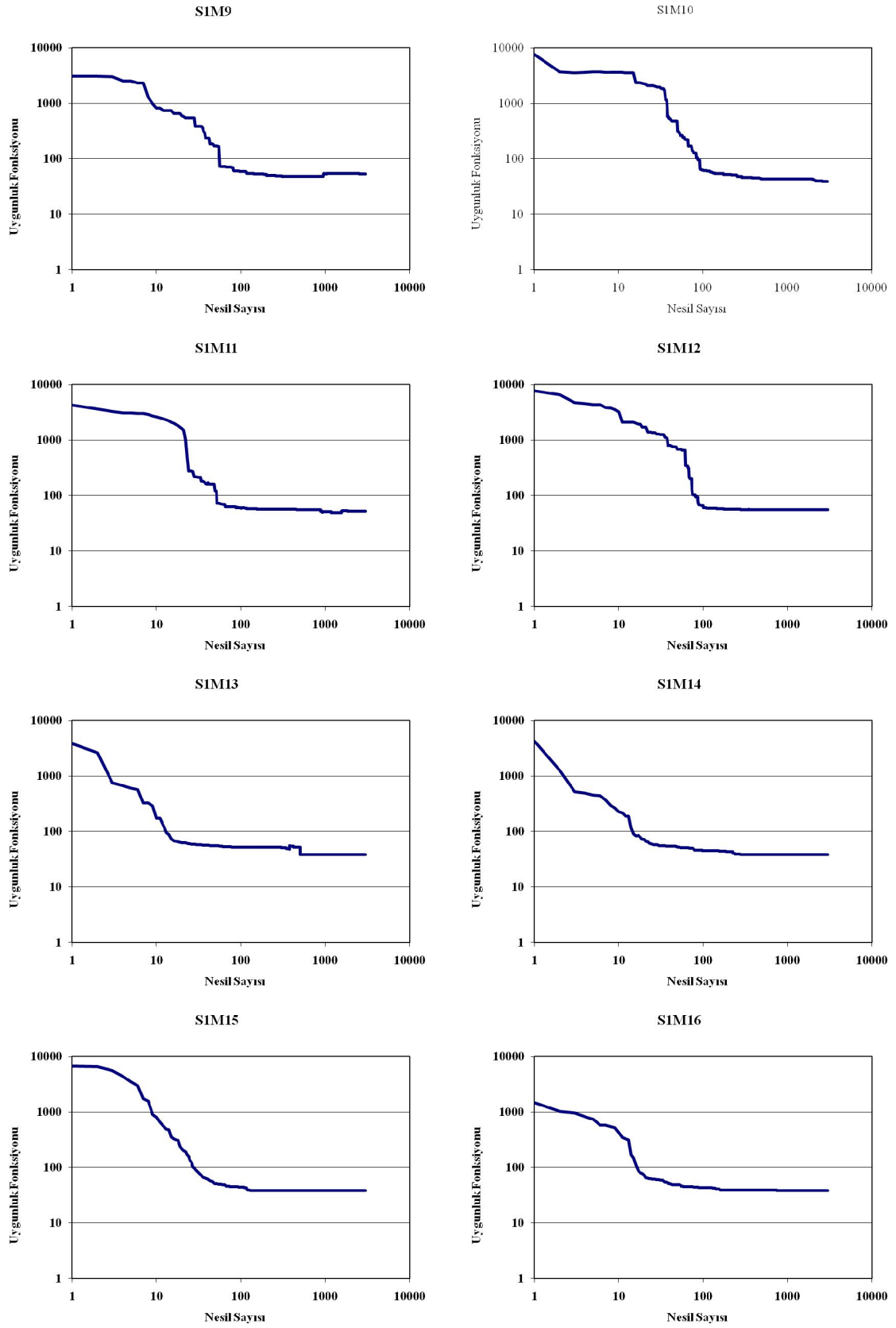
GA çözümlerinde kullanılan SPT tabanlı veritabanı için etkili parametreler değerlendirilmiş ve ayrıntılı bilgi Tablo 5.1 ve 5.4'te sunulmuştur. *UFI* için geliştirilen modellerden seçilen en iyi modeller arasında a_{max} , SPT-N, YASS, z ve D_{50} 'nin en fazla sayıda modellerde yer alan parametreler olduğu görülmektedir. *UFI* için geliştirilen fonksiyonlarda İTO'nun sadece bir modelde yer alması dikkat çekicidir. Ancak zemin etkisinin D_{50} parametresi ile modellerde yer aldığı görülmektedir. Elde edilen bu fonksiyonlardan 10 tanesinde deprem karakteristikleri a_{max} ile temsil edilirken 5 tanesinde ise M_w ile temsil edilmektedir.

Hata sayısına bakıldığında *UFI* için çalıştırılan sette en az hata (38 adet) ile S1M2, S1M5, S1M6, S1M7, S1M8, S1M10, S1M13, S1M14, S1M15 ve S1M16 öne çıkmaktadır. Test verilerinde ise bu sayı 11 adet hata ile S1M1 modelinde görülmektedir. Etkili parametreler ve OKHK verileri birlikte değerlendirildiğinde ise

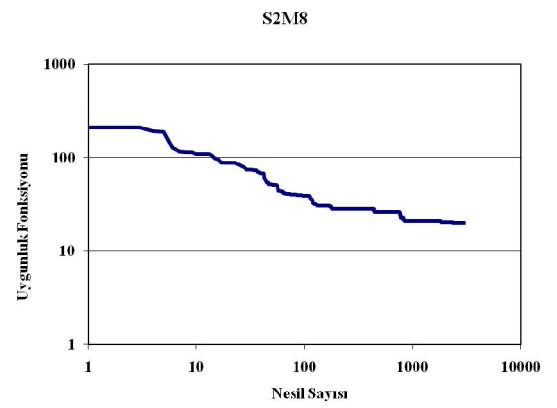
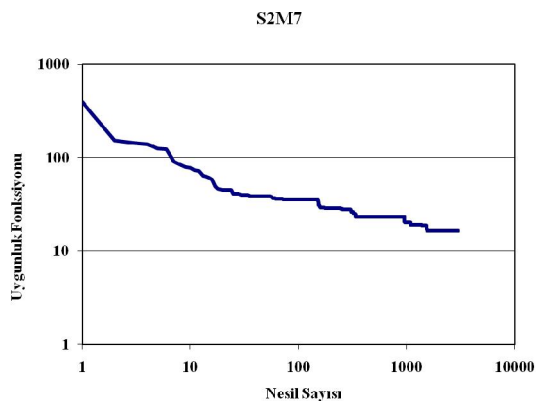
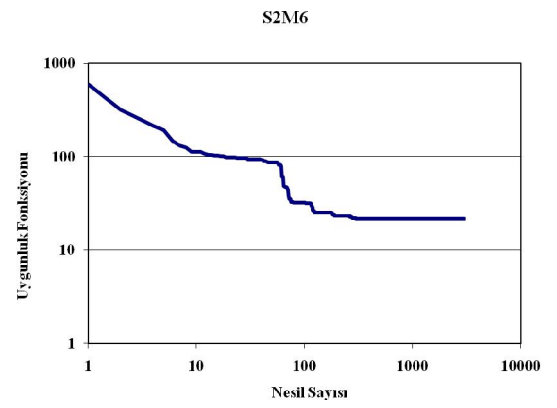
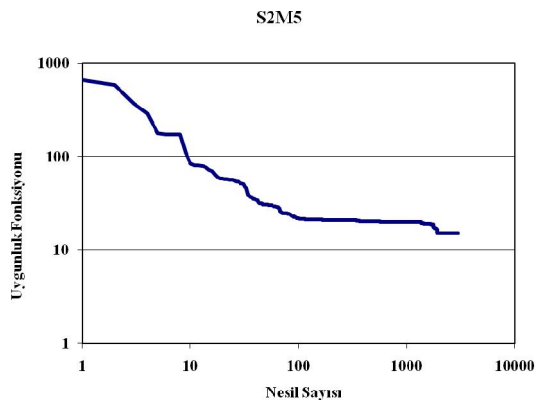
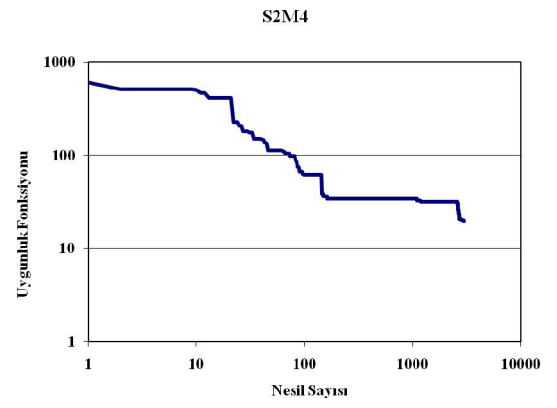
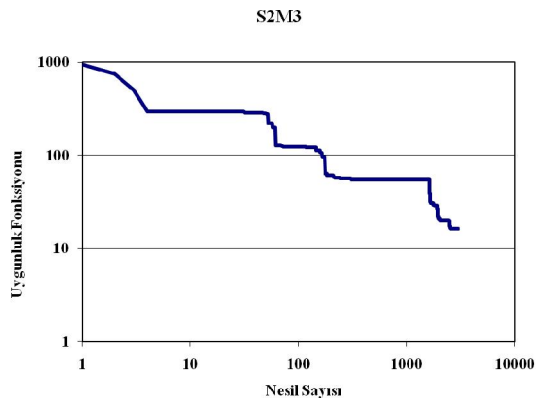
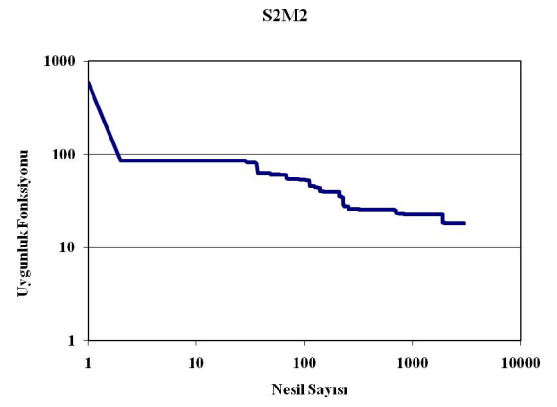
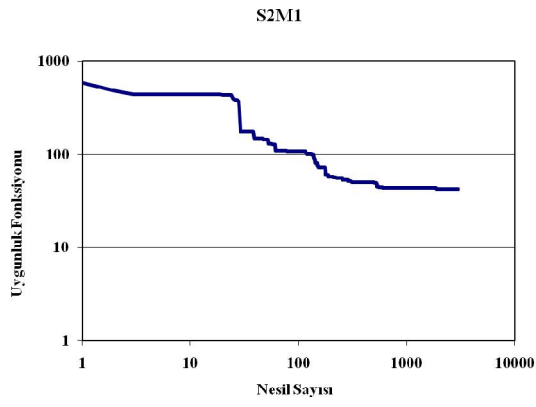
eğitim verileri iin en dşük OKHK S1M3'te, test verileri iin en dşük OKHK S1M1'de bulunmuştur. Tm veriler iin OKHK'nin en düşük olduğu model S1M3'tür.

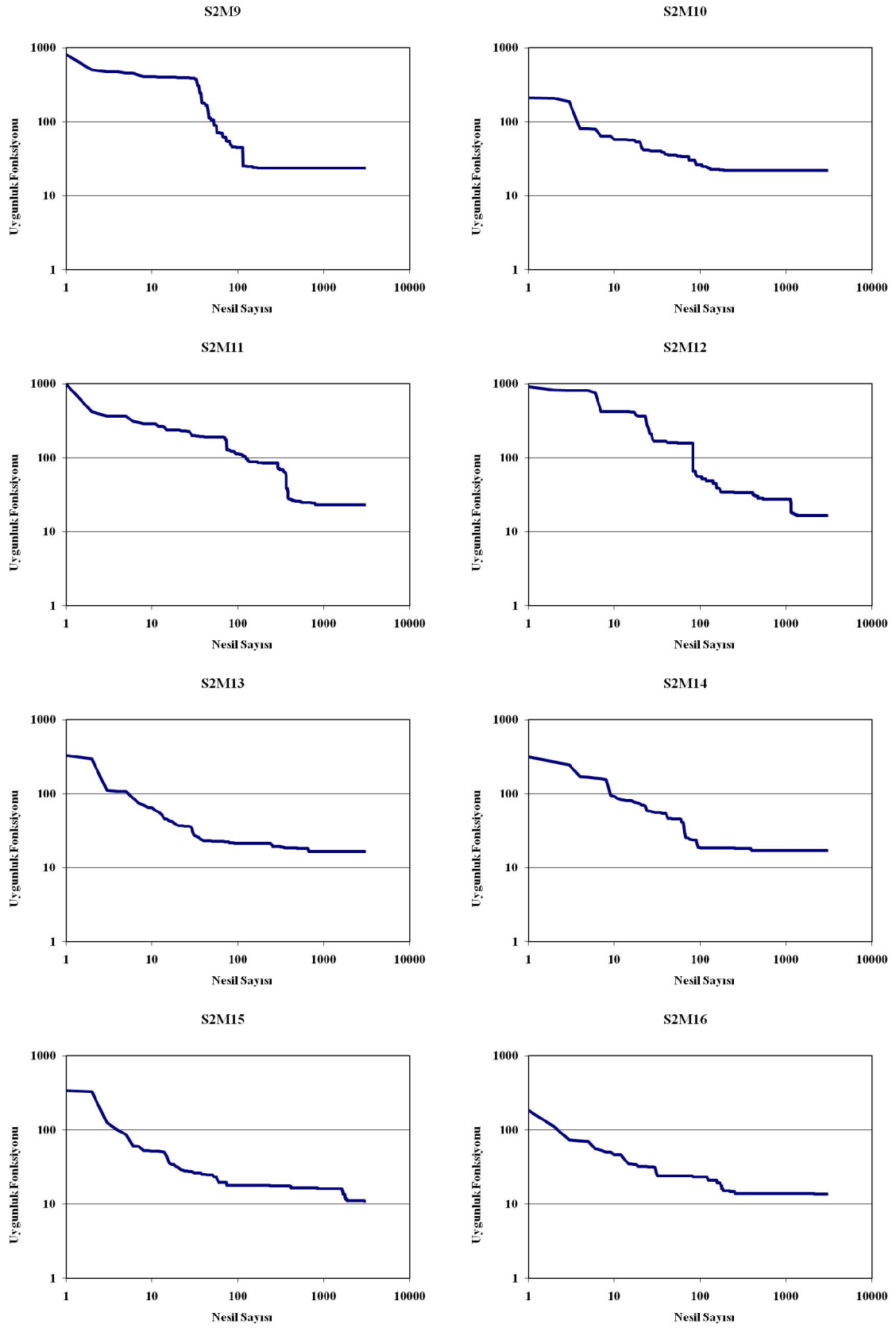
UF2 için çalıştırılan sette hata sayısına bakıldığında en az hata (18 adet) ile S2M15 modelinde ne çıkmaktadır. Test verilerinde ise bu sayı 9 adet hata ile S2M13, S2M15 ve S2M16 modellerinde görülmektedir. Etkili parametreler ve OKHK verileri birlikte değerlendirildiğinde ise eğitim verileri için en düşük OKHK S2M15'te, test verileri için en düşük OKHK S2M16'da bulunmuştur. Tüm veriler için OKHK'nin en düşük olduğu model S2M16'dır.





Şekil 5.3 Uygunluk fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi (UF1-S1)





Şekil 5.4 Uygunluk fonksiyonunun nesil sayısı ile değişimi (UF2-S2)

6. GELİŞTİRİLEN MODELLERİN TEST EDİLMESİ: SAHA ÇALIŞMASI

Bu doktora çalışması kapsamında SPT ve CPT verilerine dayalı yeni bir sınıflama indeksi önerilmiştir. Önerilen bu yeni yöntemin, oluşturulan veritabanından test için ayrılan verilerle değerlendirildiğinde mevcut yöntemlerden daha başarılı olduğu dördüncü ve beşinci bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Ayrıca geliştirilen bu yeni modellerin önceden belirlenen bir sahada elde edilecek veriler ile de test edilmesi planlanmıştır.

Bu amaçla, çalışma alanı olarak 1999 Marmara Depreminde yoğun bir şekilde sınıflama gözlenen Adapazarı-Sapanca Gölü ve civarı belirlenmiştir. 17 Ağustos 1999 tarihinde $M_w=7.4$ büyüklüğünde meydana gelen depremde özellikle İzmit ve çevresi büyük hasar görmüştür. Çalışma alanını içine alan Sapanca ilçesi de depremden büyük oranda etkilenmiştir.

Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (PAÜ-BAP) tarafından desteklenen çalışma Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş. (ZETAŞ) tarafından hizmet alımı yapılarak CPT ve SPT deneyleri yapılmış ayrıca yapılan sondajlardan alınan zemin numuneleri üzerinde gerekli laboratuvar deneyleri (zemin sınıflamaları) yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında toplam 46,5 metre uzunluğunda sondaj gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sistematik olarak 1,5 metre ara ile SPT yapılmış ve darbe sayıları (SPT-N) kaydedilmiştir. İnceleme alanında, CPT deneyleri daha fazla ilerleme kaydedilemeyen sağlam taşıyıcı zemin tabakasına kadar devam ettirilmiştir. Gerçekleştirilen 11 adet CPT deneyinde, 7 metre ile 20 metre arasında ilerleme kaydedilmiştir.

İnceleme alanında PAÜ-BAP tarafından 2008FBE011 nolu projeye sağlanan desteğe uygun olarak 11 adet CPT (Ek-6) ve 3 adet SPT (Ek-7) deneyi yapılmıştır. Sondaj noktalarına ait yerbulduru haritası Şekil 6.1'de verilmiştir.



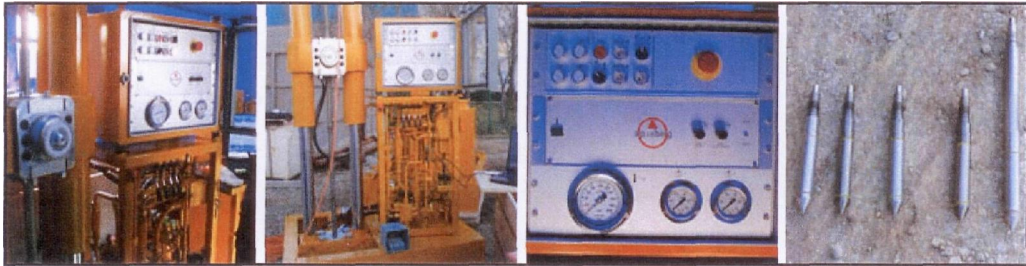
Şekil 6.1 İnceleme alanında yapılan SPT ve CPT deneylerine ait yerbulduru haritası

Sondajlar rotari delgi yöntemi kullanılarak kamyona monte Craelius XC90H modeli delgi makineleri ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.2). CPT ekipmanı ise Hollanda (A.P. vd BERG) yapımıdır (Şekil 6.3). Cihaz elektronik veri toplama sistemine sahip olup 20 ton kapasitededir. Sondalama 10 cm² konik uç ve 150 cm² çevre alanına sahip elektronik bir cihazın hidrolik baskı yoluyla 2 cm/sn sabit hızla zemine penetre edilmesi ile yapılmış olup penetrasyon esnasında 2 cm ara ile ölçülen uç ve çevre mukavemeti verileri elektronik alıcı aracılığı ile ölçülüp kaydedilmiştir.

Laboratuvar deneyleri kapsamında sondajlardan alınan zemin numuneleri üzerinde indeks özellikleri (elek analizi, Atterberg limitleri, doğal su muhtevası) belirlenmiş ve zeminler USCS sistemine göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 6.2 Arazi çalışmalarında kullanılan sondaj kamyonu

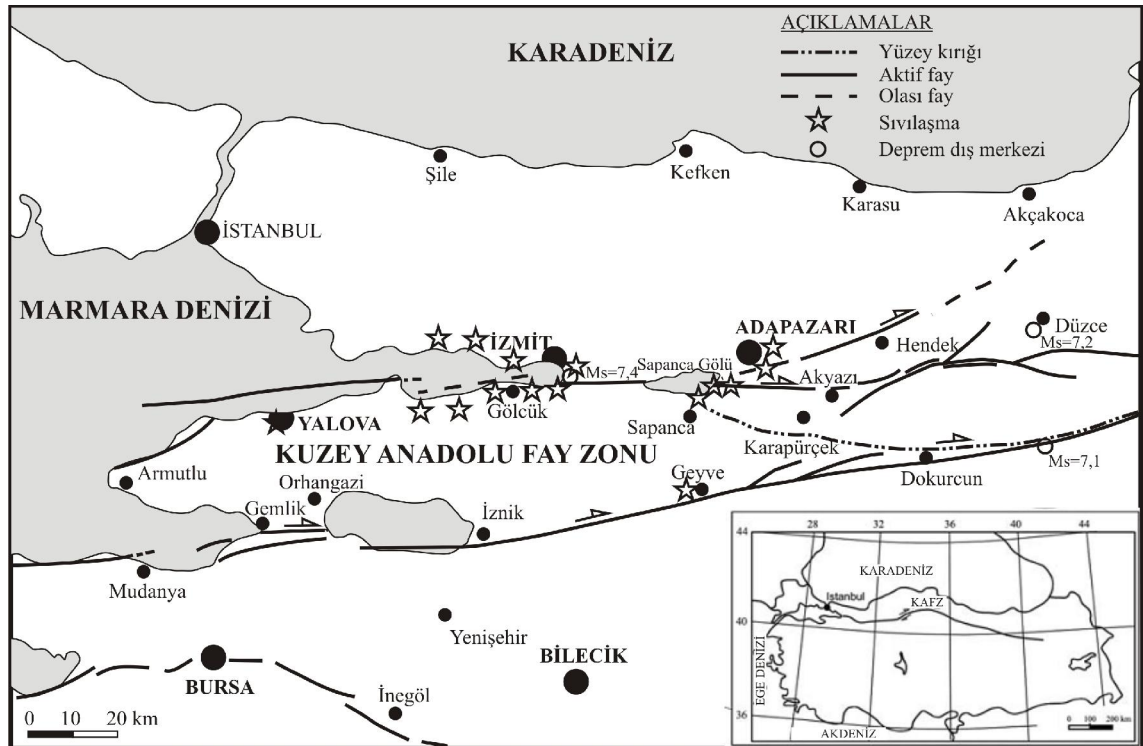


Şekil 6.3 Çalışmalarda kullanılan CPT ekipmanı

Yılmaz ve Yavuzer (2005) yaptıkları çalışmada, inceleme alanını da içine alan bölgede deprem kaynaklı hasarları incelemişlerdir. Şekil 6.4 incelendiğinde de sapanca gölü yakın çevresinde sıvılaşma, yanal yayılma ve kıyı yenilmeleri gibi hasarları tespit etmişlerdir.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde meydana gelen sıvılaşma, yanal yayılma ve sahil yenilmeleri gibi deprem kaynaklı hasarların yanında jeolojik yapı gibi birçok ayrıntılı çalışma yapılmıştır (Bardet vd 2000, Yılmaz ve Yavuzer 2005) (Şekil 6.4). Bu nedenle inceleme alanı olarak Sapanca Gölü ve yakın çevresi seçilmiş ve arazi deneyleri yapılması planlanmıştır.

İnceleme alanında yapılan ön inceleme sonucunda sondaj ve CPT lokasyonları tespit edilmiştir. Daha sonra kullanılan ekipman ve sorumlu personel eşliğinde gerekli arazi deneyleri yapılmıştır (Şekil 6.5 ve 6.6). Laboratuvar çalışmaları için gerekli örnekler alınmış ve elde edilen veriler kaydedilmiştir.



Şekil 6.4 1999 Kocaeli depreminden sonra oluşmuş sıvılaşma hasarları (Yılmaz ve Yavuzer 2005'ten değiştirilerek)

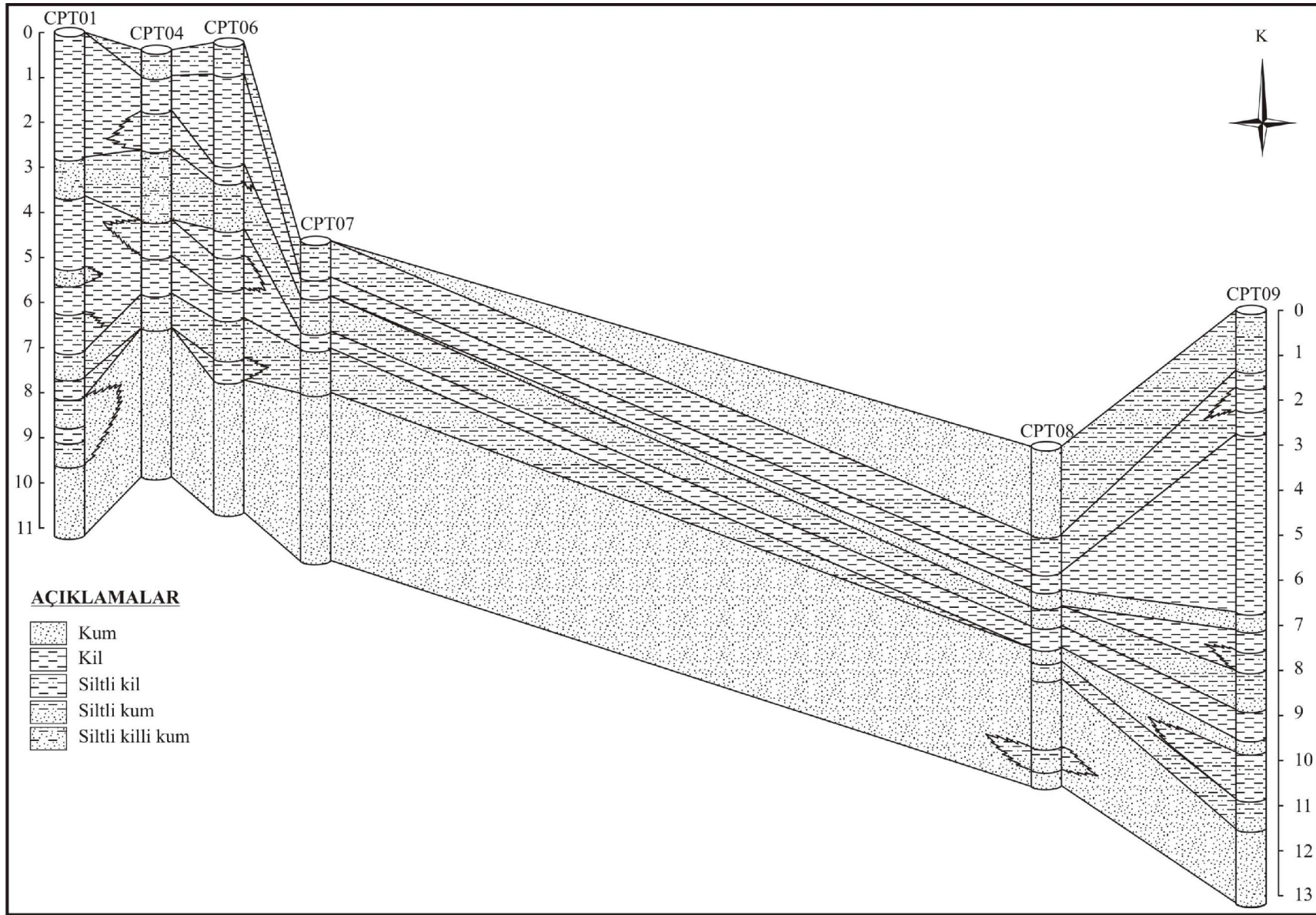


Şekil 6.5 AF Goldberg tipi CPT ekipmanı



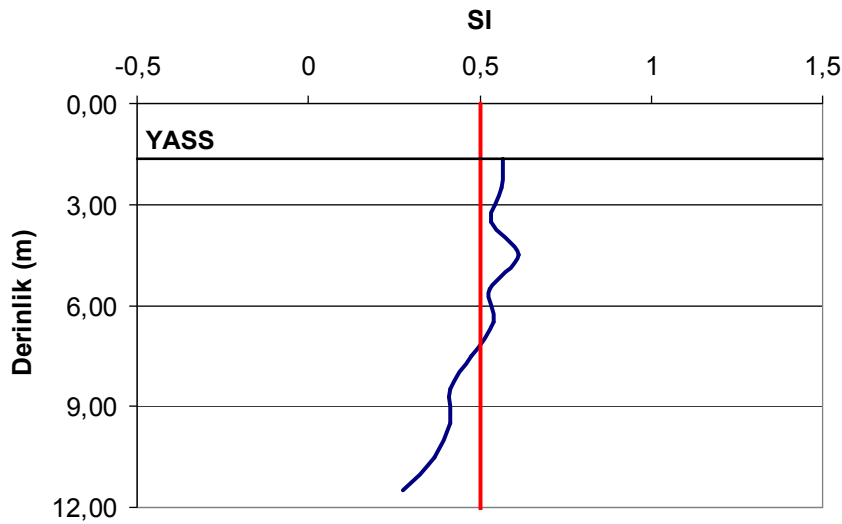
Şekil 6.6 CPT lokasyon bilgilerinin kaydedilmesi

İnceleme alanında açılan CPT kuyularına ait çit diyagram Şekil 6.7’de görülmektedir. Şekil incelendiğinde bölgeye ait litoloji ince taneli zemin grubundan oluşmaktadır. Sıvılaşmanın gerçekleşebileceği kum ve siltli kumlar en çok karşılaşılan birimlerdir.

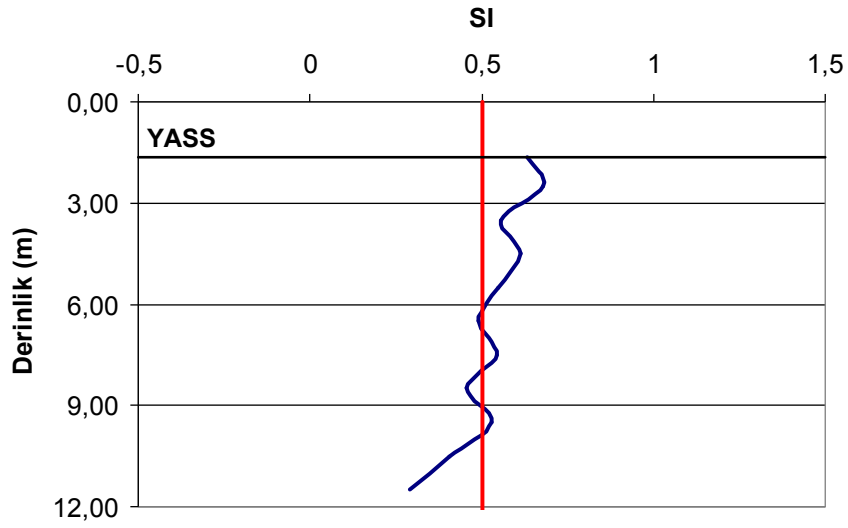


Şekil 6.7 İnceleme alanında açılan CPT01, CPT04, CPT06, CPT07, CPT08 ve CPT09'un korelasyonu (Ölçeksiz)

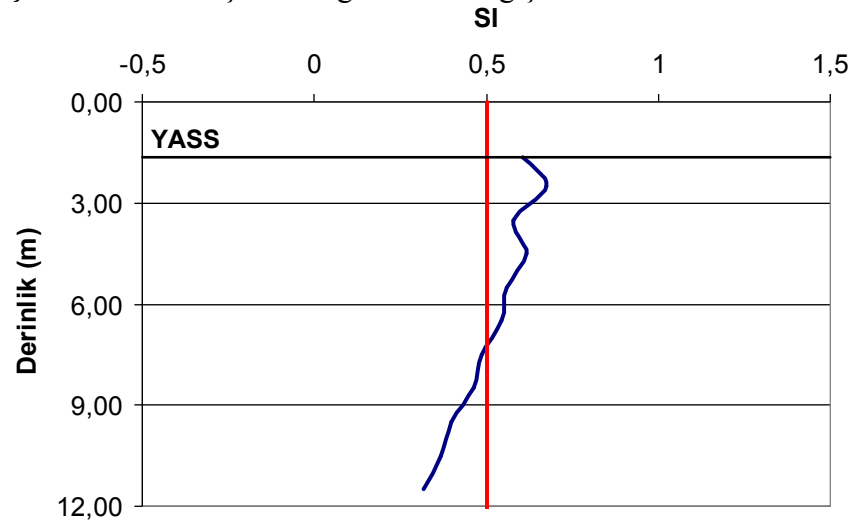
İnceleme alanından elde edilen veriler bu çalışma sonucunda geliştirilen yeni sıvılaşma indeksi ile hesaplanmıştır. Sonuçlar her bir sondaj için ayrıntılı olarak aşağıda açıklanmıştır. CPT1 için SI hesaplandığında Şekil 6.8’de görüldüğü gibi 6,5 m’ye kadar sıvılaşma potansiyeli söz konusu iken 6,5 m’den sonra sıvılaşma potansiyelinin azaldığı görülmektedir. CPT1, CPT2, CPT3 ve CPT4 için ölçülen YASS 1,65 m’dir. Şekil 6.9 incelendiğinde ise CPT2 için hesaplanan SI değerleri 6 m’ye kadar sıvılaşma potansiyeli mevcut iken 9,5 m’ye kadar bazı ara seviyelerde sıvılaşma potansiyeli düşmüş bazı seviyelerde artmıştır. 10,5 m’den sonra q_c değerlerinin hızlı artışı zemin sıkılığının artmasına işaret etmekte ve sıvılaşma potansiyeli de gittikçe azalmaktadır. Şekil 6.10’da CPT3 için hesaplanan SI değerlerinin değişimi gözlenmektedir. 6,5 m’den sonra sıvılaşma potansiyelinin giderek azaldığı görülmektedir. Yapılan CPT deneyleri arasında en fazla ilerlemenin sağlandığı kuyu yaklaşık 21 m ile CPT3’te elde edilmiştir. Şekil 6.11’de yer alan CPT4 için SI değişimine bakıldığında sıvılaşma potansiyelinin 5,5 m’den sonra azaldığı görülmektedir.



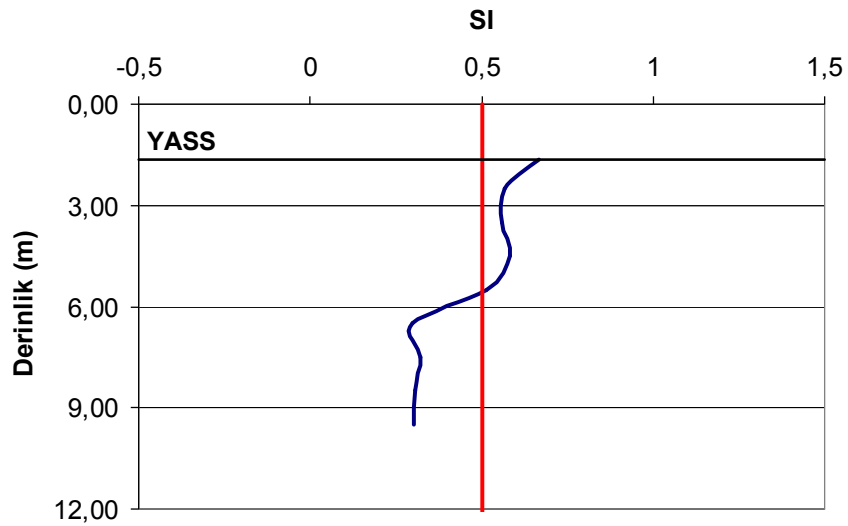
Şekil 6.8 CPT1 için SI değerlerinin değişimi



Şekil 6.9 CPT2 için SI değerlerinin değişimi

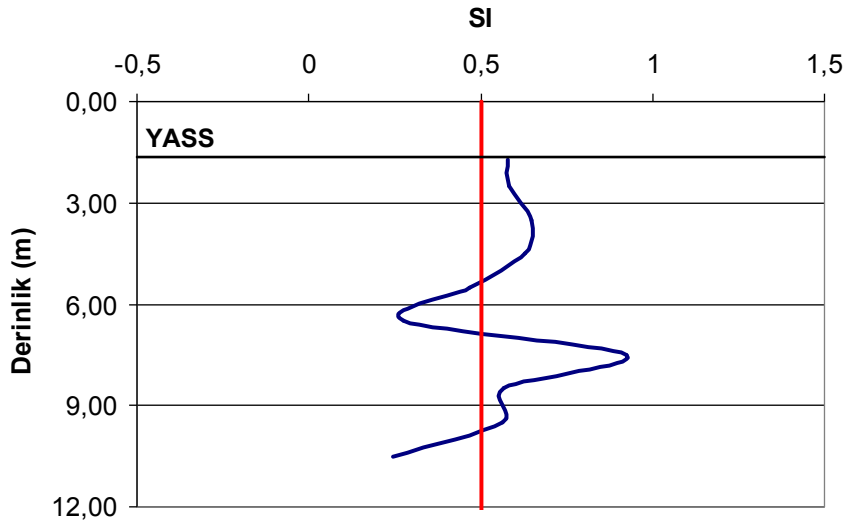


Şekil 6.10 CPT3 için SI değerlerinin değişimi



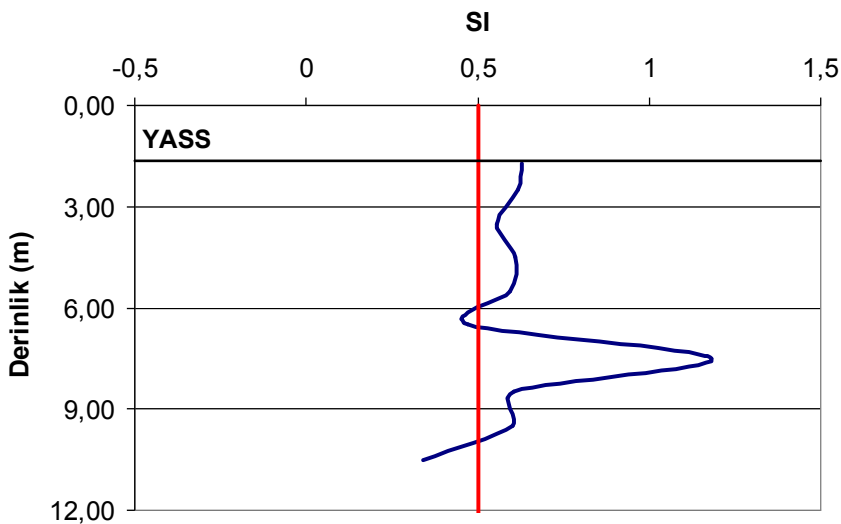
Şekil 6.11 CPT4 için SI değerlerinin değişimi

CPT5 için SI değerlerinin değişimi Şekil 6.12’de görülmektedir. 5,5 m’ye kadar artan sıvılaşma potansiyeli 6,5 m’ye kadar azalmakta 6,5 m’den sonra ise 10,5 m’ye kadar yine artmaktadır. 10,5 m’den sonra ise sıvılaşma riski gözlenmemiştir.



Şekil 6.12 CPT5 için SI değerlerinin değişimi

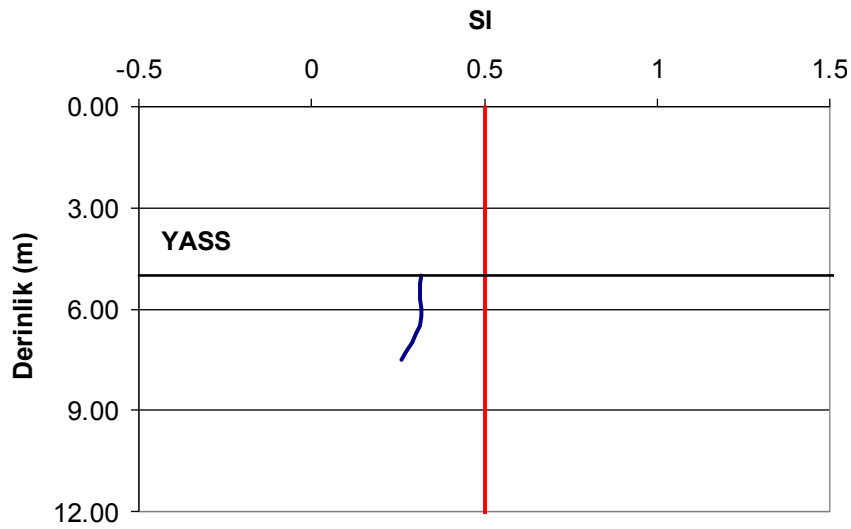
CPT6 için SI değişimi incelendiğinde ise, büyük oranda sıvılaşma potansiyelinin varlığı sözkonusudur. 5,5 m ile 6,5 m arası seviyede sıvılaşma potansiyeli azalmış olsa da en fazla sıvılaşma potansiyelinde sahip kuyu olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 6.13). CPT5 ve CPT6 kuyuları için ölçülen YASS 1,73 m’dir.



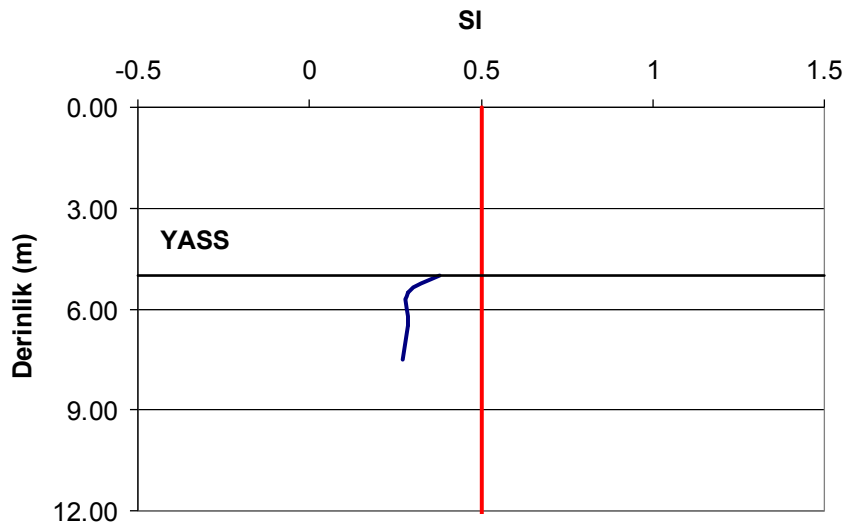
Şekil 6.13 CPT6 için SI değerlerinin değişimi

Şekil 6.14 ve 6.15’te gösterilen CPT7 ve CPT8 için SI değişimine bakıldığında en dikkat çekici durum YASS seviyesinin değişimi (5,0 m) ile beraber q_c değerlerinin diğer kuyulara oranla daha yüksek ölçülmesi gibi parametrelerle sıvılaşma potansiyelinin

olmadığı görülmektedir. Sadece bu iki kuyunun tamamında sıvılaşma potansiyeli yoktur.

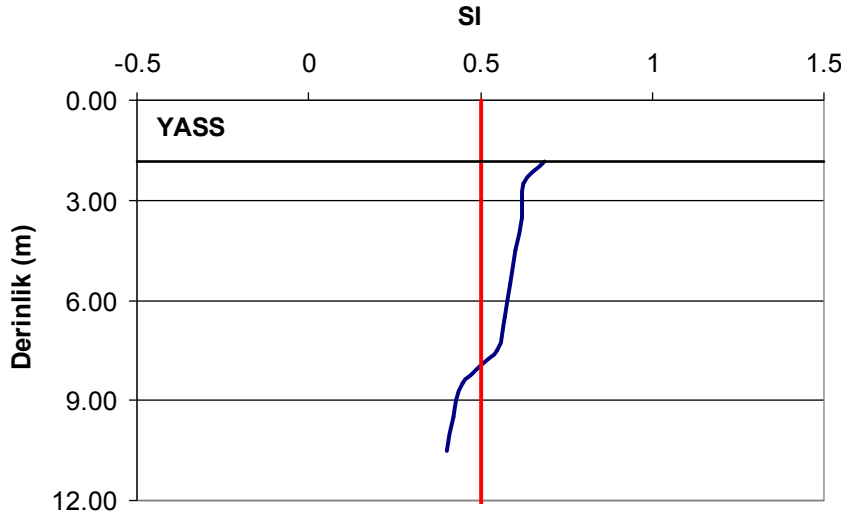


Şekil 6.14 CPT7 için SI değerlerinin değişimi

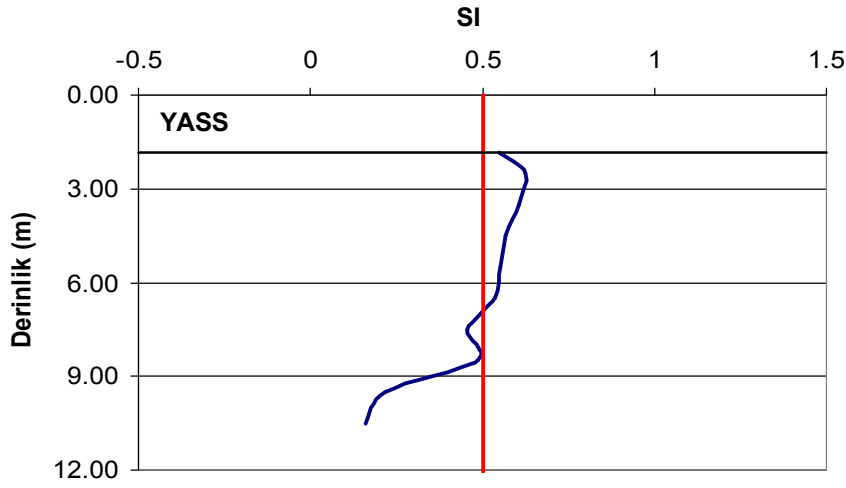


Şekil 6.15 CPT8 için SI değerlerinin değişimi

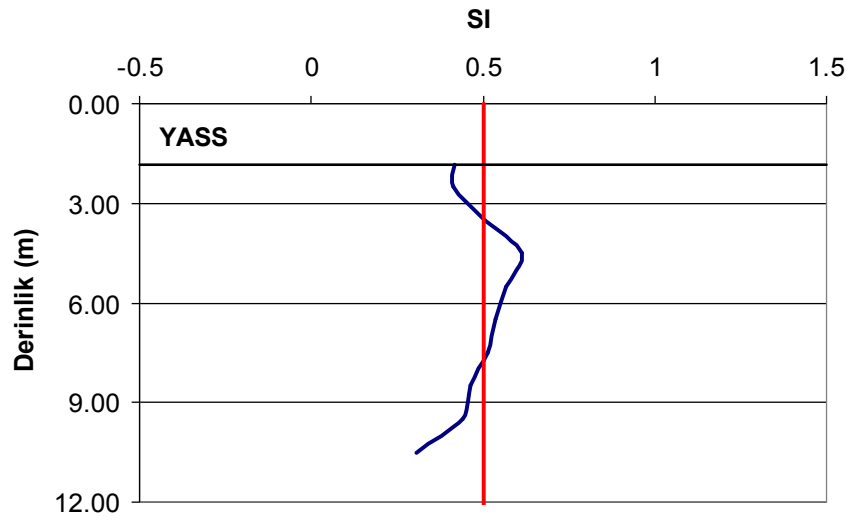
Şekil 6.16, 6.17 ve 6.18'de gösterilmekte olan CPT9, CPT10 ve CPT11 kuyuları 1999 yılındaki Kocaeli ve Düzce depremlerinde büyük hasar gören Sapanca Hotel'e en yakın noktalardır. Burada sıvılaşma izlerinin gözlendiğini Bardet vd (2000) yaptıkları çalışmada ayrıntılı olarak belirtmişlerdir. Dolayısıyla da bu noktalardaki SI değişimleri de büyük oranda sıvılaşma potansiyelinin varlığını göstermektedir. CPT9 ve CPT10'da 8,5 m'ye kadar sıvılaşma potansiyeli artarken, bu durum CPT11'de biraz farklılık arz etmektedir. CPT11'de 2,5 m'ye kadar sıvılaşma potansiyeli azalırken, 2,5 m ile 7,5 m arası sıvılaşma potansiyeli artmakta ve 7,5 m'den sonra tekrar azaldığı görülmektedir (Şekil 6.18).



Şekil 6.16 CPT9 için SI değerlerinin değişimi



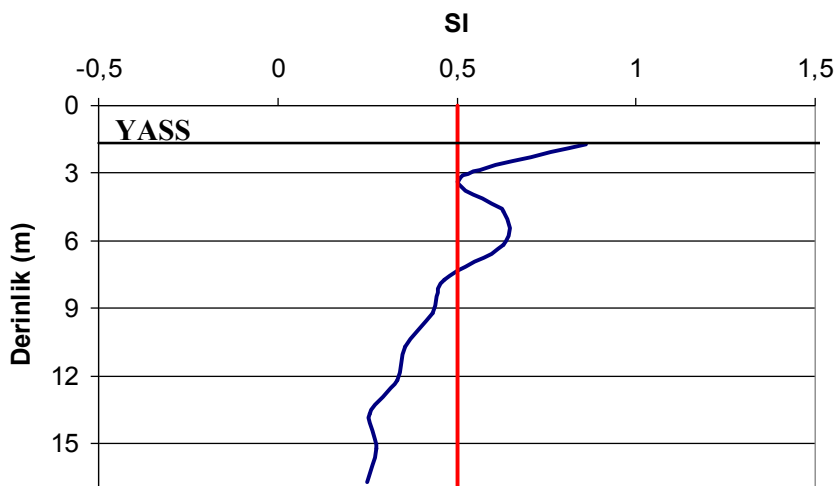
Şekil 6.17 CPT10 için SI değerlerinin değişimi



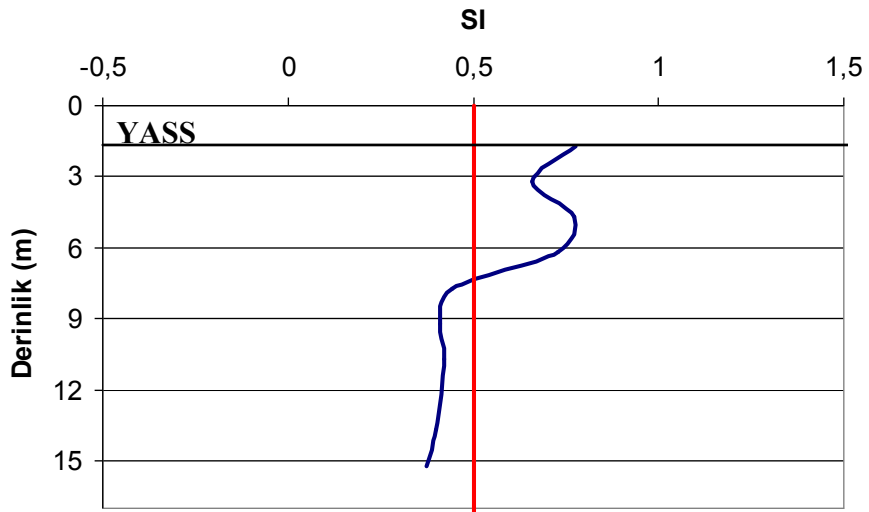
Şekil 6.18 CPT11 için SI değerlerinin değişimi

Sıvılaşma analizi, geliştirilen yeni sıvılaşma indeksi formülü ile yapılmıştır. 11 adet CPT kuyusunun 9 tanesinde (CPT01-06 ve CPT09-11) sıvılaşma var olarak hesaplanmış ve 2 tane kuyuda ise (CPT07 ve CPT08) sıvılaşma yok olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar 1999 Kocaeli depreminde Sapanca Gölü çevresinde meydana gelmiş sıvılaşma hasarlarının gözlemlendiği yerlerle uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Özellikle Bardet vd (2000) yaptıkları çalışmada Sapanca Hotel ve çevresinde meydana gelen sıvılaşma hasarlarının oluşması, dolayısıyla bu bölgenin sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğunu göstermiştir. Bu çalışma kapsamında açılan CPT09, CPT10 ve CPT11 nolu kuyularda da sıvılaşma indeksi değerlerinin 0,5'in üzerinde olduğu yani sıvılaşma riskinin varlığı tespit edilmiştir.

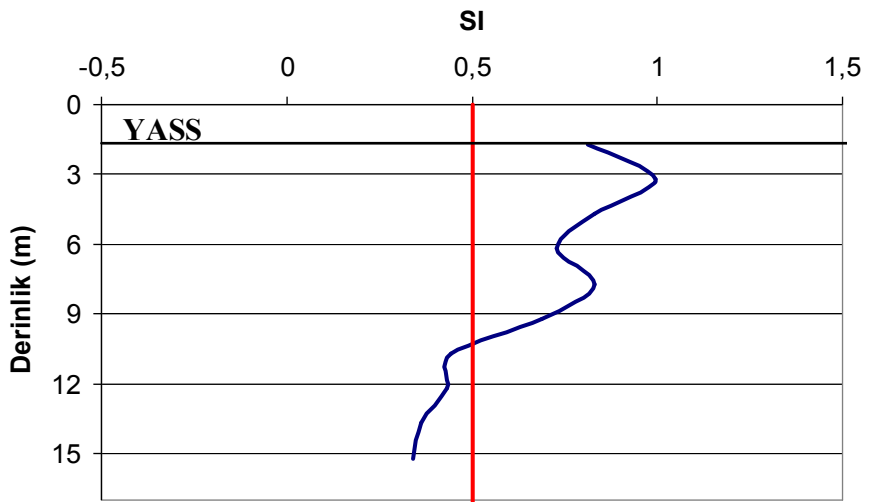
İnceleme alanında açılan 3 adet sondaj kuyusundan elde edilen veriler bu çalışma sonucunda geliştirilen yeni sıvılaşma indeksi ile hesaplanmıştır. Sonuçlar her bir sondaj için ayrıntılı olarak aşağıda açıklanmıştır. SK1 için SI hesaplandığında Şekil 6.19'da görüldüğü gibi 6,5 m'ye kadar sıvılaşma potansiyeli söz konusu iken 6,5 m'den sonra sıvılaşma potansiyelinin azaldığı görülmektedir. SK1 için ölçülen YASS 1,65 m'dir. Şekil 6.20 incelendiğinde ise SK2 için hesaplanan SI değerleri 6,5 m'ye kadar sıvılaşma potansiyeli mevcut iken 6,5 m'den sonra sıvılaşma potansiyeli de gittikçe azalmaktadır. SK2 için ölçülen YASS 1,73 m'dir. Şekil 6.21'de ise SK3 için hesaplanan SI değerlerinin değişimi gözlenmektedir. 10,5 m'ye kadar sıvılaşma potansiyeli varken 10,5m'den sonra sıvılaşma potansiyelinin giderek azaldığı görülmektedir. Açılan sondaj kuyuları arasında en fazla ilerlemenin sağlandığı kuyu yaklaşık 17 m ile SK1'de elde edilmiştir.



Şekil 6.19 SK1 için SI değerlerinin değişimi



Şekil 6.20 SK2 için SI değerlerinin değişimi



Şekil 6.21 SK3 için SI değerlerinin değişimi

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada GA tekniği kullanılarak zemin sıvılaşması tahmininde kullanılacak yöntemler geliştirilmiştir. Literatürde yer alan geçmiş depremlere ait sıvılaşma verileri kullanılarak CPT ve SPT tabanlı Sıvılaşma İndeksi (SI) tahmin fonksiyonları üretilmiştir.

Bu amaçla mevcut verilere uygun SI fonksiyonlarının tahminine yönelik Microsoft Visual C# .NET ortamında GALIQ isimli bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım ile sıvılaşma potansiyeline etki eden parametrelerin yer aldığı veri tabanından çok değişkenli fonksiyonlar, GA yaklaşımı ile üretilerek optimum çözümler değerlendirilmiştir. GALIQ ile fonksiyonun tüm bileşenleri, verilen şablonları esas alarak belirlenmiştir.

Çalışma sonunda en az hatayı veren SI modeli CPT veritabanı için aşağıdaki şekilde önerilmiştir:

$$SI_{CPT} = -5.13 \cdot SSSR_{7.5}^{4.39} + 2.29 \cdot \ln((r_d^{1.60}) + 1) + 9.91 \cdot D_{50}^{1.31} \cdot SSSR_{7.5}^{1.40} - P1 \cdot \ln((D_{50}^{6.38}) + 1) - 0.06 \cdot \ln((q_c^{2.62}) + 1) \cdot r_d^{5.11} - P2 \cdot \ln((D_{50}^{7.74}) + 1) \cdot YASS^{4.48} - 0.88$$

$$P1 = 0 \quad \frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}'} \leq 0.838 \quad P1 = 8.97 \quad \frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}'} > 0.838$$

$$P2 = 0 \quad \frac{YASS}{z} \leq 0.555 \quad P2 = 8.97 \quad \frac{YASS}{z} > 0.555$$

Önerilen denklemin etkin parametreleri $SSSSR$, $SSSR_{7.5}$, D_{50} , a_{max} , r_d , σ_{vo} , σ_{vo}' , q_c , $YASS$ ve z 'dir. Böylece CPT tabanlı önerilen yeni formül zemin, deprem ve deney parametreleri ile de temsil edilmiştir. Bu denklem için eğitim ve test verilerinin hata oranları sırasıyla %7,5 ve %9,5 olarak hesaplanmıştır. Veri tabanından eğitim verileri dışında ayrılan test verilerine ek olarak çalışma kapsamında 11 CPT kuyusundan oluşan ayrı bir test verisi daha oluşturulmuştur. Söz konusu test kuyuları için 1999 Kocaeli Depreminde yaygın şekilde sıvılaşma gözlenen Sapanca Gölü civarında saha çalışması yapılmıştır. Bu test kuyularının 9 tanesi göle oldukça yakın, 2

tanisi ise gölden görel olarak uzak bir konumda seçilmiştir. Bu test verisinin literatürden elde edilen verilere göre en önemli avantajı, önerilen SI formülü ile aynı kuyunun farklı seviyelerindeki sıvılaşma riskinin belirlenebilmesine olanak sağlamasıdır. Bu şekilde CPT test kuyularının her birinde yöntemin kuyu boyunca verdiği sonuçların da tutarlılığı incelenebilmiştir. Önerilen yöntem ile 11 kuyu değerlendirildiğinde göl kıyısına yakın kuyularda yeraltı suyu seviyesinin altında kalan kısımlarda yüksek sıvılaşma riski görülmektedir. Diğer yandan göl kıyısından uzakta bulunan 2 kuyuda SI değerleri tüm kuyu boyunca 0,5 değerinin altında bulunduğundan sıvılaşma riski öngörülmemiştir. Buna göre önerilen yöntem kullanılarak saha verileriyle de uyumlu sonuçların elde edilebileceği görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen yeni yöntemle literatürde yaygın kullanıma sahip Robertson ve Wride'nin (1998) yöntemi karşılaştırılmış ve özellikle sıvılaşma olmayan durumlar daha gerçekçi bir şekilde tahmin edilebilmiştir. Bu çalışmada kullanılan veritabanı ile iki yöntemle de sıvılaşma potansiyeli hesaplanmış ve Robertson ve Wride'nin (1998) yöntemi %39 hata oranına sahipken, bu çalışma ile önerilen sıvılaşma indeksi için hata oranı %7,5 olarak hesaplanmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında son kullanıcıya yönelik alternatif bir yaklaşım oluşturulması hedeflenerek, SPT tabanlı verilerle farklı SI modelleri geliştirilmiştir. Bu aşama sonucunda önerilen SI modeli aşağıdaki gibidir:

$$SI_{SPT} = 2.24 \cdot (M_w)^{0.36} - 3.10 \cdot (SPTN)^{0.06} + 0.48 \cdot P \cdot (a_{max})^{1.35} + 0.88 \cdot \ln((a_{max}^{0.66}) + 1) - 0.78$$

$$P = 0 \quad \frac{YASS}{z} < 0.547 \quad P = 1 \quad \frac{YASS}{z} \geq 0.547$$

Denklemin etkin parametreleri ise SPT-N, YASS, a_{max} , M_w , ve z 'dir. Bu çalışmada önerilen SPT tabanlı yeni yöntem ile sıvılaşma potansiyeli değerlendirildiğinde tüm veri tabanında yöntemin hata oranı %15 olarak hesaplanmıştır. Aynı veritabanından, Youd vd (2001) önerdiği yöntemle sıvılaşma değerleri hesaplanmış ve hata oranının % 25,8 düzeyinde olduğu görülmüştür. CPT tabanlı yaklaşımda olduğu gibi, aradaki fark, büyük ölçüde gerçekte sıvılaşma olmayan durumların daha doğru tahmin edilmesinden kaynaklanmaktadır.

CPT verileri kullanılarak geliştirilen yeni sıvılaşma indeksi sonuçlarının, SPT verileri kullanılarak geliştirilen sonuçlara göre daha iyi olduğu dikkat çekici bir durumdur. Bunun muhtemel sebepleri arasında ise, verilerin araziden temin edilmesi esnasında karşılaşılan şartlardır. CPT verilerinin zemin tabakaları boyunca daha kısa aralıklarla ve otomatik alınması ve dolayısıyla zemin profili daha iyi temsil edilirken, SPT deneyinde muhtemel insan kaynaklı hatalardan dolayı elde edilen verilerin kalitesi etkilenmektedir. Diğer yandan SPT tabanlı yaklaşımda literatürde yaygın kullanıma sahip yöntemlere göre daha sade ve daha az sayıda parametre içeren bir formülasyon elde edilmiştir.

Önerilen SPT ve CPT tabanlı her iki yöntem de SI indeksini 0 veya 1'e yaklaştırmak üzere üretilen denklemlerdir. Hem literatürdeki hem de bu çalışmadaki tüm veriler belirli bir limit değerden büyük veya küçük olmalarına bakılarak "sıvılaşma var" veya "sıvılaşma yok" olarak değerlendirilmiştir. Bu sebeple, SI indeksinin 0,5'in üzerinde bulunduğu tüm durumlar "sıvılaşma var", 0,5'in altındaki tüm tahminler ise "sıvılaşma yok" kabul edilmektedir.

Bu çalışma sonucunda oluşturulan veritabanının daha farklı zemin türleri ve deprem büyüklükleri gibi parametreleri içeren verilerle genişletilmesi yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akca, N., (2003) Correlation of SPT–CPT data from the United Arab Emirates, *Engineering Geology*, 67, 219–231.
- Andrews, D. C. A. and Martin, G. R., (2000) Criteria for Liquefaction of Silty Soils, *12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand.
- Andrus, R. D. and Stokoe, K. H. II., (1997) Liquefaction Resistance Based on Shear Wave Velocity, *Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils* (T.L. Youd and I.M. Idriss, eds), Technical Report NCEER–97–0022, 89–128.
- Andrus, R. D. and Stokoe, K. H. II., (2000) Liquefaction Resistance of Soils from Shear–Wave Velocity. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 126(11), 1015–1025.
- Andrus, R. D., Piratheepan, P., Ellis, B. S., Zhang, J., Juang, C. H., (2004) Comparing Liquefaction Evaluation Methods Using Penetration- V_s Relationships, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 713–721.
- Arias, A., (1970) A Measure of Earthquake Intensity, *Seismic Design for Nuclear Power Plants* (R.J. Hansen, ed.). The MIT Press, Cambridge, MA, 438–483.
- Arulanandan, K., (1991) Dielectric Method for Prediction of Porosity of Saturated Soil, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 117(2), 319–330.
- Arulanandan, K., Yogachandran, C., Meegoda, N. J., Ying, L., and Zhauji, S., (1986). Comparison of the SPT, CPT, SV and electrical methods of evaluating earthquake induced liquefaction susceptibility in Ying Kou City during the Haicheng Earthquake, *Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering, ASCE Geotechnical Special Publication No. 6*, 389–415.
- Arulmoli, K., Arulanandan, K., Seed, H. B., (1985) New Method for Evaluating Liquefaction Potential, *Journal of Geotechnical Engineering*, 111(1), 95–114.
- Aydan, Ö., and Ulusay, R., (2000) A preliminary investigation report for a collaborative research on the liquefaction and faulting-induced ground deformations and associated damages in 1999 Kocaeli earthquake region, Ankara (unpublished report).
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Hasgür, Z., and Taşkın, B., (2000) A site investigation of Kocaeli earthquake of August 17, 1999, Turkish Earthquake Foundation Report No. TDV/DR 08–49, İstanbul.
- Ayvaz, M. T., (2008) Heterojen Bir Akiferde Pompaj Kuyu Karakteristiklerinin Genetik Algoritma ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 133 s.
- Bardet, J. P., Seed R. B., Cetin, K. O., Lettis, W., Rathje, E., Rau, G., Ural, D., Baturay, M. B., Boulanger, R. W., Bray, J. D., Erten, D., Frost, D., Kaya, A., Sozer, B., Stewart, J. P., Sunman, B., and Yilmaz, T., (2000) Soil liquefaction, landslides, and subsidences, *Earthquake Spectra*, 16 (Suppl. A), 141–162.
- Baziar, M. H. and Ghorbani, A., (2005) Evaluation of Lateral Spreading Using Artificial Neural Network, *Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, 1–9.

- Baziar, M. H. and Nilipour, N., (2003) Evaluation of Liquefaction Potential Using Neural-Networks and CPT Results, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23, 631–636.
- Bennett, M. J., (1989) Liquefaction analysis of the 1971 ground failure at the San Fernando Valley Juvenile Hall, California, *Bulletin of Association of Engineering Geologists*, 26(2), 209-226.
- Bennett, M. J., (1990), Ground deformation and liquefaction of soil in the Marina District Effects of the Loma Prieta Earthquake on the Marina District, San Francisco, California, Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey, *Open File Report 90-253*, 44-79.
- Bennett, M. J. and Tinsley, J. C., (1995) Geotechnical Data from Surface and Subsurface Samples Outside of and within Liquefaction Related Ground Failures Caused by the October 17, 1989, Loma Prieta Earthquake, Santa Cruz and Monterey Counties, California, *Open-File Report 95-663*, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California.
- Beyaz, T., (2004) Zemin Etkisinden Arındırılmış Deprem Kayıtlarına Göre Türkiye için Yeni Bir Deprem Enerjisi Azalım Bağıntısının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 271s.
- Bonita, J. A., (2000) The Effects of Vibration on the Penetration Resistance and Pore Water Pressure in Sands, PhD Thesis, *Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University*, Blacksburg, VA, 349 p.
- Boulanger, R. W., Mejia, L. H., and Idriss, I. M., (1997) Liquefaction at Moss Landing during Loma Prieta earthquake, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 123(5), 453-467.
- Casagrande, A., (1936) Characteristics of Cohesionless Soils Affecting the Stability of Slopes and Earth Fills, *Journal of the Boston Society of Civil Engineers*, 23(1), 13-32.
- Casagrande, A., (1965) Second Terzaghi Lecture: The Role of “Calculated Risk” in Earthwork and Foundation Engineering, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, 91(SM4), 1-40.
- Casagrande, A., (1975) Liquefaction and Cyclic Deformation of Sands: A Critical Review, *Proceedings of the 5th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 5, Buenos Aires, Argentina, 79-133.
- Casagrande, A., (1976) Liquefaction and Cyclic Mobility of Sands: A Critical Review, *Harvard Soil Mechanics Series No.88*, Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
- Castro, G., (1969), Liquefaction of Sands, PhD Thesis, *Harvard University*, Cambridge, Massachusetts.
- Castro, G., (1975), Liquefaction and Cyclic Mobility of Saturated Sands, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 101(GT6), 551-569.
- Castro, G. and Poulos, S. J., (1977), Factors Affecting Liquefaction and Cyclic Mobility, *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 103(GT6), 501-516.
- Castro, G., Poulos, S. J., France, J. W., and Enos, J. L., (1982) Liquefaction Induced by Cyclic Loading, *Report Submitted to the National Science Found.*, Washington D.C., 80 p.
- Castro, G., (1995) Empirical Methods in Liquefaction Evaluation, *Proceedings First Annual Leonardo Zeevaert International Conference*, 1, 1-41.

- Cetin, H., Demirtas, R., Guneyli, H., and Yetis, C., (1999) Preliminary Report on the Adana (Turkey) Earthquake of June 27, 1998, *Association of Engineering Geologists (AEG) News*, 42(1), 4-11.
- Cetin, K. O., Youd, T. L., Seed, R. B., Bray, J. D., Sancio, R., Lettis, W., Yilmaz, M. T., Durgunoglu, H. T., (2002) Liquefaction Induced Ground Deformations at Hotel Sapanca During Kocaeli (Izmit) Earthquake, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22, 1083–1092.
- Cetin, K. O. and Seed, R. B., (2004), Nonlinear Shear Mass Participation Factor (r_d) for Cyclic Shear Stress Ratio Evaluation, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(2),103-113.
- Cetin, K. O., Isik, N., and Unutmaz, B., (2004a) Seismically Induced Landslide at Degirmendere Nose, Izmit Bay During Kocaeli (Izmit)-Turkey Earthquake, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 189–197.
- Cetin, K. O., Youd, T. L., Seed, R. B., Bray, J. D., Stewart, J. P., Durgunoglu, H. T., Lettis, W., Yilmaz, T., (2004b) Liquefaction-Induced Lateral Spreading at Izmit Bay During the Kocaeli (Izmit)-Turkey Earthquake, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE 130(12), 1300–1313.
- Cetin, K. O., Seed, R. B., Kiureghian, A. D., Tokimatsu, K., Harder Jr., L. F., Kayen, R. E., Moss, R. E. S., (2004c), Standard Penetration Test-based Probabilistic and Deterministic Assessment of Seismic Soil Liquefaction Potential, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(12), 1314–1340.
- Chang, N. Y., (1990), Influence of Fines Content and Plasticity on Earthquake-Induced Soil Liquefaction, *Contract Rep. US Army WES*, Vicksburg, MS Contract No. DACW3988 – C-0078.
- Chang, N. Y., Yeh, S. T. and Kaufman, L. P., (1982) Liquefaction Potential of Clean and Silty Sands, Proc., *3rd International Earthquake Microzonation Conference*, 2, 1017-1032.
- Charlie, W. A., Doehring, D. O., Brislawn, J. P., Scott, C. E., and Butler, L. W., (1994), Liquefaction evaluation with the CSU piezovane, *Proc., 13th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, New Delhi, India.
- Chen, J. W. and Chen, C. Y., (1997) A Fuzzy Methodology for Evaluation of the Liquefaction Potential, *Microcomputers in Civil Engineering*, 12, 193–204.
- Chi, Y. Y. and Ou, L. T., (2003) A Study on Probabilistic Evaluation of Soil Liquefaction, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* (Special issue on soil liquefaction).
- Çavuş U. Ş., (2004) Deprem Sebebiyle Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Bulanık Mantık Modellemesi (Fuzzy Logic Modelling) ile Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 126s.
- D'Ambrosio, D., Spataro, W., and Iovine, G., (2006) Parallel Genetic Algorithms for Optimizing Cellular Automata Models of Natural Complex Phenomena: An Application to Debris Fows, *Comput. Geosci.*, 32, 861–875.
- Danziger, B. R., de Velloso, D. A., (1995) Correlations Between the CPT and SPT for some Brazilian Soils, *Proceedings of the International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'95*, 2, Swedish Geotechnical Society, Linkoping, Sweden, 155–159.
- De Alencar Velloso, Di., (1959) O Ensaio de Diepsondeering e a Determinacao da Capacidade de Carga do Solo, *Rodovia*, 29.
- Division of Mines and Geology, (1997) Guidelines for Evaluating and Mitigating Seismic Hazards in California, *Special Publication 117*, Department of Conservation, Division of Mines and Geology, California.

- Dobry, R., Idriss, I. M. and E. Ng, (1978) Duration Characteristics of Horizontal Components of Strong Motion Earthquake Records, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 68(5), 1487–1520.
- Dobry, R., Ladd, R. S., Yokel, F. Y., Chung, R. M., and Powell, D., (1982) Prediction of Pore Water Pressure Buildup and Liquefaction of Sands During Earthquakes by Cyclic Strain Method, *NBS Building Science Series 138*, US Department of Commerce, 152p.
- Durgunoglu, H. T., Karadayilar, T., Bray, J. D., Sancio, R. B., ve Hacialioglu, E., (2000) Sismik Statik Penetrasyon Deneyi (SCPT) ile Geoteknik-Geodinamik Zemin Profili, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi*, 26-27 Ekim 2000, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ecemis, N., (2008) Effects of Permeability and Compressibility on Liquefaction Secreening using Cone Penetration Resistance, PhD Thesis, *The State University of New York at Buffalo*, USA 316 pp.
- Egan, J. A. and Rosidi, D. (1991) Assessment of Earthquake-Induced Liquefaction Using Ground-Motion Energy Characteristics, *Pacific Conference on Earthquake Engineering*, Nov. 20–23, New Zealand, 313–324.
- Finn, W. D. L., Bransby, P. L. and Pickering, D. J., (1970), Effect of Strain History on Liquefaction of Sands, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, 96(SM6), 1917–1934.
- Finn, W. D. L., Ledbetter, R. H., and Wu, G., (1994) Liquefaction in Silty Soils: Design and Analysis, Ground Failures under seismic Conditions, *Geotechnical Special Publication 44*, ASCE, New York, 51–76.
- Garcia, S. R., Romo, M. P., and Botero, E., (2008) A Neurofuzzy System to Analyze Liquefaction-Induced Lateral Spread, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28, 169–180.
- Gen, M. and Cheng, R., (1997) Genetic Algorithms and Engineering Design, *John Wiley Pub.*, New York, USA.
- Gilstrap, S. D. and Youd, T. L., (1998) CPT Based Liquefaction Resistance Analyses using Case Histories, *Technical Report CEG-90-01*, Department of Civil and Environmental Engineering, Birmingham Young University, Provo, Utah.
- Goldberg, D. E., (1989) Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, *Addison-Wesley Pub. Co.*, Reading, MA, xiii, 412p.
- Goldberg, D. E. and Deb, K. A. (1991) Comparative Analysis of Selection Schemes used in Genetic Algorithms, Foundations of Genetic Algorithms, *Morgan Kaufmann Publishers*, San Mateo., CA, USA.
- Green, R. A., (2001) Energy-Based Evaluation and Remediation of Liquefiable Soils, PhD Thesis, *Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University*, 394 pp.
- Green, R. A., and Mitchell, J. K., (2003) A Closer Look at Arias Intensity-Based Liquefaction Evaluation Procedures, *2003 Pacific Conference on Earthquake Engineering*, Paper number, 94.
- Hanks, T.C. and McGuire, R. K., (1981) The Character of High-Frequency Strong Ground Motions, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71(6), 2071–2095.
- Hanna, A. M., Ural, D., and Saygili, G., (2007) Neural Network Model for Liquefaction Potential in Soil Deposits using Turkey and Taiwan Earthquake Data, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27, 521–540.
- Hasgür, Z., (1996) Deprem Risk Analizinde Kullanılan Azalım İlişkileri, *Türkiye Deprem Vakfı*, TDV/TR 96–002, 26 s.

- Holland, J. H. (1975) *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. University of Michigan Press, Ann Arbor, viii, 183p.
- Holzer, T. L., Youd, T. L. and Hanks, T. C., (1989) Dynamics of Liquefaction During the 1987 Superstition, California Earthquake, *Science*, 244, 56-59.
- Hough, B. K., (1957) *Basic Soil Engineering*, *The Ronald Pres Company*, New York.
- Hryciw, R. D., Vitton, S., and Thomann, T. G. (1990). Liquefaction and flow failure during seismic exploration, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 116(12), 1881-1899.
- Hwang, J. H., and Yang, C. W., (2001) Verification of critical cyclic strength curve by Taiwan Chi-Chi earthquake data, *Soil Dynamics and Earthquake Eng.*, 21, 237-57.
- Hwang, J. H., Yang, C. W., and Juang, D. S., (2004) A Practical Reliability-Based Method for Assessing Soil Liquefaction Potential, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 761-770.
- Idriss, I. M., (1990) Response of Soft Soil Sites During Earthquakes, *Proceedings, H. Bolton Seed Memorial Symposium*, Vol.2, BiTech Publishers, Ltd, Vancouver, B.C. Canada, 273-290.
- Idriss, I. M., (1999) Presentation Notes: An Update of the Seed-Idriss Simplified Procedure for Evaluating Liquefaction Potential, *Proceedings, TRB Workshop on New Approaches to Liquefaction Analysis*, Publication no. FHWA-RD-99-165, Federal Highway Administration, Washington.
- Idriss, I. M., and Boulanger, R. W., (2004) Semi-empirical Procedures for Evaluating Liquefaction Potential During Earthquakes, *Proceedings, 11th Int. Conf. Soil Dynamics and Earthquake Engineering and 3rd Int. Conf. Earthquake Geotechnical Engineering*, Berkeley, California, 32-56.
- Ishihara, K., Sodekawa, M., and Tanaka, Y., (1978) Effects Overconsolidation on Liquefaction Characteristics of Sands Containing Fines, Dynamic Geotechnical Testing, *ASTM Special Technical Publication 654*, ASTM, Philadelphia, 246-264.
- Ishihara, K., (1985) Stability of Natural Deposits During Earthquakes, *Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Francisco, 1, 321-376.
- Ishihara, K., (1993) Liquefaction and Flow Failure During Earthquakes, *Geotechnique*, 43(3), 351-415.
- Ishihara, K., Acacio, A. A., and Towhata, I., (1993) Liquefaction-induced ground damage in Dagupan in the July 16, 1990 Luzon earthquake, *Soils and Foundations*, 33(1), 133-154.
- Ismael, N. F. and Jeragh, A. M., (1986) Static Cone Tests and Settlement of Calcareous Desert Sands, *Canadian Geotechnical Journal*, 23(3), 297-303.
- Iovine, G., D'Ambrosio, D., and Di Gregorio, S., (2005) Applying Genetic Algorithms for Calibrating a Hexagonal Cellular Automata Model for the Simulation of Debris Fows Characterised by Strong Inertial Effects, *Geomorphology*, 66, 287-303.
- Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida, K. I., and Yasuda, S., (1978) A Practical Method for Assessing Soil Liquefaction Potential Based on Case Studies at Various Sites in Japan, *Proceedings, 2nd International Conference on Microzonation*, San Francisco, 885-896.
- Iwasaki, T., Tokida, K., and Tatsuoka, F., (1981) Soil Liquefaction Potential Evaluation with use of the Simplified Procedure, *Proceedings, International Conference of Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, 1, 209-214.

- Iwasaki, T., Tokida, K. I., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S., and Sato, H., (1982) Microzonation for Soil Liquefaction Potential Using Simplified Methods, *Proceedings, 3rd International Earthquake Microzonation Conference*, Seattle, 1319-1330.
- Javadi, A. A., Rezaia, M., and Nezhad, M. M., (2006) Evaluation of Liquefaction Induced Lateral Displacements Using Genetic Programming, *Computers and Geotechnics*, 33, 222–233.
- Jinguuji, M., and Toprak, S., (2003) A Fundamental Study of in-situ Dynamic Response Test for Liquefaction: Vibration Probe Penetration Test (VPT), *Proceedings of the 108th SEGJ Conference*, May 2003, Tokyo, The Society of Exploration Geophysicists of Japan, 267-269.
- Jinguuji, M., Kunimatsu, S., Izumi, H., and Mochizuki, T., (2001) Development of Visualization Technique of Relative Density of Sand During Liquefaction Using Resistivity and Consideration of the Results, *Japan Society of Civil Engineers*, 680(III-55), 201-209 (in Japanese).
- Jinguuji, M., Toprak, S., and Nakashima, Y., (2006) Development of Vibration Penetration Test (VPT) and Results of Laboratory and Field Experiments, *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology* (a joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC), Paper Number: 896, Geneva, Switzerland.
- Jinguuji, M., Toprak, S. and Kunimatsu, S., (2007) Visualization Technique for Liquefaction Process in Chamber Experiments by Using Electrical Resistivity Monitoring, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27, 191-199.
- JSCE, Handbook of Civil Engineering, *Gihoudou Publication*, Tokyo (in Japanese).
- Juang, C. H., and Chen, C. J., (1999) CPT Based Liquefaction Evaluation Using Artificial Neural Networks, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 14, 221-229.
- Juang, C. H., Jiang, T., Andrus, R. D., (2002) Assessing Probability-Based Methods for Liquefaction Potential Evaluation, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE 2002; 128(7), 580–589.
- Kanibir, A., Ulusay, R., and Aydan, O., (2006) Assessment of Liquefaction and Lateral Spreading on the Shore of Lake Sapanca During the Kocaeli (Turkey) Earthquake, *Engineering Geology*, 83, 307–331.
- Kasapoglu, K. E., Ulusay, R., Gokceoglu, C., Sonmez, H., Binal, A., Tuncay, E., (1999) Geotechnical Site Reconnaissance Report of the 17 August 1999 East Marmara Earthquake, Applied Geology Division of Geological Engineering Department, Hacettepe University, Ankara (in Turkish).
- Kayen, R. E., Mitchell, J. K., Seed, R. B., Lodge, A., Nishio, S. and Coutinho, R., (1992) Evaluation of SPT-CPT and Shear Wave-Based Methods for Liquefaction Potential Assessments Using Loma Prieta Data, *Proceedings, 4th Japan-U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction*, NCEER-92-0019, National Center for Earthquake Engineering, Buffalo, NY, 177–192.
- Kayen, R. E., (1993) Accelerogram Energy Approach for Prediction of Earthquake-Induced Ground Liquefaction, PhD Thesis, *Department of Civil Engineering, University of California at Berkeley*, 289 pp.
- Kayen, R. E. and Mitchell, J. K., (1997) Assessment of Liquefaction Potential During Earthquakes by Arias Intensity, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(12), 1162–1174.

- Kayen, R. E. and Mitchell, J. K., (1998) Variation of the Intensity of Earthquake Motion Beneath the Ground Surface, *Proceedings of the 6th U.S. National Conference on Earthquake Engineering–Seismic Design and Mitigation for the 3rd Millennium*, May 31–June 4, Seattle, Washington.
- Koester, J. P., (1994) The Influence of Fine Type and Content on Cyclic Strength, *Ground Failures Under Seismic Conditions*, Geotechnical Special Publication No. 44, ASCE, 17-33.
- Kokusho, T., Hara, T., and Hiraoka, R., (2004) Undrained Shear Strength of Granular Soils with Different Particle Gradations, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 130(6), 621-629.
- Kramer, S. L., (1996) Geotechnical Earthquake Engineering, *Prentice-Hall*, Englewood Cliffs, N.J., 653.
- Krinitzsky, E. L., Gould, J. P. and Edinger, P. H., (1993) Fundamentals of Earthquake Resistant Construction, *John Wiley and Sons, Inc.*, 299 pp.
- Kurbis, R., Nequssey, D., and Vaid, Y. P., (1988) Effect of Gradation and Fines Content on the Undrained Response of Sand, *Proceedings of the ASCE Geotechnical Division Specialty Conference on Hydraulic Fill Structures*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Lai, S. Y., Lin, P. S., Hsieh, M. J., and Jim H. F., (2005) Regression Model for Evaluating Liquefaction Potential by Discriminant Analysis of the SPT N Value, *Canadian Geotechnical Journal*, 42, 856–875.
- Lee, K. L. and Seed, H. B., (1967) Cyclic Stress Conditions Causing Liquefaction of Sand, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, 93(SM1), 47–70.
- Lee, Y. F., Chi, Y. Y., Lee, D. H., Juang, C. H., and Wu, J. H., (2007) Simplified Models for Assessing Annual Liquefaction Probability-A Case Study of the Yuanlin Area Taiwan, *Engineering Geology*, 90, 71-88.
- Li, K., (2006), Liquefaction potential of soils- a fully probabilistic approach, PhD. Thesis, *Clemson University*, Clemson, SC, 196 p.
- Lunne, T., Robertson, P. K., and Powell, J. J. M., (1997) Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, *Blackie Academic and Professional*, London, 304pp.
- Mathworks, (2008) <http://www.mathworks.com> (erişim tarihi: 26.06.2008).
- Meigh, A. C., Nixon, I. K., (1961) Comparison of In-situ Tests of Granular Soils, *Proceedings of 5th international Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Paris, France.
- Meyerhof, G. G., (1956) Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 82(SM1), Paper 866, 1-19.
- Michalewicz, Z. (1992) Genetic Algorithm + Data Structure = Evolution Programs, Springer-Verlag, New York.
- Mitchell, J. K., Lodge, Angela, L., Coutinho, R. Q., Kayen, R. E., Seed, R. B., Nishio, Shinya, and Stokoe, K. H., III. (1994), Insitu test results from four Loma Prieta earthquake liquefaction sites: SPT, CPT, DMT, and shear wave velocity, *Report No. UCB/EERC-94/04*, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley, CA, April.
- Mogami, T., and Kubo, K., (1953) The Behaviour of Soil During Vibration, *In Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol.1. pp.152–153.
- Mollamahmutoğlu, M., Kayabali, K., Beyaz T., and Kolay, E., (2003) Liquefaction-Related Building Damage in Adapazari During the Turkey Earthquake of August 17, 1999, *Engineering Geology*, 67, 297-307.

- Mollamahmutoğlu, M., ve Babuçcu, F., (2006) Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri, **Gazi Kitabevi**, Ankara.
- National Research Council, (NRC), (1985) Liquefaction of Soils During Earthquakes, **National Academy Press**, Washington, DC., 240pp.
- NCEER, (1997), Proceeding of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, (T.L. Youd and I.M. Idriss, eds.), **Technical Report NCEER-97-0022**, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, 276pp.
- Nemat-Nasser, S. and Shokooch, A., (1979) A Unified Approach to Densification and Liquefaction of Cohesionless Sand in Cyclic Shearing, **Canadian Geotechnical Journal**, 16, 659-678.
- Matsumoto, M. and Nishimura, T., (1998) Mersenne Twister: A 623-Dimensionally Equidistributed Uniform Pseudorandom Number Generator, **ACM Trans. on Modeling and Computer Simulation**, 8(1), 3-30.
- Obermeier, S. F., (1989) The New Madrid Earthquakes: An Engineering-Geologic Interpretation of Relict Liquefaction Features, **U. S. Geol. Survey Prof. Paper 1336-B**, 114p.
- Obermeier, S. F., (1994) Using Liquefaction-induced Features for Paleoseismic Analysis, **U. S. Geol. Survey open-File Report 94-663**, chapter A, 58 p.
- Ohsaki, Y., (1969) The Effects of Local Soil Conditions Upon Earthquake Damage, Paper Presented at Session no. 2, Soil Dynamics, **Proceedings of the 7th Interbational Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, Mexico, 3, 421-422.
- Olsen, R. S., (1997) Cyclic Liquefaction Based on the Cone Penetration Test, **Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils**, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, 225-76.
- Olson, S. M., (2001) Liquefaction Analysis of Level and Sloping Ground Using Field Case Histories and Penetration Resistance, PhD Thesis, **University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Civil Engineering**, USA, 566 pp.
- Özdamar, K., (2004) Paket Programlar İle İstatistiksel Analiz-1, **Kaan Kitabevi**, Genişletilmiş 5. Baskı, Eskişehir, 649s.
- Peck, R. B., Hansen, W. E., Thornburn, T. H., (1974) Foundation Engineering, 2nd edition, **John Wiley&Sons, Inc.**, New York.
- Pitman, T. D., Robertson, P. K., and Segoo, D. C., (1994) Influence of Fines on the Collapse of Loose Sands, **Canadian Geotechnical Journal**, 31, 728-739.
- Polito, C. P. and Martin, J. R., (2001) Effects of Nonplastic Fines on the Liquefaction Resistance of Sands, **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, ASCE, 408-415.
- Poulos, S. J., Castro, G. and France, J. W., (1985) Liquefaction Evaluation Procedure, **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, 111(6,) 772-792.
- Ramakrishnan, D., Singh, T. N., Purwar, N., Barde, K. S., Akshay Gulati, and Gupta, S., (2008) Artificial Neural Network and Liquefaction Susceptibility Assessment: A Case Study Using the 2001 Bhuj Earthquake Data, Gujarat, India, **Comput Geosci**, 12, 491-501.
- Rathje, E. M., Karatas, I., Stephen, G. W., and Bachhuber, J., (2004), Coastal failures during the 1999 Kocaeli earthquake of Turkey, **Soil Dyn. Earthquake Eng.**, 24:699-712.
- Robertson, P. K., Campanella, R. G., and Wightman, A., (1983) SPT-CPT Correlations, **Journal of Geotechnical Engineering**, 109(7), 1449-1459.

- Robertson, P. K., and Campanella, R. G., (1985) Liquefaction Potential of Sands Using the Cone Penetration Test, *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 111(3), 384-403.
- Robertson, P. K., Woeller, D. J. and Finn, W. D. L., (1992) Seismic Cone Penetration Test for Evaluating Liquefaction Potential Under Cyclic Loading, *Canadian Geotechnical Journal*, Ottawa, 29, 686–695.
- Robertson, P. K., and Wride, C. E., (1997) Cyclic Liquefaction and its Evaluation Based on SPT and CPT, *Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, Technical report NCEER-97-0022, T. L. Youd and I. M. Idriss, eds., National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, NY, 41-87.
- Robertson, P. K., and Wride C. E., (1998) Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using the Cone Penetration Test, *Canadian Geotechnical Journal*, 35(3), 442–59.
- Running, D. L., (1996) An Energy-Based Model for Soil Liquefaction, *PhD Thesis*, Washington State University, 267pp.
- Saka, H., (1998) Liquefaction Potential: A Neural Network Approach, Master of Science Thesis, *The Graduate School of Natural and Applied Science of The Middle East Technical University*, Ankara, 186 pp.
- Sancio, R. B., Bray, S. D., Steward, J. P., Youd, T. L., Durgunoglu, H. T., Önalp, A., Seed, R. B., Christensen, C., Baturay, M. B., and Karadayilar, T. (2002), Correlation between Ground Failure and Soil Conditions in Adapazari, Turkey, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering Journal*, 1093-1102.
- Sanglerat, G., (1972) The Penetrometer and Soil Exploration; Interpretation of Penetration Diagrams Theory and Practice, *Elsevier*, Amsterdam, 464 pp.
- Schmertmann, J. K., (1970) Static Cone to Compute Static Settlement Over Sand, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, 96(SM3), 1011–1043.
- Schertmann, J. H., (1978) Guidelines for Cone Penetration Test Performance and Design, *Report No. FHWA-TS-78-209*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Seed, H. B. and Lee, K. L., (1965) Studies of Liquefaction of Sands Under Cyclic Loading Conditions, *Report TE-65-65*, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley.
- Seed, H. B., (1970) Soil Problems and Soil Behaviour, Chapter 10 of Earthquake Engineering, Robert L. Wiegel, coordinating ed., *Prentice Hall*, Englewood Cliffs, NJ, 227–251.
- Seed, H. B. and Idriss, I. M., (1971) Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, 97(9), 1249-1273.
- Seed, H. B. and Peacock, W. H., (1971) Test Procedure for Measuring Soil Liquefaction Characteristics, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, 97(SM8), 1099–1119.
- Seed, H. B., Mori, K., and Chan, C. K., (1975) Influence of Seismic History on the Liquefaction Characteristics of Sands, *Report EERC 75-25*, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Seed, H. B., Makdisi, F. I., and De Alba, P., (1978) Performance of Earth Dams During Earthquakes, *J. Geotechn. Eng., American Society of Civil Engineers*, 104(GT7), 967–994.

- Seed, H. B., (1979) Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground During Earthquakes, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 105(GT2), 201–255.
- Seed, H. B., and Idriss, I. M., (1982) Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes, *Monograph series*, Earthquake Engineering Research Institute, University of California, 134pp, Berkeley.
- Seed, H. B., Idriss, I. M., and Arango, L., (1983) Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 109(3), 458–482.
- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder L, F. and Chung, R. M., (1984) The Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations, Earthquake Engineering Research Center *Report No. UCB/EERC-84/15*, University of California at Berkeley.
- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder L, F. and Chung, R. M., (1985) Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 111(12), 1425-1445.
- Seed, H. B. and De Alba, P., (1986) Use of SPT and CPT Tests for Evaluating the Liquefaction Resistance of Sands in use of in-situ Tests in Geotechnical Engineering, *ASCE Geotechnical Special Publication*, 6, 281-302.
- Seed, R. B., (1991) Liquefaction Manual, *Course Notes for CE 275: Geotechnical Earthquake Engineering*, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- Seed, R. B., Cetin, K. O., Moss, R. E. S., Kammerer, A. M., Pestana, J. M., and Riemer, M.F., (2001) Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering and Seismic Site Response Evaluation, *4th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, University of Missouri-Rolla, Paper No. SPL-2. 45pp.
- Sen, G., and Akyol, E., (2010) A genetic-algorithm approach for assessing the liquefaction potential of sandy soils, *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(4), 685-698.
- Shibata, T. and Teeparaksa, W., (1988), Evaluation of liquefaction potentials of soils using cone penetration tests, *Soils and Foundations*, 28(2), 49-60.
- Simpson, A. R. and Priest, S. D., (1993) The Application of Genetic Algorithms to Optimisation Problems in Geotechnics, *Computers and Geotechnics*, 15, 1-9.
- Singh, S., (1994) Liquefaction Characteristics of Silts, Session on Ground Failures under Seismic Conditions, *Proceedings, ASCE National Convention, Special Publication No. 44*, pp.105-116.
- Sönmez, H., (2003) Modification of the Liquefaction Potential Index and Liquefaction Susceptibility Mapping for a Liquefaction-Prone Area (Inegol,Turkey), *Environmental Geology*, 44, 862-871.
- Sönmez, H. and Gokceoglu C., (2005) A Liquefaction Severity Index Suggested for Engineering Practice, *Environmental Geology*, 48, 81-91.
- Sönmez, B., Ulusay, R., and Sonmez, H., (2008), A study on the identification of liquefaction-induced failures on ground surface based on the data from the 1999 Kocaeli and Chi-Chi earthquakes, *Engineering Geology*, 97, 112–125.
- Stark, T. D. and Olson, S. M., (1995) Liquefaction Resistance Using CPT and Field Case Histories; *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 121(12), 856–869.
- Sucuoğlu, H., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., Bakır, S., Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Gür, T., Akkor, S., Erberik, A., ve Yılmaz, T., (2000) Marmara ve Düzce Depremleri Mühendislik Raporu, *TMMM İnşaat Mühendisleri Odası*, ODTÜ, 53-78.

- Suzuki, Y., Tokimatsu, K., Koyamada, K., Taya, Y., and Kubota, Y., (1995), Field correlation of soil liquefaction based on CPT data, *Proc., International Symposium on Cone Penetration Testing (CPT '95)*, Vol. 2, Linköping, Sweden, October, 1995, 583-588.
- Suzuki, Y., Koyamada, K., and Tokimatsu, K., (1997) Prediction of Liquefaction Resistance Based on CPT Tip Resistance and Sleeve Friction, *Proceedings XIV International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Hamburg, Germany, 603-606.
- Sykora, D. W., (1987) Creation of a Data Base of Seismic Shear Wave Velocities for Correlation Analysis, *Geotechnical Laboratory Miscellaneous Paper GL-87-26*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Şahin, Y., (2009) Depo Operasyonlarının Planlanması için Genetik Algoritma Esaslı bir Model, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 120 s.
- Terzaghi, K., and Peck, R. B., (1948) Soil Mechanics in Engineering Practice, *John Wiley and Sons, Inc.*, 2nd Edition, pp. 108.
- Thevanayagam, S. (2000a) Liquefaction Potential and Undrained Fragility of Silty Soils, *Proc. of the 12th Int. World Conf. on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, 124-131.
- Thevanayagam, S., (2000b) Liquefaction in Silty Soils-Considerations for Screening and Retrofit Strategies, *2nd Workshop on Mitigation of Seismic Effects on Transportation Structures*, Taipei, Taiwan.
- Thevanayagam, S. and Mohan, S., (2000) Intergranular State Variables and Stress-strain Behavior of Silty Soils, *Geotechnique*, 50(1), 1-23.
- Thevanayagam, S., Liang, J. and Shenthan, T., (2000) Contact Index and Liquefaction Potential Analysis of Silty and Gravely Soils, *Proc. 14th ASCE Engineering Mechanics Conference*, Austin, TX.
- Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y., (1983) Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT-N Value and Fines Content, *Soil and Foundations*, 23(4), 56-74.
- Tokimatsu, K., Kojima, H., Kuwayama, S., Alie, A., and Midorikawa, S., (1994) Liquefaction-induced damage to buildings in 1990 Luzon earthquake, *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 120(2), 290-307.
- Toprak, S., Holzer, T. L., Bennett, M. J., and Tinsley, J. C., I., (1999) CPT and SPT Based Probabilistic Assessment of Liquefaction, *Proc. 7th U.S.-Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Liquefaction*, Technical Report MCEER-99-0019, 69-86.
- Toprak, S. and Holzer, T. L., (2003) Liquefaction Potential Index: Field Assessment, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 129, 315-322.
- Towhata, I., Ishihara, K., Kiku, H., Shimizu, Y., Horie, Y., and Irisawa, T., (2001), Submarine slides in coastal areas during Kocaeli earthquake, In: Ansal, A.M. (Ed.), *Proceedings of Fifteenth International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Satellite Conference*, İstanbul, Turkey, pp. 71-76.
- Tuttle, M., Law, K. T., Seeber, L., and Jacob, K., (1990), Liquefaction and ground failure induced by the 1988 Saguenay, Quebec, earthquake, *Canadian Geotechnical Journal*, 27, 580-589.
- Ulusay, R., Aydan, Ö., Kumsar, H., and Sönmez, H., (2000), Engineering geological characteristics of the 1998 Adana-Ceyhan earthquake, with particular emphasis on liquefaction phenomena and the role of soil behaviour, *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 59(2), 99-118.

- Ulusay, R., Aydan, O., and Hamada, M., (2002) The behavior of structures built on active fault zones: examples from the recent earthquakes of Turkey, *Japan Society of Civil Engineers (JSCE)*, Earthquake and Structural Engineering Division (Special Issue), 19(2), 149–167.
- Ulusay, R., Aydan, O., Erken, A., Tuncay, E., Kumsar, H., and Kaya Z., (2004) An Overview of Geotechnical Aspects of the Çay-Eber (Turkey) Earthquake, *Engineering Geology*, 73, 51–70.
- Ulusay, R. and Kuru, T., (2004) 1998 Adana-Ceyhan (Turkey) Earthquake and a Preliminary Microzonation Based on Liquefaction Potential for Ceyhan Town, *Natural Hazards*, 32, 59–88.
- Vaid, V. P., (1994) Liquefaction of Silty Soils, Ground Failures under Seismic Conditions, *Geotechnical Special Publication*, No.44, ASCE, 1-16.
- Vaid, V. P. and Thomas, J., (1995) Liquefaction and Post-liquefaction Behavior of Sand, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 121(2), 163-173.
- Wang, J., (1999) A Neural Network Model for Liquefaction-Induced Horizontal Ground Displacement, PhD Thesis, *North Carolina State University*, USA, 260p.
- Wang, J., and Rahman, M. S., (1999) A Neural Model for Liquefaction-induced Horizontal Ground Displacement, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 18, 555- 568.
- Whitman, R. V., (1971) Resistance of Soil to Liquefaction and Settlement, *Soils and Foundations*, 11(4), 59–68.
- Wichtmann, T., Niemunis, A., Triantafyllidis, Th. and Poblete, M., (2005) Correlation of Cyclic Preloading with the Liquefaction Resistance, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, 923–932.
- Woods, R. D. Ed., (1994) Geophysical Characterization of Sites, *Balkema*, Rotterdam, The Netherlands.
- Yasuda, S., Irisawa, T., and Kazami, K., (2001), Liquefaction-induced settlements of buildings and damages in coastal areas during Kocaeli and other earthquakes, In: Ansal, A.M. (Ed.), *Proceedings of Fifteenth International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Satellite Conference*, Istanbul, Turkey, pp. 33–42.
- Yilmaz, I. and Yavuzer, D., (2005), Liquefaction potential and susceptibility mapping in the city of Yalova, Turkey, *Environmental Geology*, 47, 175-184.
- Yoshimi, Y., Tokimatsu, K. and Hasaka, Y., (1989) Evaluation of Liquefaction Resistance of Clean Sands Based on High-Quality Undisturbed Samples, *Soils and Foundations*, 29(1), 93–104.
- Youd, T. L., (1992) Liquefaction, Ground Failure, and Con-sequent Damage During the 22 April 1991 Costa Rica Earthquake, in *Proceedings of the NSF/UCR U.S.-Costa Rica Workshop on the Costa Rica Earthquakes of 1990-1991: Effects on Soils and Structures*, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California.
- Youd, T. L. and Hoose, S. N., (1978) Historic Ground Failures in Northern California, Triggered by Earthquakes, *Professional Paper 933*, U.S. Geological Survey, Washington.
- Youd, T. L. and Bennett, M. J., (1983), Liquefaction sites, Imperial Valley, California, *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 109(3), 440-457.
- Youd, T. L. and Idriss, I. M., (1997) Summary report, Proc., NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, *NCEER-97-0022*, 1-40.
- Youd, T. L. and Gilstrap, S. D., (1999) Liquefaction and Deformation of Silty and Fine-Grained Soils, *Earthquake Geotechnical Engineering*, Balkema, Rotterdam, 1013–1020.

- Youd, T. L. and Idriss, I. M., (2001) Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 127(4), 297–313.
- Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Liam Finn, W. D., Harder Jr., L. F., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koester, J. P., Liao, S. S. C., Marcuson III, W. F., Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., Seed, R. B., Stokoe II, K. H., (2001) Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, ASCE, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(10), 817–833.
- Yuan H., (2003) Cone Penetration Test-Based Methods for Evaluating Liquefaction Potential and Its Damaging Effect, PhD Thesis, *Clemson University*, USA, 216 pp.
- Yunmin, C., Han, K. and Ren-peng, C., (2005) Correlation of Shear Wave Velocity with Liquefaction Resistance Based on Laboratory Tests, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, 461–469.
- Zolfaghari, A. R., Heath, A. C. and McCombie, Paul F., (2005) Simple Genetic Algorithm Search for Critical Non-Circular Failure Surface in Slope Stability Analysis, *Computers and Geotechnics*, 32, 139–152.

EKLER

Ek-1 CPT deney verileri içeren eğitim veri seti

<i>Sıvılaştırma</i> <i>Var=1,</i> <i>Yok=0</i>	a_{max} (g)	σ_{v0} (kPa)	σ'_{v0} (kPa)	q_{c1} (kPa)	D_{50} (mm)	$YASS$ (m)	z (m)	C_q	r_d	$SSSSR$	$SSSSR_{7.5}$	q_c (MPa)	<i>Sabit</i> <i>Terim</i>	<i>Kaynak*</i>
1	0,200	111,80	54,30	3280	0,062	0,20	5,90	1,35	0,930	0,250	0,260	2,430	1,000	9
1	0,160	108,90	66,20	1860	0,070	2,50	6,00	1,24	0,930	0,150	0,140	1,500	1,000	5-6
1	0,160	108,90	66,20	2350	0,070	2,50	6,00	1,24	0,930	0,150	0,140	1,895	1,000	5-6
1	0,240	115,00	83,60	830	0,160	2,90	6,10	1,11	0,930	0,200	0,190	0,748	1,000	3
1	0,500	113,70	103,30	680	0,055	4,70	5,80	0,99	0,930	0,330	0,280	0,687	1,000	2
1	0,400	37,30	28,40	2780	0,120	1,10	2,00	1,67	0,980	0,330	0,340	1,665	1,000	9
1	0,200	93,20	51,00	1490	0,070	0,70	5,00	1,38	0,940	0,220	0,230	1,080	1,000	9
1	0,150	55,90	41,20	810	0,080	1,50	3,00	1,53	0,960	0,130	0,130	0,529	1,000	1
1	0,600	62,80	44,50	2560	0,110	2,10	4,00	1,45	0,950	0,520	0,460	1,766	1,000	11
1	0,290	130,50	91,20	12380	0,260	3,00	6,50	1,06	0,920	0,250	0,230	11,679	1,000	5-6
1	0,400	55,90	42,20	3770	0,140	1,60	3,00	1,48	0,960	0,330	0,340	2,547	1,000	9
1	0,240	120,60	81,80	1340	0,197	2,40	6,40	1,12	0,920	0,210	0,200	1,196	1,000	3
1	0,200	97,10	81,40	4020	0,170	3,60	5,20	1,12	0,940	0,150	0,150	3,589	1,000	9
1	0,290	154,50	100,60	10040	0,260	2,00	7,50	1,00	0,910	0,260	0,250	10,040	1,000	5-6
1	0,160	52,00	35,30	5020	0,330	1,10	2,80	1,57	0,970	0,150	0,150	3,197	1,000	7
1	0,500	113,70	103,30	680	0,055	4,70	5,80	0,99	0,930	0,330	0,280	0,687	1,000	2
1	0,400	28,40	26,50	9150	0,170	1,30	1,50	1,70	0,980	0,270	0,280	5,382	1,000	9
1	0,290	154,50	100,60	5000	0,260	2,00	7,00	1,00	0,910	0,260	0,250	5,000	1,000	5-6
1	0,200	59,80	38,20	4500	0,160	1,00	3,20	1,53	0,960	0,200	0,200	2,941	1,000	9
1	0,290	154,50	100,60	9000	0,270	2,00	7,00	1,00	0,910	0,260	0,250	9,000	1,000	5-6
1	0,500	167,60	166,10	4700	0,058	8,40	8,50	0,74	0,900	0,290	0,250	6,351	1,000	2
1	0,200	43,10	43,10	5070	0,160	2,30	2,30	1,47	0,970	0,130	0,130	3,449	1,000	9
1	0,140	45,60	36,40	2020	0,100	1,40	2,30	1,55	0,970	0,110	0,100	1,303	1,000	4
1	0,250	90,00	63,00	3490	0,100	1,80	4,50	1,27	0,950	0,220	0,160	2,748	1,000	10
1	0,150	55,90	41,20	810	0,080	1,50	3,00	1,53	0,960	0,130	0,130	0,529	1,000	1
1	0,400	74,50	51,00	4330	0,160	1,60	4,00	1,38	0,950	0,360	0,370	3,138	1,000	9
1	0,400	87,30	56,90	7520	0,160	1,60	4,70	1,32	0,940	0,380	0,390	5,697	1,000	9
1	0,500	200,50	182,60	4750	0,073	8,40	10,20	0,69	0,880	0,310	0,260	6,884	1,000	2
1	0,160	108,90	66,20	2350	0,070	2,50	6,00	1,24	0,930	0,150	0,140	1,895	1,000	5-6
1	0,220	93,20	53,90	4940	0,200	1,00	5,00	1,35	0,940	0,230	0,220	3,659	1,000	9
1	0,400	145,10	83,40	6200	0,250	1,50	7,80	1,11	0,910	0,410	0,420	5,586	1,000	9
1	0,400	50,00	34,30	6360	0,120	1,10	2,70	1,58	0,970	0,370	0,380	4,025	1,000	9
1	0,160	108,90	66,20	1860	0,070	2,50	6,00	1,24	0,930	0,150	0,140	1,500	1,000	5-6
1	0,200	215,70	104,60	2070	0,067	0,20	11,60	0,98	0,860	0,230	0,240	2,112	1,000	9
1	0,200	225,50	109,70	2440	0,067	0,20	12,10	0,96	0,850	0,230	0,240	2,542	1,000	9
1	0,200	93,20	66,70	7080	0,320	2,30	5,00	1,23	0,940	0,170	0,180	5,756	1,000	9
1	0,290	154,50	100,60	10040	0,260	2,00	7,50	1,00	0,910	0,260	0,250	10,040	1,000	5-6
1	0,160	124,50	78,50	8890	0,330	2,00	6,70	1,14	0,920	0,150	0,150	7,798	1,000	9
1	0,150	74,60	50,00	930	0,070	1,50	4,00	1,43	0,950	0,140	0,140	0,650	1,000	1
1	0,200	70,60	55,90	3840	0,210	2,30	3,80	1,33	0,950	0,160	0,160	2,887	1,000	9
1	0,160	206,90	117,10	8730	0,330	2,00	11,10	0,92	0,870	0,160	0,160	9,489	1,000	9
1	0,200	72,60	62,80	3170	0,170	2,90	3,90	1,27	0,950	0,140	0,150	2,496	1,000	9
1	0,500	200,50	182,60	4750	0,073	8,40	10,20	0,69	0,880	0,310	0,260	6,884	1,000	2
1	0,160	124,50	78,50	8890	0,330	2,00	6,70	1,14	0,920	0,150	0,150	7,798	1,000	9
1	0,200	118,70	55,30	2060	0,062	0,20	6,00	1,34	0,930	0,260	0,270	1,537	1,000	9
1	0,290	128,80	87,10	5100	0,270	2,00	6,00	1,08	0,930	0,260	0,240	4,722	1,000	5-6
1	0,150	74,60	50,00	930	0,070	1,50	4,00	1,43	0,950	0,140	0,140	0,650	1,000	1
1	0,400	119,60	72,60	4070	0,160	1,60	6,40	1,19	0,920	0,400	0,410	3,420	1,000	9
1	0,290	111,80	82,40	9710	0,300	3,00	6,00	1,12	0,930	0,240	0,220	8,670	1,000	5-6
1	0,400	22,60	20,60	12320	0,480	1,00	1,20	1,79	0,990	0,280	0,290	6,883	1,000	9
1	0,240	120,60	81,80	1340	0,197	2,40	6,40	1,12	0,920	0,210	0,200	1,196	1,000	3
1	0,200	214,80	104,60	1710	0,067	0,40	11,50	0,98	0,860	0,230	0,240	1,745	1,000	9

<i>Sıvılaştırma</i> <i>Var=1,</i> <i>Yok=0</i>	a_{max} (g)	σ_{v0} (kPa)	σ'_{v0} (kPa)	q_{c1} (kPa)	D_{50} (mm)	<i>YASS</i> (m)	z (m)	C_q	r_d	<i>SSSSR</i>	<i>SSSR</i> _{7.5}	q_c (MPa)	<i>Sabit</i> <i>Terim</i>	<i>Kaynak*</i>
1	0,240	120,60	81,80	1340	0,197	2,40	6,40	1,12	0,920	0,210	0,200	1,196	1,000	3
1	0,270	65,20	50,50	10000	0,220	2,00	3,50	1,39	0,960	0,220	0,200	7,194	1,000	5-6
1	0,160	97,10	56,90	9330	0,330	1,10	5,20	1,32	0,940	0,170	0,170	7,068	1,000	9
1	0,200	28,40	24,50	1740	0,190	1,10	1,50	1,73	0,980	0,150	0,150	1,006	1,000	9
1	0,200	53,90	36,30	7620	0,310	1,10	2,90	1,55	0,970	0,190	0,190	4,916	1,000	9
1	0,290	116,50	84,60	7150	0,300	3,00	5,50	1,10	0,930	0,240	0,220	6,500	1,000	5-6
1	0,300	65,20	50,50	8450	0,220	2,00	3,50	1,39	0,960	0,240	0,230	6,079	1,000	5-6
1	0,200	59,80	38,20	4500	0,160	1,00	3,20	1,53	0,960	0,200	0,200	2,941	1,000	9
1	0,100	97,10	53,90	2650	0,140	0,80	5,20	1,35	0,940	0,110	0,110	1,963	1,000	9
1	0,500	164,00	138,90	570	0,045	5,80	8,40	0,83	0,900	0,350	0,290	0,687	1,000	2
1	0,200	93,20	66,70	7080	0,320	2,30	5,00	1,23	0,940	0,170	0,180	5,756	1,000	9
1	0,500	122,70	119,70	1780	0,051	5,90	6,30	0,91	0,930	0,310	0,260	1,956	1,000	2
1	0,230	94,10	65,70	9690	0,320	2,10	5,10	1,24	0,940	0,200	0,210	7,815	1,000	7
1	0,160	108,90	66,20	1860	0,070	2,50	6,00	1,24	0,930	0,150	0,140	1,500	1,000	5-6
1	0,290	154,50	100,60	9400	0,270	2,00	7,00	1,00	0,910	0,260	0,250	9,400	1,000	5-6
1	0,150	130,50	76,50	440	0,020	1,50	7,00	1,16	0,920	0,150	0,150	0,379	1,000	1
1	0,400	33,30	24,50	8470	0,170	0,90	1,80	1,73	0,980	0,350	0,360	4,896	1,000	9
1	0,200	57,90	50,00	3720	0,160	2,30	3,10	1,39	0,960	0,140	0,150	2,676	1,000	9
1	0,160	149,10	81,40	6160	0,330	1,10	8,00	1,12	0,900	0,170	0,170	5,500	1,000	9
1	0,200	87,30	76,50	1870	0,170	3,60	4,70	1,16	0,940	0,140	0,140	1,612	1,000	9
1	0,400	24,50	20,60	1760	0,170	0,90	1,30	1,79	0,980	0,300	0,320	0,983	1,000	9
1	0,400	37,30	28,40	2780	0,120	1,10	2,00	1,67	0,980	0,330	0,340	1,665	1,000	9
1	0,400	111,80	67,70	11300	0,250	1,50	6,00	1,23	0,930	0,400	0,410	9,187	1,000	9
1	0,200	55,90	49,00	4520	0,210	2,30	3,00	1,40	0,960	0,140	0,150	3,229	1,000	9
1	0,290	111,80	82,40	9710	0,300	3,00	6,00	1,12	0,930	0,240	0,220	8,670	1,000	5-6
1	0,500	167,60	166,10	4700	0,058	8,40	8,50	0,74	0,900	0,290	0,250	6,351	1,000	2
1	0,150	74,60	50,00	930	0,070	1,50	4,00	1,43	0,950	0,140	0,140	0,650	1,000	1
1	0,200	70,60	55,90	3840	0,210	2,30	3,80	1,33	0,950	0,160	0,160	2,887	1,000	9
1	0,400	28,40	26,50	9150	0,170	1,30	1,50	1,70	0,980	0,270	0,280	5,382	1,000	9
1	0,200	74,50	63,70	5560	0,170	2,90	4,00	1,26	0,950	0,140	0,150	4,413	1,000	9
1	0,600	62,80	44,50	2560	0,110	2,10	4,00	1,45	0,950	0,520	0,460	1,766	1,000	11
1	0,200	31,40	13,90	3770	0,070	0,20	2,00	1,92	0,980	0,290	0,250	1,964	1,000	11
1	0,230	53,00	45,10	2540	0,320	2,10	2,80	1,45	0,970	0,170	0,170	1,752	1,000	7
1	0,160	108,90	66,20	2110	0,070	2,50	6,00	1,24	0,930	0,150	0,140	1,702	1,000	5-6
1	0,160	108,90	66,20	2110	0,070	2,50	6,00	1,24	0,930	0,150	0,140	1,702	1,000	5-6
1	0,200	153,00	79,40	10030	0,080	0,70	8,20	1,14	0,900	0,230	0,230	8,798	1,000	9
1	0,240	115,00	83,60	830	0,160	2,90	6,10	1,11	0,930	0,200	0,190	0,748	1,000	3
1	0,500	98,80	95,80	2020	0,072	4,70	5,00	1,03	0,940	0,310	0,260	1,961	1,000	2
1	0,200	52,00	34,30	6820	0,160	1,00	2,80	1,58	0,970	0,190	0,200	4,316	1,000	9
1	0,230	62,80	51,00	5550	0,320	2,10	3,40	1,38	0,960	0,180	0,180	4,022	1,000	7
1	0,220	149,10	80,40	5780	0,200	1,00	8,00	1,13	0,900	0,240	0,230	5,115	1,000	9
1	0,500	98,80	95,80	2020	0,072	4,70	5,00	1,03	0,940	0,310	0,260	1,961	1,000	2
1	0,500	143,60	130,20	1690	0,100	5,90	7,30	0,86	0,910	0,330	0,270	1,965	1,000	2
1	0,100	97,10	53,90	2650	0,140	0,80	5,20	1,35	0,940	0,110	0,110	1,963	1,000	9
1	0,160	108,90	66,20	2110	0,070	2,50	6,00	1,24	0,930	0,150	0,140	1,702	1,000	5-6
1	0,160	108,90	66,20	2350	0,070	2,50	6,00	1,24	0,930	0,150	0,140	1,895	1,000	5-6
1	0,500	143,60	130,20	1690	0,100	5,90	7,30	0,86	0,910	0,330	0,270	1,965	1,000	2
1	0,200	48,10	47,10	2620	0,130	2,50	2,60	1,42	0,970	0,130	0,130	1,845	1,000	9
0	0,500	290,30	202,10	6000	0,072	5,80	14,80	0,64	0,820	0,380	0,320	9,375	1,000	2
0	0,500	179,60	131,70	6050	0,050	4,30	9,10	0,86	0,890	0,390	0,330	7,035	1,000	2
0	0,500	209,50	146,70	8640	0,095	4,30	10,70	0,80	0,870	0,400	0,340	10,800	1,000	2
0	0,200	111,80	75,50	9140	0,220	2,30	6,00	1,16	0,930	0,180	0,180	7,879	1,000	9
0	0,240	140,90	100,10	13080	0,350	2,70	6,90	1,01	0,920	0,200	0,190	12,950	1,000	3

<i>Sıvılaştırma</i> <i>Var=1,</i> <i>Yok=0</i>	a_{max} (g)	σ_{v0} (kPa)	σ'_{v0} (kPa)	q_{cl} (kPa)	D_{50} (mm)	$YASS$ (m)	z (m)	C_q	r_d	$SSSSR$	$SSSR_{7.5}$	q_c (MPa)	<i>Sabit</i> <i>Terim</i>	<i>Kaynak*</i>
0	0,240	131,90	117,10	5060	0,244	5,50	7,00	0,92	0,920	0,160	0,150	5,500	1,000	3
0	0,500	194,50	154,20	1370	0,070	5,80	9,90	0,78	0,880	0,360	0,300	1,756	1,000	2
0	0,200	22,60	21,60	23070	0,170	1,10	1,20	1,78	0,990	0,130	0,140	12,961	1,000	9
0	0,200	223,60	110,60	4250	0,067	0,40	12,00	0,95	0,860	0,230	0,230	4,474	1,000	9
0	0,160	84,30	45,10	11340	0,300	0,50	4,50	1,45	0,950	0,180	0,180	7,821	1,000	9
0	0,500	221,40	152,70	10710	0,069	4,30	11,30	0,78	0,860	0,410	0,340	13,731	1,000	2
0	0,150	191,00	105,20	710	0,016	1,50	10,30	0,98	0,880	0,160	0,150	0,724	1,000	1
0	0,200	57,90	54,90	14980	0,210	2,80	3,10	1,34	0,960	0,130	0,140	11,179	1,000	9
0	0,500	221,40	152,70	10710	0,069	4,30	11,30	0,78	0,860	0,410	0,340	13,731	1,000	2
0	0,240	77,60	67,20	17140	0,275	2,70	3,80	1,23	0,950	0,170	0,160	13,935	1,000	3
0	0,500	227,40	170,70	6320	0,053	5,80	11,60	0,72	0,860	0,370	0,310	8,778	1,000	2
0	0,230	56,90	47,10	13960	0,320	2,00	3,10	1,42	0,960	0,170	0,180	9,831	1,000	7
0	0,100	89,20	52,00	12100	0,100	1,00	4,80	1,37	0,940	0,110	0,110	8,832	1,000	9
0	0,600	62,80	44,50	28910	0,110	2,10	4,00	1,45	0,950	0,520	0,460	19,938	1,000	11
0	0,500	251,40	182,70	3730	0,057	5,80	12,80	0,69	0,850	0,380	0,320	5,406	1,000	2
0	0,500	296,30	190,20	4610	0,082	4,30	15,10	0,67	0,820	0,410	0,350	6,881	1,000	2
0	0,240	69,40	63,00	12340	0,239	2,70	3,40	1,27	0,960	0,160	0,160	9,717	1,000	3
0	0,290	177,10	113,30	17000	0,270	3,00	9,50	0,94	0,890	0,260	0,240	18,085	1,000	5-6
0	0,250	70,40	53,10	6680	0,100	1,80	3,50	1,36	0,960	0,210	0,150	4,912	1,000	10
0	0,240	118,40	88,50	20440	0,253	2,70	5,80	1,08	0,930	0,190	0,190	18,926	1,000	3
0	0,200	111,80	57,20	10950	0,062	0,40	6,90	1,32	0,920	0,230	0,240	8,295	1,000	9
0	0,600	62,80	44,50	10110	0,080	2,10	4,00	1,45	0,950	0,520	0,460	6,972	1,000	11
0	0,400	74,50	69,60	13610	0,160	3,50	4,00	1,21	0,950	0,260	0,270	11,248	1,000	9
0	0,500	194,50	154,20	1370	0,070	5,80	9,90	0,78	0,880	0,360	0,300	1,756	1,000	2
0	0,500	251,40	182,70	3730	0,057	5,80	12,80	0,69	0,850	0,380	0,320	5,406	1,000	2
0	0,240	100,00	78,90	20520	0,361	2,70	4,90	1,14	0,940	0,190	0,180	18,000	1,000	3
0	0,400	74,50	69,60	13610	0,160	3,50	4,00	1,21	0,950	0,260	0,270	11,248	1,000	9
0	0,250	148,90	92,40	8160	0,100	1,80	7,50	1,05	0,910	0,240	0,180	7,771	1,000	10
0	0,200	76,50	63,70	14970	0,210	2,80	4,10	1,26	0,950	0,150	0,150	11,881	1,000	9
0	0,600	62,80	44,50	10110	0,080	2,10	4,00	1,45	0,950	0,520	0,460	6,972	1,000	11
0	0,160	84,30	45,10	11340	0,300	0,50	4,50	1,45	0,950	0,180	0,180	7,821	1,000	9
0	0,500	239,40	166,20	3620	0,130	4,70	12,20	0,74	0,850	0,400	0,330	4,892	1,000	2
0	0,200	111,80	75,50	9140	0,220	2,30	6,00	1,16	0,930	0,180	0,180	7,879	1,000	9
0	0,100	99,00	56,90	3240	0,100	1,00	5,30	1,32	0,940	0,110	0,110	2,455	1,000	9
0	0,500	272,30	178,20	6210	0,060	4,30	13,90	0,70	0,830	0,410	0,340	8,871	1,000	2
0	0,250	168,50	102,20	7730	0,100	1,80	8,50	0,99	0,900	0,240	0,180	7,808	1,000	10
0	0,250	50,80	43,10	6250	0,100	1,80	2,50	1,47	0,970	0,190	0,140	4,252	1,000	10
0	0,100	111,80	77,50	15930	0,250	2,50	6,00	1,15	0,930	0,090	0,090	13,852	1,000	9
0	0,300	74,60	54,90	34870	0,220	2,00	4,00	1,34	0,950	0,250	0,240	26,022	1,000	5-6
0	0,500	287,30	190,20	10550	0,045	4,70	14,60	0,67	0,820	0,400	0,340	15,746	1,000	2
0	0,500	209,50	161,70	7370	0,160	5,80	10,70	0,75	0,870	0,370	0,310	9,827	1,000	2
0	0,200	39,20	29,40	26860	0,170	1,10	2,10	1,65	0,970	0,170	0,170	16,279	1,000	9
0	0,500	209,50	146,70	8640	0,095	4,30	10,70	0,80	0,870	0,400	0,340	10,800	1,000	2
0	0,500	257,40	175,20	6980	0,062	4,70	13,10	0,71	0,840	0,400	0,340	9,831	1,000	2
0	0,200	57,90	57,90	13630	0,260	3,10	3,10	1,31	0,960	0,130	0,130	10,405	1,000	9
0	0,240	100,00	78,90	20520	0,361	2,70	4,90	1,14	0,940	0,190	0,180	18,000	1,000	3
0	0,500	227,40	170,70	6320	0,053	5,80	11,60	0,72	0,860	0,370	0,310	8,778	1,000	2
0	0,230	71,60	53,00	21350	0,320	2,00	3,80	1,36	0,950	0,190	0,200	15,699	1,000	8
0	0,250	148,90	92,40	8160	0,100	1,80	7,50	1,05	0,910	0,240	0,180	7,771	1,000	10
0	0,200	223,60	110,60	4250	0,067	0,40	12,00	0,95	0,860	0,230	0,230	4,474	1,000	9
0	0,500	260,30	212,50	7310	0,400	8,40	13,30	0,62	0,840	0,330	0,280	11,790	1,000	2
0	0,240	118,40	84,00	18510	0,303	2,30	5,80	1,10	0,930	0,200	0,190	16,827	1,000	3
0	0,240	140,90	100,10	13080	0,350	2,70	6,90	1,01	0,920	0,200	0,190	12,950	1,000	3

Sıvılaştırma Var=1, Yok=0	a_{max} (g)	σ_{v0} (kPa)	σ'_{v0} (kPa)	q_{c1} (kPa)	D_{50} (mm)	YASS (m)	z (m)	C_q	r_d	SSSSR	SSSSR _{7.5}	q_c (MPa)	Sabit Terim	Kaynak*
0	0,150	191,00	105,20	710	0,016	1,50	10,30	0,98	0,880	0,160	0,150	0,724	1,000	1
0	0,500	290,30	227,50	12750	0,044	8,40	14,80	0,59	0,820	0,340	0,280	21,610	1,000	2
0	0,200	97,10	73,50	20540	0,140	2,80	5,20	1,18	0,940	0,160	0,170	17,407	1,000	9
0	0,250	129,30	82,60	7260	0,100	1,80	6,50	1,11	0,920	0,230	0,180	6,541	1,000	10
0	0,200	244,20	120,40	5140	0,067	0,40	13,10	0,91	0,840	0,220	0,230	5,648	1,000	9
0	0,250	50,80	43,10	6250	0,100	1,80	2,50	1,47	0,970	0,190	0,140	4,252	1,000	10
0	0,500	272,30	218,50	11760	0,068	8,40	13,90	0,61	0,830	0,340	0,280	19,279	1,000	2
0	0,200	74,50	65,70	13760	0,260	3,10	4,00	1,24	0,950	0,140	0,150	11,097	1,000	9
0	0,500	209,50	161,70	7370	0,160	5,80	10,70	0,75	0,870	0,370	0,310	9,827	1,000	2
0	0,500	260,30	212,50	7310	0,400	8,40	13,30	0,62	0,840	0,330	0,280	11,790	1,000	2
0	0,100	212,80	107,90	6150	0,080	0,70	11,40	0,97	0,860	0,110	0,110	6,340	1,000	9
0	0,500	200,50	146,70	550	0,067	4,70	10,20	0,80	0,880	0,390	0,320	0,688	1,000	2
0	0,100	89,20	66,70	16520	0,250	2,50	4,80	1,23	0,940	0,080	0,080	13,431	1,000	9
0	0,230	94,10	63,70	19000	0,320	2,00	5,00	1,26	0,940	0,210	0,210	15,079	1,000	8
0	0,140	60,40	51,80	3430	0,120	2,10	3,00	1,37	0,960	0,100	0,100	2,504	1,000	4
0	0,200	206,90	106,50	7280	0,067	0,80	11,10	0,97	0,870	0,220	0,230	7,505	1,000	9
0	0,240	69,40	63,00	12340	0,239	2,70	3,40	1,27	0,960	0,160	0,160	9,717	1,000	3
0	0,500	191,50	154,20	15960	0,240	5,90	9,80	0,78	0,880	0,360	0,300	20,462	1,000	2
0	0,240	131,90	117,10	5060	0,244	5,50	7,00	0,92	0,920	0,160	0,150	5,500	1,000	3
0	0,500	287,30	190,20	10550	0,045	4,70	14,60	0,67	0,820	0,400	0,340	15,746	1,000	2
0	0,150	191,00	105,20	710	0,016	1,50	10,30	0,98	0,880	0,160	0,150	0,724	1,000	1
0	0,200	57,90	54,90	14980	0,210	2,80	3,10	1,34	0,960	0,130	0,140	11,179	1,000	9
0	0,160	93,20	49,00	20000	0,300	0,50	5,00	1,40	0,940	0,190	0,190	14,286	1,000	9
0	0,200	61,80	59,80	11580	0,260	3,10	3,30	1,29	0,960	0,130	0,130	8,977	1,000	9
0	0,300	74,60	54,90	34870	0,220	2,00	4,00	1,34	0,950	0,250	0,240	26,022	1,000	5-6
0	0,160	84,30	45,10	11340	0,300	0,50	4,50	1,45	0,950	0,180	0,180	7,821	1,000	9
0	0,100	111,80	77,50	15930	0,250	2,50	6,00	1,15	0,930	0,090	0,090	13,852	1,000	9
0	0,240	140,90	100,10	13080	0,350	2,70	6,90	1,01	0,920	0,200	0,190	12,950	1,000	3
0	0,100	99,00	56,90	3240	0,100	1,00	5,30	1,32	0,940	0,110	0,110	2,455	1,000	9
0	0,500	218,50	155,70	1510	0,059	4,70	11,10	0,77	0,870	0,400	0,330	1,961	1,000	2
0	0,500	290,30	202,10	6000	0,072	5,80	14,80	0,64	0,820	0,380	0,320	9,375	1,000	2
0	0,250	168,50	102,20	7730	0,100	1,80	8,50	0,99	0,900	0,240	0,180	7,808	1,000	10
0	0,500	257,40	175,20	6980	0,062	4,70	13,10	0,71	0,840	0,400	0,340	9,831	1,000	2
0	0,100	158,90	100,00	18700	0,280	2,50	8,50	1,01	0,900	0,090	0,100	18,515	1,000	9
0	0,100	109,80	61,80	20660	0,100	1,00	5,90	1,28	0,930	0,110	0,110	16,141	1,000	9
0	0,250	109,60	72,80	6770	0,100	1,80	5,50	1,19	0,930	0,230	0,170	5,689	1,000	10
0	0,200	61,80	59,80	11580	0,260	3,10	3,30	1,29	0,960	0,130	0,130	8,977	1,000	9
0	0,400	156,90	108,90	14840	0,200	3,50	8,40	0,96	0,900	0,340	0,350	15,458	1,000	9
0	0,250	109,60	72,80	6770	0,100	1,80	5,50	1,19	0,930	0,230	0,170	5,689	1,000	10
0	0,500	218,50	155,70	1510	0,059	4,70	11,10	0,77	0,870	0,400	0,330	1,961	1,000	2
0	0,500	290,30	227,50	12750	0,044	8,40	14,80	0,59	0,820	0,340	0,280	21,610	1,000	2
0	0,240	77,60	67,20	17140	0,275	2,70	3,80	1,23	0,950	0,170	0,160	13,935	1,000	3

* ([1] Arulanandan vd 1986, [2] Bennett 1989, [3] Bennett 1990, [4] Charlie vd 1994, [5] Kayen vd 1992, [6] Mitchell vd 1994, [7] Olson 2001, [8] Stark ve Olson 1995, [9] Shibata ve Teparaksa 1988, [10] Tuttle vd 1990, [11] Youd ve Bennet 1983).

Ek-2 CPT deney verileri içeren test veri seti

<i>Sıvılaştırma</i> <i>Var=1,</i> <i>Yok=0</i>	a_{max} (g)	σ_{v0} (kPa)	σ'_{v0} (kPa)	q_{c1} (kPa)	D_{50} (mm)	<i>YASS</i> (m)	z (m)	C_q	r_d	<i>SSSSR</i>	<i>SSSR</i> _{7.5}	q_c (MPa)	<i>Kaynak*</i>
1	0,220	130,40	71,60	1550	0,200	1,00	7,00	1,19	0,920	0,240	0,230	1,303	9
1	0,200	31,40	13,90	3770	0,070	0,20	2,00	1,92	0,980	0,290	0,250	1,964	11
1	0,270	65,20	50,50	7350	0,220	2,00	3,50	1,39	0,960	0,220	0,200	5,288	5-6
1	0,250	90,00	63,00	3490	0,100	1,80	4,50	1,27	0,950	0,220	0,160	2,748	10
1	0,400	16,70	16,70	2750	0,170	0,90	0,90	1,87	0,990	0,260	0,270	1,471	9
1	0,500	125,70	119,70	2850	0,052	5,80	6,40	0,91	0,920	0,320	0,260	3,132	2
1	0,270	65,20	50,50	7350	0,220	2,00	3,50	1,39	0,960	0,220	0,200	5,288	5-6
1	0,500	164,00	138,90	570	0,045	5,80	8,40	0,83	0,900	0,350	0,290	0,687	2
1	0,140	44,10	39,50	2270	0,100	1,70	2,20	1,51	0,970	0,100	0,090	1,503	4
1	0,240	115,00	83,60	830	0,160	2,90	6,10	1,11	0,930	0,200	0,190	0,748	3
1	0,200	78,50	31,60	7940	0,150	0,20	5,00	1,62	0,940	0,300	0,260	4,901	11
1	0,290	154,50	100,60	9000	0,260	2,00	7,00	1,00	0,910	0,260	0,250	9,000	5-6
1	0,150	139,80	80,90	1350	0,035	1,50	7,50	1,13	0,910	0,150	0,150	1,195	1
1	0,500	128,70	110,80	2800	0,038	4,70	6,60	0,95	0,920	0,350	0,290	2,947	2
1	0,160	89,20	61,80	6820	0,330	2,00	4,80	1,28	0,940	0,140	0,140	5,328	9
1	0,160	85,30	51,00	2170	0,330	1,10	4,60	1,38	0,940	0,160	0,160	1,572	9
1	0,500	89,80	86,80	750	0,042	4,30	4,60	1,09	0,950	0,320	0,260	0,688	2
1	0,200	72,60	62,80	3170	0,170	2,90	3,90	1,27	0,950	0,140	0,150	2,496	9
1	0,140	45,60	36,40	2020	0,100	1,40	2,30	1,55	0,970	0,110	0,100	1,303	4
1	0,160	85,30	51,00	2170	0,330	1,10	4,60	1,38	0,940	0,160	0,160	1,572	9
1	0,500	89,80	86,80	750	0,042	4,30	4,60	1,09	0,950	0,320	0,260	0,688	2
0	0,100	205,00	103,90	14980	0,080	0,70	11,00	0,99	0,870	0,110	0,120	15,131	9
0	0,500	200,50	146,70	550	0,067	4,70	10,20	0,80	0,880	0,390	0,320	0,688	2
0	0,140	60,40	51,80	3430	0,120	2,10	3,00	1,37	0,960	0,100	0,100	2,504	4
0	0,600	62,80	44,50	28910	0,110	2,10	4,00	1,45	0,950	0,520	0,460	19,938	11
0	0,200	206,90	106,50	7280	0,067	0,80	11,10	0,97	0,870	0,220	0,230	7,505	9
0	0,200	31,40	25,50	21920	0,170	1,10	1,70	1,71	0,980	0,160	0,160	12,819	9
0	0,140	60,40	51,80	3430	0,120	2,10	3,00	1,37	0,960	0,100	0,100	2,504	4
0	0,500	272,30	178,20	6210	0,060	4,30	13,90	0,70	0,830	0,410	0,340	8,871	2
0	0,240	118,40	84,00	18510	0,303	2,30	5,80	1,10	0,930	0,200	0,190	16,827	3
0	0,240	69,40	63,00	12340	0,239	2,70	3,40	1,27	0,960	0,160	0,160	9,717	3
0	0,240	118,40	84,00	18510	0,303	2,30	5,80	1,10	0,930	0,200	0,190	16,827	3
0	0,100	212,80	107,90	6150	0,080	0,70	11,40	0,97	0,860	0,110	0,110	6,340	9
0	0,500	191,50	154,20	15960	0,240	5,90	9,80	0,78	0,880	0,360	0,300	20,462	2
0	0,200	31,40	25,50	21920	0,170	1,10	1,70	1,71	0,980	0,160	0,160	12,819	9
0	0,250	129,30	82,60	7260	0,100	1,80	6,50	1,11	0,920	0,230	0,180	6,541	10
0	0,500	272,30	218,50	11760	0,068	8,40	13,90	0,61	0,830	0,340	0,280	19,279	2
0	0,240	118,40	88,50	20440	0,253	2,70	5,80	1,08	0,930	0,190	0,190	18,926	3
0	0,500	239,40	166,20	3620	0,130	4,70	12,20	0,74	0,850	0,400	0,330	4,892	2
0	0,500	296,30	190,20	4610	0,082	4,30	15,10	0,67	0,820	0,410	0,350	6,881	2
0	0,240	131,90	117,10	5060	0,244	5,50	7,00	0,92	0,920	0,160	0,150	5,500	3
0	0,230	56,90	47,10	13960	0,320	2,00	3,10	1,42	0,960	0,170	0,180	9,831	8

* ([1] Arulanandan vd 1986, [2] Bennett 1989, [3] Bennett 1990, [4] Charlie vd 1994, [5] Kayen vd 1992, [6] Mitchell vd 1994, [7] Olson 2001, [8] Stark ve Olson 1995, [9] Shibata ve Teparaksa 1988, [10] Tuttle vd 1990, [11] Youd ve Bennet 1983)

Ek-3 SPT deney verileri içeren eğitim veri seti

<i>Sıvılaşma</i> <i>Var=1</i> <i>Yok=0</i>	<i>SPT-N</i>	σ_{vo} (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	<i>YASS</i> (m)	<i>z</i> (m)	a_{max} (g)	M_w	<i>İTO</i> (%)	D_{50} (mm)	$\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}$	$\frac{YASS}{z}$	<i>Sabit</i> <i>Terim</i>	<i>Kaynak*</i>
1	8	116.00	91.50	3.80	6.30	0.51	6.70	30.00	0.37	1.268	0.603	1	2
1	4	76.00	50.00	1.40	4.00	0.20	7.40	12.00	0.15	1.520	0.350	1	1
1	8	122.20	99.60	4.10	6.40	0.38	6.90	18.00	0.16	1.227	0.641	1	2
1	17	152.00	82.00	1.00	8.00	0.20	7.90	1.00	0.28	1.854	0.125	1	1
1	8	91.00	61.00	2.00	5.00	0.20	8.00	10.00	0.40	1.492	0.400	1	1
1	10	114.00	54.00	0.10	6.00	0.16	8.30	10.00	0.20	2.111	0.100	1	1
1	5	70.80	55.10	2.10	3.70	0.21	6.90	26.00	0.13	1.285	0.568	1	2
1	7	63.10	44.50	1.50	3.40	0.22	6.50	3.00	0.16	1.418	0.441	1	2
1	7	70.70	48.10	1.50	3.80	0.51	6.50	18.00	0.11	1.470	0.395	1	2
1	5	63.00	35.00	0.50	3.30	0.32	7.40	5.00	0.70	1.800	0.152	1	1
1	8	76.00	48.00	1.20	4.00	0.40	7.30	0.00	0.45	1.583	0.300	1	1
1	17	145.10	117.70	4.80	7.60	0.36	6.90	5.00	0.25	1.233	0.632	1	2
1	11	111.00	87.40	3.40	5.80	0.22	6.90	3.00	0.24	1.270	0.586	1	2
1	12	95.00	65.00	1.00	5.00	0.20	7.90	5.00	0.30	1.462	0.200	1	1
1	7	82.80	59.20	1.90	4.30	0.22	6.90	11.00	0.21	1.399	0.442	1	2
1	10	121.00	68.00	1.00	6.30	0.20	7.40	0.00	0.60	1.779	0.159	1	1
1	9	98.10	94.20	4.80	5.20	0.36	6.90	16.00	0.14	1.041	0.923	1	2
1	9	110.00	88.00	3.00	6.00	0.45	6.60	20.00	0.10	1.250	0.500	1	1
1	9	113.70	102.90	4.90	6.00	0.36	6.90	17.00	0.14	1.105	0.817	1	2
1	5	66.00	40.50	0.80	3.40	0.22	6.90	29.00	0.10	1.630	0.235	1	2
1	6	76.00	42.00	0.60	4.00	0.23	7.90	5.00	0.25	1.810	0.150	1	1
1	11	61.00	58.00	3.00	3.30	0.28	7.40	5.00	0.53	1.052	0.909	1	1
1	9	116.10	99.40	4.70	6.40	0.51	6.70	43.00	0.10	1.168	0.734	1	2
1	10	125.00	95.00	4.00	7.00	0.20	7.90	10.00	0.25	1.316	0.571	1	1
1	8	143.00	118.50	5.00	7.50	0.34	6.90	18.00	0.19	1.207	0.667	1	2
1	8	140.70	98.50	3.00	7.30	0.21	6.90	5.00	0.41	1.428	0.411	1	2
1	8	140.60	108.20	4.30	7.60	0.51	6.70	39.00	0.18	1.299	0.566	1	2
1	5	111.30	83.80	3.00	5.80	0.21	6.90	2.00	0.37	1.328	0.517	1	2
1	4	74.00	52.00	1.80	4.00	0.60	6.60	25.00	0.12	1.423	0.450	1	1
1	2	65.20	49.60	1.80	3.40	0.22	6.90	36.00	0.09	1.315	0.529	1	2
1	5	63.00	35.00	0.50	3.30	0.12	6.70	5.00	0.70	1.800	0.152	1	1
1	8	133.00	73.00	1.00	7.00	0.16	7.50	2.00	0.30	1.822	0.143	1	1
1	6	86.00	47.00	0.60	4.50	0.16	7.50	0.00	0.40	1.830	0.133	1	1
1	3	88.20	66.70	2.40	4.60	0.26	6.90	7.00	0.47	1.322	0.522	1	2
1	9	124.00	101.50	4.20	6.50	0.36	6.90	21.00	0.11	1.222	0.646	1	2
1	14	51.70	40.00	1.50	2.70	0.47	6.90	15.00	0.67	1.293	0.556	1	2
1	4	82.00	39.00	0.00	4.30	0.16	7.50	10.00	0.40	2.103	0.000	1	1
1	10	190.00	100.00	1.00	10.00	0.16	7.50	2.00	0.30	1.900	0.100	1	1
1	7	63.00	42.00	1.30	3.30	0.32	7.40	4.00	0.28	1.500	0.394	1	1
1	5	82.40	63.70	2.40	4.30	0.26	6.90	21.00	0.21	1.294	0.558	1	2
1	11	90.60	86.60	4.40	4.80	0.33	6.90	6.00	0.17	1.046	0.917	1	2
1	11	115.60	103.90	4.90	6.10	0.38	6.90	9.00	0.20	1.113	0.803	1	2
1	7	94.30	90.40	4.60	5.00	0.13	6.90	22.00	0.14	1.043	0.920	1	2
1	17	114.00	73.00	1.90	6.00	0.28	7.90	3.00	0.80	1.562	0.317	1	1
1	19	126.00	93.00	3.70	7.00	0.35	7.30	4.00	0.65	1.355	0.529	1	1
1	8	82.00	42.00	0.30	4.30	0.24	7.40	12.00	1.20	1.952	0.070	1	1
1	6	60.00	49.00	2.40	3.00	0.19	5.50	3.00	0.20	1.224	0.800	1	1
1	26	167.70	155.90	8.20	9.50	0.84	6.70	13.00	0.82	1.076	0.863	1	2
1	1	49.50	40.70	1.80	2.70	0.50	6.50	23.00	0.11	1.216	0.667	1	2
1	3	111.00	87.40	3.40	5.80	0.21	6.90	7.00	0.35	1.270	0.586	1	2

<i>Sıvılaşıma</i> <i>Var=1</i> <i>Yok=0</i>	<i>SPT-N</i>	σ_{vo} (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	<i>YASS</i> (m)	<i>z</i> (m)	a_{max} (g)	M_w	<i>İTO</i> (%)	D_{50} (mm)	$\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}$	<i>YASS</i> $\frac{z}{z}$	<i>Sabit</i> <i>Terim</i>	<i>Kaynak*</i>
1	13	144.50	124.90	5.60	7.60	0.40	6.90	12.00	0.16	1.157	0.737	1	2
1	12	114.00	79.00	2.50	6.00	0.24	7.40	3.00	0.35	1.443	0.417	1	1
1	13	63.00	42.00	1.30	3.30	0.24	7.40	10.00	1.60	1.500	0.394	1	1
1	6	76.00	61.00	2.50	4.00	0.24	7.40	10.00	0.25	1.246	0.625	1	1
1	12	118.00	92.50	3.80	6.40	0.51	6.70	43.00	0.10	1.276	0.594	1	2
1	20	190.00	98.00	0.80	10.00	0.32	7.90	0.00	0.46	1.939	0.080	1	1
1	7	95.00	47.00	0.20	5.00	0.20	6.60	34.00	0.09	2.021	0.040	1	1
1	10	133.00	83.00	2.00	7.00	0.32	7.90	5.00	0.28	1.602	0.286	1	1
1	6	65.00	52.20	2.10	3.40	0.22	6.90	10.00	0.18	1.245	0.618	1	2
1	9	45.60	39.70	1.80	2.40	0.21	6.90	4.00	0.28	1.149	0.750	1	2
0	12	118.00	92.50	3.80	6.40	0.25	6.60	43.00	0.10	1.276	0.594	1	2
0	20	99.00	68.00	2.20	5.30	0.24	7.40	0.00	0.60	1.456	0.415	1	1
0	10	64.50	57.60	2.70	3.40	0.22	6.90	12.00	0.16	1.120	0.794	1	2
0	11	74.00	52.00	1.80	4.00	0.60	6.60	19.00	0.10	1.423	0.450	1	1
0	10	114.00	79.00	2.50	6.00	0.24	7.40	10.00	0.30	1.443	0.417	1	1
0	9	95.00	70.00	2.50	5.00	0.14	6.70	20.00	0.15	1.357	0.500	1	1
0	13	74.20	52.60	1.80	4.00	0.10	6.60	24.00	0.09	1.411	0.450	1	2
0	13	63.00	42.00	1.30	3.30	0.12	6.70	10.00	1.60	1.500	0.394	1	1
0	11	41.70	38.80	2.00	2.30	0.15	6.60	18.00	0.10	1.075	0.870	1	2
0	4	94.70	63.30	1.70	4.90	0.13	6.90	15.00	0.21	1.496	0.347	1	2
0	12	187.70	145.50	5.50	9.80	0.17	6.90	7.00	0.18	1.290	0.561	1	2
0	8	116.00	91.50	3.80	6.30	0.25	6.60	30.00	0.37	1.268	0.603	1	2
0	11	162.90	124.70	4.60	8.50	0.36	6.90	47.00	0.09	1.306	0.541	1	2
0	6	92.70	85.80	4.20	4.90	0.13	6.90	41.00	0.08	1.080	0.857	1	2
0	12	95.00	70.00	2.50	6.00	0.16	7.50	0.00	0.36	1.357	0.417	1	1
0	12	114.00	79.00	2.50	6.00	0.14	6.70	3.00	0.35	1.443	0.417	1	1
0	23	112.00	82.00	3.00	6.00	0.28	7.40	0.00	0.41	1.366	0.500	1	1
0	3	75.60	70.70	3.50	4.00	0.17	6.90	40.00	0.10	1.069	0.875	1	2
0	8	102.00	52.00	0.90	6.00	0.40	7.30	21.00	0.10	1.962	0.150	1	1
0	8	111.00	72.00	2.40	6.30	0.14	6.70	4.00	0.36	1.542	0.381	1	1
0	32	151.30	94.40	2.00	7.80	0.22	6.90	8.00	0.26	1.603	0.256	1	2
0	20	131.00	65.00	0.90	7.50	0.40	7.30	0.00	0.45	2.015	0.120	1	1
0	15	73.30	60.60	2.70	4.00	0.14	6.50	13.00	0.11	1.210	0.675	1	2
0	25	120.50	118.50	6.20	6.40	0.40	6.90	15.00	0.21	1.017	0.969	1	2
0	16	76.00	46.00	1.00	4.00	0.23	7.90	5.00	0.25	1.652	0.250	1	1
0	8	158.80	101.90	2.40	8.20	0.17	6.90	7.00	0.30	1.558	0.293	1	2
0	29	49.50	40.70	1.80	2.70	0.50	6.50	13.00	0.11	1.216	0.667	1	2
0	22	94.80	61.50	1.50	4.90	0.22	6.90	3.00	0.39	1.541	0.306	1	2
0	10	121.00	68.00	1.00	6.30	0.10	6.70	0.00	0.60	1.779	0.159	1	1
0	12	146.60	101.40	3.00	7.60	0.36	6.90	20.00	0.15	1.446	0.395	1	2
0	29	49.50	40.70	1.80	2.70	0.10	6.60	13.00	0.11	1.216	0.667	1	2
0	19	63.00	39.00	0.90	3.30	0.32	7.40	4.00	0.28	1.615	0.273	1	1
0	7	68.00	36.00	0.80	4.00	0.35	7.30	35.00	0.13	1.889	0.200	1	1
0	6	95.00	75.00	3.00	5.00	0.20	7.90	20.00	0.20	1.267	0.600	1	1
0	29	144.00	72.00	0.80	8.00	0.35	7.30	2.00	0.80	2.000	0.100	1	1
0	13	74.20	52.60	1.80	4.00	0.50	6.50	24.00	0.09	1.411	0.450	1	2
0	7	120.30	120.30	6.40	6.40	0.11	6.90	13.00	0.23	1.000	1.000	1	2
0	27	114.00	67.00	1.30	6.00	0.16	7.50	0.00	0.30	1.701	0.217	1	1
0	19	70.40	59.70	2.60	3.70	0.22	6.90	19.00	0.15	1.179	0.703	1	2
0	22	71.60	49.90	1.50	3.70	0.28	6.90	3.00	0.48	1.435	0.405	1	2
0	15	114.00	68.00	1.40	6.00	0.20	7.40	10.00	0.18	1.676	0.233	1	1

Sıvılaşma Var=1 Yok=0	SPT-N	σ_{vo} (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	YASS (m)	z (m)	a_{max} (g)	M_w	İTO (%)	D_{50} (mm)	$\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}$	YASS z	Sabit Terim	Kaynak*
0	5	90.40	68.80	2.70	4.90	0.14	6.50	13.00	0.11	1.314	0.551	1	2
0	7	63.00	42.00	1.30	3.30	0.12	6.70	4.00	0.28	1.500	0.394	1	1
0	21	133.00	88.00	2.50	7.00	0.24	7.40	5.00	0.35	1.511	0.357	1	1
0	26	167.70	155.90	8.20	9.50	0.45	6.60	13.00	0.82	1.076	0.863	1	2
0	1	60.90	46.20	1.80	3.30	0.10	6.60	14.00	0.12	1.318	0.545	1	2
0	11	82.00	48.00	0.90	4.30	0.12	6.70	0.00	0.40	1.708	0.209	1	1
0	12	133.00	73.00	1.00	7.00	0.16	7.50	2.00	0.30	1.822	0.143	1	1
0	17	139.00	79.00	1.30	7.30	0.24	7.40	17.00	0.35	1.759	0.178	1	1
0	4	76.00	50.00	1.40	4.00	0.12	6.70	13.00	0.15	1.520	0.350	1	1
0	9	105.00	85.00	4.30	6.30	0.14	6.70	5.00	0.34	1.235	0.683	1	1
0	17	127.00	93.00	3.60	7.00	0.24	7.40	12.00	0.30	1.366	0.514	1	1
0	20	188.00	108.00	2.00	10.00	0.16	7.50	2.00	0.30	1.741	0.200	1	1
0	7	120.30	120.30	6.40	6.40	0.11	6.90	7.00	0.24	1.000	1.000	1	2
0	4	82.00	56.00	1.70	4.30	0.12	6.70	10.00	0.40	1.464	0.395	1	1
0	7	63.10	44.50	1.50	3.40	0.15	6.60	3.00	0.16	1.418	0.441	1	2
0	6	51.00	48.10	2.40	2.70	0.26	6.90	11.00	0.15	1.060	0.889	1	2
0	15	73.30	60.60	2.70	4.00	0.21	6.60	13.00	0.11	1.210	0.675	1	2
0	9	82.00	42.00	0.30	4.30	0.12	6.70	12.00	1.20	1.952	0.070	1	1
0	31	74.00	52.00	1.80	4.00	0.60	6.60	13.00	0.12	1.423	0.450	1	1

* (Japonya ve Amerika'da meydana gelen depremlerden 1971 San Fernando (M=6,6), 1979 Imperial Valley (M=6,5), 1987 Superstition Hills (M=6,6), 1989 Loma Prieta (M=6,9), 1994 Northridge (M=6,7), Mino (M=7,9), Kanto (M=7,9), Tohnank (M=8), Fukui (M=7,3), Niigata (M=7,5), Tokach (M=7,9), Miyaki (6,7), Miyaki (7,4), San F. (M=5,5), Alaska (M=8,3) araştırmacıların derlediği [1] Saka 1998 ve [2] Toprak vd 1999 verileridir).

Ek-4 SPT deney verileri içeren test veri seti

Sıvılaşma Var=1 Yok=0	SPT-N	σ_{vo} (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	YASS (m)	z (m)	a_{max} (g)	M_w	İTO (%)	D_{50} (mm)	$\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}$	YASS z	Kaynak*
1	4	82.00	56.00	1.70	4.30	0.24	7.40	10.00	0.40	0.395	4.00	1
1	5	28.20	28.20	1.50	1.50	0.28	6.90	46.00	0.08	1.000	5.00	2
1	8	111.00	72.00	2.40	6.30	0.24	7.40	4.00	0.36	0.381	8.00	1
1	1	60.90	46.20	1.80	3.30	0.50	6.50	14.00	0.12	0.545	1.00	2
1	6	109.10	108.10	5.70	5.80	0.36	6.90	41.00	0.09	0.983	6.00	2
1	5	76.00	46.00	1.00	4.00	0.20	7.90	20.00	0.12	0.250	5.00	1
1	5	63.40	41.80	1.20	3.40	0.21	6.60	17.00	0.10	0.353	5.00	2
1	7	121.20	110.40	5.30	6.40	0.33	6.90	13.00	0.17	0.828	7.00	2
1	13	95.00	69.00	2.40	5.00	0.28	7.90	4.00	0.60	0.480	13.00	1
1	11	82.00	48.00	0.90	4.30	0.24	7.40	0.00	0.40	0.209	11.00	1
1	7	118.70	92.20	3.50	6.20	0.38	6.90	15.00	0.18	0.565	7.00	2
1	9	105.00	85.00	4.30	6.30	0.24	7.40	5.00	0.34	0.683	9.00	1
1	10	133.00	83.00	2.00	7.00	0.16	8.00	5.00	0.28	0.286	10.00	1
1	9	95.00	70.00	2.50	5.00	0.24	7.40	20.00	0.15	0.500	9.00	1
0	11	61.00	58.00	3.00	3.30	0.14	6.70	5.00	0.53	0.909	11.00	1
0	28	114.00	74.00	2.00	6.00	0.23	7.90	5.00	0.25	0.333	28.00	1
0	14	105.00	85.40	3.50	5.50	0.38	6.90	7.00	0.27	0.636	14.00	2
0	1	49.50	40.70	1.80	2.70	0.10	6.60	23.00	0.11	0.667	1.00	2
0	7	70.70	48.10	1.50	3.80	0.20	6.60	18.00	0.11	0.395	7.00	2
0	6	76.00	61.00	2.50	4.00	0.14	6.70	10.00	0.25	0.625	6.00	1
0	9	116.10	99.40	4.70	6.40	0.25	6.60	43.00	0.10	0.734	9.00	2
0	17	146.80	98.70	2.70	7.60	0.17	6.90	28.00	0.12	0.355	17.00	2
0	9	132.10	90.40	2.70	7.00	0.16	6.90	4.00	0.30	0.386	9.00	2
0	9	64.60	55.80	2.50	3.40	0.22	6.90	13.00	0.11	0.735	9.00	2
0	8	140.60	108.20	4.30	7.60	0.25	6.60	39.00	0.18	0.566	8.00	2
0	15	109.00	73.00	2.40	6.00	0.24	7.40	11.00	0.30	0.400	15.00	1
0	18	131.00	81.00	2.00	7.00	0.16	7.50	2.00	0.30	0.286	18.00	1
0	1	41.70	38.80	2.00	2.30	0.22	6.50	18.00	0.10	0.870	1.00	2
0	16	190.00	100.00	1.00	10.00	0.16	7.50	2.00	0.30	0.100	16.00	1
0	28	102.70	99.70	5.50	5.80	0.16	6.90	6.00	0.27	0.948	28.00	2
0	4	69.10	51.50	1.80	3.70	0.13	6.90	13.00	0.16	0.486	4.00	2
0	10	85.00	65.00	2.50	4.50	0.24	7.40	26.00	0.12	0.556	10.00	1
0	5	90.40	68.80	2.70	4.90	0.21	6.60	13.00	0.11	0.551	5.00	2
0	3	71.10	52.40	1.80	3.70	0.26	6.90	29.00	0.12	0.486	3.00	2

* (Japonya ve Amerika'da meydana gelen depremlerden 1971 San Fernando (M=6,6), 1979 Imperial Valley (M=6,5), 1987 Superstition Hills (M=6,6), 1989 Loma Prieta (M=6,9), 1994 Northridge (M=6,7), Mino (M=7,9), Kanto (M=7,9), Tohank (M=8), Fukui (M=7,3), Niigata (M=7,5), Tokach (M=7,9), Miyaki (6,7), Miyaki (7,4), San F. (M=5,5), Alaska (M=8,3) araştırmacıların derlediği [1] Saka 1998 ve [2] Toprak vd 1999 verileridir).

Ek-5 Geliştirilen programın kaynak kodu

Form 1

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
namespace galiq
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public MersenneTwister randGen;
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            randGen = new MersenneTwister();
        }
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            ga MyGAclass;
            MyGAclass = new ga();
            MyGAclass.PopulasyonBuyuklugu= Convert.ToInt32(textBox_populasyon_buyuklugu.Text);
            MyGAclass.MutasyonOlasiligi= Convert.ToDouble(textBox_mutasyon_olasiligi.Text);
            MyGAclass.MaksimumNesilSayisi= Convert.ToInt32(textBox_max_nesil_sayisi.Text);
            MyGAclass.ImhaElitOrani= Convert.ToDouble(textBox_imha_elit_orani.Text);
            MyGAclass.NesillerArasiElitOrani= Convert.ToDouble(textBox_elit_orani.Text);
            MyGAclass.MaxKitleImha=Convert.ToInt32(textBoxmax_kitle_imha.Text);
            MyGAclass.CaprazlamaOlasiligi = Convert.ToDouble(textBox_caprazlama_olasilik.Text);
            String s;
            s=MyGAclass.Hesapla();
            MessageBox.Show(s);
        }
        private void label5_Click(object sender, EventArgs e)
        {
        }
    }
}

```

Mersenne

```

/*
A C-program for MT19937, with initialization improved 2002/1/26.
Coded by Takuji Nishimura and Makoto Matsumoto.
Before using, initialize the state by using init_genrand(seed)
or init_by_array(init_key, key_length).
Copyright (C) 1997 - 2002, Makoto Matsumoto and Takuji Nishimura,
All rights reserved.
*/

```

```

using System;
namespace galiq
{
    public class MersenneTwister
    {
        #region Constants -----
        private const int N = 624;
        private const int M = 397;
        private const uint MATRIX_A = 0x9908b0dfU; // constant vector a
        private const uint UPPER_MASK = 0x80000000U; // most significant w-r bits
        private const uint LOWER_MASK = 0x7fffffffU; // least significant r bits
        private const int MAX RAND_INT = 0x7fffffff;
        #endregion Constants
    }
}

```

```

#region Instance Variables -----
private uint[] mag01 = { 0x0U, MATRIX_A };
private uint[] mt = new uint[N];
private int mti = N + 1;
#endregion Instance Variables
#region Constructors -----
public MersenneTwister()
{
    init_genrand((uint)DateTime.Now.Millisecond);
}

public MersenneTwister(int seed)
{
    init_genrand((uint)seed);
}

public MersenneTwister(int[] init)
{
    uint[] initArray = new uint[init.Length];
    for (int i = 0; i < init.Length; ++i)
        initArray[i] = (uint)init[i];
    init_by_array(initArray, (uint)initArray.Length);
}
#endregion Constructors
#region Properties -----
public static int MaxRandomInt
{
    get
    {
        return 0x7fffffff;
    }
}
#endregion Properties
#region Member Functions -----
public int Next()
{
    return genrand_int31();
}

public int Next(int maxValue)
{
    return Next(0, maxValue);
}

public int Next(int minValue, int maxValue)
{
    if (minValue > maxValue)
    {
        int tmp = maxValue;
        maxValue = minValue;
        minValue = tmp;
    }
    return (int)(Math.Floor((maxValue - minValue + 1) * genrand_real1() + minValue));
}

public float NextFloat()
{
    return (float)genrand_real2();
}

public float NextFloat(bool includeOne)
{
    if (includeOne)
    {
        return (float)genrand_real1();
    }
    return (float)genrand_real2();
}

public float NextFloatPositive()
{
    return (float)genrand_real3();
}

```

```

public double NextDouble()
{
    return genrand_real2();
}
public double NextDouble(bool includeOne)
{
    if (includeOne)
    {
        return genrand_real1();
    }
    return genrand_real2();
}
public double NextDoublePositive()
{
    return genrand_real3();
}
public double Next53BitRes()
{
    return genrand_res53();
}
public void Initialize()
{
    init_genrand((uint)DateTime.Now.Millisecond);
}
public void Initialize(int seed)
{
    init_genrand((uint)seed);
}
public void Initialize(int[] init)
{
    uint[] initArray = new uint[init.Length];
    for (int i = 0; i < init.Length; ++i)
        initArray[i] = (uint)init[i];
    init_by_array(initArray, (uint)initArray.Length);
}
#region Methods ported from C -----
private void init_genrand(uint s)
{
    mt[0] = s & 0xffffffffU;
    for (mti = 1; mti < N; mti++)
    {
        mt[mti] =
            (uint)(1812433253U * (mt[mti - 1] ^ (mt[mti - 1] >> 30)) + mti);
        mt[mti] &= 0xffffffffU;
    }
}
private void init_by_array(uint[] init_key, uint key_length)
{
    int i, j, k;
    init_genrand(19650218U);
    i = 1; j = 0;
    k = (int)(N > key_length ? N : key_length);
    for (; k > 0; k--)
    {
        mt[i] = (uint)((uint)(mt[i] ^ ((mt[i - 1] ^ (mt[i - 1] >> 30)) * 1664525U)) + init_key[j] + j); /* non linear
*/
        mt[i] &= 0xffffffffU; // for WORDSIZE > 32 machines
        i++; j++;
        if (i >= N) { mt[0] = mt[N - 1]; i = 1; }
        if (j >= key_length) j = 0;
    }
    for (k = N - 1; k > 0; k--)
    {
        mt[i] = (uint)((uint)(mt[i] ^ ((mt[i - 1] ^ (mt[i - 1] >> 30)) * 1566083941U)) - i); /* non linear */
        mt[i] &= 0xffffffffU; // for WORDSIZE > 32 machines
        i++;
        if (i >= N) { mt[0] = mt[N - 1]; i = 1; }
    }
}

```

```

    }
    mt[0] = 0x80000000U; //MSB is 1; assuring non-zero initial array
}
uint genrand_int32()
{
    uint y;
    if (mti >= N)
    { /* generate N words at one time */
        int kk;
        if (mti == N + 1) /* if init_genrand() has not been called, */
            init_genrand(5489U); /* a default initial seed is used */
        for (kk = 0; kk < N - M; kk++)
        {
            y = (mt[kk] & UPPER_MASK) | (mt[kk + 1] & LOWER_MASK);
            mt[kk] = mt[kk + M] ^ (y >> 1) ^ mag01[y & 0x1U];
        }
        for (; kk < N - 1; kk++)
        {
            y = (mt[kk] & UPPER_MASK) | (mt[kk + 1] & LOWER_MASK);
            mt[kk] = mt[kk + (M - N)] ^ (y >> 1) ^ mag01[y & 0x1U];
        }
        y = (mt[N - 1] & UPPER_MASK) | (mt[0] & LOWER_MASK);
        mt[N - 1] = mt[M - 1] ^ (y >> 1) ^ mag01[y & 0x1U];
        mti = 0;
    }
    y = mt[mti++];
    y ^= (y >> 11);
    y ^= (y << 7) & 0x9d2c5680U;
    y ^= (y << 15) & 0xefc60000U;
    y ^= (y >> 18);
    return y;
}
private int genrand_int31()
{
    return (int)(genrand_int32() >> 1);
}
double genrand_real1()
{
    return genrand_int32() * (1.0 / 4294967295.0);
}
double genrand_real2()
{
    return genrand_int32() * (1.0 / 4294967296.0);
}
double genrand_real3()
{
    return (((double)genrand_int32()) + 0.5) * (1.0 / 4294967296.0);
}
double genrand_res53()
{
    uint a = genrand_int32() >> 5, b = genrand_int32() >> 6;
    return (a * 67108864.0 + b) * (1.0 / 9007199254740992.0);
}
#endregion Methods ported from C
#endregion Member Functions
}
}

```

Program

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Windows.Forms;
namespace galiq
{
    static class Program
    {

```

```

[STAThread]

static void Main()
{
    Application.EnableVisualStyles();
    Application.SetCompatibleTextRenderingDefault(false);
    Application.Run(new Form1());
}
}
}

```

Veritabani

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
namespace galiq
{
    class Veritabani
    {
        public double[,] veriler;
        public Veritabani(int rows, int cols)
        {
            veriler = new double[rows, cols];
        }
        public void SetVeri(int rows, int cols, string veristringi)
        {
            veriler[rows,cols]=Convert.ToDouble(veristringi);
        }
        public double GetVeri(int rows, int cols)
        {
            return veriler[rows, cols];
        }
    }
}
}

```

Class1

```

using System;
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using Microsoft.Office.Interop.Excel;
namespace galiq
{
    class birey
    {
        public Microsoft.Office.Interop.Excel.Application ExcelUygulamasi;
        bool[] bit;
        public int BitSayisi;
        public double UygunlukFonkDegeri;
        public double uygunlukpayi;
        public double CumUygunlukPayi;
        public double NormUygunlukFonkDegeri;
        public bool olecekmiyim;
        public Veritabani ExcelVerileri;
        string text;
        public ArrayList degiskenler;
        public MersenneTwister mersenneGenerator;
        public birey()
        {
            olecekmiyim = true;
        }
        public void oldur() { }
        public void Init(int bitsayisi, ArrayList degiskenarrayi, MersenneTwister mersennerandomGenerator,
Veritabani veriler)
        {

```

```

degiskenler = degiskenarrayi;
ExcelVerileri = veriler;
mersenneGenerator = mersennerandomGenerator;
int toplambitsayisi = 0;
for (int dgsk = 0; dgsk < degiskenler.Count; dgsk++)
{
    degisken degiskeneleman;
    degiskeneleman = (degisken) degiskenler[dgsk];
    degiskeneleman.BaslangicBitNo=toplambitsayisi;
    toplambitsayisi += degiskeneleman.KacBit;
}
bitsayisi = toplambitsayisi;
bit= new bool[toplambitsayisi];
IlkBireyiOlustur();
BitSayisi = bitsayisi;
olecekmiyim = true;
}
public bool GetBit(int bitno)
{
    return bit[bitno];
}
public void SetBit(int bitno, bool setwhat)
{
    bit[bitno]=setwhat;
}
public void IlkBireyiOlustur()
{
    for (int i=0; i<BitSayisi; i++)
    {
        bool deger=false;
        if (mersenneGenerator.Next(1) == 1) deger = true;
        SetBit(i,deger);
    }
}
double OnlukDeger(int baslangicbit, int Kacbit, double hassaslik,double xmin)
{
    double Us=Kacbit-1;
    double toplam=0;
    for (int i=baslangicbit; i<(baslangicbit+Kacbit);i++)
    {
        toplam+=Convert.ToDouble(GetBit(i))*Math.Pow(2,Us--);
    }
    double a=xmin+toplam*hassaslik;
    return a;
}
String TextAl()
{
    String s=" ";
    for (int i=0; i<BitSayisi; i++)
    {
        int d=Convert.ToInt32(GetBit(i));
        String tmp=s;
        s = tmp + d.ToString();
    }
    text=s+" "+UygunlukFonkDegeri.ToString();
    return text;
}
public void FonksiyonDegeriHesapla()
{
    UygunlukFonkDegeri = ExcelCurveFit();
}
double ExcelCurveFit()
{
    double toplamhata=0;
    for (int i=0;i<200;i++)
    {
        double t1 = V(i, (int)x(20)); t1 = Math.Pow(t1, x(2)); t1 = fonk((int)x(32), t1);
    }
}

```

```

double t2 = V(i, (int)x(21)); t2 = Math.Pow(t2, x(4)); t2 = fonk((int)x(33), t2);
double t3 = V(i, (int)x(22)); t3 = Math.Pow(t3, x(6)); t3 = fonk((int)x(34), t3);
double t4 = V(i, (int)x(23)); t4 = Math.Pow(t4, x(8)); t4 = fonk((int)x(35), t4);
double t5 = V(i, (int)x(24)); t5 = Math.Pow(t5, x(9)); t5 = fonk((int)x(36), t5);
double t6 = V(i, (int)x(25)); t6 = Math.Pow(t6, x(11)); t6 = fonk((int)x(37), t6);
double t7 = V(i, (int)x(26)); t7 = Math.Pow(t7, x(12)); t7 = fonk((int)x(38), t7);
double t8 = V(i, (int)x(27)); t8 = Math.Pow(t8, x(14)); t8 = fonk((int)x(39), t8);
double t9 = V(i, (int)x(28)); t9 = Math.Pow(t9, x(15)); t9 = fonk((int)x(40), t9);
double t10 = V(i, (int)x(29)); t10 = Math.Pow(t10, x(17)); t10 = fonk((int)x(41), t10);
double t11 = V(i, (int)x(30)); t11 = Math.Pow(t11, x(18)); t11 = fonk((int)x(42), t11);
double t12 = V(i, (int)x(31)); t12 = Math.Pow(t12, x(19)); t12 = fonk((int)x(43), t12);
double fgercek = V(i, 16);
double fiahmin =
x(0)+x(1)*t1+x(3)*t2+x(5)*t3+x(7)*t4*t5+x(10)*t6*t7+x(13)*t8*t9+x(16)*t10*t11*t12;
toplamlhata += Math.Sqrt((Math.Abs(fiahmin - fgercek)) * (Math.Abs(fiahmin - fgercek)));
}
return 1/toplamlhata;
}
double fonk(int fonkterm, double x)
{
double sonuc=0;
int xx = (int) Math.Floor(x);
if ((x - (double)xx) >= 0.5) xx++;
if (fonkterm == 0) sonuc = x;//Math.Sin(x);
else if (fonkterm == 1) sonuc = (double) xx;
else if (fonkterm == 2) sonuc = Math.Log(x * x + 1);
else if (fonkterm == 3) sonuc = Math.Sign(x);
return sonuc;
}
double V(int satir,int sutun)
{
return ExcelVerileri.GetVeri(satir, sutun);
}
double fx(double x1)
{
return (-x1*x1+2*x1-1);
}
double fx(double x1, double x2)
{
double f=(x(0)-2)*(x(0)-2)+(x(1)-1)*(x(1)-1);
return (-f+40)*penalti();
}
double penalti()
{
double p1=Math.Abs(x(0)-2*x(1)+1 );
p1=1/Math.Pow((p1+1),4);
double temp=x(0)*x(0)/4-x(1)*x(1)+1; double p2=1;
if (temp<0) p2=1/Math.Pow((Math.Abs(temp)+1),4);
if (temp>=0) p2=1;
return p1*p2;
}
public double x(int i)
{
degisken degiskeneleman;
degiskeneleman = (degisken)degiskenler[i];
int KacBit = degiskeneleman.KacBit;
double GercekHassasiyet=degiskeneleman.GercekHassaslik;
int baslangicbit = degiskeneleman.BaslangicBitNo; double xmin1 = degiskeneleman.min;
double xx = OnlukDeger(baslangicbit, KacBit, GercekHassasiyet, xmin1);
return xx;
}
void UygunlukPayiHesapla(double toplamnornmuygunluk)
{
uygunlukpayi=NormUygunlukFonkDegeri/toplalnornmuygunluk;
}
void CumUygunlukPayiHesapla(double oncekibireycumuygunluk)
{

```



```

        CumUygunlukPayi=oncekibireycumuygunluk+uygunlukpayi;
    }
}
}

```

Class2

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
namespace galiq
{
    class degisken
    {
        public double max, min, hassaslik, GercekHassaslik;
        public int BaslangicBitNo, KacBit;
        public void Init(double maxi, double mini, double hassasiyet)
        {
            double xaralik=(maxi-mini)/hassasiyet;
            double x=1;
            max=maxi; min=mini; hassaslik=hassasiyet;
            for (int i=1; i<50;i++)
            {
                x*=2;
                if (x>xaralik)
                {KacBit=i;
                 i=51;
                 GercekHassaslik=(max-min)/(x-1);
                }
            }
        }
    }
}
}

```

Class3

```

using System;
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using System.IO;
using System.Windows.Forms;
using Microsoft.Office.Interop.Excel;
namespace galiq
{
    class ga
    {
        Microsoft.Office.Interop.Excel.Application ExcelUygulamasi;
        double Hassasiyet1, GercekHassasiyet;
        double xmin1, xmax1;
        int KacBit, ToplamUygunluk;
        public int PopulasyonBuyuklugu;
        public double MutasyonOlasiligi, CaprazlamaOlasiligi;
        ArrayList bireyler, elitler;
        double[] uygunluk, ruletmin, ruletmax,cumuygunluk;
        ArrayList nesiller, degiskenler;
        public int MaksimumNesilSayisi,MaxKitleImha;
        public double ImhaElitOrani,NesillerArasiElitOrani, GocmenOrani;
        bool GocmenRandom;
        Veritabani ExcelVerisi;
        FileStream temp;
        MersenneTwister rndgen;
        public ga()
        {
            ExcelUygulamasi = new Microsoft.Office.Interop.Excel.Application();
            if (ExcelUygulamasi == null) { MessageBox.Show("Excel Açılmıyor...");
            System.Windows.Forms.Application.Exit(); }
        }
    }
}

```

```

OpenFileDialog openFileDialog1 = new OpenFileDialog();
openFileDialog1.FileName = "*.xls";
if (openFileDialog1.ShowDialog() == DialogResult.OK)
{
    Microsoft.Office.Interop.Excel.Workbook theWorkbook =
ExcelUygulamasi.Workbooks.Open(openFileDialog1.FileName, Type.Missing, Type.Missing, Type.Missing,
Type.Missing, Type.Missing, Type.Missing, Type.Missing, Type.Missing, Type.Missing, Type.Missing,
Type.Missing, Type.Missing, Type.Missing);
    Microsoft.Office.Interop.Excel.Sheets sheets = theWorkbook.Worksheets;
    Microsoft.Office.Interop.Excel.Worksheet worksheet =
(Microsoft.Office.Interop.Excel.Worksheet)theWorkbook.ActiveSheet;
    ExcelVerisi = new Veritabani(200, 17);
    for (int i=0;i<200;i++)
    {
        for (int j = 0; j < 16; j++)
        {
            ExcelVerisi.SetVeri(i, j, ((Microsoft.Office.Interop.Excel.Range)worksheet.Cells[i + 24,
j+5]).Value2.ToString());
        }
        ExcelVerisi.SetVeri(i, 16, ((Microsoft.Office.Interop.Excel.Range)worksheet.Cells[i + 24,
4]).Value2.ToString());
    }
}
ExcelUygulamasi.Quit();
PopulasyonBuyuklugu=100;
MutasyonOlasiligi=0.04;
CaprazlamaOlasiligi=0.6;
MaksimumNesilSayisi=50;
MaxKitleImha=20;
ImhaElitOrani=0.1;
NesillerArasiElitOrani=0.1;
GocmenOrani=0.2; GocmenRandom=true;
degiskenler = new ArrayList();
bireyler = new ArrayList();
nesiller = new ArrayList();
elitler = new ArrayList();
rndgen=new MersenneTwister();
}
public void Init(int populasyonbuyuklugu, double mutasyonolasiligi, double caprazlamaolasiligi, int
maksimumnesil, double elitOrani, double imhaelitorani, int maksimumimhasayisi)
{
    PopulasyonBuyuklugu=populasyonbuyuklugu;
    MutasyonOlasiligi=mutasyonolasiligi;
    CaprazlamaOlasiligi=caprazlamaolasiligi;
    MaksimumNesilSayisi=maksimumnesil;
    MaxKitleImha=maksimumimhasayisi;
    ImhaElitOrani=imhaelitorani;
    NesillerArasiElitOrani=elitorani;
}
public String Hesapla()
{
    String s; int max; double ort; birey bireyim=new birey(); s="merhaba";
String DosyaYolu = @"C:\ga.txt"; FileInfo Dosya = new FileInfo(DosyaYolu);
StreamWriter Yaz = Dosya.CreateText();
Yaz.WriteLine("GA kodu başlıyor");
    PopulasyonOlustur(PopulasyonBuyuklugu,bireyler,degiskenler);
    int imhasayisi=0;int say=0;
    do{
        do{
            say++;
            Caprazla(1);
            Mutasyon();
            GocmenlerGelsin((int) (GocmenOrani*PopulasyonBuyuklugu),GocmenRandom);
            YeniPopulasyonuSec();
            max=MaximumBireyiBul(bireyler);
            bireyim=(birey) bireyler[max];
            ort= OrtalamaUygunlukFonkDegeriniBul(bireyler);

```

```

        ort=(bireyim.UygunlukFonkDegeri)/ort;
        max=MaximumBireyiBul(bireyler);
        bireyim= (birey) bireyler[max];
        double uygunluk=bireyim.UygunlukFonkDegeri;
        Yaz.WriteLine("");
        Yaz.Write(say.ToString() + ". nesil, f(>");
        for (int i = 0; i < degiskenler.Count; i++)
        {
            Yaz.Write(bireyim.x(i).ToString() + ">");
        }
        Yaz.Write(uygunluk.ToString()+"> ort = "+ort.ToString()+" , max = "+max.ToString());
    } while (say < MaksimumNesilSayisi);
    imhasayisi++; //ort=1000;
    if ((say<MaksimumNesilSayisi && imhasayisi<MaxKitleImha)) KitleImha();
    s = imhasayisi.ToString() + ". imha";
    Yaz.WriteLine(s);
    } while (say<MaksimumNesilSayisi || imhasayisi<MaxKitleImha);
    max=MaximumBireyiBul(bireyler);
    bireyim= (birey) bireyler[max];
    double uygunlukson=bireyim.UygunlukFonkDegeri;
    s = "f(" + bireyim.x(0).ToString() + "," + bireyim.x(1).ToString()+") = "+uygunlukson.ToString();
    Yaz.Close();return s;
}
double OrtalamaUygunlukFonkDegeriniBul(ArrayList array)
{
    birey bireyim;
    double ort=0;
    for (int i=0; i<array.Count; i++)
    {
        bireyim = (birey)array[i];
        ort+=bireyim.UygunlukFonkDegeri;
    }
    return (ort/(double) array.Count);
}
void KitleImha()
{
    birey birey_elit,bireyim;
    ArrayList secilenler= new ArrayList(); String s;
    double rnd; int elitsayisi=(int) (ImhaElitOrani*PopulasyonBuyuklugu);
    ElitleriSec(secilenler, bireyler, elitsayisi, false);
    KalanlariOldur(bireyler,true);
    PopulasyonOlustur(PopulasyonBuyuklugu-elitsayisi,bireyler,degiskenler);
    for (int i=0; i<secilenler.Count; i++)
    {
        birey_elit= (birey) secilenler[i];
        rnd=rndgen.Next(0,bireyler.Count-1);
        bireyler.Add(birey_elit);
    }
    secilenler.Clear();
    UygunlukDegerleriniLineerNormalizeEt(0.1,2,true);
}
void UygunlukDegerleriniLineerNormalizeEt(double nmin, double bolum, bool ButunPopulasyonmu )
{
    birey bireyim;
    double min,topuyg=0;
    double cumuygunluk=0;
    int normalizasyonneryekadar=PopulasyonBuyuklugu;
    if (ButunPopulasyonmu) normalizasyonneryekadar=bireyler.Count;
    bireyim= (birey) bireyler[0];
    bireyim.FonksiyonDegeriHesapla();
    min = bireyim.UygunlukFonkDegeri;
    for (int i=0; i<normalizasyonneryekadar; i++)
    {
        bireyim= (birey) bireyler[i];
        bireyim.FonksiyonDegeriHesapla();
        double bry uyg=bireyim.UygunlukFonkDegeri;
        if (i>0 && bry uyg<min) min=bry uyg;
    }
}

```

```

    }
    for (int i=0; i<normalizasyonereyekadar; i++)
    {
        bireyim = (birey) bireyler[i];
        double bry_uyg=bireyim.UygunlukFonkDegeri;
        bireyim.NormUygunlukFonkDegeri=(bry_uyg+(nmin-min))/bolum;
        topuyg+=bireyim.NormUygunlukFonkDegeri;
    }
    ToplamUygunluk= (int) topuyg;
    cumuygunluk=0;
    for (int i=0; i<normalizasyonereyekadar; i++)
    {
        bireyim = (birey) bireyler[i];
        bireyim.uygunlukpayi=bireyim.NormUygunlukFonkDegeri/ToplamUygunluk;
        cumuygunluk+=bireyim.uygunlukpayi;
        bireyim.CumUygunlukPayi=cumuygunluk;
    }
}
void KalanlariOldur(ArrayList array, bool SoykirimOlsunMu)
{
    birey bireyim;
    if (SoykirimOlsunMu)
    {
        int stop=array.Count;
        for (int i=0; i<stop;i++)
        {
            bireyim=(birey) array[i];
            bireyim.oldur();
        }
        array.Clear();
    }
    else
    {
        int stop=array.Count;
        for (int i=0; i<stop;i++)
        {
            bireyim=(birey) array[i];
            if (bireyim.olecekmiyim)
            {
                bireyim.oldur();
            }
        }
    }
}
void GocmenlerGelsin(int GocmenSayisi, bool GocmenSayisiRandom)
{
    if (GocmenSayisiRandom) {GocmenSayisi=rndgen.Next(0,GocmenSayisi);}
    PopulasyonOlustur(GocmenSayisi,bireyler,degiskenler);
}
void YeniPopulasyonuSec()
{
    birey bireyim,oncekibirey;
    ArrayList secilenler=new ArrayList(); String s;
    double rnd;
    int elitsayisi=(int)((double)PopulasyonBuyuklugu*NesillerArasiElitOrani);
    ElitleriSec(secilenler,bireyler.elitsayisi, true);
    UygunlukDegerleriniLineerNormalizeEt(0.1,2,true);
    while (secilenler.Count<PopulasyonBuyuklugu)
    {
        rnd=rndgen.NextDouble();
        oncekibirey= (birey) bireyler[0];
        if (oncekibirey.CumUygunlukPayi>rnd)
        {
            secilenler.Add(oncekibirey);
        }
    }
    for (int j=1; j<bireyler.Count; j++)
    {

```

```

        bireyim= (birey) bireyler[j];
        if(bireyim.CumUygunlukPayi>rnd && oncekibirey.CumUygunlukPayi<rnd)
        {
            secilenler.Add(bireyim);
        }
        oncekibirey=bireyim;
    }
}
KalanlariOldur(bireyler,true);
bireyler.Clear(); // Afx.MessageBox("eskiler silindi");
for (int j=0; j<secilenler.Count; j++)
{
    bireyim= (birey) secilenler[j];
    bireyler.Add(bireyim);
}
secilenler.Clear();}

void DegiskenEkle(double xmin, double xmax,double hassas)
{
    degisken degisken1= new degisken();
    degisken1.Init(xmax,xmin,hassas);    degiskenler.Add(degisken1);
}
int MaximumBireyiBul(ArrayList array)
{
    birey bireyim;
    double max=0; int whoismax=-1;
    if (array.Count>0)
    {
        bireyim= (birey) array[0];
        max=bireyim.UygunlukFonkDegeri;whoismax=0;
    }
    for (int i=1; i<array.Count; i++)
    {
        bireyim= (birey) array[i];
        if (bireyim.UygunlukFonkDegeri>max)
        {
            whoismax=i;max= bireyim.UygunlukFonkDegeri;
        }
    }
    return whoismax;
}
void Mutasyon()
{
    int mutasyonaugrayacakbirey, mutasyon_geni;
    birey original1, birey1;    original1= (birey) bireyler[0];
    int bitsayisi=original1.BitSayisi;
    int mutasyonsayisi=(int) (PopulasyonBuyuklugu*bitsayisi*MutasyonOlasiligi);
    for (int i=0; i<mutasyonsayisi; i++)
    {
        mutasyonaugrayacakbirey=rndgen.Next(0,PopulasyonBuyuklugu-1);
        mutasyon_geni=rndgen.Next(0,bitsayisi-1);
        original1= (birey) bireyler[mutasyonaugrayacakbirey];
        birey1= new birey();    bireyler.Add(birey1);
        BireyKopyala(original1,birey1);
        bool mutasyonlugen= !birey1.GetBit(mutasyon_geni);
        birey1.SetBit(mutasyon_geni,mutasyonlugen);
    }
}
void BireyKopyala(birey original, birey copy)
{
    copy.Init(original.BitSayisi, original.degiskenler, original.mersenneGenerator, original.ExcelVerileri);
    for (int i=0; i<original.BitSayisi;i++)
    {
        copy.SetBit(i,original.GetBit(i));
    }
    copy.FonksiyonDegeriHesapla();
}
}

```

```

birey Copy(birey original)
{
    birey yeni;
    yeni =new birey();
    BireyKopyala(original,yeni);
    return yeni;
}
void PopulasyonOlustur(int KacBirey, ArrayList populasyonarrayi, ArrayList degiskenarrayi)
{
    for (int i=0; i<KacBirey; i++)
    {
        birey bireyim = new birey();

        bireyim.Init(KacBit,degiskenarrayi, rndgen, ExcelVerisi);
        bireyim.IlkBireyiOlustur();
        bireyim.FonksiyonDegeriHesapla();
        populasyonarrayi.Add(bireyim);
    }
}
void Caprazla(int kacnokta)
{
    int caprazlanacak1, caprazlanacak2;
    int caprazlamanoktasi;
    birey original1, original2, birey1, birey2;
    int caprazlamasayisi=(int) (PopulasyonBuyuklugu*CaprazlamaOlasiligi/2);

    UygunlukDegerleriniLineerNormalizeEt(0.1,2,false);
    for (int i=0; i<caprazlamasayisi; i++)
    {
        caprazlanacak1=rndgen.Next(0,PopulasyonBuyuklugu-1);
        do
        {
            caprazlanacak2=rndgen.Next(0,PopulasyonBuyuklugu-1);
        }while (caprazlanacak1==caprazlanacak2);
        original1= (birey) bireyler[caprazlanacak1];
        original2= (birey) bireyler[caprazlanacak2];
        birey1= new birey(); birey2=new birey();
        bireyler.Add(birey1);bireyler.Add(birey2);
        BireyKopyala(original1,birey1);BireyKopyala(original2,birey2);
        if (kacnokta == 0) kacnokta = rndgen.Next(birey1.BitSayisi - 1);
        for (int j=0; j<kacnokta;j++)
        {
            int random=rndgen.Next(1,original1.BitSayisi-1);
            for (int jj=random; jj<original1.BitSayisi; jj++)
            {
                bool temp;
                temp=birey1.GetBit(jj); birey1.SetBit(jj,birey2.GetBit(jj));
                birey2.SetBit(jj,temp);
            }
        }
        birey1.FonksiyonDegeriHesapla();birey2.FonksiyonDegeriHesapla();
    }
}
int MaksimumuSec()
{
    int max=0;birey bireyim;bireyim= (birey) bireyler[0];
    double uygunluk=bireyim.UygunlukFonkDegeri;
    for (int i=0; i<bireyler.Count; i++)
    {
        bireyim= (birey) bireyler[i];
        if (bireyim.UygunlukFonkDegeri>uygunluk)
        {
            uygunluk=bireyim.UygunlukFonkDegeri;
            max=i;
        }
    }
    return max;
}

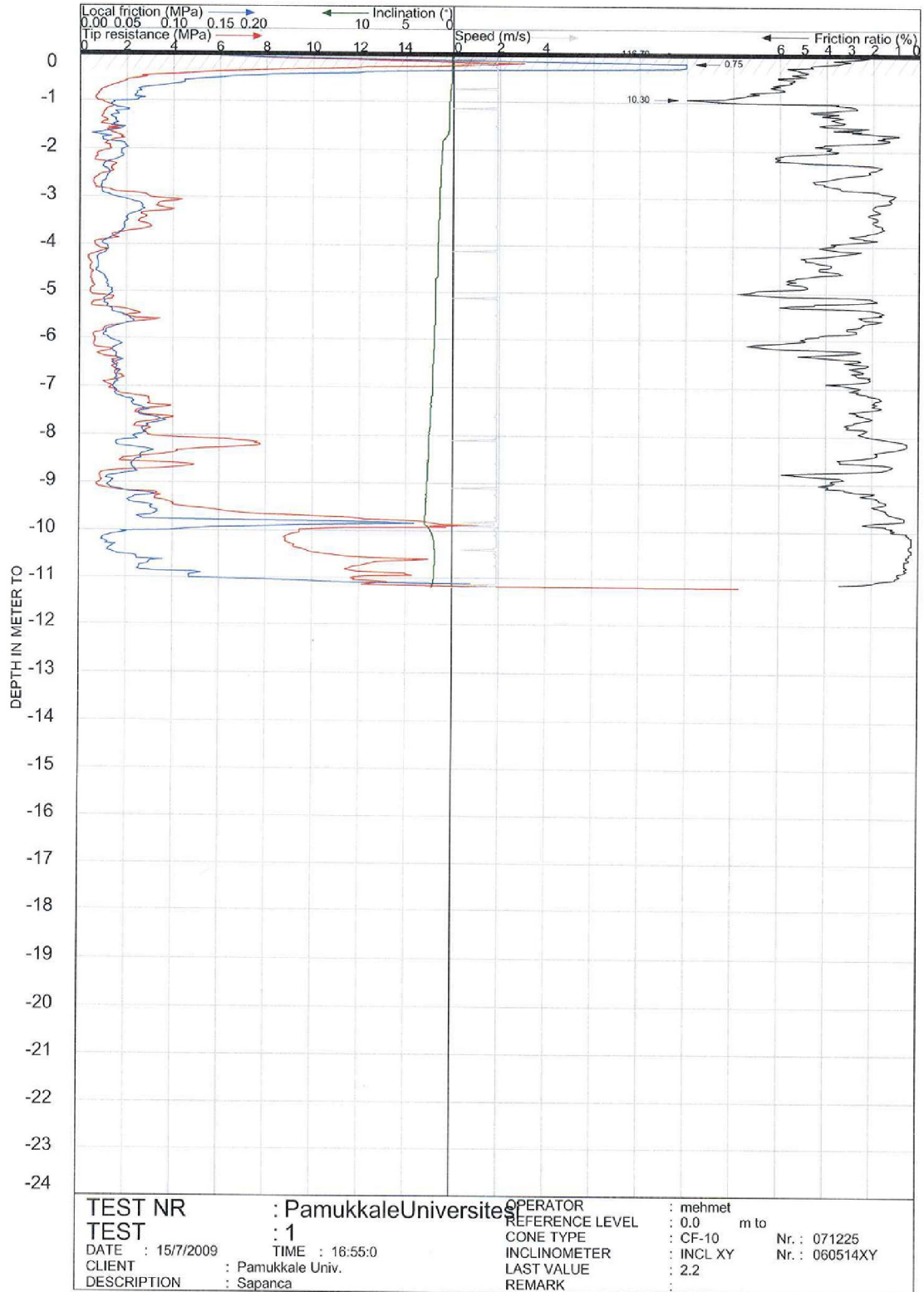
```

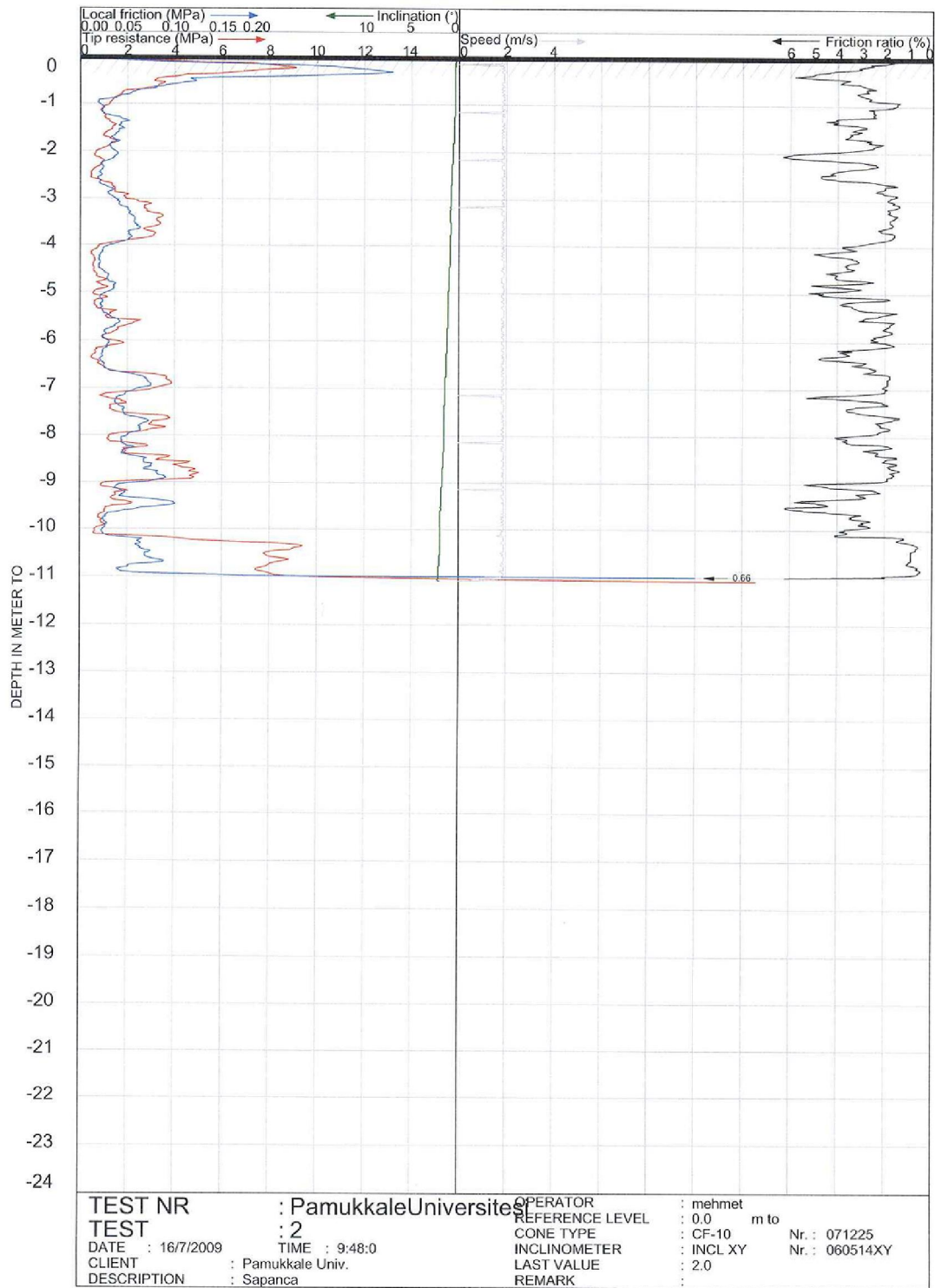
```

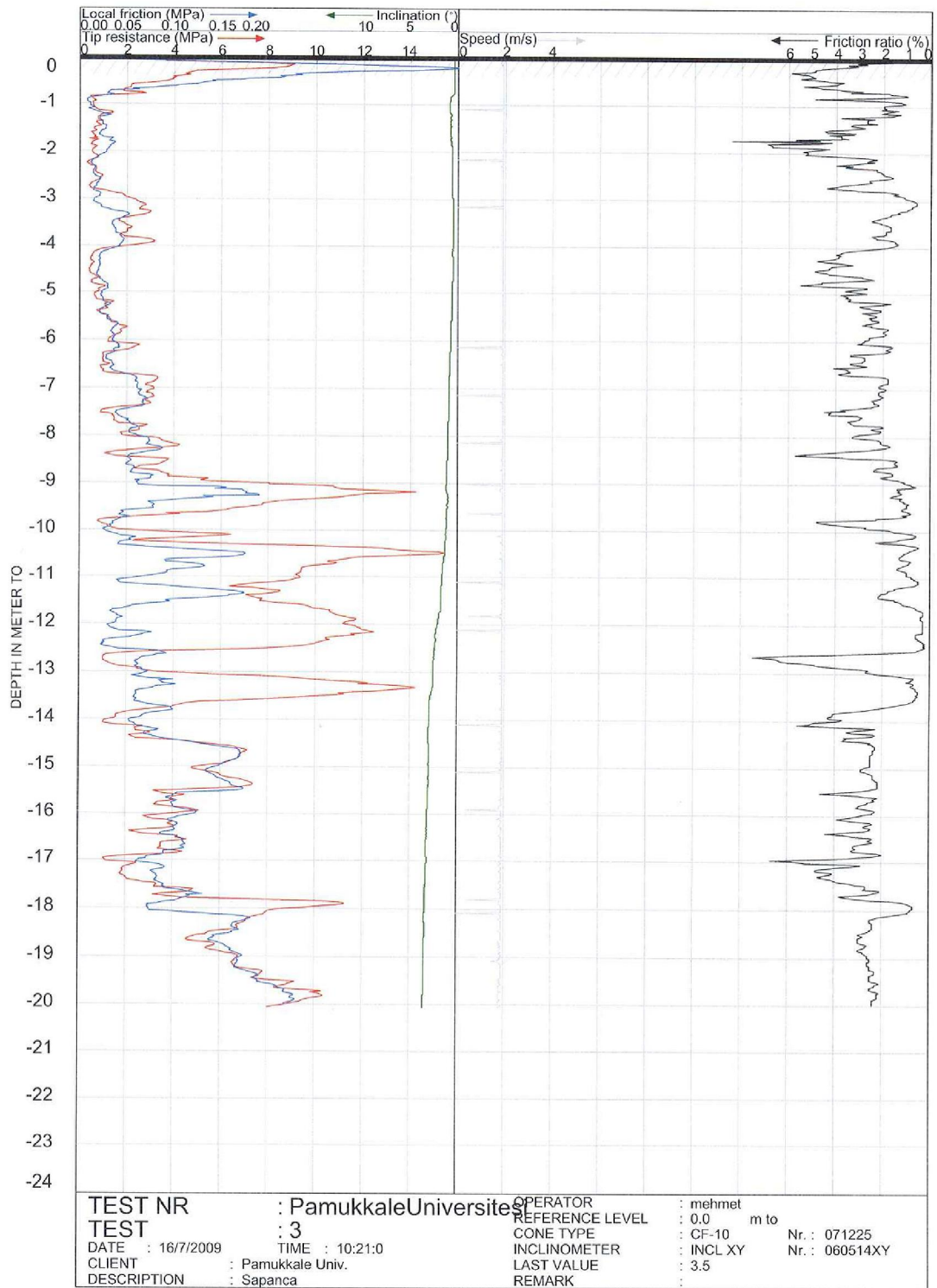
}
void ElitleriSec(ArrayList secilenlerarrayi, ArrayList bireylerarrayi, int elitsayisi, bool elitlerilkarraydekalsinmi)
{
    UygunlukDegerleriniLineerNormalizeEt(0.1,2,true);
    birey bireyim, oncekibirey; ArrayList elitler= new ArrayList(); int rnd;
    for (int i=0; i<elitsayisi; i++)
    {
        int maximum=MaximumBireyiBul(bireylerarrayi);
        bireyim= (birey) bireylerarrayi[maximum];
        secilenlerarrayi.Add(Copy(bireyim));
        elitler.Add(bireyim);        bireylerarrayi.RemoveAt(maximum);
    }
    if (elitlerilkarraydekalsinmi)
    {
        for(int i=0; i<elitsayisi; i++)
        {
            bireyim= (birey) elitler[i];
            rnd=rndgen.Next(0,bireylerarrayi.Count-1);
            bireylerarrayi.Insert(rnd,bireyim);
        }
        elitler.Clear();
    }
}
int RuletTekeriSecimi()
{
    birey bireyim;
    int secim=-1;
    double rnd=rndgen.NextDouble();
    for (int i=0; i<bireyler.Count; i++)
    {
        bireyim= (birey) bireyler[i];
        if (rnd>bireyim.CumUygunlukPayi)
        {
            secim=i;
            i=bireyler.Count+1;
        }
    }
    if (secim==-1) {secim=bireyler.Count-1;}
    return secim;
}
}
}
}

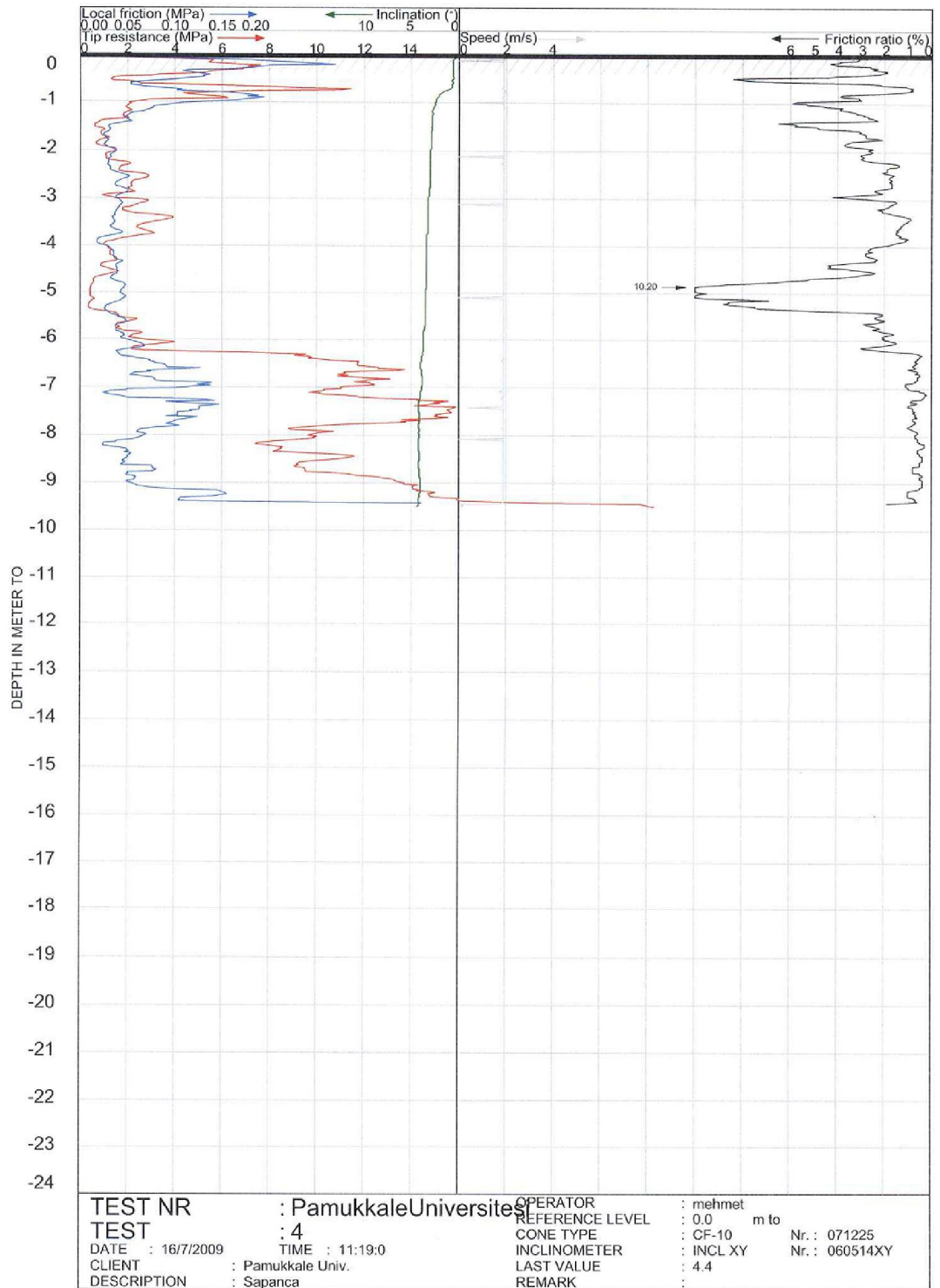
```

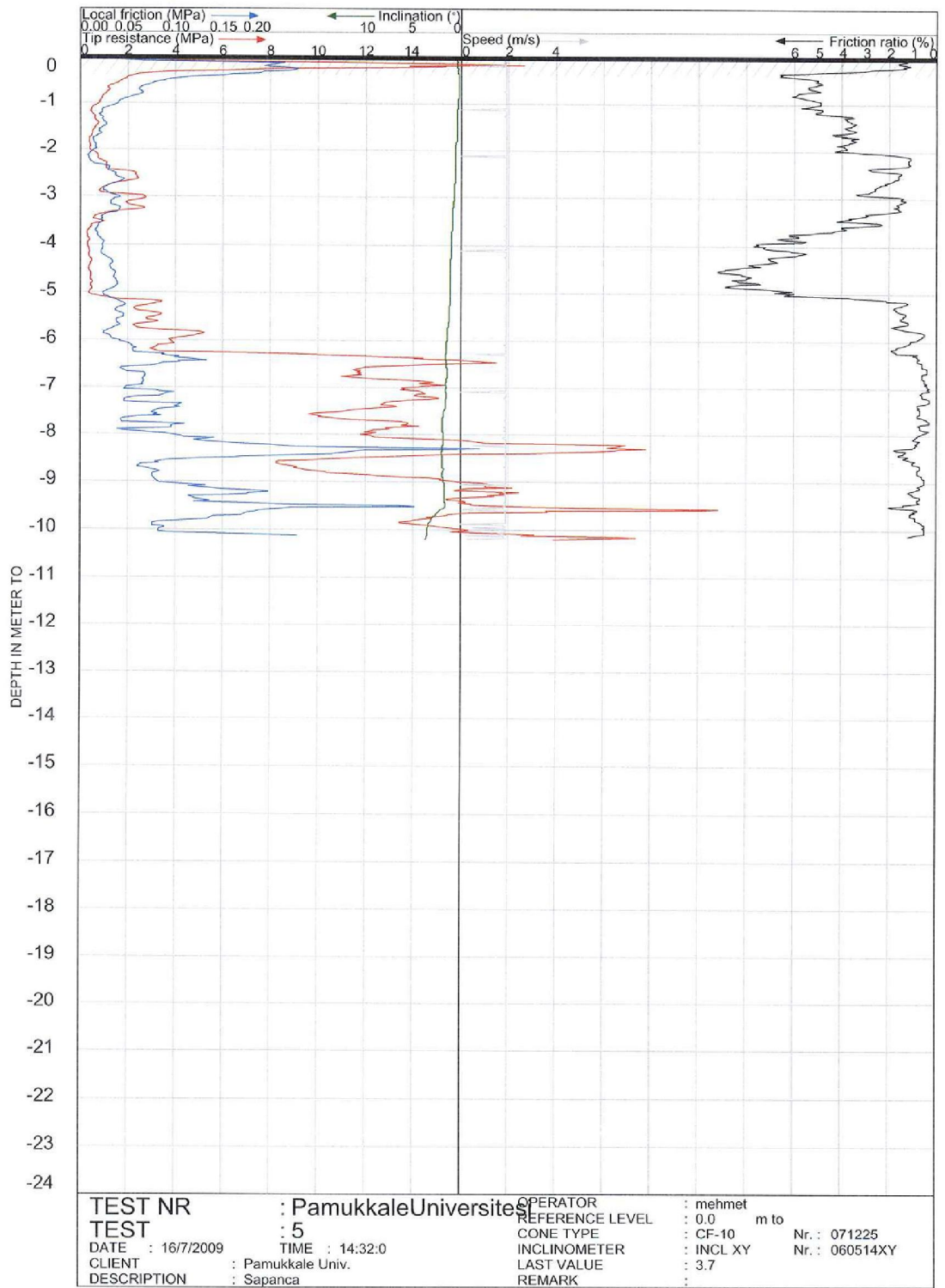
Ek-6 İnceleme alanında yapılan CPT deney verileri

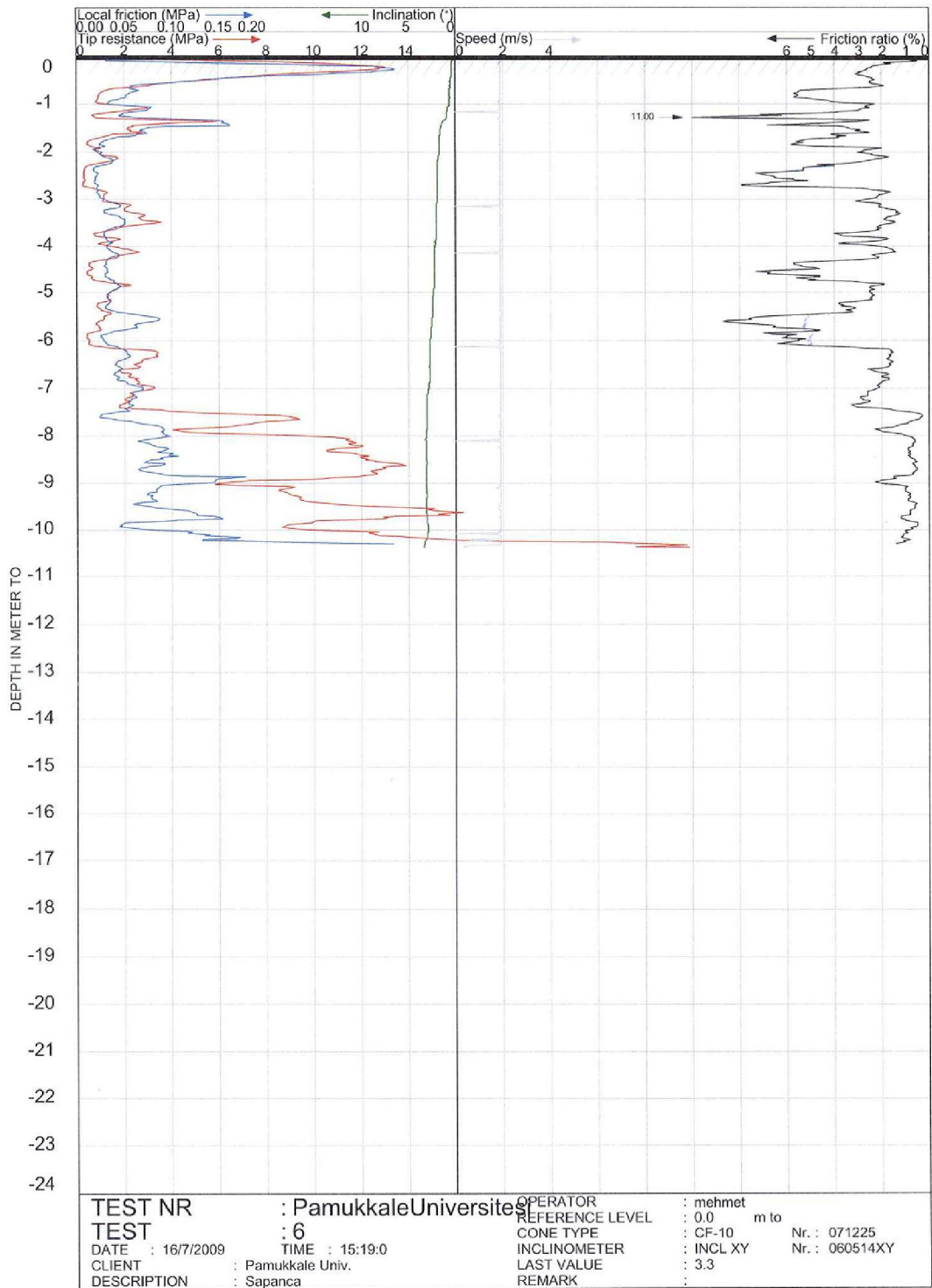


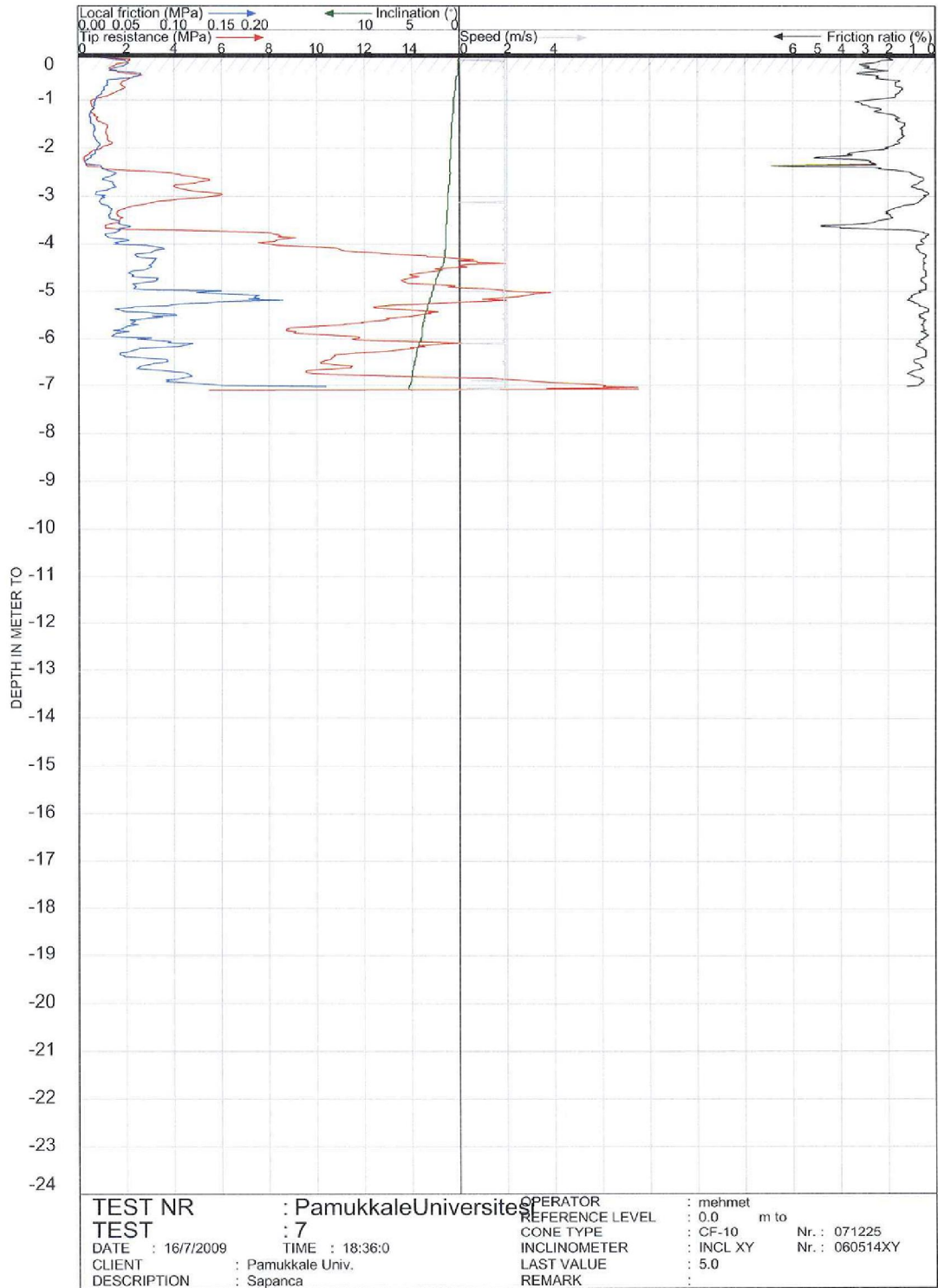


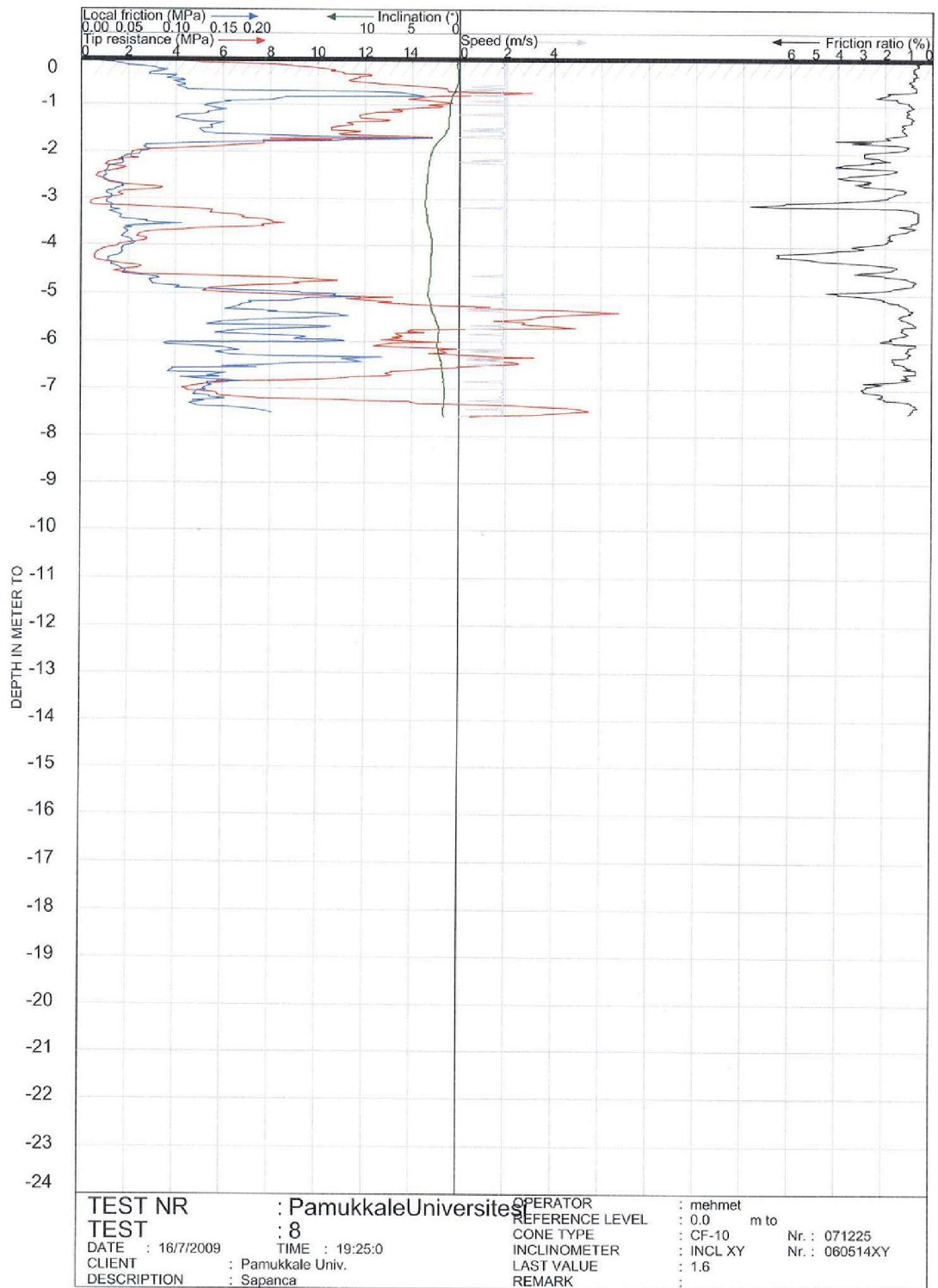


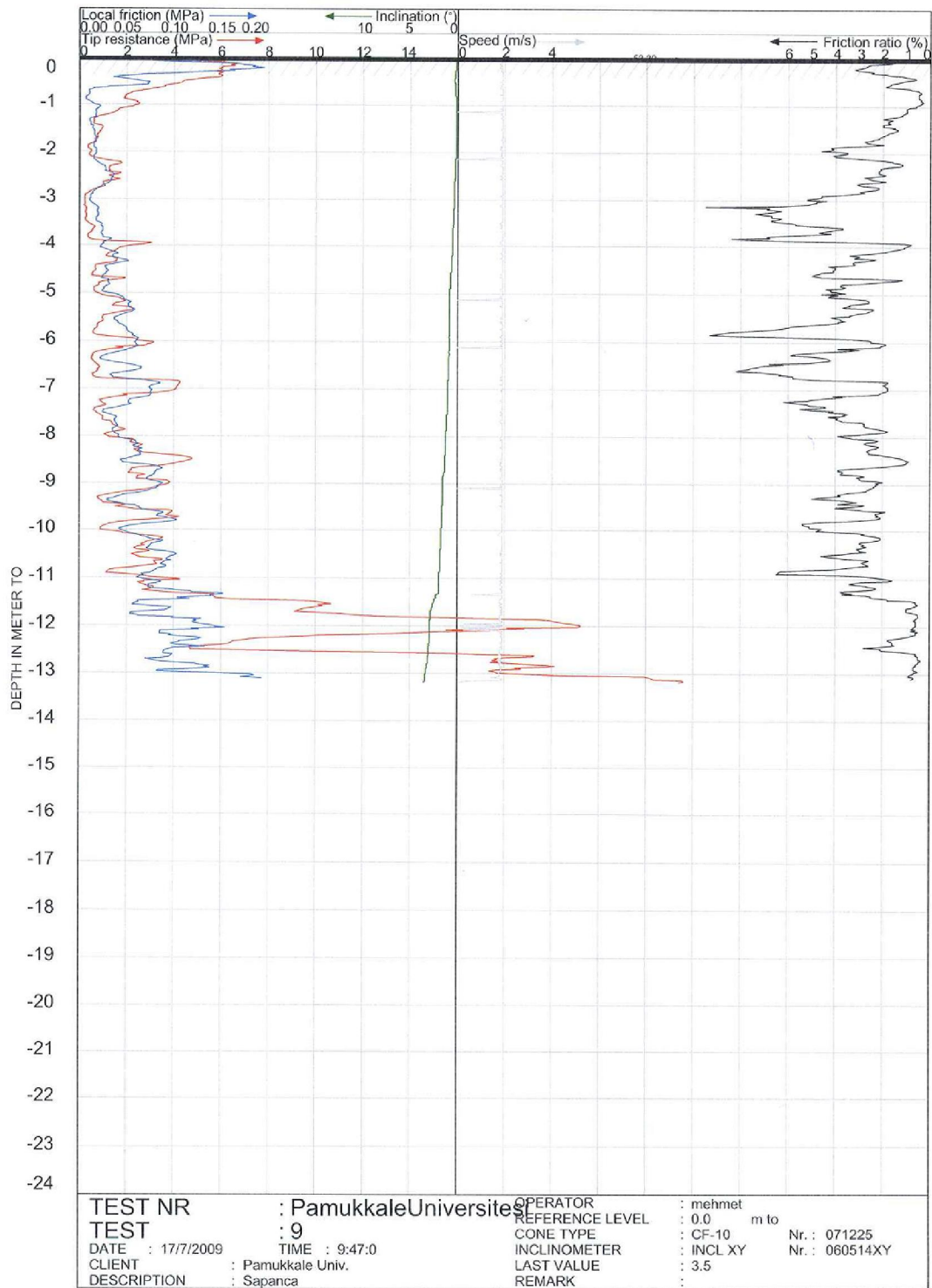


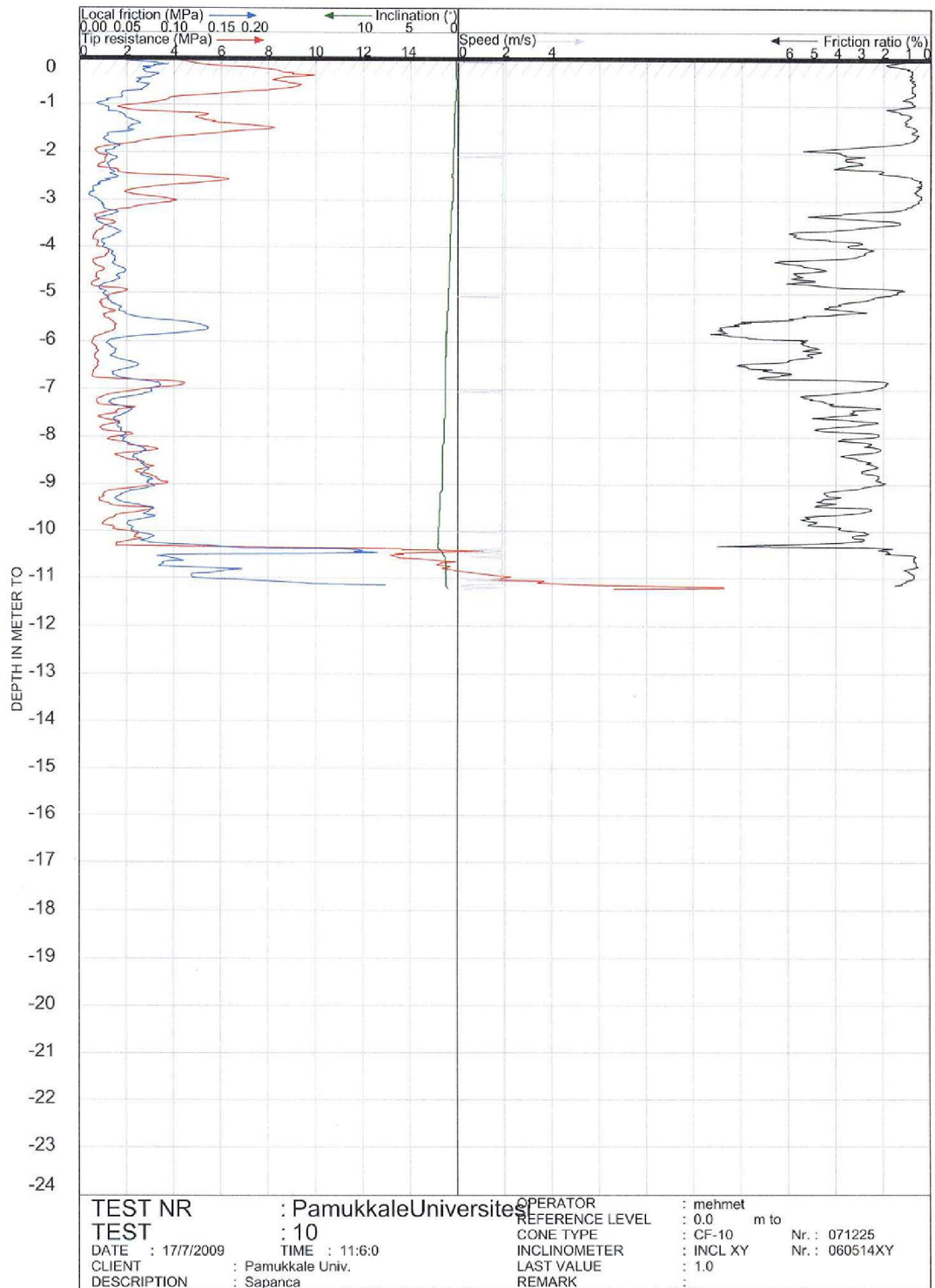


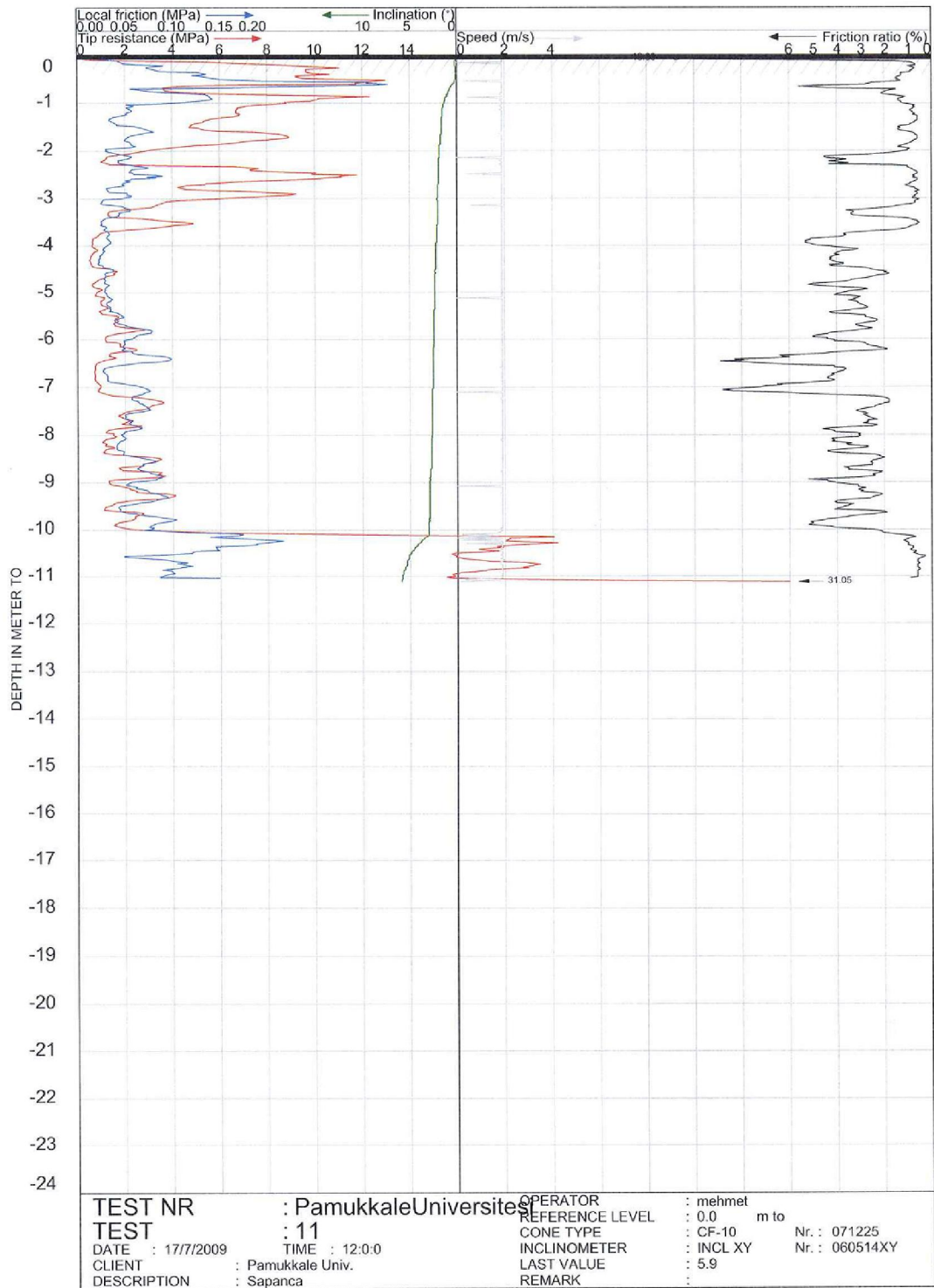










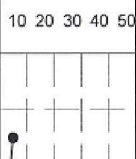























Ek-7 İnceleme alanında yapılan sondaj logları

ISVEREN CLIENT Pamukkale Üniversitesi		ZEMİN ETÜD ve TASARIM A.Ş.		SONDAJ BOREHOLE		SK-1											
SAYFA/PAGES : 1 / 1		SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG				SONDOR DRILLER		M.KARATAŞ									
PROJE ADI/PROJECT NAME : Pamukkale Üniversitesi BAP 2008FBE011																	
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : Sapanca																	
KILOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :													
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 17.00				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 16/07/2009 - 16/07/2009													
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) :				KOORDINAT/COORDINATE (N-S) y:													
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 1.65				KOORDINAT/COORDINATE (E-W) x:													
Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test					JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Dayanım / Strength	Ayrısma / Weathering	SCR, %	Karat % / Core Recovery	ROD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %		
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			GRAFİK GRAPH											
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10	20	30	40	50						
1		1.50	1	1	3	3											
2	SPT-1	1.95															
3	SPT-2	3.00	4	4	10	10											
4	SPT-3	3.45															
5	SPT-3	4.50	2	3	5	5											
6	SPT-4	4.95															
7	SPT-4	6.00	3	2	6	6											
8	SPT-5	6.45															
9	SPT-5	7.50	4	4	13	13											
10	SPT-6	7.95															
11	SPT-6	9.00	8	5	15	15											
12	SPT-7	9.45															
13	SPT-7	10.50	6	9	19	19											
14	SPT-8	10.95															
15	SPT-8	12.00	12	10	21	21											
16	SPT-9	12.45															
17	SPT-9	13.50	11	14	29	29											
18	SPT-10	13.95															
19	SPT-10	15.00	10	13	27	27											
20	SPT-10	15.45															
21	SPT-11	16.50	12	14	30	30											
22	SPT-11	16.95															
KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m) : 17.00																	
ADI-SOYADI NAME-SURNAME		UNVANI/TITLE		IMZA SIGNATURE		TARİH DATE											
M.TITİZ		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER				16/07/2009											
		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF				16/07/2009											

ISVEREN CLIENT Pamukkale Üniversitesi				SONDAJ BOREHOLE		SK-2									
SAYFA/PAGES : 1 / 1				SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG		SONDÖR DRILLER		M.KARATAŞ							
PROJE ADI/PROJECT NAME : Pamukkale Üniversitesi BAP 2008FBE011															
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : Sapanca															
KİLOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :											
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 15.50				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 16/07/2009 - 16/07/2009											
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) :				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) Y:											
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 1.73				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) X:											
Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test					JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Dayanım / Strength	Ayrışma / Weathering	SCR, %	Karat. % / Core Recovery	RQD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			GRAFIK GRAPH									
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10								
1	SPT-1	1.50	2	2	4	6	DOLGU Beyaz,kahverengi, gri renkli malzemeden oluşan dolgu malzemesi .	-1.2m	-1.2m						
2		1.95													KİLLİ SİLT Koyu gri renkli, nemli, düşük plastisiteli, bitki kökleri içeren ince-orta taneli kum içerikli killi silt.
3	SPT-2	3.00	2	3	4	7	KUMLU ÇAKIL Koyu gri renkli, ıslak, yuvarlak- köşeli çakıl içerikli, ince-orta taneli orta sıkı çakıllı kum .	-6.3m	-6.3m						
4		3.45													
5	SPT-3	4.50	2	2	2	4	KUMTAŞI Koyu gri, beyaz renkli, kuvarslı dolgulu blok boyutunda ofiyolit çakıl.	-11m	-11m						
6		4.95													
7	SPT-4	6.00	1	3	2	5	KUMLU ÇAKIL Koyu gri, beyazimsı renkli, ıslak, ince-orta taneli kum içerikli, köşeli -yuvarlak kumlu çakıl.	-12m	-12m						
8		6.45													
9	SPT-5	7.50	8	9	10	19	KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m) : 15.50								
10		7.95													
11	SPT-6	9.00	9	11	11	22									
12		9.45													
13	SPT-7	10.50	9	11	10	21									
14		10.95													
15	CORE-1	12.00													
16		13.50													
17	SPT-8	13.95	7	10	13	23									
18		15.00													
19	SPT-9	15.45	9	12	14	26									
ISI / JOB		UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME		İMZA SIGNATURE		TARİH DATE							
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		M.TİTİZ				16/07/2009							
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF						16/07/2009							

ISVEREN CLIENT Pamukkale Üniversitesi		 ZEMİN ETÜD ve TASARIM A.Ş.		SONDAJ BOREHOLE		SK-3									
SAYFA/PAGES : 1 / 1				SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG		SONDOR DRILLER		M.KARATAŞ							
PROJE ADI/PROJECT NAME : Pamukkale Üniversitesi BAP 2008FBE011															
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : Sapanca															
KİLOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :											
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 15.50				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE : 17/07/2009 - 17/07/2009											
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) :				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y:											
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 1.85				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x:											
Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Çinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test					JEOTEKNIK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Dayanım / Strength	Ayrılma / Weathering	SCR, %	Korot % / Core Recovery	RQD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			GRAFIK GRAPH									
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10								
1	SPT-1	1.50	2	2	3	5		KİLLİ KUM Koyu gri renkli, ıslak, düşük plastisiteli, yuvarlak - köşeli çakıl içeren ince-orta taneli gevşek killi kum.							
2		1.95													
3	SPT-2	3.00	1	1	1	2		SİLTİLİ KUM Koyu gri renkli, nemli, düşük plastisiteli, bitki kökleri içerikli yuvarlak - köşeli çakıl içeren ince-orta taneli gevşek siltli kum.							
4		3.45													
5	SPT-3	4.50	1	1	2	3									
6		4.95													
7	SPT-4	6.00	1	2	3	5									
8		6.45													
9	SPT-5	7.50	1	1	2	3									
10		7.95													
11	SPT-6	9.00	2	4	2	6									
12		9.45													
13	SPT-7	10.50	6	10	9	19		KUMLU ÇAKIL Koyu gri, beyazımsı renkli, ıslak, yer yer bitki kökleri içerikli, ince-orta taneli kum içerikli, köşeli -yuvarlak kumlu çakıl.							
14		10.95													
15	SPT-8	12.00	7	9	11	20									
16		12.45													
17	SPT-9	13.50	9	13	14	27									
18		13.95													
19	SPT-10	15.00	10	15	15	30									
20		15.45													
								KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m) : 15.50							
ISI / JOB		UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE					
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		M.TİTİZ						17/07/2009					
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF								17/07/2009					

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Kaman Köyü-Bahçe-Osmaniye’de doğdu. İlköğrenimini Mehmet Akif Ersoy İlkokulu, orta öğrenimini Mehmet Tuncel Lisesi ve lise öğrenimini de Çukurova Elektrik Endüstri Meslek Lisesi’nde tamamladı. Lisans öğrenimini Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde 2001 yılında tamamladı. 2002-2004 yılları arasında Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği ABD’nda yüksek lisans eğitimi aldı ve 2004 yılında aynı enstitüde doktora öğrenimine başladı. 2002 yılından bu yana Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

