

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28

Başlık: Zemin sıvılaşma potansiyelinin bulanık mantık ile modellenmesi

Yayın türü: Araştırma makalesi

Anahtar kelimeler: Zemin sıvılaşması, bulanık mantık, 1999 Marmara depremi

Sorumlu Yazar: Ayşe Bengü Sünbül, PhD.

Sorumlu yazar adresi: İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak,
Türkiye, absunbul@beun.edu.tr

İlk yazar: Ayşe Bengü Sünbül

Diğer yazarlar: Rukiye Uzun ve Hande Erkaymaz

Bu çalışma daha önce hiçbir yerde yayınlanmamıştır.

29 **Zemin Sıvılaşma Potansiyelinin Bulanık Mantık İle Modellenmesi**

30

31 The Modelling of Liquefaction Potential by Neuro-Fuzzy Technique

32

33 Ayşe Bengü Sünbül^{1*}, Rukiye Uzun², Hande Erkaymaz³

34

35 ^{1*}Bülent Ecevit Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, absunbul@beun.edu.tr

36 ²Bülent Ecevit Üniversitesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

37 ³Bülent Ecevit Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

38

39 **Öz**

40 Zemin sıvılaşma kavramı; deprem gibi dinamik etki altındaki kohezyonsuz zeminin kayma
41 mukavemetinin hızlı bir şekilde kaybolmasıdır. Bu kavramın mühendislik yapı tasarımındaki
42 önemi, zeminde sıvılaşmaya bağlı oluşan yapısal hasarların ve meydana gelen can kayıplarının
43 gözlemlendiği geçmiş depremlerden anlaşılmıştır. Zemin sıvılaşma potansiyeli analizini etkileyen
44 temel parametreler; zeminin dane boyu açısından sıvılaşabilir özellikte olması, yeraltı suyu
45 durumu ve derinliği, sıvılaşabilir tabakanın kalınlığı ve yüzeye olan mesafesi, zeminin ince
46 dane oranı ve ortam zemininde sıvılaşma meydana getirebilecek deprem büyüklüğüdür.
47 Literatürde tüm bu parametre etkilerinin göz önünde bulundurulduğu ampirik ve numerik
48 metotlar ile yapılan birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmada; 1999 Marmara Depremi'nde
49 zemin koşullarına bağlı olarak zemin sıvılaşması gözlenen Adapazarı şehir merkezinin zemin
50 sıvılaşma potansiyeli; yeraltı su seviyesi ve dane dağılımı içerisindeki yüzde kil değerleri
51 kullanılarak klasik karşılaştırma yöntemleri ve belirsizliğin var olduğu durumlarda kullanılan
52 Bulanık Mantık yaklaşımından yararlanılarak analiz edilmiştir. Bulanık mantık
53 yaklaşımlarından Mamdani metodu kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına göre zemin
54 sıvılaşma potansiyeli; “düşük”, “orta” ve “yüksek” olmak üzere üç kısımda
55 değerlendirilmiştir. Önalp ve Arel' in çalışmasındaki Adapazarı Kriteri doğrultusunda bulanık
56 mantık ile model üzerindeki belirsizlikler giderilmeye çalışılmış ve bu yaklaşımın analizlerde
57 kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar analitik çözümler ile
58 karşılaştırıldığında yüksek oranda uyumlu sonuçlar vermiştir. Buna göre bulanık mantık

59 yönteminin, depreme dayalı zemin parametreleri arasındaki ilişkiyi doğru ve hızlı tahmin
60 etmesi ve analitik yöntemlerle uyumlu sonuçlar vermesi açısından sayısal yöntemlere göre daha
61 pratik ve kullanışlı bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

62 **Anahtar Kelimeler:** Zemin sıvılaşması, Bulanık mantık, 1999 Marmara depremi.

63 **Abstract**

64 The soil liquefaction concept is the loss of the cohesionless soil shear strength exposed to
65 dynamic effects such as earthquake, quickly. The importance of this concept in engineering
66 structural design was understood from the past earthquakes which the soil liquefaction-induced
67 structural damage and loss of life observed. The basic parameters affecting the soil liquefaction
68 potential analysis are having liquefiable feature in terms of grain size, the ground water level
69 and depth, the thickness and the depth of liquefiable layer, fines content of the soil and the
70 magnitude of earthquake. In literature, there are many studies performed with empirical and
71 numerical methods in which these mentioned parameters effects were taken into account. In
72 this study; the soil liquefaction potential of Adapazari city centre observed soil liquefaction in
73 the 1999 Marmara Earthquake depending on the soil conditions, were analysed with the usage
74 of groundwater level and grain distribution in the clay percentage values, utilizing the classic
75 comparison methods and the fuzzy logic approach used for uncertain situations. According to
76 the analysing results carried out using Mamdani method of fuzzy logic approach; the soil
77 liquefaction potential is evaluated in three parts such as "Low", "medium" and "high". In
78 accordance of Adapazarı Criteria in the Onalp and Arel' s study (2002), it was tried to resolve
79 the uncertainties of the model with fuzzy logic and is evaluated the usability of this approach
80 for the analyses. The obtained results, which compared with the analytical solutions, were found
81 to close to the each other. Accordingly, it has been reached that the fuzzy logic method is more
82 practical and useful method than the numerical methods in terms of providing consistent results
83 with the analytical methods and accurate and fast estimating the relationship between soil

84 parameters based on the earthquake.

85 Keywords: Liquefaction, Neuro-Fuzzy, 1999 Marmara earthquake.

86 **1.Giriş**

87 Yapısal ya da çevresel açıdan büyük felakete neden olan depremler ve bunlara bağlı oluşan
88 etkilerin belirlenmesi, güvenli yerleşim alanlarının seçilmesinde ve depreme dayanıklı yapı
89 tasarımında önemli bir faktördür. Deprem sırasında yapıları taşıyan zeminler farklı davranışlar
90 göstermektedir. Yapıların güvenilirliği zemin davranışıyla direkt ilişkili olduğu için depremde
91 meydana gelecek zemin hareketlerinin önceden bilinmesi önemlidir. Bu amaçla yapı
92 tasarımında yerleşim alanlarının zemin özelliklerinin iyileştirilmesi ve zemin kaynaklı risklerin
93 yapıya zarar vermeyecek düzeye indirilmesi hedeflenir. Deprem bölgelerinde zeminin
94 yapısına bağlı olarak farklı boyut ve özellikte hasarlar meydana gelmektedir. Bu hasarların
95 oluşum nedenlerinden biri, taşıma gücü düşük gevşek zeminlerde belirgin bir şekilde ortaya
96 çıkan zemin sıvılaşmasıdır.

97 Bilimsel literatürde ilk defa Terzaghi (1947) tarafından kullanılan zemin sıvılaşması kavramı;
98 depremlerin oluşturduğu tekrarlı yüklerin etkisiyle suya doygun zeminlerin sıkışma ve hacim
99 daralması göstererek, drenajın olmadığı koşullarda boşluk suyu basıncının artmasıyla
100 kohezyonsuz zeminin sıvı gibi davranıp büyük yer değiştirmelere maruz kalmasıdır.
101 Sıvılaşmanın oluşumunda birçok geoteknik faktör etkili olsa da genel olarak zeminin
102 sıvılaşmaya karşı duyarlılığını zeminin özellikleri, jeolojik şartlar ve yer hareketi özellikleri
103 etkilemektedir. Bu bağlamda sıvılaşmanın gelişmesi için en uygun ortamlar genç ve gevşek
104 çökellerin özellikle kum ve silt dane boyutundaki malzemenin depolandığı ve yeraltı suyunun
105 sığ olduğu ortamlardır (Sünbül 2004).

106 Sıvılaşma kökenli deprem hasarları bu konuda yapılan araştırmaları günden güne
107 arttırmaktadır. Günümüze kadar yapılan araştırmalarda zemin sıvılaşma değerleri yaklaşım
108 formüllerinden ya da kabul tablolarından faydalanılarak çıkarılmıştır. Sıvılaşma analiz

109 formülleri de denilen bu formülleri kullanılarak yapılan bir çalışmada, araziden alınan zemin
110 numunelerinin laboratuvar sonuçlarından çıkan sayısal verileri sıvılaşma kriterine göre
111 değerlendirilerek uzman görüşü ve yorumu alınmalıdır. Bu durumda, örneğin büyük bir
112 inceleme alanından toplanan zemin örnekleri üzerinde sıvılaşma analizi yapmak oldukça zaman
113 alacaktır. Kısacası, bu yöntemle yapılan çalışmalarda araştırmacılar veri, zaman gibi çeşitli
114 problemlerle karşılaşmaktadır.

115 1965 yılında temelleri atılan ve günümüzde birçok çalışma alanında kullanılan bulanık mantık
116 yöntemi mühendislik ve fen bilimlerinde pek çok problemin modellenmesi ve analizinde başarı
117 ile kullanılmış ve klasik programlamaya alternatif olmuştur. Geoteknik alanında yapılan
118 çalışmalarda da yaygın olarak kullanılan bulanık mantık, belirsizliklerin matematiksel olarak
119 ifade edilebilmesini ve karmaşık sistemlerin modellenmesine olanak sağlamaktadır.
120 Yerbilimleri alanında geoteknik çalışmalarda hem veri hem de süre açısından diğer yöntemlere
121 göre daha avantaj sağlaması nedeniyle Mamdani ve Sugeno bulanık mantık yaklaşımları gibi
122 modeller tercih edilmektedir. Bu bağlamda geoteknik alanında yapılan çalışmalardan biri de
123 zemin sıvılaşmasının bulanık mantık ile analiz edilmesidir.

124 Bu çalışma kapsamında zemin sıvılaşması gözlenen bir bölgeden alınan zemin numunelerinde
125 zemin sıvılaşma potansiyeli; yeraltı su seviyesi ve dane dağılımı içerisindeki yüzde kil
126 değerlerine göre bulanık mantık yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Mamdani Metodu
127 kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına göre zemin sıvılaşma potansiyeli; “düşük”, “orta” ve
128 “yüksek” olmak üzere üç kısımda değerlendirilmiştir. Bulanık mantık modeli üzerindeki
129 belirsizlikler, Önalp ve Arel (2002)’ in çalışmasındaki Adapazarı Kriteri doğrultusunda
130 giderilmeye çalışılmış ve modelin bu tür analizlerde kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

131 **2. Gereç ve Yöntem**

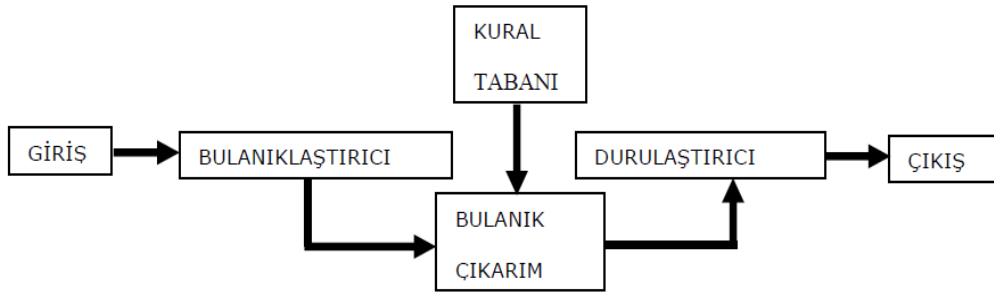
132 Bu çalışmada; 1999 Marmara depremi sonrası Adapazarı şehir merkezinde üniversite ve özel
133 firmalar tarafından yapılan zemin etüt verileri kullanılarak, zemin sıvılaşma potansiyeli

134 Mamdani bulanık mantık yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu tarz bir inceleme alanının
135 seçilmesinin nedeni hem zeminin olumsuz özelliği hem de bu tür zeminlerin deprem
136 performansı açısından az yerde gözlenen koşullarıdır.

137 Zemin sıvılaşma potansiyeli analizi ve tahmini için kullanılan kriterlerden biri, Çin’ de 1966 ve
138 1976 yılları arasında meydana gelen birkaç büyük depremde ince daneli zeminlerin
139 davranışlarının incelenmesiyle geliştirilen Çin Kriteri’ dir (Wang 1979). Önalp ve Arel
140 (2002)’ e göre Çin Kriteri, Adapazarı zemin verileri için bu bölgeye özgü biçimde geliştirmiştir.
141 Geliştirilen Adapazarı Kriterine göre zeminin: ML (TS1500/2000) sınıfında olması,
142 numunelerin doğal su muhtevasının likit limite eşit olması ($IL \geq 1$), likit limit değerinin 35’ den
143 küçük olması ve içerdiği kil boyutunun danelerin ($0.002mm \geq D$) %15’ ten az olması
144 gerekmektedir. Tüm bu koşulların aynı anda sağlanması durumunda bölgedeki siltler sıvılaşma
145 özelliği gösterir. Bu kriterde değerlendirilecek zeminler; standart penetrasyon deneyi değeri
146 SPT 10’ dan küçük ince daneli zemin olmalıdır. Ayrıca killi ve iri daneli zeminlerin
147 (TS1500/2000) sıvılaşmaz olduğu kabulü yapılmıştır.

148 İnsan düşünme biçimini modellemeye çalışan bulanık mantık yönteminin klasik matematiksel
149 yöntemlerden farkı, kesinliklerle çalışmaması ve niteliksel tanımlamalara olanak sağlamasıdır.
150 Bu yöntemde bir değişkenin doğruluk derecesi klasik mantığın aksine 0 ve 1 arasında değişen
151 bir değer almaktadır. Burada 1’ in değeri tam üyeliği gösterirken, 0’ a yakın değer ise bulanık
152 kümedeki nesne üyeliğinin zayıf olduğunu belirtir. 0 ve 1 arasında değişen bu üyelik dereceleri
153 öznel olarak tanımlı üyelik fonksiyonuyla ifade edilir. Üyelik fonksiyonları çeşitlilik
154 göstermekle beraber sıklıkla kullanılan türleri; üçgen, trapez ve çan biçimli üyelik
155 fonksiyonlarıdır. Bulanık girişimli sistemin temel yapısı üç kavramsal öğeden meydana
156 gelmiştir: Bulanık kuralların seçimini içeren “kural tabanı”, bulanık kurallarda kullanılan üyelik
157 fonksiyonlarının açıklayan “veri tabanı” ve kurallar doğrultusunda verilen bir durumdan
158 yargıya veya uygun bir çıkışa ulaştıran “mantık mekanizması”. Şekil 1’ de genel bir bulanık

159 mantık model sisteminin yapısı gösterilmektedir.



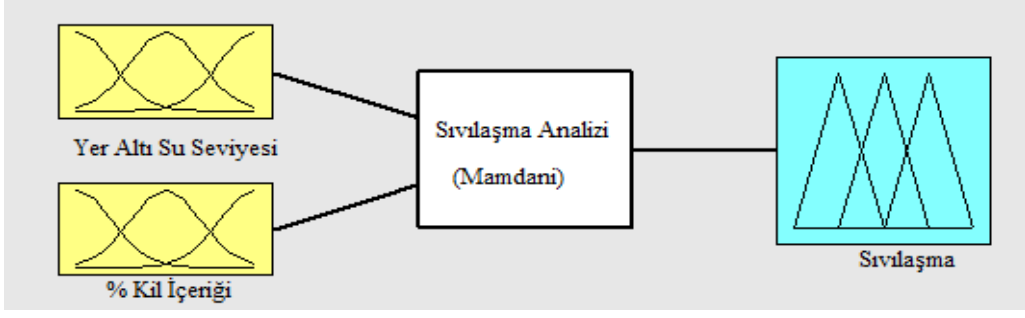
160

161 **Şekil 1.** Bulanıklaştırma-Durulaştırma birimli bulanık sistem

162 Bu çalışmada kullanılan Mamdani tipi bulanık mantık modeli; modelin oluşturulmasının basit
163 olması, diğer mantık modellerinin temelini oluşturması ve insan davranışlarına uygun olması
164 nedeniyle seçilmiştir. Bu model ilk kez bir buhar motorunun insan tecrübelerinden elde edilen
165 sözel kontrol kuralları yardımıyla kumadan etmek amacıyla kullanılmıştır (Mamdani ve
166 Assilian 1975).

167 **3. Elde Edilen Bulgular**

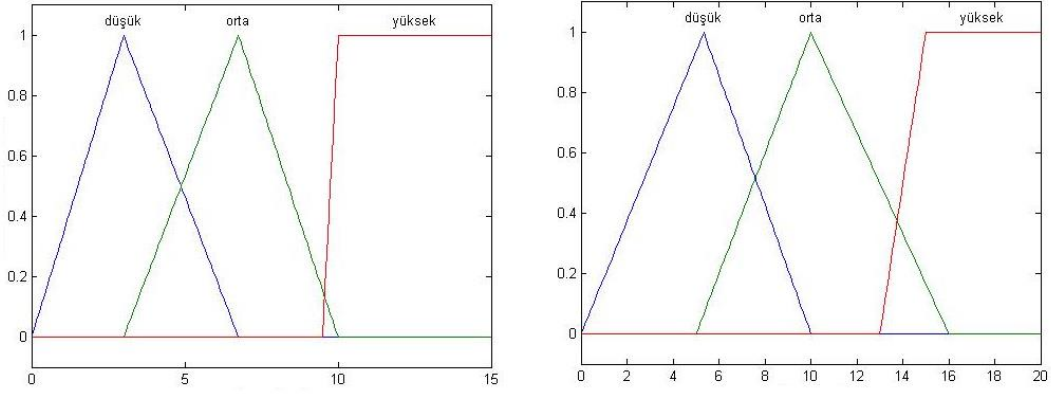
168 Bu çalışma kapsamında; Mamdani bulanık mantık modelinin Adapazarı kriterine uyarlanması
169 aşamasında, Matlab (2013) programının bulanık mantık editörü olan Fuzzy Toolbox' ı
170 kullanılmıştır. Fuzzy Toolbox' ta sistemin girdileri ve çıktıları tanımlandıktan sonra kural
171 tabanı oluşturulmuştur. Şekil 2' de çalışmanın hedefi doğrultusunda geliştirilen 2 girdi ve 1
172 çıktılı bulanık mantık modeli gösterilmiştir. Modele girdi olarak seçilen yer altı su seviyesi ve
173 zemin yüzde kil içeriği parametreleri için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 3' te
174 görülmektedir. Çıktı olarak seçilen zemin sıvılaşma olasılığına ait üyelik fonksiyonu ise Şekil
175 4' te görülmektedir.



176

177

Şekil 2. Geliştirilen modelin genel yapısı



178

179

Şekil 3. Yer altı su seviyesi ve Zemin yüzde kil içeriği için üyelik fonksiyonları.

180 Geliştirilen model için 15 tane kural uygulanmıştır. Bu kurallardan bazıları aşağıda verilmiştir:

181

- Eğer (yeraltı su seviyesi yüksek) ise (sıvılaşma az)

182

- Eğer (yeraltı su seviyesi düşük) ise (sıvılaşma yüksek)

183

- Eğer (kil yüzdesi orta) ise (sıvılaşma orta)

184

- Eğer (kil yüzdesi düşük) ise (sıvılaşma yüksek)

185

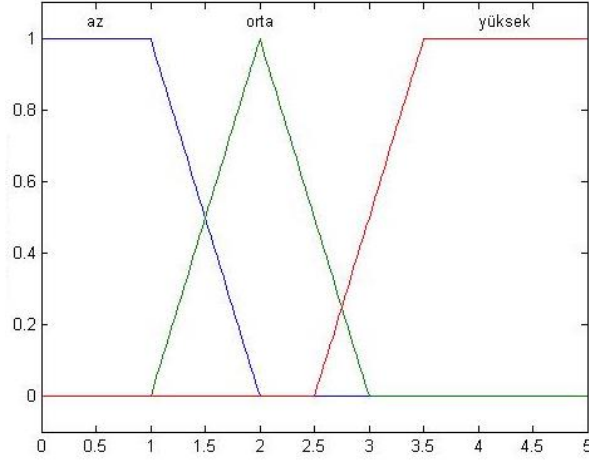
- Eğer (yeraltı su seviyesi düşük) ve (kil yüzdesi düşük) ise (sıvılaşma yüksek)

186

- Eğer (yeraltı su seviyesi düşük) ve (kil yüzdesi orta) ise (sıvılaşma orta)

187

- Eğer (yeraltı su seviyesi düşük) ve (kil yüzdesi yüksek) ise (sıvılaşma az)



188

189

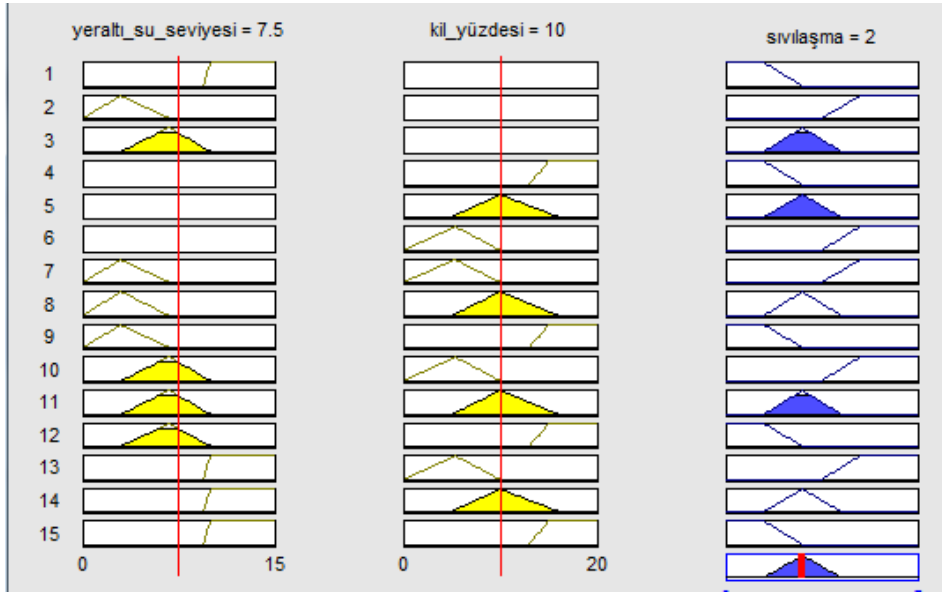
Şekil 4. Zemin sıvılaşma olasılığına ait üyelik fonksiyonu.

190

Adapazarı kriterine göre geliştirilen modelleme sonrasında hesap sonuçları kullanılarak modelin

191

geçerliliği test edilmiştir. Şekil 5’de modele ait bir örnek görülmektedir.



192

193

Şekil 5. Geliştirilen bulanık modele ait durulaştırma ekran ara yüzü

194

4. Sonuçlar ve Öneriler

195

Bu çalışmada bulanık mantık yöntemiyle geliştirilen modele göre Adapazarı şehir merkezinin

196

zemin sıvılaşma potansiyeli tahmin edilmeye çalışılmış, daha sonrasında ise geliştirilen

197

modellemenin tahmin ettiği sıvılaşma verileri klasik yöntemlerle elde edilen verilerle

198

karşılaştırılarak modelin güvenilirliği incelenmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda

199 geliştirilen model ile klasik yöntemlerle elde edilen sonuçlarının yüksek oranda tahmin
200 edilebildiği ve ayrıca geliştirilen model kullanılarak sıvılaşma analizinin tahmin edilebileceği
201 belirlenmiştir. Ancak bu yöntemin etkili bir şekilde kullanılması için bulanık mantık girdi ve
202 çıktı fonksiyonlarının uygun bir şekilde tanımlanması ve uygulanan bulanık mantık yönteminin
203 iyi seçilmesi gerekmektedir.

204 **5. Kaynaklar**

205 **Sünbül, AB. 2004.** Adapazarı zeminlerinde sıvılaşma unsurlarının belirlenmesi ve sıvılaşmanın
206 önlenmesi için çözümler geliştirilmesi. *Yüksek lisans tezi*, Sakarya Üniversitesi, 110 s.

207 **Önalp, A., Arel, E. 2002.** Siltlerin sıvılaşma yeteneği: Adapazarı kriteri”, *ZMTM 9. Ulusal*
208 *Kongresi*, Cilt 1, s. 363-372, Eskişehir.

209 **Wang, WS. 1979.** Some Findings in Soil Liquefaction, Water Conservancy and Hydroelectric
210 Power Scientific Research Institute, Beijing, China.

211 **Mamdani, EH., Assilian, S. 1975.** An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic
212 controller. *Int J Man Mach Stud.*, 7(1): 1–13.

213 **MATLAB® Fuzzy Logic Toolbox, 2000.** User’s Guide Version 2 The MathWorks, Inc.

214 **Terzaghi, K. 1947.** Shear characteristics of quick sand and soft clay. *Proc.7th Texas*
215 *Conference Soil Mechanics*, Paper 5.

216 **TS1500/2000.** İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, Türk Standartları
217 Enstitüsü, Ankara, 2000.