

## BULANIK MANTIK METODU İLE ADAPAZARI KRİTERİNE BAĞLI SIVILAŞMA POTANSİYELİ ANALİZİ

### POTENTIAL DETERMINATION OF SOIL LIQUEFACTION DEPENDENT ON ADAPAZARI CRITERIA BY USING FUZZY INFERENCE SYSTEM

SÜNBUİL A.B., SÜNBUİL F., KURNAZ T.F., GÜNDÜZ Z.,

**Posta Adresi:** Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 54187, Adapazarı, Sakarya

**E-posta:** bengusunbul@yahoo.com, fsunbul@sakarya.edu.tr, fkurnaz@sakarya.edu.tr, zgunduz@sakarya.edu.tr

**Anahtar Kelimeler:** Marmara Depremi, Sıvılaşma Potansiyeli, Mamdani-Bulanık mantık, Adapazarı Kriteri

**ÖZ:** İnceleme alanı Sakarya ili merkez ilçesi Adapazarı, İstanbul'un doğusunda yer alan ve 1999 Marmara depreminde en çok yapısal hasar ve can kaybının yaşandığı ülkemizin 200000 nüfuslu, tarım ve endüstri merkezi olan şehridir. Sakarya ilindeki hasar durumları incelendiğinde, konutların %65,8'inin depremi hasarsız olarak atlattığı, %34,2'sinin de depremden farklı derecelerde hasar gördüğü belirlenmiştir. Yapısal hasarların yanında, binalarda zemin sıvılaşması sonucunda batma, ötelenme ve dönme hareketleri gözlenmiştir. 1999 Marmara Depreminin ardından özel ve kamuya ait şirketler tarafından yapılan zemin sondajları sonucunda bölgede taşıma gücü ve zemin sıvılaşması bulgularına rastlanmıştır. Bu çalışmada inceleme alanında öncelikli olarak Önalp ve Arel (2002) tarafından özellikle Adapazarı zeminleri için önerilen Adapazarı kriteri kullanılarak sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir. Daha sonra Mamdani-Bulanık mantık yöntemi ile sıvılaşma potansiyeli belirlemede kullanılan likit limit, doğal su muhtevası, kil yüzdesi ve SPT sayıları girdi üyelik fonksiyonu olarak verilmiş, çıktı fonksiyonu olarak sıvılaşır veya sıvılaşmaz dilsel ifadeleri kullanılmıştır. Kural tabanı oluşturulmuş BM-Mamdani metodu ile oluşturulan sıvılaşma potansiyel analizi ile Adapazarı kriterine göre yapılan sıvılaşma potansiyeli analizi karşılaştırılmıştır. Oluşturulan modeli test etmek için 110 adet zemin etüt sonuç verisi kullanılmıştır.

**ABSTRACT:** Adapazarı city which is agricultural, business and industrial city to the east of Istanbul, Turkey with a population of around 200000, suffered the largest level of gross building damage and life loss of any city affected by 1999 Marmara Earthquake. Beside structural damages, ground failure and loss of bearing capacity and settlement of building due to the liquefaction occurred in Adapazarı city during the 1999 Marmara Earthquake was severe. After the earthquake, there is number of logs available from either private or owned companies have drilled boreholes, these results are used to make approaches. In this study the liquefaction potential has been analyzed by the fuzzy systems and Adapazarı Criteria (Önalp and Arel, 2002) in city of Adapazarı. Fuzzy system (FS) has been created depending on liquid limit, clay friction; natural moisture and SPT numbers were chosen as input dataset, liquefy and no liquefy were chosen as output data content to estimate liquefaction potential for city of Adapazarı. After, the results of created model have been compared with results of Adapazarı criteria.

## GİRİŞ

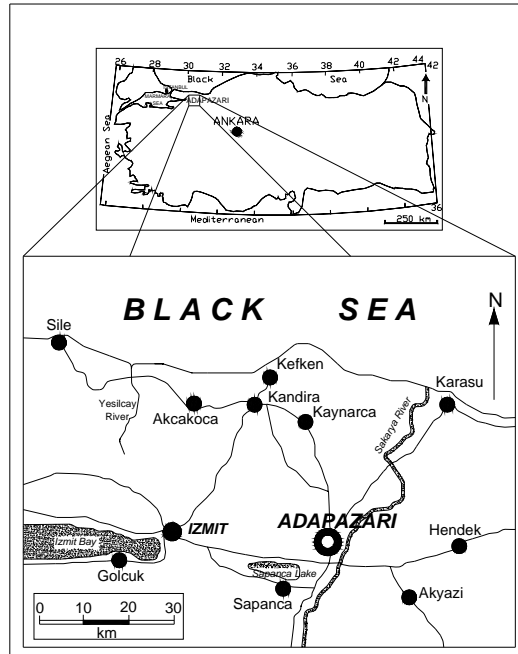
İnşaat mühendisliğinde binaların planlanması ve projelendirmesinde binaların konumlandırılacağı bölgenin zemin özelliklerinin bilinmesi gerekir. Ayrıca depremsellik durumunun hesaplara doğru etki ettirilmesi ileride olası bir depremde meydana gelecek can kayıpları içinde hayati önem taşımaktadır. Bunun için bölgede zemin sondajları açılır, sondajdan çıkan numuneler laboratuvarlarda deneylere tabi tutulur ve zemin türü, sıvılaşma potansiyeli, dane çapı zemin emniyet katsayısı, yeraltı su seviyesi gibi değerlere

ulaşarak zemin etütleri yapılır. Bu değerlerden elde edilen bazı katsayılar daha sonra betonarme hesaplarda kullanılır. Bölgenin depremselliği veya zemin özelliklerinin sivilaşma potansiyelleri göz önünde tutularak hesap katsayılarında değişiklikler yapılır.

Özellikle zemin türü, zemin kıvam limitleri, yeraltı su seviyesi, dane çapı değerleri zemin sivilaşması ile ilgilidir. Bu değerlerin doğru yorumlanması ile sivilaşma potansiyeli analizleri yapılır. Sivilaşma basit olarak gevşek, doymun kum zeminlerin deprem esnasında tekrarlı gerilmeler altında boşluk suyu basınçlarındaki artış nedeni ile ortaya çıkan suyun zemin yüzeyine doğru akış yapması sonucu kumda sivilaşma olarak tanımlanır[1,2]. Sivilaşma potansiyeli gösteren zeminlerde bina temelleri daha derinlere yapılmalı ve yapılacak yapılarda bina ağırlığı göz önünde tutulmalıdır.

Araştırmacılar sivilaşma değerlerini birçok kez yaklaşım formülleri ya da kabul tabloları yaparak belirlemeye çalışmışlardır. Sivilaşma analiz formülleri denilen bu formüllerin kullanımı süre ve veri gerektirmektedir. Bu çalışmada 1999 Marmara depremi sonrasında elde edilen veriler kullanılarak bölge hakkında ön bilgi sunan değerlere ulaşılmaya çalışılmıştır. Geleneksel yöntemlere ek olarak geri yayılmalı yapay sinir ağlarına dayalı analizler literatürde mevcuttur. Ancak literatürde bu ilişkiyi açıklayan bulanık mantık ile ilgili modellere rastlanılmamıştır.

Çalışma kapsamında verileri değerlendirilen inceleme alanı Adapazarı'nı özel kılan olumsuz zemin özellikleri ve bu zeminlerin deprem performansı açısından az yerde beliren koşulların varlığıdır (Şekil 1). Çalışma kapsamında, sunulan parametreler Richter ölçeğine göre 7,4 büyüklüğünde depreme maruz kalmış Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattı üzerinde yer alan Adapazarı şehir merkezinde deprem sonrası üniversite ve özel firmalar tarafından yapılan zemin etütlerinden elde edilmiştir. Bu veriler Mamdani bulanık mantık yaklaşım (Mamdani-BM) yöntemi kullanılarak sivilaşma potansiyelinin tahmini için modellenmiştir.



Şekil 1. İnceleme Alanı

Depremi kaçınılmaz olduğu bu bölgede zemin özelliklerinin bilinmesinin önemi ortadadır. Deprem sonrası kentin değişik yerlerinde siltlerin sivilaştığı ve bunun sonucunda da birçok yapının kullanılamaz hale geldiği görülmüştür. Bu çalışmada sivilaşma potansiyel analizi yönteminde kullanılan ölçüt Çin kriterinin Adapazarı zeminlerine göre Önalp ve Arel tarafından bölge zeminlerine uyarlanan Adapazarı kriteridir [3.4.8].

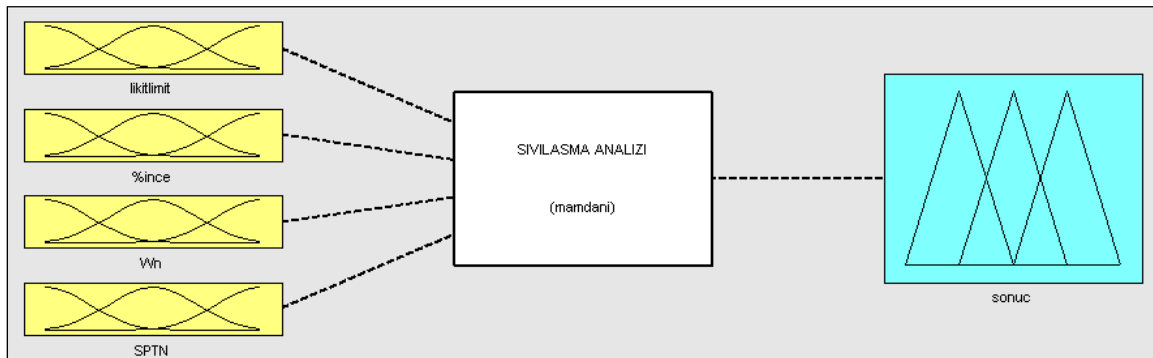
Çin kriteri Wang (1981) tarafından 1966-1976 yılları arasında meydana gelen birkaç büyük deprem sırasındaki zeminlerin davranışı incelenerek geliştirilmiş olan kriterdir. Daha sonra birçok bilim adamı tarafından zemin kil yüzdesi ( $<0.005$  mm) ve plastisite indisi göz önüne alınarak yeni korelasyonlar bulunmuştur. Önalp ve Arel siltlerin sıvılaşabilme potansiyelinin belirlenebilmesi için geçerli kabul edilen Çin kriterini, Adapazarı zeminleri özelinde sıvılaşmanın gözlemlendiği yerleri göz önüne alarak geliştirerek Adapazarı zeminleri için kullanılan buraya özgü bir kriter olarak belirlemişlerdir. Çalışmada kullanılacak olan Çin kriterine bağlı Adapazarı kriterine bağlı siltler şu koşullarda sıvılaşmaktadırlar.

- Siltler ML sınıfında (TS 1500/2000)
- Kil oranı ( $<2\mu\text{m}$ ) $<15\%$
- Likit limit (WL) $<30$
- Doğal su muhtevası  $W_n > W_L$  (IL $>1$  olmalı)
- SPT sayısı 10 dan küçük değerli ince daneli zeminler olmalıdır.

Bu çalışmada kullanılan siltli ve kumlu zeminler Adapazarı merkezinden alınan zeminlerdir. Bu zeminler için yapılan sıvılaşma potansiyeli analizi, killi ve iri daneli zeminlerde sıvılaşma olmadığı kabul edilerek yapılmıştır.

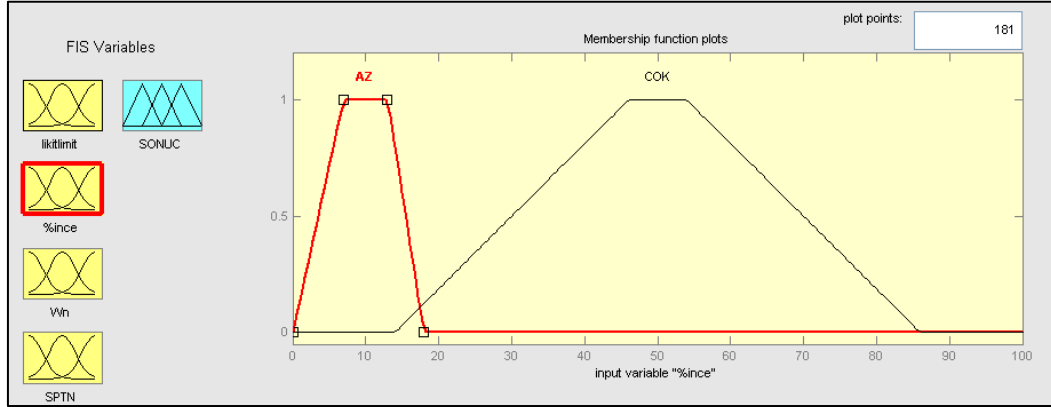
## ÇALIŞMA YÖNTEMİ OLARAK MAMDANI METODUNUN SIVILAŞMA ANALİZİNE UYGULANMASI

Bu çalışmada Sakarya Üniversitesi Geoteknik Laboratuvarı'ndan alınan bölgeye ait zemin etüt sonuçlarından elde edilen ML zemin numunelerinin likit limit (WL), doğal su muhtevası ( $W_n$ ), standart penetrasyon deneyi sonucunda bulunan SPTN ve numunedeki kil oranı ( $<2\mu\text{m}$ ) 4 gruba ayrılmış ve bunlar programa Girdi olarak verilmiştir. Her bir alt kümenin aralığı problemin özelliğine göre belirlenmiştir. Bu alt kümeler çok-az, büyük-küçük, gevşek-orta sıkı-sıkı olarak tanımlanmıştır. Alt kümelerin oluşturulmasında üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Ayrıca sonuç olarak belirlenen çıktı fonksiyonları da üçgen olarak 2 adet sıvılaşır ve sıvılaşmaz olarak tanımlanmıştır.

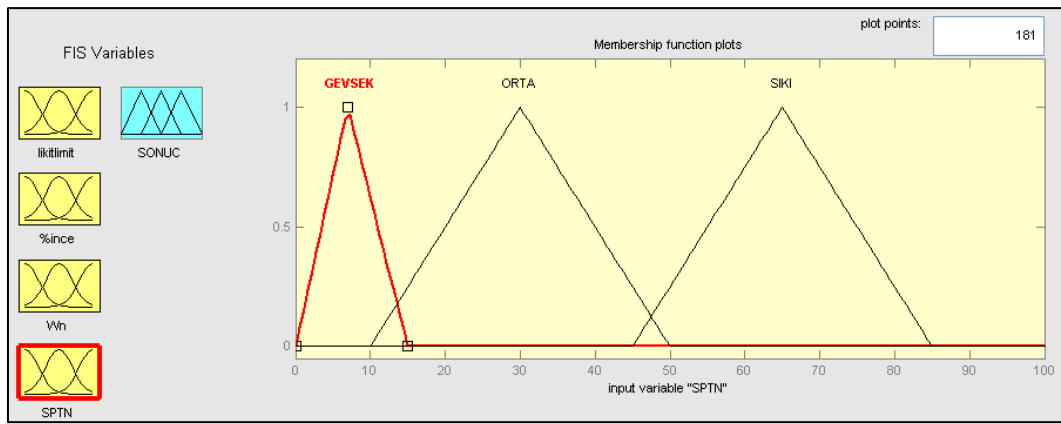


Şekil 2. 4 adet Girdi (WL,  $W_n$ , SPTN, %ince) ve 2 adet Çıktı (Sonuç)

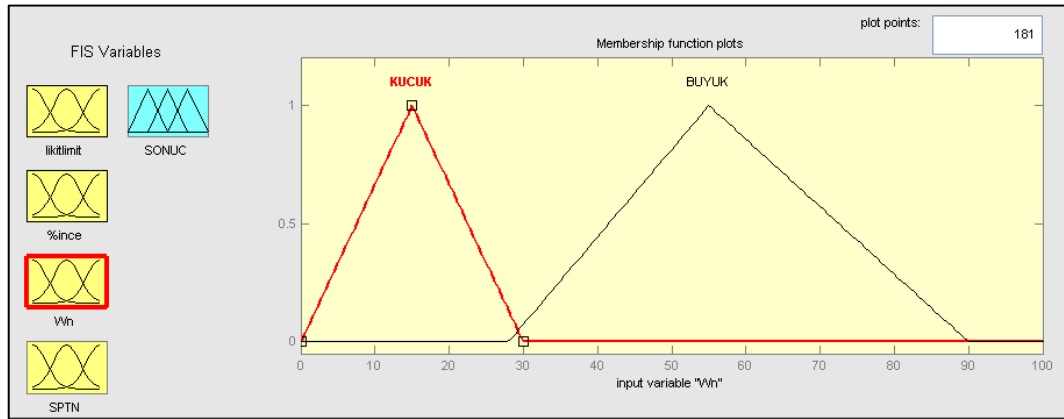
Ayrıca zemin özellikleri ve zemin sıvılaşması arasında ilişkiye dayalı oluşturulan alt kümelerden yola çıkarak kurallar tanımlanmıştır. Bu kurallar 15 adet olarak programa girilmiştir. Bulanık yaklaşım, bulanık kural tabanındaki tüm olası kuralları dikkate alarak girdilere karşılık gelen çıktıları öğrenerek sonuç üretir. Bu çalışmada, zemin özellikleri ve zemin sıvılaşması arasında ilişkiye dayalı oluşturulan alt kümelerden yola çıkarak kurallar tanımlanmıştır. Örneğin, "Eğer likit limit değeri 30' dan küçük yani AZ ise, doğal su muhtevası BÜYÜK ve SPTN GEVŞEK ise ve son olarak %ince değeri AZ ise zemin SIVILAŞIR." Bulanık yaklaşım, bulanık kural tabanındaki tüm olası kuralları dikkate alarak girdilere karşılık gelen çıktıları öğrenerek sonuç üretir.



Şekil 3. Girdi Fonksiyonu %İnce

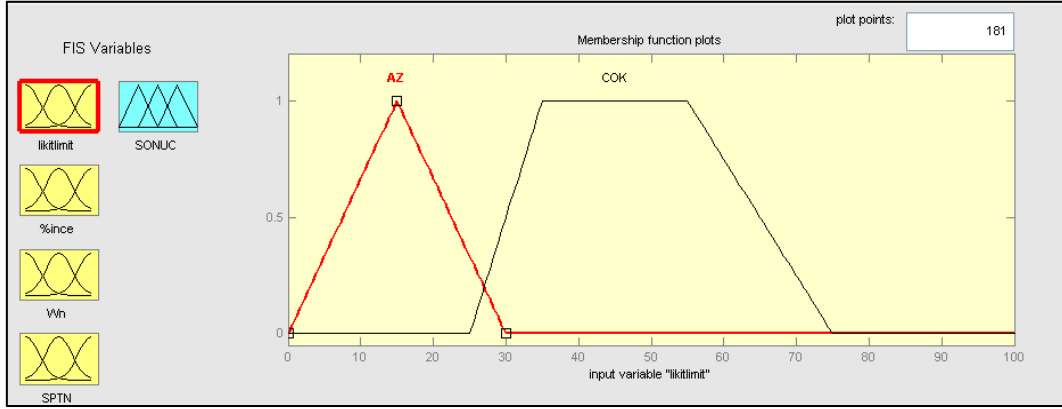


Şekil 4. Girdi Fonksiyonu SPTN



Şekil 5. Girdi Fonksiyonu Wn Doğal Su Muhtevası

Bu çalışmada Adapazarı Kriteri temel alınarak zemin etüdü sonucu elde edilen zemin parametreleri ile sıvılaşma analizi yapılmıştır. Sıvılaşma olasılığı Mamdani Bulanık mantık metoduyla elde edilmiştir. Oluşturulan sistem ile WL likit limit, Wn doğal su muhtevası, %kil, SPTN ile sıvılaşma olasılığı analizi yapılmıştır. Modelde 110 adet zemin etüdü değeri test edilmiştir. Çalışma ile test edilen zemin etütleri Adapazarı merkez mahalleleri verilerdir ve rasgele datalar seçilmiştir.



**Şekil 6.** Girdi Fonksiyonu WL Likit Limit

Elde edilen 10 adet sonuç Tablo 1 de gösterilmektedir. Çalışmadaki amaç belirli bir bölgedeki tabakalı zeminlerde zemin parametrelerinin sıvılaşma üzerindeki etkileri araştırmaktır. Bölge 1999 Marmara depreminden etkilenen alan üzerinde odaklanmıştır. Bu çalışma ile Mamdani Bulanık Mantık metodunun zeminlerin sıvılaşma analizi yapılmasında kullanılabileceği görülmüştür.

**Tablo 1.** Adapazarı kriteri ve FİS karşılaştırma tablosu

Likit Limit $w_L$	Doğal su muhtevası $w_n$	% KİL	SPTN	Adapazarı Kriteri	FİS
29,0	43,0	12	10,0	LQ	LQ
38,0	36,0	15	25,0	NLQ	NLQ
29,0	32,0	14	9,0	LQ	LQ
30,0	37,0	18	9,0	LQ	LQ
26,0	41,0	12	0,0	LQ	LQ
23,0	36,0	16	17,0	NLQ	NLQ
19,0	30,0	16	19,0	NLQ	NLQ
24,0	26,0	13	16,0	LQ	LQ
35,0	37,0	18	10,0	NLQ	NLQ
27,0	38,0	14	4,0	LQ	LQ

Likit Limit  $w_L$ , Doğal su muhtevası  $w_n$ , % KİL, SPTN

## TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Sayısal ve bilgi destekli yapay zekâ uygulamaları geoteknik mühendislerine geleneksel sıvılaşma tahkiklerine alternatif yöntemler olarak sunulmaktadır. Arazi penetrasyon deneyleri sonuçlarına dayanan basitleştirilmiş sıvılaşma potansiyeli analizleri düşük maliyetlerle oldukça güvenli sonuçlar vermektedir. Geleneksel yöntemlere ek olarak geri yayımlı yapay sinir ağlarına dayalı analizler de literatürde mevcuttur.

Çalışmanın amacı Mamdani esnek modelleme yöntemi kullanılarak, Adapazarı bölgesinde ölçülen zemin parametrelerine göre zemin sıvılaşma analizi yapmaktır. Bu çalışmada sunulan bütün zemin parametreleri Richter ölçeğine göre 7,4 büyüklüğünde depreme maruz kalmış Kuzey Anadolu Fay hattında yer alan Adapazarı şehrinde elde edilmiştir. Kuzey Anadolu fayının 10 km uzağında yer alan Adapazarı şehrinde en büyük yer ivmesi değeri 0,4g olarak kaydedilmiştir[1.2.3].

Adapazarı'nda gözlenen sıvılaşmanın genellikle siltlerde oluştuğunu ve sıvılaşma analizlerinin geleneksel metodlara göre yapılmasının ilk belirlemelerde zaman kaybına neden olabileceği göz önünde tutulduğunda, sıvılaşma potansiyeli kontrolü için önerilen

Adapazarı kriterine göre hazırlanan bulanık mantık yönteminin kullanılması doğru sonuçlar vermektedir.

Ancak yöntemin kullanılabilir olarak kabul edilmesi için ayrıntılı çalışma yapılması önerilir. Ayrıca parametre sayısı ve kullanılan zemin etüt dataları sayısı artırılarak daha güvenli sonuçlar alınması için çalışmalar detaylı yapılmalıdır. Çalışma kapsamında bir girdiye karşılık bir girdi çıktı alınmasına karşın, programın göze hitap etmesi hata yapma olasılığını düşürmektedir. Ayrıca problemi insan mantığıyla kavrayıp iyi bir şekilde analiz etmesi ve sonuçlar vermesi geoteknikte diğer alanlara uygulanması açısından cesaret vericidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Sunbul, A.B.(2004) "Adapazarı Zeminlerinde Sıvılaşma Unsurlarının Belirlenmesine ve Sıvılaşmanın Önlenmesi için Çözümler Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi.
- [2] Sunbul A.B, Gunduz Z, Arman, H. (2005), "Overview of Ground Improvement Applications in Adapazarı City After 1999 Marmara Earthquake in Turkey", 6th Int. Conference on Ground Improvement Techniques, Coimbra, Portugal.
- [3]Tezcan, S. S., (2001), Liquefaction Lecture Notes, Boğaziçi University , Department Of Civil Engineering, Bebek, Istanbul, Turkey.
- [4] Yasuda, S., Irisava, T. and Irisava, T. (2001),"Settlement of Buildings Due to Liquefaction During the 1999 Kocaeli Earthquake", XV ICSMGE TC4 Satellite Conference on "Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes, pp. 77-82, Istanbul, Turkey.
- [5] F. Temurtas, C. Tasaltin, H. Temurtas, N. Yumusak, Z.Z. Ozturk, (2003), Fuzzy Logic and Neural Network Applications on the Gas Sensor Data: Concentration Estimation, Lect Notes Comput Sc, Vol. 2869, 178-185.
- [6] MATLAB® Documentation (2002) Neural Network Toolbox Help, Version 6.5, Release 13, The MathWorks, Inc.
- [7] Seed H.B., Idriss I.M, (1971) Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, J. Soil Mech. And Found.Div.ASCE; 97(9):1249-1273.
- [8]ÖNALP,A.,AREL.E.,(2002),"Siltlerin sıvılaşma yeteneği:Adapazarı Kriteri",Zemin Mekaniği Ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi,Cilt 1,Sayfa 363-372, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.