



Zemin Sıvılaşma Potansiyelinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi

The Modelling of Liquefaction Potential by Neuro-Fuzzy Technique

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

¹Bülent Ecevit Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

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

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

Öz

Zemin sıvılaşma kavramı; deprem gibi dinamik etki altındaki kohezyonsuz zeminin kayma mukavemetinin hızlı bir şekilde kaybolmasıdır. Bu kavramın mühendislik yapı tasarımındaki önemi, zeminde sıvılaşmaya bağlı oluşan yapısal hasarların ve meydana gelen can kayıplarının gözlemlendiği geçmiş depremlerden anlaşılmıştır. Zemin sıvılaşma potansiyeli analizini etkileyen temel parametreler; zeminin dane boyu açısından sıvılaşabilir özellikte olması, yeraltı suyu durumu ve derinliği, sıvılaşabilir tabakanın kalınlığı ve yüzeye olan mesafesi, zeminin ince dane oranı ve ortam zemininde sıvılaşma meydana getirebilecek deprem büyüklüğüdür. Literatürde tüm bu parametre etkilerinin göz önünde bulundurulduğu ampirik ve numerik metotlar ile yapılan birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmada; 1999 Marmara Depremi'nde zemin koşullarına bağlı olarak zemin sıvılaşması gözlenen Adapazarı şehir merkezinin zemin sıvılaşma potansiyeli; yeraltı su seviyesi ve dane dağılımı içerisindeki yüzde kil değerleri kullanılarak klasik karşılaştırma yöntemleri ve belirsizliğin var olduğu durumlarda kullanılan Bulanık Mantık yaklaşımından yararlanılarak analiz edilmiştir. Bulanık mantık yaklaşımlarından Mamdani metodu kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına göre zemin sıvılaşma potansiyeli; "düşük", "orta" ve "yüksek" olmak üzere üç kısımda değerlendirilmiştir. Onalp ve Arel'in çalışmasındaki Adapazarı Kriteri doğrultusunda bulanık mantık ile model üzerindeki belirsizlikler giderilmeye çalışılmış ve bu yaklaşımın analizlerde kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar analitik çözümler ile karşılaştırıldığında yüksek oranda uyumlu sonuçlar vermiştir. Buna göre bulanık mantık yönteminin, depreme dayalı zemin parametreleri arasındaki ilişkiyi doğru ve hızlı tahmin etmesi ve analitik yöntemlerle uyumlu sonuçlar vermesi açısından sayısal yöntemlere göre daha pratik ve kullanışlı bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık, 1999 Marmara depremi, Zemin sıvılaşması

Abstract

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

Keywords: Neuro-fuzzy, 1999 Marmara earthquake, Liquefaction

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: bengusunbul@yahoo.com

1. Giriş

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

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

Sıvılaşma kökenli deprem hasarları bu konuda yapılan araştırmaları günden güne arttırmaktadır. Günümüze kadar yapılan araştırmalarda zemin sıvılaşma değerleri yaklaşım formüllerinden ya da kabul tablolarından faydalanılarak çıkarılmıştır. Sıvılaşma analiz formülleri de denilen bu formüller kullanılarak yapılan bir çalışmada, araziden alınan zemin numunelerinin laboratuvar sonuçlarından çıkan sayısal verileri sıvılaşma kriterine göre değerlendirilerek uzman görüşü ve yorumu alınmalıdır. Bu durumda, örneğin büyük bir inceleme alanından toplanan zemin örnekleri üzerinde sıvılaşma analizi yapmak oldukça zaman alacaktır. Kısacası, bu yöntemle yapılan çalışmalarda araştırmacılar veri, zaman gibi çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır.

1965 yılında temelleri atılan ve günümüzde birçok çalışma alanında kullanılan bulanık mantık yöntemi mühendislik ve fen bilimlerinde pek çok problemin modellenmesi ve analizinde başarı ile kullanılmış ve klasik programlamaya al-

ternatif olmuştur. Geoteknik alanında yapılan çalışmalarda da yaygın olarak kullanılan bulanık mantık, belirsizliklerin matematiksel olarak ifade edilebilmesini ve karmaşık sistemlerin modellenmesine olanak sağlamaktadır. Yerbilimleri alanında geoteknik çalışmalarda hem veri hem de süre açısından diğer yöntemlere göre daha avantaj sağlaması nedeniyle Mamdani ve Sugeno bulanık mantık yaklaşımları gibi modeller tercih edilmektedir. Bu bağlamda geoteknik alanında yapılan çalışmalardan biri de zemin sıvılaşmasının bulanık mantık ile analiz edilmesidir.

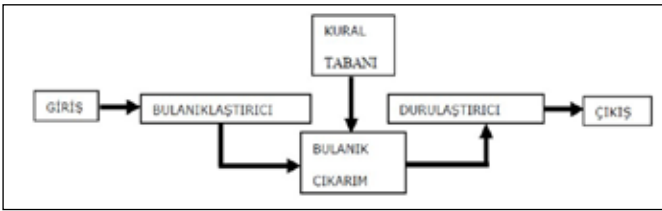
Bu çalışma kapsamında zemin sıvılaşması gözlenen bir bölgeden alınan zemin numunelerinde zemin sıvılaşma potansiyeli; yeraltı su seviyesi ve dane dağılımı içerisindeki yüzde kil değerlerine göre bulanık mantık yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Mamdani Metodu kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına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

2. Gereç ve Yöntem

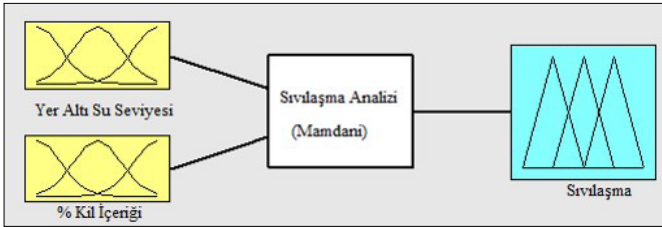
Bu çalışmada; 1999 Marmara depremi sonrası Adapazarı şehir merkezinde üniversite ve özel firmalar tarafından yapılan zemin etüt verileri kullanılarak, zemin sıvılaşma potansiyeli Mamdani bulanık mantık yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu tarz bir inceleme alanının seçilmesinin nedeni hem zeminin olumsuz özelliği hem de bu tür zeminlerin deprem performansı açısından az yerde gözlenen koşullarıdır.

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

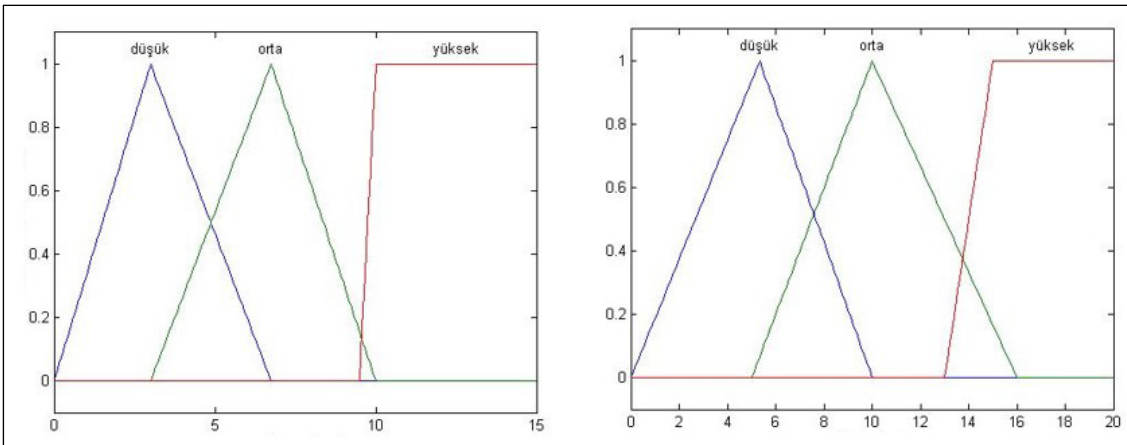
İnsan düşünme biçimini modellemeye çalışan bulanık mantık yönteminin klasik matematiksel yöntemlerden farkı, kesinliklerle çalışmaması ve niteliksel tanımlamalara olanak sağlamasıdır. Bu yöntemde bir değişkenin doğruluk derecesi klasik mantığın aksine 0 ve 1 arasında değişen bir değer almaktadır. Burada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



Şekil 1. Bulanıklaştırma-Durulaştırma birimli bulanık sistem.



Şekil 2. Geliştirilen modelin genel yapısı.



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

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

3. Bulgular

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

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

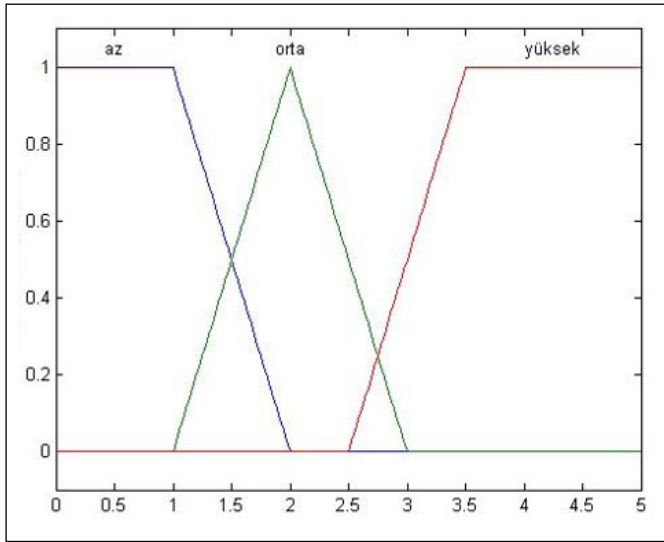
- Eğer (yeraltı su seviyesi yüksek) ise (sıvılaşma az)
- Eğer (yeraltı su seviyesi düşük) ise (sıvılaşma yüksek)
- Eğer (kil yüzdesi orta) ise (sıvılaşma orta)
- Eğer (kil yüzdesi düşük) ise (sıvılaşma yüksek)
- Eğer (yeraltı su seviyesi düşük) ve (kil yüzdesi düşük) ise (sıvılaşma yüksek)
- Eğer (yeraltı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

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

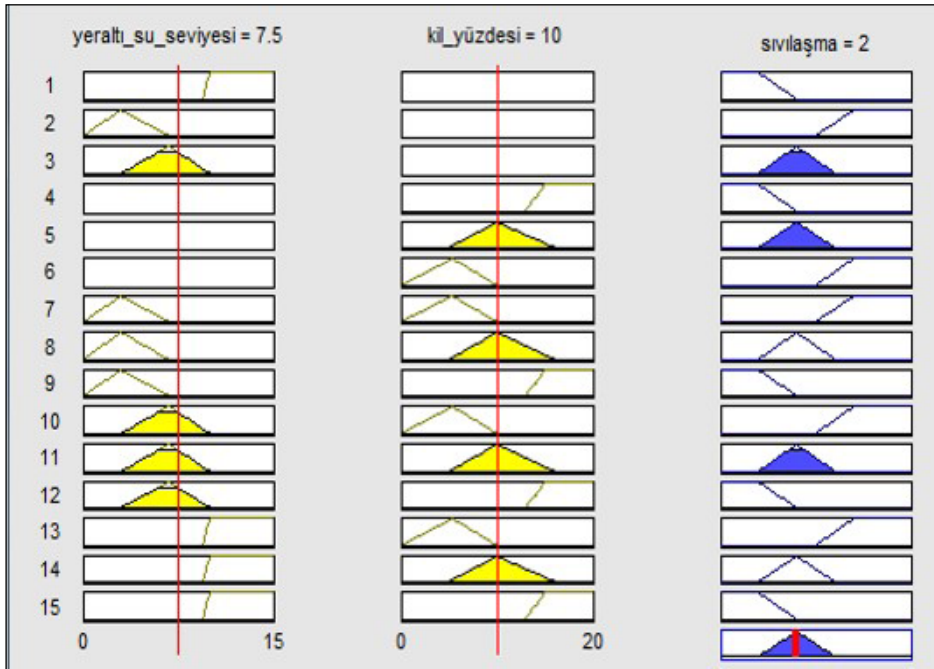
Adapazarı kriterine göre geliştirilen modelleme sonrasında hesap sonuçları kullanılarak modelin geçerliliği test edilmiştir. Şekil 5'de modele ait bir örnek görülmektedir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada bulanık mantık yöntemiyle geliştirilen modele göre Adapazarı şehir merkezinin zemin sıvılaşma potansiyeli tahmin edilmeye çalışılmış, daha sonrasında ise geliştirilen modellemenin tahmin ettiği sıvılaşma verileri



Şekil 4. Zemin sıvılaşma olasılığına ait üyelik fonksiyonu.



Şekil 5. Geliştirilen bulanık modele ait durulaştırma ekran ara yüzü.

klasik yöntemlerle elde edilen verilerle karşılaştırılarak modelin güvenilirliği incelenmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda geliştirilen model ile klasik yöntemlerle elde edilen sonuçlarının yüksek oranda tahmin edilebildiği ve ayrıca geliştirilen model kullanılarak sıvılaşma analizinin tahmin edilebileceği belirlenmiştir. Ancak bu yöntemin etkili bir şekilde kullanılması için bulanık mantık girdi ve çıktı fonksiyonlarının uygun bir şekilde tanımlanması ve uygulanan bulanık mantık yönteminin iyi seçilmesi gerekmektedir.

5. Kaynaklar

- Sünbül, AB. 2004.** Adapazarı zeminlerinde sıvılaşma unsurlarının belirlenmesi ve sıvılaşmanın önlenmesi için çözümler geliştirilmesi”, *Yüksek lisans tezi*, Sakarya Üniversitesi, 110 s.
- Önalp, A., Arel, E. 2002.** Siltlerin sıvılaşma yeteneği: Adapazarı kriteri”, *ZMTM 9. Ulusal Kongresi*, Cilt 1, s. 363-372, Eskişehir.
- Wang, WS. 1979.** Some Findings in Soil Liquefaction, Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing, China.
- Mamdani, EH., Assilian, S. 1975.** An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *International Journal of Man-Machine Studies* 7(1), s.1-13
- MATLAB® Fuzzy Logic Toolbox, 2000.** User's Guide Version 2 The MathWorks, Inc.,
- Terzaghi, K. 1947.** Shear characteristics of quick sand and soft clay”, *Proc. 7th Texas Conference Soil Mechanics*, Paper 5.
- TS1500/2000.** İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.