

E TİMEN S Z SINIFLAMA ALGORİTİMALARI İLE SIVILA MA D RENÇ N N SINIFLANDIRILMASI

A. Sezer¹, D. Erdogan², A.B. Göktepe¹, S. Altun¹, .Kalıpcılar³

¹Doç. Dr., n aat Mühendisli i Bölümü, Ege Üniversitesi, zmir

²Yrd. Doç. Dr., n aat Mühendisli i Bölümü, Ege Üniversitesi, zmir

³Ara tırma Görevlisi, n aat Mühendisli i Bölümü, Ege Üniversitesi, zmir

Sorumlu Yazar Email: alper.sezer@ege.edu.tr

ÖZET:

Deprem yüklem e ko ulları etkisi altında suya doygun gev ek kumlu zeminler sıvıla maya maruz kalabilmektedir. Sıvıla manın seviyesine ba lı olarak, binalarda ve zemin ortamında olu acak hasarın derecesi de i mektedir. Zeminlerin sıvıla ma potansiyelinin de erlendirilebilmesi için kullanılan yakla ımlar, de i ik sınıflandırma parametreleri, yüklem e ko ulları, ortamın karakteristiklerini baz alan bir metodu temel almaktadır. Öte yandan, bu yakla ımlar zemin profili hakkında detaylı parametrik bilgi ve bu bilginin de erlendirilmesi için büyük miktarda zaman gerektirmektedir. Bu çalı mada, e itmensiz ö renme yöntemini kullanan bulanık c-ortalamarı, k-ortalamarı ve kendini ayarlayabilen haritalar yöntemleri ile zeminlerin sıvıla ma potansiyeli sınıflandırılmı tır. Problemin do asında bulunan belirsizlikler bulanık mantık ile sa lanan esnek yorumlama kabiliyeti ile bertaraf edilmi , sonuçlar, bulanık c-ortalamarı yönteminin sıvıla ma potansiyelinin de erlendirilmesinde pratik ve kullanım potansiyeline sahip bir araç oldu unu göstermi tir.

ANAHTAR KELİMELER: Sıvıla ma, c-ortalamarı, k-ortalamarı, kendini ayarlayabilen haritalar.

1. GİRİŞ

Sıvıla ma geçmi te meydana gelmi olan büyük depremlerde özellikle gev ek suya doygun kumlu ve siltli zeminlerin hakim oldu u zemin profillerinde yo un olarak gözlenmi ve büyük çapta hasara neden olmu bir olgudur. Konu ile ilgili ilk gözlemler 1964 Niigata ve Alaska depremleri ile ön plana çıkmı , sonrasında meydana gelen Loma Prieta 1989, Kobe 1995, Christchurch 2011, Marmara 1999 gibi büyük depremler sonrasında hasar yaratıcı etkisi ile sürekli olarak kanıtlanmı olan sıvıla ma olgusu, gerek teorik ve gerekse laboratuvar ve arazide gerçekte tirilen deneysel çalı malar ile geoteknik deprem mühendislerinin temel ara tırma konularından bir tanesi olma niteli ini halen korumaktadır. Bu depremler sırasında gev ek suya doygun kumlu zeminler ve dü ük plastisiteli siltli kumlar sıvıla ma ve buna ba lı olarak yüksek düzeylerde oturmalar ve yanal yayılmalar sergilemi , kil zeminlerde, özellikle yumu ak killerde ise ta ıma gücü kayıpları ön plana çıkmı tır.

Sıvıla ma en genel anlamda, suya doygun kumlu zeminlerde, dinamik yüklemeye ba lı olarak zeminin sıkı ma yönünde hacim de i imi e ilimi göstermesi, bu arada dinamik yüklemenin çok hızlı olmasından dolayı drenajsız yüklem e ko ullarının hakim olması ve paralelinde sıkı ma yönündeki hacim de i iminin meydana gelememesinden dolayı artan bo luk suyu basınçlarının efektif gerilmeleri azaltması sonucu kayma dayanımı ve rijitlik azalımı ekinde tanımlanabilir. Öte yandan, arazide sıvıla ma adı altında tanımlanan fakat farklı mekanizmaların hakim oldu u akma sıvıla ması ve çevrimsel hareketlilik davranı larından söz etmek mümkündür. Akma sıvıla ması, arazide zeminin mevcut durumda maruz kaldı ı statik kayma gerilmelerinin kayma dayanımından yüksek olması durumunda ve çok ani geli en bir sıvıla ma türüdür, Kayma dayanımı kaybı ile birlikte çok yüksek yanal deformasyonlar meydana gelir. Akma sıvıla ması daha çok suya doygun gev ek kumlu zeminlerde gözlenen bir mekanizmadır. Çevrimsel oynaklık ise orta sıkı ve sıkı suya doygun kumlu zeminlerde, mevcut statik kayma gerilmelerinin zeminin kayma dayanımından daha dü ük seviyelerde bulundu u durumda meydana gelen ve zeminin efektif gerilme durumundaki de i imlere ba lı olarak birbiri

ardısıra dayanım kaybetmesi ve yeniden kazanması nedeni ile artımlı olarak meydana gelen deformasyonları temsil eden bir mekanizmadır.

Bir zemin profilinde sıvılaşma eğilimli zeminlerin bulunup bulunmadığı, bu tür zeminlerin bulunması durumunda sıvılaşmanın oluşma olasılığının olup olmadığı ve sıvılaşma meydana gelmesi durumunda oluşacak deformasyonların (yanal yayılma ve sıvılaşma sonrası oturmalar) belirlenmesi sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde uygulanan klasik bir yöntemdir. Özellikle sıvılaşma potansiyeli bulunan zemin tabakalarında sıvılaşmanın oluşumunun belirlenmesinde kullanılan yöntemler (çevrimsel gerilme oranı, çevrimsel deformasyon yaklaşımı, enerji yöntemleri ve efektif gerilme tabanlı yöntemler) çok çeşitli olmakla beraber farklı deprem ve zemin parametrelerinin belirlenmesi ve kullanımını gerektirmektedirler. Seed ve Idriss (1971) yöntemi doğrudan test edilmiş ve uygulamada pratikte de çok kullanılan bir yöntemdir. Öte yandan boşluk suyu basınçlarının ve paralelinde gelişen kayma dayanımı ve rijitlik değerlerinin zamana bağlı olarak belirlendiği efektif gerilme tabanlı modeller sıvılaşma tahmininde daha etkin bir rol oynamaktadır. Ancak bu modeller karmaşık model parametrelerinin gerek laboratuvar ve gerekse arazi deneyleri ile belirlenmesi ve kalibrasyonunu gerektirmektedir. Bu açıdan bakıldığında arazide gözlenen ve üstyapıda ciddi hasarlara, can ve mal kaybına yol açan bu olgunun basitleştirilmiş bir yöntemle değerlendirilmesi, pratik anlamda kazanımlar sağlayabilir. Bu kapsamda, bu çalışmada geçmişteki vaka analizlerinde derlenen veriler kullanılarak etkin sınıflandırma algoritmalarının sıvılaşma eğilimli zemin tahminindeki etkinliği araştırılmıştır.

2. ETKİNSİZ SINIFLANDIRMA ALGORİTMALARI

Sınıflandırma algoritmaları, farklı davranışların gruplandırılmasında kullanılan faydalı araçlardır. Aşağıda k-ortalama, bulanık c-ortalama ve kendini ayarlayabilen haritalar ile ilgili öz bir bilgi verilmiştir.

2.1. K-ortalama yöntemi

Etkensiz sınıflandırma algoritmaları iteratif olarak farklı davranıştaki verilerin merkez noktalarını tekrar tekrar hesaplamakta, bu merkez noktalarına uzaklığın minimize edilmesini amaç edinmektedir. MacQueen K-ortalama yöntemi (KOY), en kolay kümeleme algoritmalarından birisidir (MacQueen, 1967). Yöntem, iki nokta (veri noktası ile o verinin ait olduğu grubun merkez noktası) arasındaki Oklit uzaklığı, d_{ik} , aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Ross, 1985):

$$d_{ik} = \|x_k - v_i\| = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ki} - v_i)^2} \quad (1)$$

burada, d_{ik} , i . nokta ile k . küme merkezi arasındaki mesafe, x_{ki} , sınıflanacak veri koordinatı, v küme merkez koordinat vektörü ve m girdi verisinin boyutudur. Girdilerin koordinatlarını ve özellik sayısını içeren matris (x), aşağıda verildiği gibi uzaklıklar matrisini en küçükleyen yöntem ile c gruba ayrılır (Lanhai, 1988):

$$\min[J(\mathbf{U}, \mathbf{v})] = \min \left[\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c t(d_{ik})^2 \right] \quad (2)$$

burada, \mathbf{U} ayırma matrisi ve t özel bir fonksiyondur (Ross, 1985):

$$t_i(x_k) = \begin{cases} 1 & \text{eger } x_k \in i. \text{ küme} \\ 0 & \text{eger } x_k \notin i. \text{ küme} \end{cases} \quad \text{ve } \mathbf{U} = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_c\} \quad (3)$$

Nihayetinde, grupların merkezlerinin oluşturduğu matris (\mathbf{v}) aşağıdaki gibi elde edilir:

$$v_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n t_{ik} x_{kj}}{\sum_{k=1}^n x_{ik}} \quad (4)$$

Daha sonra, uzaklıklar matrisi hesaplanır ve amaç fonksiyonundan elde edilen hata, belli bir tolerans değerinden küçük tutulmaya çalışılır. Eğer hata toleransın altında değilse, yeni ayırma matrisi hesaplanır (Lanhai, 1988):

$$t_{ij}(t+1) = \begin{cases} 1 & \text{eger } d_{ik}(t) = \min[d_{jk}(s)] \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (5)$$

burada, t iterasyon adıdır. K-ortalamları algoritmasında başlangıç küme merkezi seçimi sonucu doğrudan etkilmektedir (Lanhai, 2004).

2.2. Bulanık c-ortalamları yöntemi

k-ortalamları yönteminde bir nokta, bir gruba ait olabilir veya olmayabilir, ancak bulanık c-ortalamları yönteminde, noktaları kümelerle kısmi üyelik söz konusudur (Bezdek, 1981). Bulanık c-ortalamları yönteminde bir noktanın herhangi bir kümeye olan kısmi üyelik değeri, 0 ile 1 arasında değişir ve toplamı bir değer almaktadır. Algoritmanın çalışması esnasında, noktanın birden çok kümeye üyelik dereceleri karşılaştırılarak, hangi kümeye “daha üye” olduğu belirlenmektedir (Wu ve Yang, 2001).

Yöntemde ilk olarak rastgele belirlenmiş başlangıç ayırma matrisi kullanılarak küme merkezleri hesaplanmaktadır:

$$v_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n \tilde{\mu}_{ik}^{m'} \times x_{kj}}{\sum_{k=1}^n \tilde{\mu}_{ik}^{m'}} \quad (6)$$

k-ortalamlarına benzer olarak, v küme merkezlerinin oluşturduğu matris, x bir noktayı tanımlayan bulanık üyelik matrisi, μ_{ik} i . kümedeki k . veri noktasının üyelik değeri ve m' ağırlık parametresi olarak tanımlanmaktadır. Daha sonra, uzaklıklar matrisi (d) hesaplanıp k-ortalamları yönteminde gösterilen hata kriterine dayalı olarak, ayırma matrisi (U) aşağıdaki gibi revize edilir (Ross, 1985):

$$u_{ik}(t+1) = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{d_{ik}(t)}{d_{jk}(t)} \right)^{\frac{2}{m'-1}}} \quad (7)$$

burada, t iterasyon adıdır. Böylece uzaklıklar için hesaplanan hata toleranstan küçük kalmıncaya kadar iterasyon devam eder. Minimize edilecek amaç fonksiyonu ise aşağıdaki gibidir (Amini, 2003):

$$\min [J_m(\mathbf{U}, \mathbf{v})] = \min \left[\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c (\tilde{\mu}_{ik})^{m'} \times (d_{ik})^2 \right] \quad (8)$$

2.3. Kendini ayarlayabilen haritalar

Kohonen (1982) tarafından öne sürülen kendini ayarlayabilen haritalar (KAH), rekabetçi öğrenme yöntemini kullanır ve çıktı sinir bir sinir ağı yardımı ile yarı tırılarak kazanan hücre belirlenir (Haykin, 1998). KAH mimarisi girdi ve çıktı katmanlarından oluşmaktadır. KAH yarı an çıktı nöronları, topolojik komuluk kavramını esas alan bir diskriminant fonksiyonu kullanılarak hesaplanmaktadır. Topolojik komuluk, aktif sinir hücresi ile ağırlıkları güncellenecek komulu sinir hücrelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Ritter ve diğ., 1992). Yöntemde, girdi katmanlarındaki veriler normalize edilmekte, sonrasında rastgele ağırlıklar girdi ve çıktı nöronları arasındaki sinaptik bağlantılara atanmaktadır. Çıktı sinir hücresinin i areti denklem 9'daki gibidir:

$$O_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} X_i \quad (9)$$

burada, O çıktı vektörü, w ağırlıkların oluşturduğu matris ve X girdilerin matrisidir. Çıktı katmanındaki aktif sinir hücresi ile kazanan sinir hücresi arasındaki uzaklık Öklit uzaklığı ile tarif edilmiştir (Ritter ve diğ., 1992):

$$d_j = \|X_j - w_{ij}\| \quad (10)$$

Aktif sinir hücresi ile kazanan sinir hücresi arasındaki uzaklık hesaplandıktan sonra, Gauss fonksiyonu yardımıyla topolojik komuluk belirlenebilir:

$$h_{ij} = e^{-\left(\frac{d_{ij}^2}{2\tau^2}\right)} \quad (11)$$

Denklem 11'de h_{ij} topolojik komuluk ve τ genilik parametresidir. Sonraki adım ağırlıkların güncellenmesidir:

$$w_{ij}(s+1) = w_{ij}(s) + \gamma(s) h_{ij}(s) [X_j(s) - w_{ij}(s)] \quad (12)$$

burada, s iterasyon sayısı ve γ öğrenme hız parametresidir. Netice itibarıyla, çıktı haritası sabitlendiğinde algoritma sonlandırılmaktadır (Fletcher and Goss, 1993).

3. MATERYAL VE METOD

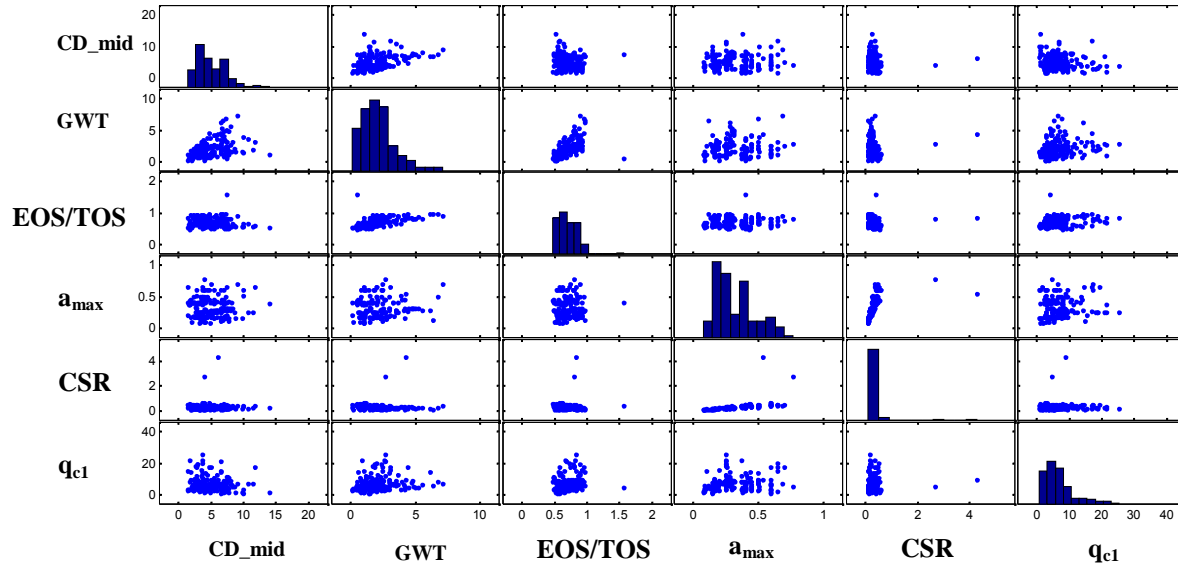
3.1. Veritabanı

Çalışmada kullanılan veritabanı, Moss ve diğ. (2006) tarafından yapılan çalışmada derlenen ve son 30 yıl içinde sismik etkiler altında sivil yapılar ve olumsuz alan mayan bölgelerde yapılan CPT deney sonuçlarını içermektedir. Veritabanı Dowrick & Sritharan (1968), Zhou & Zhang (1979), Ishihara & Koga (1981), Arulanandan vd. (1982), Anderson ve Simmons (1982), Diaz-Rodriguez (1983, 1984), Bennett vd. (1984), Bierschwale & Stokoe (1984), Ishihara & Perlea (1984), Youd & Wiczorek (1984), EarthTech (1985), Arulanandan vd. (1986), Ooi (1987), Andrus & Youd (1987), Shibata & Teparaska (1988), Farrar (1990), Woodward-Clyde (1990), Andrus, Stokoe, & Roesset (1991), Rollins vd. (1994), Holzer vd. (1994), De Alba vd. (1994), Mitchell vd. (1994), Bennett & Tinsley (1995), Boulanger vd. (1995), Christensen (1995), Zhao vd. (1997), Rutherford-Chekene (1987, 1988), Bennett vd. (1998), Abdel-Haq & Hryciw (1998), Kayen vd. (1998), Toprak vd. (1999), Holzer vd. (1999); PEER (2000a, 2000b), Cetin vd. (2002), Sancio vd. (2002), Stewart vd. (2002), Suzuki vd. (2003) çalışmalarındaki veriler derlenerek hazırlanmıştır. Veritabanında sırası ile depremin oluştuğu bölge, depremin moment mantıyüdü cinsinden büyüklüğü, kritik derinlik aralığı, yeraltı su seviyesinin derinliği, kritik derinlik aralığının orta noktasında toplam ve efektif gerilme, pik yer ivmesi, üniform çevrimsel gerilme oranı, normalizasyon üssü, normalize ortalama koni uç direnci ve sürtünme oranı parametreleri bulunmaktadır.

Parametre sayısının fazla olmasının etkisi olup olmadığını görmek amacıyla, duyarlılık analizleri yapılarak, bazı parametrelerin analize dahil edilmemesinin sonuçları nasıl etkilediği araştırılmıştır. Deneme yanılma yöntemi ile desteklenen analizler sonucu, kritik derinlik aralığının orta noktasının derinliği (CD_mid), yeraltı su seviyesinin derinliği (GWT), kritik derinlik aralığının orta noktasında efektif ve toplam gerilmelerin oranı (EOS/TOS), pik yer ivmesi (a_{max}), çevrimsel gerilme oranı (CSR) ve CPT koni uç direnci (q_{c1}) etkin parametreler olarak belirlenmiştir. Tablo 1’de adı geçen parametrelerin basit istatistik analizi, ekil 1’de ise parametrelerin saçılım grafikleri ve histogramları verilmektedir. Bu analizler incelendiğinde, verilerin arasında matematiksel olarak anlam arzeden bir ilişki gözlenmediği, histogramların genellikle sola çarpık ve genelde sivri uçlu olduğu, olasılık dağılım fonksiyonlarının bazı parametrelere uygun olmadığı, dolayısıyla dolaylı olarak dikkat alınmayan yöntemlerin bu analizlerde kullanılmasının daha doğru olacağı düşünülmüştür. Bu amaçla, Tablo 1’de verilen 6 parametre ile e-İtmensiz sınıflama algoritmaları kullanılarak sınıflandırılabilirliğin tahmin edilebilirliği üzerine bir çalışma yapılmıştır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan verilerin basit istatistiksel analizi

Parametre	CD_mid (m)	GWT (m)	EOS/TOS (-)	a_{max} (g)	CSR (-)	q_{c1} (MPa)
Veri sayısı	182	182	182	182	182	182
Ortalama	4.94	2.12	0.70	0.32	0.30	6.74
Std. Sapma	2.22	1.31	0.14	0.15	0.37	4.58
En büyük değer	14.00	7.19	1.58	0.77	4.30	25.55
En küçük değer	1.40	0.10	0.47	0.08	0.08	0.77
Aralık	12.60	7.09	1.11	0.69	4.22	24.78
Kurtosis Katsayısı	1.16	2.18	6.14	-0.24	85.22	2.72
Çarpıklık	0.94	1.28	1.34	0.68	8.58	1.59



ekil 1. Çalışmada kullanılan girdi parametrelerinin saçılım grafikleri ve histogramları

3.2. E-İtmensiz sınıflandırma algoritmaları sınıflandırma potansiyelinin tahmin edilmesinde kullanılabilir mi?

Elde edilen veritabanı, k-ortalama, c-ortalama ve kendini ayarlayabilen haritalar (KAH) yardımı ile sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Üç metod ile elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmektedir. Tablodan

gözlenebileceği üzere, c-ortalamları yöntemi, CPT verileri kullanılarak sıvılaşma direncinin tahmininde oldukça başarılıdır, seçilen parametreler yardımı ile yapılan tahminlerde c-ortalamları yöntemi ile yaklaşık % 85'lik bir başarı yakalanmıştır. İlgili olan, doğru tahmin edilemeyen durumların tamamında sıvılaşmayan bölgelerde sıvılaşma tahmini yapılarak, güvenli tarafta kalınmıştır, sıvılaşma gözlenen bölgelerde c-ortalamları yöntemi tersine bir tahmin yapmamıştır. Diğer iki yöntem karşılaştırıldığında, k-ortalamları yöntemi, c-ortalamları yöntemi ile benzer bir başarı göstermesine rağmen, verilerin % 3.3'lük kısmında sıvılaşma tahmini yapılmamıştır. Bu oran kendini ayarlayabilen haritalarda daha yüksektir (% 18.1). Öte yandan, kendini ayarlayabilen haritalar kullanılarak elde edilen sonuçlarda doğru tahminlerin oranı daha düşüktür, bu anlamda KAH'nın en kötü, c-ortalamları'nın ise en iyi sonuçları verdiğini söyleyebiliriz.

Tablo 2. Sınıflandırma algoritmalarının sıvılaşma tahminindeki başarı oranı

Sınıflandırma sonuçları	k-ortalamları		c-ortalamları		KAH	
	Veri	(%)	Veri	(%)	Veri	(%)
Doğru tahmin	154	84.6	154	84.6	149	81.9
Sıvılaşmamış, sıvılaşmış tahmin edilmiş	22	12.1	28	15.4	0	0
Sıvılaşmış, sıvılaşmamış tahmin edilmiş	6	3.3	0	0	33	18.1

Tablo 3'de ise sınıflandırma algoritmalarının çalıştırılması ile 6 girdi parametresinin merkez noktaları verilmektedir. Tablodan, k-ortalamları ve KAH yöntemleri ile elde edilen merkez noktalarının birbirine yakın olduğu, c-ortalamları ile elde edilen merkez noktalarının diğer iki yöntemden elde edilen merkez noktalarına daha uzak olduğu gözlenmiştir.

Tablo 3. E-İtim sonucu seçilen parametrelerin merkez noktaları.

Parametre Durum	k-ortalamları		c-ortalamları		KAH	
	Sıvılaşma görülmedi	Sıvılaşma görüldü	Sıvılaşma görülmedi	Sıvılaşma görüldü	Sıvılaşma görülmedi	Sıvılaşma görüldü
CD_mid	4.21	5.04	4.57	4.90	4.32	5.02
GWT	2.45	2.07	2.39	2.00	2.54	1.98
EOS/TOS	0.77	0.70	0.75	0.70	0.78	0.69
a _{max}	0.37	0.31	0.36	0.31	0.37	0.31
CSR	0.28	0.30	0.31	0.28	0.29	0.27
q _{cl}	16.57	5.32	14.11	4.81	16.69	5.32

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, CPT verilerine dayalı bir veritabanı kullanılarak e-İtmensiz sınıflandırma algoritmalarının sıvılaşma tahminlerindeki başarı oranı sorgulanmıştır. Yapılan analizler neticesinde, c-ortalamları yöntemi ile önemli sayılabilecek bir başarı elde edilmiştir. C-ortalamları yöntemi ile, geçmişteki vaka analizleri sonucu elde edilen veritabanında sıvılaşma olasılığının tahmininde yaklaşık % 85 oranında başarı elde edilmiştir. Başarısız olarak nitelendirilen % 15'lik kısımda ise sıvılaşmayan bölgeler sıvılaşma olasılığı olarak tahmin edilmiştir, bu da güvenli tarafta kalınmasını sağlamıştır. Neticede, sıvılaşma gözlenen vakaların hiçbirinde sıvılaşma yönünde bir tahmin yapılmamıştır. K-ortalamları yöntemi, tahminlerin doğruluğunda c-ortalamları yöntemi ile aynı başarıyı gösterse de, küçük bir oranda da olsa, sıvılaşma bölgelerinde sıvılaşma yönünde tahmin yapmıştır. Kendini ayarlayabilen haritalar ise, bu iki yöntemle göre daha düşük bir başarı oranı göstermiştir. Bu algoritmaların, özellikle c-ortalamları yönteminin sıvılaşma olasılığının tahmininde faydalanılabileceği düşünülmektedir. Başka veritabanlarında bu analizlerin tekrarlanması, aynı zamanda deneme yanılma yöntemi ile girdi parametrelerinin değiştirilmesi ile daha yüksek oranda doğru tahmin yapılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Haq, A. ve Hryciw, R. D. (1998). Ground settlement in Simi Valley following the Northridge Earthquake. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **1241**, 80–89.
- Amini M. (2003). Fuzzy c-means clustering. Course Project Presentation. Sharif University of Technology, Iran.
- Anderson, J. G. ve Simons, R. S. (1982). The Mexicali Valley Earthquake of 9 June 1980. Earthquake Engineering Research Institute Newsletter, **163**, 73–105.
- Andrus, R.D. ve T.L. Youd. (1987). Subsurface Investigation of a Liquefaction-Induced Lateral Spread, Thousand Springs Valley, Idaho. Miscellaneous Paper GL-87-8, U.S.A.E. Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Andrus, R. D., Stokoe, K. H., II ve Roesset, J. M. (1991). Liquefaction of gravelly soil at Pence Ranch during the 1983 Borah Peak, Idaho Earthquake. Proceeding of the Fifth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Karlsruhe, 251-262.
- Arulanandan, K., Douglas, B. J., Qu, Y. Z., Junfei, X., Chengchun, W. ve Qizhi, H. (1982). Evaluation of earthquake induced liquefaction in Tientsin during the Tangshan Earthquake P. R. C. Proc., United States-People's Republic of China Bilateral Workshop on Earthquake Engineering, E-3-1–E-3-42.
- 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. *Geotechnical Special Publication*, **6**, 389–415.
- Bennett, M. J., McLaughlin, P. V., Sarmiento, J. S., ve Youd, T. L. (1984). Geotechnical investigation of liquefaction sites, Imperial Valley, California. Open File Report 84-252, Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California
- Bennett, M. J. ve Tinsley, J. C. I. (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. OpenFile Rep. 95-663, U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California.
- Bennett, M. J., Ponti, D. J., Tinsley, J. C., Holzer, T. L. ve Conaway, C. H. (1998). Subsurface geotechnical investigations near sites of ground deformation caused by the January 17, 1994, Northridge, California, Earthquake. U. S. G. S. Open-File Rep. No. 98-373, Menlo Park, Calif.
- Bezdek J. C. (1981). Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms, Plenum, New York.
- Bierschwale, J. G. ve Stokoe, K. H., II. (1984). Analytical evaluation of liquefaction potential of sands subjected to the 1981 Westmoreland Earthquake. Geotechnical Engineering Report No. GR 84-15, University of Texas, Austin, Texas.
- Boulanger, R. W., Idriss, I. M. ve Mejia, L. H. (1995). Investigation and evaluation of liquefaction related ground displacements at Moss Landing during the 1989 Loma Prieta Earthquake. Report UCD/CGM- 95/02,

Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California Davis, Davis, California.

Christensen, S. A. (1995). Liquefaction of cohesionless soils in the March, 2, 1987 Edgecumbe Earthquake, Bay of Plenty, New Zealand, and other earthquakes. Master's of Engineering thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

De Alba, P., Youd, T. L., Shakal, A. F., Benoit, J., Pass, D. G. and Carter, J. J. (1998). Deep instrumentation array at the Treasure Island Naval Station. U.S. Geology Survey Professional Paper.

Diaz-Rodriguez, J. A. (1983). Investigación del comportamiento seismico de suelos granulares finos. Doctoral thesis, University of Nacional Autonoma Mexico, Mexico.

Diaz-Rodriguez, J. A. (1984). Liquefaction in the Mexicali Valley during the earthquake of June 9, 1980. Proceedings of 8th World Conference on Earthquake Engineering, EERI, San Francisco, 223–230.

Dowrick, D. J. ve Sritharan, S. (1993). Peak ground accelerations recorded in the 1968 Inangahua Earthquake and some attenuation implications. New Zealand National Society of Earthquake Engineering Bulletin, **263**, 349–355.

Farrar, J. A. (1990). Study of in situ testing for evaluation of liquefaction resistance. Bureau of Reclamation, U.S. D of the Interior, R-90-06, Denver.

Fletcher D. ve Goss E. (1993). Forecasting with neural networks: an application using bankruptcy data, Info and Management, 24. 159.

Holzer T. L., Tinsley, J. C. I., Bennett, M. J. ve Mueller, C. S. (1994). Observed and predicted ground deformation—Miller Farm Lateral Spread, Watsonville, California. Proceedings of 5th U.S.–Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, Technical Report. NCEER-94-0026 79-99.

Holzer, T. L., Bennett, M. J., Ponti, D. J. ve Tinsley, J. C. (1999). Liquefaction and soil failure during 1994 Northridge Earthquake. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **1256**, 438–452.

Ishihara, K. ve Koga, Y. (1981). Case studies of liquefaction in the 1964 Niigata Earthquake. *Soils and Foundations*, 213.

Ishihara, K. ve Perlea, V. (1984). Liquefaction-associated ground damage during the Vrancea Earthquake of March, 4, 1977. *Soils and Foundations*, **241**, 90–112.

Kayen, R. E., Mitchell, J. K., Seed, R. B. ve Nishio, S. (1998). Soil liquefaction in the East Bay during the earthquake. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 1551-B.

Kohonen T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps, *Bio Cybernetics*, **43**.59.

Lanhai L. (1998). Comparison of conventional and fuzzy land classification and evaluation techniques in Oxfordshire, England. *International Agricultural Engineering Journal* **7:1**, 1-12.

MacQueen, B. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability (1), edited by A. Jeyman and L.L. Cam, 281-297.

Mitchell, J. K., Lodge, A. L., Coutinho, R. Q., Kayen, R. E., Seed, R. B., Nishio, S. ve Stokoe, K. H., II. (1994). In situ test results from four Loma Prieta Earthquake liquefaction sites: SPT, CPT, DMT, and shear wave velocity. Rep. UCB/EERC-94/04, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California Berkeley, Berkeley, California

Moss, R.E.D, Seed, R.B., Kayen, R.E., Stewart, J.P. ve Der Kiureghian, A. (2006). CPT-Based Probabilistic Assessment of Seismic Soil Liquefaction Initiation, Research Report 6/2001-6/2003, Pacific Earthquake Engineering Research Center.

Ooi, E. T. C. (1987). Investigation of liquefaction in the Buller region. Master's thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

Pacific Earthquake Engineering Research PEER. (2000a). Documenting incidents of ground failure resulting from the Aug. 17, 1999, Kocaeli, Turkey Earthquake. <http://peer.Berkeley.edu>. Pacific Earthquake Engineering Research .

PEER. (2000b). Documentation of soil conditions at liquefaction sites from 1999 Chi-Chi, Taiwan Earthquake. <http://www.cee.ucla.edu/faculty/Taiwanwebpage/Main.html>.

Rollins, K. M., Hryciw, R. D., Shewbridge, S. E., McHood, M. D. ve Homolka, M. (1994). Ground response on Treasure Island. *U.S. Geology Survey Professional Paper*, 1551.

Ross T. (1995). Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw Hill, New York.

Ritter H., Martinetz T. and Schulten K. (1992). Neural Computation and Self Organizing Maps: An Introduction, Addison-Wesley, Reading.

Stewart J. P., Chiou S. J., Bray J. D., Graves R. W., Somerville P. G. and Abrahamson N. A. (2002). Ground motion evaluation procedures for performance-based design, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **22:(9-12)**, 765-772.

Rutherford and Chekene. (1988). Geotechnical investigation: Moss Landing Facility technology building, Monterey Bay Aquarium Research Institute. Report Prepared for Monterey Bay Aquarium Research Institute, San Francisco.

Sancio R. B., Bray J. D., Stewart J. P., Youd T. L., Durgunoglu H. T., Onalp A., Seed R. B., Christensen C., Baturay M. B. ve Karadayilar T. (2002). Correlation between ground failure and soil conditions In Adapazari, Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering Journal* **22:(9-12)**, 1093 – 1102.

Sen Z. (2004). Fundamentals of Neural Networks, Turkish Water Foundation, Istanbul, 2004.

Shibata, T., and Teparaska, W. (1988). Evaluation of liquefaction potential of soils using cone penetration testing. *Soils and Foundation* **282**, 49–60.

Suzuki, M., Tokimatsu, K., Moss, R. E. S., Seed, R. B. ve Kayen, R. E. (2003). CPT-based liquefaction field case histories from the 1995 Hyogoken-Nambu Kobe Earthquake, Japan. Geotechnical Engineering Research Report. UCB/GE-2003/03, Berkeley, California.

Toprak S., Holzer T. L., Bennett, M. J., ve Tinsley, J. C. I. (1999). CPT- and SPT-based probabilistic assessment of liquefaction. Proceedings of 7th U.S.–Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures against Liquefaction, MCEER, Seattle, 69–86.

3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı
14-16 Ekim 2015 – DEÜ – ZMİR



Woodward–Clyde Consultants. (1990). Phase I—Geotechnical study, Marine Biology Laboratory, California State University, Moss Landing, California. Report Prepared for California State University, San Jose, California, Oakland, California.

Wu K.L and Yang M.S. (2001). Alternative c-means clustering algorithms. *Pattern Recognition*, **35**, 2267

Youd, T. L., Idriss I. M., Andrus D. R., Arango I., Castro G., Christian J. T., Dobry R., Finn W. D. L., Harder Jr. F. L., Hynes E. M., Ishihara K., Koester P. J., Liao S. S. C., Marcuson W. F., Martin G. R., Mitchell K. J., Moriwaki Y., Power M. S., Robertson P. K., Seed R. B. ve Stokoe 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. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* **12710**, 817–833.

Zhao, J. X., Dowrick, D. J. ve McVerry, G. H. (1997). Attenuation of peak ground accelerations in New Zealand earthquakes. *New Zealand National Society for Earthquake Engineering Bulletin* **302**, 133–158.

Zhou, S. G., ve Zhang, S. M. (1979). Liquefaction investigation in Tangshan District. Report to Ministry of Railway, China (in Chinese).