

ZEMİN SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN OPTİMİZASYON YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF SOIL LIQUEFACTION POTENTIAL BY OPTIMIZATION METHOD

Lütfü Kerim BAŞARIR¹, Yetiş Bülent SÖNMEZER², Hilal Şimşek³

ÖZET

Deprem anında meydana gelen zemin sıvılaşması depremin yıkıcı etkisini artırmaktadır. Bu çalışmada analitik denklem modelleri geliştirilerek zemin sıvılaşmasının meydana gelme olasılığı önceden tahmin edilmeye çalışılmıştır. Geçmişte meydana gelen depremlere ait 222 adet veri seti kullanılarak, Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA) yardımıyla deprem ve zemin parametrelerinin zemin sıvılaşmasına olan etkisi belirlenmiştir. WEKA sonuçlarına göre, depremin büyüklüğü, ince dane oranı, efektif gerilme, standart penetrasyon testi darbe sayısı ve maksimum yer ivmesi parametreleri bu çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir. Seçilen parametrelerin yer aldığı 5 farklı denklem modeli oluşturulmuştur. Denklem modelleri Linear, Exponential, Power, Quadratic ve Semi-Quadratic olarak seçilmiştir. Krill Herd algoritması yardımıyla 5 farklı denklem modelinin optimizasyon çalışması yapılmıştır ve sıvılaşmayı doğru tahmin edebilme seviyeleri karşılaştırılmıştır. Power model sıvılaşmanın meydana geldiği veya gelmediği sahaları tahmin etmede oldukça başarılı sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin, Sıvılaşma, Krill Herd, Deprem, Optimizasyon

ABSTRACT

Soil liquefaction occurring in the earthquake increases the destructive effect of the earthquake. In this study, analytical equation models were developed to predict the probability of occurrence of soil liquefaction. The effect of earthquake and soil parameters on soil liquefaction was determined with the help of WEKA using 222 datasets from past earthquakes. Type of equations: Linear, Exponential, Power, Quadratic ve Semi-Quadratic. Using the Krill Herd algorithm, 5 different equation models were optimized and their accuracy levels were compared. The Power model showed very successful results in estimating the site where liquefaction occurred or not.

Keywords: Soil, Liquefaction, Krill Herd, Earthquake, Optimization

¹ Yüksek İnşaat Mühendisi, Milatek Mühendislik & Müşavirlik, kerim.basarir@gmail.com

² Doç. Dr. Yetiş Bülent SÖNMEZER, Kırıkkale Üniversitesi, bsonmezer@kku.edu.tr (sorumlu yazar)

³ İnşaat Mühendisi, İki Nokta Mimarlık, hilalsimseek@gmail.com

1. GİRİŞ

Zemin sıvılaşması, deprem dalgalarının etkisiyle meydana gelen, büyük hasarlara ve kalıcı deformasyonlara, can ve mal kayıplarına neden olabilen önemli bir olgudur. Bu olay esnasında zemin, bir sıvı gibi viskoz bir davranış sergiler ve bu durum zeminin taşıma kapasitesini kaybetmesiyle sonuçlanır. “Zemin sıvılaşması” kavramı ilk olarak 1948 yılında Karl Terzaghi ve Ralph Brazelton Peck tarafından (Terzaghi ve Peck, 1948) kullanılmıştır. Devam eden süreçte H. B. Seed ve I. M. Idriss, (1971) zemin sıvılaşmasının kavramsal olarak sağlam temellere oturması adına bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma “Basitleştirilmiş Sıvılaşma Analizi” olarak bilinmektedir. Bu yöntemde deprem anında meydana gelen yer hareketi için çevrimsel kayma gerilmesi (CSR) kullanılır ve bu değer çevrimsel kayma mukavemeti oranı (CRR) ile kıyaslanır. Düzeltme faktörlerini içeren bu yöntemde SPT ve CPT deneylerinden CRR değerinin elde edilişi de yer almaktadır.

Günümüzde zemin sıvılaşmasının önceden tahmin edilmesi için deneysel ve analitik yöntemler üzerinde çalışmalar devam etmektedir (Law et al., 1990; Stark & Olson, 1995; Talebi Mamoudan et al., 2020). Bu çalışmanın amacı geçmişte meydana gelen deprem ve zemin verilerini kullanarak benzer koşullar altında sıvılaşma ihtimallerini analitik olarak modellemektir.

2. VERİ SEÇİMİ VE OPTİMİZASYON

Çalışma kapsamında kullanılan veriler literatürde yer alan çalışmalardan alınan, geniş aralıklara sahip verilerdir (Boulanger, RW ve Idriss, 2010; K. O. Cetin et al., 2000; K. Onder Cetin et al., 2004; Idriss & Boulanger, 2004; Seed et al., 1984). Veri grubunda, her biri 15 parametreye sahip toplam 222 adet veri vardır. Veri setindeki 15 parametre Tablo 1’de gösterilmiştir. Veri setindeki 15 parametrenin zemin sıvılaşmasına etkileri bir sınıflandırma programı olan Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA) yardımıyla belirlenmiştir. WEKA doğrultusunda bu çalışma için seçilen parametreler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Parametreler

Deprem büyüklüğü (M)	$N_{1(60)}$ değeri
Maksimum yer ivmesi - a_{maks} (g)	İnce dane oranı (%)
Ortalama Derinlik (m)	$N_{1(60)cs}$ değeri
Yeraltı su seviyesi (m)	Aşırı yük düzeltme faktörü - K_σ
Toplam gerilme - σ (kPa)	Rölatif sıkılık - D_r
Efektif gerilme - σ' (kPa)	Deprem bilgisi (yerel)
Ortalama SPT darbe sayısı	Deprem bilgisi (genel)
Sıvılaşma durumu (V/Y)	

Tablo 2. Çalışmada Kullanılan Parametreler

Parametre	Denklem İçerisindeki Sembölü
$N_{1(60)}$ değeri	N
Deprem Büyüklüğü	M
Maksimum Yer İvmesi – a_{maks}	A
Efektif Gerilme - σ'	EFF
İnce Dane Oranı	FC

Kullanılan parametrelerin yer aldığı sayı kümelerini [0,1] aralığına indirgemek için doğrusal normalizasyon işlemi uygulanmıştır (Özdadaoğlu, 2014). Bu çalışmada linear model, power model, exponential model, quadratic model ve semi-quadratic model formları ile sınıflama tahmin modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen model formlarından Power model Denklem 1’de gösterilmiştir.

- Power Model

$$Pm = X_1 * M^{X_2+X_3} * FC^{X_4+X_5} * EFF^{X_6+X_7} * N^{X_8+X_9} * A^{X_{10}+X_{11}} \quad (1)$$

X(i): Modellerdeki ağırlık katsayılarıdır.

Denklem modelleri Karides Sürüsü Algoritması yardımıyla optimize edilmiştir.

2.1. Karides Sürüsü Algoritması

Karides sürüsü algoritması Gandomi ve Alavi (2012) tarafından sürü işleyişinin modellenmesi ile geliştirilmiştir. Karides bireylerinin fonksiyonları 3 temel parametreye bağlıdır. Parametreler şu şekildedir:

- Diğer karideslerin tetiklediği hareket (Ni)
- Yiyecek arama hareketi (Fi)
- Rastgele yayılma hareketi (Di)

Bu parametreler X_i i. karidesin amaç fonksiyonu olacak biçimde Denklem 2’de verilmiştir.

$$\frac{dX_i}{dt} = N_i + F_i + D_i \quad (2)$$

2.1.1. Hareketlerin İşleyişi

Tanımlanan hareketler genel olarak her bir karides bireyinin konumunu en iyiye götürmek için çalışır. t anından Δt kadar ilerleyen zaman için Denklem 3 ve 4’te tanımlanmıştır.

$$X_i(t + \Delta t) = X_i(t) + \Delta t \frac{dX_i}{dt} \quad (3)$$

$$\Delta t = C_t \sum_{j=1}^{NV} (UB_j - LB_j) \quad (4)$$

Burada NV toplam değişken sayısını, UB_j ve LB_j sırasıyla üst ve alt sınır değerleri, C_t ise [0,2] aralığında ampirik bir değeri temsil eder.

2.1.2. Algoritma Adımları

- I. Veri yapıları: Algoritma parametrelerinin, sınırların vs. belirlenmesi.
- II. Başlatma: Arama alanında ilk popülasyonun rastgele oluşturulması.
- III. Uygunluk Değerlendirmesi: Pozisyonlarına göre karideslerin değerlendirilmesi
- IV. Hareket Hesaplama:
 - Diğer karideslerin tetiklediği hareket
 - Yiyecek arama hareketi

- Rastgele Yayılma hareketi
- V. Çaprazlama ve Mutasyon Uygulanması
- VI. Güncelleme: Arama alanındaki karides bireylerinin konumunun güncellenmesi
- VII. Tekrarla: Durdurma şartı sağlanana kadar III. Adıma geri dön.
- VIII. Bitir

2.2. Karışıklık Matrisi

Bu çalışmada amaç fonksiyonunun iki çıktısı olacaktır. Bunlar; 0 (sıvılaşma yok) ve 1 (sıvılaşma var) değerleridir. Tahmin denklemin sonucu ile gerçek saha şartlarındaki durumu karşılaştırmak gerekmektedir. Karışıklık matrisi (Townsend, 1971) bu tarz problemlerin hata payını ölçmek için kullanılan bir yöntemdir (Rish, 2014). Başlangıçta 0 olan TN, FP, FN ve TP parametreleri her bir sonuç için analiz edilir. Doğruluk payı ise doğru tahmin edilen değerlerin (TP ve TN), tüm tahminlere (TN, FP, FN, TP) bölümü ile elde edilir (Denklem 5). Karides sürüsü algoritması kullanılarak gerçekteki sıvılaşma durumu ile tahmin edilen sıvılaşma arasındaki doğruluk karışıklık matrisinin doğruluk denklemine göre maksimize edilmiştir ve Denklem 6'da gösterilmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TN + FP + FN + TP} \quad (5)$$

$$\text{Maksimize } F(x) = \sum_{n=1}^m \text{Doğruluk} \quad (6)$$

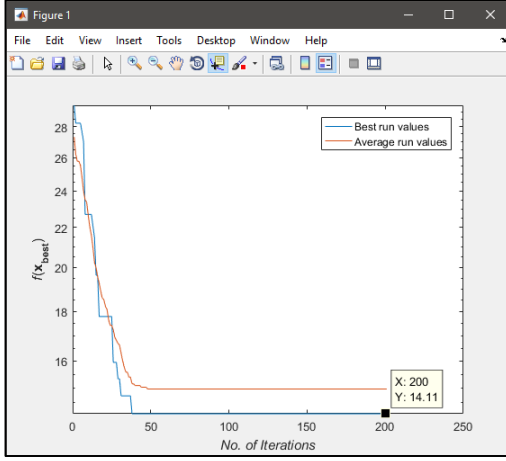
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Geliştirilen denklemlerin katsayıları karides sürüsü algoritması ile belirlenmiştir. Karides sürüsü algoritmasının kendisine ait kontrol parametreleri bulunmaktadır. Bu parametreler yiyecek arama hızı, maksimum yayılma hızı, tetiklenen maksimum hız, çalışma sayısı ve karides sayısıdır. Bu parametreler için Amir Hossein Gandomi ve Amir Hossein Alavi tarafından belirlenen değerler vardır (Gandomi & Alavi, 2012). Seçilen parametre değerleri önerilen değerlere uygun olarak seçilmiştir ve şu şekildedir: yiyecek arama hızı (V_f) $0,02 \text{ ms}^{-1}$, maksimum yayılma hızı (D^{maks}) $0,005 \text{ ms}^{-1}$, tetiklenen maksimum hız (N^{maks}) $0,01 \text{ ms}^{-1}$, çalışma sayısı (NR) 10 ve karides sayısı (NK) 50 ve iterasyon sayısı (MI) 200'dür. Kullanılan bu değerler Tablo 3'te verilmiştir.

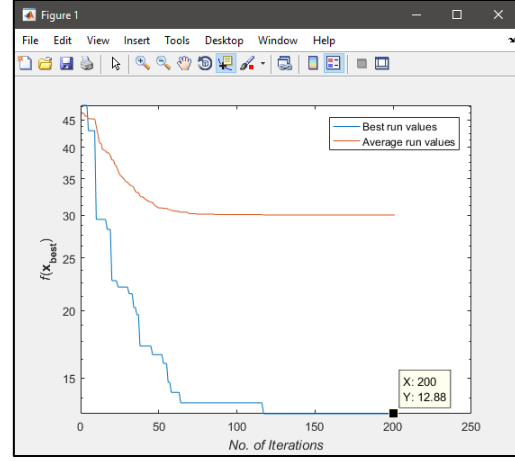
Tablo 3. Kontrol Parametreleri	
N^{maks}	0.01 ms^{-1}
V_f	0.02 ms^{-1}
D^{maks}	0.005 ms^{-1}
NR	10
NK	50
MI	200

Karides sürüsü algoritmasının performans grafikleri Şekil 1a, 1b, 1c, 1d ve 1e'de verilmiştir. Verilen değerler modellerin yüzde cinsinden hata payı değerleridir. Şekil

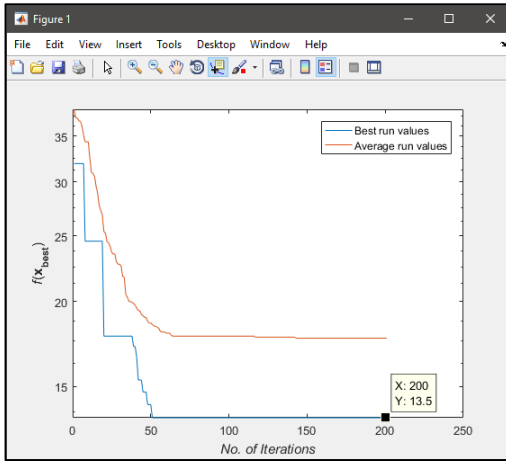
1a'daki grafiğe bakıldığında linear modelin minimum hata payı olan %14.11 değerine ilk 50 iterasyon içerisinde ulaştığı ve 200. iterasyona kadar bu değer değişmediği görülmektedir. Yine Şekil 1c, 1d ve 1e grafikleri sırasıyla exponential, quadratic ve semi-quadratic modelleri temsil etmektedirler ve bu üç modelin birbirine benzer şekilde 50.



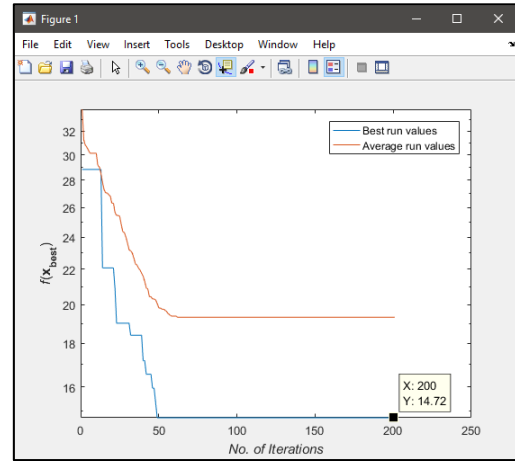
a)



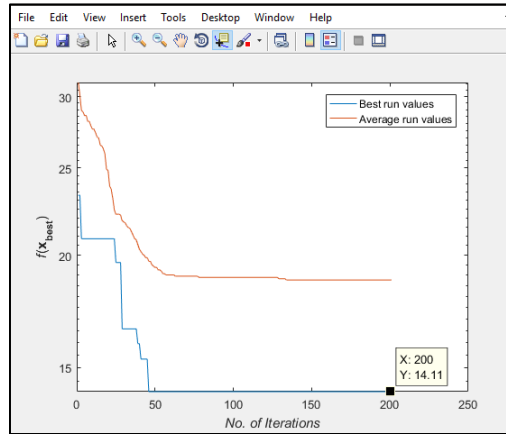
b)



c)



d)



e)

Şekil 1. Performans Grafikleri : a) Linear, b) Power, c) Exponential, d) Quadratic, e) Semi-Quadratic

Tablo 4. Denklemlerin Hata ve Doğruluk Payı Değerleri

	Linear	Power	Exp.	Quad.	Semi-Quad.
Hata Payı (%)	14,11	12,88	13,5	14,72	14,11
Doğruluk (%)	85,89	87,12	86,5	85,28	85,89

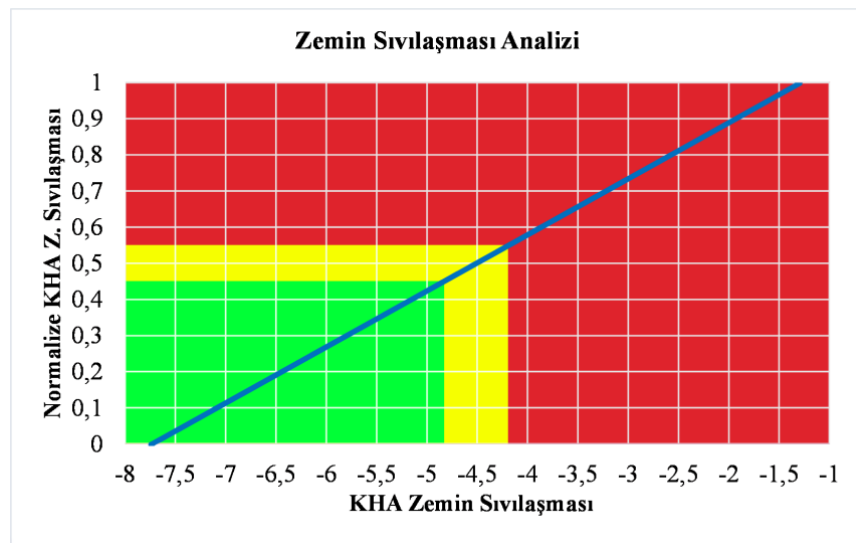
iterasyonda minimum hata payı değerine ulaştığı görülmektedir. Şekil 1b grafiğinde gösterilen power model formunun ise diğer modellerin aksine yaklaşık 120. iterasyonda %12.88'lik hata payı değerine ulaştığı ve bu çalışmadaki minimum hata payının bu değer olduğu görülmektedir. Grafiklerin minimum değerleri Tablo 4'te hata payı ve doğruluk olarak verilmiştir. Bu çalışmada sınanan farklı model formları içerisinde en yüksek doğruluk payına sahip modelin Power Model olduğu görülmektedir. Çalışılan 5 parametre ile karides sürüsü algoritması yardımıyla katsayıları belirlenen denklem kullanılarak %87,12'lik doğruluk payı power model ile elde edilmiştir. Doğruluk açısından power modeli sırasıyla linear, semi-quadratic, exponential ve quadratic modeller takip etmektedir. Bu çalışmada en düşük doğruluk payına sahip denklem modelinin quadratic model olduğu görülmektedir. Bu sebeple bu çalışmada önerilen denklem formu olarak power model kullanılmıştır ve Denklem 7'de gösterilmiştir. Bu denklemde kullanılan değerler normalize değerlerdir.

$$Pm = 0,14416059973118 * M^{1,40976342571849} - 1,51243797075478 * FC^{0,55188878138900} - 0,75743445413085 * EFF^{1,96270760683103} - 4,67675204597820 * N^{1,24836317055259} + 3,78211841046578 * A^{0,81097471938544} - 4,16674680459143 \quad (7)$$

$$KHA = \frac{Pm - Pm_{min}}{Pm_{maks} - Pm_{min}} = \frac{X - (-7,73)}{(-1,29) - (-7,73)} \quad (8)$$

Denklem 7'den elde edilen Pm değeri ile Denklem 8'de işlem yapıldığında elde edilen KHA değeri sıvılaşma için belirleyici değerdir. KHA sıvılaşma grafiği Şekil 2'de gösterilmiştir ayrıca KHA değeri şu şekilde yorumlanacaktır:

- $KHA < 0,45$ ise mevcut parametrelere göre bölgede zemin sıvılaşması beklenmez. (Şekil 2'de gösterilen kırmızı taralı bölge)



Şekil 2. KHA Sıvılaşma Grafiği

- $0,45 < KHA < 0,55$ ise zemin sıvılaşması ihtimali vardır ancak düşük bir ihtimaldir. Net bir analiz için daha çok parametreye ihtiyaç duyulan durumdur. (Şekil 2’de gösterilen sarı taralı bölge)
- $0,55 < KHA$ ise mevcut parametrelere göre bölgede zemin sıvılaşması kesinlikle beklenir. Mutlaka gerekli önlemler alınmalıdır. (Şekil 2’de gösterilen yeşil taralı bölge)

4. SONUÇLAR

Karides sürüsü algoritması ile yapılan çalışmaların sayısı algoritmanın yayınlandığı tarihten bu yana gerek ana formuyla gerekse farklı yöntemlerle hibritlenmiş şekliyle her geçen yıl artmaktadır. Bu artışın sebebi ise alışlagelmiş diğer optimizasyon algoritmalarından nispeten daha yeni bir algoritmaya olan güvenin her geçen yıl artması olarak yorumlanabilir. Karides sürüsü algoritmasının farklı alanlarda kullanılmasının sebebi çok yönlü bir algoritma olmasıdır. Bu doğrultuda karides sürüsü algoritmasının yine farklı bir çalışma alanı olan zemin sıvılaşması alanındaki performansı ilk defa bu çalışmada araştırılmıştır. Karides sürüsü algoritması yaklaşımını kullanarak zemin sıvılaşmasının belirlenmesi üzerine elde edilen çıkarımlar şu şekildedir:

1. Karides sürüsü algoritması ile denklemlerin ağırlık katsayıları belirlenmiş, Power Model formunda oluşturulan denklem modeli çalışmada en yüksek doğruluğa ulaşmıştır. Power modelin doğruluk payı %87,12’dir.
2. Power model üzerinden geliştirilen önerilen denklem sonucuna göre bir KHA değeri bulunmaktadır. Bu değer için tanım kümesi $[0,1]$ ’dir ve şu şekilde yorumlanır.
 - $KHA < 0,45$ ise mevcut parametrelere göre bölgede zemin sıvılaşması beklenmez.
 - $0,45 < KHA < 0,55$ ise zemin sıvılaşması ihtimali vardır ancak düşük bir ihtimaldir. Net bir analiz için daha çok parametreye ihtiyaç duyulan durumdur.
 - $0,55 < KHA$ ise mevcut parametrelere göre bölgede zemin sıvılaşması kesinlikle beklenir. Mutlaka gerekli önlemler alınmalıdır.
3. Bu çalışmada linear model, power model, exponential model, quadratic model ve semi-quadratic model formlarında oluşturulan denklemlerin performansları araştırılmıştır. Zemin sıvılaşmasının belirlenmesi üzere kurulan denklem formları içinde en iyi sonucu power model verirken başarısız sonucu quadratic model vermiştir. Modellerin doğruluk paylarına göre sıralandığında en iyiden kötüye göre sırasıyla power, linear, semi-quadratic, exponential ve quadratic model şeklindedir.

TEŞEKKÜR

Manevi olarak bana hep destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Boulanger, RW and Idriss, I. M. (2010). CPT and SPT Based Liquefaction Triggering Procedures. *Center for Geotechnical Modeling, 10–02, 134.*
- Cetin, K. O., Seed, R. B., Moss, R. E. S., Der Kiureghian, A. K., Tokimatsu, K., Harder, L. F., & Kayen, R. E. (2000). *Field Case Histories for SPT-Based In Situ Liquefaction Potential*

- Evaluation*. University of California.
- Cetin, K. Onder, Seed, R. B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder, L. F., Kayen, R. E., & Moss, R. E. S. (2004). Standard Penetration Test-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of Seismic Soil Liquefaction Potential. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(12), 1314–1340. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(2004\)130:12\(1314\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(2004)130:12(1314))
- Gandomi, A. H., & Alavi, A. H. (2012). Krill herd: A new bio-inspired optimization algorithm. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 17(12), 4831–4845. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2012.05.010>
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2004). Semi-empirical Procedures for Evaluating Liquefaction Potential During Earthquakes. *11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 32–56.
- Law, K. T., Cao, Y. L., & He, G. N. (1990). An energy approach for assessing seismic liquefaction potential. *Canadian Geotechnical Journal*, 27(3), 320–329. <https://doi.org/10.1139/t90-043>
- Özdadaoğlu, A. (2014). Normalizasyon Yöntemlerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Sürecine Etkisi-Moora Yöntemi İncelemesi. *Ege Akademik Bakis (Ege Academic Review)*, 14(2), 283–283. <https://doi.org/10.21121/eab.2014218058>
- Rish, I. (2014). *An Empirical Study of the Naïve Bayes Classifier*. January 2001, 41–46.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971), Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, *J. Soil Mech. Found.*, 97(8), 1249-1274.
- Seed, H. B., Tokimatsu, Harder, K., F, L., Chung, & M, R. (1984). *Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations*.
- Stark, T. D., & Olson, S. M. (1995). Liquefaction Resistance Using CPT and Field Case Histories. *Journal of Geotechnical Engineering*, 121(12), 856–869. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1995\)121:12\(856\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1995)121:12(856))
- Talebi Mamoudan, H. R., Kalantary, F., Derakhshandi, M., & Ganjian, N. (2020). Probabilistic and Deterministic Assessment of Liquefaction Potential Using Piezocone Data. *Geotechnical and Geological Engineering*, 39(1), 533–547. <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01511-2>
- Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1948). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley.
- Townsend, J. T. (1971). Erratum to: Theoretical analysis of an alphabetic confusion matrix. *Perception & Psychophysics*, 10(4), 256. <https://doi.org/10.3758/BF03212817>

SEMBOL LİSTESİ

A	: Maksimum Yer İvmesi (denklem katsayısı)	Lm	: Linear Model
amaks	: Maksimum Yer İvmesi	KHA	: Karides Sürüşü Algoritması
Dr	: Rölatif Sıklık	MI	: İterasyon Sayısı
EFF	: Efektif Gerilme (denklem katsayısı)	Mw	: Moment Magnitüd
Em	: Exponential Model	N	: N1(60) değeri (denklem katsayısı)
FC	: İnce Dane Oranı (denklem katsayısı)	Pm	: Power Model
g	: Yerçekimi ivmesi (9,81m/s ²)	Qm	: Quadratic Model
M	: Deprem Büyüklüğü (denklem katsayısı)	Sm	: Semi-Quadratic Model