

Effect of Energy Ratio Correction Factor in Analyzing Soil Liquefaction Potential Based on TEC-2018

Muhammet Dingil ¹ , Betül Keseroglu ¹ , Yakup Turedi ¹ , Murat Ornek ¹ 

¹ Iskenderun Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, 31200 Hatay, Türkiye

Keywords

Soil liquefaction, Energy ratio correction factor, Liquefaction analysis, Energy efficiency, Geotechnics

Highlights

- * The effect of energy ratio correction factor (C_E) on the factor of safety against soil liquefaction
- * Development of a .NET Core application for soil liquefaction analysis based on TEC-2018
- * Examination of minimum, average and maximum C_E coefficients according to TEC-2018

Aim

A study on the influence of the energy ratio correction factor on the assessment of liquefaction safety in soils

Location

Türkiye

Methods

Approximately one million liquefaction potential scenarios were statistically evaluated using a novel .NET Core-based console application for varying C_E coefficients

Results

The safe solutions against soil liquefaction potential were calculated as 11.28%, 18.81%, and 30.88% in the range $FS=[0,2.2]$ for $C_E=0.90$, 1.25 and 1.60, respectively

Supporting Institutions

The authors declared that this study has used no support data from other institutions

Financial Disclosure:

The first author is supported by TÜBİTAK BİDEB 2211-A National Scholarship Program and YÖK 100/2000 Ph.D. Scholarship Project

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest:

The authors have no conflicts of interest to declare

How to cite:

Dingil M., Keseroglu B., Turedi Y., Ornek M., 2025. Effect of Energy Ratio Correction Factor in Analyzing Soil Liquefaction Potential Based on TEC-2018, Turk Deprem Arastirma Dergisi 7(3), 490-499, DOI:10.46464/tdad.1653314.

Manuscript

Research Article

Received: 07.03.2025

Revised: 17.07.2025

Accepted: 23.09.2025

Printed: 30.12.2025

DOI

10.46464/tdad.1653314



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Muhammet Dingil

Email: muhammetdingil.mfbc@iste.edu.tr

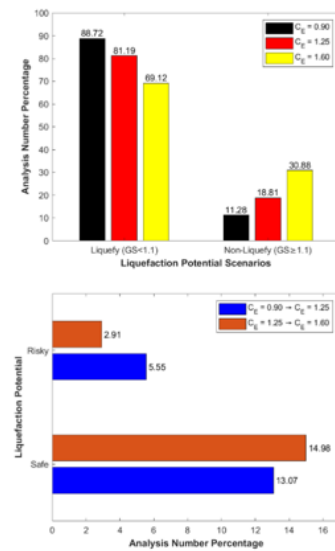


Figure
The factor of safety versus data frequency histograms for the energy ratio correction factor coefficients

TBDY-2018 Esaslı Zemin Sıvılaşma Potansiyelinin Çözümlemesinde Enerji Oranı Düzeltme Katsayısının Etkisi

Muhammet Dingil ¹ , Betül Keseroğlu ¹ , Yakup Türedi ¹ , Murat Örnek ¹ 

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 31200 Hatay, Türkiye

ÖZET

TBDY-2018'e göre sıvılaşma potansiyeli; basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirmesiyle belirlenebilmektedir. Enerji oranı düzeltme katsayısı (C_E), SPT deneyindeki tokmak (şahmerdan) tipine göre belirlenen bir düzeltme katsayısıdır. Bu çalışmada, C_E katsayısının, sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı (GS) üzerindeki etkisi araştırılmıştır. TBDY-2018'de otomatik darbeli tokmak için verilen en küçük (0.90), ortalama (1.25) ve en büyük (1.60) C_E değerleri ele alınmıştır. Bu makaleye özgü, TBDY-2018 esaslı sıvılaşma çözümlemesi yapabilen bir konsol uygulaması geliştirilerek değişen C_E katsayıları için çözümlemeler, güvenlik koşulunun iki ve üç katıyla sınırlandırılmıştır. Sıvılaşmaya karşı güvenli çözümlerin oranı; $C_E = 0.90, 1.25$ ve 1.60 için sırasıyla, $GS = [0, 2.2]$ aralığında %11.28, %18.81 ve %30.88; $GS = [0, 3.3]$ aralığında %20.28, %27.55 ve %38.32 olarak hesaplanmıştır. Sonuçta, güvenli çözüm sayısının değişimi, $C_E = 0.90$ 'dan $C_E = 1.60$ 'a geçişte yaklaşık %18-20 arası olmuştur.

Anahtar Kelimeler

Zemin sıvılaşması, Enerji oranı düzeltme katsayısı, Sıvılaşma analizi, Enerji verimliliği, Geoteknik

Öne Çıkanlar

- * Enerji oranı düzeltme katsayısının (C_E) sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı üzerindeki etkisi
- * TBDY-2018 esaslı zemin sıvılaşması analizi için bir .NET Core uygulamasının geliştirilmesi
- * TBDY-2018'e göre minimum, ortalama ve maksimum C_E değerlerinin incelenmesi

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 07.03.2025

Düzeltilme: 17.07.2025

Kabul: 23.09.2025

Basım: 30.12.2025

DOI

10.46464/tdad.1653314

Sorumlu yazar

Muhammet Dingil

E-posta:

muhammetdingil.mfibe@iste.edu.tr

Effect of Energy Ratio Correction Factor in Analyzing Soil Liquefaction Potential Based on TEC-2018

Muhammet Dingil ¹ , Betül Keseroğlu ¹ , Yakup Türedi ¹ , Murat Örnek ¹ 

¹ İskenderun Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, 31200 Hatay, Türkiye

ABSTRACT

Liquefaction potential is determined using simplified liquefaction assessment in TEC-2018. The energy ratio correction factor (C_E) is a coefficient depending SPT hammer type. In this study, the effect of C_E on the factor of safety (FS) against liquefaction was investigated. The smallest (0.90), average (1.25), and largest (1.60) C_E for the automatic trip hammer in TEC-2018 were considered. For this study, a console application was developed, and analyses varying C_E were limited until two and three times TEC-2018 safety condition. The safe solutions percentages were calculated as 11.28%, 18.81%, and 30.88% in $FS = [0, 2.2]$; 20.28%, 27.55% and 38.32% in $FS = [0, 3.3]$ for $C_E = 0.90, 1.25$ and 1.60 , respectively. Consequently, the change in safe solutions was 18-20% from $C_E = 0.90$ to 1.60 .

Keywords

Soil liquefaction, Energy ratio correction factor, Liquefaction analysis, Energy efficiency, Geotechnics

Highlights

- * The effect of energy ratio correction factor (C_E) on the factor of safety against soil liquefaction
- * Development of a .NET Core application for soil liquefaction analysis based on TEC-2018
- * Examination of minimum, average and maximum C_E coefficients according to TEC-2018

Manuscript

Research Article

Received: 07.03.2025

Revised: 17.07.2025

Accepted: 23.09.2025

Printed: 30.12.2025

DOI

10.46464/tdad.1653314

Corresponding Author

Muhammet Dingil

Email:

muhammetdingil.mfibe@iste.edu.tr

1. GİRİŞ

Geoteknik mühendisliğinde sıvılaşma kavramı; gevşek ve suya doygun kohezyonsuz zeminlerde, depremden doğan devrimsel gerilmelerin, drenajsız şartlarda, boşluk suyu basıncını artırması ve efektif gerilmeyi azaltması neticesinde, zeminin kayma mukavemetinde görülen düşüşe bağlı olarak zeminin bir süre kayma direncini kaybetmesi ve viskoz bir davranış göstermesi şeklinde tanımlanır. Zemin sıvılaşması nedeniyle oluşabilecek hasarlara önlem alabilmek için yapı tasarımı esnasında, sıvılaşma potansiyelinin doğru bir biçimde belirlenmesine ve değerlendirilmesine ihtiyaç vardır (Akbaş ve diğ. 2023). Bir zeminin sıvılaşmaya yatkınlığının saptanması, diğer bir ifadeyle sıvılaşma potansiyelinin çözülmesi; depremde oluşan ilave kayma gerilmelerin, zeminin sıvılaşmaya gösterdiği direnci aşıp aşmayacağını hesabını içermektedir (Bayrakçı ve diğ. 2021).

Seed ve Idriss (1971), sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi için arazi deneylerine dayalı olarak basitleştirilmiş bir yaklaşım oluşturmuştur ve güvenlik sayısı adı verilen bir terim ortaya atmıştır (Kumar ve diğ. 2023). Güvenlik sayısı (GS); sıvılaşmaya karşı direnci tanımlayan devrimsel kayma mukavemeti oranının (CRR), depremin neden olduğu devrimsel kayma gerilmesi oranına (CSR) kıyaslanmasıdır (Yang ve diğ. 2023). Youd ve diğ. (2001) tarafından, laboratuvar ve arazi testlerine dayalı önerilen ampirik denklemlerle de bahsedilen basitleştirilmiş sıvılaşma yöntemi geliştirilmiştir (Sahin ve diğ. 2022). Sıvılaşma potansiyelinin çözülmesinde, yıllar içerisinde, farklı laboratuvar ve arazi deneylerini esas alan çeşitli yöntemler ve yaklaşımlar da önerilmeye devam edilmiştir (Iwasaki ve diğ. 1984, Robertson ve Wride 1998, Andrus ve Stokoe II 2000, Cetin ve diğ. 2004, Lai ve diğ. 2006, Juang ve diğ. 2008, Kayen ve diğ. 2013, Boulanger ve Idriss 2016, Chen ve diğ. 2020, Cetin ve diğ. 2022).

Zemin sıvılaşmasının değerlendirilme kuralları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) içerisinde Bölüm 16.6 ve Ek 16B'de geniş kapsamlı olarak açıklanmıştır (TBDY 2018). TBDY-2018'e göre sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu; sıvılaşma direnci (τ_R) ile zeminde depremden oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesi (τ_{deprem}) oranı olan güvenlik sayısının 1.10 değerinden büyük olması şeklinde belirlenmiştir. Standart penetrasyon testi (SPT), koni penetrasyon testi (CPT) ya da kayma dalgası hızı testini (V_s) esas alan çözümlemelerin, sıvılaşma potansiyelinin saptanması için kullanılabileceği bilgisi, TBDY-2018'de verilmiştir. Zemin sıvılaşma değerlendirmesinde, CPT ile V_s deneyleri için genel kabul gören yöntemler kullanılabilirken SPT deneyi için TBDY-2018 Ek 16B'de basitleştirilmiş yöntem sunulmuştur. Bu yöntemle göre arazi deneyinden alınan ham SPT darbe değeri; çeşitli düzeltme katsayıları ve zemin endeks özellikleri kullanılarak, düzeltilmiş SPT sayısına dönüştürülmelidir. Ham SPT sayısı; tokmak tipi, numune alıcı tipi, sondaj delgi çapı ve tij boyuna göre belli değerlerdeki katsayılarla (ek olarak jeolojik gerilme katsayısı) düzeltilir. Sonrasında zemin endeks deneylerinden tespit edilen, ince dane içeriğine göre ikincil bir düzeltme gerçekleştirilir. Sıvılaşma direncinin hesabında ise bu özel

katsayılar göre düzeltilmiş SPT sayısından yararlanılmaktadır. Bu düzeltme katsayılarından biri olan, enerji oranı düzeltme katsayısı (C_E), SPT deneyinde kullanılan tokmak (şahmerdan) cinsine bağlı olarak belirlenmektedir. Geoteknik mühendisliği uygulamalarında, %60'lık tokmak verimliliğine karşılık gelen SPT değerlerinin (N_{60}) esas alınmasından ötürü, ham SPT sayısının (N) düzeltilmesi; enerji oranı düzeltme katsayısı ile ölçeklenerek mümkün olmaktadır (El-Sherbiny ve Salem 2013). Enerji oranı düzeltme katsayısı (C_E), %60'lık tokmak (şahmerdan) enerji verimliliği (ER) oranı biçiminde ($C_E = ER / 60$) temsil edilmektedir (Seed ve diğ. 2003). SPT deneyinde kullanılan tokmak (şahmerdan) tipleri için farklı enerji oranı düzeltme katsayıları ve enerji verimliliği oranları, çeşitli bilimsel çalışmalarda öne sürüldüğü görülmektedir (Seed ve diğ. 1985, Skempton 1986, Clayton 1990, Robertson ve Fear 1997, Kim ve diğ. 2004, Biringen ve Davie 2008, Yimsiri 2013, Honeycutt ve diğ. 2014, Lukiantchuk ve diğ. 2017, Rahimi ve diğ. 2020, Anbazhagan ve diğ. 2022, Cetin ve diğ. 2023).

Bu çalışmada, TBDY-2018'de ifade edilen basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirmesi yönteminde, enerji oranı düzeltme katsayısının sıvılaşma potansiyeli analizi sonucunda elde edilen güvenlik sayısına olan etkisi; geliştirilen bir bilgisayar konsol yazılımı üzerinden, geoteknik ve deprem parametrelerinin döngüsel biçimde çözülmesi sonucu nicel olarak araştırılmıştır.

2. YÖNTEM

TBDY-2018 Ek 16B'de SPT verilerinin düzeltilmesi ve sıvılaşma direnci ile deprem esnasında gelişen kayma gerilmelerinin hesaplanması için basitleştirilmiş bir yöntem tarif edilmiştir. TBDY-2018'de yer alan zemin sıvılaşma değerlendirmesi; öncelikle ham SPT sayısının (N), SPT deneyine bağlı unsurlara ve zemin ince dane içeriğine göre düzeltilmesi esasına dayanır. Ham SPT verilerinin ilk olarak Eşitlik 1'de verilen katsayılar kullanılarak düzeltilmiş SPT sayısına ($N_{1,60}$) çevrilmesi gerekir.

$$N_{1,60} = N * C_E * C_B * C_S * C_R * C_N \quad (1)$$

Eşitlik 1'deki denkleme göre N değeri; enerji oranı düzeltme katsayısı (C_E), sondaj delgi çapı düzeltme katsayısı (C_B), numune alıcı tipi düzeltme katsayısı (C_S), tij boyu düzeltme katsayısı (C_R) ve derinlik düzeltme katsayısı (C_N) çarpanlarıyla düzeltilmektedir. C_N katsayısı hesabı, SPT deneyinin yapıldığı arazi ortamına göre hesap edilen efektif düşey gerilmeye (σ'_{vo}) bağlı olarak Eşitlik 2'de, diğer SPT düzeltme katsayıları ise doğrudan veya aralıklı değerler biçiminde Tablo 1'de gösterilmiştir.

$$C_N = 9.78 * \sqrt{\frac{1}{\sigma'_{vo}}} \leq 1.70 \quad (2)$$

Tablo 1: TBDY-2018 SPT deneyi düzeltme katsayıları
Table 1: SPT test correction factors in TEC-2018

Katsayı	Seçenek	Değer
C_E (enerji oranı düzeltme katsayısı)	Güvenli tokmak	0.60-1.17
	Halkalı tokmak	0.45-1.00
	Otomatik darbeli tokmak	0.90-1.60
C_B (sondaj delgi çapı düzeltme katsayısı)	Çap 65mm-115mm arasında	1.00
	Çap 150mm	1.05
	Çap 200mm	1.15
C_S (numune alıcı tipi düzeltme katsayısı)	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)	1.00
	İç tüpü olmayan numune alıcı	1.10-1.30
C_R (tij boyu düzeltme katsayısı)	3m ile 4m aralığında	0.75
	4m ile 6m aralığında	0.85
	6m ile 10m aralığında	0.95
	10m'den derin	1.00

TBDY-2018'de, SPT arazi deneyinde kullanılan tokmak (şahmerdan) cinsine bağlı olarak, üç farklı C_E katsayısı aralığı sunulmuştur. 2019 yılında yayımlanan, Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı'nda (ZTEUE 2019) ise sondajlar sırasında gerçekleştirilecek SPT deneyinde, otomatik darbeli tokmağın (şahmerdan) kullanılması gerektiği ifade edilmiştir. TBDY-2018 ve ZTEUE (2019)'daki bilgiler doğrultusunda, SPT deneyinde kullanılacak otomatik darbeli tokmak için C_E katsayısı aralığının 0.90-1.60 arasında olduğu görülmektedir. $C_E=[0.90,1.60]$ aralığı göz önüne alındığında, sıvılaşma direnci hesabına dâhil edilen C_E katsayısının, sıvılaşma potansiyeli üzerinde farklı etkilere neden olacağı öngörülmektedir.

C_E katsayısının yaklaşık iki kata varan bir sayısal değer aralığına sahip olması, C_E parametresini, sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısını küçülten ya da büyüten bir etken olarak öne çıkarmaktadır. TBDY-2018'de sıvılaşmaya karşı bir güvenlik koşulunun ($GS \geq 1.10$) yer alması nedeniyle, C_E katsayısındaki bu değişkenlik, sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde C_E etkisinin araştırılmasını son derece önemli kılmaktadır.

Eşitlik 1'de yer alan $N_{1,60}$ değeri, TBDY-2018'de belirtilen α ve β katsayıları kullanılarak Eşitlik 3'te gösterildiği üzere, ince dane içeriğine göre tekrardan düzeltilmesi gerekmektedir.

$$N_{1,60f} = \alpha + \beta * N_{1,60} \quad (3)$$

İnce dane içeriğine göre düzeltilmiş SPT sayısı ($N_{1,60f}$), α - β katsayılarına bağlı olarak belirlenmekte ve bu katsayılar, Eşitlik 4'te yer alan koşullu denklemler aracılığıyla ince dane içeriği (IDI) yüzdesine göre hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} \alpha = 0 & \quad \beta = 1 & \quad IDI \leq \%5 \\ \alpha = e^{(1.76 - \frac{190}{IDI^2})} & \quad \beta = 0.99 + (IDI^{1.5}/1000) & \quad \%5 < IDI < \%35 \\ \alpha = 5 & \quad \beta = 1.2 & \quad IDI \geq \%35 \end{aligned} \quad (4)$$

$N_{1,60f}$ değeri, sıvılaşma direnci hesabındaki bir çarpan olan çevrimsel dayanım oranının (CRR) belirlenmesinde kullanılmaktadır. TBDY-2018'de ifade edilen moment büyüklüğü 7.5 olan depreme karşı gelen çevrimsel dayanım oranı ($CRR_{M7.5}$), Eşitlik 5'teki denkleme göre çözümlenmektedir.

$$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34 - N_{1,60f}} + \frac{N_{1,60f}}{135} + \frac{50}{(10 * N_{1,60f} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (5)$$

$CRR_{M7.5}$ değişkeninin, tasarım depreminin 7.5 moment büyüklüğünden farklı olması durumunda, deprem büyüklüğü düzeltme katsayısıyla (C_M) ölçeklenmesine ihtiyaç vardır. C_M katsayısı, tasarım depremi büyüklüğü (M_w) kullanılarak Eşitlik 6'da verilen bağıntıya göre hesaplanmaktadır.

$$C_M = 10^{2.24} / M_w^{2.56} \quad (6)$$

Sıvılaşma direnci (τ_R), efektif düşey gerilme (σ'_{vo}) ile $CRR_{M7.5}$ ve C_M çarpanları üzerinden Eşitlik 7'ye göre tespit edilmektedir.

$$\tau_R = CRR_{M7.5} * C_M * \sigma'_{vo} \quad (7)$$

Depremde oluşan kayma gerilmesini (τ_{deprem}) hesaplayabilmek için toplam düşey gerilme (σ_{vo}) ile kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{Ds}) ve gerilme azaltma katsayısı (r_d) saptanmalıdır. S_{Ds} katsayısı, sıvılaşma potansiyeli irdelenen zeminin sınıfına ve konumuna bağlı olarak TDTH-2018 (AFAD 2018) üzerinden bulunabilmektedir. TBDY-2018'e göre yerel zemin sınıfı tespit edildikten sonra, interaktif TDTH-2018 uygulamasından kısa periyot spektral ivme katsayısı (S_s) ve beraberinde kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (F_s) belirlenebilmektedir. Yerel zemin sınıfına göre, farklı S_s aralıklarına karşılık gelen F_s değerleri, Tablo 2'de verilmiştir ve S_s ile F_s katsayı çarpanlarına bağlı olarak S_{Ds} değeri Eşitlik 8'de verilen denkleme göre hesaplanmaktadır.

Tablo 2: TBDY-2018'de kısa periyot bölgesi yerel zemin etki katsayılarının belirlenmesi

Table 2: Determination of short-period site-specific local soil effect factors in TEC-2018

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı, F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8

$$S_{DS} = S_S * F_S \quad (8)$$

Sondaj derinliğine (z) göre değişkenlik gösteren r_d katsayısı ise Eşitlik 9'daki gibi belirlenir.

$$\begin{aligned} r_d &= 1.0 - 0.00765 * z & z \leq 9.15 \text{ m} \\ r_d &= 1.174 - 0.0267 * z & 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \\ r_d &= 0.744 - 0.008 * z & 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m} \\ r_d &= 0.50 & z > 30 \text{ m} \end{aligned} \quad (9)$$

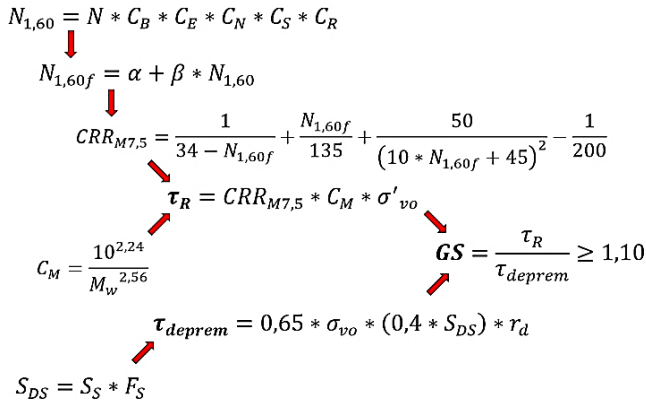
Depremde oluşan kayma gerilmesi (τ_{deprem}), r_d ve S_{DS} çarpanları ile toplam düşey gerilme (σ_{vo}) değerleri kullanılarak Eşitlik 10'e göre saptanmaktadır.

$$\tau_{deprem} = 0.65 * \sigma_{vo} * (0.4 * S_{DS}) * r_d \quad (10)$$

Bir zeminin sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı (GS), τ_R değerinin τ_{deprem} gerilmesine oranı olarak tanımlanır ve TBDY-2018 sıvılaşma güvenlik koşulu olan 1.10 değerinden küçük olmaması beklenmektedir (Eşitlik 11).

$$GS = \frac{\tau_R}{\tau_{deprem}} = \frac{CRR_{M7.5} * C_M * \sigma'_{vo}}{0.65 * \sigma_{vo} * (0.4 * S_{DS}) * r_d} \geq 1.10 \quad (11)$$

Eşitlik 1-11 arasında açıklanan TBDY-2018 basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirmesi çözüm kuralları, Şekil 1'de görselleştirilmiştir.



Şekil 1: TBDY-2018 basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirmesi yöntemi

Figure 1: TEC-2018 simplified liquefaction assessment method

3. VERİ

Bu bölümde, talep edilen aralıklardaki belirli geoteknik ve deprem parametrelerini, TBDY-2018'de yer alan basitleştirilmiş zemin sıvılaşma analizine uygun olarak çözümleyebilen ve tüm sonuç verilerini kaydedebilen bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. .NET Core (2025) çerçevesi altında Visual Studio (2025) tümleşik geliştirme ortamında kodlanan bu yazılım; herhangi bir kullanıcı arayüzüne sahip olmayan, platform bağımsız bir konsol uygulamasıdır. Microsoft tarafından geliştirilip kendi teknolojisinin geleceği olarak görülen .NET Core, bir açık kaynak yazılım çerçevesidir (Manna ve diğ. 2022). .NET Core geliştirici platformu, üstün hız ve başarıma sahip yapısıyla çapraz platform dağıtımlar yapabilmektedir (Dingil 2020). Bu konsol uygulamasında,

.NET Core 3.1 yazılım geliştirme kiti kullanılarak, C# nesne yönelimli programlama diliyle, veri döndüren çok değişkenli bir fonksiyon üretilmiştir. Bu fonksiyon; gerekli geoteknik ve deprem değişkenlerini, Şekil 1'de özetlenen basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirmesine göre çözümleyerek, diğer ara sonuç verileriyle birlikte, sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısını çıktı olarak vermektedir. Üretilen bu fonksiyonun girdi değişkenlerinin her biri için, sayısal olarak en küçük ve en büyük değer aralıkları ile bu aralıklar içerisindeki artış miktarı, konsol uygulaması ön yüklemesinde tanımlanabilmektedir. Bölüm 2'de ayrıntıları ifade edilen TBDY-2018'e göre sıvılaşma potansiyeli analizi için gerekli geoteknik ve deprem parametrelerini temsil eden yazılım fonksiyonu Eşitlik 12'de gösterilmiştir.

$$f(Z, YASS, N, \gamma_N, IDI, C_E, M_w, S_{DS}) = GS \quad (12)$$

Eşitlik 12'deki fonksiyon yapısı, talep edilen geoteknik ve deprem değişkenlerine göre, bir zemin katmanı için TBDY-2018'e uygun olarak tüm SPT düzeltmelerini gerçekleştirip, sıvılaşma direnci ile depremde oluşan kayma gerilmesini ve nihai olarak güvenlik sayısını (GS) hesaplayabilmektedir. Enerji oranı düzeltme katsayısı (C_E) etkisinin araştırılması nedeniyle, diğer SPT düzeltme katsayılarının mümkün olduğunca etkisinin en az olduğu bir çözüm yapısı kurgulanmıştır. Bu sebeple, C_B ve C_S değerleri standart olarak (Tablo 1) 1 değeri kabul edilip Eşitlik 12'deki fonksiyona bir değişken olarak dâhil edilmemiştir. C_N ve C_R değerleri ise yazılım içerisinde ayrı bir girdi olarak alınmayıp, sondaj derinliğiyle ilişkili olarak deprem yönetmeliğe uygun biçimde çözümlenmektedir. TBDY-2018'de yer alan sıvılaşma potansiyeli hesaplamalarında, toplam ve efektif düşey gerilmenin yer alması nedeniyle bu fonksiyon içerisine, γ_N ile $YASS$ ayrı birer değişken olarak eklenmiştir. Eşitlik 12'de yer alan fonksiyondaki herhangi bir değişken veya tamamı için belirli aralık belirtilmesi durumunda, çözümlemeler iç içe dögüsel olarak yapılmakta ve tüm sonuçlar sıralı bir dizelge biçiminde "CSV" uzantılı veri metin dosyasına işlenebilmektedir. Önceden tanımlanan değişken sınır aralıklarını ve aralık artış miktarlarını esas alarak çözümlemesini tamamlayan konsol uygulaması; tüm sonuçları 'virgülle ayrılmış değerler' olarak bu dosyada işledikten sonra birtakım analiz bilgilerini komut ekranında paylaşmaktadır. Konsol uygulamasının oluşturulmasının ardından, Eşitlik 12'de gösterilen yazılım fonksiyonunun her bir değişkeni için sınır değerleri ve aralık artış miktarı, uygulamanın ön yükleme aşamasında belirlenmiştir. C_E katsayısındaki değişkenliğin GS değerine etkisini irdelemek amacıyla, sınırlandırılan geoteknik ve deprem girdi parametreleri Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3: Geliştirilen algoritmada yer alan değişkenlerin tanımlanması ve değer aralıkları

Table 3: Variable definition and value ranges within the developed algorithm

Değişken	En Küçük ve En Büyük	Artış Miktarı	Terim Sayısı
Derinlik, Z (m)	2 → 38	2	19
Yer altı su seviyesi, $YASS$ (m)	0 → Z	$Z/2$	3
Ham SPT sayısı, N	1 → 50	1	50
Birim hacim ağırlık, γ_N (kN/m ³)	15 → 20	1	6
İnce dane içeriği, IDI (%)	5 → 35	15	3
Enerji oranı düzeltme katsayısı, C_E	0.90 → 1.60	0.35	3
Tasarım deprem büyüklüğü, M_w	7.2 → 7.8	0.3	3
Tasarım kısa periyot spektral ivme katsayısı, S_{DS}	0.2 → 1.8	0.2	9

Tablo 3'te sınır değerleri ve aralık artış miktarı verilen her bir değişken; konsol uygulamasının ön yükleme safhasında, terim sayısı kadar birer döngü olarak Eşitlik 12'de yer alan çözüm fonksiyonuna etki ettirilmiştir. Böylelikle her bir geoteknik ve deprem parametresinin, belirtilen aralık ve artış miktarına uygun olarak, farklı C_E katsayıları için çok sayıda döngü içerisinde çözümlenmesi sağlanmıştır. Bu çoklu döngülerin çözümüyle, her bir C_E katsayısı için, eş girdi değişkenlerine göre çözümlenmiş geniş miktarda sıvılaşma potansiyeli değerlendirme senaryosu üretilmiştir. Tablo 3'te paylaşılan fonksiyon değişkenlerinin değer sınırları ve aralık miktarı; TBDY-2018 basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirmesinde yer alan koşullu hesaplamalara göre saptanmıştır. Z değişkeni için derinliğe bağlı SPT düzeltme katsayıları ile gerilme azaltma katsayısının koşullu bağıntılarına (Eşitlik 9) göre bir sınırlandırma yapılmıştır. YASS etkisinin olduğu ve olmadığı durumlar için YASS verisi; ilgili zeminin tabakası derinliğince, ortasında, altında olarak derinliğe bağlı biçimde koşullandırılmıştır. Ham SPT sayısı, C_E katsayısının çarpanı olan esas değişken olduğu için 50 darbeye kadar her bir tamsayı değeri girdi alınmıştır. Sondaj derinliğinin çok sayıda çeşitlendirilmesi nedeniyle, birim hacim ağırlık değerinde; toplam ve efektif düşey gerilme hesaplarını (Eşitlik 11) çeşitlendirecek ölçüde yalın bir aralık seçilmiştir. IDI değişkeninde, deprem yönetmeliğindeki üç farklı α - β katsayıları etkisini görmek için sınır ince dane içerikleri (Eşitlik 4) tercih edilmiştir. TBDY-2018'de verilen çevrimsel dayanım oranı denkleminin, moment büyüklüğü 7.5 olan depremi esas almasından ötürü, M_w değeri; bu deprem büyüklüğünün ortalama değer olacağı biçimde aralıklandırılmıştır. TBDY-2018'de analiz edilebilir beş farklı yerel zemin sınıfına (ZF sahaya özel analiz gerektirdiği için kapsam dışındadır) ve kısa periyot spektral ivme katsayısına bağlı çeşitli yerel zemin

etki katsayısı (Tablo 2) bulunmaktadır. S_{DS} değişkeni için bu katsayıların çarpım olasılıklarına uygun olarak bir veri aralığı belirlenmiştir. Son olarak, GS üzerindeki nicel etkiyi araştırmak üzere; ZTEUE (2019)'da SPT arazi deneyinde kullanımı zorunlu olan otomatik darbeli tokmağa karşılık, TBDY-2018'de sınır aralığı verilen minimum, ortalama ve maksimum C_E katsayı değerleri (Tablo 1) esas alınmıştır.

Eşitlik 12'deki fonksiyon girdilerinin değer sınırları ve aralık artış miktarı (Tablo 3) belirlendikten sonra, tasarlanan konsol uygulaması; yerel işletim sisteminde komut penceresinde çalıştırılmıştır. Bu bölümde ifade edilen, girdi değişken sayısı ve değer sınırlarına göre (terim sayısı çarpımı kadar) TBDY-2018'e uygun olarak toplam 4155299 adet zemin sıvılaşma potansiyeli çözümlenmiştir. Çok farklı GS sonuçlarını içeren bu devasa çözüm kümesi; tercihen anlamlı olarak sınırlandırılmıştır ve $GS=[0,2.2]$ ile $GS=[0,3.3]$ şeklinde iki farklı kümeye ayrılmıştır. Bu ayırmada dikkat edilen en önemli husus; $C_E=0.90$, 1.25 ve 1.60 değerleri için aynı geoteknik ve deprem parametrelerine göre hesaplanan her bir GS değerinin, TBDY-2018 güvenlik koşulunun iki ve üç katına kadar olan sonuçlarla daraltılmasıdır. Bu şekilde, herhangi bir C_E katsayısı kategorisinde çözümlenmiş GS değerinin; tanımsız, negatif ya da mutlak olarak çok büyük olması durumunda elimine edilerek geriye kalan tutarlı sonuçların kıyaslanması sağlanmıştır. $C_E=0.90$, 1.25 ve 1.60 değerleri için yapılan analizlerde, $GS=[0,2.2]$ olan çözüm sayısı 766387 iken $GS=[0,3.3]$ olan çözüm sayısı 894744 olmuştur. Bu sonuç verilerinin bir dizelge halinde işlendiği "CSV" uzantılı dosyaların boyutu ise sırasıyla 61 ve 71 MB büyüklüğündedir. Tasarlanan konsol uygulamasının komut ekranında çalıştırılması ve çözümleme detaylarının sunulma biçimi Şekil 2'de gösterilmiştir.

```

Microsoft Visual Studio Debug Console

TBDY 2018 Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Potansiyeli Çözümlemeyicisi Başlatıldı:
831059
1662119
2493179
3324239
4155299
Belirlenen girdi degiskenlerine karsilik olusan senaryolar için zemin sıvılaşma analizleri bitmistir.
TBDY 2018'e göre 4155299 adet sıvılaşma potansiyeli çözümlenmiştir.
Çözümlenen tüm analizlerin islendiği toplam dosya boyutu: 329 MegaByte
Çözüm senaryolarından güvenlik sayısı 0 ile 2.2 arasında olanlar seçilmiştir:
GS=[0,2.2] aralığında, CE 0.90, 1.25 ve 1.60 degerleri için kıyaslanacak çözüm sayısı: 766387
GS=[0,2.2] aralığında, seçilen tüm verilerin islendiği dosya boyutu: 61 MegaByte
Çözüm senaryolarından güvenlik sayısı 0 ile 3.3 arasında olanlar seçilmiştir:
GS=[0,3.3] aralığında, CE 0.90, 1.25 ve 1.60 degerleri için kıyaslanacak çözüm sayısı: 894744
GS=[0,3.3] aralığında, seçilen tüm verilerin islendiği dosya boyutu: 71 MegaByte
Algoritmanın toplam tamamlanma süresi 74.64 saniyedir.

D:\MuhammetDingilDisk\Repos\SLML\bin\Debug\netcoreapp3.1\SLML.exe (process 12908) exited with code 0.
To automatically close the console when debugging stops, enable Tools->Options->Debugging->Automatically
close the console when debugging stops.
Press any key to close this window . . .

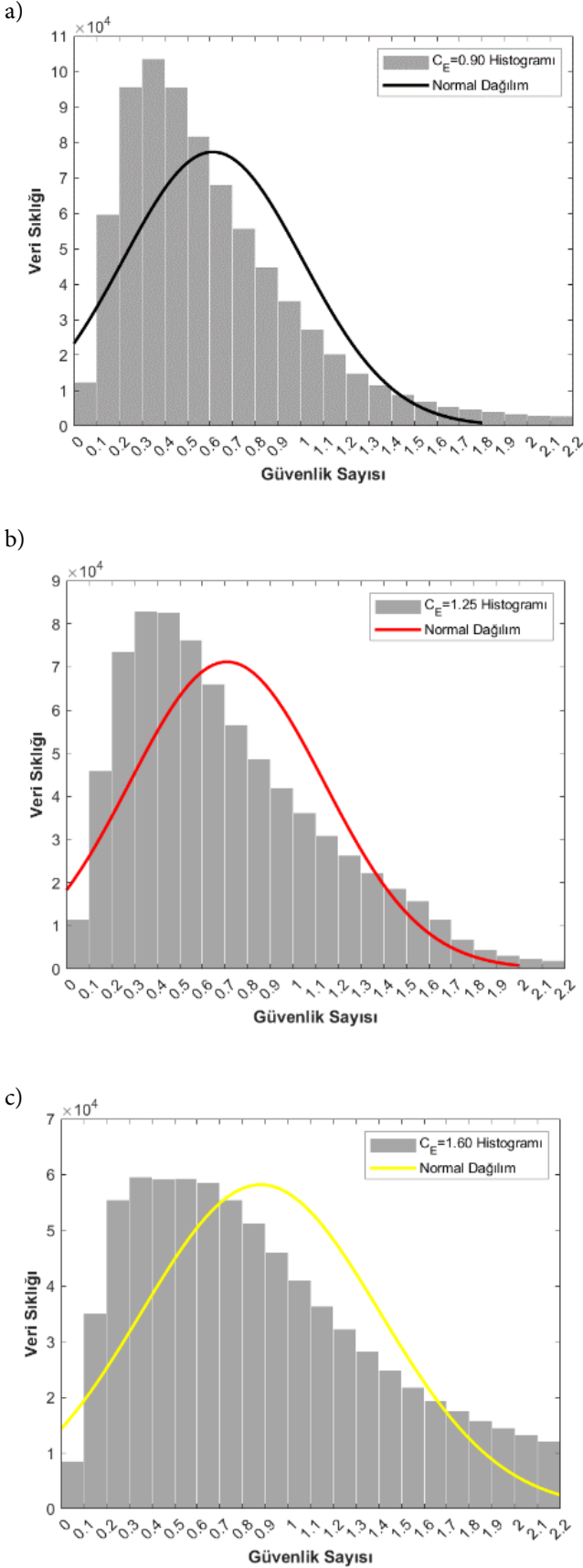
```

Şekil 2: $C_E=0.90$, 1.25 ve 1.60 için $GS=[0,2.2]$ ve $GS=[0,3.3]$ aralığındaki sıvılaşma çözümlemeleri
Figure 2: Liquefaction analyses for $C_E=0.90$, 1.25 and 1.60 within $GS=[0,2.2]$ and $GS=[0,3.3]$

4. BULGULAR

Bu bölümde, geliştirilen konsol uygulamasında $C_E=0.90$, 1.25 ve 1.60 değerleri için, Tablo 3'teki değişkenlerin terim sayısı çarpımı kadar çözümlenen 4155299 adet sıvılaşma senaryosundan, 766387 adeti $GS=[0,2.2]$ aralığında ve 894744 adeti $GS=[0,3.3]$ aralığında kalarak kümelendirilmiştir. Farklı iki GS sınırına sahip kümelerde, $C_E=0.90$, 1.25 ve

1.60 katsayılarının GS üzerindeki etkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan matematiksel çözümlemelerin grafikler yoluyla görselleştirilmesi, MATLAB (2025) yazılımında sağlanmıştır. $C_E=0.90$, 1.25 ve 1.60 katsayıları için $GS=[0,2.2]$ aralığındaki sıvılaşma potansiyeli çözümlerinin, güvenlik sayısı-veri sıklığı histogramları Şekil 3'te, farklı C_E değerlerinin histogram normal dağılımları ise Şekil 4'te sunulmuştur.

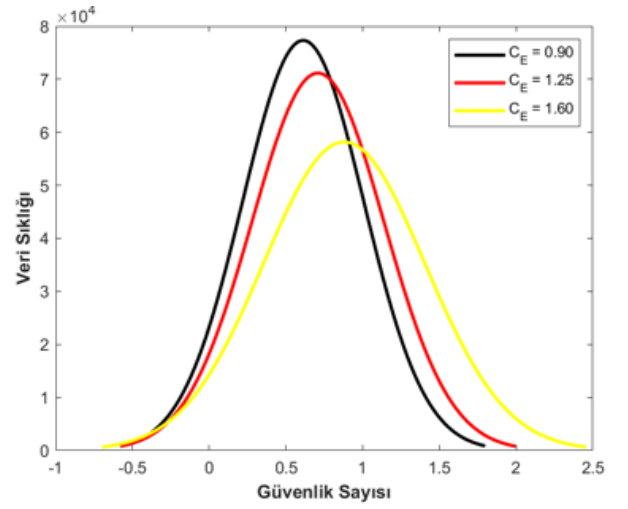


Şekil 3: $GS=[0,2.2]$ aralığındaki sıvılaşma çözümleri histogramları:

a) $C_E=0.90$, b) $C_E=1.25$, c) $C_E=1.60$

Figure 3: Histograms of liquefaction solutions within $GS=[0, 2.2]$

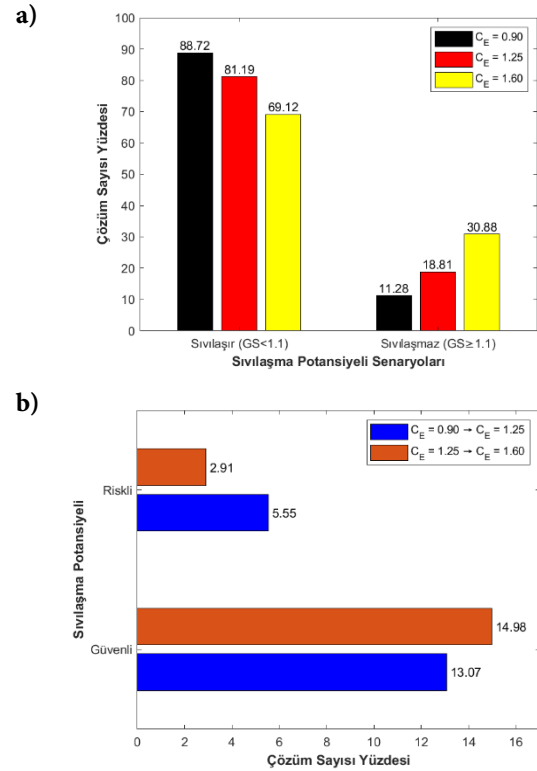
a) $C_E=0.90$, b) $C_E=1.25$, c) $C_E=1.60$



Şekil 4: $GS=[0,2.2]$ aralığındaki çözümlerin $C_E=0.90$, 1.25 ve 1.60 için normal dağılımları

Figure 4: Normal distributions for $C_E=0.90$, 1.25 and 1.60 considering solutions within $GS=[0, 2.2]$

$C_E=0.90$, 1.25 ve 1.60 katsayıları için $GS=[0,2.2]$ aralığındaki çözümler; TBDY-2018'de sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu olan 1.10 değeri esas alınarak 'sıvılaşır'- 'sıvılaşmaz' biçiminde Şekil 5a'da tasnif edilmiştir. C_E katsayısının 0.90'dan 1.25'e ve 1.25'den 1.60'a geçişi sırasında, güvenlik koşulu göz önüne alarak, 'riskli' ve 'güvenli' duruma dönüşen çözüm sayısının yüzdesi ise Şekil 5b'de görselleştirilmiştir.



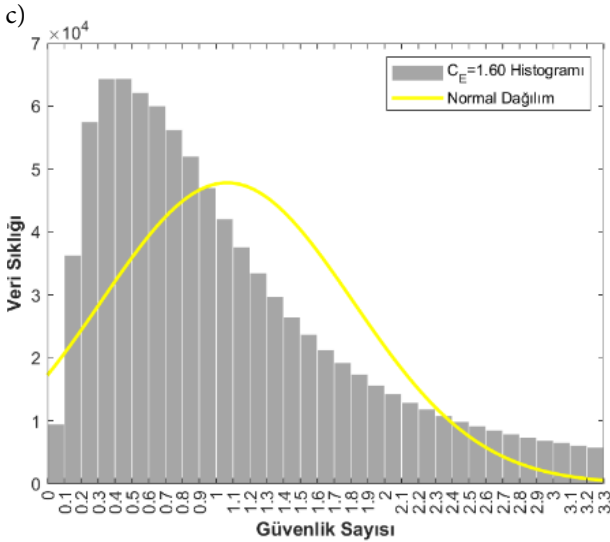
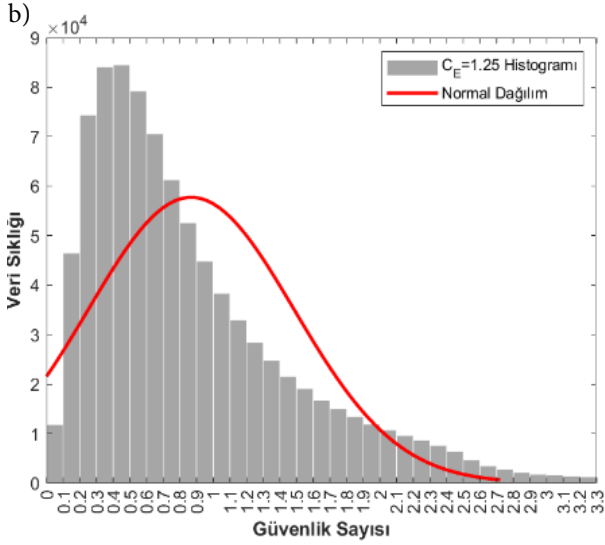
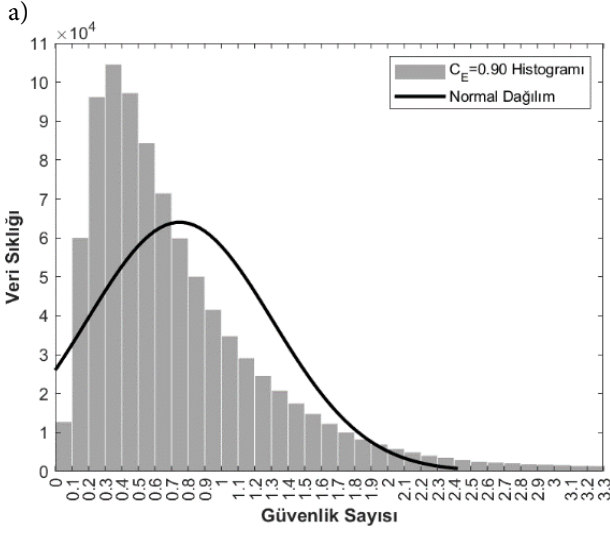
Şekil 5: $GS=[0,2.2]$ aralığındaki sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmesi: a) $C_E=0.90$, 1.25 ve 1.60 için sonuçlar,

b) $C_E=0.90 \rightarrow 1.25$ ve $C_E=1.25 \rightarrow 1.60$ için geçiş etkisi

Figure 5: Liquefaction potential assessment within $GS=[0, 2.2]$ a) Results for $C_E=0.90$, 1.25 and 1.60,

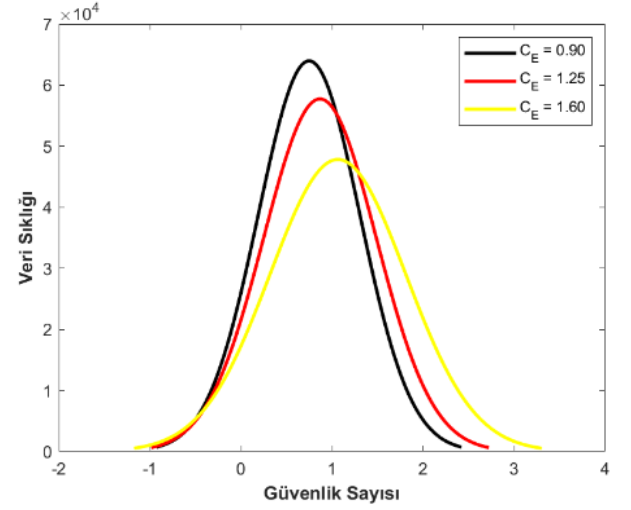
b) Transition effect for $C_E=0.90 \rightarrow 1.25$ and $C_E=1.25 \rightarrow 1.60$

Şekil 6'da $C_E=0.90$, 1.25 ve 1.60 katsayıları için sıvılaşma potansiyeli analizlerinin $GS=[0,3.3]$ aralığındaki güvenlik sayısı-veri sıklığı histogramları; Şekil 7'de ise farklı C_E katsayılarına ait histogram normal dağılımları paylaşılmıştır.



Şekil 6: $GS=[0,3.3]$ aralığındaki sıvılaşma çözümleri histogramları: a) $C_E=0.90$, b) $C_E=1.25$, c) $C_E=1.60$

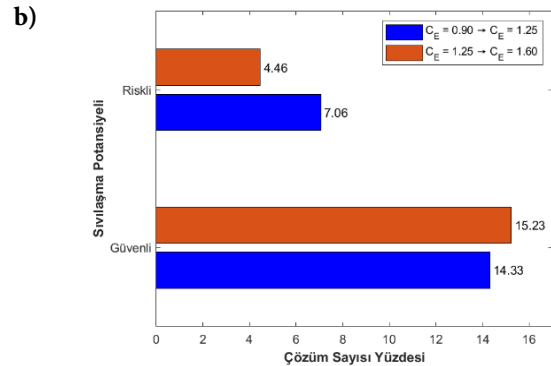
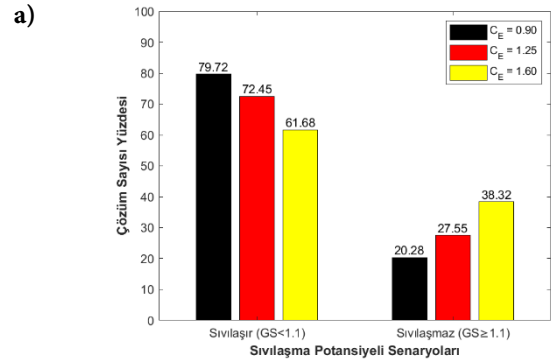
Figure 6: Histograms of liquefaction solutions within $GS=[0, 3.3]$ a) $C_E=0.90$, b) $C_E=1.25$, c) $C_E=1.60$



Şekil 7: $GS=[0,3.3]$ aralığındaki çözümlerin $C_E=0.90$, 1.25 ve 1.60 için normal dağılımları

Figure 7: Normal distributions for $C_E=0.90$, 1.25 and 1.60 considering solutions within $GS=[0, 3.3]$

$GS=[0,3.3]$ aralığındaki çözümler; Şekil 8'de sunulduğu üzere, yine TBDY-2018 sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu esas alınarak, $C_E=0.90$, 1.25 ve 1.60 katsayıları için sıvılaşma potansiyelleri kategorize edilmiştir. Şekil 8b'de ise C_E katsayısının 0.90'dan 1.25'e ve 1.25'den 1.60'a geçişi sırasında, TBDY-2018 güvenlik koşuluna göre, 'riskli' ve 'güvenli' tarafa geçen çözüm sayısının oranı sunulmuştur.



Şekil 8: $GS=[0,3.3]$ aralığındaki sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmesi: a) $C_E=0.90$, 1.25 ve 1.60 için sonuçlar, b) $C_E=0.90 \rightarrow 1.25$ ve $C_E=1.25 \rightarrow 1.60$ için geçiş etkisi

Figure 8: Liquefaction potential assessment within $GS=[0, 3.3]$ a) Results for $C_E=0.90$, 1.25 and 1.60, b) Transition effect for $C_E=0.90 \rightarrow 1.25$ and $C_E=1.25 \rightarrow 1.60$

Şekil 3 ve 6'da gösterilen farklı C_E katsayıları için yapılan çözümlemelerin veri sıklıkları yüzdesel olarak incelendiğinde; $C_E = 0.90, 1.25$ ve 1.60 için sırasıyla, $GS=[0,2.2]$ aralığında %11.28, %18.81 ve %30.88; $GS=[0,3.3]$ aralığında ise %20.28, %27.55 ve %38.32 oranındaki sonuçlar, sivilaşma potansiyeli analizi sonunda 'güvenli' olarak tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, TBDY-2018'e göre basitleştirilmiş zemin sivilaşma değerlendirmesi yapabilen bir bilgisayar konsol yazılımı geliştirilerek, üç farklı enerji oranı düzeltme katsayısının aynı geoteknik-deprem parametrelerine göre çözümlenen sivilaşma senaryolarındaki güvenlik sayısına olan nicel etkisi incelenmiştir. Bu araştırma neticesinde, ortaya çıkarılan bulgular üzerinde gerçekleştirilen değerlendirmelerin sonuçları aşağıda belirtilmiştir:

- Basitleştirilmiş zemin sivilaşma değerlendirmesi; SPT arazi deneyinden elde edilen ham verilerin düzeltilerek sivilaşma direncinin ve yalın bir yaklaşımla deprem esnasında gelişen kayma gerilmelerinin hesaplanmasını içeren TBDY-2018 Ek 16B'deki sivilaşma potansiyeli çözümleme yöntemidir. Bu yöntemde göre SPT verilerinde yapılması gereken düzeltmelerden biri de SPT deneyinde kullanılan tokmak (şahmerdan) tipine göre uygulanan C_E enerji oranı düzeltme katsayısıdır. TBDY-2018 içerisinde güvenli, halkalı ve otomatik darbeli olmak üzere üç farklı tokmak (şahmerdan) cinsi belirtilmiştir fakat ZTEUE (2019)'a göre sondaj çalışmalarında SPT deneyi gerçekleştirilirken kullanılacak tokmak (şahmerdan) tipi otomatik darbeli olarak sınırlandırılmıştır.
- TBDY-2018'de otomatik darbeli tokmak (şahmerdan) tipi için kullanılabilecek enerji oranı düzeltme katsayısı aralığı $C_E=[0.90,1.60]$ olarak ifade edilmiştir. C_E değer aralığının, diğer hesap değişkenlerine kıyasla geniş olması, bir merteye etkisine neden olacağından ötürü C_E katsayısının sivilaşmaya karşı güvenlik sayısına (GS) olan katkısının irdelenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, TBDY-2018'e göre SPT deneyinde kullanılan otomatik darbeli tokmak için verilen C_E katsayı aralığından 0.90 (en küçük), 1.25 (ortalama) ve 1.60 (en büyük) değerleri seçilerek, sivilaşma potansiyeli çözümlemeleri gerçekleştirilmiştir.
- TBDY-2018'e göre sivilaşma potansiyeli analizinde, C_E katsayısından farklı olarak değişen sayı ve aralıkta birçok geoteknik ve deprem parametresi gerektiği için çözümlemeler için bir geoteknik yazılım kodlanmıştır. Bu yazılım, gereken geoteknik-deprem girdi değişkenlerini ön tanımlı aralıklara göre iç içe döngüler biçiminde çözümleyebilen ve otomatik olarak sonuçları veri metin dosyasına işleyebilen bir konsol uygulamasıdır. Farklı C_E katsayılarının etkisini mukayese edebilmek için eş geoteknik-deprem girdi değişkenlerine, TBDY-2018 ölçü alınarak bir değer aralığı tanımlanmıştır. C_E katsayısı dışında, yazılım içerisinde yer alan girdiler; derinlik (Z), yer altı su seviyesi ($YASS$), ham SPT sayısı (N), birim hacim ağırlık (γ_N), ince dane içeriği (IDI), tasarım deprem büyüklüğü (M_w) ve tasarım kısa periyot spektral ivme katsayısı (S_{DS}) değişkenleridir.
- Geoteknik yazılım içerisindeki çözümler; TBDY-2018 sivilaşmaya karşı güvenlik koşulunun iki ve üç katına kadar daraltılarak tanımsız, negatif ya da mutlak olarak çok büyük GS değerleri, veri hacmi ve tutarlı sonuçlar açısından elenmiştir. $C_E=0.90, 1.25$ ve 1.60 değerleri için çözümlenen

toplam 4155299 adet sivilaşma senaryosundan, 766387 adet $GS=[0,2.2]$ aralığında; 894744 adet $GS=[0,3.3]$ aralığında yer almıştır.

- $C_E = 0.90, 1.25$ ve 1.60 için sırasıyla, $GS=[0,2.2]$ aralığında %11.28, %18.81 ve %30.88; $GS=[0,3.3]$ aralığında %20.28, %27.55 ve %38.32 oranındaki çözümler, sivilaşma potansiyeline karşı güvenli bulunmuştur. $GS=[0,2.2]$ ve $GS=[0,3.3]$ kümelerinde, $C_E=0.90$ (en küçük) ile $C_E=1.60$ (en büyük) arasında güvenli hesaplanan çözüm sayısının değişimi, yaklaşık %18-20 arası olmuştur.
- TBDY-2018 güvenlik koşulu ($GS \geq 1.10$) esas alındığında, C_E katsayısı değiştiğinde, sivilaşma potansiyeli 'güvenli' ve 'riskli' bulunan çözüm oranlarında farklılıklar meydana gelmiştir. Riskli durumdan güvenli tarafa geçen çözüm oranı, $GS=[0,2.2]$ aralığında $C_E=0.90$ 'dan 1.25 'e %13.07, $C_E=1.25$ 'ten 1.60 'a %14.98 olarak hesaplanmıştır. $GS=[0,3.3]$ aralığında ise $C_E=0.90$ 'dan 1.25 'e %14.33 ve $C_E=1.25$ 'ten 1.60 'a %15.23 oranında riskli durumdan güvenli tarafa geçiş görülmüştür. Güvenli taraftan riskli duruma geçen çözümlerin oranı, $GS=[0,2.2]$ aralığında $C_E=0.90$ 'dan 1.25 'e %5.55, $C_E=1.25$ 'ten 1.60 'a %2.91 olarak gözlenmiştir. $GS=[0,3.3]$ aralığında ise $C_E=0.90$ 'dan 1.25 'e %7.06 ve $C_E=1.25$ 'ten 1.60 'a %4.46 oranında güvenli taraftan riskli duruma geçiş olmuştur.
- Her iki güvenlik sınırı aralığı için çözümler ortalama olarak değerlendirildiğinde, sivilaşma çözüm senaryolarının $C_E=0.90$ 'dan 1.25 'e yaklaşık %13.7'si, $C_E=1.25$ 'ten 1.60 'a yaklaşık %15.1'i riskli durumdan güvenli tarafa geçmiştir. Güvenli taraftan riskli duruma geçen çözümlerin oranı ise $C_E=0.90$ 'dan 1.25 'e yaklaşık %6.31, $C_E=1.25$ 'ten 1.60 'a yaklaşık %3.69 olarak gözlenmiştir.
- C_E katsayısının minimum, ortalama ve maksimum değerleri arasında geçişte, TBDY-2018 güvenlik koşulu esas alındığında, sivilaşma çözümlerinin dağılımı; yaklaşık olarak güvenli taraf için %13-15, riskli durum için %3-7 oranında değiştiği saptanmıştır. Enerji oranı düzeltme katsayısının, eş geoteknik ve deprem parametrelerine göre çözümlenen sivilaşma potansiyeli senaryoları üzerinde önemli değişikliklere yol açtığı görülmüştür.
- Farklı C_E katsayıları için TBDY-2018'e uygun sivilaşma potansiyeli çözümlemeleri, istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, enerji oranı düzeltme katsayısının basitleştirilmiş zemin sivilaşma değerlendirmesine ciddi biçimde etki ettiği gözlenmiştir. Enerji oranı düzeltme katsayısının yüksek mertebeli yönlendirici etkisinin en aza indirgenmesi için teorik ve yaklaşık esasa dayanan bir katsayı yerine enerji verimliliğinin doğrudan ölçülmesi daha uygun olacaktır.
- Bu hususta, SPT arazi deneyinde yapılması gereken enerji kaynaklı düzeltme için, teorik olarak hesap edilen ya da önerilen bir katsayı yerine aletsel gözleme dayanan bir enerji verimliliği ölçümünü esas alan, emsal küresel standartlar bulunmaktadır. Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu (ASTM) tarafından yayınlanan ASTM D4633-16 (2016) ve Uluslararası Standartlar Teşkilatı Geoteknik Teknik Komitesi (ISO/TC 182) tarafından yayınlanan EN ISO 22476-3:2005 +A1:2011 (2011) normlarının, bu konuda örnek olabileceği düşünülmektedir.
- Sonuç olarak, TBDY-2018'e göre sivilaşma potansiyelinin belirlenmesinde; enerji oranı düzeltme katsayısının sivilaşmaya karşı güvenlik sayısını olumlu ya da olumsuz olarak ölçekleyebilen etkilerinden kaçınmak için SPT enerji verimliliğinin deneye özgü, ölçüme dayalı ve yerinde tespit edilmesi önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yer alan birinci yazar, TÜBİTAK 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Programı ve YÖK 100/2000 Doktora Projesi kapsamında desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Akbaş M., Subaşı O., Kaygusuz Z., İyisan R., 2023. Sıvılaşma Kaynaklı Oturmaların Azaltılmasında Üst Dolgu Tabakasının Etkisi: Bir Vaka Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 126-144.
- Anbazhagan P., Yadhunandan M.E., Kumar A., 2022. Effects of hammer energy on borehole termination and SBC calculation through site-specific Hammer energy measurement using SPT HEMA, Indian Geotechnical Journal, 52(2), 381-399.
- Andrus R.D., Stokoe II K.H., 2000. Liquefaction resistance of soils from shear-wave velocity, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 126(11), 1015-1025.
- ASTM D4633-16, 2016. Standard Test Method for Energy Measurement for Dynamic Penetrometers, ASTM International, West Conshohocken, USA.
- Bayrakçı E., Balaban E., Onur M.İ., Özmen H.B., Pekkan E., 2021. Geoteknik Mühendisliğinde 2016-2021 Yılları Arası Sıvılaşma Çalışmaları, Disaster Science and Engineering, 7, 11-19.
- Biringer E., Davie J., 2008. Assessment of energy transfer ratio in SPT using automatic hammers, In GeoCongress 2008: Characterization, Monitoring, and Modeling of GeoSystems (pp. 356-363).
- Boulanger R.W., Idriss I.M., 2016. CPT-based liquefaction triggering procedure, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 142(2), 04015065.
- Cetin K.O., Ayhan B.U., Moss R., Kayen R., 2022. Reliability-Based Liquefaction Triggering Assessment Framework: A Unified Approach for SPT-CPT-Vs, In European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (pp. 109-123), Cham: Springer International Publishing.
- Cetin K.O., Cevik M.E., Al-Suhaily A., Yunatci A.A., 2023. Probabilistic Assessment of Standard Penetration Test Hammer Energy Efficiency and Rod Length Corrections, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 149(8), 04023055.
- Cetin K.O., Seed R.B., Der Kiureghian A., Tokimatsu K., Harder Jr L.F., Kayen R.E., Moss R.E., 2004. Standard penetration test-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130(12), 1314-1340.
- Chen Z., Li H., Goh A.T.C., Wu C., Zhang W., 2020. Soil liquefaction assessment using soft computing approaches based on capacity energy concept, Geosciences, 10(9), 330.
- Clayton C.R.I., 1990. SPT energy transmission: theory, measurement and significance, Ground Engineering, 35-43.
- Dingil M., 2020. Zemin Mekanikinde Endeks Deneyleri için İnternet Tabanlı Bir Uygulamanın Geliştirilmesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2020.
- El-Sherbiny R.M., Salem M.A., 2013. Evaluation of SPT energy for Donut and Safety hammers using CPT measurements in Egypt, Ain Shams Engineering Journal, 4(4), 701-708.
- EN ISO 22476-3:2005 +A1:2011, 2011. Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 3: Standard penetration test - Amendment 1, European Committee for Standardization (CEN) Technical Committee CEN/TC 341, 2011.
- Honeycutt J.N., Kiser S.E., Anderson J.B., 2014. Database evaluation of energy transfer for central mine equipment automatic hammer standard penetration tests, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 140(1), 194-200.
- Iwasaki T., Arakawa T., Tokida K.I., 1984. Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes, International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 3(1), 49-58.
- Juang C.H., Chen C.H., Mayne P.W., 2008. CPTU simplified stress-based model for evaluating soil liquefaction potential, Soils and Foundations, 48(6), 755-770.
- Kayen R., Moss R.E.S., Thompson E.M., Seed R.B., Cetin K.O., Der Kiureghian A., Tanaka Y., Tokimatsu K., 2013. Shear-wave velocity-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 139(3), 407-419.
- Kim D.S., Bang E.S., Seo W.S., 2004. Energy ratio measurement of SPT equipment, In international site characterization (ISC-2) (pp. 339-344).
- Kumar D.R., Samui P., Burman A., 2023. Suitability assessment of the best liquefaction analysis procedure based on SPT data, Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design, 6(2), 319-329.
- Lai S.Y., Chang W.J., Lin P.S., 2006. Logistic regression model for evaluating soil liquefaction probability using CPT data, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 132(6), 694-704.

- Lukiantchuki J.A., Bernardes G.P., Esquivel E.R., 2017. Energy ratio (ER) for the standard penetration test based on measured field tests, *Soils Rocks*, 40(2), 77-91.
- Manna M., Case A., Ali-Gombe A., Richard III G.G., 2022. Memory analysis of .NET and .Net core applications, *Forensic Science International: Digital Investigation*, 42, 301404.
- MATLAB, 2025. MATLAB version: 9.10.0 (R2021a), The MathWorks Inc., Natick, Massachusetts.
- NET Core, 2025. Open-source .NET Framework, Microsoft Corporation, GitHub: dotnet/core.
- Rahimi S., Wood C.M., Wotherspoon L.M., 2020. Influence of soil aging on SPT-Vs correlation and seismic site classification, *Engineering Geology*, 272, 105653.
- Robertson P.K., Fear C.E., 1997. Cyclic liquefaction and its evaluation based on the SPT and CPT, In *Proceeding of the NCEER workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils* (pp. 41-87).
- Robertson P.K., Wride C.E., 1998. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test, *Canadian Geotechnical Journal*, 35(3), 442-459.
- Sahin G., Toygar O., Kahyaoglu T., 2022. A Numerical Study on the Efficiency of Jet Grout Columns in Liquefaction Mitigation, *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 4(2), 210-229, <https://doi.org/10.46464/tdad.1170304>.
- Seed H.B., Idriss I.M., 1971. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 97(9), 1249-1273.
- Seed H.B., Tokimatsu K., Harder L.F., Chung R.M., 1985. Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations, *Journal of Geotechnical Engineering*, 111(12), 1425-1445.
- Seed R.B., Cetin K.O., Moss R.E., Kammerer A.M., Wu J., Pestana J.M., Riemer M.F., Sancio R., Bray J., Kayen R.E., Faris A., 2003. Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework. In *Proceedings of the 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar: Long Beach, CA*.
- Skempton A.W., 1986. Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation, *Geotechnique*, 36(3), 425-447.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Ankara.
- TDTH, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (TDTH) İnteraktif Web Uygulaması, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Ankara.
- Visual Studio, 2025. Code Editor Redefined with AI, Microsoft Corporation, GitHub: microsoft/vscode.
- Yang X.T., Zhou Y.G., Cao Y., Ishikawa A., Chen Y.M., 2023. On the determination of cyclic shear stress for soil liquefaction triggering in centrifuge model test, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 173, 108137.
- Yimsiri S., 2013. Energy ratio of SPT practice performed in Thailand, *Geotechnical and Geophysical Site Characterization 4 - Proceedings of the 4th International Conference on Site Characterization 4, ISC-4*.
- Youd T.L., Idriss I.M., Andrus R.D., Arango I., Castro G., Christian J.T., Dobry R., Finn W.D.L., Harder Jr L.F., Hynes M.E., Ishihara K., Koester J.P., Liao S.S.C., Marcuson III W.F., Martin G.R., Mitchell J.K., Moriawaki Y., Power M.S., Robertson P.K., Seed R.B., Stokoe II 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*, 127(10), 817-833.
- ZTEUE, 2019. Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara.

ARAŞTIRMA VERİSİ (Research Data)

Çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar uygulaması, açık kaynak yazılım geliştirme araçları kullanılarak oluşturulmuştur. Bilgisayar uygulamasında yürütülen basitleştirilmiş sıvılaşma yöntemi için AFAD Başkanlığı tarafından yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 esas alınmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (Conflict of Interest / Relationship)

Bu çalışmada herhangi bir kişiyle ve/veya kurumla çıkar çatışması/ilişkisi yoktur.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (Author Contributions)

- Çalışmanın tasarlanması (Designing of the study): M.D.
- Literatür araştırması (Literature research): B.K., M.D.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (Fieldwork, collection/ compilation of data): M.D., B.K.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (Processing/analysis of data): M.D.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (Preparation of figures/ tables/software): M.D.
- Bulguların yorumlanması (Interpretation of findings): Y.T., M.Ö.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (Writing, editing and checking of manuscript): B.K., Y.T., M.Ö.