

**TÜRKİYE BİNA DEPREM
YÖNETMELİĞİ İLE
UYUMLU
BASİTLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN
SIVILAŞMA POTANSİYELİ
ANALİZİ HESABI
(BÖLÜM-1)**

AĞUSTOS 2019

ÖNEMLİ NOT: Sıvılaşma Potansiyeli Analizi Hesap Cetveline ait telif hakları, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu gereğince TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odasına ait olup, izin almaksızın içeriğinde herhangi bir değişiklik yapılamaz. Hesap cetveli JMO logolu olarak kullanılmak kaydıyla ücretsiz herkesin kullanımına açıktır. Ancak Oda logosunun hesap cetvelinden çıkarılarak kullanılmasının tespit edilmesi durumunda 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanun gereğince ilgili kişi hakkında gerekli hukuki yollara başvurulur.

TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ (TBDY-2018) İLE UYUMLU BASİTLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN SIVILAŞMA POTANSİYELİ ANALİZİ

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) ekinde yer alan 16.6. “Deprem Etkisi Altında Zeminin Sıvılaşma Riskinin Değerlendirilmesi” başlığı altında sıvılaşma riski ile ilgili hususlar belirtilmiş olup, Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1, DTS=1a, DTS=2 ve DTS=2a olan binalar için Yönetmelik eki 16.1’de ZD, ZE veya ZF grubuna giren, sürekli bir tabaka veya kalın merccekler halinde bulunan ve yine Yönetmelik eki **Tablo 16.6.6**’da tanımlanan durumlar dışındaki kumlu zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin bulunup/bulunmadığının, arazi ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmesi ve analiz sonuçlarının ayrıntılı olarak rapor edilmesinin zorunlu olduğu belirtilmiştir.

TBDY Madde 16.6.4’e göre potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminler, yeraltı su tablasının altında yer alan kum, çakıllı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımları olarak tanımlanmıştır.

Zemin sıvılaşmasının değerlendirilmesine yönelik olarak yapılacak bu hesaplamada SPT verileri kullanılmaktadır. **TBDY Madde 16.6.5**’e göre; temel altı zeminlerin potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminlerden oluştuğu ve bu zemin tabakalarında düzeltilmiş SPT vuruş sayısının, $N_{1,60}$, 30 darbe/30 cm değerinden küçük olduğu durumlarda zemin sıvılaşması tetiklenme değerlendirmesi yapılacaktır.

Sıvılaşma değerlendirmesi yapılırken aşağıdaki durumlar göz önüne alınacaktır.

Zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesinin altında yer alan ve yüzeyden 20 m derinliğe kadar olan kohezyonsuz ya da düşük kohezyonlu ($PI < 12$) zeminlerin deprem sarsıntısı altında, boşluk suyu basıncındaki artışa paralel kayma mukavemeti ve rijitliğindeki önemli oranda azalış olarak tanımlanmıştır (**TBDY Madde 16.6.2**).

Deprem tasarım sınıfının DTS=4 olduğu ve aynı zamanda aşağıdakilerden en az birinin sağlandığı durumlarda sıvılaşma tetiklenme analizi yapılmayabilir (**TBDY Madde 16.6.6**).

- Kil içeriğinin %20’den fazla ve plastisite indisinin %10’dan yüksek olduğu kumlu zeminlerde;
- İnce dane yüzdesinin %35’den fazla ve düzeltilmiş SPT vuruş sayısının, $N_{1,60}$, 20 vuruş / 30 cm’den yüksek olduğu kumlu zeminlerde;

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde yukarıda belirtilen hususlar dikkate alınarak **“Sıvılaşma Potansiyeli Analizi, Yanal Yayılma, Oturma Analizi ve Sıvılaşma Sonrası Rezidüel Kayma Dayanımı”** için Microsoft Excel programı kullanılarak zemin sıvılaşması tetiklenme değerlendirmesi hesap cetveli hazırlanmıştır.

İlk bölüm sıvılaşma potansiyeli analizinden oluşmaktadır.

EXCEL ZEMİN SIVILAŞMASI DEĞERLENDİRMESİ HESAP CETVELİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

Aşağıda Excel hesap tablosunda kullanılan veriler tek tek açıklanmaktadır.

1- Veri Girişi

- Antet bölümü;

Proje Adı: Sivilaşma analizinin uygulandığı “Projenin adı” yazılacaktır.

Ada No: Sivilaşma analizinin uygulandığı yerin “Ada no” su yazılacaktır.

Parsel No: Sivilaşma analizinin uygulandığı yerin “Parsel no” su yazılacaktır.

Koordinatlar: Ada ve parsel numarası belirlenmiş yerin koordinatlarıdır. Derece cinsinden “x” ve “y” sütunlarına yazılacaktır.

Datum: “x” ve “y” olarak verilen koordinatların, hangi koordinat referans sistemine ait olduğunu gösterir. Açılır pencereden uygun koordinat sistemi seçilecektir.

Kot: Sivilaşma analizi yapılan parselde metre cinsinden ortalama yükseklik yazılacaktır.

Sondaj Kuyu No: Sivilaşma analizinin yapıldığı alanda açılan sondaj kuyusunun numarası yazılacaktır.

Yeraltı Su Seviyesi: Sivilaşma analizi yapılan alanda ölçülen yeraltı su seviyesi ve birimi “m” yazılacaktır.

Zemin Sınıfı: Sivilaşma analizi yapılan zeminin TBDY Tablo 16.1’de yer alan “zemin sınıfı” açılır pencereden seçilecektir. Yerel zemin sınıflarının seçimine özel önem verilecek, özellikle arazide açılan sondajlar sırasındaki karşılaşılan zemin birimlerinin tabaka kalınlığı, litolojisi, stratigrafik kesiti, yerinde yapılan deneyler ile yeraltı suyu seviyesinin tespitine özel önem verilecektir. Bu kapsamda “Zemin Ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatına” uygun yapılan zemin ve temel etüt raporu dikkate alınarak belirlenecektir. Yerel zemin sınıflarının belirlenmesinde TBDY aşağıda belirtilen tablosuna göre belirlenecektir.

Tablo 16.1 – Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

16.4.2 – Tablo 16.1'de verilen zemin parametreleri, zemin profilinin temel veya kazık başlığı alt kotundan itibaren aşağıya doğru en üst 30 m kalınlığındaki kısmı için belirlenecektir. Birbirinden belirgin şekilde farklı zemin ve kaya tabakalarını içeren zemin profillerinde üst 30 metredeki tabakalar, yeteri kadar alt tabakaya ayrılarak en üstte $i = 1$ ve en altta $i = N$ olacak şekilde sıralanacaktır. Üst 30 metredeki *ortalama kayma dalgası hızı* $(V_s)_{30}$, *ortalama standart penetrasyon darbe sayısı* $(N_{60})_{30}$ ve *ortalama drenajsız kayma dayanımı* $(c_u)_{30}$ **Denk.(16.2)** ile hesaplanacaktır:

$$(V_s)_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{h_i}{V_{s,i}} \right)} ; \quad (N_{60})_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{h_i}{N_{60,i}} \right)} ; \quad (c_u)_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{h_i}{c_{u,i}} \right)} \quad (16.2)$$

Deprem Hesabı Verileri:

M_w : Tasarım depreminin moment büyüklüğüdür. Moment büyüklüğü saha etki alanı içinde bulunan ve depreme kaynaklık edecek süreksizlik sistemleri, fay segmentinin uzunluğu ve deprem katalogları dikkate alınarak belirlenecektir. Ya da Plana Esas Jeolojik, Jeoteknik ve Mikro bölgeleme raporlarında belirtilen ve sahaya etki eden en büyük deprem moment büyüklüğü (M_w) değeri alınacaktır.

DTS: Deprem tasarım sınıfıdır. TBDY-2018 Tablo 3.2 'den bina kullanım sınıfı ve S_{DS} değerine göre seçilmelidir.

Tablo 3.2 – Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısıdır. Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan deprem yer hareketi düzeyi, yerel zemin sınıfı, enlem ve boylama göre hesaplanır ve AFAD Başkanlığının (www.tdth.afad.gov.tr) web sayfasından alınır. ZF sınıfı zeminlerde S_{DS} "sahaya özel zemin davranış analizi" yapıldıktan sonra belirlenmelidir.

SPT Verileri:

Numune Alıcı Tipi: Standart Penetrasyon Deneyinde kullanılan numune alıcı tipidir. Açılır pencereden seçilecektir.

Sondaj Delgi Çapı: Standart Penetrasyon Deneyinde kullanılan sondaj delgi çapıdır. Açılır pencereden seçilecektir. Birimi "mm" dir.

Tokmak Tipi: Standart Penetrasyon Deneyinde kullanılan tokmak tipidir. Açılır pencereden seçilecektir. Ancak; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2019 yılında yayınlanan "Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı" na göre "otomatik darbeli" tokmak tipi zorunlu hale gelmiştir.

Enerji Oranı: Standart Penetrasyon Deneyinde kullanılan makine ve tokmak tipine göre belirlenen enerji oranıdır. TBDY-2018'de enerji oranı tokmak tiplerine bağlı olarak belirli aralıklarda belirlenmiş olup, kullanılan makine ve tokmak tipine göre değişiklik göstermektedir. Sondaj makinesinin kullanım kılavuzunda belirtilen veya enerji ölçümü sonucunda belirlenen enerji oranı; hesap cetvelinde hesap yapan kişi tarafından girilecektir.

- Tablo bölümü;

(Turuncu renkli bölümlere, kullanıcı tarafından veri girişi yapılması gerekmektedir)

1 No'lu Sütun - Sıra No: Sıvılaşma analizinde kontrolün kolay yapılabilmesi için verilen satır numarası yazılacaktır.

2 No'lu Sütun - Derinlik: Standart Penetrasyon Deneyinin yapıldığı başlangıç derinliği yazılacaktır. Sıvılaşmanın bittiği zemin tabakası başlangıç derinliği (sıvılaşma hesabı için SPT verisini içeren en son derinlik) ise tabloda belirtilen yere (derinlik sütununun sonuna) mutlaka yazılacaktır. Birimi metre'dir.

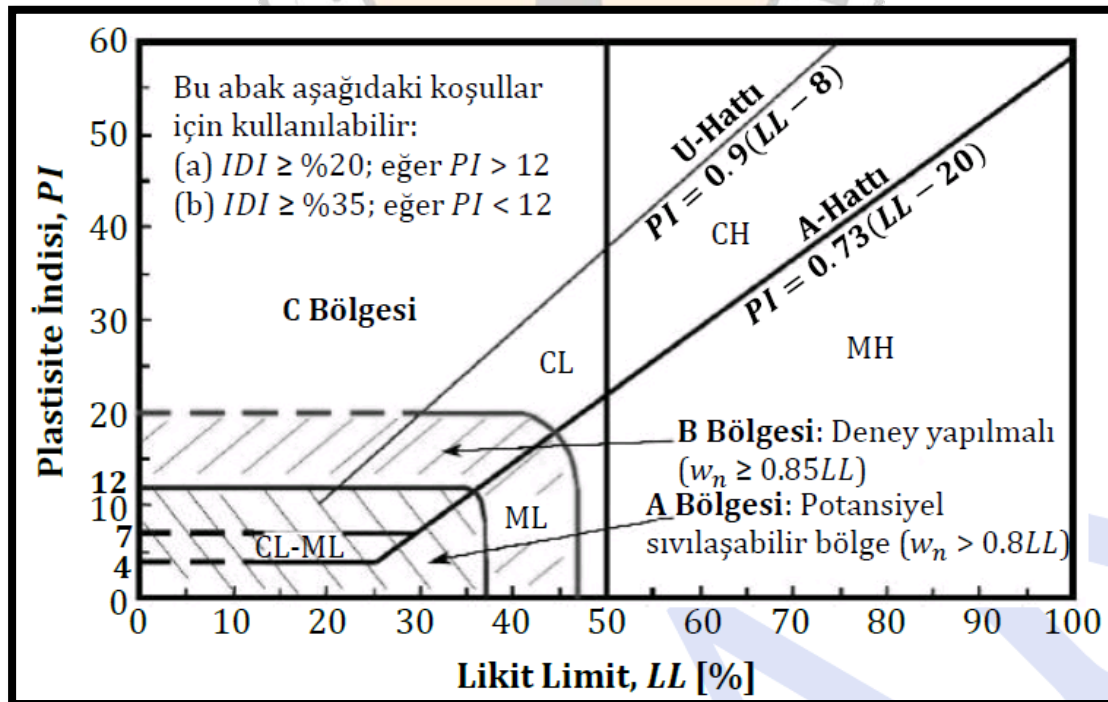
3 No'lu Sütun - SPT (N): Arazide her 1,5 m'de bir yapılan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) sonucunda elde edilen SPT (N) verileri yazılacaktır (son iki 15 cm'nin toplamı). Deney sonucunda refü için "R" yazılacaktır.

4 No'lu Sütun - Zemin Tipi (UCSC): Sondaj derinliğine bağlı "malzemenin" tanımıdır. Laboratuvar verilerine göre tanımlanacaktır. Aşağıya doğru açılan pencereden seçilecektir.

5 No'lu Sütun - Zemin Tipi (TS-EN-ISO 14688-2): Sondaj derinliğine bağlı "malzemenin" tanımıdır. Aşağıya doğru açılan pencereden seçilecektir.

6 No'lu Sütun - Plastisite İndisi: SPT derinliğinde Atterberg kıvam limitleri deneyine bağlı olarak likit limit ve plastik limitin belirlenmesi sonucu bulunan plastisite indisidir. NP zeminler için "0" değerini giriniz. TBDY Madde 16.6.2'de yapılan sınıflama tanımında $PI < \%12$ koşulunu getirmiştir. Analizlerde Plastisite indisinin $\%12$ 'den büyük olması durumunda sınıflama potansiyeli analizini otomatik olarak yapmayacaktır.

UYARI: TBDY'de belirtilmemekle birlikte; Seed ve diğ. (2003) yaklaşımına göre; plastisite indisi 12'den ve likit limiti (LL) 37'den küçük zeminler doğal su içerikleri likit limitlerinin $\% 80$ 'inden fazla ise potansiyel olarak sınıflaştırılabilir; plastisite indisi 12 ile 20, likit limiti 37 ile 47 arasında olan zeminlerde ise doğal su içeriği (w_s) likit limitlerinin $\% 85$ 'inden fazla olması durumunda sınıflama potansiyeli daha detaylı testler (örneğin tekrarlı üç eksenli deneylerin yapılması gibi) ile incelenmelidir. Aşağıdaki şekilde; ince daneli zeminlerin sınıflama/yumuşama performansı değerlendirmesi Seed ve diğ. (2003)'nin grafiği verilmiştir.



7 No'lu Sütun - Kil İçeriği (%): SPT derinliğinde alınan numunelerde yer alan kil içeriğidir. Yüzde (%) cinsinden ifade edilir. Laboratuvarda hidrometre deneyi sonucunda elde edilir.

TBDY Madde 16.6.6'da deprem tasarım sınıfının DTS=4 olduğu ve aynı zamanda kil içeriğinin %20'den fazla ve plastisite indisinin %10'dan yüksek olduğu kumlu zeminlerde sıvılaşma analizi yapılmayabilir ifadesi hesaplarda dikkate alınmıştır.

8 No'lu Sütun - Tabii Birim Hacim Ağırlığı (γ_n) : SPT derinliğinde bulunan zeminin tabii birim hacim ağırlığıdır. Birimi kN/m^3 'tür. Yeraltı suyu seviyesi altında doğal birim hacim ağırlık, doymuş birim hacim ağırlığa eşit olur.

9 No'lu Sütun - Zeminin Suyu Doymuş Birim Hacim Ağırlığı (γ_d) : SPT derinliğinde bulunan zeminin suya doymuş birim hacim ağırlığıdır. Birimi kN/m^3 'tür.

10 No'lu Sütun - İnce Dane İçeriği (IDI) : Her bir SPT derinliğinde bulunan zeminde yer alan "ince dane içeriğidir". Yüzde (%) cinsinden ifade edilir.

TBDY Madde 16.6.6'da belirtilen, deprem tasarım sınıfının DTS=4 olduğu ve aynı zamanda ince dane yüzdesinin %35'den fazla ve düzeltilmiş SPT vuruş sayısının, $N_{1,60}$, 20vuruş/30cm'den yüksek olduğu kumlu zeminlerde sıvılaşma analizi yapılmayabilir ifadesi hesaplarda dikkate alınmıştır.

2- SPT Verilerinin Düzeltilmesi

(Bu bölümde yer alan veriler Excel hesaplaması otomatik olarak gerçekleştirilir)

11 No'lu Sütun - Düşey Zemin Gerilmesi (σ_{vo}): SPT derinliğindeki düşey zemin gerilmesidir. Birimi kN/m^2 'dir.

$$\sigma_{vo} = \gamma_z \times h$$

γ_z : Tabii birim hacim ağırlığı (Eğer zemin suya doymuş ise suya doymuş birim hacim ağırlığı (γ_d) kullanılmaktadır. Birimi kN/m^3 'dür.

h : SPT derinliğidir (m).

12 No'lu Sütun - Efektif Düşey Zemin Gerilmesi (σ'_{vo}): SPT derinliğindeki efektif düşey zemin gerilmesidir. Birimi kN/m^2 'dir.

$$\sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - (\gamma_w \times \text{YASS})$$

σ_{vo} : Düşey zemin gerilmesidir (kN/m^2).

γ_w : Suyun birim hacim ağırlığıdır (kN/m^3).

YASS : Yeraltı su seviyesidir (m).

13 No'lu Sütun - Derinlik Düzeltme Katsayısı (C_N): Kohezyonsuz zeminler için hesaplanan SPT derinlik düzeltme katsayısıdır. TBDY Denklem 16B.2'de belirtilmiştir (birimsiz). C_N değeri maksimum 1.70 değerini almaktadır.

$$C_N = 9.78 \sqrt{\frac{1}{\sigma'_{vo}}} \leq 1.70$$

14 No'lu Sütun - Tij Boyu Düzeltme Katsayısı (C_R): SPT tij boyu düzeltme katsayısıdır. Yapılan hesaplamada SPT tij kılavuz boru uzunluğu 1,5m kabul edilmiştir. TBDY Tablo 16B.1'de belirtilmiştir (birimsiz).

15 No'lu Sütun - Numune Alıcı Tipi Düzeltme Katsayısı (C_S): SPT numune alıcı tipi düzeltme katsayısıdır. TBDY Tablo 16B.1'de belirtilmiştir (birimsiz).

16 No'lu Sütun - Sondaj Delgi Çapı Düzeltme Katsayısı (C_B): SPT sondaj delgi çapı düzeltme katsayısıdır. TBDY Tablo 16B.1'de belirtilmiştir (birimsiz).

17 No'lu Sütun - Enerji Oranı Düzeltme Katsayısı (C_E): SPT enerji oranı düzeltme katsayısıdır. TBDY Tablo 16B.1'de belirtilmiştir (birimsiz).

$C_E = \frac{ER}{60}$ ER: SPT Şahmerdanından(tokmak) numune alıcıya iletilin enerjinin yüzde cinsinden oranıdır.

NOT: Ülkemizde yayın olarak kullanılan tokmak (şahmerdan) tiplerine göre alınabilecek yaklaşık enerji oranı aşağıdaki tabloda verilmiştir. Ancak bu oran sondaj makinelerinde farklılık gösterdiğinden sondaj makinasının kullanım kılavuzundan alınmalıdır.

EKİPMAN	YAKLAŞIK E_R (%)	ENERJİ ORANI DÜZELTME KATSAYISI (C_E)
Güvenli Tokmak (Emniyetli Şahmerdan)	40-75	0.7-1.2
Halkalı Tokmak (Donut Tipi Şahmerdan)	30-60	0.5-1.0
Otomatik Darbeli Tokmak (Otomatik Tip Şahmerdan)	50-85	0.8-1.4

Düzeltilme Katsayısı	Değişken	Değer
C_R	3m ile 4m aralığında	0.75
	4m ile 6m aralığında	0.85
	6m ile 10m aralığında	0.95
	10m'den derin	1.00
C_S	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)	1.00
	İç tüpü olmayan numune alıcı	1.10-1.30
C_B	Çap 65mm-115mm arasında	1.00
	Çap 150mm	1.05
	Çap 200mm	1.15
C_E	Güvenli tokmak	0.60-1.17
	Halkalı tokmak	0.45-1.00
	Otomatik darbeli tokmak	0.90-1.60

Tablo 16B.1. SPT Düzeltilme Katsayıları (TBDY-2018)

18 No'lu Sütun - Düzeltilmiş SPT Vuruş Sayısı ($N_{1,60}$): Düzeltilmiş SPT vuruş sayısı TBDY Denklem 16B.1'de belirtilmiştir (birimsiz).

$$N_{1,60} = N C_N C_R C_S C_B C_E$$

19 No'lu Sütun - İnce Dane İçeriğine Göre Düzeltilmiş SPT Vuruş Sayısı ($N_{1,60f}$): İnce dane içeriğine göre düzeltilmiş SPT vuruş sayısı, ince dane içeriğine göre α ve β katsayıları kullanılarak TBDY Denklem 16B.3'de belirtilmiştir (birimsiz) [Youd vd.].

$$N_{1,60f} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

$$\alpha = 0 \quad ; \quad \beta = 1.0 \quad (IDI \leq \%5)$$

$$\alpha = \exp[1.76 - (190 / IDI^2)] \quad ; \quad \beta = 0.99 + IDI^{1.5} / 1000 \quad (\%5 < IDI \leq \%35)$$

$$\alpha = 5.0 \quad ; \quad \beta = 1.2 \quad (IDI \geq \%35)$$

3- Sıvılaşma Direncinin Hesaplanması

20 No'lu Sütun - Moment Büyüklüğü 7.5 Olan Depreme Karşı Gelen Çevrimsel Dayanım Oranı ($CRR_{M7.5}$): Moment büyüklüğü 7.5 olan depreme karşı gelen çevrimsel dayanım oranıdır. İnce dane içeriğine göre düzeltilmiş SPT vuruş sayısına göre TBDY Denklem 16B.4b'de belirtilmiştir (birimsiz) [Youd vd. 2001]. Aşağıdaki formülde ince dane içeriğine göre düzeltilmiş SPT vuruş sayısı "34" olduğunda, çevrimsel dayanım oranı tanımsız olmaktadır. Bu nedenle $N_{1,60f}$ 34 ve üzeri için sıvılaşma hesabı yapılmamıştır.

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

21 No'lu Sütun - Deprem Büyüklüğü Düzeltme Katsayısı (C_M): Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısıdır. Tasarım deprem büyüklüğüne (M_w) göre TBDY Denklem 16B.4c'de belirtilmiştir (birimsiz) [Youd vd.]. $M_w=7.5$ için bu değer "1.0" dir.

$$C_M = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}}$$

22 No'lu Sütun - Sıvılaşma Direnci (τ_R): Sıvılaşma direncidir. TBDY Denklem 16B.4a ile hesaplanacaktır. Birimi kPa 'dır.

$$\tau_R = CRR_{M7.5} C_M \sigma'_{vo}$$

4- Depremde Oluşan Kayma Gerilmesinin Hesaplanması

23 No'lu Sütun - Gerilme Azaltma Katsayısı (r_d): Gerilme azaltma katsayısıdır. İncelenen derinliğe (z) bağlı olarak TBDY Denklem 16B.6 ile hesaplanacaktır (birimsiz).

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

24 No'lu Sütun - Zeminde Depremden Oluşan Ortalama Tekrarlı Kayma Gerilmesi (τ_{deprem}): Zeminde depremden oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesidir. TBDY Denklem 16B.5 ile hesaplanacaktır. Birimi kPa 'dır.

$$\tau_{\text{deprem}} = 0.65 \sigma'_{vo} (0.4 S_{DS}) r_d$$

5- Sıvılaşma Güvenlik Koşulu

25 No'lu Sütun - Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Koşulu ($\tau_R / \tau_{\text{deprem}}$): Sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu TBDY Denklem 16.3 ile hesaplanacaktır. Denklem 16.3 ile verilen koşul sağlanmaz ise "Sıvılaşma Olabilir", koşul sağlanır ise "Sıvılaşma Yok" olarak ifade edilmektedir (birimsiz).

$$\frac{\tau_R}{\tau_{\text{deprem}}} \geq 1.10$$

TBDY-2018'e göre Sıvılaşma güvenlik koşulu ile belirlenen sıvılaşma olabilir ($FS_L < 1.10$) ifadesi yeterli kabul edilmemektedir. Deprem sonrası sıvılaşmanın yapıya zarar verip vermediğinin de araştırılması ve gerekli analizlerin yapılmasını istemektedir. Bunlar Yönetmeliğin aşağıda belirlenen ilgili maddelerinde ifade edilmektedir.

TBDY Madde 16.6.7 - Zemin sıvılaşması değerlendirilmesinde sıvılaşma tetiklenmesi riski yanında, sıvılaşma sonrası zemin mukavemeti ve rijitlik kaybı ile temel zemininde oluşabilecek yer değiştirmelerin dikkate alınması gereklidir.

TBDY Madde 16.6.9 -Denklem 16.3'te verilen koşulun sağlanamaması durumunda, sıvılaşması beklenen tabakaların dayanım ve rijitlik özelliklerindeki azalma, olası taşıma gücü kayıpları, duraylılık bozuklukları ile oturma ve yanal yayılma türündeki zemin hareketleri değerlendirilmelidir.

TBDY Madde 16.6.10 – Belirlenen sıvılaşma sonrası yer değiştirmelerin üstyapı/altyapı davranışına etkileri değerlendirilerek ihtiyaç duyulması halinde üstyapı ve/veya zemin iyileştirmeleri uygulanacaktır.

6- Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi

Sönmez ve Gökçeoğlu Yöntemi (2005)

Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi Sönmez ve Gökçeoğlu tarafından çoklu tabakaları oluşturan düşey zemin kolonunun yüzeyden 20 m'ye kadar olan sıvılaşma potansiyelini hesaplamak için geliştirilmiştir.

$$L_s = \int_0^{20} P_L(z) \cdot W(z) \cdot dz$$

26 No'lu Sütun – Sıvılaşan Tabaka Kalınlığı: Sıvılaşan tabaka kalınlığını ifade eder. Birimi "m" dir.

27 No'lu Sütun - $W(z)$: Derinlikle değişen sıvılaşma potansiyeli azaltma faktörüdür. Burada (z) zemin yüzeyinden zemin tabakasının orta noktasına olan derinliktir.

$$z < 20m \text{ için; } W(z) = 10 - 0.5 \cdot z$$

$$z \geq 20m \text{ için; } W(z) = 0$$

28 No'lu Sütun - $P_L(z)$: Her bir sıvılaşan seviye için tanımlanan sıvılaşma olasılığıdır.

$$\frac{\tau_r}{\tau_{deprem}} \leq 1,411 \text{ için; } P_L(z) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\tau_r}{0,96}\right)^{4,5}}$$

$$\frac{\tau_r}{\tau_{deprem}} > 1,411 \text{ için; } P_L(z) = 0$$

29 No'lu Sütun – Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (L_S): Sıvılaşma analizini gerektiren her bir SPT derinliğindeki sıvılaşma şiddeti indeksi değerlerinin toplamı o sondaj kuyusu için sıvılaşma şiddeti indeksini belirleyecektir. Hesaplanan toplam sıvılaşma şiddeti indeksi değerine göre derecelendirilen sıvılaşma potansiyeli, “Sıvılaşma Şiddeti İndeksi” ne ait değer tablonun altında belirtilmiştir.

$$L_S = \int_0^{20} P_L(z) \cdot W(z) \cdot dz$$

Sıvılaşma potansiyeli sınıfları (Sönmez ve Gökçeoğlu Yöntemi, 2005)

LSI	Sıvılaşma Potansiyeli
$85 \leq LSI < 100$	Çok Yüksek
$65 \leq LSI < 85$	Yüksek
$35 \leq LSI < 65$	Orta
$15 \leq LSI < 35$	Düşük
$0 < LSI < 15$	Çok Düşük
0	Sıvılaşmaz

Iwasaki vd. Yöntemi (1982)

Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi Iwasaki vd. (1982) tarafından çoklu tabakaları oluşturan düşey zemin kolonunun yüzeyden 20 m'ye kadar olan sıvılaşma potansiyelini hesaplamak için geliştirilmiştir.

$$LPI = \int_0^{20} F(z) \cdot W(z) \cdot dz$$

30 No'lu Sütun - $W(z)$: Derinlikle değişen sıvılaşma potansiyeli azaltma faktörüdür. Burada (z) zemin yüzeyinden zemin tabakasının orta noktasına olan derinliktir.

$$z < 20m \text{ için; } W(z) = 10 - 0.5 \cdot z$$

$$z \geq 20m \text{ için; } W(z) = 0$$

31 No'lu Sütun - F(z): Her bir sıvılaşan seviye için tanımlanan bir indekstir.

$$\frac{\tau_r}{\tau_{deprem}} < 1 \text{ için; } F(z) = 1 - \left(\frac{\tau_r}{\tau_{deprem}} \right)$$

$$\frac{\tau_r}{\tau_{deprem}} \geq 1 \text{ için; } F(z) = 0$$

32 No'lu Sütun – Sıvılaşma Potansiyel İndeksi (LPI): Sıvılaşma analizini gerektiren her bir SPT deney derinliğindeki sıvılaşma potansiyel indeksi değerlerinin toplamı o sondaj kuyusu için sıvılaşma potansiyeli indeksini belirleyecektir. Hesaplanan toplam sıvılaşma potansiyeli indeksi değerine göre derecelendirilen sıvılaşma potansiyeli “Sıvılaşma Potansiyel İndeksi”ne ait değer tablonun altında belirtilmiştir.

$$LPI = \int_0^{20} F(z) \cdot W(z) \cdot dz$$

Sıvılaşma potansiyeli sınıfları (Iwasaki vd. 1982)

LPI	Sıvılaşma Potansiyeli
0	Çok Düşük
$0 < LPI \leq 5$	Düşük
$5 < LPI \leq 15$	Yüksek
$15 < LPI$	Çok Yüksek

Referanslar

- Seed, R. B., Cetin, K.O., Moss, R. E. S., Kammerer, A., Wu, J., Pestana, J., Riemer, M., Sancio, R. B., Bray, J. D., Kayen, R. E., & Faris, A. (2003). Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework. Keynote presentation, 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar, Long Beach, CA.
- TBDY (2018), “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği: Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar”, Türkiye Cumhuriyeti, Ankara.
- Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B., & 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 Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 127 (10): 817–833.
- Sonmez, H. Gökçeoğlu, C. 2005, A liquefaction severity index suggested for engineering practice, Environmental Geology, 48(1), 81 – 91.

- Iwasaki, T., Arakawa, T., and Tokida, K. 1982. Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes. Proceedings of the Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Southampton, UK, 925–939.

