

**TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ-2018 İLE UYUMLU
BASİTLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN SIVILAŞMA POTANSİYELİ ANALİZİ
VE SIVILAŞMA SONRASI OTURMA, YANAL DEFORMASYON,
KAYMA DAYANIMI KAYBI ve KAPAK TABAKASI ETKİSİ
HESAP CETVELİ KULLANIM KILAVUZU (v.2)**

OCAK– 2021

ÖNEMLİ NOT:

Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Potansiyeli Analizi ve Sıvılaşma Sonrası Oturma, Yanal Deformasyon, Kayma Dayanımı Kaybı ve Kapak Tabakası Etkisi 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.

JMO, bu Excel dosyası için hiçbir garanti vermez ve kullanımıyla ilgili hiçbir sorumluluk kabul etmez. JMO'nun üyelerine yardımcı olmak amacıyla hazırlanmıştır. Kullanıcılar bu tablodan elde edilen sonuçları el hesaplamaları ile doğrulamalıdır.


İçindekiler

Bölüm – 1

- Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Potansiyeli Analizi Hesabı 1

Bölüm – 2

- Sıvılaşma Sonrası Oturma, Yanal Deformasyon, Kayma Dayanımı Kaybı ve Kapak Tabakası Etkisi Hesabı 18



BÖLÜM-1
BASİTLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN
SIVILAŞMA POTANSİYELİ ANALİZİ
HESABI (v2.0)

BÖLÜM-1

TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ (TBDY-2018) İLE UYUMLU BASİTLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN SIVILAŞMA POTANSİYELİ ANALİZİ (v.2)

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ekinde yer alan Madde 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 mercekler 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.

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-2018 Madde 16.6.2**).

TBDY-2018 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-2018 Madde 16.6.5**’e göre; temel altı zeminlerin potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminlerden oluştuğu ve bu zemin tabakalarında düzeltilmiş SPT darbe 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.

Deprem tasarım sınıfının DTS=4 olduğu ve aynı zamanda aşağıdakilerden en az birinin sağlandığı durumlarda sıvılaşma tetiklenme analizi yapılmayabilir (**TBDY-2018 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 darbe sayısının, $N_{1,60}$, 20 darbe / 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 Kayma Dayanımı Kaybı”** için Microsoft Excel programı kullanılarak zemin sıvılaşması tetiklenme değerlendirmesi hesap cetveli hazırlanmıştır.

İlk bölüm zemin sıvılaşma (veya yumuşama) değerlendirmesine yönelik olarak yapılan SPT zemin araştırmaları, zeminin dane çapı dağılımı, doğal su içeriği ve Atterberg limit değerlerinin belirlenmesini içeren **sıvılaşma potansiyeli analizinden** oluşmaktadır.

EXCEL ZEMİN SIVILAŞMASI DEĞERLENDİRMESİ HESAP CETVELİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

Aşağıda Excel hesap cetvelinde kullanılan veriler tek tek açıklanmaktadır.

1- Veri Girişi

PROGRAM VERİ GİRİŞİNDE ONDALIK SAYILARI YAZARKEN NOKTA VEYA VİRGÜL HASSASİYETİNE DİKKAT EDİLMELİDİR.

TURUNCU RENKLİ BÖLÜMLERE, KULLANICI TARAFINDAN VERİ GİRİŞİ YAPILMASI GEREKMEKTEDİR.

KULLANICILAR BAŞLIKLAR ÜZERİNE GELEK KUTUCUKLA İLGİLİ AÇIKLAMAYI GÖREBİLİRLER.

KULLANICILAR PROGRAMDAKİ MAKROYU KULLANABİLMEK İÇİN EXCELDE MAKRO AYARLARINI AÇMALIDIR.

- 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 yerde açılan sondaj kuyusunun koordinatlarıdır. Derece cinsinden “x” ve “y” sütunlarına yazılacaktır.

Datum: “x” ve “y” olarak verilen koordinatların, hangi koordinat referans sistemine ait olduğunu gösterir. Açılır pencere*den 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 yüzeyden itibaren ölçülen statik yeraltı su seviyesi ve birimi “m” yazılacaktır.

Yerel Zemin Sınıfı: Sivilaşma analizi yapılan zeminin TBDY Tablo 16.1’de yer alan “zemin sınıfı” **açılır pencere***den 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 yapılan çalışmalar “Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatına” uygun olarak yapılan zemin ve temel etüt raporu dikkate alınarak belirlenecektir. Yerel zemin sınıflarının belirlenmesinde TBDY-2018’de aşağıda verilen Tablo 16.1 kullanılacaktır.

***Açılır Pencere:** Fare ile veri girişi yapılan kutucuğu seçtiğinizde kutucuğun sağ alt köşesinde beliren aşağı yönlü küçük ok tuşuna (▼) tıkladığınızda açılan menüden seçim yapmanızı sağlar.

Not: Bu metinde TBDY-2018’de kullanılan terimlerin kullanılması prensip olarak benimsenmiştir. Bu durum Yer Bilimlerinde çalışan kişilerin kullandığı aynı anlama gelen farklı terimlerin kullanılmasının kabul edilmediği anlamı taşımamaktadır.

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 $PI > 20$ 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.			

TBDY-2018 Madde 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:

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

NOT: Yeni hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası’nda bütün zemin koşullarının tanımlanması mümkün olmadığından bu haritalar, ülke genelinde standart tek bir zemin [mühendislik kayası] koşulu $(V_s)_{30} = 760$ m/s esas alınarak hazırlanmıştır (hipotetik olarak). Bu da yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi ZB-ZC zemin grubuna tekabül etmektedir.

Deprem Hesabı Verileri:

M_w : Tasarım depreminin moment büyüklüğüdür. Moment büyüklüğü saha etki alanı içinde bulunan ve depreme kaynaklık edecek bölgesel jeoloji, tektonik yapı, depreme kaynaklık eden süreksizlik sistemleri, fay segmentinin büyüklüğü ve uzunluğu, bu fay veya fay segmentlerin üretecekleri deprem büyüklükleri, tekrarlama periyodları gibi jeolojik özellikleri ile deprem katalogları dikkate alınarak belirlenir.

Yapılacak olan sınıflama potansiyeli analizlerinde Plana Esas Jeolojik, Jeoteknik ve Mikrobölgeleme Raporları'nda belirtilen ve sahaya etki eden en büyük deprem moment büyüklüğü (M_w) değeri alınması önerilir.

Farklı araştırmacılar tarafından; inceleme alanını etkileyecek en büyük yer ivmesini elde edebilmek için olası deprem senaryoları öngörülmüştür. Bu amaç için önce MTA'nın en son 2012'de güncellediği Türkiye diri fay haritasından yararlanılarak söz konusu alana uzaklığı en fazla 100 km olan faylar seçilir ve daha sonra Wells ve Coppersmith (1994) tarafından önerilen aşağıda verilen eşitlik yardımıyla söz konusu fayların üretebileceği olası depremlerin **Moment büyüklüğü (M_w)** değerleri hesaplanabilir.

$$M_w = a + b \log (SRL)$$

Yukarıdaki eşitlikte,

SRL : Beklenen yüzey kırığının (ya da tasarım depremini üretmesi beklenen fay segmentinin) uzunluğu (km) olup,

a ve b katsayıları: Fayın türüne bağlıdır ve aşağıda verilen Çizelge.1'den alınmıştır.

Büyük fay zonlarının, deprem sırasında genel olarak tüm uzunlukları boyunca yırtılmadığı, fakat fay uzunluğunun bir kısmının veya yüzdesinin yırtılacağı (örneğin, Kuzey Anadolu Fay Sistemi) gözlenmiştir. Bir fay veya fay bölgesi tanımlandıktan sonra, potansiyel deprem kırılma uzunluğunu tahmin etmek için bazı özel durum ve teknikler kullanılabilir. Yarım uzunluk, kesirli fay uzunluğu ve segmentasyon teknikleri gibi çeşitli teknikler geliştirilmiştir (Slemmons, 1982).

Çizelge.1 Fay segmenti yaklaşımı ile senaryo deprem büyüklüğünü veren eşitlikteki a ve b katsayıları (Wells ve Coppersmith, 1994)

Fay Türü	a katsayısı	b katsayısı
Doğrultu atımlı fay	5.16	1.12
Normal fay	4.86	1.32
Ters fay	5.00	1.22
Tüm fay türleri	5.08	1.16

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

Tablo 3.1 Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Yukarıdaki Tablo 3.1’de bina kullanım amacına göre bina önem katsayısı (I) 1.5 olan yapılar için Bina Kullanım Sınıfı BKS=1 denmiştir.

Deprem Tasarım Sınıflarının seçimi sivilaşma analizi sonuçlarını etkilememektedir. Ancak Yönetmelikte Madde 16.6.6’da belirtilen Deprem Tasarım Sınıfı’nın DTS=4 olduğu ve aynı zamanda; a) Kil içeriğinin %20 ’den fazla ve plastisite indisinin %10 ’dan yüksek olduğu kumlu zeminlerde; (b) ince dane yüzdesinin (200 Nolu elekten geçen) % 35’den fazla ve düzeltilmiş SPT darbe sayısının, $N_{1,60}$, 20 darbe /30 cm’den yüksek olduğu kumlu zeminlerde; bu durumlardan en az birinin sağlandığı şartlarda sivilaşma tetiklenme analizi yapılmayabilir değerlendirilmesi bulunmaktadır. Program bu durumda sivilaşma analizi yapmamaktadır. Program yukarıda ifade edilen koşullar gerçekleştiğinde kullanıcıyı hücre içerisindeki rakamları kırmızıya boyayıp uyarmaktadır.

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

DTS=1, 1a, 2, 2a ivmenin yüksek olduğu yerler için tanımlanmıştır. “a” harfi BKS=1 sınıfını yani önemli yapı olduğunu ifade eder.

Yukarıdaki tablo sadece DD-2 Deprem yer hareketi düzeyi için kullanılacaktır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2): DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelendirmektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

DEPREM YER HAREKETİ DÜZEYLERİ	50 YILDA AŞILMA OLASILIĞI	TEKRARLANMA PERİYODU	SIKLIK
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)	%2	2475 yıl	Çok Seyrek
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)	%10	475 yıl	Seyrek
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)	%50	72 yıl	Sık
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)	%68	43 yıl	Servis Deprem Yer Hareketi

S_{DS} : Kısa periyot (0.2s) tasarım spektral ivme katsayısıdır (boyutsuz). S_{DS} 'nin S 'si Spektral ivme, alt indis "D"si Design/*tasarım*, alt indis küçük "s" Short/*kısa* anlamına gelmektedir.

$$S_{DS} = S_S \cdot F_S$$

S_S : Kısa periyot (0.2s) spektral ivme değeri;

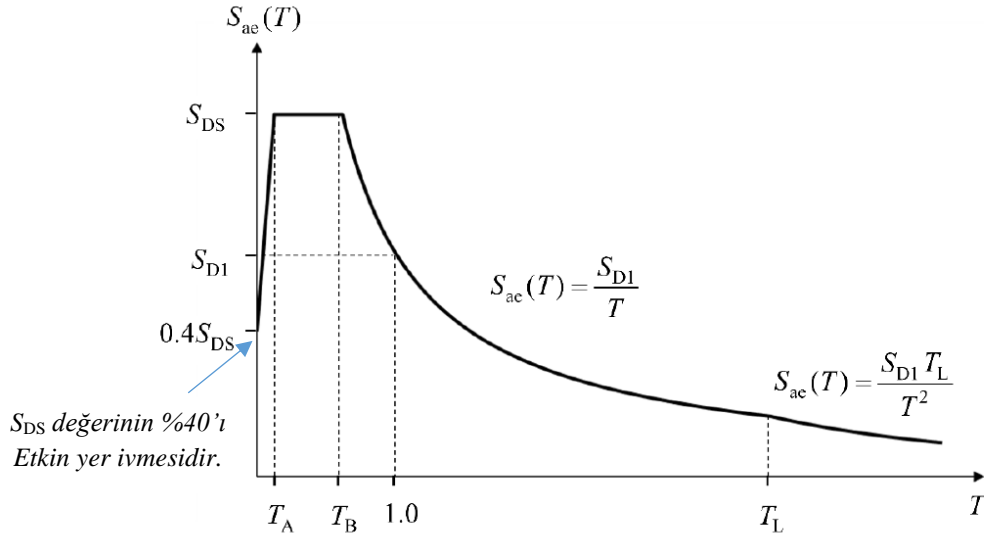
F_S : Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı (TBDY-2018'de Tablo 2.1'de verilmektedir). Tablodaki ara değerler için doğrusal interpolasyon yapılması gerekir.

Tablo 2.1- Kısa Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı

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
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5)					

S_{DS} , 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. Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda DD-2 deprem düzeyi ve zemin grubu girildiğinde sistem S_{DS} 'yi vermektedir. ZF sınıfı zeminlerde bu parametre (S_{DS}) Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan değil "sahaya özel zemin davranış analizi" yapıldıktan sonra belirlenmelidir.

Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda farklı tekrarlanma periyotları (43, 72, 475, 2475 yıl) için en büyük yer ivmesi (PGA), en büyük yer hızı (PGV), 0.2s ve 1.0s periyotlarında spektral ivmeler (S_S ve S_1) ile toplamda 16 tane harita üretilmiştir. Binalar için standart tasarım deprem yer hareketi olan 475 yıllık harita tercih edilir.



NOT: Sıfır periyodu tamamen rijit bir yapıya karşılık gelir. Bu nedenle $T=0$ olduğu zaman spektral ivme pik yer ivmesine eşittir yani $a_{max} = 0.4 S_{DS}$ 'dir.

SPT Verileri:

Numune Alıcı Tipi: Standart Penetrasyon Deneyinde kullanılan numune alıcı tipidir. Açılır pencere*den seçilecektir.

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

Tokmak Tipi: Standart Penetrasyon Deneyinde kullanılan tokmak tipidir. Açılır pencere*den 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. Ölçümde daha önce doğrudan enerji ölçümü yapılarak kalibre edilmiş bir otomatik şahmerdan kaldırma sistemi kullanılmalıdır. Deney sırasında tokmağın çakma başlığına merkezi olarak çarpması sağlanmalıdır.

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. SPT sisteminin kullanım kılavuzunda belirtilen veya belli aralıklarla yapılan/yaptırılan enerji ölçümü sonucunda belirlenen **enerji oranı**; ilgili kutucuğa veri girişi olarak yazılacaktır.

Klavuz Tij Boyu: SPT klavuz tij borusunun yerden uzunluğunu giriniz. Bu değer, serbest zemin yüzeyinden SPT yapılan seviyeye kadar olan tij uzunluklarına ilave edilecektir.

NOT-1: Tokmağın düşürülme mekanizması sabit hız ayarlı olmak zorundadır.

NOT-2: Sıvılaşmaya karşı duyarlı olabilecek veya farklı istiflenmeye sahip zeminlerde yapılacak çalışmalarda, sıvılaşmaya yatkın seviyelerin kaçırılmaması için SPT deney aralıklarının 1.5

m'den daha sık olmasına ve alınan tüm SPT örneklerinde sıvılaşma potansiyeli analizi için gerekli zemin parametrelerinin tayin edilmesine özen gösterilmesi önerilir.

- Tablo Bölümü;

TURUNCU RENKLİ BÖLÜMLERE, KULLANICI TARAFINDAN VERİ GİRİŞİ YAPILMASI GEREKMEKTEDİR.

1 No.'lu Sütun - Sıra No: Sıvılaşma analizinde kontrolün kolay yapılabilmesi için verilen satır numaralarıdır. 2 No.'lu sütuna derinlik değeri yazılınca program tarafından otomatik olarak sıra numarası verilecektir.

1 No'lu sütundaki hücre kırmızı renk ile boyanır ise bu durum o seviyede sıvılaşmayan tabaka başlangıcını ifade eder. Program, hesap tablosunun 2 No'lu sütunda en son hücrede bunu kullanıcının belirlemesini istemektedir.

2 No.'lu Sütun - Derinlik: Standart Penetrasyon Deneyinin yapıldığı ve serbest zemin yüzeyinden ölçülen 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. Örneğin 20m'lik bir kuyuda 12.00-12.45m'de yapılan SPT sonucunda "sıvılaşma beklenir" çıktı. Daha sonra yapılan SPT'lerden elde edilen sonuçlarda ise sıvılaşma olmadığı görülüyor. Sıvılaşmanın bittiği zemin tabakası kutucuğuna ya 12.45'den büyük bir sayı (örneğin 13.0m) veya sıvılaşmanın beklenmeyeceği derinlik olan 20.0m yazabilirsiniz.

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

Numune alıcı ve delgi tijleri kendi ağırlıkları altında penetre olursa SPT-N değeri "0" olarak kaydedilmelidir.

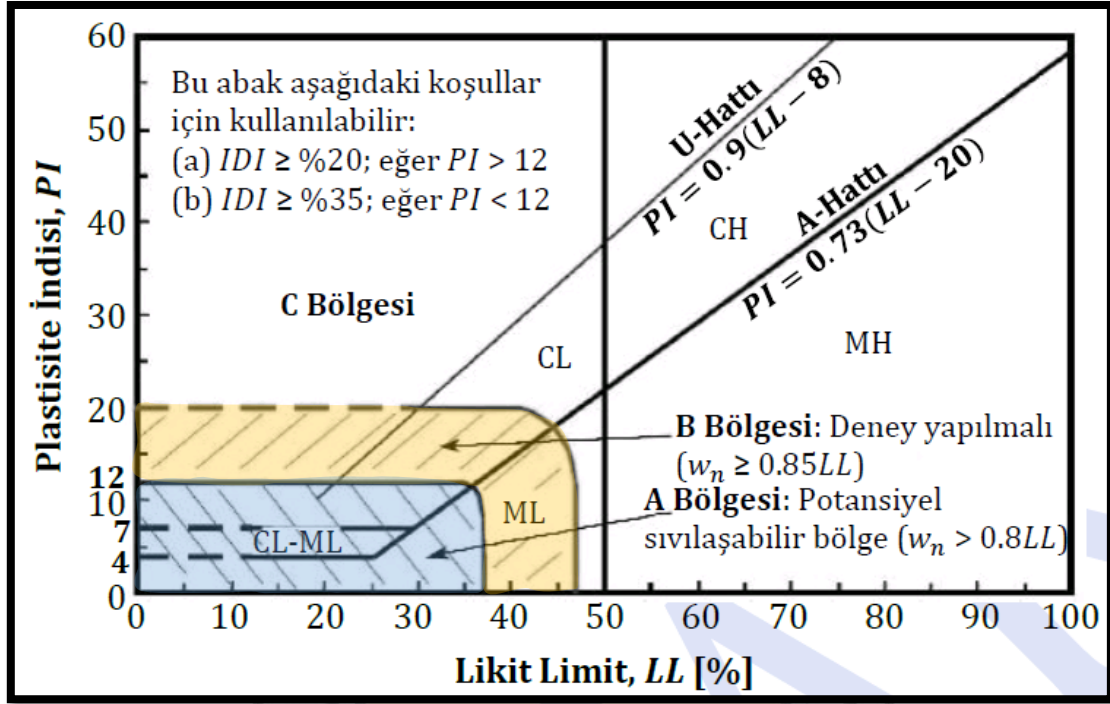
4 No.'lu Sütun - Zemin Tipi (UCSC): Sondaj derinliğine bağlı "malzemenin" tanımıdır. Laboratuvar verilerine göre tanımlanacaktır. Aşağıya doğru açılır pencere*den seçilecektir.

5 No.'lu Sütun - Zemin Tipi (TS-EN-ISO 14688-2): Sondaj derinliğine bağlı "malzemenin" tanımıdır. Aşağıya doğru açılır pencere*den 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** (plastik olmayan-Non plastic) zeminler için PI değeri yerine "0" değerini giriniz.

TBDY Madde 16.6.2'de yapılan sıvılaşma tanımında $PI < 12$ koşulunu getirmiştir. Analizlerde Plastisite indisinin $\%12$ 'den büyük olması durumunda sıvılaşma potansiyeli otomatik olarak hesaplanmayacaktır. Program tarafından kullanıcı hücre kırmızıya dönüştürülerek uyarılacaktır (örneğin PI değeri >12 olduğunda).

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 (w_n) likit limitlerinin % 80 ’inden fazla ise ($w_n=0.8 \cdot LL$) potansiyel olarak sıvılaşabilir; plastisite indisi 12 ile 20, likit limiti 37 ile 47 arasında olan zeminlerde ise doğal su içeriği (w_n) likit limitlerinin % 85’inden fazla olması durumunda sıvılaşma potansiyeli daha detaylı testler (örneğin tekrarlı üç eksenli deneylerin yapılması gibi) ile incelenmelidir. Aşağıdaki şekilde; ince daneli zeminlerin sıvılaşma/yumuşama performansı değerlendirmesi için Seed ve diğ. (2003)’nin grafiği verilmiştir.



İnce daneli zemin karışımlarında Seed vd. (2003) tarafından önerilen sıvılaşabilirlik koşulu (Seed vd., 2003)

Sıvılaşma hassasiyeti, sıvılaşmaya uygun koşulların olup olmadığının değerlendirilmesidir. Sıvılaşma potansiyeli anlamına gelmez. Kullanıcılar isterlerse **killerin sıvılaşmaya karşı hassasiyetini** Excel hesap cetvelinde “**Killerin Sıvılaşma Duyarlılığı**” sayfasında gerekli parametreleri girerek laboratuvar verilerinin hangi bölgeye düştüğünü görerek değerlendirebilirler. Potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminler doymun haldeki; Şekil’de A bölgesine düşen silt, kil, kum karışımları olarak tanımlanır. Ayrıca Şekil’de B bölgesine düşen ve sıvılaşma davranışı önceden kestirilemeyen karışımlardan örselenmemiş numune alınarak sıvılaşma tetiklenmesi laboratuvar ortamında test edilmelidir. C Bölgesindeki zeminlerde sıvılaşma potansiyeli yoktur, ancak yumuşama potansiyeli değerlendirilmelidir.

Killerin sıvılaşma duyarlılığı analizi sayfası: Excel çalışma sayfasında en alt satırda yer alan “**Killerin sıvılaşma duyarlılığı**” isimli sayfa sekmesinin seçili olduğu durum.

7 No.’lu Sütun - Kil içeriği (%): SPT derinliğinde alınan numunelerde yer alan kil içeriğidir. Yüzde (%) cinsinden ifade edilir. Bu değer laboratuvarda yapılan hidrometre deneyi sonucunda elde edilir (sıvılaşma potansiyeli bulunan zeminlerde hidrometri deneyleri mutlaka yapılmalıdır).

TBDY-2018 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 – Zeminin Tabii Birim Hacim Ağırlığı (γ_n) : SPT derinliğinde bulunan zeminin tabii birim hacim ağırlığıdır. Birimi kN/m^3 'tür.

Bu değer mutlaka girilmelidir. Değer girilmediğinde program hücreyi kırmızı çerçeveye alarak sizi uyaracaktır.

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

Bu değer mutlaka girilmelidir. Değer girilmediğinde program hücreyi kırmızı çerçeveye alarak sizi uyaracaktır.

10 No.'lu Sütun - İnce Dane İçeriği (IDI) : Her bir SPT derinliğinde bulunan zeminde yer alan "ince dane içeriğidir". Yüzde (%) cinsinden ifade edilir. İnce dane miktarı (kil+silt) laboratuvarında elek analizinden belirlenir.

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 darbe sayısının ($N_{1,60}$) 20 darbe/30 cm'den yüksek olduğu kumlu zeminlerde sıvılaşma analizi yapılmayabilir ifadesi hesaplarda dikkate alınmıştır.

2- Ham SPT Verilerinin Düzeltilmesi

(Bu bölümde yer alan hesaplamalar Excel hesap cetvelinde turuncu renkli bölümde hücrelere girilen veriler göz önüne alınarak otomatik olarak gerçekleştirilir. Hücreler korumalıdır)

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

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

γ : Zeminin tabii birim hacim ağırlığı (Eğer zemin suya doymun ise suya doymun 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.

$$\sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - (\gamma_{su} \times YASS)$$

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

γ_{su} : Suyun birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

YASS : Yeraltı su seviyesi (m)

13 No.'lu Sütun – Örtü Yükü Düzeltme Katsayısı (C_N): Kohezyonsuz zeminlerde uygulanan jeolojik gerilme (derinlik) düzeltme katsayısıdır. TBDY-2018 Denklem 16B.2'de belirtilmiştir (birimsiz). Hesaplanan C_N değeri 1.70'den büyük çıkarsa maksimum değeri olan 1.70 alınmalıdır.

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

σ'_{vo} : SPT deneyi sırasındaki ölçümün yapıldığı derinlikteki efektif jeolojik örtü basıncı (efektif düşey gerilme). Deney sonrasında yapılan ek dolgu, temel gerilmesi veya zemin kazısı ve benzeri nedenler ile oluşan efektif gerilme değişiklikleri dikkate alınmayacaktır.

14 No.'lu Sütun - Tij Boyu Düzeltme Katsayısı (C_R): SPT tij boyu düzeltme katsayısıdır. Yapılan hesaplamada **SPT tij kılavuz borusunun yerden uzunluğu SPT yapılan seviyeye kadar olan tij uzunluğuna ilave edilmiştir.** TBDY-2018 Tablo 16B.1'de belirtilmiştir (birimsiz). Kullanıcılar örneğin SPT için 3.0 m derinlik yazdıklarında program veri girişinde bulunan SPT kılavuz tij borusu uzunluğunu otomatik olarak bu uzunluğa ilave etmektedir. Buna göre Tabloda tij boyu düzeltme katsayısı değeri olarak 4.5 m tij uzunluğuna karşılık gelen değer (4m ile 6m aralığında) "0.85" yazılır.

15 No.'lu Sütun - Numune Alıcı Tipi Düzeltme Katsayısı (C_S): SPT numune alıcı tipi düzeltme katsayısıdır. TBDY Tablo 16B.1'de belirtilmiştir (birimsiz). İlgili kutucuğa tıklayarak açılan kutudan seçiminizi yapınız. Uygulamalarda kılıflar sıkça ihmal edilir ve dolayısıyla da numune alma tüpünün iç çapı artar. İç çaptaki artma, numune alıcının içerisindeki sürtünmeyi azaltır ve zeminin ölçülen penetrasyon direncini azaltır. İç tüpü olmayan numune alıcılar için tabloda 1.10-1.30 aralığı verilmiştir. Excel tablosunda ortalama değer (1.20) alınmıştır.

16 No.'lu Sütun - Sondaj Delgi Çapı Düzeltme Katsayısı (C_B): SPT sondaj delgi çapı düzeltme katsayısıdır. TBDY-2018 Tablo 16B.1'de belirtilmiştir (birimsiz). Sondaj kuyuları 115 mm'den büyük olduğunda efektif gerilmede azalma meydana gelir ve SPT-N değeri daha küçük çaptaki kuyuya nazaran daha düşük ölçülür. Bu etki, kumlarda kohezyonlu zeminlere göre daha önemlidir. İlgili kutucuğa tıklayarak açılan kutudan seçiminizi yapınız.

17 No.'lu Sütun - Enerji Oranı Düzeltme Katsayısı (C_E): SPT enerji oranı düzeltme katsayısıdır. TBDY-2018 Tablo 16B.1'de belirtilmiştir (birimsiz).

Tablo 16B.1 SPT Düzeltme Katsayıları

Düzeltilme Katsayısı	Değişken	Değer
C_R	3 m ile 4 m aralığında	0.75
	4 m ile 6 m aralığında	0.85
	6 m ile 10 m aralığında	0.95
	10 m'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	Sondaj delgi çapı: Çap 65 mm-115 mm arasında	1.00
	Sondaj delgi çapı: Çap 150 mm	1.05
	Sondaj delgi çapı: Çap 200 mm	1.15
C_E	Güvenli tokmak	0.60-1.17
	Halkalı tokmak	0.45-1.00
	Otomatik darbeli tokmak	0.90-1.60

18 No.'lu Sütun - Düzeltilmiş SPT Darbe Sayısı ($N_{1,60}$): Düzeltilmiş SPT darbe sayısı TBDY-2018 Denklem 16B.1'de belirtilmiştir (birimsiz). Sıvılaşma analizlerinde her zaman $N_{1,60}$ kullanılır. N_{60} 'da C_N düzeltmesi yoktur.

$$N_{60} = N C_R C_S C_B C_E$$

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

Burada;

- N : Araziden elde edilmiş ham SPT darbe sayısı (ilk 15 cm'deki darbe sayısı dikkate alınmaz),
 C_N : Kohezyonsuz zeminlerde uygulanan örtü yükü düzeltme (derinlik) katsayısı,
 C_R : Tij boyu düzeltme katsayısı,
 C_S : Numune alıcı tipi düzeltme katsayısı,
 C_B : Sondaj delgi çapı düzeltme katsayısı,
 C_E : Enerji verimliliği (oranı) düzeltme katsayısı ve
 $N_{1,60}$: Düzeltilmiş SPT darbe sayısı.

19 No.'lu Sütun - İnce Dane İçeriğine Göre Düzeltilmiş SPT Darbe Sayısı ($N_{1,60f}$): İnce dane içeriğine göre düzeltilmiş SPT darbe sayısı, ince dane içeriğine göre α ve β katsayıları kullanılarak TBDY-2018 Denklem 16B.3'de belirtilmiştir (birimsiz) [Youd vd., 2001].

$$N_{1,60f} = \alpha + \beta \cdot N_{1,60} \quad (16B.3a)$$

$$\alpha = 0 ; \beta = 1 \quad (IDI \leq \%5)$$

$$\alpha = \exp[1.76 - (190/IDI)^2] ; \beta = 0.99 + IDI^{1.5}/1000 \quad (\%5 < IDI < \%35) \quad (16B.3b)$$

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

3- Sıvılaşma Direncinin Hesaplanması

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

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

$N_{1,60f}$: İnce dane oranına göre düzeltilmiş SPT-N darbe sayısı.

21 No.'lu Sütun – Tasarım Depremi Moment Büyüklüğü Düzeltme Katsayısı (C_M): Tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayısıdır. Tasarım deprem büyüklüğüne (M_w) göre TBDY-2018 Denklem 16B.4c'de belirtilmiştir (birimsiz). 7.5

büyükliğündekinden farklı büyüklükteki olası depremler için uygulanacak düzeltme faktörü için Seed ve Idriss (1971) tarafından verilen aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır. Örneğin $M_w=7.5$ için C_M değeri "1.0" dir. Farklı M_w değerleri için aşağıdaki denklem kullanılarak C_M değerini program otomatik olarak hesaplamaktadır.

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

M_w : Tasarım depreminin moment büyüklüğüdür. Turuncu renkli "Veri Girişi" bölümünde M_w ile ilgili kutucuğa değer giriniz. Konuyla ilgili detaylı bilgilendirmeler için Sayfa 3'de "Deprem Hesabı Verileri" kısmına bakmanız tavsiye olunur.

22 No.'lu Sütun - Sıvılaşma Direnci (τ_R): Zeminde oluşan sıvılaşma direncidir. TBDY-2018 Denklem 16B.4a ile hesaplanacaktır. Birimi kPa 'dır.

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

C_M : Tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayısı

σ'_{vo} : Efektif jeolojik örtü basıncı (düşey gerilme).

$CRR_{M7.5}$: Moment büyüklüğü 7.5 olan depreme karşı gelen çevrimsel dayanım oranı

4- Depremde Oluşan Kayma Gerilmesinin Hesaplanması

23 No.'lu Sütun - Gerilme Azaltma Katsayısı (r_d): Gerilme azaltma katsayısıdır. İncelenen derinliğe (z) bağlı olarak TBDY-2018 Denklem 16B.6 ile hesaplanacaktır (birimsiz).

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

24 No.'lu Sütun - Zeminde Depremden Kaynaklanan Ortalama Tekrarlı Kayma Gerilmesi (τ_{deprem}): Zeminde depremden oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesidir. TBDY-2018 Denklem 16B.5 ile hesaplanacaktır. Birimi kPa 'dır.

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

σ_{vo} : Sıvılaşma değerlendirmesi yapılan derinlikteki Toplam düşey gerilmeyi,

r_d : ilgili derinlikteki gerilme azaltma katsayısını,

S_{DS} : kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını göstermektedir.

5- Sıvılaşma Güvenlik Koşulu

Zemin sıvılaşma değerlendirmesinin SPT deney sonuçları kullanılarak yapılmasına dayanan yöntem TBDY-2018 EK 16B'de verilmektedir. Burada sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının ≥ 1.10 olması öngörülmektedir.

25 No.'lu Sütun - Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Koşulu (τ_R / τ_{deprem}): Sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu (FS_L) TBDY-2018 Denklem 16.3 ile hesaplanacaktır. Denklem 16.3 ile verilen koşul sağlanmaz ise "**Sıvılaşma Beklenir**", koşul sağlanır ise "**Sıvılaşma Yok**" olarak ifade edilmektedir (birimsiz).

$$FS_L = \frac{\tau_R}{\tau_{deprem}} \geq 1.10 \quad (\text{Denk.16.3})$$

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 yapılması istenmektedir. 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

Iwasaki vd. Yöntemi (1982)

Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi Iwasaki vd. (1982) tarafından sondaj lokasyonu için çoklu tabakaları oluşturan düşey zemin kolonunun yüzeyden 20 m'ye kadar olan sıvılaşma potansiyelini hesaplamak için geliştirilmiştir. 20 metrenin üzerindeki derinliklerde program hesaplama yapmamaktadır.

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

Burada;

LPI : Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyel indeksi

$F(z)$: Güvenlik katsayısının fonksiyonu olan sıvılaşma şiddeti

$w(z)$: Ağırlıklı (ortalama) fonksiyonu

Dz : Derinlik artışı

Z : Derinlik (0-20 m)

Bu değer 0-100 arasında değişmektedir.

26 No.'lu Sütun – Sıvılaştırma Tabaka Kalınlığı: $F_L < 1.0$ için sıvılaştırma tabaka kalınlığını ifade eder. Birimi "m" dir.

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

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

$$z > 20m \text{ için; } W(z) = 0$$

28 No.'lu Sütun - $F(z)$: Her bir sıvılaştırma seviye için tanımlanan bir indekstir.

Sıvılaştırmaya karşı güvenlik katsayısı;

$$F_L < 1.0 \text{ için; } F(z) = 1 - F_L$$

$$F_L > 1.0 \text{ için; } F(z) = 0$$

F_L : Sıvılaştırmaya karşı güvenlik koşulu. F_L 'nin hesaplanmasında Youd vd. (2001)'de verilen yöntem izlenmiştir.

29 No.'lu Sütun – Sıvılaştırma Potansiyel İndeksi (L_I): Sıvılaştırma analizini gerektiren her bir SPT deney derinliğindeki sıvılaştırma potansiyel indeksi değerlerinin toplamı o sondaj kuyusu için sıvılaştırma potansiyeli indeksini belirleyecektir. Hesaplanan toplam sıvılaştırma potansiyeli indeksi değerine göre derecelendirilen sıvılaştırma potansiyeli "Sıvılaştırma Potansiyel İndeksi"ne ait değer tablonun altında belirtilmiştir.

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

Sıvılaştırma Potansiyeli Sınıflaması (Iwasaki vd., 1982)

Sıvılaştırma İndeksi (L_I)	Sıvılaştırma Potansiyeli
0	Çok Düşük
$0 < L_I \leq 5$	Düşük
$5 < L_I \leq 15$	Yüksek
$15 < L_I$	Çok Yüksek

NOT: Iwasaki vd. (1982) tarafından önerilen Sıvılaştırma İndeksinin (*Liquefaction index*) iki önemli sınırlaması bulunmaktadır;

a) Sıvılaştırma potansiyeli olmayan ($F_L > 1$) alanlar ayırtlanamaz ve

b) Orta sıvılaştırma potansiyeli tanımlamada yer almamaktadır (Sönmez, 2003).

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. Sıvılaşma olasılığı kavramı getirilmiştir.

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

30 No.'lu Sütun – Sıvılaşan Tabaka Kalınlığı: $F_L < 1.411$ için sıvılaşan tabaka kalınlığını ifade eder. Birimi "m" dir.

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

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

$$z > 20m \text{ için; } W(z) = 0$$

32 No.'lu Sütun - $P_L(z)$: Her bir seviye için Juang vd. (2003) tarafından tanımlanan sıvılaşma olasılığıdır.

$$F_L \leq 1.411 \text{ için; } P_L(z) = \frac{1}{1 + \left(\frac{F_L}{0.96}\right)^{4.5}}$$

$$F_L > 1.411 \text{ için; } P_L(z) = 0$$

F_L : Sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu. F_L 'nin hesaplanmasında Youd vd. (2001)'de verilen yöntem izlenmiştir.

$P_L(z)$: Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısına bağlı olarak, sıvılaşma olasılığı oranı

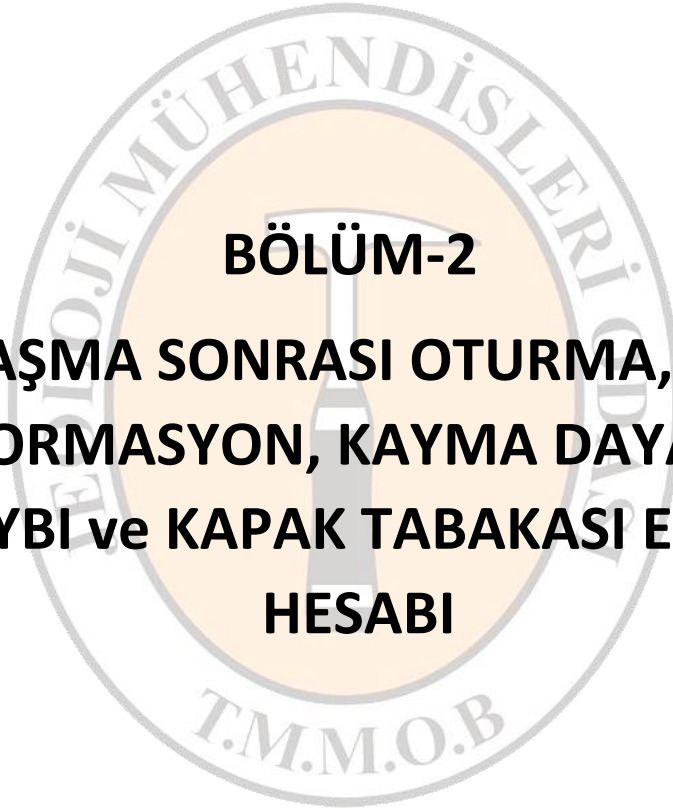
33 No.'lu Sütun – Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (L_s): Sıvılaşma analizini gerektiren her bir SPT derinliğindeki sıvılaşma şiddeti indeksi değerlerinin toplamı o sondaj kuyusu için sıvılaşma şiddeti indeksini belirleyecektir.

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

Hesaplanan toplam sıvılaşma şiddeti indeksi değerine göre derecelendirilen sıvılaşma potansiyeli, "Sıvılaşma Şiddeti İndeksi" ne ait değer tablonun altında belirtilmiştir.

Sıvılaşma şiddeti (L_s) indeksi sınıflaması (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005)

L_s	Sıvılaşma Şiddeti
$85 \leq L_s < 100$	Çok Yüksek
$65 \leq L_s < 85$	Yüksek
$35 \leq L_s < 65$	Orta
$15 \leq L_s < 35$	Düşük
$0 < L_s < 15$	Çok Düşük
$L_s = 0$	Sıvılaşmaz



BÖLÜM-2
SIVILAŞMA SONRASI OTURMA, YANAL
DEFORMASYON, KAYMA DAYANIMI
KAYBI ve KAPAK TABAKASI ETKİSİ
HESABI

BÖLÜM-2

TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ (TBDY-2018) İLE UYUMLU BASİTLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN SIVILAŞMA POTANSİYELİ ANALİZİ İLE SIVILAŞMA SONRASI OTURMA, YANAL YAYILMA, KAYMA DAYANIMI KAYBI ve KAPAK TABAKASI ETKİSİ HESABI (v.2)

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ekinde yer alan, 16.6. “Deprem Etkisi Altında Zeminin Sıvılaşma Riskinin Değerlendirilmesi” başlığı altında sıvılaşma riski ile ilgili hususlar yer almakta olup, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ile Uyumlu Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Potansiyeli Analizi için hazırlanmış Excel hesap cetvelinde gerekli şartlar ve hesap kriterleri “BÖLÜM-1” de belirtilmiştir.

Bununla birlikte; Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 Madde 16.6.9’da belirtilen, sıvılaşma direncinin, zeminde depremden oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesine oranının 1,10 değerine eşit ya da büyük olması durumunda, sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulunun sağlandığı ancak bu koşulun sağlanmaması durumunda, sıvılaşması beklenen tabakaların dayanım ve rijitlik özelliklerindeki azalma, olası taşıma gücü kayıpları, duraylılık bozuklukları ile oturma ve yanıl yayılma türündeki zemin hareketlerinin değerlendirileceği ifade edilmektedir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde ve yukarıda belirtilen hususlar dikkate alınarak **“Sıvılaşma Potansiyeli Analizi, Sıvılaşma Sonrası Oturma, Yanıl Yayılma, Kayma Dayanımı Kaybı ve Kapak Tabakası Etkisi Hesabı”** için Microsoft Excel programı kullanılarak hesap cetveli hazırlanmıştır.

İlk bölüm Sıvılaşma Potansiyeli Analizinden oluşmakta olup, “BÖLÜM-1” de detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

İkinci bölüm ise; Sıvılaşma Sonrası Oturma, Yanıl Yayılma, Kayma Dayanımı Kaybı ve Kapak Tabakası Etkisi Hesabından oluşmaktadır.

İkinci bölümde yer alan hesaplamalar; ilk bölümde yer alan veriler ve hesaplamalardan bilgi aldığı için, **ilk bölüm veri girişleri ve sıvılaşma hesaplamaları tamamlanmadan kesinlikle ikinci bölüme geçilmemelidir.**

İkinci bölümde yer alan hesaplamalar, uygulamaya esas kullanımlar için yeni yaklaşımlar içermektedir. Bu yüzden yapılan hesaplamalardan sonra sonuçların dikkatlice yorumlanması gereklidir. Hesaplama cetvelinde yer alan bilgiler yeni gelişmeler ışığında güncellenecek ve genişletilecektir.

ÖNEMLİ NOT:

Kullanıcıların bilmesi gereken en önemli konu bu Excel tablosundaki hesaplamaların düz bir yüzey üzerinde (eğim yatay) herhangi bir yapının olmadığı durumdaki hesaplamaları içerdiği

ve bu hesaplamaların kesin olmadığı unutulmamalıdır. Bu hesaplamalar tasarımdan ziyade kullanıcıya sonuca yönelik bir fikir vermektedir. Örneğin yanal deformasyon miktarı birçok faktöre bağlıdır (Zemin eğimi, mekansal (spatial) konum, heterojenite, serbest bir yüzeye olan uzaklık ve gömülü yapılardan korunma vb.). Bu nedenle burada verilen yöntemler dışında daha ileri araştırma ve hesap yöntemlerine gereksinim duyulabilir.

Yapılarda hasara sebep olan deprem etkileri arasında kuvvetli yer sarsıntısı birincil etki olarak en büyük öneme sahip olmakla birlikte sıvılaşma, taşıma gücü kaybı ve heyelan tetiklenmesi gibi ikincil etkilerin de toplam zemin davranışını belirlemede büyük önemi vardır. Yer sarsıntısına paralel olarak sözü edilen ikincil etkilerin hepsinin bir arada oluşma olasılığı düşüktür. Bazı durumlarda, çoğunlukla birkaçı bir arada oluşur veya birbirlerini tetikler.

***Açılır Pencere:** Fare ile veri girişi yapılan kutucuğu seçtiğinizde kutucuğun sağ alt köşesinde beliren aşağı yönlü küçük ok tuşuna (▼) tıkladığınızda açılan menüden farklı koşullar için seçim yapmanızı sağlar.

EXCEL ZEMİN SIVILAŞMASI DEĞERLENDİRMESİ HESAP CETVELİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

Bu çalışmada değişik araştırmacılar tarafından verilen abaklar ve denklemler kullanılmıştır. Excel hesap cetvelinde prensip olarak yöntemi geliştiren araştırmacıların önerdiği düzeltmeler kullanılmıştır.

Aşağıda Excel hesap cetvelinde kullanılan veriler detaylı olarak açıklanmaktadır.

- Antet bölümü;

Bu bölümde yer alan verilerin tümü (Proje Adı, Ada No, Parsel No, Sondaj Kuyu No, Koordinatlar, Datum, Kot, Yeraltı Su Seviyesi, Zemin Sınıfı, Deprem Hesabı Verileri, M_w , Deprem Tasarım Sınıfı [DTS], S_{DS} , SPT verileri, Numune Alıcı Tipi, Sondaj Delgi Çapı, Tokmak Tipi ve Enerji Oranı) “sıvılaşma potansiyeli analizi” sayfasından alınmaktadır.

Sıvılaşma Potansiyeli Analizi Sayfası: Excel çalışma sayfasında en alt satırda yer alan “Sıvılaşma Potansiyeli Analizi” isimli sayfa sekmesinin seçili olduğu durum.

1- Sıvılaşma Potansiyeli Analizi Sayfasından Alınan Veriler

1 No.'lu Sütun - Sıra No: Sıvılaşma analizinde kontrolün kolay yapılabilmesi için verilen satır numaraları otomatik olarak yazılmıştır. Bu sütundaki veriler “sıvılaşma potansiyeli analizi” sayfasından otomatik olarak alınmaktadır.

2 No.'lu Sütun - Derinlik: Standart Penetrasyon Deneyinin yapıldığı başlangıç derinliğidir. Sıvılaşmanın bittiği zemin tabakası başlangıç derinliği (sıvılaşma hesabı için SPT

verisini içeren en son derinlik) ise tabloda belirtilen yere (derinlik sütununun sonuna) yazılmıştır. Birimi metre'dir. Bu sütundaki veriler "sıvılaşma potansiyeli analizi" sayfasından otomatik olarak alınmaktadır.

3 No.'lu Sütun - SPT (N): Arazide her 1,5 m'de bir yapılan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) sonucunda elde edilen SPT (N) verileri yazılmıştır (son iki 15 cm'nin toplamı). Deney sonucunda refü için "R" yazılmıştır. Bu sütundaki veriler "sıvılaşma potansiyeli analizi" sayfasından otomatik olarak alınmaktadır.

4 No.'lu Sütun - Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Koşulu (τ_R / τ_{deprem}): Sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu TBDY-2018 Denklem 16.3 ile hesaplanacaktır. Denklem 16.3 ile verilen koşul sağlanmaz ise "Sıvılaşma Beklenir", koşul sağlanır ise "Sıvılaşma Yok" olarak ifade edilmektedir (birimsiz). Bu sütundaki veriler "sıvılaşma potansiyeli analizi" sayfasından otomatik olarak alınmaktadır.

$$FS_L = \frac{\tau_R}{\tau_{deprem}} \geq 1,10 \quad (\text{Denk 16.3})$$

2- Oturma ve Yanal Yayılma (Yanal Yer Değiştirme/Deformasyon) Miktarı Hesabı

Bu tablodaki tüm değerler otomatik olarak hesaplanmaktadır.

TBDY-2018'de "Zemin sıvılaşması değerlendirmesinde sıvılaşan zeminin mukavemet ve rijitlik kaybı ile temel zemininde oluşabilecek yer değiştirmelerin de dikkate alınması gerekmektedir" şeklinde bir ifade yer almaktadır. Yönetmelikte buna özel bir yöntem tarif edilmemektedir. Bu yöntemler sürekli gelişim halindedir. Literatürde farklı araştırmacılar tarafından önerilen değişik yöntemler bulunmaktadır.

Laboratuvar çalışmaları ve arazideki gözlemler dinamik yükler altında temellerdeki göçmenin sadece temel zemininin sıvılaşmasından değil, zeminin direncini kaybetmesiyle oluşan taşıma gücü kaybından da meydana gelebileceğini göstermektedir.

Derin tabakaların yüzeysel oturmaya katkılarına değerlendirmek üzere bir "ağırlık derinlik faktörü" kullanılmamıştır. Başka bir ifadeyle tabaka derinliklerine bağlı olarak derinliğe göre etkisi azalan bir "ağırlık faktörü" kavramı içermemektedir.

- Ishihara ve Yoshimine Yöntemi [1992]

Idriss ve Boulanger (2008) Ishihara ve Yoshimine (1992) tarafından geliştirilen grafik çözümü eşitlik haline getirmişlerdir.

5 No.'lu Sütun – Limit Kesme Birim Deformasyonu (γ_{lim}): Yanal yer değiştirme ve dinamik oturma hesapları için ince dane içeriğine (IDI) ve düzeltilmiş penetrasyon darbe sayısına ($N_{1,60f}$) göre hesaplanan limit kesme birim deformasyonudur.

$$\gamma_{lim} = 1,859 \times \left(1,1 - \sqrt{\frac{N_{1,60f}}{46}} \right)^3 \geq 0$$

6 No.'lu Sütun - Parametre (F_α): Yanal yer değiştirme ve dinamik oturma hesapları için IDI'ye göre düzeltilmiş penetrasyon darbe sayısına ($N_{1,60f}$) göre hesaplanan parametredir.

$$F_\alpha = 0,032 + 0,69 \times \sqrt{N_{1,60f}} - 0,13N_{1,60f}$$

Bu ifade $N_{1,60f} \geq 7$ için geçerlidir.

7 No.'lu Sütun - Maksimum Kesme Birim Deformasyonu (γ_{max}): Yanal yer değiştirme ve dinamik oturma hesapları için F_α parametresi ve sıvılaşma güvenlik koşuluna göre hesaplanan maksimum kesme birim deformasyonudur.

$$2 > \frac{\tau_r}{\tau_{deprem}} > F_\alpha \text{ ise; } \gamma_{max} = \min \left\{ \gamma_{lim}, 0,035 \times \left(2 - \left(\frac{\tau_r}{\tau_{deprem}} \right) \right) \times \left(\frac{1-F_\alpha}{\frac{\tau_r}{\tau_{deprem}} F_\alpha} \right) \right\}$$

$$\frac{\tau_r}{\tau_{deprem}} \leq F_\alpha \text{ ise; } \gamma_{max} = \gamma_{lim}$$

8 No.'lu Sütun – Sıvılaşan Tabaka Kalınlığı (ΔH_i): SPT derinliklerine göre hesaplanan sıvılaşan tabaka kalınlığıdır. Birimi "metre"dir.

9 No.'lu Sütun – Sıvılaşma Kaynaklı Yanal Yer Değiştirme (ΔLDI_i): Zeminin maksimum kesme birim deformasyonu altındaki yer değişimidir. Her bir SPT derinliği için yanal yer değiştirmeler hesaplanır. Hesaplanan her bir yanal yer değiştirme değeri toplanarak bulunan toplam yanal yer değiştirme değeri tabloda ilgili sütunun en alt satırına yazılır. Birimi "metre"dir.

$$\Delta LDI_i = \sum (\gamma_{max} \times \Delta H_i)$$

NOT: Yanal yayılmalar genel olarak sıvılaşan bir tabakanın üzerinde sıvılaşmayan bir zemin kütlesinin yer alması durumunda ortaya çıkmaktadır. Yanal yayılma aşağıdaki koşullarda geerleşebilmektedir:

- akma probleminin olmayacağı kadar sıkı zeminlerin yer aldığı,
- sıvılaşan zemin derinliğinin 15 m'den sığ olduğu durumlarda,
- yüzey eğiminin 5 dereceden daha az olduğu,
- 45 m'den daha yakın bir mesafede 5 m'den sığ topoğrafik dş veya vadinin yer aldığı durumlarda

zeminin serbest yzeze / kanal / nehir yatağına doğru hareketlenmesi sonucunda oluşur.

11 No.'lu Sütun - Hacimsel Birim Deformasyon (ϵ_v): Maksimum kesme birim deformasyonu ve IDI'ye göre düzeltilmiş penetrasyon darbe sayısına ($N_{1,60f}$) göre hesaplanan deformasyondur. Yüzde ile ifade edilir.

$$\epsilon_v = 1,5 \times \exp(-0,369 \sqrt{N_{1,60f}}) \times \min(0,08 \times \gamma_{max})$$

12 No.'lu Sütun - Dinamik Oturma (ΔS_i):

Zemin yüzeyindeki oturma, ondalık olarak ifade edilen hacimsel birim deformasyon ile her bir zemin katmanının kalınlığının çarpımından elde edilir.

Her bir SPT deney derinliği için sıvılaştırılabilir nitelikteki tabakalar için dinamik oturmalar hesaplanır. Hesaplanan her bir dinamik oturma değeri toplanarak bulunan toplam dinamik oturma değeri tabloda ilgili sütunun en alt satırına yazılır. Birimi "metre"dir.

$$\sum S = \sum (\epsilon_v \times \Delta H_i)$$

Burada;

$\sum S$: Yüzeyde beklenen toplam oturma

ϵ_v : Hacimsel birim deformasyon

ΔH_i : Her bir zemin tabakası kalınlığı, m

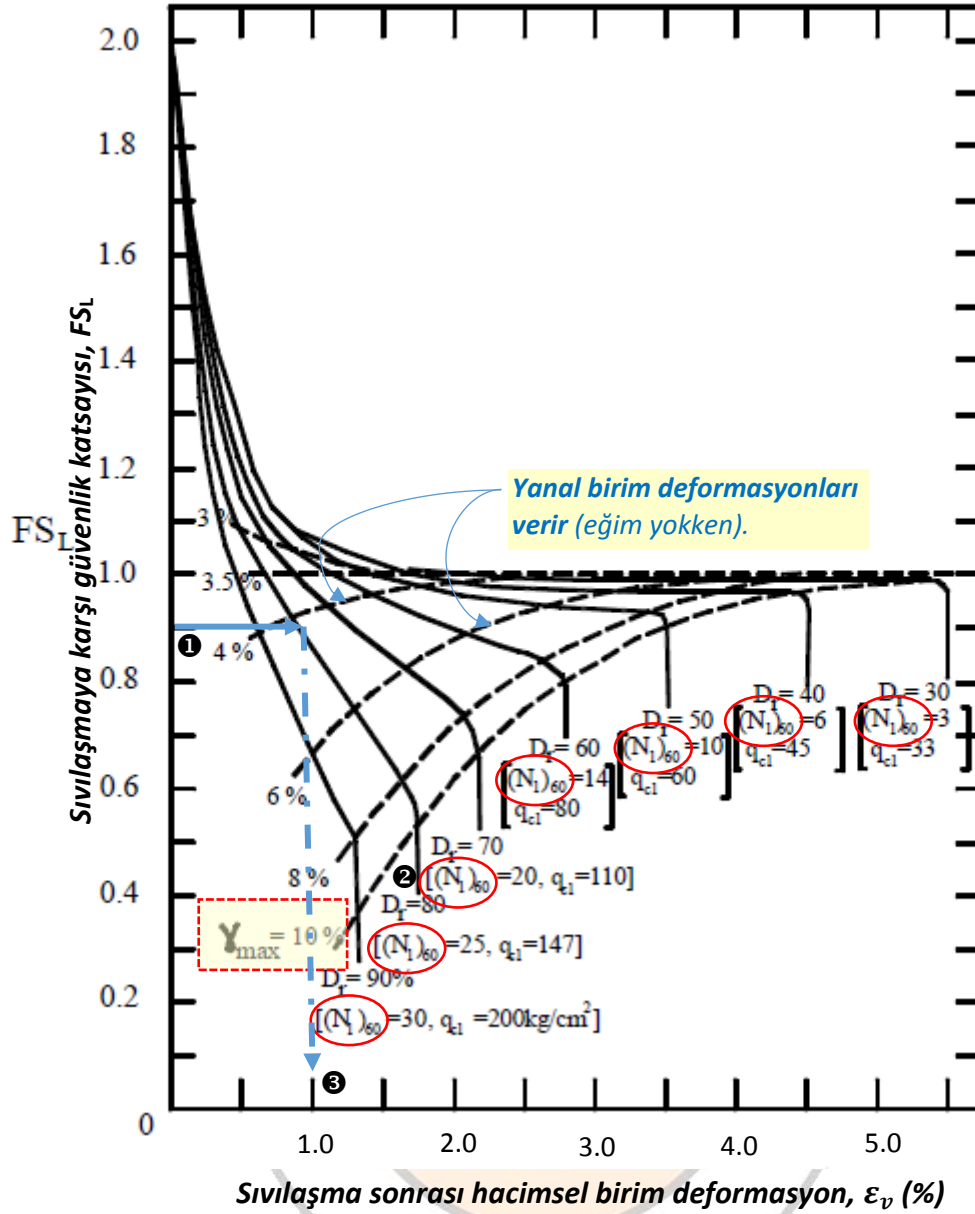
Abak çözümünün kullanılması:

Yukarıdaki denklem çözümü Excel hesaplama tablosunda verilmiştir. Kullanıcılar isterlerse abak çözümle de bu sonuçları kontrol edebilirler. Bu amaçla güvenlik sayısı (FS_L) düşey ekseninde **(1)** bulunur. Düzeltilmiş SPT darbe sayısı ($N_{1,60}$) grafikten **(2)** belirlenir ve kesiştirilir. Bu kesişim noktasından düşey inilerek yatay ekseninde hacimsel birim deformasyon (ϵ_v) elde edilir **(3)**. Sıvılaştırılması beklenen her zemin tabakası için ayrı ayrı bulunacak hacimsel birim deformasyonlar ile tabaka kalınlıkları çarpılarak zemin tabakalarında meydana gelecek oturmalar belirlenir.

Örneğin sıvılaştırılması beklenen tabaka kalınlığı 5 m ise ($FS_L=0.9$ ve düzeltilmiş SPT darbe sayısı $N_{1,60}=25$ olduğunu varsayınız) $\epsilon_v=1\%$ hacimsel sıkışma değeri elde edilir.

Örnek verecek olursak, bu durumda $500 \text{ cm} \times 0.01 = 5 \text{ cm}$ düşey deformasyon gerçekleşir.

FS_L 'nin 1'den büyük fakat 2'den düşük bir miktar olması durumunda, deprem esnasında zemin yapısında meydana gelen büzülme, aşırı boşluk suyu basıncı oluşumuna yol açar ve bu aşırı boşluk suyu basıncının sönmelenmesi de miktar olarak küçük bir oturmaya neden olur. Şekilde FS_L 'nin 2'ye eşit veya büyük olması durumunda hacimsel birim deformasyonun pratikte sifıra eşit olacağı görülmektedir.



Temiz kumda sıvılaşmaya karşı emniyet katsayısının (FS_L) fonksiyonu olarak zemin yüzeyi oturmasını ve yanal deformasyonu tahmin etmede kullanılan abak (Ishihara ve Yoshimine, 1992 tarafından önerilen abak)

D_r : Zeminin relatif sıklık değeri

q_{c1} : Düzeltilmiş konik penetrasyon (CPT) uç direnci (kg/cm²)

$N_{1,60}$: Düzeltilmiş SPT-N değeri

γ_{max} : Maksimum kayma birim deformasyonu

ϵ_v : Hacimsel birim deformasyon

Sıvılaşma sonrası yanal deformasyonun (*Post Liquefaction Lateral Displacement*) tahmin edilebilmesi için; Temiz kumda sıvılaşmaya karşı emniyet faktörünün (FS_L) fonksiyonu olarak zemin yüzeyi oturmasını bulmada kullanılan diyagramdaki γ_{max} çizgileri (kesikli çizgiler) kullanılacaktır. Abaktan FS_L ile $N_{1,60}$ değerinin kesişim noktasına en yakın kesikli çizgi belirlenecektir. Her bir tabakaya ait yanal deformasyonu elde etmek için tabaka kalınlığı ile bulunan bu değeri çarpmak gerekir.

- Tokimatsu ve Seed Yöntemi [1987]

13 No.'lu Sütun - Moment Büyüklüğü 7.5 Olan Depreme Karşı Gelen Çevrimsel Gerilim Oranı ($CSR_{M7,5}$): Moment büyüklüğü 7.5 olan depreme karşı gelen çevrimsel gerilim oranıdır. Birimsizdir.

$$CSR_{7,5} = \frac{0.65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d}{MSF}$$
 Formülde a_{max} ve MSF yerine değerleri yazılırsa

$$CSR_{M7,5} = \frac{0,65 \cdot \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\right) \cdot 0,4 \cdot S_{DS} \cdot r_d}{2,5 - (0,2 \cdot M_w)} \quad FS_L \leq 1 \text{ için}$$

Burada;

$CSR_{7,5}$: Moment büyüklüğü 7.5 olan depremin oluşturduğu devirsel kayma gerilmesi oranı;

σ_v : İncelenen derinlikteki toplam düşey zemin gerilmesi;

σ'_v : Aynı derinlikteki efektif düşey zemin gerilmesi;

a_{max} : Yüzeyde oluşan en büyük yatay yer ivmesi olup ($0.4 \times S_{DS}$) değerine eşittir;

g : Yer çekimi ivmesi değeri;

r_d : Derinlikle meydana gelen kayma gerilmesi azalmasını gösteren bir düzeltme katsayısı; ve

MSF : Depremin moment büyüklüğü (M_w) düzeltme katsayısı [$MSF=2.5-0.2 \cdot M_w$]. Bu değer 7.5 büyüklüğündeki bir deprem için 1'e eşittir.

NOT: Prensipten olarak burada verilen formülde yöntemi geliştiren araştırmacının önerdiği Moment Büyüklüğü (M_w) Düzeltmesine (MSF) sadık kalınmıştır.

13 No.'lu Sütun - Hacimsel Birim Deformasyon (ε): Moment büyüklüğü 7.5 olan depreme karşı gelen çevrimsel gerilim oranının ($CSR_{M7,5}$), düzeltilmiş SPT darbe sayısına ($N_{1,60}$), oranının 0,01'den büyük olduğu durumlar için belirlenmiş düzeltilmiş SPT darbe sayısına ($N_{1,60}$) göre hesaplanan hacimsel birim deformasyondur. Yüzde olarak ifade edilir.

$$\left(\frac{CSR_{M7,5}}{N_{1,60}}\right) > 0,01 \text{ için ;}$$

$$\varepsilon = 10 \times (N_{1,60})^{-0,6} \times 0,01$$

14 No.'lu Sütun - Toplam Dinamik Oturma (ΔS): Zeminin hacimsel birim deformasyon altındaki dinamik oturmasıdır. Her bir SPT deney derinliği için dinamik oturmalar hesaplanır. Hesaplanan her bir dinamik oturma değeri toplanarak bulunan toplam dinamik oturma değeri tabloda ilgili sütununun en alt satırında hesaplanır. Birimi "metre" dir.

$$S = \sum_{i=1}^n H_i \cdot \varepsilon_{vi}$$

Burada;

H_i : Her bir tabakanın kalınlığı;

ε_{vi} : Hacimsel birim deformasyon; ve

n : Tabaka sayısı.

Abak çözümünün kullanılması:

Düzeltilmiş SPT darbe sayısı ($N_{1,60}$) verisi yatay eksende (2) ve düzeltilmiş çevrimsel gerilme oranı (CSR) verisi dikey eksende (1) kullanılarak şekilden hacimsel birim deformasyonlar (ε_v) belirlenebilir (3). Her tabaka için ayrı ayrı bulunacak hacimsel birim deformasyonlar ile tabaka kalınlıkları çarpılarak tabakalarda meydana gelecek oturmalar belirlenir. Bu işlem zemin profilindeki tüm zemin tabakaları için uygulanır. Bu hacimsel birim deformasyon değerleri derinlikle integre edilerek zemin yüzeyindeki oturmalar belirlenebilir.

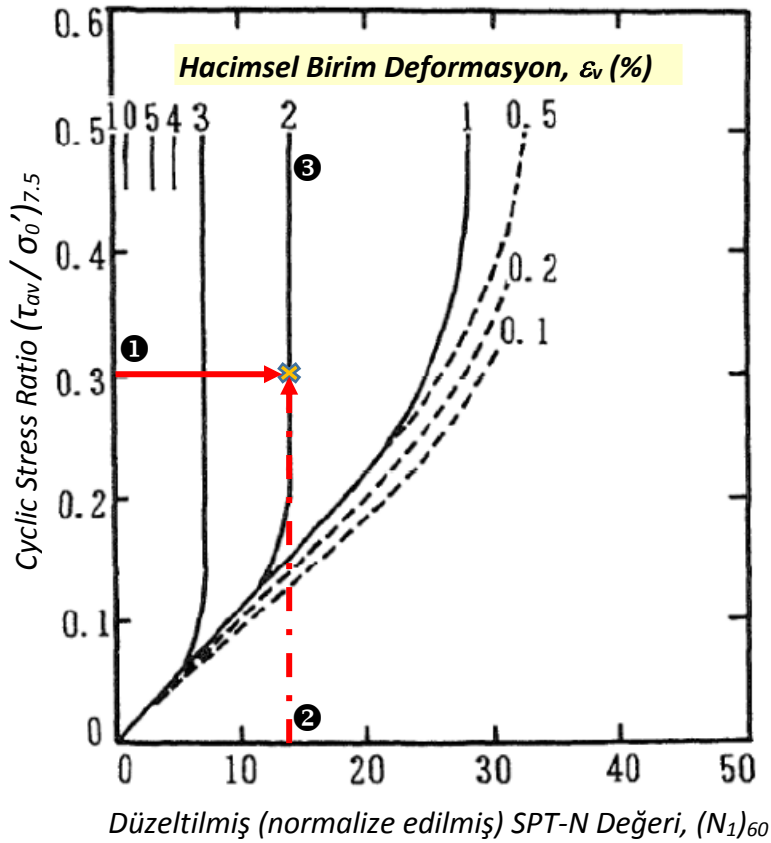
$$S = H \cdot \varepsilon_v$$

Burada,

S : Oturma

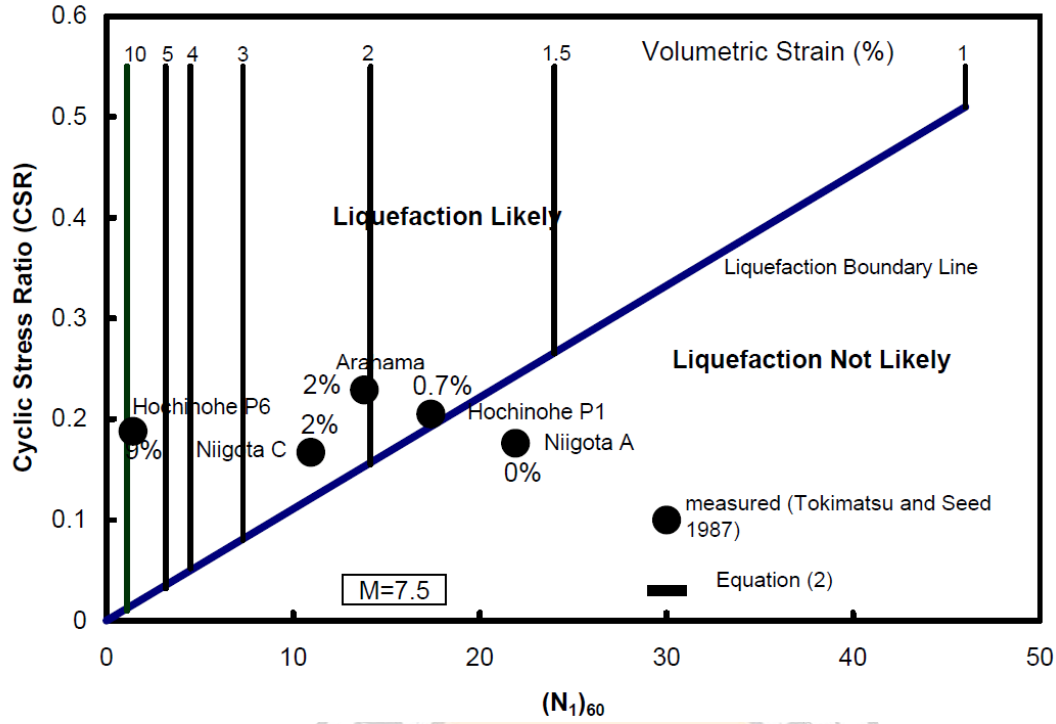
H : Katman kalınlığı ve

ε_v : Hacimsel birim deformasyon (*volumetric strain*)



FS_L ≤ 1 (sürekli çizgi) veya FS_L > 1 (kesikli çizgi) olduğu temiz doymuş kumlarda Devirsel Gerilme Oranı (CSR) ile Standart Penetrasyon Direnci (N_{1,60})'nden Hacimsel Birim Deformasyonu (ε_v) hesaplama (Tokimatsu ve Seed, 1987)

Yukarıdaki grafik çözüm yöntemi yanında Excel hesaplama cetvelinde denklem ile çözüm yöntemi sunulmuştur. Orijinal makalede bu çözüm yöntemi olmadığından literatürde başka bir araştırmacı C. Y. Lee, 2007 tarafından önerilen yüksek korelasyon katsayısı değeri veren aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.



Doygun kumlarda hacimsel birim deformasyon (ϵ_v), $(N_1)_{60}$ ile CSR arasındaki ilişki / Relationship between cyclic stress ratio, $(N_1)_{60}$ and volumetric strain for saturated sands (C. Y. Lee, 2007)

$$\epsilon_v = 10 [(N_{1,60})]^{-0.6}$$

$$\left[\frac{CSR}{(N_{1,60})} \right] > 0.01 \text{ koşulu için verilmiştir.}$$

Burada;

CSR = τ_{deprem} : Zeminde depremden kaynaklı oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesi

ϵ_v : Hacimsel birim deformasyon (volumetric strain)

$N_{1,60}$: Örtü yükü düzeltilmesi yapılmış %60 enerji verimliğindeki SPT darbe sayısını temsil etmektedir.

3- Sıvılaşma Sonrası Dayanım Kaybının Hesabı

Dinamik yükler altında temellerdeki oturmanın sadece temel zeminin sıvılaşmasından değil, zeminin direncini kaybetmesiyle oluşan taşıma gücü kaybından da meydana geldiği görülmüştür. Aşağıda sıvılaşma sonrası zemin dayanımının ($C_{u,r}$) hesaplanmasına yönelik yöntemler verilmiştir. Sıvılaşan zemin kütlelerine artık drenajsız dayanım atanarak sıvılaşma sonrası taşıma gücü, şev stabilitesi vb. analizler yapılabilir.

TBDY-2018 Madde 16.3.3 – Kohezyonsuz zeminlerde, deprem etkisinde oluşacak boşluk suyu basıncı artışları ve içsel sürtünme açısı değeri azalışları dikkate alınarak, toplam gerilme analizlerinde drenajsız kayma mukavemeti ($\tau_{cy,u}$) değeri kullanılacaktır.

NOT: Metinde belirtilen $C_{u,r}$ değeri Yönetmelikte belirtilen drenajsız kayma mukavemeti ($\tau_{cy,u}$) değerine karşılık gelmektedir.

Bu tablodaki tüm değerler otomatik olarak hesaplanmaktadır.

- Idriss ve Boulanger Yöntemi [2008]

15 No.'lu Sütun – Düzeltilmiş SPT Darbe Sayısı İçin İnce Dane İçeriği Düzeltmesi ($\Delta N_{1,60}$):

Idriss ve Boulanger [2008] yöntemine göre düzeltilmiş standart penetrasyon deneyi darbe sayısı ($N_{1,60}$) değeri için Seed [1987]'e göre ince dane içeriği düzeltmesidir (birimsiz).

İnce Dane İçeriği (IDI) % No.200 elekten geçen %	($\Delta N_{1,60}$)
10	1
25	2
50	4
75	5

$\Delta N_{1,60}$ - IDI arasındaki ilişki (Seed, 1987)

Burada; düzeltilmiş standart penetrasyon deneyi darbe sayısı ($N_{1,60}$) değerine, ince dane içeriği düzeltmesi (Seed, 1987) eklenerek, ilgili düzeltmelerin yapıldığı standart penetrasyon deneyi darbe sayısı ($N_{1,60,tk}$) hesaplanır.

$$N_{1,60,tk} = N_{1,60} + \Delta N_{1,60}$$

Tabloda listelendiği gibi, Seed (1987) tarafından önerilen $\Delta(N_1)_{60}$ değerleri, düzeltmenin elde edilebileceği fiziksel verilerin (deneysel ya da ampirik) olmaması nedeniyle temel olarak mühendislik kararına dayanmaktadır. Ayrıca, "IDI" için yapılan bu düzeltmelerin sınılaşmayı tetikleyici korelasyonlar için önceden kabul edilmiş olan düzeltme değerlerinden farklı olduğunu unutmamak gerekir.

16 No.'lu Sütun – Kayma Direnci Açısı (ϕ): Kayma direnci açısı SPT yapılan her seviyede kohezyonsuz zeminler için aşağıda verilen ampirik formüle göre hesaplanmıştır. Birimi derecedir.

Kohezyonsuz (Kumlu) Zeminler için:

Schmertmann (1975) tarafından önerilen σ_{v0}' - SPT- N - ϕ' arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Kulhawy ve Mayne (1990), Şekilde verilen korelasyonun yaklaşık olarak bağıntı ile temsil edilebileceğini ifade etmiştir.

$$\phi' = \tan^{-1} \left[\frac{N}{12.2 + 20.3 \left(\frac{\sigma_{v0}'}{p_a} \right)} \right]^{0.34}$$

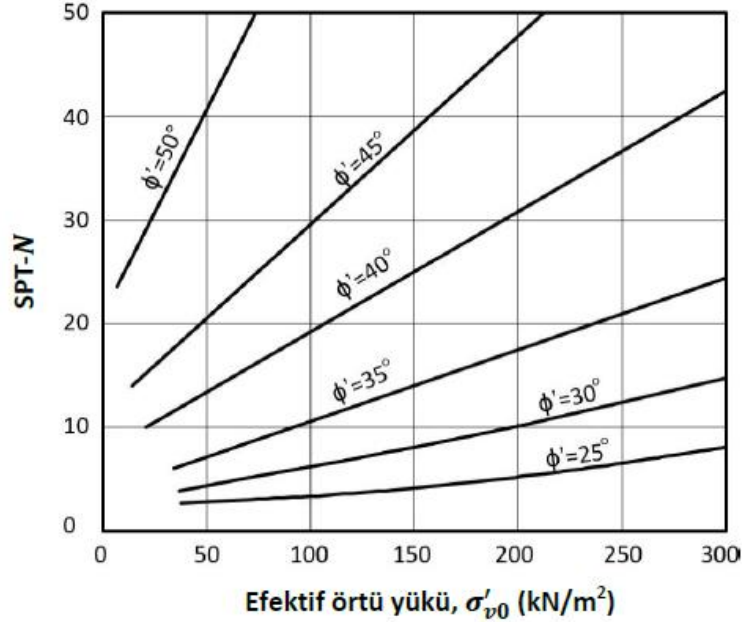
Burada;

p_a : Atmosferik basınç olup $\cong 100 \text{ kN/m}^2$ 'dir.

ϕ' : Kayma direnci açısı, derece

N : SPT direnci (darbe/30 cm)

σ'_{v0} : SPT yapılan derinlikteki efektif düşey gerilme (kPa)



σ'_{v0} - SPT-N - ϕ' arasındaki ilişki (Schmertmann, 1975)

17 No.'lu Sütun – Sıvılaşma Sonrası Rezidüel Kayma Dayanımı Durum-1 ($C_{u,r}$):

Burada sıvılaşma sonrası tekrarlı yükleme sonucunda azalan dayanımın tahmin edilmesine yönelik önerilen yöntemlerden biri verilmiştir.

Sıvılaşma durumunda zeminin kayma dayanımında azalma oluşmaktadır. Sıvılaşma tetiklenme analizleri sonucu hesaplanan Güvenlik sayısının hedef değerinin altında kaldığı durumlarda ($FS_L < 1.10$) Idriss ve Boulanger [2008], iki olası duruma göre, ilgili düzeltmelerin yapıldığı Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) darbe sayısını ($N_{1,60,tk}$) baz alarak, temiz kumlar ve silt-kum karışımlarında sıvılaşma sonrası rezidüel kayma dayanımının ($C_{u,r}$) efektif gerilmeye oranını vaka analizleri kullanılarak [Seed, 1987, Seed ve Harder, 1990, Olson ve Stark, 2002] bir çalışma yapmıştır.

Bunlardan;

Durum-1'de sıvılaşma sonrası oluşan boşlukların, yeniden dağılımın oluşması beklenmeyen durumlarda, rezidüel kayma dayanımının ($C_{u,r}$) efektif gerilmeye oranını (σ'_{v0}) gösteren denklem aşağıda belirtilmiş olup, hesaplamalar bu doğrultuda yapılmıştır. Bu koşulda zeminin tabakalanma durumu aşırı boşluk suyu basıncının sönmelenmesine engel olmayarak, sönmelenme sonucunda zeminde sıkılaştırma oluşur. Idriss ve Boulanger (2008) yönteminde düzeltilmiş standart penetrasyon deneyi darbe sayısı ($N_{1,60,tk} = N_{1,60} + \Delta N_{1,60}$) değerinde $N_{1,60}$ değeri $N_{1,60} = N(C_R \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_E \cdot C_N)$ verilen şekilde hesaplanacak olup, ilgili düzeltme katsayıları verilen Tablodan ($\Delta N_{1,60}$ - **IDI** arasındaki ilişki) alınacaktır. Durum 1 için (C_{ur}/σ'_{v0}) oranı SPT

verilerine dayalı olarak yukarıdaki Şekil'den veya analitik olarak aşağıdaki Denklem'den elde edilmektedir. c_{ur}/σ'_{v0} oranı maksimum $\tan\phi'$ değerini almaktadır.

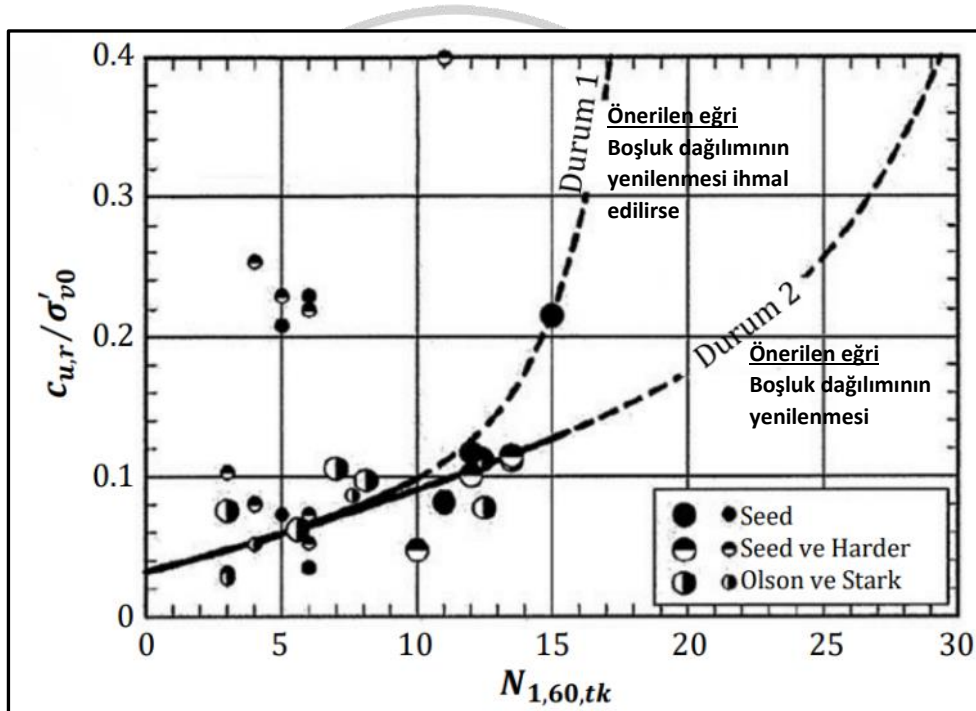
$$\frac{c_{u,r}}{\sigma'_{v0}} = \exp \left\{ \left(\frac{N_{1,60,tk}}{16} \right) + \left(\frac{N_{1,60,tk} - 16}{21,2} \right)^3 - 3,0 \right\} \times \left\{ 1 + \exp \left[\left(\frac{N_{1,60,tk}}{2,4} \right) - 6,6 \right] \right\} \leq \tan\phi'$$

Burada;

ϕ' : Kohezyonsuz zeminin statik durumdaki kayma direnci açısıdır (SPT'den tahmin edilmiştir).

$N_{1,60,tk}$: Örtü yükü ve ince dane içeriği düzeltilmesi yapılmış %60 enerji verimliğindeki SPT darbe sayısını temsil etmektedir.

NOT: Eşitlik, $\sigma'_{v0} < 400$ kPa için geçerlidir.



SPT direncine bağlı sıvılaşma sonrası kayma dayanımı (Idriss ve Boulanger, 2008)

Seed (1987), Seed ve Harder (1990) ve Olson ve Stark (2002) tarafından yayınlanan geçmiş vakaları kullanarak elde edilen $\sigma'_{v0} < 400$ kPa için kum ve eşdeğer temiz-kum SPT düzeltilmeli darbe sayısı ile c_{ur}/σ'_{v0} oranı ilişkisi.

18 No.'lu Sütun – Sıvılaşma Sonrası Rezidüel Kayma Dayanımı Durum-2 ($C_{u,r}$):

Durum-2'de sıvılaşma sonrası oluşan boşlukların, yeniden dağılım oluşturması beklenen durumlarda, rezidüel kayma dayanımının ($C_{u,r}$) efektif yüke oranını (σ'_{v0}) gösteren denklem aşağıda belirtilmiş olup, hesaplamalar bu doğrultuda yapılmıştır. Birimi kPa'dır. Bu koşulda zeminin tabakalanma durumu aşırı boşluk suyu basıncının sönmülmesine engel olur. Bu durum genelde sıvılaşan zemin biriminin üzerinde düşük geçirgenliğe sahip kohezyonlu bir birimin varlığı nedeniyle oluşur. Sıvılaşabilir birimde gelişen aşırı boşluk suyu basıncının sönmülmemesi ve sıvılaşabilir tabaka ile üzerindeki tabaka arasında suyun ince

bir film oluşturmasına neden olur. Sonuçta, lokal olarak gevşeme ve dayanım kaybına sebebiyet vermesi ile gerçekteşir. c_{ur}/σ'_{v0} maksimum $\tan\phi'$ değerini almaktadır.

$$\frac{c_{u,r}}{\sigma'_{v0}} = \exp \left\{ \left(\frac{N_{1,60,tk}}{16} \right) + \left(\frac{N_{1,60,tk} - 16}{21,2} \right)^3 - 3,0 \right\} \leq \tan\phi'$$

Burada;

ϕ' : Kohezyonsuz zeminin statik durumdaki kayma direnci aıdır. SPT yapılan her bir zemin tabakası derinliği için hesaplanmıştır.

$N_{1,60,tk}$: Örtü yükü ve ince dane içeriği düzeltmesi yapılmış %60 enerji verimliğindeki SPT darbe sayısını temsil etmektedir.

σ'_{v0} : SPT yapılan derinlikteki efektif düşey gerilme (kPa)

NOT-1: Eşitlik, $\sigma'_{v0} < 400$ kPa için geçerlidir.

NOT-2: Idriss ve Boulanger [2008]'nin eşitlikleri sivilaşma sonrası rezidüel kayma dayanımının efektif gerilmeye oranını vermektedir. Bu oran kullanılarak istenilen düşey efektif gerilme düzeyindeki (düşey efektif gerilme belirlenirken zemin üzerinde bir yapı varsa, yapının zemine aktardığı gerilme de hesaba katılmalıdır) sivilaşma sonrası rezidüel kayma dayanımı hesaplanabilir.

- Kramer ve Wang Yöntemi [2015]

Kramer ve Wang (2015) tarafından geliştirilen hibrid modele göre sivilaşma sonrası rezidüel kayma dayanımı ile SPT- $N_{1,60}$ arasında verilen şekil'den veya Denklem'den elde edilebilmektedir.

$$\overline{\ln C_{u,r}} = -8,444 + 0,109 \cdot N_{1,60} + 5,379 \cdot \sigma'_{v0}{}^{0,1}$$

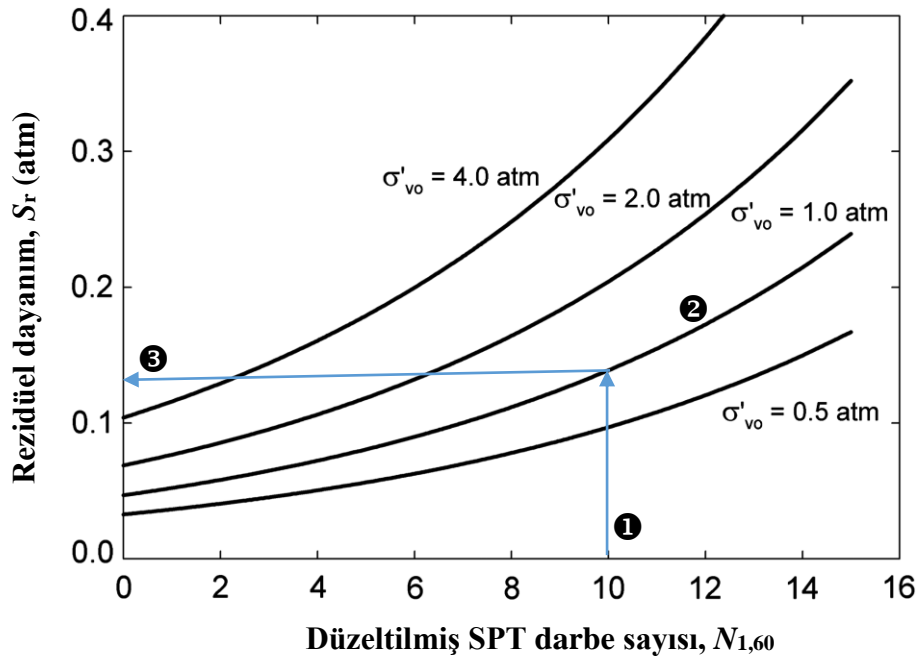
Burada;

$C_{u,r}$: Rezidüel kayma dayanımı.

σ'_{v0} : Sivilaşma tetiklenmesinin gerçekteşmesi öngörülen zemin tabakasındaki ortalama efektif örtü gerilmesidir [atm].

19 No.'lu Sütün – Efektif Düşey Zemin Gerilmesi (σ'_{v0}): SPT derinliğindeki efektif düşey zemin gerilmesidir. Bu stndaki veriler "sivilaşma potansiyeli analizi" sayfasından otomatik olarak alınıp birimi değiştirilmiştir. Birimi atm'dir.

20 No.'lu Sütün – Sivilaşma Sonrası Rezidüel Drenajsız Kayma Dayanımı ($C_{u,r}$): Sivilaşma sonrası rezidüel kayma dayanımını ($C_{u,r}$) gösteren denklem yukarıda verilmiş olup, hesaplamalar bu doğrultuda yapılmıştır. Birimi kPa'dır. Bu denklemde efektif düşey yük (σ'_{v0}) birimi atmosferdir. Eşitlikten elde edilen sonuç 101.33 ile çarpılarak c_{ur} değeri kPa birimine dnştrlmştir.



SPT direncine bağılı rezidüel kayma dayanımı (Kramer ve Wang, 2015)

$N_{1,60}$ değerinin 10 [1], efektif gerilme değerininin 1 atm olduğunu kabul edelim.

Abakta 1 atm=100 kPa eğrisi [2] ile kesiştirilir ve düşey ekseninde;

$S_r = 0.13$ [3] değeri elde edilir.

$C_{u,r} = S_r = 0.13 \times 100 = 13$ kPa

- Weber vd. Yöntemi [2015]

21 No.'lu Sütun – Sıvılaşma Sonrası Rezidüel Kayma Dayanımı ($C_{u,r}$): Sıvılaşma sonrası rezidüel drenajsız kayma dayanımını ($C_{u,r}$) gösteren grafik ve denklem aşağıda verilmiş olup, hesaplamalar bu doğrultuda yapılmıştır. Bu yöntem sıvılaşma tetiklenmesi sonrası rezidüel kayma dayanımını/mukavemetini belirlemek üzere olasılıksal bir çözüm sunmaktadır. Deterministik değerlendirmelerde rezidüel kayma dayanımı aşağıdaki Şekil'de sunulan abak çözümü ya da aşağıdaki Denklem'de verilen bağıntı ile hesaplanacaktır. Birimi kPa'dır. Bu denklemde efektif düşey gerilme (σ'_{vo}) birimi atm 'dir.

$$C_{u,r} = \exp(0.1292 \cdot N_{1,60tk} + 4.322 \cdot \sigma'_{vo}{}^{0.12}) \times 0,04788$$

Burada;

$C_{u,r}$: Sıvılaşma sonrası rezidüel drenajsız kayma dayanımı [kPa],

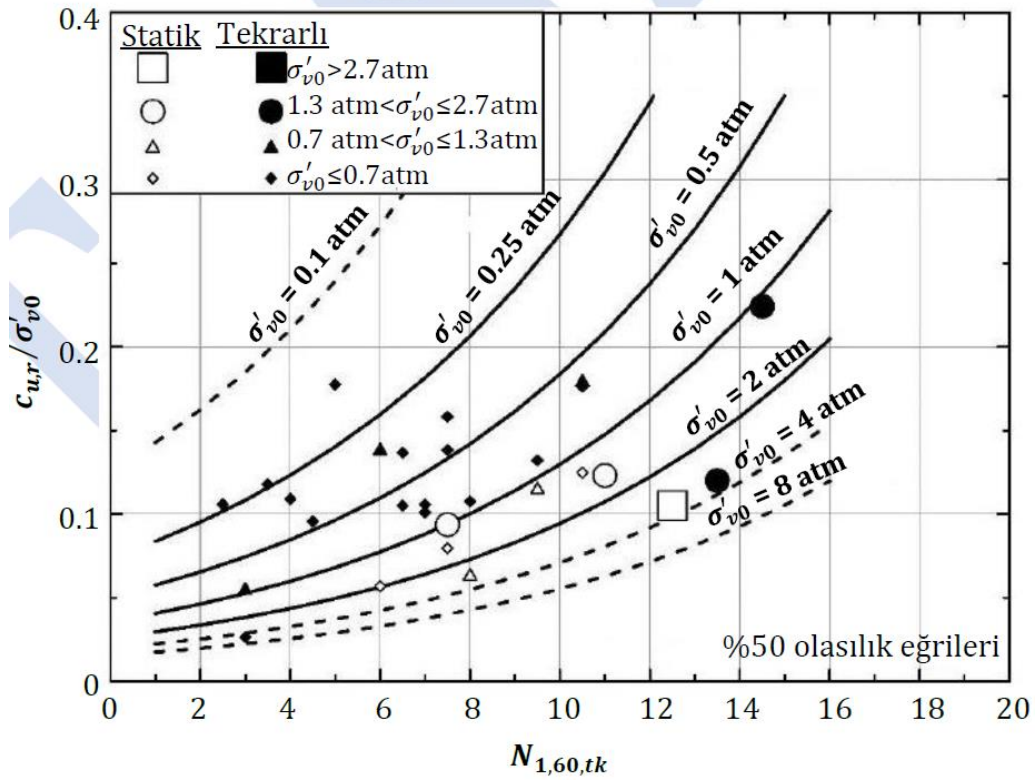
σ'_{vo} : Değerlendirilen derinlikteki düşey efektif gerilme [atm] ve

$N_{1,60,tk}$: Örtü yükü ve ince dane içeriği düzeltilmesi yapılmış %60 enerji verimliğindeki SPT darbe sayısını temsil etmektedir.

$1\text{lb}/\text{ft}^2 = 0.04788$ kPa

NOT: Bu verilen hesapların tamamı düz ve serbest zemin yüzeyi için geçerli olup aynı zamanda yapının olmadığı durumda yapılan değerlendirmelerdir. Eğer zemin yüzeyinde bir yapı (bina, dolgu, baraj vb.) varsa yapılardan aktarılan gerilmelerde dikkate alınmalıdır.

Grafik çözümün kullanılması:



SPT direncine bağlı sıvılaşma sonrası rezidüel drenajsız kayma dayanımı (efektif gerilme ile düzeltilmiş) (Weber vd., 2015)

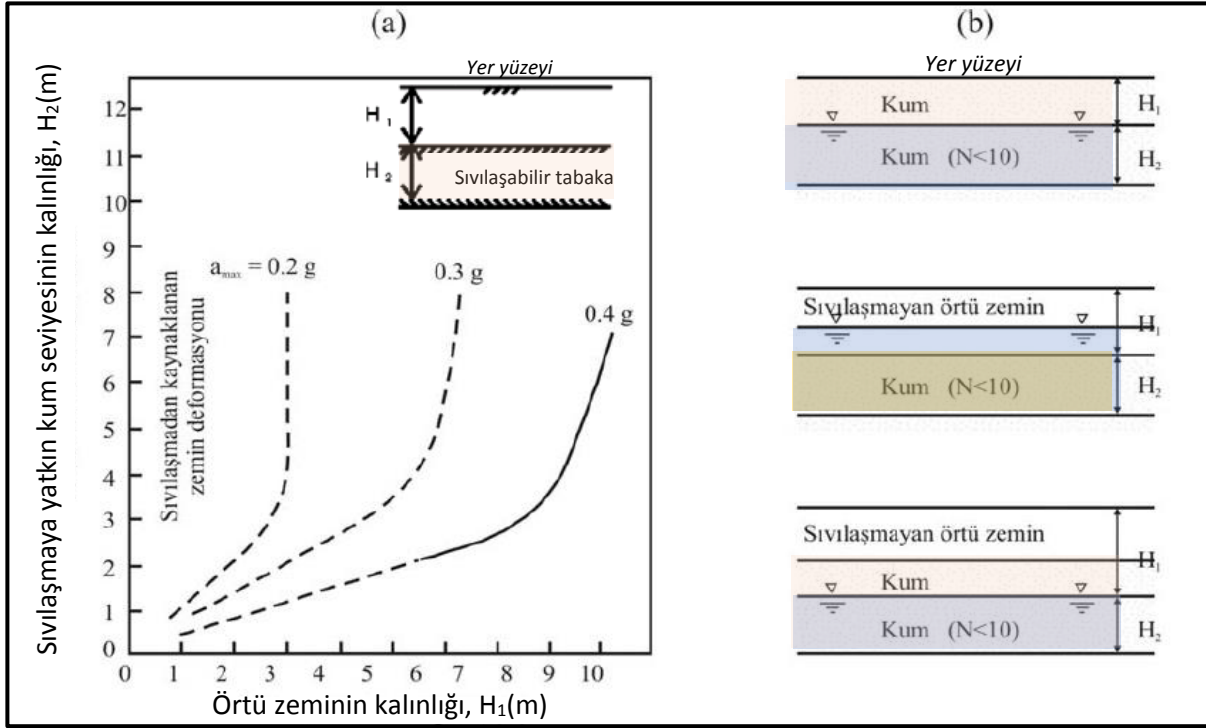
4- Kapak Tabakası Etkisi Hesabı

- Ishihara Yöntemi [1985]

Sıvılaşan zeminde oluşan boşluk suyu basıncının zeminin suyla birlikte yüzeye taşınabilecek kadar artabilmesi için sıvılaşan zeminin üzerindeki sıvılaşmaya karşı dirençli örtü zemininin (kapak zemini) kalınlığının az olması gerekir. Örtü zemininin çok kalın olması durumunda, aşırı boşluk suyu basıncının oluşturacağı yüzeye yönelmiş kuvvetler zemin tanelerini yüzeye kadar taşıyabilecek büyüklükte olamaz ve sıvılaşma yüzeyde kum kaynamaları ya da kum konileri şeklinde gözlenmez. Aynı şekilde sıvılaşan çok ince kum seviyelerine ait malzemede yüzeye kadar ulaşamayabilir. Bu tür zemin koşullarında sıvılaşmanın göstergesi olabilecek kum kaynamaları ve kum volkanları yüzeyde görülmemekle birlikte, bu durum sıvılaşmanın gelişmediği anlamına gelmemektedir (Ishihara, 1985).

Ishihara (1985) farklı yer ivmesi aralıkları için sıvılaşan zemin ile sıvılaşmaya dirençli örtü zemininin kalınlığı arasındaki ilişkiye bağlı olarak, sıvılaşmanın etkilerinin yüzeyde görülüp görülmeyeceğinin tahmini amacıyla aşağıda verilen abağı önermiştir.

Bu yöntemde zemin özelliklerinin çok sağlıklı bir şekilde tanımlanmış olması gerekmektedir. Aşağıdaki abağı kullanmak için H_1 ve H_2 tabaka kalınlıkları belirlenmelidir.



Sıvılaşmamış yüzeysel kalınlığının, sıvılaşmaya yatkın tabaka kalınlığının ve sıvılaşmanın etkilerinin yüzeyde görülüp görülmemesi arasında ayırım yapan pik zemin yüzeyi ivmesinin kombinasyonları (Ishihara, 1985).

- a) Sıvılaşmanın oluşturduğu etkilerin yüzeyde görülüp görülmediğini değerlendirmek için kullanılacak grafik,
b) bu grafiğin kullanılmasında sıvılaşabilen kum seviyelerinin kalınlıkları ile ilgili veya örtü zemininin kalınlığının belirlenmesi için kılavuz kesitler.

a_{max} : Maksimum yatay yer ivmesidir.

H_1 ve H_2 kalınlıkları, yeraltı suyu tablasının derinliğine ve sıvılaşmayan zemin tabakasının durumuna göre 3 gruba ayrılır. Bu değerlendirme yöntemi kullanılırken dikkate alınması gereken sıvılaşmaya yatkın zemin (H_2) ile sıvılaşmayan örtü zemininin tabaka kalınlıkları (H_1) ve su tablasının durumu yukarıdaki abakta verilmiştir. Şekil b'de iki durum için sıvılaşmayan yüzey tabakası YASS'in yukarısında yer alan zemin kalınlığı olarak tanımlanmıştır. Bu durumlardan bir tanesinde ise tabakanın bir kısmı YASS altındadır. Vaka analizlerine dayalı olarak bu tabakayı sıvılaşmayan kohezyonlu zemin olarak düşünmüşlerdir. Pratik amaçlar için YASS altındaki sıvılaşmayan zemin tabakasını, H_1 tabaka kalınlığını belirlemek için kullanmışlardır. H_1 tabaka kalınlığına sahip zeminlerin güvenlik faktörü (FS_L) birden fazladır. Bununla beraber sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü (FS_L) bir değerini sadece biraz geçerse H_2 tabakasından suyun yukarı doğru akışından dolayı sıvılaşabilir. Yani sıvılaşmayan tabakanın bir kısmı YASS altında kalırsa mühendislik tecrübesine göre H_1 belirlenebilir.

İnceleme alanındaki ardalı sıvılaşabilir ve sıvılaşmayan seviyelerin varlığından oluşan tabaka kalınlıklarında sıvılaşmaya yatkın tabakaların kalınlıkları (H_2) için güvenlik faktörü (FS_L) bire eşit veya daha küçüktür.

NOT: Bu verilen hesaplamaların tamamı düz bir arazi yüzeyi ve serbest zemin yüzeyi için geçerli olup aynı zamanda yapının olmadığı durumda yapılan değerlendirmelerdir.

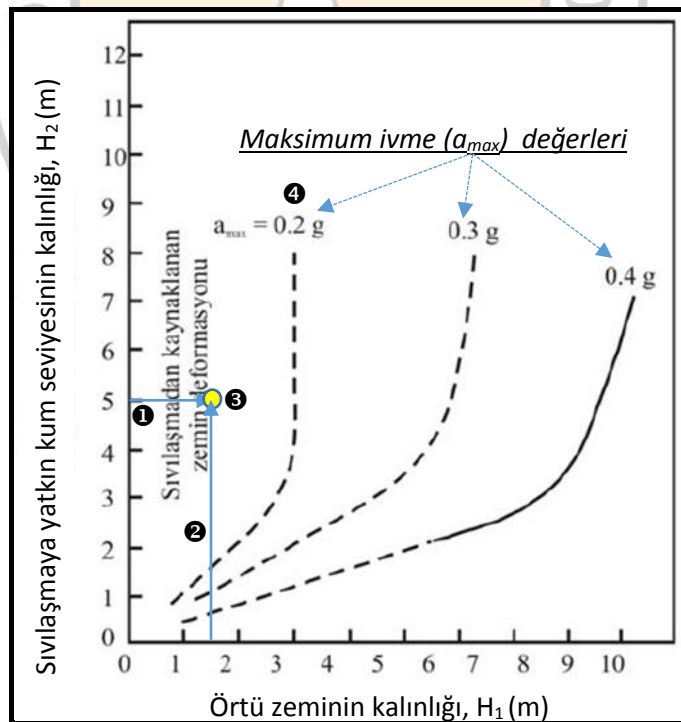
22 No.'lu Sütun – Sıvılaşmaya Yatkın Kum Zemin Kalınlığı (H_2): Sıvılaşabilir kum tabakası kalınlığıdır. 20 metreye kadar olan her bir SPT seviyesindeki sıvılaşabilir zemin tabakası kalınlıkları toplanarak sıvılaşabilir toplam zemin kalınlığı (H_2), sütunun en alt satırında verilmiştir. Birimi “metre”dir.

Bu hesaplamada sıvılaşmaya yatkın kum zeminlerde SPT değeri $N \leq 10$ olan seviyeler ve sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı $FS_L \geq 1$ olarak alınmıştır.

23 No.'lu Sütun – Örtü Zemin Kalınlığı (H_1): Arazide belirlediğiniz sıvılaşmayan örtü zemin tabakası kalınlığını (H_1) ilgili kutucuğa yazınız. Birimi “metre”dir.

Sıvılaşmanın Oluşturduğu Etkilerin Yüzeyde Görünebilirliği: Sıvılaşmanın oluşturduğu etkilerin yüzeyde görülüp görülmemeye durumuna göre aşağıya doğru Açılır pencere*den seçim yapılır.

Sıvılaşabilir kum tabakası kalınlığı (H_2) düşey eksen üzerinde belirlendikten sonra **(1)** bu değer ile yatay eksende arazide belirlediğiniz sıvılaşmayan örtü zemin tabakası kalınlığı (H_1) karşılaştırılarak **(2)** abak üzerindeki yeri belirlenir **(3)**. Daha sonra kullanıcı tarafından maksimum ivme değerine ($a_{maks} = 0,4 \cdot S_{DS}$) karşılık gelen eğrinin yeri abak üzerinde belirlenir **(4)**. Tasarım depremi (M_w) için oluşması beklenen olası hasar verici etkileri tek bir sondaj noktasında belirlemek için değerlendirme yapılır. Eğer kesim noktası bu eğrinin (çizginin) sol tarafında kalıyorsa sıvılaşmanın etkilerinin yüzeyde gözlenebilirliğiyle ilgili olarak “**sıvılaşma etkileri yüzeyde görülür**”; sağ tarafında kalıyorsa “**sıvılaşma etkileri yüzeyde görülmez**” şeklinde tanımlama yapılır.



Sıvılaşmanın oluşturduğu etkilerin yüzeyde görülüp görülmediğini değerlendirmek için kullanılacak Abak No:1

Maksimum ivme değerleri yukarıdaki grafikte 0.2 ve 0.5 g ivme değerleri ile sınırlandırılmıştır.

- Sönmez vd. [2008]

Kapak zemini kalınlığının zemin yüzeyinde sıvılaşma kaynaklı deformasyonlara etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada Ishihara (1985) tarafından önerilen ve önemli sınırlamalar içeren abağa alternatif olarak yeni bir abak oluşturulmuştur. Bu yeni yaklaşımın aşağıdaki özellikleri sağlaması öngörülmüştür.

- Örtü zemininin altında kalan seviyelerin sıvılaşma şiddeti,
- Örtü zemini altında ve pratikte kabul gören yüzeyden 20 m'lik etkin sıvılaşma zonu içerisindeki sıvılaşan ve sıvılaşmayan seviyelerin tümü,
- Deprem büyüklüğü, etkin yer ivmesi, zeminin jeoteknik özellikleri gibi sıvılaşmada etkili olan parametrelerin de dikkate alınması.

Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) tarafından önerilen Sıvılaşma Şiddeti İndeksi-*Liquefaction severity index* (L_s) eşitliğinde kullanılan parametreler yukarıda belirtilen tüm özellikleri içermektedir (bkz. sıvılaşma potansiyeli analizi Bölüm-1).

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

$$P_L = \frac{1}{1+(F_L/0.96)^{4.5}} \quad F_L \leq 1.411 \text{ için;}$$

$$P_L(z) = 0 \quad F_L > 1.411 \text{ için;}$$

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

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

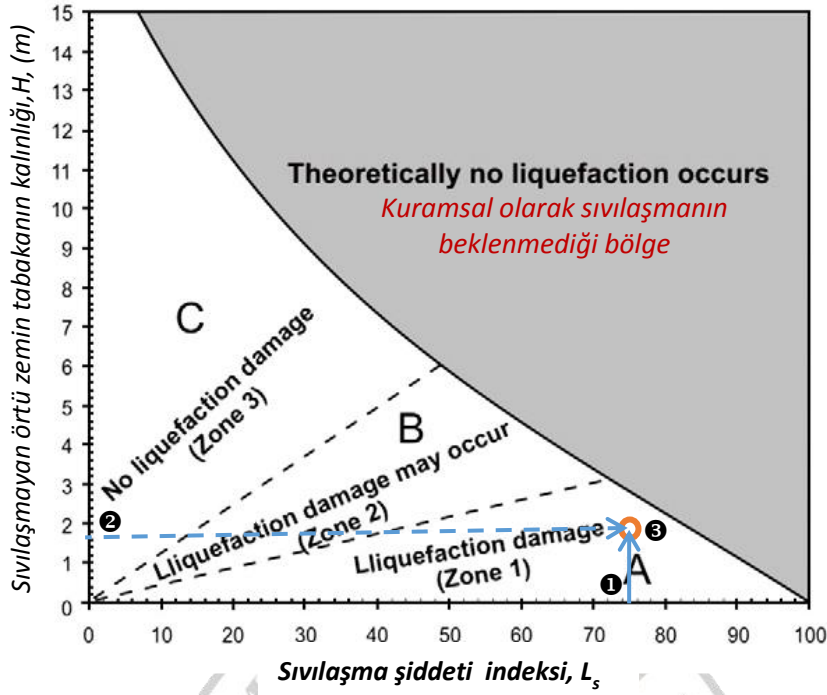
P_L : Sıvılaşma olasılığı oranı

F_L : Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı

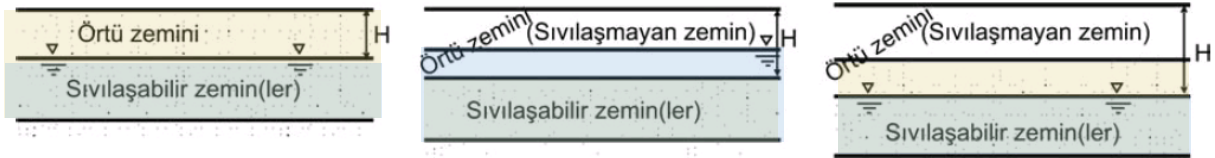
Z : Zemin tabakasının orta noktasının metre cinsinden derinliği

Sıvılaşma şiddeti (L_s) indeksi sınıfları (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005)

L_s	Tanımlama
$85 \leq L_s < 100$	Çok Yüksek
$65 \leq L_s < 85$	Yüksek
$35 \leq L_s < 65$	Orta
$15 \leq L_s < 35$	Düşük
$0 < L_s < 15$	Çok Düşük
$L_s = 0$	Sıvılaşmaz



Zemin deformasyonlarının yüzeyde gözlenip gözlenmeyeceğinin değerlendirilmesi (Sönmez vd., 2008)
Sıvılaşmayan örtü zemin kalınlığı (H) ile L_s değerlerinin işlendiği Abak No:2



Abağın kullanılmasında örtü zemininin kalınlığının belirlenmesi için kılavuz kesitler

Örneğin yatay ekseninde 20 metre derinliğe kadar Sönmez ve Gökçeoğlu (2005)'na göre hesaplanmış L_s değeri 75 (1), düşey ekseninde sıvılaşmayan örtü zeminin (kapak zemin) kalınlığı (H) 1.5 m ise (2), kesişim noktası (3) "Zone 1" içerisine düşer. Bu durumda **yüzeysel hasar durumu** için "sıvılaşma hasarı var" tanımı yapılır.

Abağın oluşturulmasında derinlik açısından üç sınıfa ayrılan bölgeler (Sönmez vd., 2005)

Zonlar	Simgeler	Hasar Durumu
Zon 1	A	Sıvılaşma hasarı var (yüzeyde sıvılaşmanın izi gözlenir)
Zon 2	B	Sıvılaşma hasarı oluşabilir (yüzeyde sıvılaşmanın izi gözlenebilir)
Zon 3	C	Sıvılaşma hasarı yok (yüzeyde sıvılaşmanın izi gözlenmez)

22 No.'lu Sütun – Sıvılaşmaya Yatkın Kum Zemin Tabakası Kalınlığı (H_2): Sıvılaşabilir kum tabakası kalınlığıdır. 20 metreye kadar olan her bir SPT seviyesindeki sıvılaşabilir zemin tabakası kalınlıkları toplanarak sıvılaşabilir toplam zemin kalınlığı (H_2), sütunun en alt satırında verilmiştir. Birimi "metre"dir.

23 No.'lu Sütun – Örtü Zemin Tabakası Kalınlığı (H_1): Arazide belirlediğiniz sıvılaşmayan örtü zemin tabakası kalınlığı (H_1) ilgili kutucuğa yazılır. Birimi "metre"dir.

Sönmez vd., 2008’de Program Sıvılaşmaya Yatkın Kum Zemin Tabakası Kalınlığı (H_2) ve Örtü Zemin Kalınlığı (H) değerlerini “Kapak tabakası” başlığı altındaki ilgili kutucuklardan otomatik olarak almaktadır.

24 No.’lu Sütun – Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (L_s): Bu kutucuktaki değer “Sıvılaşma potansiyeli analizi” sayfasındaki Sıvılaşma Şiddeti İndeksi-LSI (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005)’den otomatik olarak alınmaktadır. Hesaplanan “Sıvılaşma Şiddeti İndeksi” ne ait değer tablodaki kutucukta L_s değeri olarak verilmiştir.

Yüzeysel Hasar Durumu: Abak üzerinde yüzeysel hasar durumunu noktanın düştüğü yere göre belirleyip aşağıya doğru Açılır pencere*den seçim yapılır.

NOT-1: Sönmez vd. (2008)’in geliştirdiği abak, sıvılaşabilen tabakaların sürekliliği gibi sıvılaşma kaynaklı yüzey deformasyonları üzerinde etkili olan faktörleri dikkate almamaktadır. Bu nedenle eğimli topoğrafya, yapı özellikleri ve örtü zeminine ait özelliklerin değerlendirilmesi konusunda herhangi bir açıklama içermemektedir.

***Açılır Pencere:** Fare ile veri girişi yapılan kutucuğu seçtiğinizde kutucuğun sağ alt köşesinde beliren aşağı yönlü küçük ok tuşuna (▼) tıkladığınızda açılan menüden farklı koşullar için seçim yapmanızı sağlar.

AÇIKLAMALAR:

- 1- Bu Excel sayfasında yatay zemin yüzeyi, serbest zemin koşulları varsayımı ile sıvılaşma kaynaklı oturmalar, yanal deformasyonlar değerlendirilmektedir. Bu nedenle özellikle sahada topoğrafik eğimin olduğu durumda da yanal yayılma değerlendirilmeli, sıvılaşma kaynaklı şev duraylılığı değerlendirilmeli, yapıların olduğu durumlarda ise sıvılaşma kaynaklı temel-zemin göçmesi değerlendirmeleri ayrıca yapılmalıdır.
- 2- TBDY-2018 Madde 16.6.10 – Belirlenen sıvılaşma sonrası yer değiştirmelerin üstyapı/altyapı davranışına etkileri değerlendirilerek ihtiyaç duyulması halinde üstyapı ve/veya zemin iyileştirmeleri uygulanacaktır.
- 3- TBDY-2018 zemin iyileştirme yöntemlerinin saha zeminlerinin karakteristikleri ile uyumlu seçiminin uzman mühendislerce yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Seçilen zemin iyileştirme uygulamasının başarısı iyileştirme sonrası deneyler ile yerinde teyit edilmelidir.

Referanslar

- C. Y. Lee, 2007, Earthquake-Induced Settlements In Saturated Sandy Soils
- 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.
- Juang CH, Yuan H, Lee DH, Lin PS (2003) A simplified CPT-based method for evaluating liquefaction potential of soils. J Geotech Geoenviron Eng 129 (1):66– 80.
- 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.
- Seed, R. B., Cetin, K.O., Moss, R. E. S., Kammerer, A., Wu, J., Pestana, J., Riemer, M., Sancio, - TBDY (2018), “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği: Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar”, Türkiye Cumhuriyeti, Ankara.
- Sonmez, H. Gokçeoglu, C. 2005, A liquefaction severity index suggested for engineering practice, Environmental Geology, 48(1), 81 – 91.
- Sonmez, B., Ulusay, Resat., Sonmez, Harun., 2008, A study on the identification of liquefaction-induced failures on ground surface based on the data from the 1999 Kocaeli and Chi-Chi earthquakes.
- 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.