

DENİZ, GÖL, AKARSU GİBİ ORTAMLARDA YAPILAN DERİN KUYU SONDAJLARI İÇİN SPT-N DÜZELTMESİNE İLİŞKİN HESAP CETVELİ KULLANIM KILAVUZU

MART– 2021

ÖNEMLİ NOT :

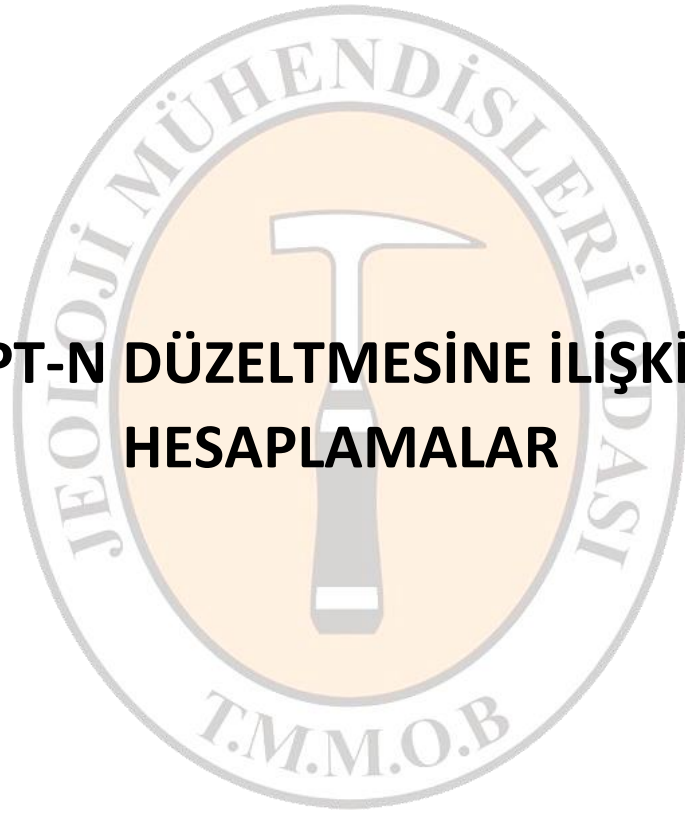
SPT-N Düzeltmesine İlişkin Hesap Cetveline ait telif hakları, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu gereğince TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odasına ait olup, izin almaksızın içeriğinde herhangi bir değişiklik yapılamaz. Hesap cetveli JMO logolu olarak kullanılmak kaydıyla ücretsiz herkesin kullanımına 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.

Bu hesap cetveli, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası tarafından üyelerine yardımcı olmak amacıyla hazırlanmıştır. Kullanıcılar bu tablodan elde edilen sonuçları el hesaplamaları ile de doğrulayabilirler.

İçindekiler

- SPT-N Düzeltmesine İlişkin Hesaplamalar 1
- SPT-N Düzeltmesi Hesap Cetvelinde Kullanılan Parametreler.....2
- Düzeltme Faktörleri3
- Kaynaklar 13

SPT-N DÜZELTMESİNE İLİŞKİN HESAPLAMALAR



DENİZ, GÖL, AKARSU GİBİ ORTAMLARDA YAPILAN DERİN KUYU SONDAJLARI İÇİN SPT-N DÜZELTMESİNE İLİŞKİN HESAPLAMALAR (v 1.0)

Standart Penetrasyon deneyi (SPT) dinamik olarak 76 cm yükseklikten 63,5 kg ağırlığındaki bir tokmağın düşürülerek standart bir numune alıcının zemine 45 cm çakılması şeklinde uygulanır. Numune alıcının zemine son 30 cm'lik çakılması için gerekli olan toplam darbe sayısı, zeminin penetrasyon direnci (SPT-N) olarak tarif edilir.

Standart Penetrasyon deneyi temel olarak, sondaj kuyusu içinde (in-situ) yapılan dayanım parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan dinamik bir deneydir. Makaslama (kesme) dayanımı taneli zeminlerde zeminin bağıl sıklığına (D_r), suya doymun kohezyonlu zeminlerde ise zeminin drenajsız kayma dayanımına (kohezyona, içsel sürtünme açısına) bağlıdır. Zeminlerin taşıma gücünün belirlenmesinde ve sıvılaşma analizlerinde Standart Penetrasyon Deneyinden alınan veriler yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneyden elde edilen darbe sayıları (SPT-N) jeoteknik tasarımda oldukça fazla kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle SPT-N ile zeminin mühendislik parametreleri arasındaki ilişkilerden (korelasyonlardan) faydalanılarak zeminlerin davranışları tahmin edilebilmektedir. Örneğin ince taneli zeminlerin drenajsız kayma dayanımı (c_u) arazi penetrasyon deneyi olan SPT ile dolaylı olarak belirlenebilmektedir.

Örselenmemiş numune almanın zor olduğu iri taneli (kumlu) zeminlerin özelliklerini tahmin etmede SPT yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. SPT, kumlar ve siltler için arazideki efektif kayma dayanımı açısı (ϕ'), relatif sıklık (D_r) gibi zemin özelliklerini tahmin etmede kullanılabilir. Killi zeminlerde ise SPT-N ile serbest basınç dayanımı (q_u), drenajsız kayma dayanımı (c_u), hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) arasında ilişkiler geliştirilmiştir. Çeşitli zeminler için dinamik kayma modülü (G_s), elastisite modülü (E_s) ve kayma dalgası hızını (V_s) veren bağıntılar mevcuttur. SPT-N değeri ile kumlu zeminlerin kayma direnci açısı ϕ' arasında da güvenilir bağıntılar bulunmaktadır. Bu nedenle iri taneli (kumlu) zeminler üzerindeki sıg ve derin temellerin taşıma gücü, oturmalarının tahmin edilmesinde ve kazıklı temellerin hesaplamalarında da kullanılmaktadır.

SPT için yaygın olarak kullanılan standartlar BS 1377, ENV (Eurocode 7) ve ASTM D1586 standartlarıdır. Ayrıca ülkemizde TS EN ISO 22476-3 (Jeoteknik Etüt ve Deneyler - Arazi Deneyleri - Bölüm 3: Standart Penetrasyon Deneyi) standardı da uygulanmaktadır.

Bu çalışma ile Standart Penetrasyon deneyinden elde edilen ham verilere hesaplama metodu olarak TBDY-2018'de ifade edilen kabuller kullanılarak SPT-N düzeltmesi yapılmıştır.

Bu klavuz içerisinde yukarıda belirtilen açıklamalar doğrultusunda kullanılmak amacıyla "**SPT-N Düzeltmesi**" için Microsoft Excel arayüzü geliştirilmiş ve bir hesap cetveli hazırlanmıştır.

NOT: Kullanıcıların belli aralıklarla JMO'nun Web sitesinden hazırlanan bu programla ilgili düzeltmeleri ve değişiklikleri izlemeleri tavsiye olunur.

EXCEL SPT-N DÜZELTMESİNE İLİŞKİN HESAP CETVELİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

Aşağıda Excel hesap cetvelinde kullanılan parametreler aşağıda tek tek açıklanmaktadır.

1- Veri Girişi

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

TURUNCU RENKLİ BÖLÜMLERE, KULLANICI TARAFINDAN VERİ GİRİŞİ YAPILMASI GEREKMEKTEDİR. SARI RENKLİ HÜCRELER KORUMALIDIR.

KULLANICILAR BAŞLIKLAR ÜZERİNE GELEK KUTUCUKLA İLGİLİ AÇIKLAMAYI GÖREBİLİRLER.

KULLANICILAR PROGRAMDAKİ MAKROYU KULLANABİLMEK İÇİN EXCELDE MAKRO AYARLARINI AÇMALIDIR.

KULLANICILAR TABLO ÜZERİNDE ORTA BÖLÜMDE SPT VERİ GİRİŞİ YAPMAK İÇİN HERHANGİ BİR YERE TIKLADIKLARINDA PROGRAM TARAFINDAN GÖRÜNÜM BÜYÜTÜLECEKTİR. TEKRAR ESKİ HALİNE GETİRMEK İÇİN BU BÖLÜM DIŞINDA BİR YERE TIKLAYINIZ.

- Antet Bölümü;

Proje Adı: SPT'nin uygulandığı "Projenin adı" yazılacaktır.

Ada No: SPT'nin uygulandığı yerin "Ada no" su yazılacaktır.

Parsel No: SPT'nin uygulandığı yerin "Parsel no" su yazılacaktır.

Koordinatlar: Ada ve parsel numarası belirlenmiş yerde jeoteknik amaçla açılan sondaj kuyusunun koordinatlarıdır. Derece cinsinden "x" ve "y" sütunlarına yazılacaktır.

Kot: SPT yapılan kuyuda metre cinsinden ortalama yükseklik yazılacaktır.

Datum: "x" ve "y" olarak belirtilen koordinatların, hangi koordinat referans sistemine ait olduğunu gösterir. Açılır pencere*den uygun koordinat sistemi seçilecektir.

Sondaj Kuyu No: Sondaj kuyusunun numarası yazılacaktır.

Sondaj Kuyu Derinliği: Sondaj kuyusunun derinliği yazılacaktır. Birimi "m" dir.

Yeraltı Suyu Seviyesi: SPT yapılan kuyuda yüzeyden itibaren ölçülen statik yeraltı suyu seviyesi ve birimi "m" yazılacaktır. Yeraltı suyu yüzeyde ise "0" yazınız. Yeraltı Suyu

yoksa “**Yeraltı Suyu yok**” seçeneğini işaretli hale getiriniz. YASS’ne değer yazarken kutucuktaki işareti kaldırınız.

Grafik üzerinde Yeraltı Suyu Seviyesi ve derinliği (m) mavi düz bir yatay çizgi ile gösterilmektedir.

Bu hücreye veri girişi yaparken “Su Derinliği” kutucuğunda veri olmaması gerekir. Veri varsa program sizi bunu silmeniz için uyaracaktır.

Deniz, göl, akarsu vb. yerlerde yapılan sondaj: Deniz, göl, akarsu vb. yerlerde sal üzerinde yapılan sondajlarda su derinliği değerini giriniz. Birimi m’dir. Bu hücreye değer girerken “Yeraltı suyu seviyesi” hücresinde veri olmaması gerekir. Program bu durumda uyarı verecektir. Lütfen bu hücredeki değeri siliniz.

***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.

DÜZELTME FAKTÖRLERİ:

Jeoteknik tasarımda ve zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılabilmesi için SPT-N düzeltmesi yapılmalıdır. Deneyin yapılış biçimi ve ayrıntıları sondaj loglarına yazılmalıdır.

TURUNCU RENKLİ BÖLÜMLERE, KULLANICI TARAFINDAN VERİ GİRİŞİ YAPILMASI GEREKMEKTEDİR.

Numune Alıcı Tipi: Standart Penetrasyon deneyinde kullanılan numune alıcı tipidir. Açılır pencere*den seçilecektir (Bkz. Tablo 16B.1). Kullanıcılar, Standart Penetrasyon deneyinde kullandıkları numune alıcı tiplerinin standartlara uygun olup olmadığını kontrol etmelidir.

Sondaj Delgi Çapı: Standart Penetrasyon deneyinde kullanılan sondaj delgi çapıdır. Açılır pencere*den seçilecektir. Birimi “mm” dir (Bkz. Tablo 16B.1).

Tokmak Tipi: Standart Penetrasyon deneyinde kullanılan tokmak tipidir (Bkz. Tablo 16B.1). Açılır pencere*den seçilecektir. Ancak; T.C. 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. Ölçümlerde daha önce doğrudan enerji ölçümü yapılarak kalibre edilmiş bir otomatik şahmerdan kaldırma sistemi kullanılmalıdır. Deney sırasında tokmağın çakma başlığına merkezi olarak çarpması sağlanmalıdır.

NOT: Düşme sayısını kontrol eden tokmaklar kullanılıyor ise, dakikada 20 ile 40 arasında darbe sağlanmaya çalışılmalıdır.

Tokmak (Şahmerdan): Arka arkaya kaldırma ve düşürme yoluyla enerji sağlayan, çakma ve numune alma işlemini gerçekleştirmek için kullanılan, darbe düzeneğinin 63,5 kg'lık kısmı.

Enerji Oranı: Standart Penetrasyon deneyinde kullanılan tokmak tipine göre belirlenen enerji oranıdır. TBDY-2018'de enerji oranı tokmak tiplerine bağlı olarak belirli aralıklarda belirlenmiş olup, kullanılan tokmak tipine göre değişiklik göstermektedir. SPT sisteminin kullanım kılavuzunda belirtilen veya belli aralıklarla yapılan enerji ölçümü sonucunda elde edilen **enerji oranı**; ilgili kutucuğa veri girişi olarak yazılacaktır.

Cihazın enerji oranı kalibrasyon ile belirlenmiş ise ilgili kutucuğu (Ölçüm Yapıldı) işaretleyiniz. Belirlenmemiş ise "Tahmin Edildi" kutucuğunu işaretleyiniz.

NOT: ER (arazide gerçekleşen enerji oranı) aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$ER = \frac{E_{ölçülen}}{E_{teorik}} \times 100$$

Arazide ölçülen darbe sayısı (SPT-N), teorik enerjinin %60'ı olan uygun bir enerjiye düzeltilmesi gerekmektedir. Ülkemizde ve dünyanın birçok yerinde SPT-N değerlerini temel alan korelasyonların birçoğu, yaklaşık %60 verimliliğe sahip donanımlar temel alınarak geliştirilmiştir.

SPT Kılavuz Tij Boyu: 63,5 kg'lık şahmerdanın düşürülmesi sırasında, en düşük direnci sağlamak için kullanılan uygun kılavuz borudur. SPT kılavuz tij borusunun yerden yüksekliğini giriniz. Birimi "m" dir. Bu değer, serbest zemin yüzeyinden SPT yapılan seviyeye kadar olan tij uzunluğuna ilave edilmesi gerekir.

Hesaplama Metodu: Yazılım, hesaplama metodu olarak TBDY-2018'de ifade edilen kabuller kullanılarak yapılan SPT-N düzeltmelerini (N_{60} ve $N_{1,60}$) desteklemektedir.

- Tablo Bölümü;

TURUNCU RENKLİ BÖLÜMLERE, KULLANICI TARAFINDAN VERİ GİRİŞİ YAPILMASI GEREKMEKTEDİR. SARI RENKLİ HÜCRELER KORUMALIDIR.

Arazi SPT ve Laboratuvar Deneylerinden Alınan Veriler

1 No.'lu Sütun - Sıra No: Kontrolün kolay yapılabilmesi için verilen satır numaralarıdır. 2 No.'lu sütuna derinlik değeri yazılınca ilgili satırda otomatik sıra numarası verilecektir.

2 No.'lu Sütun - Derinlik: Serbest zemin yüzeyinden ölçülen Standart Penetrasyon deneyinin yapıldığı başlangıç derinliği yazılacaktır. Birimi m'dir.

NOT: Standart Penetrasyon deneyinin yapıldığı başlangıç derinliği kuyu derinliğinden büyükse program kullanıcıya "Hatalı durum" uyarısı verecektir. Bu durumda kuyu derinliğinizi kontrol ediniz.

Eğer deniz, göl, akarsu vb. yerlerde sal üzerinde sondaj yapılıyorsa bu hücreye (E19) su derinliği değerini giriniz. Bu hücrenin bulunduğu satırda yer alan **sarı renkli hücrelere veri girişi yapmayınız**. Bir alt satıra (2 nolu Derinlik sütununda E20 hücresi) ve daha sonraki satırlara SPT derinliğinin bitiş derinliklerini giriniz.

	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-	-10-	-11-
1-		25.00									250.0
2-		25.45	8	4	5	9	Kohezyonsuz	SM	18.0	18.0	258.1

3 No.'lu Sütun - SPT (N): Arazide yapılan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) sonucunda elde edilen darbe sayıları [SPT (N) değerleri] yazılacaktır.

63,5 kg ağırlığındaki şahmerdanın 76 cm yükseklikten serbest şekilde düşürülmesi yoluyla numune alıcı başlangıç veya 150 mm'lik örselenmiş derinliğe kadar çakılmalı ve bu işlem sırasındaki darbe sayısı birinci 15 cm olarak (0-15 cm sütununa) kaydedilmelidir. Daha sonra, aynı biçimde numune alıcı, en az 150 mm'lik iki etap olacak şekilde 300 mm derinliğe kadar çakılmalıdır. Bu etapların her biri için elde edilen darbe sayısı kaydedilmeli ve ikinci (15-30cm sütunu) ve üçüncü 15cm (30-45cm sütunu) penetrasyon toplamı SPT-N değeri olarak kaydedilmelidir.

Deneyde üç 15 artımların (0-15cm, 15-30cm ve 30-45cm) herhangi biri esnasında toplam 50 darbe sayısına ulaşırsa, 30 cm için toplam 100 darbe sayısı olması durumunda, ardışık 10 darbenin uygulanması sırasında numune alıcının ilerlemesinin gözlenmemesi durumunda (ASTM D1586) ve/veya numune alıcının 45 cm ilerlemesi durumunda deney sonlandırılır. Sert zeminlerde veya penetrasyon direncinin çok yüksek olduğu yumuşak/çok ayrılmış kayalarda ise belirlenmiş darbe sayısına ulaşıldığında deney sonlandırılır ve ilerleme kaydedilir (örneğin 50 darbeye 10 cm ilerleme sağlanmışsa 50/10 şeklinde yazılır).

3 No.'lu sütunda yer alan hücrelere (0-15cm, 15-30cm ve 30-45cm) "50/5" şeklinde (örneğin 50 darbeye 5 cm ilerleme sağlandı ise) ham SPT-N değeri girişi yaparken Excel'de text şeklinde yazılımlarda sayıdan önce tek tırnak işareti (') kullanarak yazmanız gerektiğini lütfen unutmayınız (örneğin '50/5 şeklinde). Aksi durumda Excel 50 sayısını 5'e bölüp hücreye yazacaktır.

3. No'lu sütunları oluşturan hücrelerden sadece ilk 1 nolu (0-15cm) hücreye refü (r veya R) yazabilirsiniz (örneğin kaya ortam). Diğer hücrelere (15-30 ve 30-45cm) "Refü" yazmayınız. Refüyü oluşturan değeri yazınız (örneğin '50/10). Bu durumda 4 No'lu sütunda ilgili hücrede "refü" yazacaktır.

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

NOT: İlerleme (penetrasyon) boyu, tijin üzerinde işaretlenmiş ölçülü uzunluğa göre veya kaydedici sensörlerin bulunması durumunda kaydedici sensörler yoluyla ölçülür.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2019 yılında yayınlanan “Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı” na göre sondaj kuyusu boyunca her 1.50 m’de bir Standart Penetrasyon deneyi yapılmalıdır denmektedir. Bununla birlikte sivilaşma potansiyeli analizlerinde daha sık aralıklarla (1.0m) da SPT yapılabilecektir.

4 No.’lu Sütun – SPT-(N) [darbe/30 cm] değeri: İkinci (15-30cm) ve üçüncü (30-45cm) 15 cm’lik penetrasyonun toplamı için gereken darbe sayısı, standart penetrasyon direnci yani, SPT-N değeri olarak alınır. Son iki 15 cm’nin toplamı otomatik olarak program tarafından hesaplanacaktır. Deney sonucunda 3 No.’lu sütunlarda herhangi bir seviyede 50 darbeyi aşan (örneğin 50/5) değer elde edildiğinde veya 30 cm için toplam 100 darbe sayısı elde edilmesi durumunda program deney sonucunda 4 No.’lu sütunda ilgili hücreye “refü” yazacaktır.

NOT: Standart penetrasyon donanımı, çarık, numune alıcı tüp ve başlıktan oluşmaktadır. Çarık, çok sert çelik olmalıdır. Çarık önemli derecede hasar aldığına, biçimi bozulduğunda ve çarpıklaştığında değiştirilmelidir. Bozulan çarıklar tekrar kullanılmak amacıyla düzeltilmeye çalışılmamalı uç kısımdaki aç değeri değiştirilmemelidir. Bu durum yanlış sonuçlar elde etmenize sebep olacaktır.

5 No.’lu Sütun - Zemin Davranışı: Sondaj derinliğine bağlı “malzemenin” tanımıdır. *Kohezyonlu* ve *kohezyonsuz* zemin tipi olarak iki seçenek mevcuttur. Açılır pencere*den seçilecektir. Kohezyonlu zeminler kalın ve italik yazılacaktır.

NOT: Excel tablosunda kullanıcıdan zemin davranışının girilmesi istenmektedir. Kohezyonlu zemin davranışı gösteren zeminlerde efektif gerilme düzeltmesi yapılmadan N_{60} değerinden zemin parametreleri tahmin edilmelidir. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma sistemine göre ince taneli zeminler kohezyonlu zemin davranışı gösterirler. Bununla birlikte bazı iri taneli zeminlerde (özellikle SC, SM) iri tanelerin arasındaki boşlukları tamamen plastik davranış gösteren kohezyonlu taneler kaplıyorsa zemin kohezyonlu zemin davranışı gösterebilir. Bu husus sondaj mühendisi ve zemin etüdünden sorumlu mühendis tarafından dikkatle değerlendirilmelidir.

6 No.’lu Sütun - Zemin Tipi (UCSC): Sondaj derinliğine bağlı “malzemenin” Birleşik Zemin Sınıflamasına (UCSC) göre tanımıdır. Açılır pencere*den seçilecektir. Burada UCSC zemin sınıfına göre bütün birimler yer almaktadır. Laboratuvar verilerine göre tanımlanacaktır.

NOT: Laboratuvar verisi yoksa boş bırakınız.

7 No.’lu Sütun - İnce Tane İçeriği (İTi): Her bir SPT derinliğinde bulunan zeminde yer alan “ince tane oranıdır”. Yüzde (%) cinsinden ifade edilir. İnce tane miktarı (kil+silt) laboratuvarında yapılan elek analizinden belirlenir.

NOT: Laboratuvar verisi yoksa boş bırakınız.

8 No.'lu Sütun – Zeminin Tabii Birim Hacim Ağırlığı (γ_n): Sondajda belirlenen YASS 'ne bağlı olarak SPT derinliğinde bulunan zeminin tabii birim hacim ağırlığıdır. Birimi kN/m^3 'tür.

NOT: Bu değer mutlaka girilmelidir. Değer girilmediğinde program hücreyi kırmızı renkli çerçeve içerisine alarak sizi uyaracaktır (Veri giriş uyarısı).

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

NOT: Bu değer mutlaka girilmelidir. Değer girilmediğinde program hücreyi kırmızı renkli çerçeve içerisine alarak sizi uyaracaktır (Veri giriş uyarısı).

10 No.'lu Sütun – Kıvam Limitleri: SPT derinliğinde alınan numuneler üzerinde yapılan Atterberg (kıvam) limitleri deneyi ile likit limit ve plastik limitin belirlenmesi sonucu bulunan plastisite indisidir. Likit limit ve plastik limit değerleri girildiğinde program plastisite indisi değerini otomatik olarak hesaplamaktadır.

NP (plastik olmayan-*Non plastic*) zeminler için Plastik limit değerine “np” yazınız.

NOT: Bu bölümdeki bilgiler (Atterberg kıvam limitleri) hesaplamada kullanılmamaktadır. Bilgi amaçlıdır. Kullanıcılar jeoteknik tasarım yaparken zemin modül değerleri ile SPT-N arasındaki korelasyonlarda; örneğin hacimsel sıkışma modülü (m_v) ile SPT-N arasındaki ilişki katı killer için plastisite indisine (I_p) bağlı olarak belirlenebilmektedir (Straud, 1974) buradaki bilgilerden faydalanabilirler.

Laboratuvar verisi yoksa 10 No.'lu sütunu boş bırakınız.

2- SPT-N Verilerinin Düzeltmesi

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

TBDY-2018, Amerikan Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi NCEER çalışma grubunun önerdiği düzeltmeleri (2001) kabul etmiştir.

Birçok değişken, SPT sonuçlarının geçerliliğini ve kullanılabilirliğini etkilemektedir. Ölçülen penetrasyon direnci, bu değişkenlerin sonucu olarak çok aşırı yüksek veya çok aşırı düşük olabilmektedir. Bu bölümde, arazide elde edilen ham SPT-N değerleri farklı enerji, ekipman ve prosedür uygulamaları için düzeltilmiştir. SPT'nin geçerliliği için sondajlar sırasında kullanılan donanım ve prosedürlerin standartlara uygun olması gerekmektedir.

11 No.'lu Sütun - Düşey Zemin Gerilmesi (σ_{vo}): SPT derinliğindeki düşey zemin gerilmesidir. Birimi kN/m^2 'dir. Program kuyu derinliği boyunca efektif ve toplam gerilmelerin hesaplanmasını yapmaktadır.

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

γ : Zeminin tabii birim hacim ağırlığı (Eğer zemin suya doymun ise suya doymun birim hacim ağırlığı, γ_d , kullanılmaktadır). Birimi kN/m^3 'tür.

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} : Standart Penetrasyon deneyi sırasındaki ölçümün yapıldığı derinlikteki düşey efektif örtü yükü basıncı (kN/m^2).

γ_w : Suyun birim hacim ağırlığı (kN/m^3). Bu değer 9.81 kN/m^3 olarak alınmıştır.

YASS: SPT yapılan seviyenin yeraltı su seviyesine olan uzaklığı (m)

13 No.'lu Sütun – Örtü Yükü Düzeltme Katsayısı (C_N): (N) darbe sayıları, zeminin bağıl yoğunluğunun yanı sıra, deneyin yapıldığı derinlikteki efektif gerilime bağlıdır. Efektif gerilim, efektif örtü gerilimi ile temsil edilir. Aynı göreceli yoğunluğa sahip bir zemin, farklı derinliklerde farklı N değerleri verir. Bu nedenle ayrıca bir düzeltmeye gerek duyulur.

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 veya eşit çıkarsa maksimum değeri olan 1.70 alınmalıdır.

Bazı durumlarda örneğin deniz sondajlarında ilk SPT doğrudan zemin yüzeyinden başlatılabilmektedir. Bu durumda SPT derinliği 0 alınırsa C_N düzeltmesi matematiksel olarak tanımsız olacaktır. Bu durumun önüne geçebilmek için SPT derinliği 45 cm çakma derinliğinin ortalaması olarak 0.22 girilmelidir.

C_N düzeltmesi killi zeminler için kullanılmamalıdır (Liao and Whitman, 1986). Killi zeminler için C_N düzeltmesi hala tartışmalı olmakla beraber, pratikte uygulanmamaktadır (Farrar, 1999).

$$C_N = 9.78 \sqrt{\frac{1}{\sigma'_{vo}}} \leq 1.70 \quad (16B.2)$$

σ'_{vo} : SPT deneyi sırasındaki ölçümün yapıldığı derinlikteki düşey efektif örtü yükü basıncı.

NOT: Literatürde C_N değerinin hesaplandığı farklı eşitlikler de yer almaktadır. C_N boyutsuzdur.

14 No.'lu Sütun - Tij Boyu Düzeltme Katsayısı (C_R): SPT tij boyu düzeltme katsayısıdır. TBDY-2018 Tablo 16B.1'de belirtilmiştir (birimsiz). Programda yapılan hesaplamada **SPT tij kılavuz borusunun yerden yüksekliği SPT yapılan seviyeye kadar olan tij uzunluğuna ilave edilmiştir**. Kullanıcılar örneğin SPT için 3.0 m derinlik yazdıklarında program "Düzeltilme Faktörleri"nde 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.

NOT: Program Tablo16B.1’de C_R için verilen değerlerin arasında kalan derinlikler için hesaplama yapmaktadır.

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 açılır pencere*den seçiminizi yapınız. Uygulamalarda kılıflar sıkça ihmal edilir ve dolayısıyla da numune alma tütünün iç çapı artar. İç çaptaki artma, numune alıcının içerisindeki sürtünmeyi azaltır ve zeminin ölçülen penetrasyon direncini azaltır. Günümüzde tüm SPT ekipman üreticilerinin çoğu tütün içerisinde kılıf girecekmiş gibi üretim yapmaktadır. ABD dışındaki ülkelerin hepsi iç çapı sabit olan numune alıcı tütün kullanmaktadır. SPT yapılan zeminlerde genişletilmiş ve sabit çaplı tüpler arasındaki SPT-N değerindeki fark net değildir. Japonya’da yapılan bir çalışmaya göre killi zeminlerde farklar %10’a, kumlarda ise %25’e kadar değişmektedir (Farrar, 1999).

İç tütün 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 114 mm’den büyük olduğunda gerilme boşalması meydana gelir ve ölçülen SPT-N değerlerinin daha küçük çaptaki delgi için ölçülen SPT-N değerinden daha düşük olduğu görülür.

İlgili kutucuğa tıklayarak açılır pencere*den 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 derinde	1.00
C_S	Standart numune alıcı (iç tütün olan)	1.00
	İç tütün 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_{60}): Düzeltilmiş SPT darbe sayısı TBDY-2018 Denklem 16B.1’de belirtilmiştir (birimsiz). N_{60} için genel formül aşağıdaki gibidir.

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

SPT, kaba taneli (kumlu) zeminler için geliştirilmesine rağmen, ince taneli zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Ancak killi zeminlerin, deneyde belirlenen dinamik özelliklerine ilişkin sonuçlar pek güvenilir olmadığından, yalnızca nitel bir yol gösterici olarak işlev görmektedir. Bu nedenle deneyin kohezyonlu zeminlerde kullanılması tavsiye edilmemektedir (Lee vd.,1983).

Birçok durumda, tasarım aşamasında, Standart Penetrasyon deney sonuçlarından mühendislik parametrelerinin değerlerini elde etmek için çeşitli araştırmacılar tarafından zemin tipine bağlı olarak geliştirilmiş ampirik bağıntılar kullanılmaktadır. Fakat literatürde mevcut olan SPT ile ilgili korelasyon denklemlerinde bazı belirsizlikler ve yoruma açık hususlar olduğu gözlenmiştir.

Bunlar:

- Korelasyonların SPT düzeltmelerini içerip içermediği
 - Korelasyonların hangi deney tipi sonuçları kullanılarak elde edildiği
 - Korelasyonların istatistiksel açıdan anlamlı olup olmadığı
 - Korelasyonların hangi zemin sınıfı için geçerli olduğu
- şeklinde özetlenebilir. Dolayısıyla, kullanıcı mühendis korelasyon denklemi kullanmadan önce yukarıda bahsedilen belirsizlikleri göz önüne almalıdır. Bu belirsizlikler bilinmiyorsa, bu denklemlerin yanlış sonuçlara ve tasarımlara sebep olacağı kaçınılmazdır.

5 No.'lu sütunda seçilen zemin tipine göre eğer zemin davranışı kohezyonlu seçilmiş ise 18 ve 19 No.'lu sütunda bu durum ilgili hücre daha koyu bir renge boyanarak gösterilmektedir. Boyanmayan hücreler kohezyonsuz (granüler) zeminleri ifade etmektedir.

19 No.'lu Sütun - Düzeltilmiş SPT Darbe Sayısı ($N_{1,60}$): Düzeltilmiş SPT darbe sayıları TBDY-2018 Denklem 16B.1'de belirtilmiştir (birimsiz).

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

Burada;

- N : Araziden elde edilmiş SPT darbe sayısı (ilk 15 cm'deki darbe sayısı dikkate alınmaz),
 C_N : Örtü yükü düzeltme katsayısı,
 C_R : Tij boyu düzeltme katsayısı,
 C_S : Numune alıcı düzeltme katsayısı,
 C_B : Sondaj delgi çapı düzeltme katsayısı,
 C_E : Enerji verimliliği düzeltme katsayısı ve
 N_{60} : Teorik serbest düşme tokmak enerjisinin % 60'ına göre düzeltilmiş darbe sayısı,
 $N_{1,60}$: Teorik serbest düşme tokmak enerjisinin % 60'ına ve efektif örtü yükü basınç 100 kPa (1 atm) olarak düzeltilmiş darbe sayısı.

Kullanıcının yapacağı seçime göre;

Program, 20 No.'lu sütunda "SPT- N_{60} " seçeneği işaretli ise hesaplamayı TBDY-2018'e uygun olarak yapacak ve 18 No'lu sütuna bu değerleri yazacaktır.

Program 20 No.'lu sütunda "SPT- $N_{1,60}$ " seçeneği işaretli ise hesaplamayı TBDY-2018'e uygun olarak yapacak ve 19 No'lu sütuna bu değerleri yazacaktır. Kohezyonlu zeminler hesaplamaya dahil edilmemiştir.

NOT: Literatürdeki SPT-N değerini içeren mevcut korelasyonlar kullanılmadan önce, kullanıcıların korelasyonların SPT düzeltmeleri içerip içermediği, hangi düzeltmenin dikkate alındığı ve hangi zemin sınıfı/tipi için geçerli (uygulanabilir) olduğu konusunda bilgisi olması gerekir. Aksi takdirde yanlış tasarımlara sebep olabilir.

20 No.'lu Sütun - SPT-N – Derinlik Grafiği:

Çizilen grafikte yatay eksen düzeltilmiş "SPT-N değerleri (darbe/30 cm)" dikey eksen "Derinlik (m)" bilgileri yer almaktadır.

Grafik çiziminde iki seçenek yer almaktadır. Bunlar SPT- N_{60} ve SPT- $N_{1,60}$ grafikleridir. N_{60} teorik serbest düşme tokmak enerjisinin % 60 'na göre düzeltilmiş darbe sayısına, $N_{1,60}$ teorik serbest düşme tokmak enerjisinin % 60'na ve efektif örtü yükü basınç 100 kPa olarak düzeltilmiş darbe sayısına tekabül eder. Kullanıcının yapacağı seçime göre ilgili grafik çizimi belirecektir.

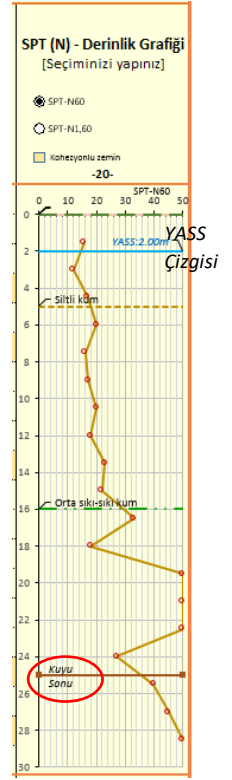
Programda düzeltme uygulanmış SPT-N değerlerine; SPT- N_{60} ve SPT- $N_{1,60}$ göre kuyuda farklı zemin birimlerini oluşturmak için toplam 5 farklı tabaka belirlenebilir. Zemin profilini oluşturan bu tabakalara kullanıcılar elle giriş yaparak farklı isimler verebilirler. Bu verilen isimler aynı zamanda SPT-N – Derinlik grafiğinde ilgili sınır çizgisi üzerinde görülür.

Tablonun sağ alt köşesinde 5 zemin tabakası için yer ayrılmıştır. Eğer kuyu profili boyunca tek tabakalı zemin varsa ilk tabaka için bitiş derinliği değerini turuncu renkli hücreye giriniz (başlangıç derinliği ilk tabaka için 0 m'dir). Tabloda diğer hücrelerde daha önceki çalışmalardan kalan değer(ler) varsa lütfen siliniz. Sarı renkli hücreler korumalıdır.

Kaç tane tabaka oluşturmak istiyorsanız (2, 3, 4 veya 5) yukarıda ifade edildiği gibi aynı işlemleri tekrarlayınız. Oluşturduğunuz tabakaların bitiş derinliği değerlerini yüzeyden itibaren aşağıya doğru birbirini izleyecek şekilde giriniz (başlangıç derinlikleri otomatik olarak yazılacaktır).

Zemin Birimlerinin Açıklaması [Elle giriş yapınız]	Sınır çizgisi	Başl. - Bitiş derinliği

Zemin Birimlerinin Açıklaması [Elle giriş yapınız]	Sınır çizgisi	Başl. - Bitiş derinliği
Siltli kum	-----	0.0 - 5.0 m arası



Turuncu renkli hücelere kullanıcılar tarafından veri girişi yapılmalıdır.

Programda derinlik ölçeği veri girişinde girilen Kuyu Derinliği değeri göz önüne alınarak program tarafından otomatik olarak belirlenecek ve kuyu sonu "**Kuyu Sonu**" şeklinde yatay bir çizgi ile gösterilecektir.

Grafik üzerinde "**Deniz Seviyesi**" ve "**Deniz Tabanı**" kesikli çift paralel mavi renkli çizgi ile, YASS ve derinliği (m) mavi yatay düz bir çizgi ile gösterilmektedir.

Çalışmayı Kopyala

Çalışmayı Kopyalama Düğmesi: Kullanıcılar "**Çalışmayı Kopyala**" düğmesine bastıklarında program makroyu çalıştıracak ve **Sondaj Kuyu Numarası** sekmesi altında "**Lütfen Sondaj Kuyu Numarasını Giriniz**" uyarısı gelecektir.

SONDAJ KUYU NUMARASI

LÜTFEN, SONDAJ KUYU NUMARASINI GİRİNİZ.

Tamam İptal

Boş bırakırsanız işlemi otomatik olarak iptal ediyor ya da aynı isimde kaydetmeye çalışırsanız uyarı veriyor. Mutlaka daha önce kullandığınızdan farklı bir isimde kuyu numarası girmeniz gerekiyor. Girilen kuyu numarası otomatik olarak sekme ismi olarak programın en alt satırında görülür. Oluşan bu yeni sekmede çalışmanız yer alacak fakat üzerinde kısmen değişiklik yapabilmeye izin verilmektedir. Değişiklik yapabilmek için "**SPT-N Düzeltmesi**" çalışma dosyasının olduğu yere gidip tekrardan kuyuya ait bilgileri kopyalayıp ve üzerinde değişiklik yapıp kaydetmeniz gerekecektir (kaydetmeden önce daha önce oluşturduğunuz dosyayı siliniz)

NOT: Kullanıcıların makroyu çalıştırabilmeleri için Excel'de makro ayarlarını açmaları gerekir. Dosya>Seçenekler>Güven Merkezi>Güven Merkezi Ayarları>Makro Ayarları'ndan Tüm makroları etkinleştir işaretlenmelidir.

Yazıcıdan Çıktı Alınması: Kullanıcılar Excel tablosunun dış çerçevesini mouse ile seçtikten sonra (Sayfa Düzeni>Yazdırma Alanı>Yazdırma Alanını Belirle) baskısını alırken **Yazdır** menüsünde yer alan **Sayfa Yapısı**'ndan **Ölçek** sekmesinde bulunan **Küçültme/Büyütme %** seçeneğini "65" yapmaları gerekmektedir. Bu durumda ön izlemeye çalışmanın A4 boyutuna sığdığını görmeliler.

***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.



KAYNAKLAR

- ASTM D 4633-86, Standard test method for stress wave energy measurements for dynamic penetrometer testing systems. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1986.
- ASTM D1586-18 (2018). Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils. ASTM Standard Test Method, D1586-08a, 1-9.
- Farrar, J.A. and Chitwood, D., "CME Automatic Hammer Operations", U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Earth Sciences and Research Laboratory, Dam Safety Office, DSO-99-03, November 1999.
- Erol A. O., Çekinmez Z., Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri, Yüksel Proje, Ankara, 2014.
- Liao, S. S. C., Whitman, R. V., "Overburden Correction Factors for SPT in Sand" Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 112(3): 373 – 377, 1986.
- Sivrikaya O., Toğrol E., Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2009.
- Sowers, G.F., Introductory Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering, 4th edition, Macmillan, New York, 1979.
- Stroud, M.A., "The standard penetration test in insensitive clays and soft rock", Proceedings of European Symposium on Penetration Resistance, National Swedish Institute for Building Research, Stockholm, Sweden, 2.2, 367-375, 1974.
- TBDY, "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği: Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar", Türkiye Cumhuriyeti, Ankara, 2018
- TSE EN ISO 22476-3, Jeoteknik Etüt ve Deneyler - Arazi Deneyleri -Bölüm 3: Standart Penetrasyon Deneyi
- Youd T. L., Idriss I. M., Summary Report Proc. of the NCEER Workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils, NCEER, 97-0022, 1997.
- 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., 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, 2001.

