



**SPT VE CPT YÖNTEMLERİNİN KORELASYONU VE DEPREM TEHLİKESİ
BELİRLEME UYGULAMALARINDA KULLANIMI: ESKİŞEHİR ÖRNEĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Ayşegül ATLI

Eskişehir 2022

**SPT VE CPT YÖNTEMLERİNİN KORELASYONU VE DEPREM TEHLİKESİ
BELİRLEME UYGULAMALARINDA KULLANIMI: ESKİŞEHİR ÖRNEĞİ**

Ayşegül ATLI

Yüksek Lisans Tezi

Yer Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran 2022

16/06/2022

DANIŞMAN ONAYI

DaniŐmanlıđını yuruttuğum Yüksek Lisans oğrencisi Ayşegül ATLI, SPT VE CPT YÖNTEMLERİNİN KORELASYONU VE DEPREM TEHLİKESİ BELİRLEME UYGULAMALARINDA KULLANIMI: ESKİŞEHİR ÖRNEĞİ baŐlıklı tez çalıŐmasını tamamlamıŐtır. HazırlamıŐ olduğu tez tarafımca incelenmiŐ ve oğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez DaniŐmanı

Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN

ÖZET

SPT VE CPT YÖNTEMLERİNİN KORELASYONU VE DEPREM TEHLİKESİ BELİRLEME UYGULAMALARINDA KULLANIMI: ESKİŞEHİR ÖRNEĞİ

Ayşegül ATLI

Yer Bilimleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN

Eskişehir İli, Türkiye'nin başta gelen sismik kaynakları olan Ege Gerilmeli Sistemi ve Kuzey Anadolu Fay Sistemi arasında bir geçiş niteliğindedir. Jeolojik açıdan da çakıl, kum, kil tabakalarının farklı kalınlık ve geçişlerin olması nedeni ile karmaşık özelliğe sahiptir. Güvenilir mühendislik yapılarının ve düzenli şehirleşmenin yapılabilmesi için zemin özelliklerinin detaylı incelenmesi gerekmektedir.

Zemin özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan Standart Penetrasyon Testi (SPT) ve son zamanlarda kullanımı giderek artan Koni Penetrasyon Testi (CPT) in-situ (yerinde) yapılan deneyler olarak büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada bu iki deney kullanılarak birbirleri arasında korelasyon sağlanmaya çalışılmıştır. Zemin yapısını belirleyen önemli üç faktör ince tane içeriği, tane boyutu ve zemin türü olup değerlendirmelerde dikkate alınmıştır. CPT qc (uç direnci) değerleri, SPT N değerlerine dönüşümü istatistiksel metotlarla ampirik olarak değerlendirilerek birbirleri arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Depreme bağlı olarak zeminlerde meydana gelen sıvılaşma olayı birçok yapının hasar almasına ve can kayıplarına neden olmaktadır. Çin'de uygulanmakta olan Çin Kod Metodu ile CPT ve SPT kullanılarak sıvılaşma analizi gerçekleştirilmiş ve Eskişehir ili çalışma alanının sıvılaşma tehlike haritası oluşturulmaya çalışılmıştır.

Anahtar Sözcükler: SPT 1, CPT 2, Korelasyon 3, Deprem tehlikesi 4, Sıvılaşma 5.

ABSTRACT

CORRELATION OF SPT AND CPT METHODS AND EARTHQUAKE HAZARD USAGE IN DETERMINATION APPLICATIONS: ESKISEHIR EXAMPLE

Ayşegül ATLI

Department of Earth Sciences

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2022

Supervisor: Assoc. Prof. Emrah PEKKAN

Eskişehir Province is a transition zone between the Aegean Stress System and North Anatolian Fault System, which are the leading seismic sources of Turkey. Geologically, it has a complex feature due to the different thicknesses and transitions of the gravel, sand and clay layers. Soil properties should be examined in detail in order to make reliable engineering structures and regular urbanization.

The Standard Penetration Test (SPT), which is widely used in the determination of soil properties, and the Cone Penetration Test (CPT), which has been increasingly used recently, are of great importance as in-situ tests. In this study, we tried to establish a correlation between these two experiments. The three important factors that determine the soil structure are fine grain content, grain size and soil type, which were taken into account in the evaluations. CPT q_c (tip resistance) values, conversion to SPT N values were evaluated empirically by statistical methods and a comparison was made between each other.

The liquefaction event on the ground due to the earthquake causes damage to many buildings and loss of life. A liquefaction analysis was carried out using the Chinese Code Method applied in China and CPT and SPT, and a liquefaction hazard map of study area in Eskişehir province was tried to be created.

Keywords: SPT 1, CPT 2, Correlation 3, Earthquake hazard 4, Liquefaction 5.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının yürütülmesi sırasında bana yol gösterici olan, olumlu tavırlarıyla beni cesaretlendiren, bilgi birikimi ile çalışmama farklı açıdan bakmamı sağlayan beraber çalışmaktan gurur duyduğum değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN'a, Dr. Öğr. Üyesi Muammer TÜN'e, CBS ile haritalama konusunda yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Uğur AVDAN'a, Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL'e ve Jeoloji Mühendisi Hasan Burak ÖZMEN'e teşekkür ederim.

Tez verilerimin toplanması aşamasında bana arşiv kütüphanesini açan ve desteklerini esirgemeyen Yer Teknik Ltd. Şti'den İnşaat Yük. Mühendis Orkun KILIÇ ve Jeoloji Mühendisi Çağdaş FIRAT olmak üzere emeği geçen tüm ekip arkadaşlarına çok teşekkür ederim. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nde çalışan Doğan KALAFAT'a, Balıkesir Üniversitesi ile İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümünde bana emeği geçen tüm değerli hocalarıma canı gönülden teşekkür ederim.

Benim bugünlere gelmemde emeği olup her türlü imkanı sağlayan SELKA inşaatta çalışan İnşaat Yük. Müh. Mustafa TECİK'e ve İnşaat Teknik Ressam Mukadder TARRAN'a, Şi Ba Mühendislik & Müşavirlik Büro sahibi İnşaat Yük. Mühendisi Adnan ŞİRİN'e ve İnşaat Teknik Ressam Ayşe DOĞANTEMUR'a teşekkür ederim.

Son olarak tüm hayatım boyunca bana sabırla katlanan maddi ve manevi olarak her türlü desteği sonuna kadar kullanıp her zaman yanımda olan beni cesaretlendiren annem Nuray ATLI'ya, babam Mehmet Ali ATLI'ya, ablam Burcu ATLI'ya ve ismini saymadığım tüm arkadaşlarıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayşegül ATLI

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Ayşegül ATLI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JURİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
DANIŞMAN ONAYI.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. Çalışmanın Coğrafi Konumu ve Ulaşım	2
1.3. Bölgenin İklim, Bitki Örtüsü ve Sosyo-Ekonomik Durumu	3
1.4. Bölgenin Doğal Kaynakları.....	4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
3. BÖLGENİN JEOLojİK ÖZELLİKLERİ	13
3.1. Bölgenin Genel Jeolojisi.....	13
3.2. Bölgenin Tektonik Özelliği ve Depremselliği.....	14
4. MATERYAL VE YÖNTEMLER	16
4.1. Sıvılaşma	16
4.1.1. Çin Kod Metodu ile sıvılaşma potansiyeli analizi.....	18
4.1.2. Sıvılaşma önlemleri	23
4.2. Standart Penetrasyon Testi (SPT)	24
4.2.1. SPT avantaj ve dezavantajları	25

4.2.2. SPT N değerlerinin belirlenmesi	26
4.2.3. Enterpolasyon yöntemi	31
4.3. Koni Penetrasyon Testi (CPT)	32
4.3.1. CPT avantaj ve dezavantajları.....	33
4.3.2. CPT qc (uç direnci) değerlerinin N değerlerine dönüştürülmesi	34
5. SPT VE CPT LOGLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	39
6. BULGU VE TARTIŞMA	41
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	43
KAYNAKÇA.....	45
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1. 1991-2020 yıllarına ait Eskişehir İli mevsim normalleri MGM, (2022)4	
Tablo 4.1. Referans darbe sayısı ile belirtilen N_0 ve a_{max} arasındaki ilişki (MOHURD, 2016)	17
Tablo 4.2. Darbe hesabı için temel değer.....	19
Tablo 4.3. Sıvılaşma indeks değerlerine göre sıvılaşma derecesi	20
Tablo 4.4. Spt ve CPT verileri kullanılarak hesaplanan sıvılaşma indeks (IIE) değerleri	20
Tablo 4.5. SPT avantaj ve dezavantajları (Erol ve Çekinmez, 2014)	26
Tablo 4.6. Önerilen korelasyonlar (Alam vd., 2018)	28
Tablo 4.7. Kohezyonlu zemin ve organik zeminlerin hesap değerleri (TS 498, 1987)	29
Tablo 4.8. Kohezyonlu zemin ve organik zeminlerin hesap değerleri (Erol ve Çekinmez, 2014)	30
Tablo 4.9. Önerilen korelasyonlar (Alam vd., 2018)	33
Tablo 4.10. Önerilen korelasyonlar (Alam vd., 2018)	34
Tablo 4.11. Önerilen 12 SBT (Zemin Davranış Tipi) Bölgesi (Robertson., 2010)	37
Tablo 4.12. Önerilen 12 SBT (Zemin Davranış Tipi) bölgesi ve ince içerik oranları (Robertson., 2010)	37
Tablo 4.13. Çalışmada yapılan zemin davranış indeks (I_{SBT}/I_C) değerlerine göre belirlenmiş ince içerik oranları	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. <i>Yer bulduru haritası</i>	3
Şekil 3.1. <i>Eskişehir İli jeoloji haritası (Güncellenmiştir)(Gözler, M.Z., Cevher, F., Ergül, E. and Asutay, H.J., 1996; Orhan, A., Seyrek, E. and Tosun, H., 2007, s. 607-614; Pekkan, E., Tun, M., Guney, Y. and Mutlu, S., 2015, s. 1123-1133; Tün, M., Pekkan, E., Özel, O. ve Guney, Y., 2016, s. 589-607).</i>	14
Şekil 3.2. <i>İnönü fayından bir görünüş</i>	15
Şekil 4.1. <i>SPT Deneyinin Yapılışı (düzenlenmiştir) (Erol ve Çekinmez, 2014)</i>	25
Şekil 4.2. <i>SPT ve CPT deneyinde sıvılaşma analizinde gerekli olan hesaplanmış w_i değerleri</i>	32
Şekil 4.3. <i>CPT Deney Düzeneği (Pekkan, Tün ve Mutlu, 2018)</i>	33
Şekil 4.4. <i>İyi kum (SP)için q_c ve SPT N arasındaki ilişki (Jarushi, Alkaabim ve Cosentino, 2015)</i>	35
Şekil 4.5. <i>CPT, Koni uç direnci (q_t) ve sürtünme oranı (R_f)'ye göre Zemin Davranış Tipi Grafiği (Robertson, 2010)</i>	36
Şekil 5.1. <i>SPT ve CPT sondaj loglarının karşılaştırılması</i>	39
Şekil 5.2. <i>Eşit Alan İlkesi kullanılarak ortalama CPT değerinin SPT N değerine uygunluğu (Düzenlenmiştir) (Zhao ve Cai, 2013)</i>	40
Şekil 6.1. <i>SPT ve CPT verileri kullanılarak sıvılaşma analiz sonucunda elde edilen IIE değerlerine bağlı olarak oluşturulan Eskişehir İli çalışma alanına ait sıvılaşma tehlike haritası</i>	42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a_{max}	: Yer pik ivmesi
ANN	: Yapay sinir ağı
ASK	: Anadolu Üniversitesinin yapmış olduğu SPT sondaj kuyuları
β	: Deprem büyüklük etkisi
CB	: Sondaj delgi çapı düzeltme katsayısı
CE	: Enerji verimliliği düzeltme katsayısı
CH	: Yüksek plastisiteli inorganik yağlı killer
CI	: Orta plastisiteli kil
CN	: Örtü yükü (Efektif gerilme) düzeltme katsayısı
CR	: Tij boyu düzeltme katsayısı
CS	: Numune alıcı düzeltme katsayısı
CPT	: Koni Penetrasyon Testi
CRR	: Tekrarlı direnç oranı
CSR	: Döngüsel stres oranı
d_i	: SPT/CPT Zemin kalınlığı / Referans SPT testi ile CPT'den mesafesi
D_{50}	: Tane boyutu
d_s	: Zemin kalınlığı
d_w	: Yeraltı su seviyesi
FC	: İnce tane içeriği
FDOT	: Florida ulaştırma bakanlığı
F_s	: Çevre sürtünmesi
F_L	: Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı
γ	: Birim hacim ağırlık
GW	: İyi derecelenmiş çakıllar, çakıl-kum karışımları
GW-GM	: Siltli çakıllar, kötü derecelenmiş çakıl-kum, kil karışımları
h	: Derinlik
I_c	: Zemin davranış indeksi
I_{IE}	: Sıvılaşma İndeksi
I_{SBT}	: Zemin davranış tipi

K	: Bağıl kıvam değeri
MH	: İnorganik siltler ve düşük plastisiteli siltli kil karışımı
MI	: Orta plastisiteli silt
N	: SPT darbe sayısı
n	: Sondaj sayısı
N ₆₀	: Teorik serbest düşme (ile tokmak enerjisinin % 60'ına göre düşen düzeltme katsayısı)
N _{CRİ}	: SPT/CPT kritik darbe sayısı
P _a	: Referans atmosfer basıncı
q _c	: CPT uç direnci
R _f	: Sürtünme oranı
SC	: Siltli kumlar
SM	: Killi kumlar
SAR	: Sentetik açıklıklı radar
TBDY	: Türkiye bina deprem yönetmeliği
TS	: Türk standardı
TSK	: Tekar sondaj kuyuları
u	: Boşluk suyu basıncı
v	: CPT testinin ortalama Q _c değeri
v _i	: Her bir CPT'deki q _c değeri
V _s	: Makaslama dalga hızı
W _L	: Akmada katılaşmaya karşı geçme sınırındaki su muhtevası, Likit limit
W _N	: Tabii su muhtevası
W _P	: Katıdan orta sertliğe geçme sınırındaki su muhtevası, Plastik Limit
YSPT	: Yer teknik Ltd. Şti sondaj kuyuları
σ' _{v0}	: Düşey efektif gerilme

1. GİRİŞ

Dünyada volkanik, tektonik ve çöküntü kaynaklı birçok sarsıntı meydana gelmektedir. Deprem adını verdiğimiz bu sarsıntılar bina, köprü, yol gibi mühendislik yapılarına zarar verdiği gibi nüfusu etkileyen can kayıpları ile ekonomi de zarara neden olmaktadır. Bu zararların önüne geçilebilmesi ya da mümkünse en aza indirgenebilmesi için bölgenin jeolojik özelliklerinin iyi araştırılması, zemin özelliklerinin iyi belirlenmesi, tektonik faaliyetlerinin dikkate alınması gerekmektedir.

İlk modern Jeolog James Hutton'ın geliştirmiş olduğu Uniformitarizm “Günümüz geçmişin anahtarıdır” tek biçimlilik prensibi ile geçmişte yaşanan olayların günümüzde de tekrarlanabiliyor olmasıdır. Depremler milyonlarca yıldır meydana gelmektedir ve geçmişte olduğu gibi gelecekte de gerçekleşmeye devam edecektir.

Ülkemizde daha çok tektonik kaynaklı depremler meydana gelmektedir. Deprem kuşağında yer alan ülkemizde oluşacak depremlerin en aza indirgenebilmesi için deprem tehlikesinin belirlenmesi ve sıvılaşma analizlerinin yapılarak, sıvılaşma tehlike haritalarının oluşturularak dönemsel olarak güncellenmesi gerekmektedir.

Sismik aktivite açısından büyük öneme sahip olan Eskişehir bölgesinde Altunel ve Barka, (1998) tarafından yapılan çalışmada 20 Şubat 1956 yılında $M=6,4$ büyüklüğünde meydana geldiğini ve bu depremin meydana gelen en büyük deprem olduğunu belirtmiştir. Eskişehir’de aktif olarak çok fazla deprem meydana gelmese de Ege Bölgesi ile Kuzey Anadolu faylarına komşu olması nedeniyle sıkça depremlerin yaşandığı Ege Bölgesi ile Kuzey Anadolu faylarına komşu olması ile bu bölgelerde meydana gelen depremlerden tektonik olarak etkilenmektedir. Eskişehir İlinde hızla artan sanayi ve nüfusun yanında çarpık kentleşme nedeniyle büyük riskler taşımaktadır. Güvenilir mühendislik yapılarının ve düzenli şehirleşmenin oluşturulabilmesi için zemin özelliklerinin detaylı incelenmesi ve mühendislik yapılarının yer seçimlerinde bu özelliklere dikkat edilerek belirlenmesi gerekmektedir.

Sıvılaşma, suya doygun gevşek granüler zeminlerin tekrarlı yükler etkisinde boşluk suyu basıncının artmasıyla kayma direncinin kaybolması ve büyük şekil değişikliklerinin meydana gelmesidir (Dağdeviren, 2019). Dünyada ve ülkemizde birçok deprem meydana gelmektedir.

Depremlerin oluşturduğu sarsıntılar ise sıvılaşma olayının gerçekleşmesine yol açmaktadır. Örneğin 1999 yılında $M_w=7,6$ büyüklüğünde meydana gelen Chi-Chi depreminde sıvılaşma olayı gerçekleşmiştir. Daniel vd., (2004) tarafından gerçekleştirilen

çalışma ile depremden sonrası yöredeki sıvılaşma geçmişini ortaya çıkarmak amacıyla 2000 yılında Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (NCREE) araştırmacılarıyla Tayvan'da 2001-2002'de Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezinden (PEER) sağlanan fonlarla inceleme yapmışlardır. Bu çalışmalar ile Çin'de uygulanan Çin sismik Tasarım Kodu (2010) yöntemi uygulamada önem kazanmıştır.

Uzun geçmişi ve standardizasyonu nedeniyle SPT ve giderek daha fazla jeotektonik tasarımlarda önem kazanan CPT testinden elde edilen verilere dayalı olarak çalışılmıştır. Baez vd.(2000); CPT qc değerlerinin SPT N değerlerine dönüştürülebilir olduğunu belirtmişlerdir. SPT tabanlı tasarımlar ile birçok çalışma yapmışlardır.

Bu çalışmada SPT verileri referans olarak alınmıştır. CPT qc değerlerinin SPT N değerlerine istatistiksel olarak dönüşümleri yapılmıştır. Hesaplanan CPT N değerlerine bağlı olarak sıvılaşma analizi Çin Kod Metodu ile gerçekleştirilmiştir. Mühendislik uygulamalarında kullanımı artan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) 'de ArcGIS programı aracılığı ile Çin Kod Metodu sonucunda elde edilen sıvılaşma indeks değerlerine bağlı sıvılaşma tehlike haritası oluşturulmuştur.

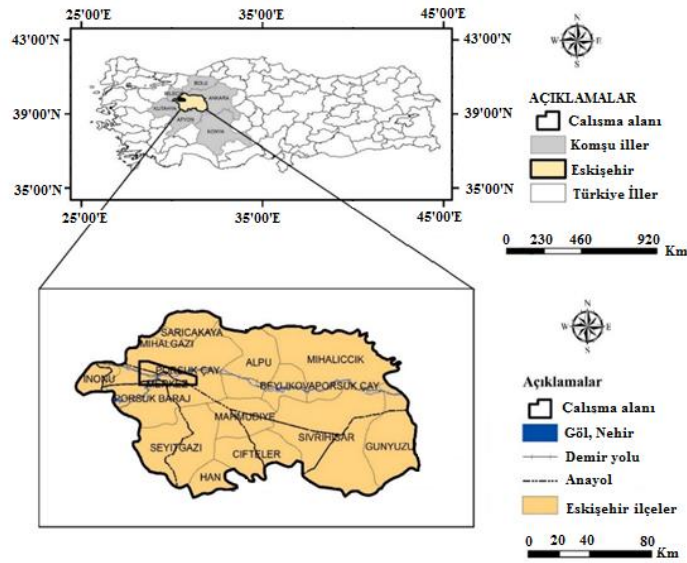
1.1. Çalışmanın Amacı

Sıvılaşma, saha deneyleri arasındaki mesafe, ince tane içerik oranı, tane boyutu, zemin tipi, zemin kalınlığı, zemin sıklık oranı gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan SPT ve CPT saha deneylerinin arasındaki mesafelerin deney sonuçlarına etkilerinin belirlenmesi, SPT ve CPT arasında korelasyon sağlanabilirliğinin araştırılması, yaygın olarak kullanılan SPT deneyi ile birlikte CPT'nin de sıvılaşma analizlerinde kullanılabilir olup olmadığının ve güvenilirlik düzeyinin belirlenmesi araştırılmıştır. CPT ile istatistiksel olarak ince tane içerik oranının bulunması ile çalışma alanının sıvılaşma potansiyeli analizinin gerçekleştirilerek Eskişehir çalışma alanının sıvılaşma tehlike haritasının oluşturulması amaçlanmıştır.

1.2. Çalışmanın Coğrafi Konumu ve Ulaşım

İç Anadolu Bölgesinin kuzeybatısında 29-32° doğu boylamları ile 39-40° kuzey enlemlerini arasında yer alan Eskişehir; Kuzeyde Karadeniz, kuzeybatıda Marmara, batıda ve güneybatıda Ege bölgesi ile komşudur. Güneyden Afyonkarahisar'ın Emirdağ ve İhsaniye, güneydoğuda Konya Yunak; doğudan Ankara Polatlı, Nallıhan ve Beypazarı; kuzeybatıdan Bolunun Göynük; batıdan ise Bilecik Gölpazarı, Söğüt, Bozüyük ilçeleri ve Kütahya ile çevrelenmiştir. Yüz ölçümü: 13,652 km²'dir (Eskişehir İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2006).

Ankara'ya ve Anadolu'ya bağlantısı bulunan Eskişehir, demiryolu açısından en önemli kavşak noktalarından biridir. Hava ulaşımı ile genellikle yaz aylarında belirli zamanlarda Brüksel'den Eskişehir'e direkt ya da İstanbul aktarmalı uçak seferleri yapılmaktadır. Karayolu açısından otobüs ve şahsi araçla ulaşım sağlanabilmektedir. Ankara – Eskişehir 233 km, Bilecik – Eskişehir 80 km, Bolu – Eskişehir 290 km, Afyonkarahisar – Eskişehir 141 km, İstanbul – Eskişehir 323 km ve İzmir'e 414 km mesafede yer almaktadır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 1970). Çalışma alanımıza ait yer bulduru haritası Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Yer bulduru haritası

1.3. Bölgenin İklim, Bitki Örtüsü ve Sosyo-Ekonomik Durumu

Eskişehir'in bitki örtüsünü İç Anadolu stepleri, Kuzey Anadolu ve Batı Anadolu ormanları oluşturmaktadır. Sündiken Dağlarının Porsuk vadisine bakan güney yamaçlarında 100'm den sonra meşe çalılıkları ve bodur meşeler görülmektedir. 1300 metreden sonra Sündiken Dağlarının Türkmen baba, Eşekli Türkmen Tepesi ve Bozdağ'ın Sakarya vadisi boyunca karaçam ve kızılçamlar yer almaktadır.

Porsuk ve Keskin deresi kenarlarında söğütler, kavaklar ve koruluklardan meydana gelmektedir Eskişehir İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, (2006). Eskişehir kendine özgü iklime sahip olup İç Anadolu, Batı Karadeniz ve Akdeniz iklimlerinin etkisi altındadır. Yıllık sıcaklık ortalaması 11,3°C'dir. Yıllık ortalama en yüksek sıcaklık 17,5°C olup yıllık ortalama en düşük sıcaklık 5,4°C'dir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi 6,2 saat, yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 102,4'tür (MGM, 2022). Eskişehir iline ait 1999 ve günümüze kadar olan ortalama mevsim normalleri Tablo 1.1'de verilmiştir.

Eskişehir coğrafi konumu ile Batı'ya açılmaktadır. Demiryolu ve karayolu kavşağında yer alan Eskişehir, ulaşım kolaylığının yanı sıra enerji olanakları, tarıma elverişli olan yapısı ve zengin maden kaynakları ile sanayi açısından da oldukça gelişmiş iller arasındadır. Eskişehir'i temsil eden ve beyaz altın olarak bilinen Lüle Taşı önemli yere sahiptir. Lüle taşı birçok sanayi dalında kullanılmaktadır. İyi bir absorban, filtre, yalıtım ve dolgu malzemesi özelliği ile vazgeçilmez hale gelmiştir.

Tablo 1.1. 1991-2020 yıllarına ait Eskişehir İli mevsim normalleri MGM, (2022)

ESKİŞEHİR	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	YILLIK
Son İklim Periyodu (1991-2020)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.8	3.3	7.3	11.6	16.4	20.3	23.0	23.3	19.2	13.5	7.5	2.9	12.4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.3	8.0	13.1	18.1	22.9	27.0	30.2	30.6	26.4	20.0	13.0	6.6	18.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-1.8	-0.3	2.5	5.9	10.6	14.4	16.6	17.0	13.0	8.4	3.3	0.0	7.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (Saat)	0.5	1.1	2.1	2.9	3.5	3.9	3.9	3.9	2.5	1.6	0.4	0.3	2.2
Ortalama Yağışlı Gün sayısı	11.9	10.1	11.8	9.4	11.8	10.2	3.4	3.1	5.4	9.2	7.4	11.1	104.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	39.6	31.1	32.6	31.9	38.1	44.1	12.5	15.7	16.0	35.3	25.0	40.7	362.6
Ölçüm Periyodu (1928-2020)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19.2	22.3	29.1	31.2	35.3	36.6	39.2	38.7	38.0	33.4	25.6	21.1	39.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-23.6	-23.8	-16.5	-7.2	-1.0	0.5	5.0	2.2	-3.7	-7.1	-16.7	-26.3	-26.3

1.4. Bölgenin Doğal Kaynakları

Sakarya Nehri ve Porsuk Çayının bulunduğu Eskişehir, geniş düzlükler ve bu düzlüklerin etrafını çevreleyen dağlar arasında yer almaktadır. Türkiye'nin tektonik birlikleri Pontid ve Anatolidler ile sınırdaş olan Eskişehir jeolojik özellikleriyle metalik

madenler ve endüstriyel ham maddeler açısından zengindir. Endüstriyel ham madde olarak kullanılan bor ve manyezit olmak üzere sepiyolit, mermer, kaolen, perlit, mika ve kum-çakıl rezervleri bulunmaktadır.

Maden Etüdü ve Arama Genel Müdürlüğünün yapmış olduğu araştırmalarda Sivrihisar ilçesi Kaymaz Mahallesiinde bulunan Sivrihisar-Kaymaz Altın yatağı, Mihaliççık-Karaçam demir cevheri rezervi, Danişmentte ve Kızılca viranda Mangan rezervleri tespit edilmiştir MTA Genel Müdürlüğü, (1935). Süs taşı olarak değerlendirilen ve Eskişehir İlinde çıkartılan Lüle taşı, değerli taşlar açısından önemli rezervlere sahiptir.

Florit, barit gibi nadir toprak elementleri Sivrihisar-Beylikahır civarında gözlenmektedir. Kaolen bakımından zengin olan Eskişehir yer ve duvar karosu, porselen, ince seramik ve kağıt sanayinde kullanım alanlarına sahip kaolen yatakları Sivrihisar ve Mihaliççık ilçelerinde bulunmaktadır. Ülkemizin büyük ve kaliteli manyezit yatakları merkezde ve yukarı kartalda yer almaktadır. Merkez ilçelerde kum-çakıl, Sarıcakaya mika, vermikülit ve Mihaliççık'ta talk ve asbest cevherleşmeleri gözlenmektedir. Bölge kömür ve jeotermal açısından da büyük öneme sahiptir. Merkez- Kızılınler, Hasırca, Alpu- Uyuz hamamı, Sakarılıca, Hamamkarahisar, Sivrihisar-Gümüşkonak, Mihaliççık-Yarıkkı jeotermal alanlarıdır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Atak vd. (1974); 1999 Kocaeli depreminde hava fotoğrafları ile sıvılaşma sonucu oluşan yer değiştirme yön ve büyüklükleri belirlenmeye çalışmışlardır. Sıvılaşma ve faylanma sonucu ile oluşan konum değişikliklerinin belirlenmesinde hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, SAR (Synthetic Aperture Radar), yapay açıklıklı radar sistemleri gibi verilerin kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir. Hassas sonuçlar için arazide bulunan nirengilere ihtiyaç olduğu açıklamışlardır. Görüntü alınması sonuçlarla daha açıklayıcı ve kolay olduğunu düşünerek deprem sonrasındaki yardım ve kurtarma faaliyetleri için önemli olduğu belirtmişlerdir.

Iwasaki, (1986); geçmişte sıvılaşmanın meydana geldiği yerlerde yeniden sıvılaşma gerçekleşmesi muhtemel olduğunu belirtmiştir. Deprem şiddeti, coğrafi ve jeolojik koşullar, jeoteknik koşullar ve su seviyeleri sıvılaşmada etkileyen temel faktörler arasında yer aldığını göstermiştir. Zemin sıvılaşmasının, deprem büyüklüğü ve maksimum merkez uzaklığı arasında bir ilişki olabileceğini ve kumlu zemin ile yapı modellerinin sarsma tablası testleri kullanılarak zemin sıvılaşmasında kazıklı temellerin ve zemin davranışı ile de stabilizesinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Sıvılaşmaya neden olan çeşitli kumlu zeminlerin dinamik kayma mukavemeti, sismik analizler, sismik tasarım yöntemleri, zemin sıvılaşmasına karşı alınması gerekli önlemler ve mikro bölgeleme haritaları çalışmalarının yapılmasının önünü açmıştır.

Zhang vd. (2002); zemin koşullarına göre CPT ile bir yaklaşım sunulmaya çalışılmıştır. Kumlu ve siltli zeminler için laboratuvar test verileri ile sıvılaşmanın neden olduğu hacimsel şekil değişiklikleri tahmin edilmeye çalışmışlardır. CPT qc, deprem magnitud değeri, yeraltı su seviyesi, derinlik ve zemin birim ağırlıkları gibi faktörler değerlendirmeye almışlardır. $I_c=2.6$ değerinden sıvılaşma potansiyel özellikleri değerlendirilmiştir. CPT yöntemi ölçülen sonuçlar ile SPT kullanılarak elde edilen sonuçlara yakın değerler taşıdığı düşünmüşlerdir. Farklı depremler ve zemin koşullarında elde edilen geçmiş veriler temin edilebildiği sürece CPT tabanlı yöntemin tahmin için kullanılabilirliğinin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Düşük-Orta riskli sıvılaşmaya bağlı oturmalar için ve daha yüksek riskli durumlarda ön tahminler bulunabilirliğini göstermişlerdir.

Akca, (2003); SPT ve CPT arasında karşılaştırma için bir veri prosedürü geliştirmiştir. Birleşik Arap Emirliklerinden gelen karbonatlı zemin numuneleri hakkında daha fazla bilgi edinmek için kuvarstik zeminleri incelemiştir. Statik penometre test

yöntemleri, SPT ile elde edilenden daha çok ayrıntılı veriler sağlayacağını belirtmiştir. Yumuşak zeminlerde dinamik test yöntemlerinin pratik olduğunu bildirmiştir. CPT kaba çakıllarda ölçüm konusunda sağlıklı sonuç vermediğini belirtmiştir. CPT'nin, SPT 'den daha fazla okumaya sahip olması ve istatistiksel olarak okuma sayılarının eşit olmaması nedeni ile bu iki deney arasında karşılaştırma yapılamayacağını düşünmüştür. Bu nedenle doğrudan korelasyon oluşturulamayacağı ve CPT okumaları için bir ortalama alınması gerektiği önermiştir.

Erken vd. (2004); depremler suya doymuş gevşek yerleşimli kum ve düşük plastisiteli yumuşak siltlerde sıvılaşma gözlenirken plastik silt ve killerde deprem sonrasında statik mukavemetlerde azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir. Sonuç olarak kum ve düşük plastisiteli siltlerde sıvılaşma sırasında zeminin taşıma gücünün tamamen ortadan kalktığını, yumuşak plastik silt ve killerde ise taşıma gücünde azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Depremlerde yumuşak kıvamlı suya doymuş plastik silt ve killerin hakim olduğu temel altında yer alan zeminlerin statik mukavemetinin azalması ile taşıma gücünün de azalarak temel zeminin göçeceği göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmişlerdir.

Uyguçgil vd. (2007); kriking metodu ile Eskişehir sıvılaşma haritası oluşturularak Porsuk çayı boyunca alüvyon bölgelerinin sıvılaşabilen bölge olduğu belirtmişlerdir. Kriking metodunun önceki yapılan çalışmalardaki enterpolasyon metoduna göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Robertson, (2010); CPT zemin stratigrafisini belirlemede önemli olduğunu bildirmiştir. Robertson ve diğerleri tarafından (1986) da bir çizelge sunulmuştur. Bu çizelge yeniden oluşturulmaya çalışılarak düzenlemeye gitmiştir. Normalleştirilmemiş CPT sonuçları önerilmiştir. Normalleştirilmemiş zemin davranış indeksi (I_{SBT}), Robertson ve Wride (1989) tarafından önerilen normalleştirilmiş SBTn indeksi (I_C) ile aynı olduğu görüşüne varılmışlardır. SBT indeksi gerçek zamanlı veri işleme ve yorumlama için elverişli olduğunu belirtmiştir.

Robertson, (2012); durum parametresinin (ψ) kumlu zeminin yerinde durumunu temsil etmek için bağıl yoğunluktan daha anlamlı olduğunu düşünmüştür. Çalışmaya göre laboratuvar test sonuçlarında CPT'ye bağlı olarak tahminde bulunmuştur. Sıvılaşmaya karşı tepkisini değerlendirebilmek için $Q_{t,cs}$ kullanmıştır.

Alparslan, (2013); sıvılaşma mekanizması ile sıvılaşma potansiyeli üzerinde çalışmıştır. Sıvılaşma potansiyeli için birçok bağıntı, analiz ve yöntem bulunduğunu

belirterek son zamanlarda yapılan hesaplamalarda S dalga hızı ve SPT arasındaki ilişki üzerinde durmuştur. Sıvılaşma sahada her zemin tabakasında oluşmadığını bildirmiştir. Sıvılaşma potansiyeli değerlendirmesi için ilk olarak sıvılaşmanın oluşmasına yol açabilecek koşulların mevcut olup olmadığı değerlendirilmesi gerektiğini önermiştir. Deprem büyüklüğü ve deprem merkezine uzaklığı, zemin tabakasının genel durumu ve jeolojik yapısı incelenmesi gerektiği bildirmiştir.

Apaydın Poşluk ve Koral, (2013); Eskişehir fay zonu, sınırları Bursa Uludağ ile Eskişehir Kaymaz boyunca uzanan fayın “Eskişehir – Bursa fay zonu” olarak isimlendirmişlerdir. Bursa inegöl’den başlayan ve Tuz Gölü boyunca uzanan İnönü – Dodurga fayı aktif fay olduğu düşünmüşlerdir. Çukur hisarda oluşan 6.4 büyüklüğündeki depremin neotektonik olarak değerlendirilmesinde daha önceki çalışmalarla paralellik gösterildiğini bildirmişlerdir.

Zhao ve Cai, (2013); SPT-CPT korelasyonu, özellikle SPT N - CPT qc ilişkisi istatistiksel analiz ve regresyon analizine dayalı olarak araştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Zemin tipi, tane boyutu (D50), ince tane içeriği (pc) olmak üzere üç etki faktörü değerlendirmeye almışlardır. İnce tane içeriği arttıkça qc-N eğim ilişkisi azaldığını gözlemlemişlerdir. Pratikte bu yöntemin yararlı olduğu düşünüş olsalar da daha doğru bir sonuç alınabilmesi için kapsamlı bir korelasyon bağıntısı kurulması gerektiğini amaçlanmıştır. (Örneğin detaylı jeolojik anket). Sıvılaşma potansiyeli analizi için, Çin Bina Sismik Tasarım Kodu 2010, SPT-CPT doğrulaması olarak kabul etmişlerdir. İstatistiksel ve regresyon analizleri temel metot olduğundan veri tabanı boyutu sonucunun doğruluğu için önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çin Jiangsu Eyalet bölgesinde yapılan bu çalışma ile uygulanabilirlik için önerilen denklemleri doğrulamışlardır.

Ayday ve Sabah, (2014); Eskişehir’de Deprem Tehlike Değerinin yüksek olduğu ilçeler sırasıyla Tepebaşı, Alpu, Mahmudiye, Mihalgazi ve İnönü ilçeleri olduğu düşünmüşlerdir. Deprem tehlike değerinin düşük olduğu ilçelerin ise Mihalıççık, odunpazarı ve Çifteler olduğunu belirterek açık kaynak kodlu CBS yazılımları ile bu tür çalışmalar yapılabildiğini belirtmişlerdir.

Pekkan vd. (2014); sıvılaşma potansiyel indeksi olan LI ile sıvılaşma analizini gerçekleştirmişlerdir. Eskişehir için oluşturdukları sıvılaşma potansiyel haritasında orta ve yüksek sıvılaşmanın gerçekleşme ihtimalinin olduğu düşünülen 15 risk alanı belirlemişlerdir. Sıvılaşmanın büyük kısmının Porsuk çayı güzergah boyunca alüvyon zemine sahip alanın risk taşıdığını belirtmişlerdir.

Shahien ve Albatal, (2014); mevcut SPT-CPT korelasyonlarına duyulan ihtiyacın gelişimi, korelasyonu etkileyen etkiler, kaynak korelasyonlardaki dağılımları mevcut korelasyonları gözden geçirmişlerdir. Mısır Nil nehrinin ve kuzey kıyısı jeoteknik araştırması gerçekleştirmişlerdir. Kullanılan her sondaj kuyusu en yakın CPT verisi ile eşleştirmişlerdir. Ölçülen SPT N değerleri N_{60} değerlerine dönüştürmüşlerdir. Elde edilen numunelerin D_{50} ve FC değerleriyle birlikte aynı derinlikte 30 cm üzerinde CPT sonuçları (qc ve fs) eşleştirmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen veriler qc/N oranı ince içeriği oranı tahmin etme eğilimindedir. Siltili kum yatakları için iki korelasyon önerilmiştir. D_{50} , FC (ince tane içeriği) ve N_{60} 'a dayalı korelasyondur. Diğer korelasyon ise SBT indeksi Ic, CPT sonuçlarından qc 'den FC ve N_{60} değerlerini tahmin etmek için önerilmiştir.

Yi, (2014); ölçülen CPT verilerine dayalı olarak saha ve laboratuvar test programlarını yürütmüştür. Ölçülen verilerle mevcut çeşitli korelasyonlar kullanılarak hesaplamalar karşılaştırmıştır. SBT indeksi, ince tane içeriğinin daha iyi bir tahmin sağladığı kanıtlamıştır. Genel olarak Holosen yaşlı düşük plastisiteli alüvyon çökellerinde genel olarak PI (Plastik İndisi), %12'den az olması gerektiğini belirtmiştir. Yüksek plastisiteye sahip zeminlerde ise farklı korelasyonlar sergileyebileceği bildirmiştir (Robertson ve Wride,1998). Düşük plastisiteye sahip zeminler sıvılaşmaya potansiyeli gösterebilmektedir (Seed, ve diğerleri, 2003). Önerilen sıvılaşma potansiyelindeki döngüsel kesme direnç düzeltmeleri ve sismik oturma analizleri için yeni korelasyonların oluşturulmasının uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Jarushi vd., (2015); Florida Department of Transportation (FDOT) projeleri için bir kaç SPT-CPT arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Farklı zemin türleri için (USCS) N değerleri, qc ve fs arasında bir korelasyon geliştirmişlerdir. Qc ve fs, N ile pozitif ilişkiye sahip olduğunu ve analiz tüm zemin türleri için yapıldığında zayıf korelasyon katsayıları mevcut olduğunu bildirmişlerdir. SP zemin türünün, diğer kumlardan daha iyi korelasyon gösterdiğini belirtmişlerdir. Central Florida'da ince kumlu zeminler SPT-CPT arasındaki ilişki zayıf bir korelasyon olduğunu göstermişlerdir.

Sönmez vd. (2015); SPT, CPT makaslama dalga hızı (V_s) gibi yerinde yapılan deneylerle zeminlerin sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (F_L) bulunması mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Her bir verinin girdi olarak kullanılabilirdiğini ve kullanılan yöntemlerle veri sayılarının artırılarak gelişmesine imkan sunduğunu belirtmiştir. CPT deneyi ile tekrarlı direnç oranı (CRR)'nin belirlendiği abak 1999 Chi-Chi depremine ait tarafından oluşturulan verilerle yapay sinir ağı (ANN) geliştirmişlerdir. CPT qc değeri

önemli bir etken olması ile birlikte zemin ince tane içeriği ve tane şekli gibi özellikleri belirsizliklere neden olabileceğini göstermiştir. ANN modeli oluşturularak kullanılan her veri ile CPT tabanlı sınıflama potansiyeli değerlendirme abağını oluşturmuşlardır.

Yılmaz ve Ozsoy, (2017); doğal afetlerin meydana geldiği alanlarındaki zemin yapısından kaynaklı olarak oluşan sınıflama afet zararlarını arttıran faktörler içerisinde yer aldığını ve sınıflama nedeniyle hasar gören mühendislik yapılarının çoğunlukla alüvyon malzeme olduğu literatür araştırmalarında belirtilmişlerdir. Alüvyon zeminli alanlarda hasarların en aza indirgenebilmesi için uzun ve kısa vadede planların yapılması, stratejiler belirlenmesi ve modellerin, haritaların oluşturulması gerektiği söylemişlerdir. Eskişehir, afet risk alanlarından biri olarak sosyo-ekonomik koşullarında etkili olduğu belirtilerek 1999 depreminden sonra jeolojik/ jeoteknik etüt raporlarının oluşturulması, afet risk alanlarının belirlenmesi, yerel zemin koşullarının iyileştirilmesi ile mevcut yapı ve altyapı durumunun tespitinin sağlanarak fizibilite çalışması yapılmasının gerekli olduğunu ön görmüşlerdir.

Alam vd. (2018); Pakistan Lahore'deki farklı zemin türleri için aritmetik ortalama yöntemi ve lineer regresyon kullanılarak korelasyon sunmuşlardır. İnceleme alanındaki zemin türleri siltli kum, kumlu silt, siltli kil, kil 'dir. Geliştirilen korelasyonlar ile elde edilen qc/N oranları, literatürde daha önce önerilen korelasyonlarla karşılaştırmışlar ve bağıntıların ince taneli zeminler için iyi bir uyum sağladığını gösterirken iri taneli zeminler için küçük değişiklikler olduğunu göstermişlerdir.

Hore vd. (2018); Bangladeş Dhaka'da farklı zemin özelliklerine göre korelasyon oluşturmuşlardır. Koni direnci (qc), SPT N değerleri, tane boyutu (D50) ve ince içerik (FC) oranı değerlendirmeye almışlardır. qc ve N₆₀ değerleri farklı zemin türlerine dayalı olarak ilişkilendirilmiştir. Diğer mevcut korelasyonlar ile benzer olduğu düşünülmüşler ve qc/N oranı belirlenip bu oranın tane boyutuna göre arttığı düşünülmüşlerdir.

Dağdeviren, (2019); mühendislik yapılarında oluşan hasarların zemin sınıflaması hasarları olduğunu belirtmiştir. Deprem esnasında TBDY'nde SPT tabanlı olarak sınıflama için birçok analiz gerçekleştirmiştir. Arazi modelinde 1.0 g'lik pik yatay yer ivmesi ve 7.5 büyüklüğünde oluşabilecek deprem için farklı derinlikler, yeraltı su seviyeleri, ince dane oranları ve SPT N değerleri kullanılarak sınıflama için güvenlik katsayıları elde etmiştir. Zemin iyileştirmesi için tasarım kartları geliştirmiştir.

Agaiy vd. (2020); CPT ile zemin davranış indeksi (I_c) ile mevcut korelasyonların özetini sunmuşlardır. Dünya çapında bir veri tabanı oluşturularak yeni korelasyon

önermişlerdir. Diğer korelasyonlara göre daha iyi tahminler sağladığı düşünmüşlerdir. CPT- İnce içerik (FC) ilişkisi için değiştirilmiş zemin davranış indeksine (I_B) dayalı yeni yaklaşım getirmişlerdir.

Sünnetçi ve Ersoy, (2021); Suya doygun kumlu-siltli alüvyon malzemesinin sıvılaşma potansiyelini araştırmışlardır. Sondaj örneklerinin tayini yapılmış ve zemin katmanlarının sıvılaşma potansiyeli (Seed, ve diğerleri, 2003) tarafından önerilen yöntemle gerçekleştirilmişlerdir. En büyük deprem olan 1943 Ladik depremi baz alınarak yapılmışlardır. Analizler sonucu bu alanda 7,2 büyüklüğündeki bir deprem için herhangi bir sıvılaşma olayının gözlenmeyeceği düşünmüşlerdir. İnce daneli malzemelerin zemin malzemesinin kohezyonunu arttırdığı ve böylece zemine sıvılaşma olayına karşı fazladan dayanım kazandırdığı bilinmektedir (Youd ve Idriss, 2001). İc değerlerinin büyük bir çoğunluğu 2.6'dan fazla olmasının sebebinin zemin tabakasının kil sınıfında olduğu anlamına geldiği ileri sürmüşlerdir.

Zhang vd. (2021); Çin'de darbe sayısı sismik yüklemenin etkisini temsil etmek için kullanılmaktadır. Bu sıvılaşma direnci için yeterli değilse zemini iyileştirmek için sezgisel olarak bir araştırma yapılması gerektiğini göstermiştir. Çin sismik tasarım kod metodunda temel varsayım derinlik tutarlılığı olduğunu belirtmişlerdir. Döngüsel stres oranı (CSR) çerçevesinde oluşturmuşlar ve SPT tabanlı deneysel yöntemlerinden daha iyi performans göstermiş olduğunu belirtmişlerdir. Önerilen yöntemin uygulamasını göstermek için açıklayıcı örnek sunmuşlardır. Derinlikle tutarlı SPT tabanlı model oluşturmuşlardır. Chi-Chi deprem veri tabanı için önerilen yöntem derinliği 10 m'den fazla olan durumlar için CSR çerçevesinde oluşturulan temsili yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Önerildikleri yöntem sıvılaşma potansiyeli değerlendirmesi için faydalı bir alternatif olduğunu bildirmişlerdir.

Yılmaz, Ünal ve Özsoy, (2022); Marmara ve Düzce depremleri sebebiyle Eskişehir yerleşim yerindeki yapılarda hasarlar ve can kaybı olduğunu belirtmişlerdir. Hasarlar incelendiğinde yerel zemin koşulları yansıra yapısal faktörlerinde etkisi büyük olduğu gözlemlenmiştir. Yerel koşullar bakımından iki durum söz konusu olduğunu ve birinci türdeki zemin tabanlarının deprem hareketini büyütürken yapıya etki ettirmekte, ikinci türdekiler ise zemin tabakalarındaki absorblama etkisi ile deprem ivmelerini azaltmakta olduğunu göstermişlerdir. Yapılar buldukları bölgede oluşabilecek deprem kuvvetlerine karşı yeterli dayanıklılıkta yapılarak kontrol edilmesi gerektiğini önermişlerdir.

Tasarlanan yapılara zemin şartlarına uygun temel tipi seçilmeli ve inşaat aşamasında projenin tamamına uymak şartı getirilmesi gerektiğini önermişlerdir.



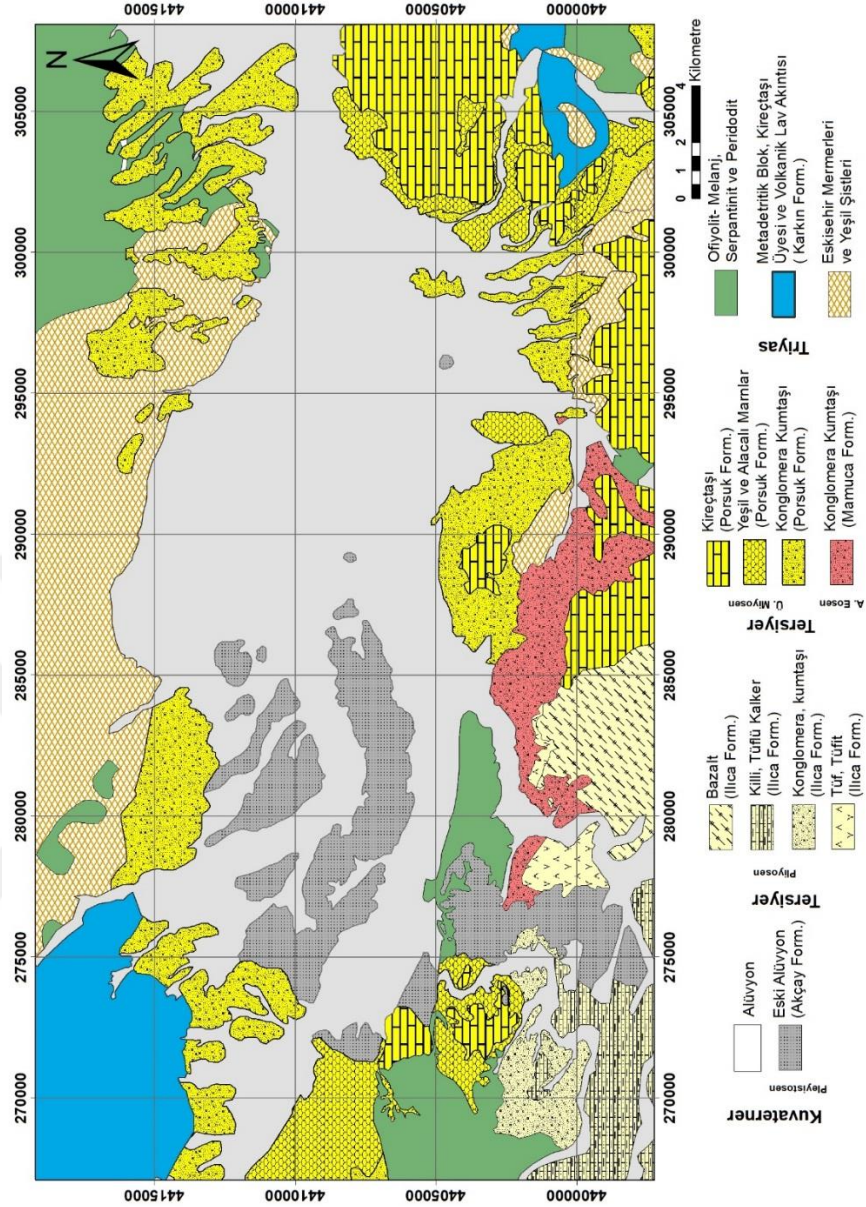
3. BÖLGENİN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

3.1. Bölgenin Genel Jeolojisi

Eskişehir ili zemin yapısı olarak jeolojik açıdan farklı zemin tiplerinin kalınlık ve geçişleri nedeni ile karmaşık bir yapıya sahiptir. Bunun sebebi ise tektonik deformasyona uğraması ile birlikte kuzeyde Kuzey Anadolu Fay (KAF) zonu, batıda Ege Gerilmeli Sisteminin olması, Eskişehir ilinin bir ova olması ve şehir merkezinden zemin malzemelerinin taşınmasında aktif rol alan Porsuk çayının bulunmasıdır. Tektonizma'ya maruz kalan bu bölgede birçok jeotermal kaynağa rastlamak mümkündür. Jeotermal kaynağın varlığı nedeni ile yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olacağı ve sıvılaşmayı da etkileyeceği düşünülmüştür.

Şekil 3.1.'te verilen Eskişehir jeoloji haritasına bakıldığında Triyas'a ait metamorfik kayalar, Karkın Formasyonu olan metaderitik bloklar ile kireçtaşları ve volkanik lav akıntıları yer almaktadır. Jura ve kretase yaşlı kireç taşları, kumtaşları, Eosen yaşlı kumtaşları yer yer kil taşları ve kongremarelar gözlenmektedir. Kayaların üzerine uyumsuzlukla gelen alt eosen yaşlı konglomera ve kumtaşlarını içeren Mamuca formasyonu gelmektedir. Üst Miyosen yaşlı Porsuk formasyonuna ait Konglomera kumtaşları, yer yer yeşil ve alacalı marınlar ile kireç taşları uyumsuzlukla örtmektedir. Tersiyer yaşlı Ilıca Formasyonuna ait tuf, tüfit, yer yer konglomera, Killi, tüflü kalker ile bazaltik kayalar yer almaktadır. Eski alüvyon olarak adlandırılan Pleyistosen yaşlı alüvyon zeminler ile Kuvaterner yaşlı alüvyon zeminler yer almaktadır.

Porsuk çayının yer alması ve sedimentolojik olarak taşınabilen kayaların olması ile alüvyon zeminler daha çok şehrin merkezinden geçmektedir. Eski alüvyon (Akçay formasyonu) ve yeni alüvyon olarak iki şekilde bulunmaktadır. Alüvyon zeminlere bakıldığında gevşek kil, silt, kum ve çakıllardan oluşmaktadır. Bu tür zeminler sıvılaşma açısından büyük öneme sahiptir. Genel olarak şehir merkezinde alüvyon birimlerin yer alması, Porsuk çayı ile Sarısu deresinin bulunması ve literatür araştırmalarında Pekkan, Tün ve Mutlu, (2018) tarafından yeraltı su seviyesinin yaklaşık olarak 5 - 10 m derinliklerinde olduğunu belirtmesi nedeni ile sıvılaşma tehlikesinin belirlenmesi gerektiği düşünülmüştür. Çalışmada sondaj kuyuları sıvılaşmanın mümkün olabileceği zemin olan alüvyon bölgede gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Eskişehir İli jeoloji haritası (Güncellenmiştir) (Gözler, M.Z., Cevher, F., Ergül, E. and Asutay, H.J., 1996; Orhan, A., Seyrek, E. and Tosun, H., 2007, s. 607-614; Pekkan, E., Tun, M., Guney, Y. And Mutlu, S., 2015, s. 1123-1133; Tün, M., Pekkan, E., Özel, O. ve Guney, Y., 2016, s. 589-607).

3.2. Bölgenin Tektonik Özelliği ve Depremselliği

Ülkemiz Alp –Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer aldığından jeolojik yapısı ve jeodinamik koşulları nedeni ile çok sayıda aktif faya sahiptir. Anadolu, tektonik deformasyonun dünyada en hızlı olduğu bölgelerden biridir (Jackson ve McKenzie, 1988). Kuzeyde yakın olan Kuzeydoğu Anadolu Fay zonu ve diğer taraftan Ege bölgesinin açılma nedeni ile oluşan hörs-graben yapıları ile Eskişehir ili tektonik olarak etkilenmektedir. Bölge Eskişehir fay zonu, Dodurga Fay zonu, İnönü-oklu balı Fay zonu

ve Kaymaz fay zonlarının deformasyonuna maruz kalmış bir ova olarak yer almaktadır. Eskişehir, Triyas döneminde Tetis okyanusunun kapanması ile meydana gelmiş tektonizma sonucunda İzmir – Eskişehir-Ankara zonunda bulunmaktadır. 1956 yılında $M=6,4$ büyüklüğünde meydana gelen deprem Eskişehir de en büyük deprem olarak literatür kayıtlarında yer almaktadır. Öcal, (1959); depremin merkez üssünün Çukur hisar çevresinde olduğunu ortaya koymuştur. En büyük hasar Eskişehir'in batısında yer alan Çukur hisar ve Satılmış köylerinde meydana gelmiştir. 1991-2020 yılına kadar meydana gelmiş olan depremlerden sadece 3 tanesi çalışma alanı içerisinde yer almaktadır. Bu depremlerin büyüklüğü en az 4 en fazla 5,5 olarak görülmektedir. Çalışmada analizler yapılırken Eskişehir ilinde Çukur hisarda meydana gelmiş olan en yüksek deprem büyüklüğü 6,4 ile hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 3.2. *Inönü fayından bir görünüş*

Normal bileşenli sağ yönlü doğrultu atımlı fay, BKB-DGD yönünde uzanmaktadır. Eskişehir fay zonu, İnönü'nün batısında KB-GD ile İnönü – Oklubal arasında D-B boyunca uzanmaktadır.

4. MATERYAL VE YÖNTEMLER

SPT verileri, Yer teknik Ltd. Şti. Anadolu Üniversitesi ve Tekar tarafından yapılmış olan 76 sondaj verisi ile Eskişehir Teknik Üniversitesinin kendi bünyesinde yapmış olduğu 64 adet CPT sondaj verisi kullanılmıştır. Çalışma 226 km² 'lik alanda gerçekleştirilmiştir. Her bir SPT ile CPT kuyuları birbirlerine olan mesafe ve jeolojik özelliklerine göre belirlenmiştir. Mesafe sonuçları etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. SPT sondaj logları ile CPT sondaj logları karşılaştırıldığında litolojik olarak farklılıklar görülmektedir. SPT verileri referans olarak alınmıştır. SPT ve CPT arasında istatistiksel yöntemler kullanılarak birbiri arasında korelasyon oluşturulmaya çalışılmıştır. CPT qc değerleri, SPT N değerlerine dönüştürülmüştür. CPT N ile SPT N değerlerine bağlı olarak sıvılaşma indeks (I_E) değerleri bulunmuştur. Sıvılaşma potansiyeli analizi sonucunda SPT ve CPT kullanılarak Eskişehir ili çalışma alanına ait sıvılaşma tehlike haritası oluşturulmuştur.

4.1. Sıvılaşma

Sıvılaşma ilk olarak 1930'lu yılların sonunda Casagrande tarafından ortaya atılmıştır. Sıvılaşma potansiyeli analizi ilk detaylı çalışması 1970 yıllarında gerçekleştirilmiştir (Casagrande, 1936a).

Sıvılaşma, sarsıntıya bağlı olarak suya doymun zeminin boşluk suyu basıncının yükselmesiyle efektif gerilmenin sıfır olduğu ve zeminin bir sıvı gibi davranması olayıdır. En çok çaresiz kalınan ve birçok zarara neden olan doğal afetler karşısında önlemler alınması gerekmektedir. Genelde deprem sarsıntısı ve yahut hızlı ve büyük sürekli yüklemeler sonucunda zeminin taşıma gücünde ve sıklığında meydana gelen değişiklikler hasarlara neden olmaktadır. Sıvılaşma, zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerine, zeminlerin gözenekliliğine, sıklık ile aralarındaki ince tane içerik oranına, tane boyutuna ve zemin türüne bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Zeminde oluşabilecek deformasyon miktarı ise zeminin gevşeklik derecesine, derinlik ve kalınlığına, yeraltı su seviyesine bağlıdır. Sıvılaşma potansiyeli, laboratuvar ve arazi deneylerine bağlı olarak belirlenmişlerdir (Shibata ve Teperaksa,1988). Standart Penetrasyon Testi (SPT) özellikle granüler zeminlerin sıklık ve kayma direnci gibi özelliklerin sıvılaşma analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. 1980'li yıllardan itibaren Koni Penetrasyon Testi (CPT) verileri ise zeminlerin sıvılaşma tehlikesinin belirlenmesinde kullanılmaya başlanılmışlardır.(Robertson ve Campanella, 1985).

Bu çalışmada in-situ (yerinde) olarak yapılan SPT ve CPT deney sonuçları değerlendirmeye alınmıştır. Sıvılaşmanın gerçekleşmesi için ilk olarak depremin oluşturmuş olduğu gibi bir sarsıntının meydana gelmesi gerekir. Bu sarsıntı zeminlerde kayma ve hacimsel olarak büzülme gibi değişikliklere yol açar. Meydana gelen değişiklikler ise boşluk suyu basıncının gelişmesine sebep olur. Önemli faktörlerden biri de deprem anında açığa çıkan enerjidir. Meydana gelen her depremde sıvılaşma gerçekleşmeyebilir. Sıvılaşmanın meydana gelmesi için belli eşik değer yer pik ivmesi (a_{max}) yaklaşık olarak 0,10 g ve yerel büyüklük MI için yaklaşık olarak 5'tir (MOHURD, 2016). Tablo 4.1'de yer pik ivmesine bağlı olarak referans darbe sayısı belirlenmiştir.

Tablo 4.1. Referans darbe sayısı ile belirtilen N_0 ve a_{max} arasındaki ilişki (MOHURD, 2016)

Yer Pik İvmesi a_{max} (g)	Referans darbe sayısı (N_0)
0,10	7
0,15	10
0,20	12
0,30	16
0,40	19

Eskişehir İli için yer pik ivmesinin en yüksek değer olması ile a_{max} değeri 0,40 g olarak alınmıştır. Bu çalışmada N_0 referans darbe sayısı ise 19 olarak hesaplanmıştır. Literatür araştırmalarında yeraltı su seviyesinin yeryüzüne yakın olan alanların sıvılaşmaya yatkın olduğu belirtilmiştir. Yeraltı su seviyesi üzerinde olan yerlerde ve suya doymun olmayan zeminlerde sıvılaşma beklenmediği düşünülmüştür. Çalışma alanımız jeolojik özellik olarak sıvılaşmaya yatkın olan alüvyon olarak değerlendirilen güncel ve gevşek sıklıkta olan zeminler değerlendirmeye alınmıştır. Sondaj kuyuların yeraltı su derinlikleri en az 1,50 ve en fazla 16,40 m arasında değişmektedir. Su seviyesinde daha yüksek ve düşük seviyeyi işaret etmediği sürece sıvılaşma analizlerinde geçmişte kaydedilmiş en yüksek yeraltı su seviyesi kullanılmalıdır (Division of mines and geology, 1997). Zemin tipleri de sıvılaşmayı etkileyen önemli faktörlerden biridir. SPT ve CPT sondajlarında 8 farklı zemin tipi yer almaktadır. Bu zemin tipleri üzerinde çalışma yapılmıştır. Ishihara, (1985)'ya göre "Depremler esnasında zemin sıvılaşması ile ilişkili tehlikenin ince ve orta kum ile düşük plastisiteli ince taneler içeren kum çökellerinde karşılaşıldığı bilinmektedir. Bununla birlikte, sıvılaşmanın zaman zaman çakıllı zeminlerde de olduğu durumlar rapor edilmiştir."

Zeminler kohezyonlu ve kohezyonsuz olarak iki şekilde incelenmektedir. Kohezyonlu zeminler ince taneli olan silt ve kil gibi zeminler olup kohezyonsuz zeminler ise kaba taneli olan kum ve çakıllardır. Sıvılaşmaya duyarlı olan zeminler plastik olmayan (kohezyonsuz) zeminlerdir. Literatür araştırmalarında yapılan arazi ve laboratuvar sonuçlarına bağlı olarak kohezyonlu zeminlerin büyük çoğunluğunda deprem sırasında sıvılaşmanın meydana gelmesi düşük olarak değerlendirildiği gözlemlenmiştir. Sıvılaşmanın neden olduğu hasar tiplerine göre akma türü sıvılaşma ve devirsel hareketlilik (Yanal yayılma) olarak incelenmektedir.

Akma türü sıvılaşma, zeminin sıvılaşmış haldeki kayma dayanımından büyük olduğu durumda gelişmektedir. Büyük deformasyonlara sebep olur. Bunun nedeni ise statik kayma gerilmeleridir. Daha çok ağır yapıların eğilmesine ve batmasına, gömülü hafif yapıların ise yüzmesine sebep olur.

Devirsel Hareketlilik (Yanal yayılma) sıvılaşma türünde ise deprem sırasında kabul edilemeyecek düzeyde büyük ve kalıcı deformasyonlara neden olmaktadır. Akma türü sıvılaşmanın aksine, statik kayma gerilmesinin sıvılaşmış zeminin kayma mukavemetinden küçük olduğu durumlarda gerçekleşmektedir. Çok az eğimli ve yamaçlarda ve su kütlelerine komşu olan düzlüklerde oluşur ve yapılara büyük hasarlar verir. Daha çok yamaçların kaymasına, binalarda yanal yayılmalara, istinat duvarlarının yıkılmasına yol açar. Düz zeminlerde zemin yüzey oturması, kum kaynaması ve deprem sonrası duyarlılık kayıplarını oluşturur (Mollamahmutoğlu ve Babuççu, 2021).

4.1.1. Çin Kod Metodu ile sıvılaşma potansiyeli analizi

Çin 2010 bina sismik tasarımı yönetmeliğinde sıvılaşma 20 m derinlikte kabul edilmektedir. Sıvılaşma potansiyeli aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanan “sıvılaşma indeksi (IIE) “adı verilen bir parametre ile değerlendirilir. IIE sıvılaşma indeksidir. N_{cri} SPT testinin kritik darbe hesabıdır. N_i , SPT testinin ölçülen darbe hesabıdır. $N_i > N_{cri}$ ise $N_i = N_{cri}$ olarak alınır. w_i , derinlik ağırlıklı etki katsayısıdır (m-1). 5 ile 20 m arasındaki derinlikler için enterpolasyon yöntemi kullanılarak derinlik en az 5 m den az olduğunda 10, derinlik 20 m olduğunda 0 sıfır, 5 ile 20 m arasındaki derinliklerde ise enterpolasyon yöntemi kullanılır. Sıvılaşma potansiyeli analizi için değerler aşağıdaki denklem (4.1) ile sağlanmaya çalışılmıştır (Zhao & Cai, 2013).

$$IIE = \sum_{i=1}^n \left[1 - \frac{N_i}{N_{cri}} \right] * d_i * w_i \quad (4.1)$$

İlk olarak N_{cri} kritik darbe hesabının yapılması gerekmektedir. N_{cri} aşağıdaki denklem (4.2) ile hesaplanmalıdır.

IIE: Sıvılaşma İndeksi

n: SPT/ CPT sondaj kuyu sayısı

N_i : SPT/CPT N60 Değerleri

N_{cri} : SPT/CPT kritik darbe hesabı

d_i : SPT/CPT zemin kalınlığı

w_i : SPT/CPT Ağırlıklı etki derinlik katsayısı

$$N_{cri} = N_0 * \beta * [\ln(0,6 * ds + 1,5) - 0,1 * dw] * \sqrt{\frac{3}{pc}} \quad (4.2)$$

N_0 , Temel tasarım sismik ivmesine göre darbe hesabı için temel değerdir. ds , zemin derinliği olup m cinsinden alınmalıdır. dw ise yeraltı su seviyesinin derinliğidir. pc , İnce tane içeriğidir. β , deprem büyüklüğünün etkisini dikkate alan düzeltme faktörüdür.

$\beta=0.25M*0.89$ denklemiyle hesaplanır (Zhang, Tianpeng, Xiao ve Gao, 2021) . Eskişehir ili için M_w magnitüd değeri 6.4 olarak alınmıştır. Böylece deprem etkisine bağlı düzeltme faktör değerimiz 0,71 olarak hesaplanmıştır.

N_0 değeri Tablo – 4.2’de verilen sismik değere göre seçilecektir. Bu değer Eskişehir ili için 0.40 g olarak değerlendirilmiş olup N_0 değerleri 19 darbe sayısına tekabül etmektedir.

Tablo 4.2. Darbe hesabı için temel değer

Temel Sismik İvme Tasarımı, (g)	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40
Darbe hesabı için temel değer	7	10	12	16	19

SPT için N_{cri} değerlerimizin hesaplaması Ekler kısmında verilmiştir. Ek-1’de verilen tabloya baktığımızda aynı sondaj kuyusunda farklı derinliklerdeki ince tane içeriği arttıkça N kritik değeri düşmektedir. Ayrıca Q_c değeri düştükçe N kritik değerinin arttığı görülmektedir. SPT N değerleri ile CPT N değerleri karşılaştırıldığında sondaj kuyuları arasındaki mesafe azaldıkça N değerleri arasındaki farkta azalmaktadır. N farkı sifra yaklaştığı bölgede mesafede minimize olmaktadır.

Çin Kod Metoduna göre hesaplanmış indeks değerleri Tablo 4.3’te belirtilen değerlere göre sıvılaşma derecesi belirlenmiştir. Sıvılaşma indeks değer 0 ile 6 arasında ise sıvılaşma potansiyeli az, 6 ile 18 arasında ise orta ve 18’den yüksek ise sıvılaşma potansiyeli yüksek olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4.3. Sıvılaşma indeks değerlerine göre sıvılaşma derecesi

Sıvılaşma Derecesi	AZ	ORTA	YÜKSEK
Sıvılaşma İndeksi IIE	$0 < I_{IE} \leq 6$	$6 < I_{IE} \leq 18$	$I_{IE} \geq 18$

SPT ve CPT için hesaplanmış (I_{IE}) sıvılaşma indeks değerleri Tablo 4.4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. SPT ve CPT verileri kullanılarak hesaplanan sıvılaşma indeks (IIE) değerleri

NO	ID	X	Y	TİP	IIE	DERİNLİK
1	CPT-1	286249	4407309	CPT	2,37	8,24
2	CPT-2	286407	4406824	CPT	0,33	7,72
3	CPT-3	286407	4406824	CPT	1,93	9,10
4	CPT-4	286441	4407082	CPT	1,02	9,68
5	CPT-5	286658	4406766	CPT	1,53	8,74
6	CPT-6	286190	4405708	CPT	1,04	5,00
7	CPT-7	287217	4407581	CPT	1,25	11,08
8	CPT-8	287240	4407947	CPT	4,03	9,94
9	CPT-9	289157	4407310	CPT	21,39	7,08
10	CPT-10	290499	4407944	CPT	13,04	9,62
11	CPT-11	286506	4408015	CPT	1,50	11,74
12	CPT-12	289990	4406454	CPT	5,15	9,66
13	CPT-13	289808	4405740	CPT	3,25	8,26
14	CPT-14	288328	4407902	CPT	1,22	9,36
15	CPT-15	288242	4407169	CPT	7,76	9,02
16	CPT-16	287820	4406175	CPT	10,21	6,28
17	CPT-17	285812	4406489	CPT	0,91	9,28
18	CPT-18	284025	4406153	CPT	1,51	9,30
19	CPT-19	281845	4408873	CPT	0,52	10,48
20	CPT-20	281343	4408107	CPT	18,72	6,86
21	CPT-21	283365	4404927	CPT	3,69	13,56
22	CPT-22	284711	4405033	CPT	1,39	7,76
23	CPT-23	285850	4404669	CPT	6,74	11,18
24	CPT-24	287040	4404784	CPT	2,32	5,96
25	CPT-25	285755	4405937	CPT	1,00	7,60
26	CPT-26	286519	4405446	CPT	1,92	6,26
27	CPT-27	289073	4405600	CPT	2,49	8,62
28	CPT-28	290508	4405039	CPT	11,32	4,42
29	CPT-29	291431	4405446	CPT	12,12	6,16
30	CPT-30	286798	4405980	CPT	0,91	8,10
31	CPT-31	287258	4405891	CPT	0,67	7,84
32	CPT-32	287411	4405443	CPT	1,96	8,82
33	CPT-33	287833	4405490	CPT	1,31	7,82

Tablo 4.4. (Devam) SPT ve CPT verileri kullanılarak hesaplanan sıvılaşma indeks (IIE) değerleri

34	CPT-34	286910	4406788	CPT	4,68	9,02
35	CPT-35	288677	4406552	CPT	0,76	8,16
36	CPT-36	284658	4406307	CPT	1,44	9,66
37	CPT-37	287742	4406738	CPT	0,91	9,50
38	CPT-38	283515	4405712	CPT	10,12	9,52
39	CPT-39	282851	4402805	CPT	5,38	9,50
40	CPT-40	286580	4409519	CPT	2,27	12,06
41	CPT-41	282517	4409140	CPT	2,32	4,80
42	CPT-42	283389	4410151	CPT	3,12	5,36
43	CPT-43	282487	4410940	CPT	1,70	10,10
44	CPT-44	299769	4403511	CPT	2,74	3,64
45	CPT-45	299807	4403491	CPT	1,84	4,86
46	CPT-46	279950	4409300	CPT	2,70	12,00
47	CPT-47	278575	4410700	CPT	1,43	11,06
48	CPT-48	278600	4409700	CPT	5,72	10,02
49	CPT-49	278450	4411450	CPT	23,12	8,94
50	CPT-50	278775	4413200	CPT	1,97	13,08
51	CPT-51	276300	4413550	CPT	2,31	9,92
52	CPT-52	277800	4414500	CPT	2,52	14,16
53	CPT-53	277825	4409975	CPT	1,25	10,74
54	CPT-54	276900	4410925	CPT	0,48	5,66
55	CPT-55	275881	4412278	CPT	1,23	6,86
56	CPT-56	277381	4412678	CPT	0,47	8,70
57	CPT-57	278052	4406864	CPT	2,30	8,18
58	CPT-58	277556	4406103	CPT	2,96	2,72
59	CPT-59	276881	4406703	CPT	1,61	8,24
60	CPT-60	280250	4404859	CPT	1,11	10,72
61	CPT-61	279684	4405042	CPT	6,09	11,38
62	CPT-62	278646	4405041	CPT	1,12	4,98
63	CPT-63	279095	4404813	CPT	1,05	5,22
64	CPT-64	286580	4409519	CPT	1,30	13,44
65	TSK-1	297492	4404326	SPT	18,21	30,30
66	TSK-2	299281	4404101	SPT	6,75	30,00
67	TSK-3	300260	4404126	SPT	34,02	30,85
68	TSK-4	301331	4403975	SPT	77,78	30,10
69	TSK-5	297463	4403094	SPT	12,40	30,45
70	TSK-6	298572	4403047	SPT	44,09	30,45
71	TSK-7	301569	4403095	SPT	34,39	30,30
72	TSK-8	299667	4403008	SPT	21,23	30,30
73	TSK-23	291334	4404842	SPT	53,85	30,45
74	TSK-26	292078	4404306	SPT	4,76	30,00

Tablo 4.4. (Devam) *SPT ve CPT verileri kullanılarak hesaplanan sıvılaşma indeks (IIE) değerleri*

75	TSK-27	291999	4403540	SPT	21,42	30,00
76	TSK-28	292013	4402807	SPT	40,78	30,00
77	TSK-30	293419	4403030	SPT	38,34	30,00
78	TSK-31	293623	4404367	SPT	41,26	30,00
79	TSK-32	294475	4403051	SPT	21,04	30,45
80	TSK-33	296582	4403063	SPT	55,23	30,25
81	TSK-35	295484	4403901	SPT	21,15	30,45
82	TSK-36	295180	4401663	SPT	22,96	19,00
83	TSK-37	296684	4402223	SPT	31,60	30,45
84	TSK-38	294797	4400956	SPT	39,15	30,15
85	TSK-39	294848	4404403	SPT	22,06	30,00
86	TSK-41	294867	4400661	SPT	11,00	18,50
87	TSK-80	287711	4404980	SPT	40,42	30,00
88	TSK-81	287709	4406651	SPT	11,12	30,00
89	TSK-82	288760	4405660	SPT	24,70	30,00
90	TSK-83	289955	4406499	SPT	36,41	30,00
91	TSK-90	295148	4404980	SPT	11,01	30,00
92	TSK-92	289665	4406836	SPT	39,93	30,00
93	TSK-98	407459	4406836	SPT	7,93	30,10
94	TSK-99	288787	4407473	SPT	46,64	30,00
95	TSK-100	287269	4408639	SPT	67,64	30,00
96	TSK-102	289951	4408779	SPT	24,57	30,00
97	TSK-103	291489	4408226	SPT	14,17	30,00
98	TSK-104	292116	4409069	SPT	45,89	30,00
99	ASK-1	288358	4410239	SPT	13,66	30,45
100	ASK-2	286390	4410103	SPT	10,00	30,08
101	ASK-3	288376	4408190	SPT	14,98	30,45
102	ASK-4	289679	4407119	SPT	23,02	30,42
103	ASK-5	288741	4406239	SPT	32,12	30,21
104	ASK-6	291938	4407371	SPT	15,76	29,84
105	ASK-7	292367	4404879	SPT	22,32	30,45
106	ASK-8	284357	4405200	SPT	21,03	29,58
107	ASK-9	285764	4403989	SPT	24,67	29,56
108	ASK-10	284629	4403631	SPT	16,69	30,26
109	ASK-11	282426	4405190	SPT	11,95	30,45
110	ASK-12	283118	4408540	SPT	10,09	29,55
111	ASK-13	286839	4406419	SPT	9,96	29,00
112	ASK-14	280060	4405166	SPT	22,59	30,45
113	ASK-15	280246	4405489	SPT	16,09	30,45
114	YSPT-15	286590	4407097	SPT	28,39	30,00
115	YSPT-16	286306	4406875	SPT	53,47	10,00

Tablo 4.4. (Devam) *SPT ve CPT verileri kullanılarak hesaplanan sıvılaşma indeks (IIE) değerleri*

116	YSPT-17	286704	4407077	SPT	47,49	10,00
117	YSPT-18	286675	4406870	SPT	23,76	10,00
118	YSPT-19	286283	4405839	SPT	0,52	10,00
119	YSPT-20	286056	4407099	SPT	44,04	20,00
120	YSPT-21	287280	4407497	SPT	18,54	20,00
121	YSPT-22	287507	4408075	SPT	80,08	10,00
122	YSPT-23	288992	4407363	SPT	6,68	10,00
123	YSPT-25	288304	4406338	SPT	14,26	10,00
124	YSPT-28	288320	4407770	SPT	4,78	10,00
125	YSPT-29	288404	4407339	SPT	22,18	10,00
126	YSPT-30	287764	4406261	SPT	18,45	10,00
127	YSPT-32	285750	4406356	SPT	0,00	20,00
128	YSPT-36	284460	4404841	SPT	62,77	10,00
129	YSPT-37	287165	4404888	SPT	21,38	10,00
130	YSPT-38	285799	4405789	SPT	45,14	10,00
131	YSPT-39	285900	4404997	SPT	9,50	20,00
132	YSPT-39 (1)	285924	4405118	SPT	6,97	10,00
133	SPT-40	289750	4405266	SPT	4,36	20,00
134	YSPT-41	286471	4405663	SPT	0,00	20,00
135	YSPT-45	287180	4405755	SPT	22,50	15,00
136	YSPT-46	287450	4405361	SPT	0,00	15,00
137	YSPT-47	237904	4405460	SPT	0,00	20,00
138	YSPT-49	288561	4406706	SPT	32,38	10,00
139	YSPT-50	284730	4406509	SPT	16,58	10,00
140	YSPT-51	284730	4406509	SPT	4,14	20,00

4.1.2. Sıvılaşma önlemleri

Sıvılaşmaya yatkın alanlarda mühendislik yapılarının yapılmamasını tercih etmek en basit yöntemdir. Zorunlu kalınmadıkça bu alanlara mühendislik yapısı yapılmamalıdır. Arazi değeri yüksek olduğu ve yapılması zorunlu olduğu düşünüldüğünde ise bu alanlarda bazı önlemlerin alınması gerekmektedir.

İlk olarak bölge hakkında geçmiş literatür araştırması yapılmalıdır. Geçmişten günümüze kadar herhangi bir hasar meydana gelip gelmediği hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Bölgede jeolojik olarak laboratuvar ve arazi deneyleri gerçekleştirilerek zeminin özelliği hakkında daha detaylı bilgiye sahip olmak mümkündür.

Sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu alanlarda sağlam zemine kadar değerlendirme yapılmalıdır. Sıvılaşabilecek alandaki zemin kaldırılıp yeni bir dolgu

malzemesi yerleştirmek mümkündür. Ancak bu yöntem ekonomik olarak pahalı olması nedeni ile daha baraj yapılarında tercih edilmektedir. Yaygın olarak kullanılan yerinde çalışmalar ile zemin kompaksiyonu ve bağlıl yoğunluğun yükseltilerek sıvılaşmaya karşı direncin arttırılması da mümkün olmaktadır.

Yeraltı su seviyesi sıvılaşma açısından büyük öneme arz etmektedir. Bu nedenle sıvılaşabilir alanlarda su seviyeleri mümkünse alt seviyelere düşürülmelidir. Seed ve Booker, (1976) tarafından zemin içerisinde seri çakıl kolonların inşa edilerek gözenek suyun basıncının düşmesini sağlanarak drenaja destek sağladığıını belirtmişlerdir. Maher ve Gucunski, (1995); Zeminde çeşitli kimyasallar veya imento enjekte edilmesini önermiştir.

Günümüzde ise sağlam zemine inilerek fore kazık çalışmaları yapılmaktadır. Sıvılaşma için sadece zemin iyileştirmesi yeterli değildir. Mühendislik yapılarının da güvenilir olarak inşa edilmesi gerekmektedir. Taşıyıcı binaların ne tür olduğu önemlidir. Çünkü depremde ne tür hasara maruz kalındıysa ona göre iyileştirme çalışmaları yapılması gerekmektedir. Zemin araştırması, hasar öncesi ve hasar sonrası olarak farklı Şekilde değerlendirmeye alınarak detaylı çalışmalar yapılmalı ve belirli standartlar oluşturulmalıdır.

4.2. Standart Penetrasyon Testi (SPT)

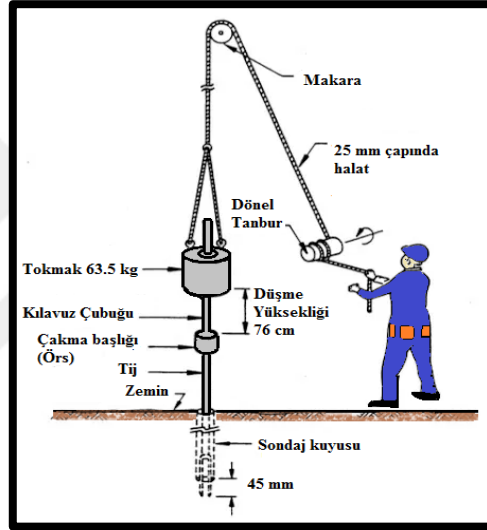
Standart Penetrasyon Testi (SPT) ilk olarak 1927 yılında Raymon Pile Company tarafından geliştirilerek ortaya ıkmiş ve Kuzey il Güney Amerika, İngiltere ve japonya'da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1947'de SPT Terzaghi tarafından Teksas Zemin Mekaniği konferansında kullanılmıştır (Clayton, 1995).

1958 yılında American Society for Testing and Materials (ASTM 1586) tarafından standartlara alınmış ve günümüze kadar bazı düzeltmelerle bu standarttaki yerini koruduğu belirtilmiştir. SPT'nin örnek alıcı bir tüpün zemin içerisine çakılması olarak tanımlanmışlardır. Jeoteknik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan SPT, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde kullanılmaktadır. Taşıma gücü, sıvılaşma potansiyeli analizi gibi mühendislik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan in-situ (yerinde) olarak yapılan arazi deneyidir. Numune alınabildiği için laboratuvar deneyleri yapmak mümkündür.

Laboratuvar deneyleri ile su içeriği, tane dağılımları, atterberg kıvam limitleri, özgül ağırlık vb. zellikler belirlenebilmektedir. Bu zelliklerin her biri zeminin yapısını belirleme ve sınıflandırmada önem arz etmektedir.

SPT yapılırken ilk aşamada tij üstünden üç adet 15 cm'lik ilerleme adımı işaretlenmektedir. Her cm'lik penetrasyon aşamasında şahmerdan darbe sayısı (serbest düşüşü) belirlenmektedir. Sert zeminlerde art arda üç 15 cm'lik ilerlemede bir tanesinde 50 darbeye 15 cm penetrasyon gerçekleşmediği zaman deney durdurulmaktadır. Bu durum “son ölçüm 50 darbe miktarı” olarak kayıt edilmektedir.

İlk cm'lik penetrasyon yerleştirme aşaması olduğundan yani örselenmiş olması nedeni ile dikkate alınmamaktadır. İkinci ve üçüncü cm'lik penetrasyon için ölçülen darbe sayıları ile bu değerlerin toplamı SPT Narazi(30) değeri olarak kaydedilmektedir. SPT Deneyinin gerçekleştirilmesi Şekil 4.1'de verilmiştir. Günümüzde geliştirilerek daha kullanılabilir duruma gelmiştir.



Şekil 4.1. SPT Deneyinin Yapılışı (düzenlenmiştir) (Erol ve Çekinmez, 2014)

SPT N değeri düzeltmesi, 2018 Türkiye Bina Yönetmeliği ile uyumlu olarak önerilen hesap cetveli kullanım kılavuzuna göre gerçekleştirilmiştir (Jeoloji Mühendisleri Odası, 2021). TBDY-2018, Amerikan Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi NCEER tarafından gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda önerilen düzeltmeleri 2001 yılında kabul edilmiştir. SPT'nin geçerli olabilmesi için sondajlar sırasında kullanılan her türlü donanım ve prosedürler standartlara uygun olması gerekmektedir.

4.2.1. SPT avantaj ve dezavantajları

Yaygın olarak kullanılan SPT deneyinin deney süresinin kısa olması, SPT verileri kullanılarak bir çok çalışmanın yapılmış olması, farklı yöntem ve metotların kullanılması gibi bir çok avantajları olduğu gibi operatör kaynaklı hataların, ekipman hatalarının sonuçları etkilemesi gibi birçok dezavantajları Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5. SPT avantaj ve dezavantajları (Erol ve Çekinmez, 2014)

SPT AVANTAJLARI	SPT DEZAVANTAJLARI
Deney süresi kısa olması	Operatör hatasından etkilenmektedir
Deney yapımı basit gerçekleştirilmesi	Deney sonuçları, deney ekipmanı ve uygulama yöntemi gibi değişkenlerle etkilenecek hassaslıktadır.
Geniş uygulama tarih ve verisine sahiptir	İri granüler, blok veya kaya gibi zeminlerde örnek alıcı hasar alabileceğinden dolayı sonuçlarda değişkenlik olabilmektedir.
Yaygın olarak kullanılan uluslararası deneydir	Yumuşak ve çok hassas killerde yanıltıcı sonuç alınabilmektedir
Penetrasyon direnç ölçümü ile birlikte örnek alınabilir ve maliyeti daha azdır	YASS altında kuyu tabanında kaynamaya neden olabileceğinden yanıltıcı sonuçlar verebilir.
Kohezyonlu/Kohezyonsuz zeminlerle birlikte sıkı-ince çakıl ve dolgu tabakalarında da kullanılabilir.	
Literatürde SPT verileri ile mühendislik yorumu ve parametreleri elde etmek için önerilen çok sayıda yöntem bulunmaktadır.	

4.2.2. SPT N değerlerinin belirlenmesi

Çalışmada SPT ve CPT olmak üzere 140 farklı sondaj kuyusu değerlendirmeye alınmıştır. Bunlardan 64'ü CPT ve 76'sı SPT'dir. Kullanılan 76 SPT sondaj kuyularından son 27 tanesi SPT-CPT birbirleri arasındaki mesafeye bağlı olarak seçilmiştir. 76 sondaj kuyusundan 27 tanesi Yer Teknik Ltd. Şti. tarafından yapılmış olup 49 tanesi Tekar ve Anadolu üniversitesi tarafından yapılmış sondajlardır (Başbakanlık-PUB-MEER, 2006). Sondaj verisi kendi içlerinde değerlendirmeye alınmıştır. (Zhao ve Cai, 2013)'nun önermiş olduğu SPT-CPT korelasyonu'na bağlı olarak son 27 sondaj kuyusunda veri dağılımı en aza indirgenerek veri analizinden önce ölçümler yapılmıştır.

İlk olarak SPT N değeri ortalamasını içeren ortalama yöntemi ve qc değeri için ise eşit alan yöntemi verileri ile uygulanmıştır. İkinci olarak anormal veriler ham verilerden ayrılması için Grubbs test yöntemi kullanılarak veriler istatistiksel olarak filtrelenmiştir. Son olarak SPT sondajına karşılık gelen CPT sondajlarının sayısı ve mesafeleri dikkate alınmıştır. Daha yakın noktaların daha yüksek ağırlığa sahip olduğu literatür araştırmalarında gözlenmektedir. Mesafe için Swan ve Sandilands, (1995) tarafından önerilen uzak noktalarda ters mesafe ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılmıştır. Yöntemde kullanılan denklem (4.3) aşağıda verilmiştir.

$$v = \frac{\sum \frac{v_i}{d_i}}{\sum \frac{1}{d_i}} \quad (4.3)$$

Yukarıda verilen denklemde;

v : CPT testinin ortalama Qc değeri

v_i : Her bir CPT' deki qc değeri

d_i : Referans SPT testi ile CPT'den mesafesi

Bu sayede farklı mesafelerdeki CPT testleri SPT-CPT korelasyonuna farklı ağırlıklar vermektedir. Sondaj verisinde N_{30} değerlerinin N_{60} değerlerine dönüştürülmesinde aşağıdaki denklemle gerçekleştirilmiştir.

Geoteknik mühendisliği uygulamalarında arazide ölçülen vuruş sayılarında (SPT-Narazi) ile tokmak enerjisi, efektif gerilme ve sonuçları etkileyen çeşitli dış etkenler için düzeltme yapılmalıdır. Ölçülen vuruş sayıları (SPT-Narazi), düzeltilmiş halinde N_{60} sembolü ile gösterilir. N_{60} , için en genel denklem (4.4) aşağıdaki gibidir (Robert, 2002).

$$N_{60} = N_{arazi(30)} * CE * CN * CR * CB * CS \quad (4.4)$$

N_{60} : Teorik serbest düşme (Tokmak enerjisinin %60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı)

$N_{arazi(30)}$: Arazide ölçülmüş darbe sayısı

CE: Enerji düzeltme faktörü: Teorik olarak uygulanan ile tokmak enerjisi;

$$E = 63.5\text{kg} \cdot 0.76\text{m} \cdot 9.81\text{m/sn}^2 \approx 475 \text{ joule (Erol & Çekinmez, 2014).}$$

SPT- N değerlerinin temel alan korelasyonlar yaklaşık %60 verimliliğe sahip ekipmanlar temel alınarak geliştirilmiştir.

$$CE = ER/60 \quad (4.5)$$

ER: Arazide gerçekleşen enerji oranı

CR: Tij uzunluğu düzeltme faktörü: Numune alıcıya aktarılan enerji, tij uzunluğuna göre bir derece etkilenmektedir.

CB: Sondaj çapı düzeltme faktörü: Ölçülen SPT-N değeri, SPT deneyi sondaj çapının >115 mm olması halinde yapılmaktadır.

CS: Numune alıcı kılıf düzeltme faktörü: Kılıflı ya da kılıfsız gerçekleştirilebilir. Kılıf ihmal edildiğinde düzeltme yapılmaktadır.

CR, CS, CB ve CE değerleri Tablo 4.6'da gösterilen özelliklere bağlı olarak belirlenmektedir.

Tablo 4.6. Önerilen korelasyonlar (Alam vd., 2018)

Düzeltilme Katsayısı	Değişken	Değer
CR	3 m ile 4m aralığında	0,75
	4m ile 6m aralığında	0,85
	6m ile 10 aralığında	0,95
	10m'den derin	1,00
CS	Standart numune alıcı	1,00
	İç tüpü almayan numune alıcı	1,10-1,30
CB	Çap 65 mm- 115 mm arasında	1
	Çap 150 mm	1,05
	Çap 200 mm	1,15
CE	Güvenli tokmak	0,60-1,17
	Halkalı tokmak	0,45-1,00
	Otomatik Darbeli tokmak	0,90-1,60

CN: Efektif gerilme düzeltme faktörü: Farklı derinliklerde ölçülmüş SPT-N değerlerini karşılaştırmak amacıyla ölçülen SPT-N değerleri 100 kPa standart basınca göre ölçülmektedir. N_{arazi} direnci CN faktörüyle çarpılarak efektif gerilme etkileri dikkate alınır. SPT verilerinde ilk 49 SPT'nin SPT N_{30} değerinden SPT N_{60} değerine dönüştürülmesinde kullanılmıştır. CN değer hesabı için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$CN=9,78* \sqrt{\frac{1}{\sigma'v_0}} \quad (4.6)$$

$\sigma'v_0$ = Düşey Efektif Gerilme

$$\sigma'v_0 = \gamma *h \quad (4.7)$$

γ = Birim Hacim Ağırlık

h = Derinlik

Birim Hacim Ağırlık (γ): Türk Standardı TS498'e göre zeminlerin Likit limit (WL), zemin sınıfı ve kıvam değerine göre aşağıdaki Tablo 4.7'den alınmıştır.

Tablo 4.7. Kohezyonlu zemin ve organik zeminlerin hesap değerleri (TS 498, 1987)

Sıra No	Zemin Türü	Sembolü	Kıvamı	Birim Hacim Ağırlık	
				Su Üstü kN/m ³	Batık kN/m ³
1	Yüksek Plastisiteli İnorganik Kohezyonlu Zeminler ($W_L > \%50$)	CH	Yumuşak	18	8
			Katı	19	9
		MH	Orta Sert	20	10
2	Orta Plastisiteli İnorganik Kohezyonlu Zeminler ($\%35 \leq W_L < \%50$)	CL	Yumuşak	19	9
			Katı	19,5	9,5
		ML	Orta Sert	20,5	10,5
3	Düşük Plastisiteli İnorganik Kohezyonlu Zeminler ($W_L > 50$)	OL	Yumuşak	20	10
			Katı	20,5	10,5
		ML	Orta Sert	21,5	11
4	Organik Kil, Organik Silt	OH	Yumuşak	14	4
		OL	Katı	17	7

Kohezyonlu zeminlerde birim hacim ağırlık değerleri tablo 4.7’de gösterilen plastisite derecesine, türüne ve hesaplanan bağıl kıvam değerine göre belirlenmektedir. Yeraltı su seviyesi ile yumuşaklık derecesine göre birim hacim ağırlık değeri değişkenlik göstermektedir. Çalışmada bu değerler hesaplanarak belirlenmiştir. Kumlu zeminler için ise birim hacim ağırlık değeri 20 olarak alınmıştır.

SPT N değerlerini deney sırasında birçok faktörden etkilenmektedir. Bu faktörlerin etkileri deney sonuçlarını etkilemektedir. Tablo 4.8’de SPT deney sonuçlarını etkileyen faktörler ve buna bağlı olarak SPT N değerlerine etkileri verilmiştir. SPT ve CPT verileri kullanılarak olarak sınıflama indeks değerleri Çin Kod Metoduna göre hesaplanmıştır. Her iki deney verilerinde sınıflama indeks değerleri kumlar için yüksek killer için ise düşük değer ile karşılaşılmıştır. Literatür araştırmaları ile bu durumun benzer olduğu düşünülmüştür.

$$\text{Bağıl Kıvım Değeri (K)} = (W_L - W_N) - (W_L - W_P)$$

W_L: Akmada katılaşmaya geçme sınırındaki su muhtevası, Likit Limit

W_N: Tabii Su Muhtevası

W_P: Katıdan orta sertliğe geçme sınırındaki su muhtevası, Plastik Limit

Tablo 4.8. Kohezyonlu zemin ve organik zeminlerin hesap değerleri (Erol ve Çekinmez, 2014)

Faktörler	SPT- N değerleri üzerindeki Etkisi
Sondaj deliğinin iyi temizlenmemesi	Orijinal zemine sondaj çamurunun karışmasından dolayı doğru sonuçlar alınmamaktadır. Çamur örnek alıcılığı tıkanabilir ve SPT – N değerleri artabilir.
Boyuna yarık tüpün örselenmemiş zemine tam olarak oturmaması	SPT – N değerleri yanıltıcıdır.
Boyuna yarık tüpün muhafaza borusu tabanının üzerinden sürülmesi	Kumlu zeminlerde SPT – N değerleri artarken, kohezyonlu zeminlerde azalır.
Sondaj kuyusu içerisinde yeterli hidrostatik seviyenin sağlanamaması	Kumda açılan sondaj kuyusunun içerisindeki piyezometrik seviye ile yeraltı suyu tablası seviyesi aynı olmalıdır. Aksi takdirde, sondaj kuyusu tabanındaki kum gevşer ve kaynama olabilir. Sonuç olarak ölçülen SPT – N değerleri daha düşüktür.
Operatörün dikkati	Operatörün deney prosedürünü her aşamada aynı ve doğru olarak uygulaması gereklidir. Operatörün eğitim seviyesi ve ciddiyeti, deney esnasında çalışma koşullarındaki çevresel/iklimsel koşullardaki zorluklar deney sonuçlarını etkilemektedir.
Örnek ağzının granüler bir zeminle (çakıl gibi) tıkanması	SPT – N değerleri olması gerekenden yüksektir.
Muhafaza borusunun tıkanması	Hidrostatik basınç kumun muhafaza borusu içinde yükselmesine sebep olur ve muhafaza borusu tıkanabilir. Su tablasının altındaki gevşek kumlarda kaydedilen SPT – N değerleri artar.

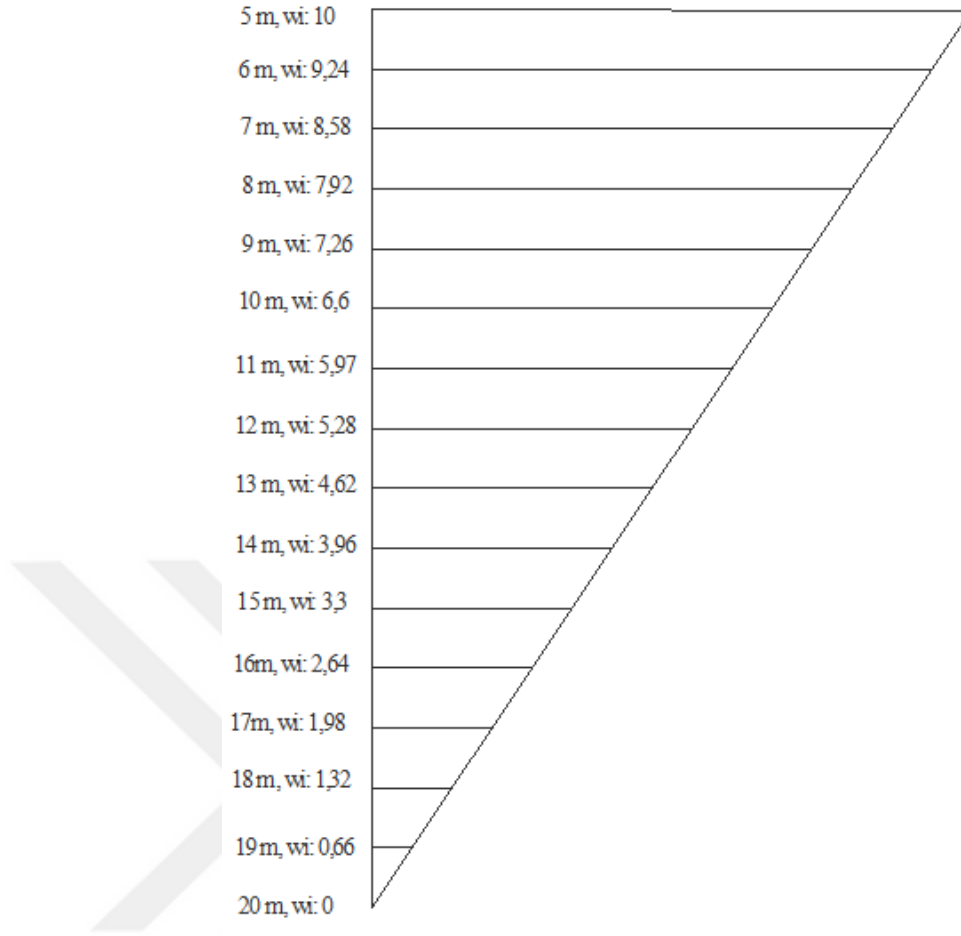
Tablo 4.8. (Devamı) Kohezyonlu zemin ve organik zeminlerin hesap değerleri (Erol ve Çekinmez, 2014)

Faktörler	SPT- N değerleri üzerindeki Etkisi
Muhafaza borusunun önünün fazla yıkanması	Sıkı kumlarda SPT – N değerlerini düşürür.
Sondaj Yöntemi	Değişik sondaj yöntemleri (Örn: Muhafaza borusu veya benilenit kulamacı ile açılan delgiler) ile yapılan deneylerde farklı SPT – N değerleri kaydedilir.
Şahmerdanın serbest düşüşünün gerçekleşmemesi	Halatın dönen tambur etrafında 1,5 turdan fazla dolanması durumunda, serbest düşüş engellenmektedir. Ölçülen SPT – N değerleri olmaması gerekenin üzerindedir.
Şahmerdanın çakma başlığı üzerine eksantirik olarak çarpması	Darbe enerjisi düştüğünden, ölçülen SPT – N değerleri olması gerekenin üzerindedir.
Kılavuz tijinin kullanılmaması	Ölçülen SPT – N değerleri yanıltıcıdır.
Boyuna yarık tüpün ucunda düzgün bir pabucun kullanılmaması	Eğer pabuç hasarlı ise, açıklık azalabilir veya uç alanı genişleyebilir, SPT – N değerleri artabilir.
Standartlarda belirtilen değerlerden daha ağır tijlerin kullanılması	Daha ağır tijler daha çok enerji sönmülmesine yol açar. Dolayısıyla kaydedilen SPT – N sayısı gerçek değerinin üzerindedir.
Darbe sayısının ve penetrasyon miktarının doğru kaydedilmemesi	Ölçülen SPT – N değerleri yanıltıcıdır.
Sondaj kuyusu açma yöntemlerindeki yanlışlıklar	Sondaj esnasında zeminin ciddi anlamda örselenmesi durumunda, kaydedilen SPT –N değerleri yanıltıcıdır.
Çok geniş çaplı sondaj kuyularında SPT yapılması	100 mm çaptan daha geniş sondaj kuyuları önerilmemektedir. Daha geniş çaplı sondaj kuyularında, ölçülen SPT – N değerleri olması gerekenin altındadır.

4.2.3. Enterpolasyon yöntemi

Bilinen iki sayısal değer kullanılarak boş noktadaki değerlerin tahmin edilmesi olarak bilinmektedir. Koordinatları (x_0, y_0) ve (x_1, y_1) olarak bilinen iki nokta olsun. Bu iki nokta arasındaki düz çizgi “lineer interpolant” olarak adlandırılmaktadır (Read, 1998). Bu yöntem Çin Kod Metodu için gerekli olan kalınlık zemin kalınlığı ve ağırlıklı etki derinlik katsayısının belirlenmesi aşamasında kullanılmıştır. Hesaplanan değerler Şekil 4.2’de verilmiştir.

$$\frac{y-y_0}{x-x_0} = \frac{y_1-y_0}{x_1-x_0} \quad (4.8)$$



Şekil 4.2. SPT ve CPT deneyinde sıvılaşma analizinde gerekli olan hesaplanmış w_i değerleri

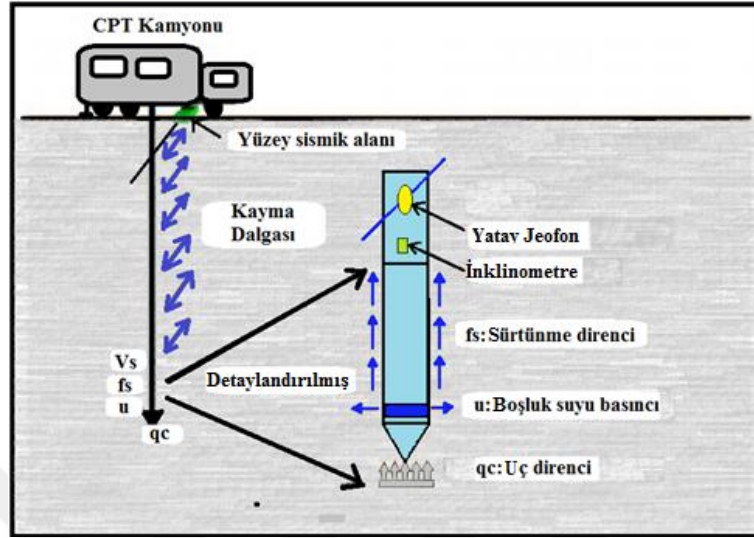
4.3. Koni Penetrasyon Testi (CPT)

Koni penetrasyon deneyi ilk olarak 1934 yılında Hollanda'da çakma kazık tasarımına yönelik alüvyon kil malzemeler içindeki kum tabakalarının yerleşimini ve tabaka sıkılığını belirlemek amacıyla kullanılmıştır (Sanglerat, 1972).

CPT, zemin profil yapısının belirlenmesi, yeraltı su seviyesinin ölçülmesi, boşluk suyu basınç tahmini, zemin katmanlarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespit edilmesi, sığ ile derin temellerde oturma ve taşıma gücü yaklaşımlarının yapılması, sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi, zemin iyileştirme uygulamalarında kalite kontrolü ve üç bileşenli jeofonlar ile sismik dalga ölçümleri yapmak amacıyla kullanılan arazi deneyidir (Erol ve Çekinmez, 2014).

CPT yapılırken ilk olarak zemine 20 mm/saniye hızla konik uç zemine itilir (Pekkan, Tün ve Mutlu, 2018). İtilme boyunca koninin uç kısmında (prop'ta) ile uç direnci (q_c), koninin ceket kısmında oluşan çevre sürtünmesi (f_c), eğim ölçümü ve boşluk

suyu basıncı belirlenebilmektedir. CPT, yumuşak killer ve kumlar için uygun olup kayaç ve çakıllar için uygun değildir. CPT deney düzeneği Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. CPT Deney Düzeneği (Pekkan, Tün ve Mutlu, 2018)

4.3.1. CPT avantaj ve dezavantajları

Tablo 4.9. Önerilen korelasyonlar (Alam vd., 2018)

CPT Avantajları	CPT Dezavantajları
Deney süresi kısadır.	Deney, iri çakıl veya kaya ile sıkı zeminlerin yer aldığı koşullarda uygulanamamaktadır
Yumuşak ve zayıf zeminlerde diğer arazi deneylerine göre daha ekonomiktir	Deney yapılırken örnek alınamamaktadır.
Turba, organik ve yumuşak killer gibi problemlili zemin tabakalarının tespiti hızlıca yapılabilir	İnclinometre ile kontrol edilmezse penetrometrede düşey eksenden sapmalar olabilmektedir.
Deney verisi, eş zamanlı ve sürekli olarak kaydedilmektedir.	
Deney sonuçları dijital ortamda hızlıca değerlendirilir	
SPT'ye göre operatör hatasının etkisi sonuçlarda daha azdır.	
İnce tabakalar, bantlar ve merccekler belirlenebilmektedir.	
Koni üstüne çeşitli ölçüm cihazları yerleştirilerek zeminlerin değişik özellikleri belirlenebilmektedir.	

CPT deneyi son yıllarda kullanımı artmış ve sıvılaşıma tehlikesinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. CPT deneyinin avantaj ve dezavantajları Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tabloya baktığımızda deney süresinin kısa olması, sonuçların dijital ortamda alınması, hatanın az olması birçok yönden avantaj sağlamaktadır. Deney yapılırken örnek alınamaması dezavantaj olarak görülmektedir. Bu nedenle laboratuvar deneylerine imkan sunmamaktadır. İstatistiksel hesaplamalar sonucunda CPT deneyleri kullanılarak elde edilen veriler ile zemin indeks değerlerinin belirlenip belirli standartlar oluşturulabileceği belirlenmiştir.

4.3.2. CPT qc (uç direnci) değerlerinin N değerlerine dönüştürülmesi

CPT ile elde ettiğimiz veriler Tip resistance (Uç direnci), Sleeve friction (sürtünme direnci), porewater pressure (boşluk suyu basıncı) ve son olarak friction ratio denilen sürtünme oranıdır. CPT geliştirilerek mekanik, elektrikli, piyezokonik (CPTu) ve sismik konik penetrometreler olarak dört ana gruba ayrılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan 140 veriden 64 tanesi CPT verisidir. Her bir CPT kuyusunun araziden elde edilen verileri litolojik ve derinlik olarak kategorilere ayrılmıştır. Ve her bir derinlik ve litolojik özelliğe bağlı olarak ortalama qc değerleri bulunarak SPT N değerlerine dönüşümü sağlanmıştır. EK-3’de CPT loglarının litolojiye göre sınıflandırılması ve hesaplanmış N değerlerinden bir örnek verilmiştir.

SPT ve CPT ile korelasyon kurabilmek için doğrusal regresyon kullanılmıştır. Analiz için $q_c = nN$ sıfır kesmeli doğrusal bir ilişki kurmak için en küçük kareler yöntemi değerlendirmeye alınarak hesaplanmıştır. Seçilen tüm zemin durumları için korelasyonlar kurulmuştur. (Alam vd., (2018)’in önermiş olduğu korelasyonlar ve q_c/N değerleri aşağıdaki Tablo 4.10’da verilmiştir.

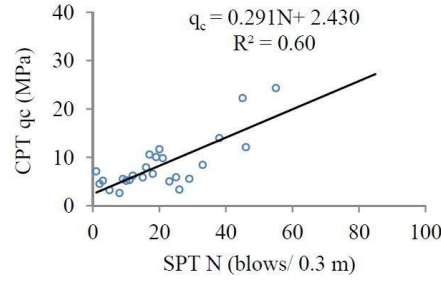
Tablo 4.10. Önerilen korelasyonlar (Alam vd., 2018)

Zemin Tipi	Korelasyon Denklemi	Korelasyon Katsayısı (R^2)
Siltli Kum	$q_c = 0,427 * N$	0,303
Kumlu Silt	$q_c = 0,337 * N$	0,438
Siltli Kil	$q_c = 0,319 * N$	0,604
Kil	$q_c = 0,291 * N$	0,602

Kum sınıfı için (SP), Jarushi vd., (2015) ’in önermiş olduğu q_c değerinin N değerine dönüştürülmesi için gerçekleştirilen denklem (4.9) verilmiştir.

Kum özellikli regresyon değerinin Şekil 4.4'te verildiği gibi 0.60 çıktığı belirtilmiştir.

$$q_c = 0,291 * N + 2,430 \quad (4.9)$$



Şekil 4.4. İyi kum (SP) için q_c ve SPT N arasındaki ilişki (Jarushi, Alkaabim ve Cosentino, 2015)

CPT q_c değerlerinin SPT N değerlerine istatistiksel olarak dönüştürülmesinin mümkün olduğu düşünülmüştür. Dönüştürülen her CPT N değerleri ile SPT'de olduğu gibi CPT N değerlerine bağlı olarak sıvılaşma analizi Çin Kod Metot yöntemine göre yapılmaya çalışılmıştır. CPT deneyi ile numune alınamamaktadır. Bu nedenle hesaplarda kullanılması için gerekli olan ince tane içeriğinin istatistiksel metotlar ile hesaplanmasının mümkün olduğu literatür araştırmalarında görülmüştür.

İlk olarak CPT 'ye bağlı olarak zemin sınıflandırması gerçekleştiren (Robertson vd., (1986), koni iç direnci, sürtünme oranına (R_f) bağlı olarak grafik oluşturmuştur.

Zemin Davranış Tipi (SBT) denilen yöntem geliştirilmiştir. SBT geliştirilerek Zemin davranış İndeksi (I_c), olarak adlandırılmıştır. Aşağıdaki denklem (4.10) ile her bir CPT verisine ait zemin davranış tipine bağlı olarak içermiş olduğu ince tane içeriği hesaplanmıştır.

$$I_{SBT} = \left[(3,47 - \log^{q_c/p_a})^2 + (\log R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (4.10)$$

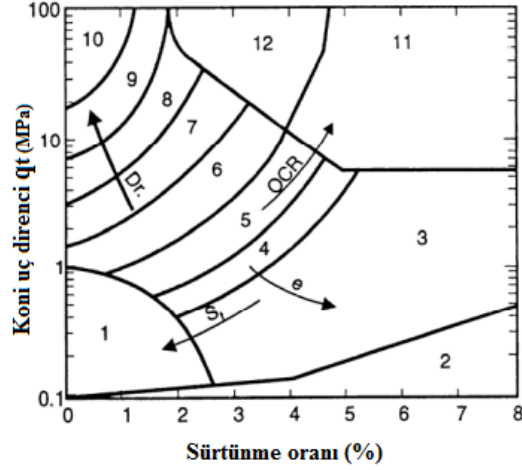
I_{SBT} : Zemin Davranış Tipi/İndeksi (SBT & I_c)

R_f : Sürtünme Oranı = $(f_s/q_c) * 100$

f_s : CPT çevre sürtünmesi

p_a : Referans atmosfer basıncı (100 kPa)

CPT sırasında kullanılabilen Şekil 4.5'de verilen grafik zemin sınıflandırması konusunda önemli yere sahiptir. Robertson vd. (1986), tarafından CPT q_c ve f_s ölçümleri esas alınarak 12 farklı zemin tipi için grafik hazırlanmıştır. Bu grafik arazi koşullarında zemin sınıfının belirlenmesi için pratik bir yoldur. Ancak ince içerik oranını bize sağlamamaktadır.



Şekil 4.5. CPT, Koni uç direnci (q_t) ve sürtünme oranı (R_f)'ye göre Zemin Davranış Tipi Grafiği
(Robertson, 2010)

Grafiğe baktığımızda Koni uç direnci q_t ve sürtünme oranı değerlerine göre 1. bölgenin hassas ince taneli zeminler, 2. bölgenin organik malzeme, 3. bölgenin kil, 4. bölgenin siltli kil ile kil, 5. bölgenin killi silt ile siltli kil, 6. bölgenin Kumlu silt ile killi silt, 7. bölgenin siltli kum ile kumlu silt, 8. bölgenin kum ile siltli kum, 9. kum, 10. bölgenin çakıllı kum ile kum, 11. bölgenin çok sert iyi derecelenmiş ve 12. bölgenin ise kum ile killi kum olarak sınıflandırmıştır (Robertson, 2010).

Bu çalışmada 7 farklı zemin türü değerlendirmeye alınmıştır. Bunlar;

CH-Yüksek plastisiteli inorganik yağlı killer,

CI - Orta plastisiteli killer,

MH – İnorganik siltler ve düşük plastisiteli organik-silt karışımları,

MI - Orta plastisiteli siltler,

GW - İyi derecelenmiş çakıl, çakıl-kum karışımları,

GW-GM -Siltli çakıllar, kötü derecelenmiş çakıl- kum karışımları,

SM –SP - Siltli kumlar,

SC - Killi kumlardır.

Siltli ve kumlu zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu literatür araştırmalarında da bilinmektedir. Killi zeminlerde ise bu durum killi zeminlerin su emme, şişme vb. özellikleri nedeniyle daha düşük olmaktadır. Tablo 4.11'de önerilen zemin davranış İndeksi (I_{SBT}/I_C)'ne bağlı olarak zemin sınıflaması yapmak ve ince içerik oranını bulmak mümkündür. Yi, (2014) tarafından önerilmiş ve Robertson ve Wride, (1998) tarafından çalışma yapılarak oluşturulmuş Tablo 4.12'de verilmiştir. Her bir CPT verisinin ince tane içerik oranlarını göstermiştir.

Tablo 4.11. Önerilen 12 SBT (Zemin Davranış Tipi) Bölgesi (Robertson., 2010)

SBT Robertson vd. (1986)	SBT Robertson (1990)	Yaygın olarak önerilen SBT Açıklaması
1	1	İnce taneli
2	2	Kil - Organik Zemin
3	3	Killer: Kil ile Siltli Kil
4 ve 5	4	Silt Karışımı: Killi Silt & Siltli kil
6 ve 7	5	Kum Karışımları: Siltli Kum ile Kumlu Silt
8	6	Kumlar: Temiz kum ile Siltli Kumlar
9 ve 10	7	Yoğun Kum ile Çakıllı kum
12	8	Kaba Kum ile Killi Kum
11	9	Kaba taneli

Tablo 4.12. Önerilen 12 SBT (Zemin Davranış Tipi) bölgesi ve ince içerik oranları (Robertson., 2010)

Zemin Davranış Tipi	Alan	USCS Sınıflaması	İnce İçerik Oranı (%)
$I_c < 1,31$	7	Çakıllı kum ile kum	0
$1,31 \leq I_c < 1,59$	6c	Temiz kum	0-5
$1,59 \leq I_c < 1,83$	6b	Silt ile Kum	5-12
$1,83 \leq I_c < 2,276$	6a ile 5c	Siltli kum	12-35
$2,276 \leq I_c < 2,50$	5b	Siltli kum ile kumlu silt	35-50
$2,50 \leq I_c < 2,68$	5a ile 4b	Kumlu silt ile Siltli kum	50-65
$2,68 \leq I_c < 2,95$	4a	Silt karışımı: Killi silt ile siltli kil	65-87,4
$2,95 \leq I_c < 3,10$	3b	Siltli Kil	87,4-100
$3,10 \leq I_c < 3,60$	3a	Kil	100
$I_c \geq 2,95$	2	Organik zeminler: turbo	100

Tablo 4.13. Çalışmada yapılan zemin davranış indeks (I_{SBT}/I_c) değerlerine göre belirlenmiş ince içerik oranları

Zemin Sınıflaması	Zemin Davranış Tipi	İnce İçerik Oranı (%)
Kil	$1,04 \leq I_c \leq 2,95$	100-87,5
Kum ile Killi kum	$1,30 \leq I_c \leq 2,03$	88-90
Siltli kil ile Kil	$1,16 \leq I_c \leq 3,04$	87,5-65
Killi silt ile Siltli kil	$1,97 \leq I_c \leq 2,94$	65-50
Kumlu silt ile Killi silt	$1,02 \leq I_c \leq 3,47$	50-35
Siltli kum ile Kumlu silt	$1,13 \leq I_c \leq 4,51$	35-12
Kum ile Siltli kum	$0,90 \leq I_c \leq 2,83$	12-5
Kum	$1,19 \leq I_c \leq 2,21$	5-0

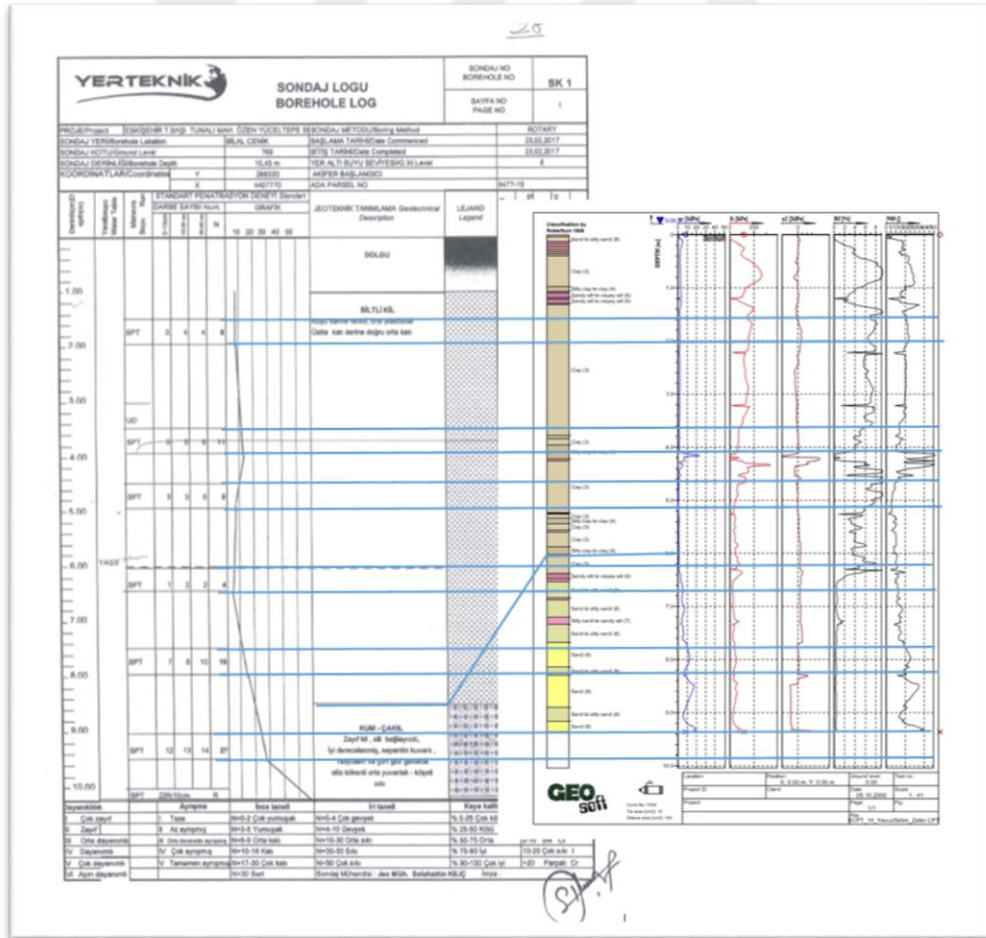
Bu çalışmada önerilen ince içerik oranları ve sınıflaması çıkan sonuçlara göre yeniden düzenlenmiştir. Çalışmada elde edilen Tablo 4.13'te verilmiştir. Tablo 4.12'de belirtilen referans alınan değerleri ile çalışmada elde edilen değerlerde küçük farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni aritmetik ortalamaya bağlı olarak litolojik birimlerin kalınlığına bağlı olarak değiştiği dşnlmştir.



5. SPT VE CPT LOGLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

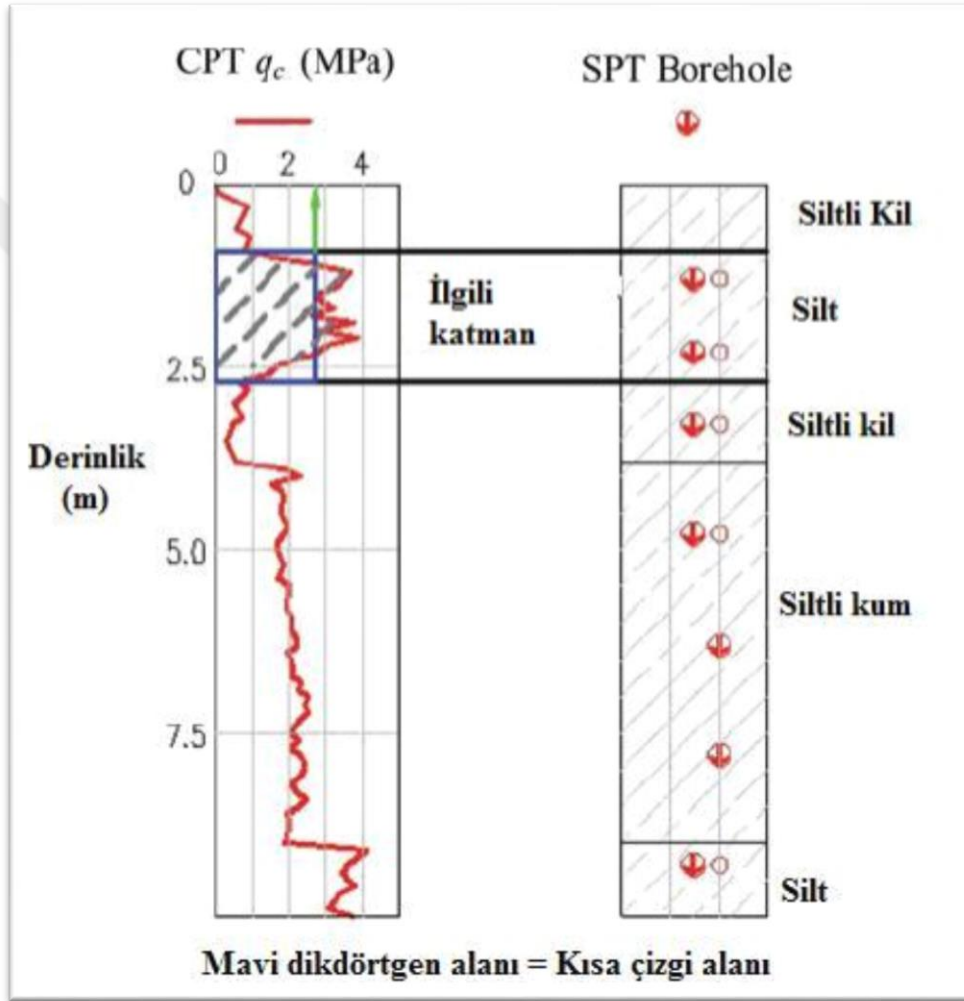
SPT bilindiği üzere temel olarak darbe sayısına (serbest düşme) dayanmaktadır. CPT ise metal çubuğun sabit hızla zemine itilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Karşılaştırma için bu iki test okuma sayısı açısından karşılaştırılabilir olmadığı düşünülmektedir. CPT, SPT'den daha fazla okumaya sahiptir. CPT 0,45 m'de 2-3 okumaya sahipken SPT yalnızca 1 okumaya sahiptir. İstatistiksel olarak okuma sayıları eşit olmadığından doğrudan korelasyon oluşturulamayacağı ve bu nedenle CPT okumaları için bir ortalama alınması gerektiği önerilmiştir (Akca, 2013).

Şekil 5.1.'de SPT ve CPT sondaj logları görülmektedir. Sondaj loglarına bakıldığında SPT ve CPT arasında okuma farklılıkları bulunmaktadır. Bu çalışmada Akca, (2003) 'ün önerdiği, CPT okumalarında ortalamalar alınarak hesaplamalar oluşturulmuştur. Her bir SPT değerine karşılık gelen CPT değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Bu çalışmada CPT qc değerlerinin SPT N değerlerine dönüştürülmesinin istatistiksel olarak mümkün olduğu ve SPT ile CPT arasında korelasyonun mümkün olduğunu göstermiştir.



Şekil 5.1. SPT ve CPT sondaj loglarının karşılaştırılması

N değeri, SPT deneyinin spesifik sayısıdır. Karşılaştırma yapmak için CPT q_c değeri ilgili sayıya dönüştürülmesi gerekir. Eşit alan ilkesine göre, eğer zemin katmanı 2m'den inceyse tek katman olarak alınır. 2-5 m arasındaysa iki katmana bölünür. 5m den kalınsa üç katmana bölünür. Hesaplama yapılırken her bir katmanın N değeri ortalaması alınır (Zhao ve Cai, 2013). Şekil 5.2'de eşit alan ilkesi kullanılarak ortalama CPT değerinin SPT N değerine uygunluğu gösterilmiştir. q_c değerinin aksi belirtilmedikçe Mpa 'dır.



Şekil 5.2. Eşit Alan İlkesi kullanılarak ortalama CPT değerinin SPT N değerine uygunluğu (Düzenlenmiştir) (Zhao ve Cai, 2013)

6. BULGU VE TARTIŞMA

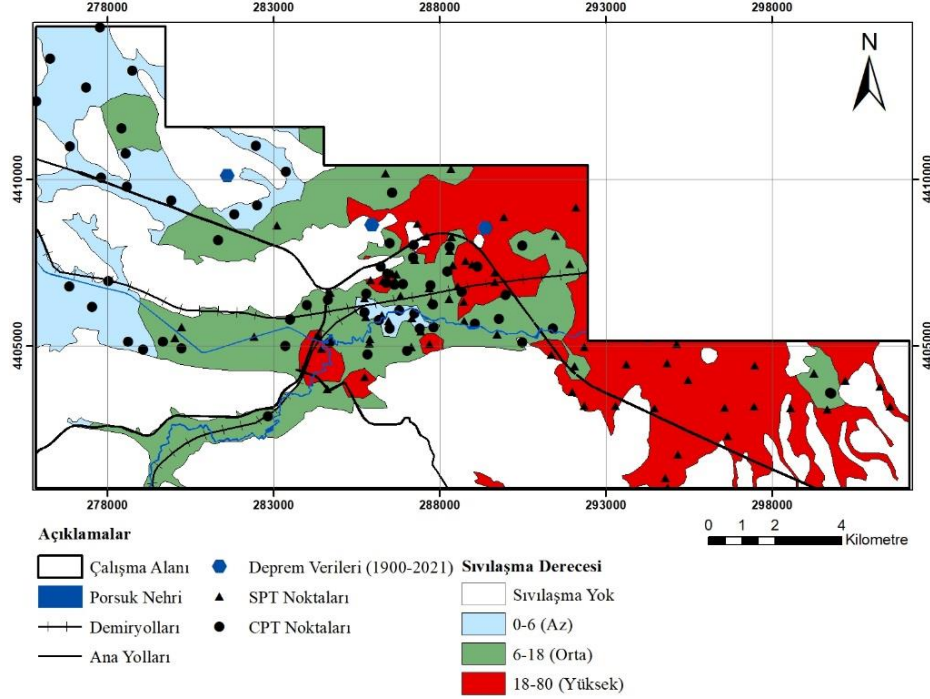
Zhang, Robertson ve Brachman (2002) tarafından yapılan çalışmada CPT yöntemi ölçülen sonuçlar ile SPT kullanılarak elde edilen sonuçlara yakın değerler taşıdığını düşünmüşlerdir. Farklı depremler ve zemin koşullarında elde edilen geçmiş veriler temin edilebildiği sürece CPT tabanlı yöntemin tahmin için kullanılabilirliğinin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Düşük- Orta sınıflara bağlı oturmalar için ve daha yüksek riskli durumlarda ön tahminler bulunabilirliğini göstermişlerdir. Bu çalışmada SPT ve CPT ile hesaplanan sınıflama indeks değerlerinde küçük farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Sonuçların birbirine yakın değerler taşıyor olması ile bu çalışmayı desteklemektedir. CPT saha deneyinin de sınıflama analizlerinde kullanılabilir olmaktadır. SPT ile daha yüksek ve orta seviyede sınıflama belirlenirken CPT ile az ve orta seviyelerde sınıflamanın olduğu belirlenmiştir. Bu farklılığın sebebinin sondaj sayısı, sondajlar arası mesafe, kum, silt, kil sınıflarının kalınlıklarının değişkenlik göstermesinden kaynaklandığı düşünülmüştür.

Zhao ve Cai, (2013) tarafından yapılan çalışmada sınıflama potansiyel analizi için, Çin Bina Sismik Tasarım Kodu 2010, SPT-CPT doğrulaması olarak kabul etmişlerdir. İstatistiksel ve regresyon analizleri temel metod olduğundan veri tabanı boyutu sonucunun doğruluğu için önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada da Çin Bina Sismik Tasarım Kodu 2010 metodunun Türkiye’de uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Ayrıca istatistiksel ve regresyon analizleri ile verilerin hazırlanarak doğruluğunun kanıtlanması için daha kapsamlı çalışmalar yapılması gerekmektedir.

SPT ve CPT ölçümlerinde farklılıkların olması ile karşılaştırılmayacağı ya da doğru bir korelasyon sağlanamayacağı bazı literatür kaynaklarında belirtilmiş olsa da bu çalışmada CPT qc değerlerinin SPT N değerlerine dönüştürülebilir olması ile birbiri arasında karşılaştırma yapmanın mümkün olduğunu ve doğru korelasyonların sağlanarak oluşturulabileceği belirlenmiştir.

Pekkan, Tün ve Güney (2014) tarafından yapılan çalışmada LI denilen sınıflama potansiyel analizini yaparak sınıflamanın büyük kısmının Porsuk çayı güzergah boyunca alüvyon zemine sahip alanın risk taşıdığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada da Porsuk güzergah boyunca sınıflamanın olduğu görülmekte ve sınıflama derecesinde değişiklik göstermiştir.

Eskişehir ilinin karmaşık jeolojik yapısı, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması nedeni sıvılaşma potansiyeli analizi yapılmıştır ve analiz sonucunda Şekil 6.1’de gösterilen çalışma alanına ait sıvılaşma tehlike haritası oluşturulmuştur.



Şekil 6.1. SPT ve CPT verileri kullanılarak sıvılaşma analiz sonucunda elde edilen IIE değerlerine bağlı olarak oluşturulan Eskişehir İli çalışma alanına ait sıvılaşma tehlike haritası

Sıvılaşma tehlike haritasına göre Eskişehir şehir merkezinde Porsuk çayı boyunca doğudan batıya doğru gidildikçe sıvılaşma potansiyelinin azaldığı görülmüştür. Sıvılaşma derecesinin azalma nedeni çalışma alanının batısında bulunan daha yaşlı alüvyon zeminlerden oluşmasına bağlı olarak zemin sıkılık derecesinin değişkenlik gösterebileceğinden kaynaklı olabileceği düşünülmüştür.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

SPT ve CPT arasındaki mesafe hesaplamaları ve sonuçları etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Mesafe ne kadar yakın olursa sonuçlar o kadar benzer çıkmaktadır. Bu çalışmada da mesafenin azalması ile sonuçların birbirine yakın değerlerde çıktığı belirlenmiştir. SPT deneyinde belirlenen ince içerik oranı, yeraltı su seviyesi, sondaj kuyu derinliği, deprem büyüklüğünün etkisi ile (N_{cri}) N kritik darbe hesabı yapılırken ilk üç faktör etkili olmaktadır.

Eskişehir İl sınırları ve çevresinde Emre vd.(2011)'de verilen çizgisel kaynakların kırılmasıyla ve noktasal kaynak olarak 20.02.1956 Eskişehir depreminin meydana getireceği ivme değerinin Eskişehir yerleşim yerini 0.39 g olarak etkileyeceği sonucunu elde etmiştir (Özmen, 2018). Bu çalışmada yer pik ivmesi 0,40 g olarak değerlendirme yapılmıştır. Sıvılaşmanın literatür çalışmalarında kumlu, siltli ve gevşek zeminlerde gerçekleştiği bilinmektedir.

Kumlu zeminlerin sıvılaşma indeks değerlerinin daha yüksek olması beklenilmektedir. Bu çalışmada sıvılaşma indeks değerlerin yüksek çıkması sonuçları desteklemektedir. Kil ve kil içerikli zeminlerde ise bu değerler daha düşük çıkmaktadır. Bunun nedeninin kil malzemesinin yapısal özelliklerinden kaynaklı olduğu düşünülmüştür. CPT verileri ile yapılan sıvılaşma indeks değerleri ile SPT verileri yapılan sıvılaşma indeks değerlerine göre daha düşük çıkmaktadır. CPT sonuçlarının daha düşük çıkma sebebinin derinlik kaynaklı ve zemin malzemelerinin yatay ve dikey olarak değişikliklerine bağlı olabileceği düşünülmüştür.

CPT verilerinde sıvılaşma potansiyel özelliği az ve orta seviyelerde iken SPT verilerinde orta ve yüksek olarak gözlemlenmiştir. SPT ve CPT deneyleri ile elde edilen sonuçlar farklılık göstermiş olsa da killi zeminlerde değerlerin düşük, kumlu zeminlerde değerlerin yüksek çıkması ile bölgede sıvılaşmanın mümkün olduğunu göstermiştir.

CPT qc değerlerinin N değerlerine dönüştürülebilir olması bize başta SPT N değerleri ile karşılaştırılabilirliğini ve birçok konuda avantaj sağladığını ortaya koymuştur. CPT ile numune alınamaması nedeni ile dezavantaj olarak düşünülse de bu çalışma ile bize istatistiksel olarak zemin indeks özelliklerinin belirlenebileceğini ve belli standartlar oluşturulabileceğini göstermiştir.

SPT ve CPT kullanılarak çalışma alanının sıvılaşma tehlike haritası oluşturulmuştur. Eskişehir merkezinde gerçekleştirilen bu çalışmada şehir merkezinin

doğusunda sıvılaşmanın yüksek düzeyde olduğu ve batıya doğru gidildikçe sıvılaşma potansiyeli derecesi azaldığı belirlenmiştir.

Sıvılaşma indeks değerleri hesaplanırken literatür araştırmaları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sıvılaşma potansiyeli yüksek olan kumlu zeminlerin daha yüksek sıvılaşma indeks değeri elde edilirken kil ve kil karışumlu zeminlerde daha düşük değerler çıkmıştır. Sıvılaşma analizi için Çin’de uygulanmakta olan Çin Kod Metodunun Türkiye içinde uygulanabilir olduğu düşünülmüştür.



KAYNAKÇA

- AFAD. (2018). Acil durum ve afet yönetim başkanlığı.
- Agaiby, S. S., Mayne, P. W. and Asce, P. M. (2020). İndirect estimation of fines content using the modified CPT material index. *Geo-Congress*, 317.
- Akca, N. (2003). Correlation of SPT- CPT data from the United Arab Emirates. *Engineering Geology* , 67, 219-231.
- Alam, M., Aaqib, M., sadiq, S., Mandokhail, J. S., Adeel, M. B., Rehman, M. u.-R. and Kakar, N. A. (2018). Empirical SPT - CPT correlation for soils from Lahore, Pakistan. *Materials Science and Engineering*, (s. 414).
- Alparslan, N. (2013). Zemin sıvılaşması ve sekanizması. *Batman university journal of life sciences*(3), 2.
- Altunel, E., ve Barka, A. (1998). Eskişehir fay zonunun İnönü-Sultandere arasında neotektonik aktivitesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 41(2), 41-52.
- Apaydın Poşluk, E., ve Koral, H. (2013). Bozüyük (Bilecik) - Oklubalı (Eskişehir) arasının neojen stratigrafisi ve yapısal özellikleri. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 26(2), 83-103.
- Atak , V. O., Aksu, O., Önder, M., Aydan , Ö., ve Toz, G. (1974). Zeminlerde sıvılaşmaya ve faylanmaya bağlı yer değiştirmelerin yön ve büyüklüklerinin fotogrametrik yöntemlerle belirlenmesi.
- Ayday, C., ve Sabah, L. (2014). Eskişehir İlçelerinin Deprem Riski Açısından Analizi. *TMMOB Eskişehir Kent Sempozyumu*, (s. 213-218).
- Baez, J. I., Martin, G. M., ve Youd, T. L. (2000). Comparison on SPT-CPT liquefaction evaluations and CPT interpretations. *Geotechnical site Characterization*(10), 17-31.
- Başbakanlık-PUB-MEER, T. C. (2006). Microzonation and hazard vulnerability studies for disaster mitigation: Eskişehir preliminary disaster mitigation plan. ÜÇER Müşavirlik joint venture.
- Casagrande, A. (1936a). Characteristics of Cohesionless Soils Affecting the Stability of Slopes and Earth Fils. *Journal of the Boston Societyof Civil Engineers, January; reprinted in Contributions to Soil Mechanics 1925-1940*, 257-276.
- Clayton, C.R., 1995. The standard penetration test (SPT): methods and use. *Construction Industry Research and Information Association*.

- Dağdeviren, U. (2019). Yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre sıvılaşma analizi ve sıvılaşmaya karşı iyileştirmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1), 153-165.
- Daniel, B. C., Jonathan , P. S., Jannon, L., Tsai, J. S., Lin, P. S., Chu, B. L., and Wang, C. M. (2004). Documentation of soil conditions at liquefaction and non-liquefaction sites from 1999 Chi- Chi (Taiwan) earthquake. *Soil dynamics and Earthquake Engineering* , 24, 647-657.
- Division of mines and geology. (1997). *Guidelines for Evaluating and mitigating seismic hazards in california* (Cilt 117). (D. O. conversation, Dü.) California.
- Erken, A., Özay, R., Kaya, Z., Ülker, M. C., ve Elibol, B. (2004). Depremler sırasında Zeminleirn Sıvılaşması ve Taşıma Gücü Kayıpları. *Türkiye Mühendislik Haberleri*(431).
- Erol, A. O., ve Çekinmez, Z. (2014). Geoteknik mühendisliğinde saha deneyleri (Cilt 14). Ankara: Yüksel proje yayınları.
- Eskişehir İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. (2006). Eskişehir İl Tarım ve Orman Müdürlüğü., <https://eskisehir.tarimorman.gov.tr/Menu/34/Genel-Bilgiler>
- Hore, R., Al-Mamun, S., and Ansary, M. A. (2018). SPT-CPT correlations for reclaimed areas of dhaka. *Journal of engineering Science*, 09(1), 35-46.
- Gözler, M.Z., Cevher, F., Ergül, E. and Asutay, H.J., 1996. Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi. *Mineral Research and Exploration (MTA) Raport*, (9973).
- Ishihara, K. (1985). Stability of Natural Deposits During Earthquakes. *Proceedings of the Eleventh International Conferance on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1, s. 321-376. San Francisco.
- Iwasaki, T. (1986). Soil liquefaction studies in japan: state- of- the- art. 5(1).
- Jackson, J. A., and McKenzie, D. (1988). The relationship between plate motions and seismic monment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East. *Geophys. J.*, 93.
- Jarushi, F., Alkaabim, S., and Cosentino, P. (2015). A new Correlation between SPT and CPT for Various Soils. *World Academic Science, Engineering and Technology International Journal of Geological and Envirenmental Engineering*(9), 2.
- Jeoloji Mühendisleri Odası, (2021). *2018 Türkiye bina deprem yönetmeliği ile uyumlu SPT- N düzeltmesine ilişkin hesap cetveli kullanım kılavuzu*.
- Kalafat, D., (2022). *Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem ve Araştırma Enstitüsü (KRDAE)*. <http://www.koeri.boun.edu.tr>

- Karayolları Genel Müdürlüğü. (1970). *Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)*.
<https://www.kgm.gov.tr>
- Maher, M.H. and Gucunski, N., 1995. Liquefaction, and dynamic properties of grouted sand. *Geotechnical Special Publication*, (49), pp.37-50.
- Mahler, A. and Szendefy, J., 2009. Estimation of CPT resistance based on DPH results. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 53(2), pp.101-106.
- MGM. (2022). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*. <https://www.mgm.gov.tr>
- MOHURD. (2016). Code for seismic design of buildings (GB 50011- 2010). Ministry of housing and urban-rural development (MOHURD) of the people's republic of China.
- MTA Genel Müdürlüğü. (1935). *Eskişehir İli Maden ve Enerji Kaynakları*.
- Öcal, N. (1959). 20 Şubat 1956 Ekişehir zelzelesinin makro ve mikrosismik etüdü. *İTÜ Sismoloji Enstitüsü*, 49.
- Tün, M., Pekkan, E., Özel, O. ve Guney, Y., 2016. An investigation into the bedrock depth in the Eskişehir Quaternary Basin (Turkey) using the microtremor method. *Geophysical Journal International*, 207(1), pp.589-607.
- Özmen, H. B. (2018). Eskişehir ili sismik tehlike analizi. *Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Pekkan, E., Tun, M., Guney, Y., and Mutlu, S., (2015). Integrated seismic risk analysis using simple weighting method: the case of residential Eskişehir, Turkey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(6), pp.1123-1133.
- Pekkan, E., Tün, M., ve Mutlu, S. (2018). Eskişehir alüvyon formasyonunun konumsal değişkenliğinin CPT ölçümleri ile belirlenmesi. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 36-46.
- Read, A.L., (1999). Linear interpolation of histograms. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 425(1-2), pp.357-360.
- Robert, W. D. (2002). *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook*. USA, America: McGraw- Hill Companies.
- Robertson, P. K., and Campanella, R. G. (1985). Liquefaction potential of sands using the CPT. *Journal of Geotechnical Engineering*, 111(3), 384-403.

- Robertson, P. K., Campanella, R., Gillespie, D., and Greig, J. (1986). Use of Piezometer Cone Data. *In Situ'86 Use of Insitu testing in Geotechnical Engineering, GSP 6, ASCE, Reston, VA, Specialty Publication* , 1263-1280.
- Robertson, P. K., and Wride, C. E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal* , 35, 442-459.
- Robertson , P. K. (2010). Soil behaviour type from the CPT: an update . *Greeg Drilling & Testing Inc.* .
- Robertson, P. K. (2012). Estimating in-situ state parameter and friction angle in sandy soils from CPT. *Canadian geotechnical journal* , 48(4), 599-615.
- Sanglerat, G. (1972). The penetration and soil exploration. Development in geotechnical engineering, *Elsevier Sci-entific Publishing, Newyork*, 52-80.
- Seed, H. B., ve Booker, J. R. (1976). *Stabilization of potentially liquefable sand deposits using gravel drain systems*. Earthquake research center, University of california at berkeley.
- Seed, R. B., Cetin, K. Ö., Moss, R. E., Kammerer, A. M., Pestana, W. J., Riemer, J. M., . and Faris, A. (2003). Recent advances in soil liquefaction engineering a unified and consistent framework. *26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar, California*, 1-72.
- Shahien, M. M., and Albatal, A. H. (2014). SPT - CPT Correlations for Nile Delta Silty Sand Deposits in Egypt. *3rd International Symposium on Cone Pneteration Testing*.
- Shibata, T., and Teperaksa, W. (1988). Evaluation of liquefaction potentials of soils using cone penetration tests. *Soils and Foundations*, 28(2), 49-60.
- Sonmez, H. (2003). Modification of the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (İnegöl, Turkey). *Environmental Geol.*, 862-871.
- Sönmez, B., Dağdelenler, G., Özcan, N. T., ve Ercanoğlu, M. (2015). Yapay Sinir Ağı kullanılarak CPT tabanlı Sıvılaşma Değerlendirme Abağının Geliştirilmesi. *Yer Bilimleri*, 36(2), 45-60.
- Sonmez, H. (2003). Modification of the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (İnegöl, Turkey). *Environmental Geol.*, 862-871.

- Sünnetçi, M. O., ve Ersoy, H. (2021). Sahilkent (Bafra, Samsun) yöresindeki alüvyal zeminlerin sıvılaşma. *GÜFBED/GUSTIJ*, 11(2), 288-304.
- Swan, A. R., ve Sandilands, M. (1995). Introduction to geological data analysis. Oxford: Blackwell.
- Tosun, H., Seyrek, E., Orhan, A., Savaş, H., ve Türköz, M. (2011). Soil liquefaction potential in Eskişehir, NW Turkey. *Nat. hazards earth system sciences*, 11, 1071-1082.
- TS 498. (1987). Türk Standardı yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri.
- Tün, M., vd.. "An investigation into the bedrock depth in the Eskisehir Quaternary Basin (Turkey) using the microtremor method." *Geophysical Journal International* 207.1 (2016): 589-607.
- Uyguçgil, H., Konuk, A., and Yerel Kandemir, S. (2007). Estimation of liquefaction potential using geostatistics in Eskişehir. 4(6), 1109-2277.
- Yi, F. (2014). Estimating soil fines contents from CPT data. *3rd International Symposium on Cone Penetration Testing*. La Vegas, Nevada, USA.
- Yılmaz Ünal, G., ve Özsoy, E. A. (2022, 04 21). *Eskişehir'in Jeolojisi, Geotekniği ve 1999 Depreminin Mevcut Yapılar Üzerine Etkisi*. İnşaat Mühendisleri Odası: <https://www.imo.org.tr>.
- Yılmaz, G., and Ozsoy, E. A. (2017). An overview of urban transformation applications in Eskişehir (Turkey) after the 1999 Earthquakes. *Proceedings of 3 rd international sustainable buildings symposium* .
- Youd, T. L., and Idriss, I. M. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(4), 297-313.
- Zhang, G., Robertson, P. K., ve Brachman, R. I. (2002). Estimating şiquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground . *Can. Geotech J.* (39), 1168-1180.
- Zhang, J., Tianpeng, W., Xiao, S., ve Gao, L. (2021). Chinese code methods for liquefaction potential assesment based on standart penetration test: An extension. *Soil dynamics and Eathquake Engineering*, 144.
- Zhao, X., ve Cai, G. (2013). SPT - CPT Correlaiton and Its Aplication for Liquefaction Evaluation in China. *Marine Geosources & Geotechnology*, 33

EKLER

EK-1: SPT verileri ile hesaplanan (Ncri) N kritik darbe hesapları

Sondaj No	Derinlik	Ncri	No	β	ds	dw	İnce Tane İçeriği (qe)
SPT-15	3-3,5	7	19	0,71	20	4,8	45
	6-6,5	8	19	0,71	20	4,8	37
	3-3,5	7	19	0,71	15	4	40
	5-5,5	5	19	0,71	15	4	82
	7,5-8	19	19	0,71	15	4	6
SPT-16	1,5-2	4	19	0,71	10	4,5	93
	3-3,5	4	19	0,71	10	4,5	86
	7,5-8	14	19	0,71	10	4,5	7
SPT-17	3-3,5	4	19	0,71	10	6	88
	9-9,5	12	19	0,71	10	6	8
SPT-18	4-4,5	4	19	0,71	10	5	97
	6-6,5	4	19	0,71	10	5	90
SPT-19	3-3,5	4	19	0,71	10	4	95
SPT-20	3-3,5	4	19	0,71	10	5	89
	4,5-5	4	19	0,71	10	5	81
	7,5-8	4	19	0,71	10	5	63
SPT-21	3-3,5	4	19	0,71	10	5	98
	6-6,5	4	19	0,71	10	5	87
	9-9,5	13	19	0,71	10	5	7
SPT-22	3-3,5	5	19	0,71	10	7	32
	7,5-8	3	19	0,71	10	7	98
SPT-23	3-3,5	4	19	0,71	10	5,3	98
	9-9,5	10	19	0,71	10	5,3	11
SPT-25	3-3,5	4	19	0,71	10	7	60
	9-9,5	14	19	0,71	10	7	5

Sondaj No	Derinlik	Ncri	No	B	ds	dw	İnce Tane İçeriği (qc)
SPT-28	3-3,5	3	19	0,71	10	6	97
	9-9,5	23	19	0,71	10	6	2
SPT-29	3-3,5	3	19	0,71	10	7	88
	9-9,5	12	19	0,71	10	7	7
SPT-30	3-3,5	4	19	0,71	10	4	89
	6-6,5	4	19	0,71	10	4	84
	7,5-8	15	19	0,71	10	4	6
SPT-32	1,5-2	21	19	0,71	20	6	5
	3-3,5	6	19	0,71	20	6	72
	1,5-2	6	19	0,71	20	6	71
	4,5-5	16	19	0,71	20	6	9
SPT-36	3-3,5	18	19	0,71	10	1,7	6
	6-6,5	19	19	0,71	10	1,7	5
	7,5-8	26	19	0,71	10	1,7	2,7
	3-3,5	13	19	0,71	10	1,7	11
	4,5-5	17	19	0,71	10	1,7	6,1
	6-6,5	19	19	0,71	10	1,7	5,3
SPT-37	7,5-8	15	19	0,71	10	1,7	8,6
	3-3,5	4	19	0,71	10	3	89
	5-5,5	4	19	0,71	10	3	90
	6,5-7	16	19	0,71	10	3	6
SPT-38	8-8,5	15	19	0,71	10	3	7
	3-3,5	4	19	0,71	10	4	98
SPT-39 (1)	6-6,5	4	19	0,71	10	4	73
	1,5-2	4	19	0,71	10	4	96
	3-3,5	4	19	0,71	10	4	95
SPT-39	6-6,5	4	19	0,71	10	4	85
	1,5-2	5	19	0,71	15	3,5	98
	3-3,5	5	19	0,71	15	3,5	98
SPT-40	6-6,5	5	19	0,71	15	3,5	84
	4-4,5	5	19	0,71	20	6	82
	7,5-8	6	19	0,71	20	6	58
	3-3,5	4	19	0,71	15	6	88

Sondaj No	Derinlik	Ncri	No	B	ds	dw	İnce Tane İçeriği (qc)
SPT-41	3-3,5	5	19	0,71	20	3,5	95
	6-6,5	11	19	0,71	20	3,5	22
	9-9,5	11	19	0,71	20	3,5	21
SPT-45	4-4,5	5	19	0,71	15	4	82
	6-6,5	6	19	0,71	15	4	62
	7,5-8	6	19	0,71	15	4	51
	4-4,5	5	19	0,71	15	4	88
	6-6,5	5	19	0,71	15	4	91
	7,5-8	6	19	0,71	15	4	66
	3-3,5	5	19	0,71	15	4	89
	4,5-5	5	19	0,71	15	4	91
	6-6,5	5	19	0,71	15	4	82
	7,5-8	13	19	0,71	15	4	12
SPT-46	3-3,5	14	19	0,71	20	5,9	12
	6-6,5	5	19	0,71	20	5,9	85
	8-8,5	6	19	0,71	20	5,9	66
	1,5-2	6	19	0,71	20	4,8	66
	4,5-5	5	19	0,71	20	4,8	95
	7,5-8	5	19	0,71	20	4,8	88
SPT-47	4,5-5	5	19	0,71	20	4,4	92
	5-5,5	6	19	0,71	20	4,4	75
	7,5-8	17	19	0,71	10	4,4	9
SPT-49	4-4,5	3	19	0,71	10	6,4	87
	6,5-7	9	19	0,71	10	6,4	12
SPT-50	6-6,5	4	19	0,71	15	7	82
	7,5-8	20	19	0,71	16	7	4
	4,5-5	15	19	0,71	16	7	7
	7,5-8	15	19	0,71	10	6,5	4
SPT-51	6-6,5	5	19	0,71	20	6,5	93
	3-3,5	9	19	0,71	15	6,5	18
	7,5-8	4	19	0,71	15	6,5	92

EK-2 CPT verileri ile hesaplanan (Ncri) N kritik darbe hesapları

CPT No	Derinlik	Ncri	Parantez	N₀	β	ds	dw	FC (%) İnce tane İçeriği
1	0-0,06	22,81	1,69	19	0,71	8,24	4,10	17
1	0,08-0,12	23,78	1,76	19	0,71	8,24	4,10	50
1	0,14-0,22	23,64	1,75	19	0,71	8,24	4,10	41
1	0,24-0,44	22,81	1,69	19	0,71	8,24	4,10	17
1	0,46-0,56	23,64	1,75	19	0,71	8,24	4,10	41
1	0,58	23,81	1,76	19	0,71	8,24	4,10	52
1	0,60-0,64	23,64	1,75	19	0,71	8,24	4,10	41
1	0,66-0,72	23,82	1,77	19	0,71	8,24	4,10	53
1	0,74-0,84	23,66	1,75	19	0,71	8,24	4,10	42
1	0,86-0,88	22,88	1,70	19	0,71	8,24	4,10	18
1	0,90-0,94	23,64	1,75	19	0,71	8,24	4,10	41
1	0,96-1,72	24,16	1,79	19	0,71	8,24	4,10	96
1	1,74-1,78	24,06	1,78	19	0,71	8,24	4,10	80
1	1,80-2,18	24,17	1,79	19	0,71	8,24	4,10	98
1	2,20-2,22	24,08	1,78	19	0,71	8,24	4,10	82
1	2,24-2,26	23,88	1,77	19	0,71	8,24	4,10	58
1	2,28-2,30	23,67	1,75	19	0,71	8,24	4,10	43
1	2,32-2,44	23,84	1,77	19	0,71	8,24	4,10	55
1	2,46-2,52	24,06	1,78	19	0,71	8,24	4,10	80
1	2,54-2,60	23,87	1,77	19	0,71	8,24	4,10	57
1	2,62-2,68	24,07	1,78	19	0,71	8,24	4,10	81
1	2,70-2,82	24,16	1,79	19	0,71	8,24	4,10	96
1	2,84-2,96	15,55	1,15	19	0,71	8,24	4,10	1
1	2,98-3,02	23,64	1,75	19	0,71	8,24	4,10	41
1	3,04-3,88	24,16	1,75	19	0,71	8,24	4,10	97
1	3,90-3,98	24,09	1,79	19	0,71	8,24	4,10	84
1	4,00-4,22	24,17	1,79	19	0,71	8,24	4,10	99
1	4,24-4,28	23,91	1,77	19	0,71	8,24	4,10	61
1	4,30-4,54	24,09	1,79	19	0,71	8,24	4,10	84
1	4,56-4,68	24,17	1,75	19	0,71	8,24	4,10	43

CPT No	Derinlik	Ncri	Parantez	No	β	ds	dw	FC (%)
								İnce tane içeriği
1	4,70-5,34	15,55	1,15	19	0,71	8,24	4,10	1
1	5,36-5,42	21,51	1,59	19	0,71	8,24	4,10	7
1	5,44-5,46	23,62	1,75	19	0,71	8,24	4,10	40
1	5,48-5,52	23,81	1,76	19	0,71	8,24	4,10	52
1	5,54-5,70	24,16	1,79	19	0,71	8,24	4,10	96
1	5,72-5,76	24,08	1,78	19	0,71	8,24	4,10	82
1	5,78-5,82	23,88	1,77	19	0,71	8,24	4,10	58
1	5,84-5,96	24,08	1,79	19	0,71	8,24	4,10	83
1	5,98-6,14	23,91	1,77	19	0,71	8,24	4,10	61
1	6,16-6,18	24,07	1,78	19	0,71	8,24	4,10	81
1	6,20-6,42	23,88	1,77	19	0,71	8,24	4,10	58
1	6,44-6,56	23,66	1,75	19	0,71	8,24	4,10	42
1	6,58-6,76	22,94	1,70	19	0,71	8,24	4,10	19
1	6,78-6,80	23,66	1,75	19	0,71	8,24	4,10	42
1	6,82-6,88	22,94	1,70	19	0,71	8,24	4,10	19
1	6,90-6,92	23,66	1,75	19	0,71	8,24	4,10	42
1	6,94-6,96	23,85	1,77	19	0,71	8,24	4,10	56
1	6,98-7,00	23,66	1,75	19	0,71	8,24	4,10	42
1	7,02-7,10	22,88	1,70	19	0,71	8,24	4,10	18
1	7,12-7,16	21,75	1,61	19	0,71	8,24	4,10	8
1	7,18-7,22	22,81	1,69	19	0,71	8,24	4,10	17
1	7,24	23,64	1,75	19	0,71	8,24	4,10	41
1	7,26-7,28	24,06	1,78	19	0,71	8,24	4,10	79
1	7,30-7,32	23,84	1,77	19	0,71	8,24	4,10	55
1	7,34-7,38	24,06	1,78	19	0,71	8,24	4,10	79
1	7,40-7,42	21,75	1,61	19	0,71	8,24	4,10	8
1	7,44-8,02	15,55	1,15	19	0,71	8,24	4,10	1
1	8,04	21,22	1,57	19	0,71	8,24	4,10	6
1	8,06-8,24	15,55	1,15	19	0,71	8,24	4,10	1

EK-3: CPT loglarının litolojiye sınıflandırılması ve hesaplanmış N değerlerinden bir örnek

CPT	DERİNLİK	LİTOLOJİ	ORT. Q _c	N
CPT-1	0-0,06	Siltli Kum ile Kumlu silt	3,92	9,19
	0,08-0,12	Kil silt ile Siltli Kil	3,95	12,39
	0,14-0,22	Kumlu silt ile Kil silt	3,83	11,35
	0,24-0,44	Siltli Kum ile Kumlu silt	4,29	10,05
	0,46-0,56	Kumlu silt ile Kil silt	3,78	11,21
	0,58	Kil silt ile Siltli Kil	3,15	9,88
	0,60-0,64	Kumlu silt ile Kil silt	2,95	8,75
	0,66-0,72	Kil silt ile Siltli Kil	2,44	7,65
	0,74-0,84	Kumlu silt ile Kil silt	2,26	6,72
	0,86-0,88	Siltli Kum ile Kumlu silt	3,17	7,43
	0,90-0,94	Kumlu silt ile Kil silt	4,03	11,97
	0,96-1,72	Kil	1,76	6,04
	1,74-1,78	Siltli Kil ile Kil	1,29	4,04
	1,80-2,18	Kil	0,80	2,76
	2,20-2,22	Siltli Kil ile Kil	1,02	3,21
	2,24-2,26	Kil silt ile Siltli Kil	1,12	3,50
	2,28-2,30	Kumlu silt ile Kil silt	1,42	4,20
	2,32-2,44	Kil silt ile Siltli Kil	1,49	4,70
	2,46-2,52	Siltli Kil ile Kil	1,46	4,57
	2,54-2,60	Kil silt ile Siltli Kil	1,33	4,20
	2,62-2,68	Siltli Kil ile Kil	1,07	3,34
	2,70-2,82	Kil	1,44	4,96
	2,84-2,96	Kum	10,96	2,61
	2,98-3,02	Kumlu silt ile Kil silt	3,34	9,90
	3,04-3,88	Kil	1,47	5,05
	3,90-3,98	Siltli Kil ile Kil	0,61	1,91
	4,00-4,22	Kil	0,50	1,71
	4,24-4,28	Kil silt ile Siltli Kil	0,69	2,20
	4,30-4,54	Siltli Kil ile Kil	0,62	1,94
	4,56-4,68	Kumlu silt ile Kil silt	1,29	3,80
	4,70-5,34	Kum	16,30	7,95
	5,36-5,42	Kum ile Siltli Kum	9,38	22,00
	5,44-5,46	Kumlu silt ile Kil silt	4,92	14,60
	5,48-5,52	Kil silt ile Siltli Kil	3,07	9,60
5,54-5,70	Kil	1,52	5,21	
5,72-5,76	Siltli Kil ile Kil	1,07	3,36	

CPT	DERİNLİK	LİTOLOJİ	ORT. Q_c	N
	5,78-8,82	Kil silt ile Siltli Kil	1,01	3,20
	5,84-5,96	Siltli Kil ile Kil	0,81	2,54
	5,98-6,14	Kil silt ile Siltli Kil	0,73	2,30
	6,16-6,18	Siltli Kil ile Kil	1,03	3,22
	6,20-6,42	Kil silt ile Siltli Kil	1,11	3,50
	6,44-6,56	Kumlu silt ile Kil silt	1,97	5,80
	6,58-6,76	Siltli Kum ile Kumlu silt	2,22	5,19
	6,78-6,80	Kumlu silt ile Kil silt	1,98	5,90
	6,82-6,88	Siltli Kum ile Kumlu silt	2,46	5,75
	6,90-6,92	Kumlu silt ile Kil silt	2,20	6,50
	6,94-6,96	Kil silt ile Siltli Kil	1,45	4,60
CPT-1	6,98-7,00	Kumlu silt ile Kil silt	1,56	4,60
	7,02-7,10	Siltli Kum ile Kumlu silt	3,33	7,80
	7,12-7,16	Kum ile Siltli Kum	6,17	14,40
	7,18-7,22	Siltli Kum ile Kumlu silt	4,03	9,43
	7,24	Kumlu silt ile Kil silt	2,63	7,80
	7,26-7,28	Siltli Kil ile Kil	1,81	5,66
	7,30-7,32	Kil silt ile Siltli Kil	1,72	5,40
	7,34-7,38	Siltli Kil ile Kil	1,74	5,47
	7,40-7,42	Kum ile Siltli Kum	6,13	14,40
	7,44-8,02	Kum	11,54	3,19
	8,04	Kum ile Siltli Kum	15,77	36,90
	8,06-8,24	Kum	12,91	4,56