

Muhammet DİNGİL



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**ZEMİN MEKANİĞİNDE ENDEKS
DENEYLERİ İÇİN İNTERNET
TABANLI BİR UYGULAMANIN
GELİŞTİRİLMESİ**

Muhammet DİNGİL

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

OCAK 2020

OCAK 2020





**ZEMİN MEKANİĞİNDE ENDEKS DENEYLERİ İÇİN
İNTERNET TABANLI BİR UYGULAMANIN GELİŞTİRİLMESİ**

Muhammet DİNGİL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2020

Muhammet DİNGİL tarafından hazırlanan “ZEMİN MEKANİĞİNDE ENDEKS DENEYLERİ İÇİN İNTERNET TABANLI BİR UYGULAMANIN GELİŞTİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / ~~OY ÇOKLUĞU~~ ile İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Murat ÖRNEK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.



Başkan: Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi


Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.



Üye: Prof. Dr. Abdulazim YILDIZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi

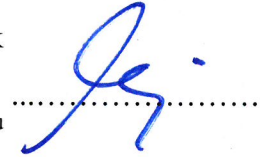
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.



Üye: Dr. Öğr. Üyesi İpek ABASIKELEŞ TURGUT

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.



Tez Savunma Tarihi: 13 / 01 / 2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Tolga DEPCI

Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Yükseköğretim Kuruluna gönderilen kopya ile tarafından Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü'ne verilen basılı ve/veya elektronik kopyaların birebir aynı olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Muhammet DİNGİL

13/01/2020

ZEMİN MEKANİĞİNDE ENDEKS DENEYLERİ İÇİN
İNTERNET TABANLI BİR UYGULAMANIN GELİŞTİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammet DİNGİL

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2020

ÖZET

Zeminlere ait fiziksel, boyutsal ve yapısal birtakım endeks özelliklerin saptanması, bir geoteknik mühendisliği çalışmasının en önemli adımlarından birini oluşturmaktadır. Zeminlere ait bu temel özellikler ise, belirli geoteknik laboratuvar/arazi deneylerinin yapılması neticesinde belirlenebilmektedir. Bu kapsamda yapılan deneylerin bağlı olduğu normlara uygun olarak gerçekleştirilmesinin yanında, bu deneylere ait matematiksel hesaplamaların hatasız ve esnek bir biçimde yürütülmesi de ayrı bir önem arz etmektedir. Deneylerin niceliği, bazı deneylere ait çok adımlı veri alma süreci ve deney değerlendirme yöntemine erişebilirlik gibi hususlar göz önüne alındığında bu konuda geniş kapsamlı bir çalışma yapılması gerekli görülmüştür. Bu tez çalışmasında; zemin endeks özelliklerini belirlemek için kullanılan deneylerin (birim hacim ağırlık, su içeriği, özgül ağırlık, kıvam limitleri, elek analizi, hidrometre, kompaksiyon, kum konisi, sınıflandırma) esas alındığı, ASP.NET Core çapraz geliştirme platformu çatısı altında ve C#, JavaScript ile HTML yazılım dilleri aracılığıyla kodlanarak internet tabanlı sanal bir geoteknik mühendisliği yazılımı geliştirilmiştir. Yazılımda yer alan deneylerdeki tüm girdi verileri ile birtakım sonuç çıktıları, Entity Framework Core aracılığıyla derlenerek Azure bulut platform hizmeti içerisinde oluşturulan uzaktan erişimli bir SQL veri tabanına aktarılması sağlanmıştır. Böylelikle son kullanıcılara tercihlerine bağlı olarak, bir internet tarayıcısı üzerinden uzaktan erişimli bir veritabanıyla haberleşmeli ya da yerel sunucu üzerinden sınırlı sayıda veri kaydedilebilir şekilde derlemeli olarak iki farklı kullanım seçeneği sunulmuştur. Yazılımın doğrulaması, literatürde yer alan deneysel veriler kullanılarak sağlanmıştır. Veri yoğunluğunun artması halinde gerçek cihazlar üzerinde disk depolama alanına ihtiyaç duyulması ve olası bir sorunda deneylere ait tüm girdi-çıkı verilerinin yitirilmesi gibi durumlara karşın geliştirilen bu yazılım ile kalıcı bir çözüm sunulmuştur. Geliştirilen geoteknik web yazılımı; Türkçe ve İngilizce dil seçeneklerinde erişime sunulmuş, ulusal ve uluslararası ölçekte, eş zamanlı ve çok kullanıcı bir şekilde kullanılabilirliği sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: ASP.NET Core, Azure, Entity Framework, zemin endeks özellikleri, laboratuvar deneyleri, zemin sınıflandırılması, yazılım geliştirilmesi, internet tabanlı uygulama

Sayfa Adedi: 181

Danışman: Doç. Dr. Murat ÖRNEK

DEVELOPMENT OF A WEB-BASED APPLICATION
FOR INDEX TESTS IN SOIL MECHANICS

(M. Sc. Thesis)

Muhammet DİNGİL

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

January 2020

ABSTRACT

In geotechnical engineering, physical, dimensional and structural index properties of soils constitute one of the most important design steps of an ongoing geotechnical study. These basic properties of soils can be determined as a result of certain geotechnical laboratory / in-situ tests. In addition to carrying out the experiments carried out in this context in accordance with the norms to which it is based, it is also important to carry out mathematical calculations of these experiments in an error-free and flexible manner. Considering the number of experiments, the multi-step data retrieval process of some experiments and the accessibility of the test evaluation method, a comprehensive study on this subject was deemed necessary. In this thesis; a virtual geotechnical engineering software which is a web-based application has been developed based on the experiments (unit volume weight, moisture content, specific gravity, Atterberg limits, sieve analysis, hydrometer test, compaction test, sand cone test, soil classification) used to determine the properties of soil index were programmed with C#, JavaScript, HTML programming languages under the ASP.NET Core cross-platform framework. All input data in the experiments included in the software and some output outputs were compiled through Entity Framework Core and migrated to a remote SQL database created in Azure cloud platform service. Thus, end-users are offered two different usage options depending on their preferences by communicating with an internet browser or compiling a limited number of data on the local servers. The validation of the software was provided by using experimental data in the literature. Consequently, a permanent solution is provided with this software which is developed against the loss of all input-output data of experiments in a possible problem and needing disk storage space on real devices in case of increased data density. Thanks to this geotechnical web application; Turkish and English language options have been made available and can be used at the national and international scales simultaneously and in a multi-user manner.

Keywords: ASP.NET Core, Azure, Entity Framework, soil index properties, laboratory experiments, soil classification, software development, web-based application

Page Number: 181

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Murat ÖRNEK

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması boyunca araştırma ve tasarlama süreçlerinde yol gösteren gerek teorik altyapı gerekse yazın esnası her türlü bilgi birikimini aktaran, çalışma konusunun esasını oluşturan yazılım geliştirme sürecinde büyük bir titizlik içerisinde geri bildirimlerde bulunan ve her konuda maddi manevi desteklerini esirgemeyen danışman hocam saygıdeğer bilim insanı Doç. Dr. Murat ÖRNEK 'e “İskenderun Teknik Üniversitesi” teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tez çalışması süresince sahip olduğu birikimi ve tecrübeleri paylaşan, bilimsel araştırma çalışmalarında bilfiil yardımcı olan, ihtiyaç duyduğum teknik konularda desteklerini sağlayan, lisansüstü eğitim-öğretim sürecinde gerek gördüğüm bilimsel yazınları temin eden değerli hocam saygıdeğer bilim insanı Arş. Gör. Yakup TÜREDİ 'ye “İskenderun Teknik Üniversitesi” teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bu tez çalışmasını; tüm eğitim-öğretim hayatım boyunca şahsıma her türlü desteği, yardımı ve inancı gösteren, bu hayattaki en büyük hayali ise şahsımı bir bilim insanı olarak görmek olan, bu tez çalışması esnasında kendisini kaybettiğim, ilk hocam sevgili babam Hanefi DİNGİL'e ithaf ediyorum.

Babam HANEFİ DİNGİL'in onuruna...

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Geoteknik Mühendisliğinde Mühendislik Yazılımları Üzerine Çalışmalar.....	5
2.2. İnşaat Mühendisliği Diğer Alt Bilim Dallarında Mühendislik Yazılımları Üzerine Çalışmalar.....	8
2.3. Bilimsel Yazın Taraması Neticesinde Yapılan Değerlendirme ve Çalışmanın Özgün Değeri.	10
3. YÖNTEM.....	11
4. ARAŞTIRMA VE TASARIM.....	19
4.1. Zeminlerde Temel Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	21
4.1.1. Birim hacim ağırlık deneyi	21
4.1.2. Su içeriği deneyi	25
4.1.3. Özgül ağırlık deneyi	28
4.2. Zeminlerde Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi.....	33
4.2.1. Casagrande likit limit deneyi	35
4.2.2. Tek noktalı Casagrande likit limit deneyi.....	41

4.2.3. Koni batma likit limit deneyi	44
4.2.4. Tek noktalı koni batma likit limit deneyi	52
4.2.5. Plastik limit deneyi	55
4.2.6. Büzülme limiti deneyi (cıva yöntemi)	60
4.2.7. Büzülme limiti deneyi (cihaz yöntemi)	66
4.2.8. Lineer rötre limiti deneyi	70
4.3. Zeminlerde Dane Çapı Dağılımının Belirlenmesi.....	72
4.3.1. Elek analizi deneyi.....	74
4.3.2. Hidrometre deneyi	81
4.4. En Elverişli (Optimum) Su İçeriğinin ve Yerinde Yoğunluğun Belirlenmesi...	94
4.4.1. Sıkıştırma (Kompaksiyon) deneyi	95
4.4.2. Kum konisi deneyi.....	103
4.5. Zeminlerin Sınıflandırılması	109
4.5.1. USCS zemin sınıflandırma sistemi.....	111
4.5.2. AASHTO zemin sınıflandırma sistemi.....	114
4.5.3. Türk zemin sınıflandırma sistemi	118
4.5.4. USDA (Üçgen) zemin sınıflandırma sistemi.....	120
4.5.5. ESCS zemin sınıflandırma sistemi	125
4.6. Yazılım Genel Arayüzü, Depolama Durumu ve Dil Seçeneği.....	129
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	130
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	131
KAYNAKLAR	134
EKLER.....	140
EK-1. Birim hacim ağırlık deneyi yazılım arayüzleri	141

Sayfa

EK-2. Su içeriği deneyi yazılım arayüzleri	142
EK-3. Özgül ağırlık deneyi yazılım arayüzleri	143
EK-4(a). Casagrande likit limit deneyi yazılım arayüzleri	144
EK-4(b). Casagrande likit limit deneyi yazılım arayüzleri (devam).....	145
EK-5. Tek noktalı Casagrande likit limit deneyi yazılım arayüzleri.....	146
EK-6(a). Koni batma likit limit deneyi yazılım arayüzleri	147
EK-6(b). Koni batma likit limit deneyi yazılım arayüzleri (devam).....	148
EK-7. Tek noktalı koni batma likit limit deneyi yazılım arayüzleri	149
EK-8. Plastik limit deneyi yazılım arayüzleri	150
EK-9. Büzülme limiti (cıva yöntemi) deneyi yazılım arayüzleri	151
EK-10(a). Büzülme limiti (cihaz yöntemi) deneyi yazılım arayüzleri.....	152
EK-10(b). Büzülme limiti (cihaz yöntemi) deneyi yazılım arayüzleri (devam)	153
EK-11. Lineer rötire limiti (doğrusal büzülme) deneyi yazılım arayüzleri.....	154
EK-12(a). Elek analizi deneyi yazılım arayüzleri	155
EK-12(b). Elek analizi deneyi yazılım arayüzleri (devam).....	156
EK-12(c). Elek analizi deneyi yazılım arayüzleri (devam).....	157
EK-12(d). Elek analizi deneyi yazılım arayüzleri (devam).....	158
EK-13(a). Hidrometre deneyi yazılım arayüzleri.....	159
EK-13(b). Hidrometre deneyi yazılım arayüzleri (devam)	160
EK-13(c). Hidrometre deneyi yazılım arayüzleri (devam)	161
EK-13(d). Hidrometre deneyi yazılım arayüzleri (devam)	162
EK-13(e). Hidrometre deneyi yazılım arayüzleri (devam)	163
EK-14. Kum konisi deneyi yazılım arayüzleri.....	164
EK-15(a). Sıkıştırma (Kompaksiyon) deneyi yazılım arayüzleri.....	165

	Sayfa
EK-15(b). Sıkıştırma (Kompaksiyon) deneyi yazılım arayüzleri (devam)	166
EK-16. USCS zemin sınıflandırma sistemi çözümü yazılım arayüzleri	167
EK-17. Türk zemin sınıflandırma sistemi çözümü yazılım arayüzleri	168
EK-18. ESCS zemin sınıflandırma sistemi çözümü yazılım arayüzleri.....	169
EK-19. USDA (Üçgen) zemin sınıflandırma sistemi çözümü yazılım arayüzleri	170
EK-20. AASHTO zemin sınıflandırma sistemi çözümü yazılım arayüzleri	171
EK-21. Azure sunucu hizmeti üzerinde oluşturulan uzaktan erişimli SQL veritabanı	172
EK-22(a). Yazılıma ait İngilizce dil seçeneği modunda yer alan arayüz örnekleri ..	173
EK-22(b). Yazılıma ait İngilizce dil seçeneği modunda yer alan arayüz örnekleri (devam).....	174
EK-22(c). Yazılıma ait İngilizce dil seçeneği modunda yer alan arayüz örnekleri (devam).....	175
EK-23. Yazılıma ait kullanıcı gösterge paneli ile panel üzerinde yer alan deneyler	176
EK-24(a). Yazılım ile bilimsel yazınlar arasında yapılan kıyaslama sonuçları	177
EK-24(b). Yazılım ile bilimsel yazınlar arasında yapılan kıyaslama sonuçları (devam).....	178
EK-24(c). Yazılım ile bilimsel yazınlar arasında yapılan kıyaslama sonuçları (devam).....	179
EK-24(d). Yazılım ile bilimsel yazınlar arasında yapılan kıyaslama sonuçları (devam).....	180
ÖZGEÇMİŞ	181

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. ASP.NET Core MVC özellikleri	16
Çizelge 4.1. Zemin örneklerinden alınması gereken en az numune miktarları (ASTM D2216, 2010)	25
Çizelge 4.2. Zemin örneklerinden alınması gereken en az numune miktarları (TS 1900-1, 2006)	26
Çizelge 4.3. Özgül ağırlık deneyi önerilen deney numune kütleleri (ASTM D854, 2014)	30
Çizelge 4.4. Tek noktalı koni batma likit limit deneyi k katsayıları (BS 1377-2, 1990)	54
Çizelge 4.5. Plastisite indisinin nitel olarak sınıflandırılması (Burmister, 1949)	58
Çizelge 4.6. Eşit kürelerdeki danecik boyutu, kütlesi ve yüzey alanı (Head, 2006: 164)	72
Çizelge 4.7. ASTM standart esasına göre bazı eleklerin adı ve elek göz açıklığı (ASTM E 11, 2009)	75
Çizelge 4.8. Sıcaklık ve özgül ağırlık değerlerine bağlı K sabit katsayıları (ASTM D422-63, 2007)	88
Çizelge 4.9. ASTM hidrometre tiplerine göre standart hidrometre ölçüleri ve okuma ile ölçüm değerleri (ASTM D422-63, 2007)	90
Çizelge 4.10. 151H hidrometresi için etkin derinlik değerleri (ASTM D422-63, 2007)	91
Çizelge 4.11. 152H hidrometresi için etkin derinlik değerleri (ASTM D422-63, 2007)	92
Çizelge 4.12. 2,5 kg ağırlığındaki tokmak için deney kıstasları (Yılmaz ve diğerleri, 2016: 75)	98
Çizelge 4.13. 4,5 kg ağırlığındaki tokmak için deney kıstasları (Yılmaz ve diğerleri, 2016: 75)	98
Çizelge 4.14. USCS zemin tanımlamasında kullanılan semboller	111
Çizelge 4.15. USCS'de zeminlerin derecelenmeye göre tanımları (ASTM D 2487, 2017)	112
Çizelge 4.16. AASHTO zemin sınıflandırma tablosu (AASHTO M-145-91, 2008)	115

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.17. AASHTO ile USCS olası zemin sınıfı eşdeğerlilik karşılaştırması (Das ve Sobhan, 2017)	116
Çizelge 4.18. Türk zemin sınıflandırma sisteminde kullanılan semboller.....	118
Çizelge 4.19. TS 1500 (2000)'e göre plastisite sınır şartları	119
Çizelge 4.20. USDA-USCS zemin sınıfı karşılaştırma örnekleri.....	123
Çizelge 4.21. ESCS zemin tanımlamasında kullanılan semboller.....	126
Çizelge 4.22. ESCS'de zeminlerin derecelenmeye göre tanımları (Kovačević ve diğerleri, 2018)	127



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Yazılımda kullanılan veri sorgu akışı.....	14
Şekil 3.2. Ara yazılımın (orta katman ürünü) yürütülmesi örneği (Chiaretta, 2018: 12)	15
Şekil 4.1. Doğal zemin ortamı ve örnek bir zemin elemanı (Uzuner, 2016: 19).....	19
Şekil 4.2. Zemin fazları (Budhu, 2015: 24)	22
Şekil 4.3. Zeminin dane durumuna göre kullanılan piknometreler (Uzuner, 2016: 35)	29
Şekil 4.4. Atterberg sınırları (Das ve Sobhan, 2017: 96).....	34
Şekil 4.5. Likit limit deney cihazı (Das ve Sobhan, 2017: 97)	36
Şekil 4.6. Likit limit deneyi: (a) zeminin Casagrande aletinde yerleşimi (b) oluk açma aletinin kullanımı (Head, 2006: 89).....	37
Şekil 4.7. Temsili olarak Casagrande cihazı ve açılan bir oluk (Budhu, 2015: 40).....	37
Şekil 4.8. Likit limitin belirlenmesi (Das ve Sobhan, 2017: 100)	40
Şekil 4.9. Koni batma deneyi düzeneği: (a) (Budhu, 2015: 42); (b) (Uzuner, 2016: 84)	46
Şekil 4.10. Batma miktarının saptanması (Das ve Sobhan, 2017: 102).....	49
Şekil 4.11. Koni batma deneyinde likit limit tayini (Das ve Sobhan, 2017: 102)	50
Şekil 4.12. Plastik limit deney ortamı (Uzuner, 2016, 85)	56
Şekil 4.13. Casagrande plastisite kartı (Das ve Sobhan, 2017: 117)	59
Şekil 4.14. Büzülme sınırının tanımı (Das ve Sobhan, 2017: 108).....	61
Şekil 4.15. Büzülme limiti deneyine ait bazı donanımların ölçüleri (Liu ve Evett, 2009: 105)	62
Şekil 4.16. Büzülme limiti deneyi: (a) zemin örneği kurumadan önce; (b) zemin örneği kurduktan sonra (Das ve Sobhan, 2017: 109).....	64
Şekil 4.17. Bir boyutlu doğrusal büzülme sınırının saptanması (Uzuner, 2016: 89).....	71
Şekil 4.18. Zemin dane biçimleri (Uzuner, 2016: 11)	73
Şekil 4.19. Elek analizi örneği (Liu ve Evett, 1991: 13).....	76
Şekil 4.20. Elek analizinde kullanılan çapraz çıkartma yöntemi (Budhu, 2015: 14).....	78
Şekil 4.21. Kritik dane çapları (Das ve Sobhan, 2017: 49).....	79
Şekil 4.22. Dane çapı dağılımının derecelenme durumları (Budhu, 2015: 8)	80

Şekil	Sayfa
Şekil 4.23. Hidrometre tipleri: (a) ASTM 152H hidrometresi (Das ve Sobhan, 2017: 45); (b) ASTM 151H hidrometresi (Orhan ve diğerleri, 2004: 132)	82
Şekil 4.24. Asıl hidrometre okuması ve düzeltilmiş hidrometre okumasının saptanması (Orhan ve diğerleri, 2004: 128).....	86
Şekil 4.25. Hidrometre deneyinde <i>L</i> etkin derinliğin tanımlanması (Das ve Sobhan, 2017:	89
Şekil 4.26. Sıkıştırılmış bir zeminde su içeriği-kuru yoğunluk ilişkisi (Uzuner, 2016: 218)	96
Şekil 4.27. Standart Proktor deney donanımları (Das ve Sobhan, 2017: 158)	97
Şekil 4.28. En elverişli (optimum) su içeriği – en yüksek kuru birim hacim ağırlık tespiti (Das ve Sobhan, 2017: 160)	101
Şekil 4.29. Bazı zemin çeşitleri için tipik sıkıştırma eğrisi örnekleri (Das ve Sobhan, 2017: 162).....	102
Şekil 4.30. Yerinde birim hacim ağırlık deneyinde Ottawa kumu kullanılması (Das ve Sobhan, 2017: 189).....	105
Şekil 4.31. Yerinde birim hacim ağırlığın belirlenmesinde deney düzeneği (Yılmaz ve diğerleri, 2009: 53).....	106
Şekil 4.32. Bazı standartlara göre zemin malzeme cinsi boyutları sınır şartları.....	110
Şekil 4.33. USCS zemin sınıflandırma sisteminde plastisite abağı (ASTM D 2487, 2017)	113
Şekil 4.34. A-2, A-4, A-5, A-6 ve A-7 zemin sınıflarının likit limit ile plastisite indisi aralığı (Das ve Sobhan, 2017: 134).....	117
Şekil 4.35. Zemin doku üçgeni (USDA, 2017: 125).....	121
Şekil 4.36. USDA zemin dokusu üçgeninde takip edilen anahtar yönler.....	125
Şekil 4.37. ESCS zemin sınıflandırma esasına göre plastisite abağı (Kovačević ve diğerleri, 2018)	128

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. .NET Core ve .NET Framework ortamlarının karşılaştırılması (Lock, 2018: 7).....	12
Resim 3.2. ASP.NET Core örnek bir başlangıç sınıfı.....	13
Resim 3.3. ASP.NET Core MVC mimari yapısının veritaban destekli çalışma döngüsü.....	16
Resim 3.4. ASP.NET Core web uygulaması oluşturma karşılama arayüzü	17
Resim 3.5. Önerilen yazılımın geliştirilmesinde kullanılan tasarım öğeleri.....	18



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
°C	santigrat
µm	mikrometre
C++	C plus plus yazılım dili
C#	C sharp yazılım dili
C _c	dane derecelenme katsayısı
cm	santimetre
C _u	dane eşşekillilik katsayısı
dk	dakika
g	gram
H	ASTM Soil Hydrometers (ASTM zemin hidrometreleri)
kg	kilogram
ml	mililitre
mm	milimetre
NaPO ₃	sodyum hegzametafosfat
Ø	çap
R	R istatistiksel hesaplama dili

Kısaltmalar	Açıklamalar
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials (Amerikan Devlet Karayolu ve Taşımacılık Görevlileri Birliği)
API	Application Programming Interface (Uygulama Programlama Arayüzü)
ASP	Active Server Pages (Aktif Hizmet Sayfaları)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu)
BS	British Standard (İngiliz Standardı)

Kısaltmalar	Açıklamalar
CATIGE	Computer Aided Teaching In Geotechnical Engineering (Geoteknik Mühendisliğinde Bilgisayar Destekli Eğitim)
CEN	European Committee for Standardization (Avrupa Standartlar Komitesi)
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DSİ	Devlet Su İşleri
EN	European Norms (Avrupa Normları)
ESCS	European Soil Classification System (Avrupa Zemin Sınıflandırma Sistemi)
HTML	Hyper Text Markup Language (Hiper Metin İşaretleme Dili)
HTTP	HyperText Transfer Protocol (Hiper Metin Aktarma Protokolü)
IoT	Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Örgütü)
iOS	iPhone/iPad Operating System (iPhone/iPad İşletim Sistemi)
LINQ	Language Integrated Query (Dile Entegre Edilmiş Sorgu)
MacOS	Mac Operating System (Mac İşletim Sistemi)
MATLAB	Matrix Laboratory Programming Language (Matris Laboratuvarı Yazılım Dili)
max	En Fazla
min	En Az
MVC	Model View Controller (Örnek Görünüm Denetleyici)
NET	Microsoft NET Framework (Microsoft NET Yazılım Çerçevesi)
ORM	Object-Relational Mapping (Nesne-İlişkisel Haritalama)

Kısaltmalar	Açıklamalar
SQL	Structured Query Language (Yapısal Sorgulama Dili)
TC	Technical Committee (Teknik Komite)
TRRL	Transport and Road Laboratory (Ulaştırma ve Yol Laboratuvarı)
TS	Türk Standardı
USCS	Unified Soil Classification System (Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi)
USDA	United States Department of Agriculture (Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı)
UWP	Universal Windows Platform (Evrensel Windows Platformu)
VBA	Visual Basic Application (Visual Basic Uygulaması)
WinDOT	The Wisconsin Department of Transportation (Wisconsin Ulaştırma Birimi)
WPF	Windows Presentation Foundation (Windows Sunum Temeli)
XAML	Extensible Application Markup Language (Genişletilmiş Uygulama Biçimlendirme Dili)

1. GİRİŞ

Geoteknik mühendisliğinde zeminlerin genel yapısının çözümlenmesi, zeminin tanımlanması ve sınıflandırılması ile ilgili hususlarda önemli bilgiler veren mevcut değerlendirme yollarından en etkin olanı zeminin endeks özelliklerinin saptanmasıdır. Zeminler doğal hallerinde karmaşık ve çok fazlı malzemeler iken genellikle katı, sıvı ve gaz hallerinin bir matrisi olarak bulunmaktadır (Budhu, 2015: 23). Zeminin mukavemetinin belirlenmesi, zeminin dayanımının artırılması, zemin sınıfının saptanması, zeminin uygun koşullarda ıslah edilmesi gibi çeşitli amaçlar bir geoteknik projenin inceleme ve araştırma konusu olabilmektedir. Bu gibi amaçları gerçekleştirebilmek için zemine ait su içeriği, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, kıvam sınırları, hacimsel ve doğrusal büzülme sınırları, dane çapı dağılımı gibi temel fiziksel etmenlerin belirlenmesi geoteknik bir projede önemli bir yer tutmaktadır.

Sadece geoteknik mühendisliği kapsamında sınırlı kalmamakla birlikte zeminin özellikleri gibi birçok geoteknik bilgilere inşaat mühendisliğinin tüm anabilim dallarında gereksinim duyulmaktadır (Uzundurukan ve Göksan, 2013). Zemin endeks özellikleri olarak da nitelendirilen zeminin bahsedilen bu fiziksel özellikleri çeşitli kuramsal hesaplamalara ve standart esaslarına bağlı olarak yürütülen birtakım geoteknik laboratuvar deneyleri vasıtasıyla tespit edilmektedir. Zemin örnekleri üzerinde gerçekleştirilen belli başlı geoteknik laboratuvar deneylerinin sonuçları neticesinde, bağlı standart şartları ve ilgili hesaplamalar doğrultusunda zemin endeks özellikleri tespit edilebilir ve zemine ait fiziksel bulgular tanımlanarak zeminin endeks yapısı çözümlenebilmektedir. Zemin endeks özellikleri zeminin bileşimi ve tanımlanması üzerine birtakım bilgiler sunarak zeminin olası davranışını hakkında tahminler yürütülmesine ve buna ek olarak sürtünme açısı, geçirgenlik katsayısı, sıkıştırma indisi gibi niceliklerle de ilişkiler kurabilmesine olanak sağlamaktadır (Tiwari ve Ajmera, 2018).

Zemin endeks özelliklerini saptamak için gerçekleştirilen geoteknik laboratuvar deneylerinin yanında su içeriği değeri gibi geoteknik laboratuvar deneyleri aşamalarına kısmen ihtiyaç duyan bazı geoteknik arazi deneyleri de bulunmaktadır. Özellikle yerinde yoğunluğun belirlenmesi ve en elverişli (optimum) su içeriğinin belirlenmesi için

gerçekleştirilen bazı deneyler çeşitli kaynaklarca zeminin endeks özellikleriyle ilişkili deneyler olarak değerlendirilmektedir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2019 yılında zemin ve temel etütleriyle ilgili yayımladığı tebliğe göre tasarım etütleri içerisinde zemin ve kaya birimlerine ait bulunması zorunlu olan ölçümlerden biri de zemin endeks özellikleri ile zemin sınıfının tespitidir (ÇŞB, 2019). Dolayısıyla mühendislik bakımından önem katsayısı bu denli yüksek olan zemin endeks özelliklerinin belirlenmesinde yararlanılan geoteknik laboratuvar deneyleri ile bazı arazi deneylerinin değerlendirilmesi geoteknik tasarımlarda dikkat edilmesi gereken bir husustur.

Zemin örneklerine ait deney öncesi temel verilerin elde edilmesi, deney yöntemi ve deney koşulları, deneyin gerçekleştirildiği standart yürütme esası, sayısal hesaplamalar ve uygun biçimli deney sonuç çizelgeleri şeklinde bazı deneysel adımlar bulunmaktadır. Bu aşamaların her bir kademesinde belirli bir yöntem doğrultusunda ilerlemek, olası hataları sınırlamak ya da engellemek, deney bulgularını görsel ve analitik açıdan derlemek zeminin karakteristiğinin saptanması ve çıkarılan sonuçların anlaşılması bakımından büyük bir rol oynamaktadır.

Bunun yanında geoteknik mühendisliğindeki bazı laboratuvar deneylerinde bağlı olunan standartların uluslararası normlara ait olması ya da bazı geoteknik deneyler için birden fazla standart esasına uyma gerekliliği gibi özel değerlendirme durumları da görülebilmektedir. Örnek olarak zemin sınıflandırma tespitinde ulusal ve uluslararası sınıflandırma standartları bulunurken kıvam limitleri deneylerinde ise deneyin birden fazla gerçekleştirilme tekniği bulunmaktadır. Bütün bu durumlar geoteknik laboratuvar deneylerinin önemini arttırırken zeminin fiziksel özelliklerinin tespitindeki deneysel yoğunluğun değişkenliğini de gözler önüne sermektedir.

Öte yandan deneysel verilerin çokluğu, deney tekrar sayıları, ortak deney bulguları, deneylerin birbiriyle olan veri ilişkisi gibi etkenlerde zemin endeks özelliklerinin tespit edilmesinde karşılaşılabilecek güçlükler olarak görülmektedir. Bu noktada ortaya konulması gereken çözüm ise tüm bu aşamaları, işlemleri ve çözümlenmeleri hatasız ve eksiksiz olarak yapabilecek teknolojik imkânlardan yararlanmaktır. Teknolojik imkânlardan yararlanmak sadece mühendislik esnasında başvurulmuş bir yöntem değil aynı zamanda mühendis aday

öğrencilerin de öğrenim süreçlerine katabilecekleri bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Gelişen hızlı teknolojinin etkisiyle bilgisayarlar, özellikle öğrencilerin hesaplama yetilerini ve hayli fazla veriler üzerindeki denetleme sığasını etraflıca arttırmıştır (Shinde, Salunkhe ve Navale, 2018). Geoteknik mühendisliği eğitiminde iyi bir öğrenim ortamının tesis edilebilmesi için gerekli etkenlerden biri de bilgisayar imkânlarının varlığıdır (Çokça, 2004).

Buradan hareketle günümüzde çeşitli amaçlarla yaygın olarak kullanılan bilgisayarlar, geoteknik mühendisliğinde konu olan zemin mekaniği laboratuvar deneylerinin neticelendirilmesi için de rahatlıkla kullanılabilir. Bilgisayarların kullanımının makul bir tercih olmasında kuşkusuz içerisindeki yazılımların verimliliği de büyük bir etkiye sahiptir. Esnek, kullanışlı, verimli çalışan ve daimi erişilebilen bir yazılım sayesinde bilgisayarların geoteknik mühendisliğinde deneysel gerekçelerle kullanılması yerinde bir yaklaşım olmaktadır.

Bu noktada önemli olan bir diğer husus ise kullanım çeşitliliği ve erişilebilirlik açısından bilgisayarların ve yazılımların sahip oldukları teknik özelliklerdir. Şu anda birçok farklı işletim sistemine sahip bilgisayarların olması, yararlanılacak yazılımların çok platformlu kullanılabilme özelliklerini zaruriyet olarak öne çıkarmaktadır. Akıllı telefonların ve tabletlerin de iyiden iyiye yaygınlaşmasıyla, platform anlamındaki çeşitliliğin ve her yerden erişilebilirliğin teknoloji dünyasında ileri bir boyuta taşındığının göstergesidir.

Windows, Linux, MacOS, Android, iOS, Ubuntu gibi farklı işletim sistemlerinin varlığı ve bu işletim sistemleriyle yüklü olan cihazların kullanıcı çokluğu dikkate alındığında geliştirilecek bir yazılımın platformlar arasında işlevselliğini kaybetmeden çalışabilmesinin gerektiği de açıktır. Bu gibi farklı niteliklere sahip ve farklı ortamlarda çalışabilen bir yazılımın tek bir merkezden denetlenmesi yerine her bir platforma özel ayrı ayrı olarak üretilmesi sağlıklı bir çözüm olarak görülmemektedir. Bu nedenle bir yazılım geliştirilmesinde tercih edilmesi gereken yöntemin birden fazla işletim sisteminde verimliliğini koruyarak çalıştırılabilmeye imkân tanıyan çapraz platform yazılım geliştirme yöntemi olması önerilmektedir.

Çapraz platform yazılım geliştirme ortamları, son zamanlarda yaygınlaşan internet tabanlı uygulamalar geliştirmek için de en uygun seçeneklerden biridir. Endüstri 4.0 dönüşümünün

inşaat sektörüne yansımaları olan İnşaat 4.0 kavramının ortaya çıktığı andan itibaren iletişimsel sıkıntılara çözüm olarak internet hizmetleri inşaat alanında gelişen teknolojiler olarak öne çıkmaktadır (Gürkan, 2019). İnşaat sektörüne yeni yeni giren bu teknolojilere güncel olarak erişip mühendislik açısından uygun çözümler üretmek için çapraz platform olarak derlenebilen bir yazılım geliştirilmesi uygun görülmektedir.

Günümüzde mühendislerin, önlerindeki sorunların çözümü için bireysel şartlarına yönelik bir yazılım geliştirmesi beklenen bir adım olarak görülmemektedir. Örnek olarak, çoğu mühendis zeminlere ait herhangi bir laboratuvar deneyine benzetim uygulamak için bir yazılım geliştirme konusunda güçlük yaşamaktadır (Jin ve Yin, 2018). Bu nedenle geoteknik mühendisliğine ait deneysel çalışmaların yürütüleceği bir yazılımın çoklu platformlardan erişilebilir; çeşitli cihaz ve aygıtlarda ise ölçeklenebilir olması önemli bir ölçüt olarak göze çarpmaktadır. Bunun yanında çok farklı kimselerce kullanılabilmesi düşünüldükçe, kullanımının kolay uyum sağlanması ve mümkün olduğunca karmaşık görsel tasarımlardan uzak tutulması önerilmektedir.

Bu tez çalışmasında geoteknik mühendisliğinde zeminlerin endeks özelliklerini belirlemede kullanılan birtakım laboratuvar deneylerinin sayısal hesaplamalarını yürütebilen ve deneye ait tüm çıktıları dijital ortamda üretebilen internet tabanlı bir web uygulaması geliştirilmiştir. Zeminleri tanımlama ve sınıflama amacıyla endeks özelliklerini irdeleyen belli başlı geoteknik laboratuvar deneyleri ile bunlarla ilişik kullanılan bazı geoteknik arazi deneyleri bir yazılım çerçevesi altındaki çeşitli yazılım dilleriyle bilgisayar ortamında kodlanarak internet tarayıcılarında derlenip çalıştırılabilir ve tüm işletim sistemleri üzerinden erişilebilir bir web yazılımı olarak tasarlanmıştır. Bu yazılım bünyesinde kodlanarak yüklenen geoteknik laboratuvar deneylerinin tamamı bağımsız olarak, teknik açıdan mümkün olan bazı deneyler ise bütünleşik olarak sunulmuştur. Ek olarak, bir sunucu hizmeti kullanılarak girdi verilerinin ve çıktı sonuçlarının bu sunucu üzerinde uzaktan erişimli bir veritabanıyla ilişkilendirilmesi sağlanmıştır. Tercih edilen hizmet platformu üzerinden bağlanılan uzaktan erişimli veri tabanı sayesinde yazılım içerisinde kullanıcıların girdiği deneysel verilerin kaydedilmesi ile kullanıcı tarafından ya da başlangıçta kaydedilmiş verilerin çağrılması mümkün kılınmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında yapılan bilimsel yazın taraması neticesinde çalışmalar mühendislik yazılımları geliştirilmesi esaslı olarak i) geoteknik mühendisliğine ve ii) diğer inşaat mühendisliği alt anabilim dallarına ait olarak iki farklı şekilde ele alınmıştır.

2.1. Geoteknik Mühendisliğinde Mühendislik Yazılımları Üzerine Çalışmalar

Bu bölümde geoteknik mühendisliğinde başta zemin endeks özellikleri ve zeminin sınıflandırılması olmak üzere zemin mekaniğine ya da diğer farklı bilim dalları kapsamına giren konular üzerinde bir mühendislik yazılımının geliştirilmesini içeren bilimsel metin taraması sunulmuştur.

Önal (2007) tarafından yapılan araştırmada gelişen akıllı aygıt teknolojilerinin geoteknik mühendisliği kapsamında kullanımının ve yaygınlaşmasının sınırlı olmasından hareketle geoteknik mühendisliği için kullanılabilir örnek bir mobil uygulama yazılımı geliştirilmiştir. Visual Basic yazılım diliyle Appforge Crossfire çatısı altında kodlanan bu yazılım; USCS zemin sınıflandırma sistemi üzerine çalışan, belirli parametrelere bağlı olarak zemin sınıfı tespitini sunan, Symbian, Palm ve Microsoft Mobile işletim sistemlerinin yüklü olduğu akıllı aygıtlarda kullanılabilen mobil tabanlı bir uygulama olarak sunulmuştur.

Jaksa ve Kuo (2009) tarafından yapılan araştırmada çok çeşitli geoteknik mühendisliği uygulamaları içeren CATIGE çoklu deney yazılımından seçilen bazı deneyleri geoteknik ve inşaat mühendisliği öğrenim sürecinde kullanılması için yeniden dijital ortamda derlenmesi üzerine çalışılmıştır. Java yazılım diliyle kodlanarak oluşturulan bu küçük uygulama seti içerisinde Mohr çemberi, Proktor sıkıştırma, geçirgenlik deneyi gibi geoteknik konular yer alırken kullanıcı tarafından girilen geoteknik özelliklere göre çeşitli tayinler gerçekleştirebilen bilgisayar tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir.

Yeşil ve Alkaya (2011) tarafından yapılan çalışmada geoteknik mühendisliğinde hataların aza indirildiği ve raporlamaya bir biçim esası getirildiği Excel tablolama uyarlı bir geoteknik rapor yazılımı geliştirilmiştir. Excel içerisinde oluşturulan bu bütünleşik yazılım, çeşitli usul ve yöntemlere dayanarak oturma, gerilme gibi çözümlenmelerin yapıldığı ve her

hesap adımına ait matematiksel işlemlerin rapor içerisine eklendiği bir uygulama olarak oluşturulmuştur.

El-Garhy, Ragab ve Asal (2013) tarafından yapılan araştırmada geoteknik mühendisliğine ait bazı kuramsal ve uygulama ilkelerini öğrenmeyi sürdüren öğrencilere destek amacıyla bir CALP_GE_I isimli bir bilgisayar destekli öğrenim paketi geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. CALP_GE_I, geoteknik mühendisliği eğitiminde öğretilen çeşitli konulara yönelik Visual Basic ve Excel Macro yazılım dilleriyle kodlanmış bilgisayar destekli öğrenim yazılımlarından oluşan bütünleşik bir pakettir. Bu paket kapsamında yer alan zeminlerde gerilim, USCS zemin sınıflandırma, Atterberg limitleri tayini gibi geoteknik konulara ait kavramların anlaşılması için kullanıcı erişimli, etkileşimli ve dostu bilgisayar tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir.

Arinze ve Okafor (2015) tarafından yapılan çalışmada geoteknik mühendisliğinde kullanılmak üzere MATLAB ile bütünleşik kullanıcı etkileşimli bir zemin sınıflandırma yazılımı geliştirilmiştir. MATLAB yazılım dilleriyle kodlanarak oluşturulan bu yazılım MATLAB arayüzüne bağlı olarak girilen belirli girdi verilerine göre AASHTO standart esasına dayanarak zemin sınıflandırma çözümlemesinin yapıldığı bilgisayar tabanlı bir uygulama olarak sunulmuştur.

Kaklamanos (2016) tarafından yapılan çalışmada geoteknik mühendisliği eğitimi, araştırmaları ve uygulaması esnasında yararlanılabilecek çeşitli sayısal hesaplamaları yapabilen açık erişimli bir yazılım paket projesi geliştirilmiştir. R yazılım diliyle geliştirilen Geotech adı verilen bu paket proje içerisinde ASTM esaslı elek analizi, USCS zemin sınıflandırma çözümlemesi gibi çeşitli geoteknik hesaplamalar yapılabilen ve zemin mekaniği kapsamında bazı faz ve grafik çıktıları sunabilen derlenebilir yazılım kodları sunulmuştur.

Kovačević, Jurić-Kačunić ve Librić (2016) tarafından yapılan çalışmada geoteknik mühendisliğinde kullanıcıdan veri etkileşimli olarak zemin sınıflandırılması amacıyla kullanılmak üzere CLASSIF adı verilen elektronik tablolarla tabanlı bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Excel içerisinde Visual Basic yazılım diliyle kodlanarak oluşturulan CLASSIF, ESCS ve USCS zemin sınıflandırma sistemlerini karşılaştırmalı olarak

çözümleyebilen bilgisayar tabanlı ve Excel tablolaştırma uyarlı bir VBA yazılımı şeklinde oluşturulmuştur.

Işık ve Çabalar (2018) tarafından yapılan çalışmada geoteknik mühendisliği öğrencilerine yönelik hataların en aza indirildiği, kullanıcı etkileşimli, çeşitli geoteknik kavramlarının daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayan bir bilgisayar ve mobil uygulama yazılımı geliştirilmiştir. Bu yazılımlar bilgisayar tabanlı uygulamalarda Visual Basic ve Excel Macro yazılım dilleriyle, iOS tabanlı uygulamada Objective-C yazılım diliyle kullanıcıdan veri etkileşimli oluşturulmuştur. Bilgisayar için standart penetrasyon ve elek analizi deneyleri çözümlenip USCS zemin sınıflandırma yapılabildiği, iPhone model mobil cihaz için standart penetrasyon deneyinin ilgisizlik açısından değerlendirilebildiği bir çalışma ortaya koyulmuştur.

Jin ve Yin (2018) tarafından yapılan çalışmada geoteknik mühendisliği zemin deneylerine yönelik çeşitli mühendislik sorunlarını çözebilen, grafik ara yüzleri güçlendirilmiş, çoklu yükleme denetimlerine sahip, mekanik bir hesaplayıcı olarak tanımlanan ErosLab isimli bir yazılımın geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. ErosLab, C#, MATLAB ve FORTRAN yazılım dillerinde kodlanarak bazı geoteknik mühendisliği deneylerinin çeşitli sınır şartları altında modellenildiği bunun yanında inşaat mühendisliği içerisinde hidrolik, ulaşım, demiryolu gibi farklı alanlarda uzmanlaşmış kişilerce geoteknik mühendisliği üzerinde öğrenim amaçlı da kullanılacak bilgisayar tabanlı bir yazılım olarak ortaya sürülmüştür.

De Sousa, Rodrigues, De Lima ve Chagas (2019) tarafından yapılan çalışmada geoteknik mühendisliğinde zeminin fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere zemine ait çeşitli fiziksel-hidrolik özelliklerin çözümlenebildiği çeşitli yazılım paketlerinin derlendiği bir araç sunulmuştur. R yazılım dili kullanılarak açık erişimli oluşturulan ve zemin suyunun ilgili verilerle değerlendirilmesi, üçgen zemin sınıflandırma modeli gibi çeşitli zemin çözümlenmeleri yapabilen bu paketler bir R projesi çatısında derlenerek sunulmuştur.

Dutta R. K., Dutta K., Kumar ve Chaudhary (2019) tarafından yapılan çalışmada geoteknik mühendisliği kapsamında hem öğrenciler tarafından öğrenim amaçlı hem de saha mühendislerine yararlı bir araç sunma amaçlı kullanılacak Android tabanlı bir zemin

sınıflandırma uygulaması geliştirilmiştir. Açık kaynaklı Android Studio geliştirici ortamında Java ve XML yazılım dilleri kullanılarak geliştirilen yazılımda ISC, USCS ve USDA zemin sınıflandırma sistemlerinde belli verilere alarak çözümlene yapan ve kullanıcıya nihai zemin sınıfını saptayan Android tabanlı bir mobil uygulama tasarlanmıştır.

Dingil, Örnek ve Türedi (2019) tarafından yapılan çalışmada geoteknik mühendisliği laboratuvar deneyleri arasından seçilen birtakım zemin mekaniği deneylerini çözümlenebilen ve ilgili çözüme dayanarak standart esasına uygun rapor sunabilen kullanıcı etkileşimli bir yazılım geliştirilmiştir. C# ve XAML yazılım dilleriyle WPF çatısı altında kodlanarak oluşturulan bu yazılım, geoteknik deneylerinden örnek olarak seçilen elek analizi ve kıvam limitleri deneylerini gerekli veriler doğrultusunda çözümlenerek kullanıcıya görsel destekli bir çıktı sunacak şekilde bilgisayar tabanlı bir uygulama olarak geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yazılım içerisinde çözümlenen geoteknik laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler yazılım içerisinde yer alan sayfalar arasında taşınarak Türk zemin sınıflandırma sistemi esaslı çözümlenmede kullanılması mümkün kılınmış ve mevcut verilerle de zemin sınıfı tespiti yapılabilecek bir çözüm ortaya konulmuştur.

2.2. İnşaat Mühendisliği Diğer Alt Bilim Dallarında Mühendislik Yazılımları Üzerine Çalışmalar

Bu bölümde inşaat mühendisliğinin yapı, ulaştırma, yapı işletmesi gibi diğer anabilim dalları kapsamına giren konuları üzerinde bir mühendislik yazılımının geliştirilmesini içeren bilimsel metin taraması sunulmuştur.

Kaya, Aytekin, Kuşun ve Özdemir (2012) tarafından yapılan çalışmada inşaat yönetimi kapsamında şantiyedeki uygulamaların proje yönetim merkezine anlık olarak verilerin taşınabilmesi ve bu verilere dayanarak yapı yaklaşık maliyeti ve hakedişin hesaplanabilmesi için sunucu tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir. PHP yazılım diliyle ve MySQL veri tabanı sistemiyle kodlanarak oluşturulan bu yazılım projeye ilgili belirlenen bilgilere etkin ve süratli bir biçimde erişebilir, uygulama projesine ait daha düzenli bir CPM iş izlencesi yapılabilir şekilde geliştirilmiştir.

Yılmaz ve Şahin (2013) tarafından yapılan çalışmada inşaat mühendisliğinde çelik yapı tasarımı için geliştirilen ve kullanıcı tarafından belirli sınır şartları altında çözümlenebilir STR2 isimli bir yazılım geliştirilmiştir. MATLAB yazılım diliyle kodlanarak oluşturulan STR2; girilen ilgili verilere göre aşık çözümlenmesi, iç kuvvet değerleri, boyutlandırma sonuçları elde edilen çelik yapı tasarımı dersinde kullanılması öngörülen bilgisayar tabanlı bir yazılım olarak sunulmuştur.

Asherlou (2015) tarafından yapılan lisansüstü tez çalışmasında inşaat mühendisliği karayolu uygulama projelerinde başlangıçtan bitime dek her noktada etkin ve erişilebilir mobil bir denetim sağlayan bir yazılım geliştirilmiştir. MATLAB yazılım diliyle kodlanarak oluşturulan bu uygulama ara yüzü, ulaştırma projelerinde nokta denetimini en elverişli şekilde karayolu tam denetim amacına uygun olarak gerçekleştiren bilgisayar tabanlı bir yazılım olarak sunulmuştur.

Dubey (2016) tarafından yapılan çalışmada öğrencilerin kendi kodlama çalışmalarında küçük uygulama bölümünden ya da doğrudan kod bölümünden yararlanabileceği bir e-öğrenme platformunun inşaat mühendisliği kapsamında kullanılabilirliği irdelenmiştir. Java yazılım teknolojilerinin inşaat mühendisliği içerisinde faydalanılması kapsamında direkt kesme kutusu deneyi gibi bazı deneylerin kodlanmasını örnekleyerek öğrenme sürecinde Java araçlarından yararlanılması değerlendirilmiştir.

Xing, Deng ve Qu (2017) tarafından yapılan çalışmada inşaat yönetiminde kullanılmak üzere çeşitli mevcut uygulamalara kıyasla çok daha uygun maliyetli ve çok daha verimli bir inşaat mühendisliği yönetim sistemi geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Bu çalışma içerisinde ASP.NET yazılım dili ile SQL veri tabanı dili ADO.NET teknolojisi çatısında kodlanarak işletmelerin yönetim verimliliğinin ve ekonomik maliyetlerinin daha elverişli hale getirildiği ve kullanıcıların inşaat yönetim süreçlerini izleyebildiği internet tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir.

Yücel (2017) tarafından yapılan lisansüstü tez çalışmasında inşaat mühendisliğinde mevcut betonarme binaların deprem yükü altında yapısal başarımını yorumlayan kullanıcı etkileşimli ve internet tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir. C# yazılım diliyle ASP.NET MVC çatısı altında kodlanan bu yazılım, hem teknik yeterliliği olmayan bina sakini gibi kimselerce

basit gözlemsel verileri esas alarak hem de taşıyıcı kolon boyutu ve konumu gibi ölçüme dayalı teknik verileri esas alarak değerlendirme yapabilecek şekilde geliştirilmiştir.

Göçer (2019) tarafından yapılan lisansüstü tez çalışmasında inşaat mühendisliğinde ön tasarım kademesindeki bir yapının hesaplanan ağırlığını esas alarak inşa esnasında bodrum katlarda yüzme riski olup olmadığı yaklaşık olarak saptayan bir yazılım öne sürülmüştür. Excel elektronik tabloları sistemi içerisinde oluşturulan bu bütünleşik yazılım, bir binaya ait yüzme riskini ön tasarım aşamasında saptama amacıyla geliştirilmiş ve çeşitli örneklerle mukayese edilerek tutarlılığı değerlendirilmiştir.

2.3. Bilimsel Yazın Taraması Neticesinde Yapılan Değerlendirme ve Çalışmanın Özgün Değeri

Bilimsel yazın taraması neticesinde incelenen ve ele alınan bilimsel araştırmalardan bu tez kapsamında yer alacak çalışmanın yöntemini ve içeriğini belirleyecek ölçüde çeşitli çıkarımlarda bulunulmuştur. Buna göre:

- ✓ Geoteknik mühendisliğinde ve inşaat mühendisliğinin diğer anabilim dallarında bazı sınır şartları altında çeşitli mühendislik yazılımlarının geliştirildiği görülmektedir
- ✓ Geliştirilmiş birçok yazılımın belirli bir cihaza, belirli bir işletim sistemine ve belirli bir akıllı aygıta yönelik bağımlı bir platform çatısına ihtiyaç duyduğu gözlenmektedir
- ✓ Geliştirilmiş bazı yazılımların elektronik tabloları programlarıyla bütünleşik olarak çalıştığı bir seçim programının kullanımını zorunlu kılmaktadır
- ✓ Bilgisayar ve mobil tabanlı geliştirilen yazılımların; uyumluluk, sistem gereksinimi, disk alan ihtiyacı, erişebilirlik gibi birtakım sorunlarının olabileceği düşünülmektedir
- ✓ Geliştirilmiş birçok yazılımın bilimsel sınır şartları genişletilerek mühendislik açısından ve de kod mimari yapısı çapraz platform ortamında geliştirilerek teknolojik açıdan etkinliğinin gözle görülür bir şekilde arttırılabileceği kanısına varılmıştır

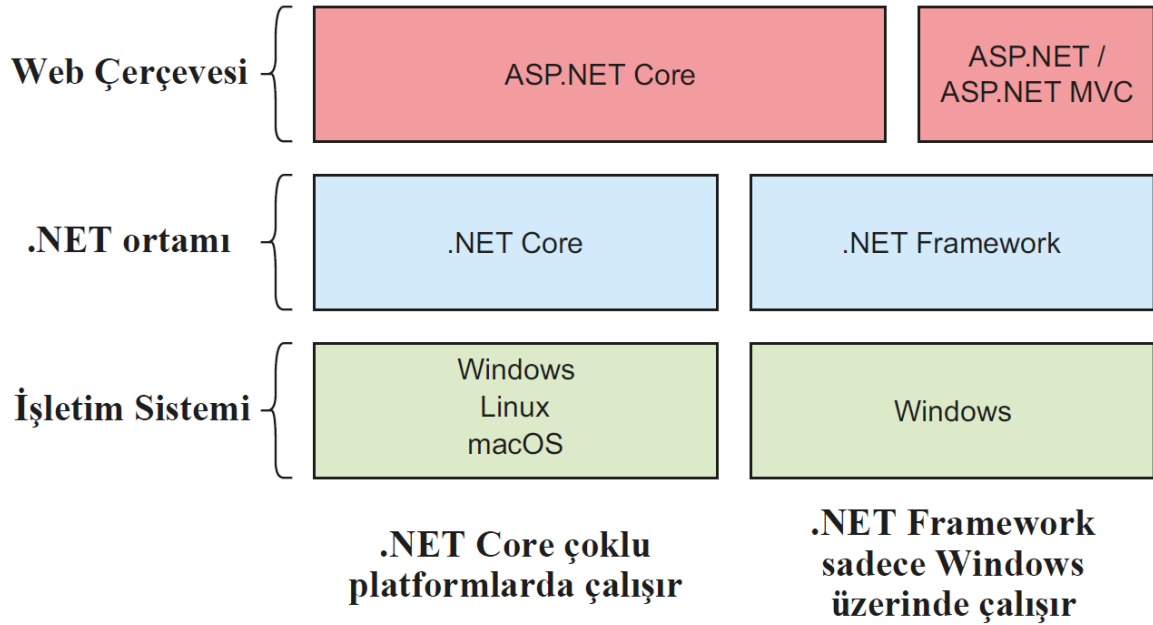
Sonuç olarak; disk alanı, bağlantı, lisanslama, sürümler, depolama gibi kıstaslar göz önüne alındığında internet tabanlı yeni bir yazılımın geliştirilmesi önemli bulunmuştur. Bu bağlamda, bu yaklaşım, bu tez çalışmasının özgün değeri olarak nitelendirilmiştir.

3. YÖNTEM

Bu tez kapsamında geliştirilen yazılımın ana algoritmik işleyişi; kullanıcıdan deneylere ait birtakım verileri girdi olarak talep etme, bu verileri uygun kod ağı içerisinde çözümleyerek işleme ve kullanıcıya ilgili deneye ait yeni çıktı verilerini döndürme olacak şekilde belirlenmiştir. Esas çalışma ilkesi ise internet tabanlı olma üzerine kurgulanmıştır. Google Drive, iCloud, Yandex gibi internet tabanlı depolama ve görüntüleme uygulamalarının kullanım yoğunluğu göz önüne alındığında, mühendislik dünyasında da günden güne internet tabanlı yazılımların yaygınlaştığı fark edilmektedir. Keleş ve Kaya Keleş (2018) tarafından yapılan araştırmada inşaat sektöründe kullanılan bilgi teknolojilerinin, çoğu zaman inşaat paydaşlarının ilgili projeye alakalı işletme verilerine her yerden erişebilir olmasının önemine değinilmiştir.

Veritabanı erişimi destekli ve internet tabanlı web uygulamalarının hız, erişilebilirlik, esneklik, yükleme alan tasarrufu, veri eşleme gibi önemli faydaları bulunmaktadır. Yazılımın kodlama ve geliştirme sürecinde son dönemlerde yazılım ve mühendislik dünyasında sıkça tercih edilen ASP.NET Core yazılım çerçevesi ortamı kullanılmıştır. ASP.NET Core yazılım çerçevesi ilk olarak 2016 yılında duyurulmuş ve Microsoft .NET teknolojisinin oluşturduğu web yığnında bir mihenk taşı olarak ortaya sürülmüştür (Chiaretta, 2018: 1). ASP.NET Core, halen Microsoft firması tarafından açık kaynak kodlu olarak geliştirilmesi sürdürülen, işletim sistemlerinden bağımsız olarak çapraz platformlarda çalıştırılabilen, yüksek derecede hız ve başarımlı verebilen, mobil uygulama uyumlu güncel bir geliştirme platformudur.

ASP.NET Core yazılım çerçevesinin yayımlanmasıyla ortaya sunulan modülerlikle birlikte, teknolojinin işletme değişimleriyle aynı hızda uyum sağlayabilen daha hızlı bırakma ve geri besleme döngülerine imkân tanınmıştır (Reynders, 2018: 10). ASP.NET Core ile internet sayfaları tasarlama ve web yazılımları geliştirme dünyasında çok uzun süredir kullanılan ASP.NET ve ASP.NET platformunun temelini aldığı .NET yazılım çerçevesine göre mukayese edilmesi Resim 3.1’de belirtilmiştir.



Resim 3.1. .NET Core ve .NET Framework ortamlarının karşılaştırılması (Lock, 2018: 7)

ASP.NET Core yazılım geliştirme çatısı modülerlik ve başarımla gözetilerek yalın bir şekilde tasarlanmıştır ve bu platformun ana fikri, hafif bir altyapıyla başlayan fakat ihtiyaca göre gereken bileşen paketlerinin yüklenmesi mümkün olan bir çekme işleyiş biçimine dayanmaktadır (Shakya, 2018). Açık kaynaklı bir lisansa sahip olması, Azure gibi bulut platform hizmetiyle haberleşme kurabilmesi ve Docker gibi container servislerinde rahatça kullanılabilmesi ASP.NET Core geliştirme platformunu öne çıkaran en dikkat çekici özelliklerdir. ASP.NET Core yazılım çerçevesi içerisinde web uygulaması, web sayfası, web API, IoT uygulamaları, mobil uygulama arka uçları, mikrohizmetler, EF Core köprüsü gibi birçok hizmet gerçekleştirilebilmektedir. ASP.NET Core yazılım geliştirme ortamının en önemli özelliklerine bir diğer ifadeyle temellerine göz atılacak olursa:

- ✓ The Startup Class (Başlangıç Sınıfı)
- ✓ Dependency Injection (Bağımlılık Enjeksiyonu)
- ✓ Middleware (Ara Yazılım veya Orta Katman Ürünü)
- ✓ Host (Sunucu)
- ✓ Servers (Hizmetler)
- ✓ Configuration (Yapılandırma)
- ✓ Options (Seçenekler)
- ✓ Environments (Çoklu Ortamlar)

- ✓ Logging (Günlüğe Kaydetme)
- ✓ Routing (Yönlendirme)
- ✓ Error Handling (Hata İşleme)
- ✓ Make HTTP Request (HTTP İsteğinde Bulunma)
- ✓ Content Root (İçerik Kökü)
- ✓ Web Root (Web Kökü)

şeklinde sıralanabilmektedir. ASP.NET Core ortamına ait başlangıç sınıfı kod yapısı Resim 3.2’de verilmiştir.

```
public class Startup
{
    public void ConfigureServices(IServiceCollection services)
    {
        services.AddMvc()
            .SetCompatibilityVersion(CompatibilityVersion.Version_2_2);

        services.AddDbContext<MovieContext>(options =>
            options.UseSqlServer(Configuration.GetConnectionString("MD")));
    }

    public void Configure(IApplicationBuilder app)
    {
        app.UseHttpsRedirection();
        app.UseStaticFiles();
        app.UseMvc();
    }
}
```

Resim 3.2. ASP.NET Core örnek bir başlangıç sınıfı

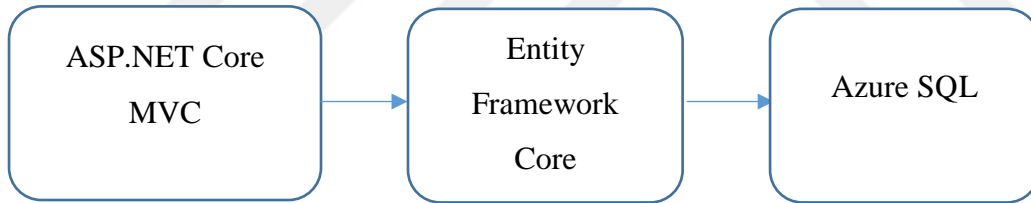
ASP.NET Core temellerine ve her bir bileşenin işlevine, dilendiği takdirde ASP.NET Core yazılım çerçevesinin oluşturucusu olan Microsoft firmasının teknik belgelerinin, API ile kod örneklerinin yer aldığı ve “Docs” adını verdiği temel başvuru kılavuzu üzerinden ulaşılabilir (Microsoft, 2019).

ASP.NET Core yazılım çerçevesi altında sayısal ve mantıksal sorgulamalar için C# yazılım dili, görsel ve grafiksel tasarımlar için HTML ve JavaScript yazılım dilleri tercih edilmiştir. Veri yedekleme, veri çağırma, veri üzerinden sorgulama gibi temel veri olayları için ise Entity Framework Core veri modelleme ve nesne eşleştirme aracı tercih edilmiştir. C# .NET teknolojisi için geliştirilen nesne yönelimli bir yazılım dilidir, HTML ise web geliştirmede

kullanılan bir metin işaretleme dilidir. JavaScript de ağırlıklı olarak web tarayıcılarında kullanılan dinamik bir yazılım dilidir.

SQL, veriler üzerinde sorgulama, sunum, bağlama ve etkileşme işlemlerini gerçekleştirebilen yapısal bir yazılım dilidir. Entity Framework Core ise .NET Core ortamına yönelik geliştirilmiş, LINQ sorgularını içeren açık kaynaklı ve çapraz-platform nitelikli bir ORM aracıdır. ORM, veri tabanlarının sınıflar üzerinden denetlenebildiği, kullanılabilirdiği ve işlenebildiği yazılım teknolojisine verilen genel bir tanımlamadır.

C# yazılım diliyle model katmanındaki sınıflar, metotlar ve veriler kodlanmıştır. HTML yazılım diliyle web uygulamasının kullanıcıya yansıyan sayfa tasarımları kodlanmıştır. JavaScript yazılım diliyle de uygulama içerisindeki dinamik öğeler ve görüntüye dair içerikler kodlanmıştır. Entity Framework Core kullanılarak Azure SQL uzaktan erişimli veritabanı üzerinde gerekli veri tablo biçimleri oluşturulmuştur. Bu yazılımda kullanılan veriler arası yordamların yürütüldüğü temel akış Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yazılımda kullanılan veri sorgu akışı

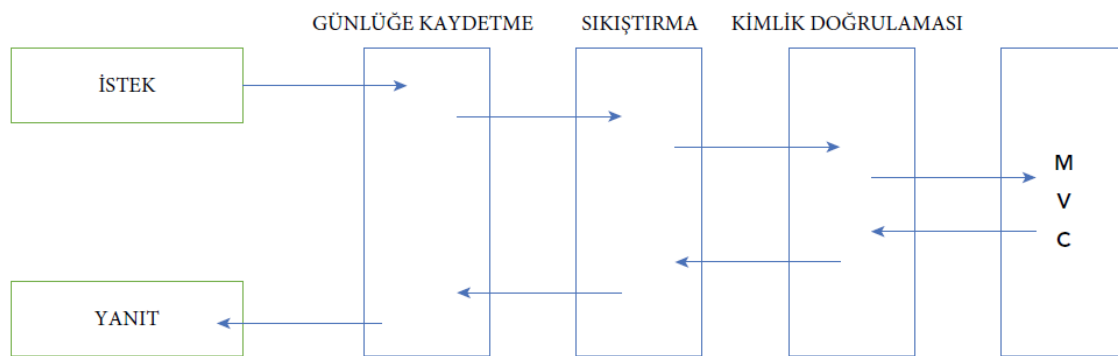
Bütün yazılım geliştirme süreci boyunca geri bildirim alma, sürdürülebilirlik, modülerlik, temiz kodlama, erişilebilirlik gibi tasarımsal ve denetimsel amaçlar nedeniyle MVC yazılım mimari deseni takip edilmiştir. Yazılım mimari desenleri özellikle nesne yönelimli yazılım dillerinde başlangıç, tasarım ve yükseltme aşamalarında karşılaşılan bazı sorunları çözmek için katmanlı çalışma mantığına verilen genel bir kavramdır. MVC yazılım mimari deseni sadece web uygulamalarında değil aynı zamanda bilgisayar uygulamalarında da kullanılabilen bir yazılım disiplini iken MVC yapısının yalnızca web yazılımlarındaki görev kapsamı kısaca ve ilgili bileşenleri aşağıda ifade edilmiştir (Gumus ve Ragupathi, 2018: 20).

- ✓ Model (Örnek): Yazılım içerisinde yer alan sınıfların tasnif edildiği, dilerirse veri tabanı ile haberleşebilen ve tüm alan adı verilerinin temsil edildiği bileşendir.

- ✓ View (Görünüm): Yazılımın son kullanıcıya nasıl görüldüğünün denetlenip yönetilebildiği ve içerisinde HTML ile CSS dosyalarının yer aldığı görsel düzen bileşenidir.
- ✓ Controller (Denetleyici): Birbirinden farklı bileşenlerin birbiriyle etkileşim halinde olmasının sağlandığı adı üzerine denetleme görevindeki bileşendir. Kullanıcıdan yönlendirme taleplerinin alındığı, ilgili talebe göre modelle bağlantı kurulabildiği ve bu sürecin sonucunda kullanıcıyla uygun görünümün döndürüldüğü ana bileşendir.

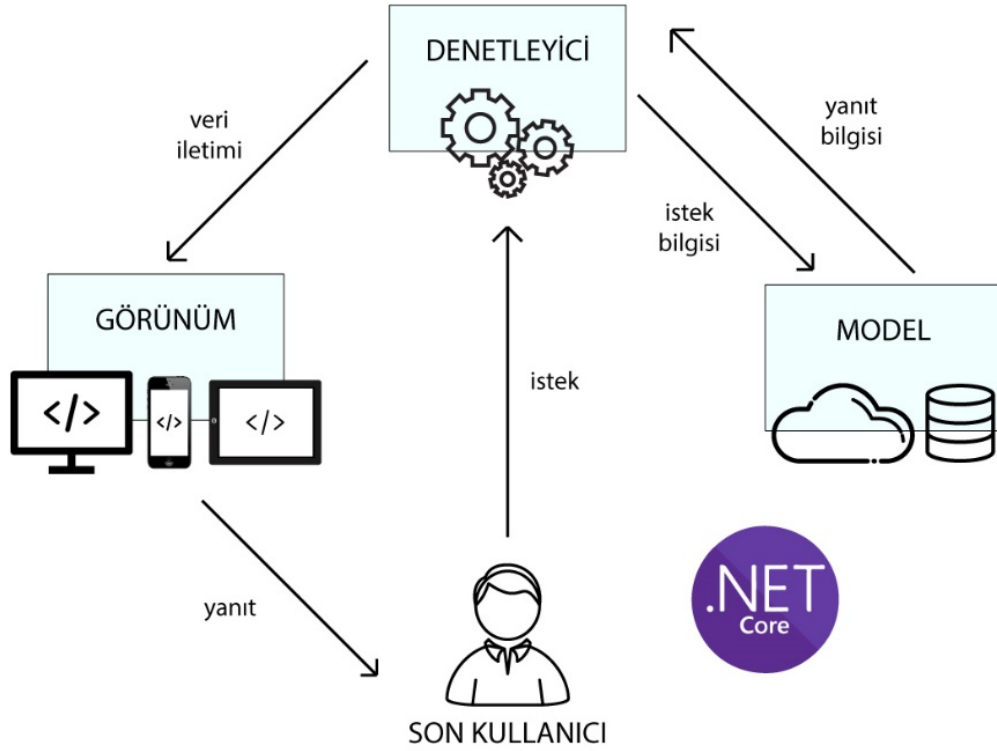
MVC yazılım mimari deseni sayesinde yazılım bünyesinde tutulan veriler, yazılım derlenmesinde çağrılan ara yüzler ve elementler arası veri iletişimini sağlayan kontroller üç ayrı bölümde kodlanmıştır. MVC sunucuya gelen istekleri katmanlar arasında yönlendirerek elde edilen neticeyi kullanıcıya cevap olarak ileten bir komut yaşam döngüsüne sahiptir.

Şekil 3.2’de bir ara yazılım (orta katman ürünü) ile oluşturulmuş tipik bir uygulamaya ait yürütülme süreci paylaşılmıştır. Bu süreç içerisinde ara yazılıma (orta katman ürünü) gelen bir isteğin çeşitli kademelerden geçtikten sonra uygulama kodunu yürütecek yazılım çerçevesine ulaşmasını (ASP.NET Core) ardından da gelen isteğe göre derlenen koda uygun olarak döndürülen yanıtın aynı yollarla yeniden bir yanıt olarak döndürülmesi görülmektedir (Chiaretta, 2018: 12).



Şekil 3.2. Ara yazılımın (orta katman ürünü) yürütülmesi örneği (Chiaretta, 2018: 12)

ASP.NET Core MVC mimari yapısının uzaktan veritabanı erişimi destekli olarak işleyişi ise Resim 3.3’te şematik olarak gösterilmiştir.



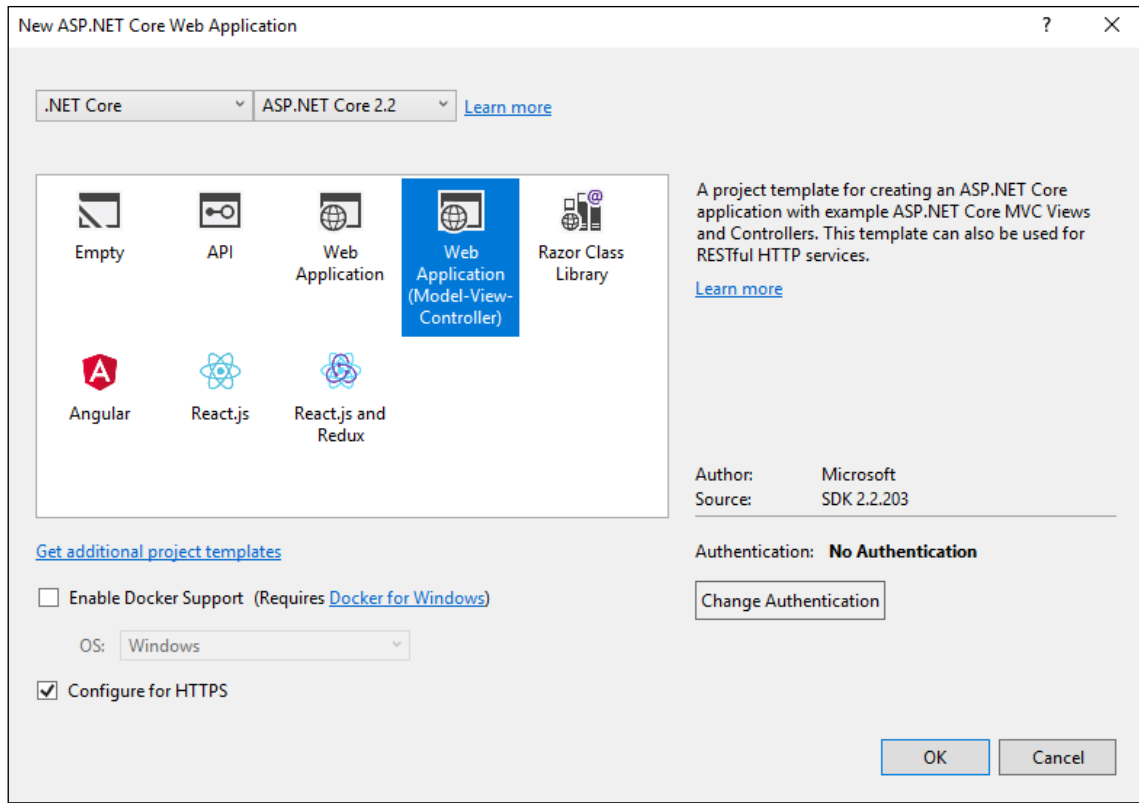
Resim 3.3. ASP.NET Core MVC mimari yapısının veritabanı destekli çalışma döngüsü

ASP.NET Core yazılım çerçevesi içerisinde yer alan MVC mimari desenine ait birtakım özellikler bulunmaktadır. Bu özelliklerden bazıları yazılım geliştirme teknolojisi içerisinde var olan bileşenlerin geliştirilmiş hali iken bazıları ise yazılım dünyasına ilk kez ASP.NET Core duyurusu yapılmasıyla birlikte giriş yapmıştır. ASP.NET Core özelleşmiş MVC özellikleri Çizelge 3.1’de ifade edilmiştir.

Çizelge 3.1. ASP.NET Core MVC özellikleri

ASP.NET Core Çatısı Altında Yer Alan Bileşenler	
Routing (Yönlendirme)	Dependency Injection (Bağımlılık Enjeksiyonu)
Model Binding (Bağlama)	Model Validation (Doğrulama)
Filters (Süzgeçler)	Areas (Alanlar)
Web APIs (Web API’leri)	Testability (Denenebilirlik)
Razor View Engine (Razor Görünüm Motoru)	Strongly Typed Views (Türü Kesin Belirlenmiş Görünümler)
Tag Helpers (Etiket Yardımcıları)	View Components (Görünüm Bileşenleri)

Bu yazılımın tasarlama, düzenleme ve derleme süreci Microsoft firmasına ait Visual Studio 2017 adlı tümleşik geliştirme ortamında gerçekleştirilmiştir. Visual Studio, içerisinde C#, C, C++, HTML, XAML, JavaScript gibi birçok yazılım dilinin Xamarin, WPF, Unity, ASP.NET Core gibi geliştirme platformlarına yönelik yazılımların oluşturulduğu bir derleyici uygulamadır. Visual Studio 2017 geliştirme ortamında ASP.NET Core web uygulaması oluşturma arayüzü Resim 3.4’de gösterilmiştir.



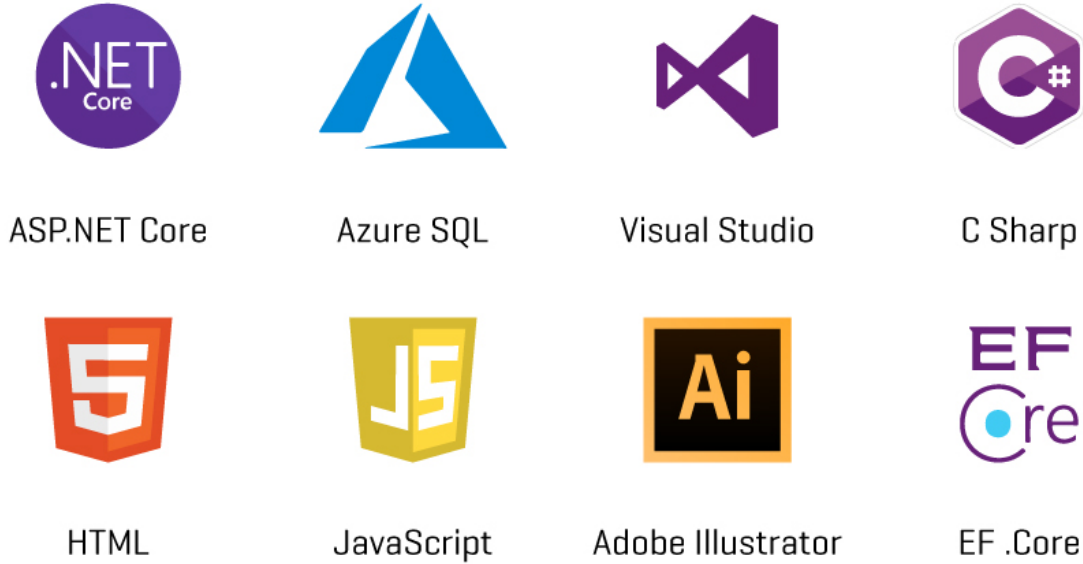
Resim 3.4. ASP.NET Core web uygulaması oluşturma karşılama arayüzü

Yazılım mimarisine ait değinilmesi gereken bir diğer husus ise Azure servis hizmet platformuyla veritabanı haberleşme bağlantısıdır. Yazılım içerisine tercih olarak yerleştirilen bu haberleşme komutuyla dilenirse veri girdilerinin ve sonuç çıktılarının uzaktan erişimli bir bulut veritabanına işlenmesi sağlanabilmektedir. Bu bakımdan bu yazılım arzu edildiği takdirde küresel bir web alanında ve uzaktan erişimli bir sunucuda da servis edilebilir iken veriler ve sonuçlar bağlamında Azure bağlantısıyla uzaktan erişimli

veri tabanına bağlanabilir ya da tamamen Azure uygulama servis hizmeti üzerinden dağıtılabılır durumdadır.

ASP.NET Core ortamı içerisinde derleme, görüntüleme ve test etme süreçleri ise Microsoft Edge ile Google Chrome marka internet tarayıcılarında ve bilgisayar yerel sunucusunda internet bilgi servisi hizmeti altında gerçekleştirilmiştir. Yazılım içerisinde kodlanması gereken hareketli grafikler, ara değer bulma yöntemleri, dinamik sayfa biçimleri, belge yönetim sistemleri gibi öğelerde yararlanılmak üzere bazı açık kaynaklı alt yazılım bileşenlerinden yararlanılmıştır.

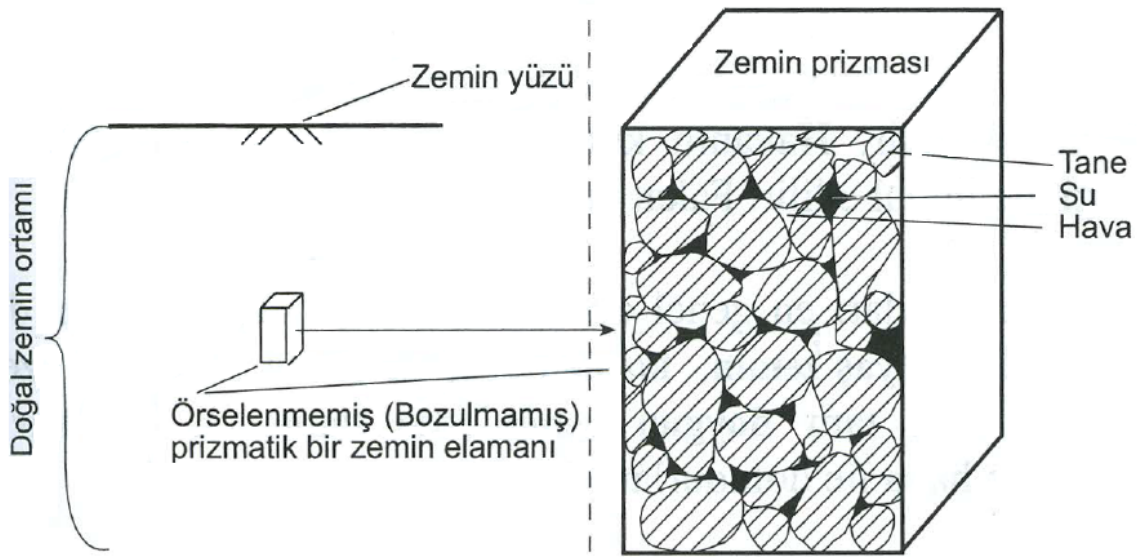
Yazılım tasarlama süreci boyunca kullanılan teknik altyapı materyalleri mümkün olduğunca açık kaynaklı geliştirilebilir dağıtım öğeleri arasından seçilmiştir. Yazılım içerisinde dinamik olarak üretilemeyen tüm görsel öğeler ise Adobe Illustrator vektörel tasarım programıyla oluşturulmuştur. Bu yazılımın geliştirilmesinde kullanılan tüm yazılım dilleri, geliştirme bileşenleri, derleyici ve tasarlayıcı Resim 3.5’de sunulmuştur.



Resim 3.5. Önerilen yazılımın geliştirilmesinde kullanılan tasarım öğeleri

4. ARAŞTIRMA VE TASARIM

Bir zeminin endeks özellikleri olarak nitelendirilebilecek özellikleri parçacıkların şekli ve boyutu, zemin kıvamları ya da göreceli yoğunlukları şeklinde düşünülebilir (Murthy, 2002: 31). Zeminlerin mevcut ortamlarındaki doğal halleri ile incelemek için alınan örselenmemiş örnekleri, birden çok faz içeren özel bir mühendislik karakteristiğine sahiptir (Bkz. Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Doğal zemin ortamı ve örnek bir zemin elemanı (Uzuner, 2016: 19)

Zeminlerin böylesi özel bir yapıya sahip olmasından ötürü zemin endeks özelliklerinin belirlenmesinde yararlanılan geoteknik laboratuvar deneyleri ve bunlarla ilişkili bazı geoteknik arazi deneyleri bazı kıstaslar göz önüne alınarak 4 ana başlıkta toplanmıştır:

- ✓ Zeminin temel fiziksel özelliklerinin belirlenmesi
- ✓ Zeminin kıvam limitlerinin belirlenmesi
- ✓ Zeminin dane çapı dağılımının belirlenmesi
- ✓ Zemine ait en elverişli (optimum) su içeriği ile yerinde yoğunluğun belirlenmesi

Buradaki ana başlıklar altında seçilen geoteknik mühendisliği deneylerinin her biri öncelikle kuramsal ve biçimsel açıdan detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Deneylerin kuramsal ve

biçimsel açıdan teferruatlı bir şekilde izah edilmesinde kılavuzluk etmesi açısından temel yayın olarak Orhan, Özer ve Işık (2004) ile Das ve Sobhan (2017) tarafından yazılan bilimsel yayınlar takip edilmiştir. Bunun dışında, deney anlatımları esnasında ihtiyaç görülen yerlerde geoteknik mühendisliğinde yapılmış birtakım bilimsel yazınlardan ve yayınlardan da yararlanılmıştır (Yılmaz, Yıldırım ve Keskin, 2009, 2016; Uzuner 2016; Budhu, 2015; Head, 2006; Murthy, 2002).

Her bir deneye ait kuramsal tanımlama, kullanılan araç-gereç dizelgesi, deneyin gerçekleştirilmesi, deneye ait matematiksel hesaplamalar ilgili deney başlığı içerisinde belirtilmiştir. Son olarak her bir deney içerisinde yazılıma bütünleştirmek amacıyla ilgili deneyin kodlama ve geliştirme süreçleri paylaşılmıştır. Geliştirilen nihai yazılım kapsamında, ilgili deneye ait giriş, süreç ve sonuç aşamaları açıklanarak her bir deneyin yazılım içerisindeki işlevi örneklendirilmiştir.

Zemin endeks özelliklerini saptamak için ilgili geoteknik laboratuvar deneyleri yazılım içerisinde tamamlanmasına takiben bu deneylerden elde edilen verilerin işlenebilirliğinin ortaya koyulması açısından bu kısmın sonunda zemin sınıflandırma sistemleri açıklanmıştır. Örnek olan seçilen zemin sınıflandırma sistemlerine ait genel bilgiler, kullanım amaçları, varsa özel hesaplamaları açıklanarak yine benzer şekilde zemin sınıflandırma sistemlerine ait sınıf çözümlene bağımsız bölümleri için kodlama ve geliştirme süreçleri paylaşılmıştır.

Mühendislikte her bir zemin sınıflandırma sistemi belirli ihtiyaç ve amaca göre geliştirilmiştir ve her bir zemin sınıflandırma sisteminin bazı güçlü yönleri ile bazı sınırlamaları bulunmaktadır (WisDOT, 2017). Bu yüzden örnek küme olarak birçok zemin sınıflandırma sisteminin seçilmesinin gerekçesi yazılım içerisinde sadece çeşitlilik değil, aynı zamanda kullanılabilirlik sağlanması amacına da dayanmaktadır.

Yazılıma ait kodlama ve tasarım süreçleri tamamlandıktan sonra her bir deney ögesine ait bilimsel yayınlar ve yazınlarda hesaplaması tamamlanmış örnekler seçilerek deneylerde örneklerden yararlanma havuzu oluşturulmuştur. Bu havuz sayesinde hem bilimsel yayınlar ve yayınlarda yer alan örneklerle yazılım hesap değerlendirmeleri arasında kıyaslama sağlanmış, hem de yazılımın Azure sunucu hizmeti üzerinden uzaktan erişimli veritabanıyla veri alma-veri işleme olanakları göz önüne serilmiştir.

Bu yazılımın bağlandığı uzaktan erişimli veri tabanında her bir deneye ait deney veri alma çizelgeleri oluşturulmuştur. Kullanıcı tarafından talep edilmesi durumunda veri tabanında yer alan veriler görüntülenebilir, düzenlenebilir, silinebilir ve kaydedilebilir durumdadır. Yazılım içerisinde CRUD operasyonları olarak da bilinen bu tip veri tabanı sorgu işlemleri kullanıcının erişebileceği rahatlıkla tasarlanmıştır.

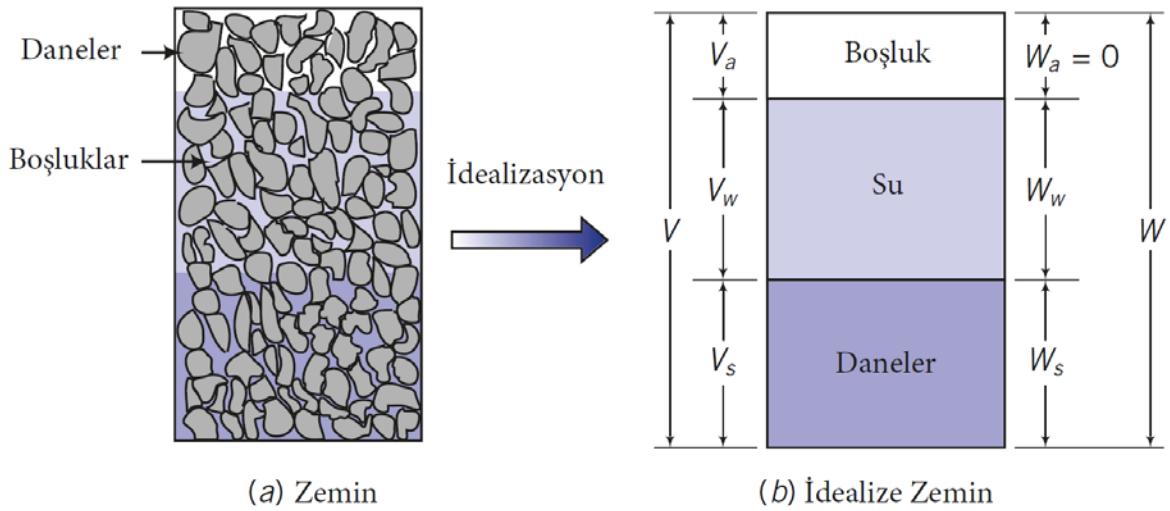
4.1. Zeminlerde Temel Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Zeminlerin endeks özelliklerinin belirlenmesinde en sık başvuru ve birçok geoteknik laboratuvar deneyleri içerisinde ayrı olarak hesaplanarak kullanılması gereken birim hacim ağırlık deneyi, özgül ağırlık deneyi ve su içeriği deneyi zeminin temel fiziksel özellikleri ifadesi altında toplanmıştır. Zeminlerin kıvam limitlerinin, dane çapı dağılımının ve yerinde yoğunluk-en elverişli (optimum) su içeriği değerlerinin saptanmasında birim hacim ağırlık, özgül ağırlık ve su içeriği deneyleri sıklıkla koşul bilgi olarak ayrıca hesaplanması gerekebilmektedir. Bir zemin için birim hacim ağırlığın belirlenen ilk özellik olması, özgül ağırlığın boyutsuz olması ve de su içeriğinin muhteva hakkında en önemli etken olması zemine ait bu tip temel fiziksel özelliklerin tespit edilmesini zorunlu kılmaktadır.

4.1.1. Birim hacim ağırlık deneyi

Deneyin tanımlanması:

Zeminler doğal karakteristiği itibariyle daneli bir yapıya sahip olup aynı zamanda kimyasal ve fiziksel özellikleri birbirinden farklı olan çok fazlı bir bünyeden oluşmaktadır. Zeminlerin daneli yapıya sahip olması danelerin arasında belli bir oranda hava veya su içerebileceği anlamına gelmektedir (Bkz. Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Zemin fazları (Budhu, 2015: 24)

Burada:

W = zemin toplam ağırlığı, g

V = zemin toplam hacmi, g/cm^3

W_a = zemin boşluk ağırlığı, g

W_w = zemin suyu ağırlığı, g

W_s = zemin daneleri ağırlığı, g

V_a = zemin boşluk hacmi, g/cm^3

V_w = zemin suyu hacmi, g/cm^3

V_s = zemin daneleri hacmi, g/cm^3

olarak ifade edilmektedir.

Bir zeminin tamamen suya doymuş hale getirilmesi zemin daneleri arasında yalnızca su bulunmasını, bir zeminin tamamen kurutulmuş hale getirilmesi ise zemin daneleri arasında yalnızca hava bulunmasını ifade etmektedir. Zeminin katı, sıvı ve gaz olarak çok fazlı bir yapıya sahip olması zemine ait endeks özelliklerinden öncelikli olarak zeminin birim hacim ağırlığının saptanmasını gerektirmektedir (Yılmaz ve diğerleri, 2009: 1). Zeminin birim hacim ağırlığı, zeminin içerisinde yer aldığı koşula göre doğal, doymuş, kuru, dane, batık gibi değişik türlerde bulunabilmektedir (Yılmaz ve diğerleri, 2016: 1). Bu tez kapsamında, bir zeminin ağırlığının hacmine oranı olan zemin birim hacim ağırlığı ve deneyi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

Deney araç-gereç dizelgesi:

- ✓ Ölçekli Cam Silindir
- ✓ Parafin
- ✓ Etüv (termostat kontrollü ve hava dolaşımı, 110 ± 5 °C)
- ✓ Hassas Duyarlı Terazî
- ✓ Kâğıt Havlu ya da Peçete

Deneyin yapılışı:

1000 ml hacme sahip ölçekli cam silindir içerisine hacminin yarısını dolduracak şekilde damıtık su ilave edilir ve ölçekli cam silindir düz bir yüzeyin üzerine konularak su seviyesi işaretlenir. Birim hacim ağırlığı saptanacak zemin örneğinin tüm ağırlığı tartılarak deney çizelgesine işlenir. Zemin örneğinin su emmesini engellemek amacıyla zemin örneği bir ip yardımıyla eritilmiş parafin içerisine daldırılır.

Zemin örneği çevresi parafinle sarılmasıyla birlikte parafinle çevrili zemin peçeteyle kurutularak tartılır ve elde edilen veri deney çizelgesine işlenir. Parafinle örtülü zemin örneği, içerisi suyla dolu ölçekli cam silindir içerisine batırılır ve ölçekli cam silindir üzerinde yeniden belirlenen su seviyesi işaretlenerek deney çizelgesine işlenir.

Deneyisel hesaplamalar:

Birim hacim ağırlık deneyi esnasında deney çizelgesine kaydedilen veriler Eş. 4.1'de yer alan matematiksel bağıntı yardımıyla çözümlenir.

$$\gamma = \frac{W_T}{(V_2 - V_1) - \left[\frac{W_P - W_T}{\gamma_P} \right]} \quad (4.1)$$

Burada:

γ = zeminin birim hacim ağırlığı, g/cm³

W_T = zemin örneğinin kütlesi, g

W_P = parafinle çevrili zemin örneğinin kütlesi, g

V_1 = ilk su seviyesinin ölçüldüğü başlangıç hacmi, cm³

V_2 = son su seviyesinin ölçüldüğü parafinle çevrili zemin örneğini içeren hacim, cm^3

γ_P = parafinin yoğunluğu (yaygın olarak $0,80 - 0,82 \text{ gr/cm}^3$)

olarak ifade edilmektedir.

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Birim hacim ağırlık deneyinin yazılım içerisindeki veri alma, düzenleme ve çözümleme sayfaları EK-1'de gösterilmiştir. Bu yazılım modülü içerisinde öncelikle kullanıcıdan birim hacim ağırlık deney yinleme sayısının girilmesi beklenmektedir. Kullanıcı gereken veriyi girdikten sonra, girilen deney tekrar sayısı doğrultusunda birim hacim ağırlık veri alma çizelgesine yönlendirilir. Burada, her bir deney tekrarı için, kullanıcıdan aşağıda yer alan deney verileri talep edilir.

- ✓ Numune ağırlığı
- ✓ Ölçekli silindirden okunan ilk hacim
- ✓ Ölçekli silindirden okunan son hacim
- ✓ Parafinle kaplı numune ağırlığı
- ✓ Parafin yoğunluğu

Bu deney verilerinin eksiksiz ve tutarlı bir şekilde girilmesinin ardından hesaplama işlemi başlatılır. Kullanıcıya her bir deney tekrarına ait birim hacim ağırlık değeri ile ortalama birim hacim ağırlık değeri bir çizelge üzerinde çıktı olarak sunulur.

Kullanıcı, yazılım içerisinde yer alan birtakım örnekleri kullanarak deney çözümlemesi gerçekleştirmek istemesi durumunda kullanıcının uzaktan erişimli veri tabanında yer alan verileri görüntüleyebileceği, düzenleyebileceği ve silebileceği denetim sayfasına gitmelidir. Bir deney verisinin veri tabanına kaydedilmek istenmesi durumunda ise kullanıcıya deneyin ikincil veri alma ayağında seçebileceği veri tabanına veri işleme seçeneği sunulmuştur. Bu seçenek her bir deney adımı için ortak bir şekilde sunulmasından ötürü her bir deneyde benzer algoritmaya ve yetiye sahip bir şekilde kodlanmıştır.

4.1.2. Su içeriği deneyi

Deneyin tanımlanması:

Su içeriği deneyinin amacı, belirli bir zemin numunesinin sahip olduğu su muhteva oranını tespit edebilmektir. En yalın haliyle, su içeriği oranı bir zeminin su ağırlığının kuru ağırlığına oranı olarak ifade edilebilir ve su içeriği oranı yüzde olarak belirtilebilir. Su içeriği deneyi için temel alınan standart esas TS olup gerekli hususlarda ASTM standart esasından da faydalanılmıştır (TS 1900-1, 2006; ASTM D 2216, 2010).

Deney araç-gereç dizelgesi:

- ✓ Etüv (termostat kontrollü ve hava dolaşımli, 110 ± 5 °C)
- ✓ Hassas Duyarlı Terazı
- ✓ Metal Numune Kapları (korozyona dayanıklı malzemededen)
- ✓ Desikatör veya Nem Kabı
- ✓ Isıya Dayanıklı Eldiven (etüv içerisine yerleştirmede)
- ✓ Bölgeç ve İspatula (karıştırma ve bölümleme için)

Deneyin yapılışı:

Su içeriği yöntemine özel bir zemin numune miktarı alt sınırı belirtilmemiş ise su içeriğinin noksansız tespit edilebilmesi için zemin örneklerinden alınabilecek en az deney numune miktarları TS ve ASTM standart esaslarında belirtilmiştir. (Bkz. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2)

Çizelge 4.1. Zemin örneklerinden alınması gereken en az numune miktarları (ASTM D2216, 2010)

En yüksek dane boyutu (100 % geçen)	Standart elek boyutu	Su içeriği deneyi için önerilen en az deney numune kütlesi ($\pm 0,1$ % farkla)	Su içeriği deneyi için önerilen en az deney numune kütlesi (± 1 % farkla)
2 mm ya da daha az	No. 10	20 g	20 g ^A
4,75 mm	No. 4	100 g	20 g ^A
9,5 mm	3/8-inç	500 g	50 g

Çizelge 4.1. (Devam) Zemin örneklerinden alınması gereken en az numune miktarları (ASTM D2216, 2010)

19,0 mm	3/4-inç	2,5 kg	250 g
37,5 mm	1 1/2 inç	10 kg	1 kg
75,0 mm	3-inç	50 kg	5 kg

^A Değerlendirebilmek için 20 g'dan az kullanılmamalıdır

Çizelge 4.2. Zemin örneklerinden alınması gereken en az numune miktarları (TS 1900-1, 2006)

Zemin gruplarına göre gerekli en az numune miktarı		
İnce daneli	Orta daneli	İri daneli
50 g	350 g	4 kg

Numune kabının temizlenmiş ve kurutulmuş haldeki kap ağırlığı tartılır ve kap numarasıyla birlikte deney çizelgesi üzerine işlenir. Deneyin sağlıklı yürütebilmesi için uygun miktarda zemin numune örneği alınarak numune kabının içerisine doldurulur ve dara ağırlığı dâhil olmak üzere toplam ağırlık deney çizelgesi üzerine işlenir. Numune kabı içerisinde yer alan zemin örneği, 110 ± 5 °C hassasiyetinde ayarlı çalıştırılan etüv içerisine yerleştirilir. Zemin örneğinin etüv içerisinde değişmez bir ağırlığa sahip olduğu süreye ulaşınca dek kurutma işlemi sürdürülür. Bu süre zeminin tanecik durumuna ve etüvün teknik özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

Sabit ağırlığa ulaşan zemin örneği ait olduğu numune kabıyla birlikte etüvden çıkartılır; soğumak üzere desikatör veya nem kabı içerisine alınır ve beklemeye bırakılır. Etüvden çıkarılan zemin örneğinin soğutma süresi oda sıcaklığına varıncaya dek sürdürülebilir (Orhan ve diğerleri, 2004: 17). Hassas duyarlı terazi olarak seçilen tartının elektronik olması durumunda cihaza zarar verilmeyecek sıcaklık sınırı muhakkak denetlenmelidir. Yeterince soğumaya ulaşan ve normalleşmeye başlayan zemin örneği kuru halde ait olduğu numune kabıyla birlikte tartılır; elde edilen toplam numune ağırlığı deney çizelgesi üzerine işlenir.

Deneysel hesaplamalar:

Su içeriği deneyi için gereken deneysel veriler elde edildikten sonra su içeriği oranı Eş. 4.2'de yer alan matematiksel bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$\omega (\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100 \quad (4.2)$$

Burada:

ω = su içeriği oranı, (%)

m_1 = numune kap ağırlığı, g

m_2 = numune kabıyla birlikte yaş zemin örneği ağırlığı, g

m_3 = numune kabıyla birlikte kuru zemin örneği ağırlığı, g

olarak ifade edilmektedir.

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Su içeriği deneyinin yazılım içerisindeki veri alma, düzenleme ve çözümlene sayfaları EK-2'de gösterilmiştir. Su içeriği yazılım modülü içerisinde, kullanıcıdan öncelikle deney yineleme sayısının girilmesi beklenmektedir.

Kullanıcı gereken sayıyı girdikten sonra, girilen deney tekrar sayısı doğrultusunda su içeriği veri alma çizelgesine yönlendirilir. Burada, her bir deney tekrarı için, kullanıcıdan aşağıda yer alan deney verileri talep edilir.

- ✓ Kap No (varsa)
- ✓ Deney kap ağırlığı
- ✓ Yaş zemin ve kap ağırlığı
- ✓ Kuru zemin ve kap ağırlığı

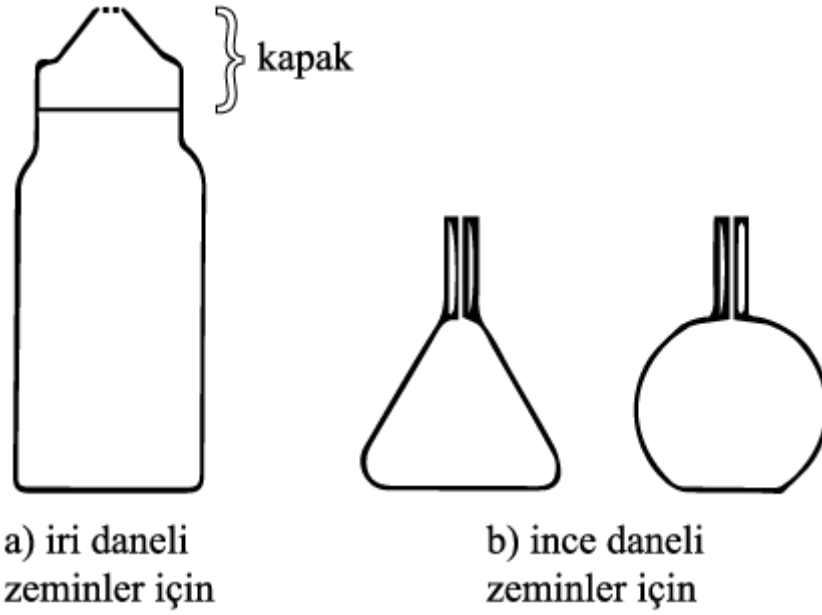
Kullanıcı tarafından gereken verilerin eksiksiz ve uygun bir biçimde girilmesi durumunda deneyin hesaplama aşamasına geçilir. Hesaplama adımının başlatılmasıyla her bir deney tekrarına ait su içeriği değeri ile deneyin ortalama su içeriği değeri bir çizelge üzerinde kullanıcıya sunulur.

4.1.3. Özgül ağırlık deneyi

Deneyin tanımlanması:

Özgül ağırlık deneyi, bir zemin örneğinin dane birim hacim ağırlığının 20 °C sıcaklığındaki suyun birim hacim ağırlığına oranı olarak ifade edilen zemin özgül ağırlığının tespit edilebilmesini amaçlamaktadır. Bir zeminin dane birim hacim ağırlığı ise danelerin kuru ağırlığının danelerin boşluksuz bulunduğu vaziyetteki hacmine oranı olarak ifade edilmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 87). Bu nedenle boyutsuz olan zemin özgül ağırlığı bir başka deyişle danelerin kuru ağırlığının boşluksuz durumdaki hacmine ve aynı hacimli 20 °C sıcaklığa sahip suyun ağırlığına oranı şeklinde söylenebilmektedir. Bunun yanında suyun 20 °C sıcaklığa sahip haldeki birim hacim ağırlığının 1 g/cm³ kabul edildiği durumlarda bir zeminin dane birim hacim ağırlığı ile özgül ağırlığı mutlakça eşit olmaktadır (Orhan ve diğerleri, 2004: 87).

Bilimsel yazınlarda ve deneysel çalışmalarda özgül ağırlık deneyi için ASTM standardı, BS ve TS gibi farklı standartların temel alınabildiği tespit edilmiş olup bu standartlar arasında kullanılan donanımlar ve uygulanan yöntemler üzerinde bazı farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Çoğunlukla ince daneli zeminlerin özgül ağırlığının belirlenmesinde kullanılan özgül ağırlık deneyinde her üç standart esasında da piknometre yani yoğunluk şişesi kullanımı yoluyla deneyin yürütülmesi önerilmektedir. Bu nedenle özgül ağırlık deneyinin diğer bir adı da piknometre deneyidir. Deneyde kullanılan yoğunluk şişesinin hacmi, ince daneli zeminin danecik boyutu aralığına bağlı olarak çeşitli ölçü ve ebatlarda olabilmektedir (Bkz. Şekil 4.3). Özgül ağırlık deneyi için ASTM standardı ve BS içerisinde önerilen deney izleme yöntemleri büyük oranda müşterek olması nedeniyle bu standart esaslarını kapsayacak şekilde bir deney gerçekleştirme süreci belirlenmiştir (TS 1900-1, 2006; ASTM D854, 2014; BS 1377-2, 1990).



Şekil 4.3. Zeminin dane durumuna göre kullanılan piknometreler (Uzuner, 2016: 35)

Deney araç-gereç dizelgesi:

- ✓ Yoğunluk Şişesi (piknometre)
- ✓ Etüv (termostat kontrollü ve hava dolaşımı, 110 ± 5 °C)
- ✓ Hassas Duyarlı Terazı
- ✓ Sıcaklık Ölçer (cam çubuk modeli)
- ✓ Vakum Pompası
- ✓ Desikatör (vakuma dayanıklı)
- ✓ Piset (plastikten imal edilmiş su kabı)
- ✓ Cam Huni
- ✓ Sabit Sıcaklık Su Tankı
- ✓ Lastik Tokmak

Deneyin yapılışı:

Yoğunluk şişesi 500 ml hacminde seçilecek ise zemin örneği 4,75 mm göz açıklıklı elekten elenmeli ve standart esasında belirtilen zemin sınıfına karşılık gelen miktarda numune alınmalıdır (Bkz. Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Özgül ağırlık deneyi önerilen deney numune kütleleri (ASTM D854, 2014)

Zemin sınıfı	250 ml'lik piknometre kullanılıyorken kuru numune kütlesi (g)	500 ml'lik piknometre kullanılıyorken kuru numune kütlesi (g)
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Silt veya kil	35 ± 5	50 ± 10

Yoğunluk şişesi 50 veya 100 ml hacminde seçilecek ise zemin örneği 2,00 mm göz açıklıklı elekten elenmeli ve standart esasında belirtilen zemin sınıfına karşılık gelen miktarda numune alınmalıdır. Türk standartlarında 50 ml hacme sahip yoğunluk şişesine 10 g zemin numunesi, 500 ml hacme sahip yoğunluk şişesine ise 100 g zemin numunesi konulması önerilmektedir (TS 1900-1, 2006).

Deneyde zemin örneği 110 ± 5 °C sıcaklığındaki etüvde ağırlığı değişmez duruma ulaşınca dek kurutulur sonrasında kuru ve sıcak haldeki numune desikatör içerisine taşınarak oda sıcaklığına düşüncüye dek bekletilir. Yeterli sıcaklığa erişen zemin örneği desikatörden çıkarılarak lastik tokmak vasıtasıyla ezilerek topaklanmış halde olan tanelerin dağılması sağlanır; homojen bir görünüme erişen kuru haldeki zemin örneği ağırlığı tartılarak deney çizelgesine işlenir. Yoğunluk şişesi temizlenerek kurutulur ardından kapak kısmıyla birlikte tartılarak şişenin toplam ağırlığı deney çizelgesine işlenir.

Yoğunluk şişesinin içerisine havası alınmış arı su doldurulur. 50 veya 100 ml hacmine sahip yoğunluk şişeleri için herhangi bir hacim çizgisi izlenmesine gerek duyulmaz; su doldurulurken su boyun kısmını hafiften geçtiği anda kapak hızla kapatılır ve şişe içerisindeki fazla suyun kapak içerisindeki kanaldan fışkırarak dışarı atılması sağlanır (Orhan ve diğerleri, 2004: 90). 500 ml hacme sahip yoğunluk şişesinde suyun doldurulması menüsküsün alt hizası tam hacim çizgisine gelene dek sürdürülmelidir.

Tercih edilen yoğunluk şişesi hacimlerine bağlı olarak su dolum işlemleri tamamlanmasıyla yoğunluk şişeleri içindeki suyla birlikte tartılır ve ağırlığı deney çizelgesine işlenir. Yoğunluk şişesinin kapağı çıkartılmasıyla şişe içerisine sıcaklık ölçer daldırılır ve suyun sıcaklığı tespit edilerek deney çizelgesine işlenir. Deney çizelgesine belirlenmiş ağırlığı işlenen zemin örneğinin herhangi bir kayba uğratılmadan yoğunluk şişesinin içerisine

mümkünse bir huni yardımıyla aktarımı sağlanır. Şişenin içerisine havası alınmış arı su ilavesi zemin örneğinin üzerinin su tabakasıyla örtülü vaziyete gelince dek sürdürülür; ıspatula yardımıyla zemin daneleri birbirinden ayrıştırılarak kıvam açısından suyun homojen olarak dağılımı sağlanır. Sulu zemin örneğinin dağılımı ve karışımın homojenliğinin tesisi güç olduğu vaziyetlerde karışımın bekletilmesi tavsiye edilir (Orhan ve diğerleri, 2004: 92).

Özgül ağırlık deneyinin en önemli deney kademelerinden birisi yoğunluk şişesinin içerisindeki zemin örneğinin daneleri arasındaki boşluklarda sıkışmış halde bulunan havanın çıkartılmasıdır. Deney esnasında yaşanan hataların kaynaklanması ve deney sonrasında tutarsız sonuçların gözlenmesi zemin örneği danelerinin arasındaki boşluklarda hapsolan havanın atılmamasından ileri gelmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 92). Zemin örneğinden havanın sökülmesi kaynatma yoluyla veya vakum uygulama yoluyla sağlanabilmektedir. Kaynatma yoluyla hava sökümünde zemin örneği hafif karıştırılıp ısıtılarak havanın çıkarılması sağlanırken işlemin bitiminde zemin örneğinin muhakkak soğumaya bırakılması gerekmektedir. Vakum yoluyla hava sökümünde ise yoğunluk şişesi hacim ölçülerine bağlı olarak belli cıva basıncı altında yeterli sürede zemin örneğine çalkalanarak vakum uygulanırken işlemin bitiminde hava çıkışı gözlenmeyen anda vakum durdurularak şişe içerisindeki zemin örneği ıspatula yardımıyla karıştırılır.

Kaynatma yoluyla veya vakum uygulama yoluyla hava sökümü sağlanan zemin örneğine yoğunluk şişesi içerisinde havası alınmış arı su ilavesiyle dolum yapılır; işlemin tamamlanmasıyla kapak kapatılır ve şişe, zemin, su bileşenlerinden oluşan toplam ağırlık tartılarak deney çizelgesine işlenir. Şişe kapağı ölçüm sonrası tekrar açılır ve sıcaklık ölçerinin şişe içerisine daldırılması suretiyle karışımın sıcaklığı 0,5 °C sıcaklığında bir hassasiyetle tespit edilir ve ilgili sıcaklık verisi deney çizelgesine işlenir. Şişenin içindeki zemin örneği ve su karışımı drene edildikten sonra, bir sonraki deney tekrarına hazırlamak amacıyla yoğunluk şişesi yeniden temizlenir.

Özgül ağırlık deneyinde güvenli tarafta kalan bir tespit açısından deney tekrar sayısının en az üç olmasına özen gösterilir. Burada önemli olan bir noktayı vurgulamak gerekirse, özgül ağırlık deneyi esnasında yoğunluk şişesinin sadece su dolu olduğu durumdaki ağırlık ölçümü ile zemin örneği ve su karışımının bulunduğu durumdaki ağırlık ölçümü suyun hacminin sıcaklığa bağlı olarak değişmesi ilkesi gereğince aynı sıcaklık değerlerinde

gerçekleştirilmesi gerektiğidir (Orhan ve diğeri, 2004: 93). Bu durumun mümkün olmadığı durumlarda veya eldeki araç-gereç durumundan ötürü emin olunamayan şartlarda standart esasında yer alan bir ölçümleme bağıntısı yardımıyla sıcaklık düzeltmesi yapmak elzemdir. Bu işlem, ASTM standardında yer alan su yoğunluğu- sıcaklık dönüştürme katsayısı çizelgesi yardımıyla tamamlanabilir (ASTM D854, 2014).

Deneyel hesaplamalar:

Özgül ağırlık deneyi için gereken deneysel veriler elde edildikten sonra özgül ağırlık değeri Eş. 4.3 ve Eş. 4.4'de yer alan matematiksel bağıntılar yardımıyla hesaplanır.

$$M_{\rho_w}(T_x \text{ } ^\circ\text{C}'de) = \frac{\rho_{wT_x \text{ } ^\circ\text{C}}}{\rho_{wT_i \text{ } ^\circ\text{C}}} \times [M_{\rho_w}(T_i \text{ } ^\circ\text{C}'de) - M_p] + M_p \quad (4.3)$$

$$G_s = \frac{M_s}{M_s + M_{\rho_w} - M_{\rho_{ws}}} \times K \quad (4.4)$$

Burada:

G_s = zeminin özgül ağırlığı

M_s = zemin örneğinin kuru ağırlığı, g

M_{ρ_w} = yoğunluk şişesinin tamamen su dolu vaziyetteki ağırlığı, g

$M_{\rho_{ws}}$ = yoğunluk şişesinin zemin örneğiyle birlikte tamamen su dolu vaziyetteki ağırlığı, g

K = sıcaklık dönüştürme katsayısı

$M_{\rho_w}(T_x \text{ } ^\circ\text{C}'de)$ = yoğunluk şişesinin $T_x \text{ } ^\circ\text{C}$ sıcaklığındaki su dolu vaziyetteki toplam ağırlığı, g [sıcaklık dönüştürme katsayısı yardımıyla ASTM D854 (2014) içerisinde bulunur]

$M_{\rho_w}(T_i \text{ } ^\circ\text{C}'de)$ = Yoğunluk şişesinin $T_i \text{ } ^\circ\text{C}$ sıcaklığındaki su dolu vaziyetteki ağırlığı, g [deney esnasında tartım yapılması suretiyle bulunur]

M_p = yoğunluk şişesinin kapak dâhil ağırlığı, g

olarak ifade edilmektedir.

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Özgül ağırlık deneyinin yazılım içerisindeki veri alma, düzenleme ve çözümleme sayfaları EK-3'de gösterilmiştir. Özgül ağırlık deneyi yazılım modülü içerisinde öncelikle kullanıcıdan özgül ağırlık deney yineleme sayısının girilmesi beklenmektedir. Kullanıcı

gereken veriyi girdikten sonra, girilen deney tekrar sayısı doğrultusunda özgül ağırlık veri alma çizelgesine yönlendirilir. Burada, her bir deney tekrarı için, kullanıcıdan aşağıda yer alan deney verileri 2 farklı biçimde talep edilir.

Kullanıcıdan deney tekrar sayısı kadar aşağıda yer alan veriler talep edilir:

- ✓ Örnek ağırlığı (etüv kuru)
- ✓ Şişe, örnek ve su ağırlığı
- ✓ Örnek ve suyun karışım sıcaklığı

Kullanıcıdan deney için sabit olarak aşağıda yer alan veriler talep edilir:

- ✓ Şişe ağırlığı
- ✓ Şişe ve su ağırlığı
- ✓ Suyun sıcaklığı

Kullanıcıdan alınan deney tekrar verileri eksiksiz ve uygun bir biçimde olması durumunda hesapla komutuyla deney çözümüleme sayfasına geçilir. Burada, her bir deney için sıcaklık düzeltme katsayıları ile özgül ağırlık değerleri hesaplanır ve nihai özgül ağırlık değeri kullanıcıya bir çizelge üzerinde sunulur.

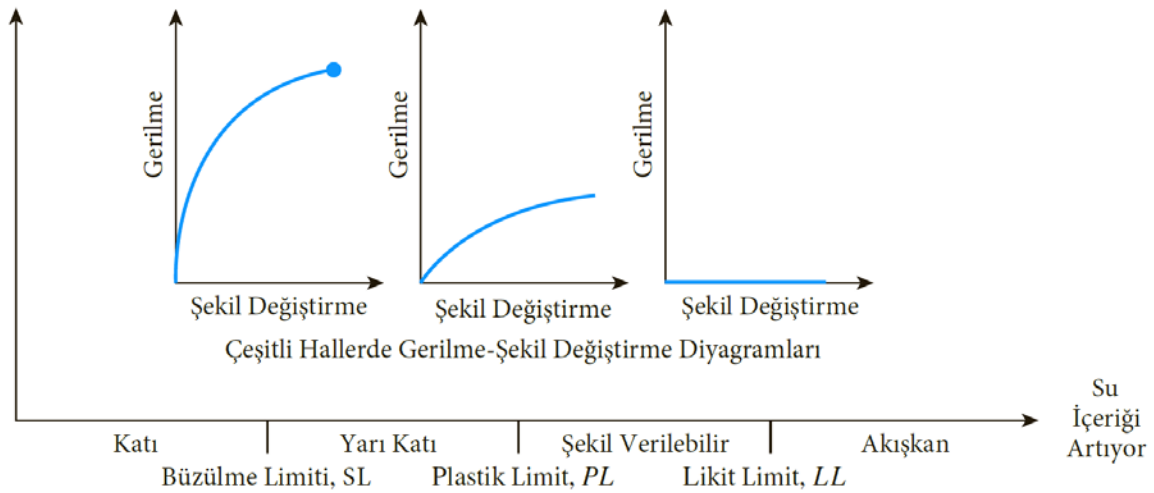
4.2. Zeminlerde Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi

Kohezyonlu bir zeminin bir miktar kurutulması durumunda çatlama ya da kırılma yaşanmadan kolayca istenilen şeklin verilebildiği yani, plastik hale geçebildiği görülür. Buna karşın kohezyonlu bir zemine bir miktar su eklenmesi durumunda zeminin akışkan bir sıvı gibi karakter göstererek kendi ağırlığı altında kolaylıkla akabildiği akışkan hali gözlemlenir (Orhan ve diğerleri, 2004: 29).

Kohezyonlu bir zemine uygulanan kurutma işlemi sürdürülmeye devam ederse önce herhangi bir şekil verme girişimi durumunda zeminin kırılıp parçalanacağı yarı katı hale geçtiği, sonra da tamamen gevrek ve kırılgan bir yapıya bürünerek tam katı hale geçtiği görülecektir. Bu nedenle, bir zeminin sahip olduğu farklı su içeriğine karşı gösterdiği farklı

davranışlara zeminin kıvamı adı verilmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 29). Atterberg (1911) tarafından ortaya sürülen bu bulgulara göre zeminlerin kıvamlarını birbirinden ayıran ve günümüzde Atterberg sınırları olarak da bilinen bazı sınır su içerikleri bulunmaktadır.

Das ve Sobhan (2017: 96) tarafından zeminlerin değişen su içeriklerine göre bürünebildiği kıvam sınırları şematik olarak ifade edilmiştir. Bu sınırlara göre akışkanlık sınırı likit limit, şekil verilebilirlik sınırı plastik limit, büzülme sınırı da büzülme limiti olarak adlandırılmıştır. (Bkz. Şekil 4.4)



Şekil 4.4. Atterberg sınırları (Das ve Sobhan, 2017: 96)

Kıvam sınırlarının açıklanması, hacim ve su içeriği ilişkisiyle de mümkün olmakla birlikte bir zemin örneğinin değişen su içeriğine göre hacminin hangi sınırlar altında ne denli değiştiği Şekil 4.14’de gösterilmektedir. Buna göre bir kap içerisinde bulunan akışkan bir zemin örneğinin kurutulmaya maruz bırakıldıkça bünyesindeki su içeriğinin azaldığı görülecektir. Su içeriği azaldıkça zeminin akışkan yapısı değişecek, zeminin ait olduğu kıvam sınırları değişecek ve belli bir oranda hacminde azalma meydana gelecektir. Fakat bir noktadan itibaren su içeriği azalmasının sürmesine rağmen zemin hacminde bir değişiklik meydana gelmeyecektir; bu geçiş noktasındaki su içeriği zeminin suya tam doygun olduğu en az su içeriği olarak ifade edilir ve bu sınıra büzülme sınırı adı verilir.

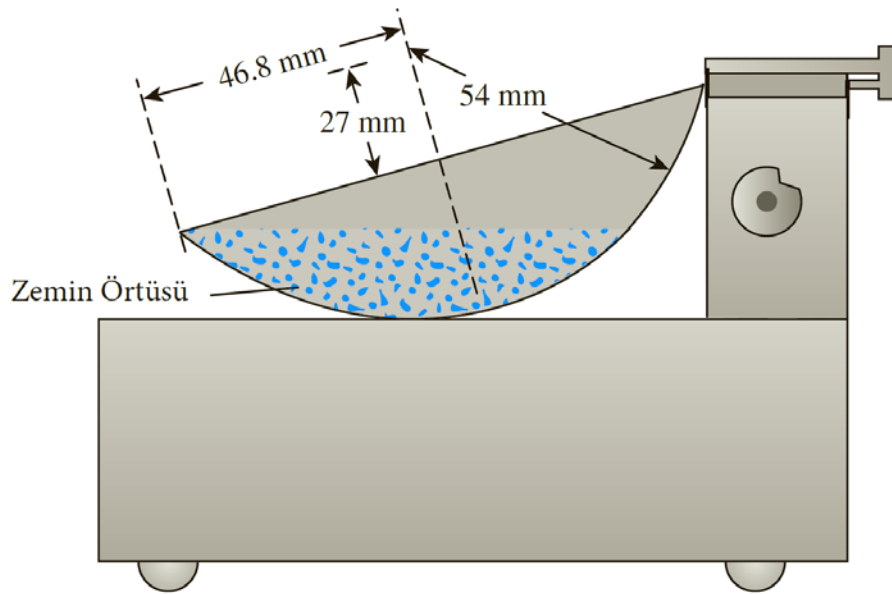
4.2.1. Casagrande likit limit deneyi

Deneyin tanımlanması:

Casagrande likit limit deneyi, bir zeminin akıcı kıvamdan şekil verilebilir kıvama geçtiği sınır su içeriğini tespit etmeyi amaçlamaktadır. Casagrande likit limit deneyi uygulaması için Casagrande yöntemi olarak da bilinen çarpmalı cihaz yöntemi esas alınmıştır. Casagrande (1932: 121-136) tarafından geliştirilen perküsyon şeklindeki yöntem daha sonra kendi adıyla da anılarak tüm dünyaca kabul görmüştür. No.40 elekten elenmiş zemin örneği üzerinde uygulanan bu yöntem, özel cihaz içerisinde zemin içerisinde açılan bir oluğun belli vuruş sayıları karşısında kapandığı ve bu vuruş sayılarına karşılık gelen su içeriklerinin saptandığı bir esasa dayanmaktadır. Zemin örneğine ait ilgili vuruş sayıları ve su içerikleri hesaplanması suretiyle elde edilen veriler bir eksen takımı üzerinde işaretlenir; bu noktalardan geçen en iyi doğru üzerinde 25 vuruşa karşılık gelen su içeriği zemine ait likit limit değeri olarak ifade edilir.

Deney araç-gereç dizelgesi:

- ✓ Casagrande Cihazı (Bkz. Şekil 4.5)
- ✓ Oluk Açma Bıçağı
- ✓ Etüv (termostat kontrollü ve hava dolaşımli, 110 ± 5 °C)
- ✓ Hassas Duyarlı Terazî
- ✓ İspatula
- ✓ Karıştırma Kapları
- ✓ Piset
- ✓ Desikatör
- ✓ Isıya Dayanıklı Eldiven
- ✓ No.40 Elek (0,425 mm göz açıklıklı)



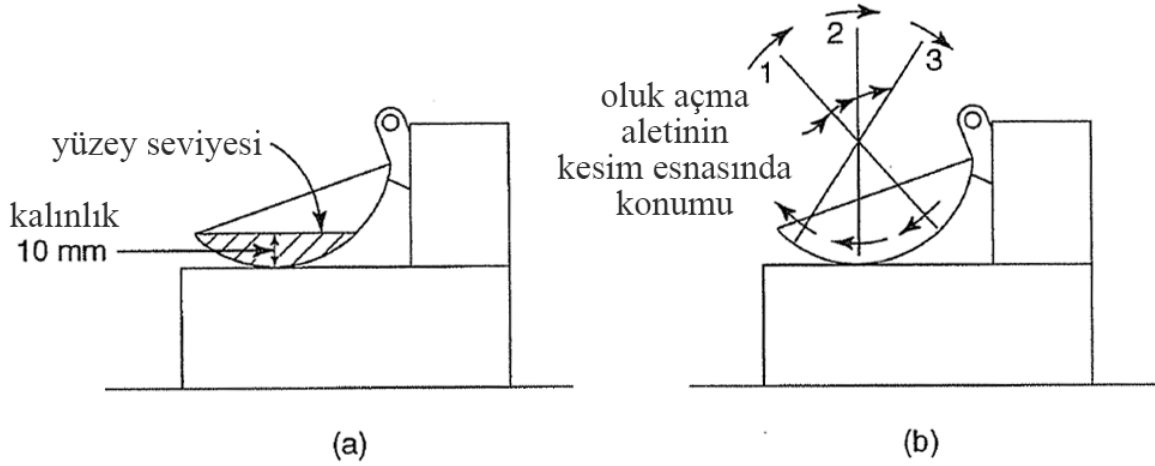
Şekil 4.5. Likit limit deney cihazı (Das ve Sobhan, 2017: 97)

Deneyin yapılışı:

Casagrande likit limit deneyinde 24 saat etüvde bekletilmiş bir kil numunesiyle bir miktar arı su bir karıştırma kabı içerisinde şekil verilebilir kıvama gelinceye dek iyice karıştırılır. Bunun dışında farklı karakteristiğe sahip bir zemin örneği buluyorsa, No.40 elek üzerinde kalabilecek danelere sahip bir yapısı varsa ya da zeminin yaş olma-kuru olma durumu farklılık arz ediyorsa ASTM standart esasına dayanarak gerekli zemin örneği hazırlıklarının yapılması önerilir (ASTM D 4318, 2017).

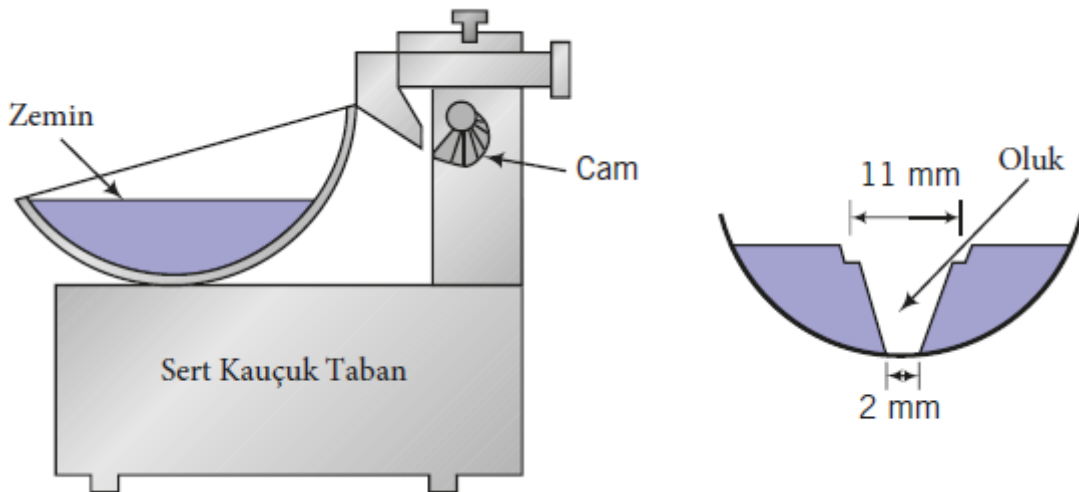
Bunun yanında deney öncesinde Casagrande cihazının kabının düşme yüksekliğinin denetlenmesi önem arz etmektedir. Casagrande cihazında yapılacak deneme çevrimlerinde vuruş esnasında hiç ses gelmemesi ya da ani bir şekilde düşüm gerçekleşmesi istenmeyen durumlar arasındadır. Bu nedenle özellikle kalınlığın 10 mm değerine ayarlanması önerilmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 33). Yeterli şekil verilebilir kıvama sahip ve yeterince karıştırılan zemin örneğinin deneye hazır olması durumunda içerisinden bir miktar alınarak Casagrande cihazına yarım ay biçiminde kenarlardan ortaya doğru yerleştirilir ve ince bir tabaka hali alana dek düzeltmeler uygulanır. Oluk açma bıçağı aracılığıyla ince tabaka halindeki numuneyi ikiye ayıracak düzeyde numune üzerinde bir oluk açılır. Cihazın

yatay kolunu kullanarak aynı esnada kolun sabit bir hızla çevrilmesi sağlanır ve zemin örneği üzerinde çevrimler yoluyla itki etkisi oluşturulur (Bkz. Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Likit limit deneyi: (a) zeminin Casagrande aletinde yerleşimi (b) oluk açma aletinin kullanımı (Head, 2006: 89)

Her çevrimde oluklar kapanırken zemin örneği parçaları birbirine yaklaşır ve bu işleme zemin örneği yeniden yekpare görünüme geçene dek devam edilir. Casagrande deneyinde açılması beklenen oluk ölçüleri ile temsili Casagrande deney ortamı Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Temsili olarak Casagrande cihazı ve açılan bir oluk (Budhu, 2015: 40)

Zemin örneği, tek parça görünüme eriştiği anda zemin parçalarını birbirine kenetleyen toplam düşüm sayısı kaydedilir ve bu işlemler üç defa su oranı sabit iken kil oranı artırılarak devam ettirilir. Zemin örneği üzerinde 40 vuruş sayısı uygulanmasına rağmen mevcut oluk

halen kapanmadıysa zeminin henüz katı kıvamdan çıkamadığı anlaşılmalıdır. Buna benzer bir durumda zemin örneği cihazdan karıştırma kabına aktarılarak bir miktar arı su ilavesiyle bir miktar daha karıştırılması sağlanır ve şekil verilebilir kıvama geçtiğinden emin olunur.

Zemin örneği üzerinde 25 vuruştan az bir vuruş uygulanmasıyla mevcut oluk kapanıyorsa zeminin olması gerekenden çok daha fazla akışkan kıvamda olduğu anlaşılmalıdır. Buna benzer bir durumda zemin örneği cihazdan alınır fakat kesinlikle içerisinde kuru zemin örneği ilave edilmesi önerilmez (Orhan ve diğerleri, 2004: 34). Bunun yerine yeterli vakit mevcutsa zeminin açık hava ortamında arzu edilen kıvama erişinceye dek bekletilmesi önerilir; deneysel çalışmada böyle bir zaman mümkün değilse alternatif çözüm olarak sıcak hava üflenmesi, saç kurutma makinası uygulaması ya da oda sıcaklığından bir miktar yüksek sıcaklıkta etüvde bekletilmesi gibi yöntemler uygulanmalıdır. Zemin örneğinde yüzeysel kurumaların önüne geçebilmek adına yeterince karıştırma işlemine özen gösterilmelidir (Orhan ve diğerleri, 2004: 35).

Zemin örneği üzerindeki oluk beklenen vuruş sayısı aralığında kapanıyorsa deneyin sonuçlandırılması kademesine geçilebilir. Nihayetinde eldeki karışımdan bir miktar alınarak yaş ağırlığı tartılır ve ölçümden sonra 24 saat boyunca etüvde kurumaya bırakılır. Bu süre zarfının sonunda zemin örneğinin kuru ağırlığı da tartılarak deney çizelgesine işlenir. Bu sürecin tamamlanmasıyla deney tekrar sayısına göre elde edilen tüm bulgular çizelgeye işlenir; bu çizelge üzerinden her bir deney yinelemesinden, zemin örneğine ait vuruş sayıları ile onlara karşılık gelen su içeriği hesaplanır.

Zemin örneği üzerindeki oluğun tam kapanmasını sağlayan vuruş sayısının irdelendiği herhangi bir deney tekrarında tesadüfen 25 vuruştaki oluğun tam kapanmasına rastlanırsa oluğun tam kapandığı alandaki zemin örneğinin yaklaşık yarısı alınarak su içeriğinin tespit edilmesi sağlanır. Geriye kalan diğer yarı zemin örneği üzerinde bir kez daha deney tekrarı yapılarak zemin örneğindeki oluğun yeniden 25 vuruştaki tam kapandığı gözlenirse, bu zemin örneğinden alınan su içeriği doğrudan zeminin nihai likit limiti olarak ifade edilebilir.

Deneysel hesaplamalar:

Casagrande likit limit deneyi için gereken deneysel veriler elde edildikten sonra vuruş sayısı belli olan her bir zemin örneği için su içeriği oranı Eş. 4.5’de yer alan matematiksel bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$\omega (\%) = \frac{m_{yaş} - m_{kuru}}{m_{kuru} - m_{kap}} \times 100 \quad (4.5)$$

Burada:

ω = su içeriği oranı, (%)

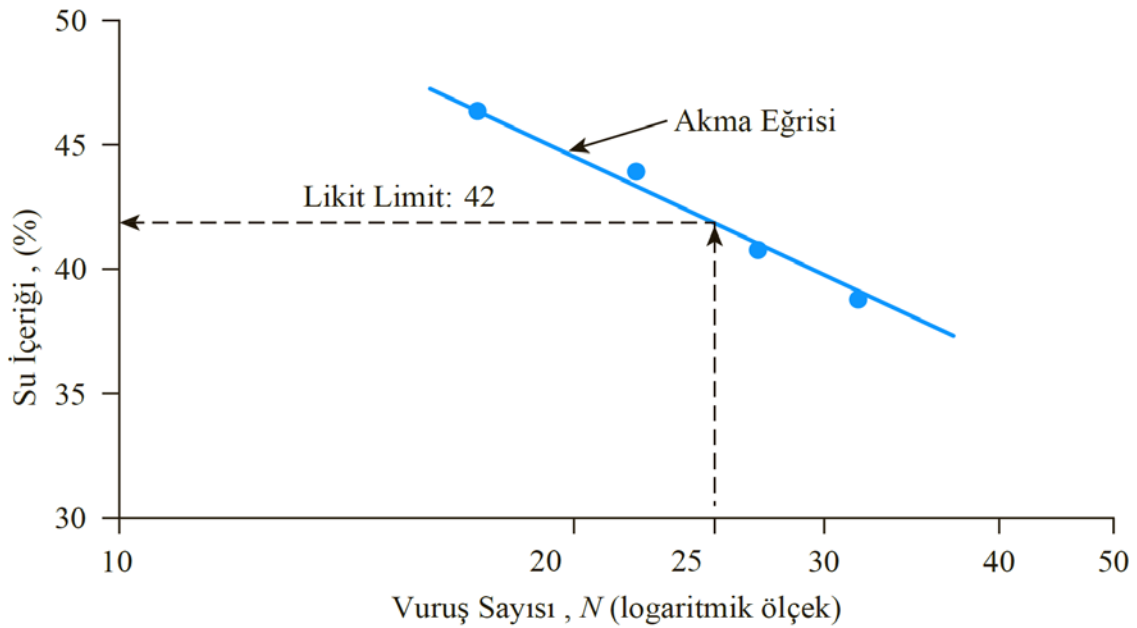
m_{kap} = zemin örneğine ait kap ağırlığı, g

$m_{yaş}$ = numune kabıyla birlikte yaş zemin örneği ağırlığı, g

m_{kuru} = numune kabıyla birlikte kuru zemin örneği ağırlığı, g

olarak ifade edilmektedir.

Casagrande likit limit deneyi sonunda zemin örneği için vuruş sayılarına karşılık gelen su içerikleri yarı logaritmik eksenli bir kâğıda çizilir. Yatay eksenle logaritmik olarak konumlanan vuruş sayıları bulunurken düşey eksenle doğrusal olarak konumlanan su içerikleri yer almalıdır. Elde edilen noktalar arasından geçen en iyi doğru saptanarak doğrusal bir doğru elde edilir ve bu temsili doğruya akma doğrusu adı verilir. Son olarak yatay eksenle 25 vuruşa karşılık gelen düşey eksenleki su içeriği tespit edilir ve bu değer nihai likit limit değeri olarak alınır (Bkz. Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Likit limitin belirlenmesi (Das ve Sobhan, 2017: 100)

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Casagrande likit limit deneyinin yazılım içerisinde yer alan veri alma, düzenleme ve çözümlenme sayfaları EK-4(a) ile EK-4(b)'de gösterilmiştir. Casagrande likit limit deneyinde, öncelikle kullanıcıdan deney tekrar sayısının girilmesi beklenmektedir. Belirtilen deney yineleme sayısına göre oluşturulan Casagrande likit limit deneyi veri alma çizelgesinde aşağıda yer alan veriler talep edilir.

- ✓ Deney kap ağırlığı
- ✓ Yaş zemin ve kap ağırlığı
- ✓ Kuru zemin ve kap ağırlığı
- ✓ Vuruş sayısı

Burada ifade edilen veriler eksiksiz ve uygun bir biçimde doldurulmasıyla hesapla komutuna basılarak deneyin çözümlenme sayfasına geçilir. Bu ekranda kullanıcıya, her bir deney tekrarı için hesaplanmış su içeriği değerleri bir çizelge üzerinde gösterilir. Su içeriği-vuruş sayıları değerlerinden oluşan deney verileri ise yarı logaritmik bir eksen takımı üzerinde sunulur.

Bu eksen takımı üzerinde yer alan deney verilerinin temsil ettiği noktalardan geçen en iyi doğru saptanarak bu doğru üzerinden 25 vuruşa karşılık gelen su içeriği, yani likit limit değeri kullanıcıya sunulur.

4.2.2. Tek noktalı Casagrande likit limit deneyi

Deneyin tanımlanması:

Tek nokta Casagrande likit limit deneyi, çok noktalı likit limit deneyi kadar tutarlı ve güvenilir olmamakla birlikte likit limitin hızlı bir şekilde tayin edilmesi gereken durumlarda uygulanabilir bir yöntemdir. Zemin örneğinin deney öncesindeki kıvamı likit limit değerine oldukça yakınsanarak zemin örneği üzerinde açılan oluğun 20-30 vuruş sayısı arasında kapanacak şekilde en az iki deney yinelenmesi gerçekleştirilir. Elde edilen deneysel veriler deneysel hesaplamalar bölümünde açıklanan matematiksel bir bağıntı yardımıyla likit limit değeri hesaplanır. Bu deney çalışmasında temel alınan esas, ASTM standardı olarak belirlenmiştir (ASTM D 4318, 2017).

Deney araç-gereç dizelgesi:

- ✓ Casagrande Cihazı
- ✓ Oluk Açma Bıçağı
- ✓ Etüv (termostat kontrollü ve hava dolaşımli, 110 ± 5 °C)
- ✓ Hassas Duyarlı Terazı
- ✓ Ispatula
- ✓ Karıştırma Kapları
- ✓ Piset
- ✓ Desikatör
- ✓ Isıya Dayanıklđ Eldıven
- ✓ No.40 Elek (0,425 mm göz açıklıklı)

Deneyin yapılışı:

Zemin örneğinin deney öncesinde hazırlanması çok noktalı likit limit deneyinde olduğu gibi gerçekleştirilmektedir. Bu deneyde farklı olarak tek noktalı yöntemle likit limit saptandığından deney için 70-80 g kuru zemin örneğinin alınması yeterlidir (Orhan ve diğerleri, 2004: 42). Zemin örneği, deneye başlanmayacak kurulukta ise belli bir oranda arı su ilavesiyle karıştırılır bir gece boyunca nem kabında bekletilmeye bırakılır. Bekleme süresi sonrasında bir miktar plastik kıvam için zemin örneğinden kenara ayrılır; geriye kalan zemin örneği deneye devam edilebilecek homojen bir kıvamda ise tek noktalı likit limit deneyine başlanır.

Zemin örneği Casagrande kabı içerisine yerleştirilir, burada bir oluk meydana getirilir ve saniyede 2 vuruş gerçekleşecek bir hızda vuruş kolu çevrilir. Burada önemli olan noktalardan biri de zemin örneğinde açılan oluğun 20-30 vuruş sayısı arasında kapanması gerektiğidir. Eğer zemin örneğinde açılan oluk 20-30 vuruş sayısı arasında kapandıysa oluğun tam kapanmasını sağlayan vuruş sayısı deney çizelgesine işlenir. Oluğun kapandığı kısımdan bir miktar zemin örneği alınarak su içeriği belirlenir.

Casagrande kabında kalan zemin örneği yeniden karıştırma kabına taşınarak bir müddet daha karıştırma işlemi sürdürülür ve yeniden bir deney yinelemesi gerçekleştirilir. Bu deney tekrarında aynı şekilde gereken vuruş sayısı tespit edilerek elde edilen veri, deney çizelgesine işlenir. Bu tekrardan başka bir deney tekrarı yapılmayacağı için Casagrande kabında yer alan zemin örneğinin neredeyse tamamı alınarak su içeriği belirlenir ve elde edilen veri, deney çizelgesine işlenir.

Her iki deney yinelemesinden elde edilen vuruş sayısı ve su içeriği değerleri deneysel hesaplamalarda belirtilen matematiksel bağıntı yardımıyla işlenir ve nihai likit limit değeri saptanır. Bu deney tekrarları arasında yürütülen bir deney adımı zemin örneğinde yer alan oluk eğer ki tam 25 vuruşta kapandığı gözlenirse kapanan oluk civarında yer alan zemin örneğinin neredeyse tamamı alınarak su içeriği belirlenmelidir. Bu durumda saptanan su içeriği değeri de zemin örneğinin likit limit değeri olarak kabul edilebilir (Orhan ve diğerleri, 2004: 42).

Deneysel hesaplamalar:

Tek noktalı Casagrande likit limit değeri Eş. 4.6'da yer alan matematiksel bağıntıya göre belirlenir.

$$LL = \omega \times \left(\frac{N}{25}\right)^A \quad (4.6)$$

Burada:

LL = zemin örneğinin likit limit değeri, (%)

ω = oluktan alınan zemin örneğinin su içeriği, (%)

N = oluğun kapanmasını sağlayan vuruş sayısı,

A = akma eğrisinin eğimi

olarak ifade edilmektedir.

Akma eğrisinin eğimi ASTM standardında $A=0,121$ olarak önerilmektedir. Buradan hareketle Eş. 4.6'da yer alan matematiksel bağıntı yeniden ele alındığında akma eğimi bilinen ifade vuruş sayısına bağlı olarak Eş. 4.7'de daha da yalın hale getirilebilmektedir (ASTM D 4318, 2017).

$$LL = k \times \omega \quad (4.7)$$

Burada:

LL = zemin örneğinin likit limit değeri, (%)

ω = oluktan alınan zemin örneğinin su içeriği, (%)

k = vuruş sayılarına karşılık gelen likit limit hesaplama çarpanı olarak ifade edilmektedir.

ASTM standardına göre vuruş sayısına karşılık gelen likit limit hesaplama çarpanı 20-30 vuruş sayısı arasındaki tüm tamsayı değerleri için hesaplanmış olup bir çizelge haline getirilmiştir (ASTM D 4318, 2017). Tek noktalı likit limit deneyinde elde edilen su içeriği ve vuruş sayıları değerlerinden önce vuruş sayısı değeri kullanılarak ilgili likit limit hesaplama çarpanı tespit edilir, ardından da su içeriği değeriyle çarpılarak zemine ait nihai likit limit değeri belirlenir.

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Tek noktalı Casagrande likit limit deneyi veri alma, düzenleme ve çözümlene sayfaları EK-5’de verilmiştir. Tek noktalı Casagrande likit limit deneyi modülünde kullanıcıdan öncelikle deney tekrar sayısı talep edilir. Oluştur komutuyla birlikte deney tekrar sayısına göre aşağıda yer alan verileri içeren bir veri alma çizelgesi oluşturulur.

- ✓ Deney kap ağırlığı
- ✓ Yaş örnek ve kap ağırlığı
- ✓ Kuru örnek ve kap ağırlığı
- ✓ Vuruş sayısı

Burada ifade edilen verilerin deney çizelgesine eksiksiz ve doğru bir biçimde girilmesiyle deneyin çözümlene aşamasına geçilir. Her bir deney tekrarı için deneye ait k katsayısı ile bu katsayı çarpanından hesaplanan likit limit değeri bir çizelge üzerinde kullanıcıya sunulur.

4.2.3. Koni batma likit limit deneyi

Deneyin tanımlanması:

Koni batma likit limit deneyi, akışkan kıvamın tayininde kullanılan bir diğer deneysel yöntem olup, belli ölçülere sahip metalik bir koni cismin kendi ağırlığı altında belirli bir sürede zemin örneğinin içine batmasından yola çıkarak akışkan kıvamın tespit edilmesi esasına dayanmaktadır. Koni batma likit limit deneyi, İngiliz Devlet Karayolları Kurumu tarafından likit limit değerini saptamak için İngiliz standart esasından hareketle yöntemsel bir çalışma haline getirilmiştir (Head, 2006: 79).

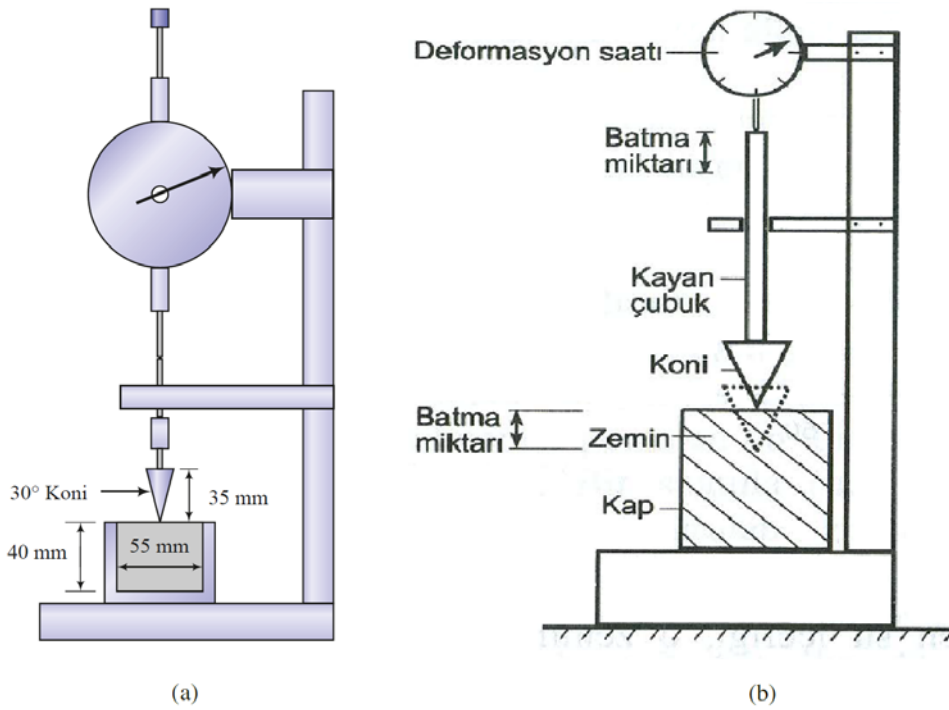
Koni batma likit limit deneyinin Casagrande likit limit deneyine kıyasla sağladığı en önemli kazanım, siltli zeminlerin akışkan kıvamının saptanmasındaki başarısı ile deney esnasında kişisel hataları en aza indirgemesidir (Orhan ve diğerleri, 2004: 47). Casagrande likit limit deneyinden yine farklı olarak koni batma likit limit deneyinde akışkan kıvamın belirlenmesi, 20 mm’lik batmaya karşılık gelen su içeriğinin zeminin likit limit değeri olarak gerçekleştirilmektedir. Su içeriği ile batma miktarı değerlerinden oluşan bir eksen takımı

üzerinde; deney örneklerine ait veri setlerinin girilmesi sonucu belirlenen akma doğrusu üzerinden 20 mm'lik batma miktarına karşılık gelen su içeriği, nihai likit limit değeri olarak saptanmaktadır.

Buna karşın koni batma likit limit deneyinin; Casagrande likit limit deneyine göre en büyük sakıncası deneyin çok fazla zemin örneği gerektirmesi, zaman alıcı ve zahmetli bir deney olması gibi etkenlerin yer almasıdır (Orhan ve diğerleri, 2004: 47). Bu çalışma kapsamında, koni batma likit limit deneyi ile ilgili temel alınan standart esasları ise BS olarak belirlenmiştir (BS 1377-2, 1990).

Deney araç-gereç dizelgesi:

- ✓ Koni Batma Likit Limit Cihazı (Bkz. Şekil 4.9)
- ✓ Düşme Süresi Ayarlama Cihazı
- ✓ Koni Batma Kabı (pirinç veya alüminyum alaşımlı kap)
- ✓ Batma Konisi (paslanmaz, pürüzsüz, sert materyal)
- ✓ Etüv (termostat kontrollü ve hava dolaşımı, 110 ± 5 °C)
- ✓ Hassas Duyarlı Teraziler
- ✓ Metal Plaka (ortası delik)
- ✓ Karıştırma İspatulası
- ✓ Karıştırma Kapları (porselen ya da melamin)
- ✓ Metal Numune Kapları (korozyona dayanıklı)
- ✓ Desikatör
- ✓ Isıya Dayanıklı Eldiven
- ✓ No.40 Elek (0,425 mm göz açıklığı)
- ✓ Piset (plastik su kabı)



Şekil 4.9. Koni batma deneyi düzeneği: (a) (Budhu, 2015: 42); (b) (Uzuner, 2016: 84)

Deneğin yapılışı:

Koni batma likit limit deneyinde temel alınan ilgili standart esasına göre deneyin gerçekleştirileceği zemin örneğinin açık ortamda laboratuvar sıcaklık koşullarında dahi olsa zemine ait plastiklik özelliklerinde geri dönüşü olmayan kalıcı değişimlerin yaşanmaması amacıyla kurutulmaması önerilmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 48). Bu nedenle koni batma likit limit deneyinde zemin örneğinin sahip olduğu dane boyutlarının dağılımına göre iki şekilde zemin örneği hazırlama kademesi bulunmaktadır.

Zemin örneği No.40 elek üzerinden geçebilecek incelikte bir dane boyutuna sahip ise, zemin örneği deneye doğal haliyle hazırlanmalıdır. 500 g civarında alınacak zemin örneği ile bir miktar arı su karıştırma ıspatulası vasıtasıyla homojen bir yapı elde edilinceye kadar karıştırılır. Karıştırma esnasında zemin örneği içerisinde ayrışan iri daneli zemin parçalarına rastlanırsa bu parçalar zemin örneği içerisinde alınması önerilir.

Karıştırma işlemi tamamlanmasının ardından zemin örneği-su karışımının homojenliğinin tam manasıyla tesis edilebilmesi için karışımın hava sızdırmaz bir kap içerisinde yaklaşık 24 saat bekletilmesi gerekmektedir. Koni batma likit limit deneyi için hazırlanan bu karışımın

yaklaşık 30-40 gram civarında plastik limit deneyinde de kullanılmak üzere ayrılması önerilir (Orhan ve diğerleri, 2004: 49). Zemin örneği No.40 elek üzerinden geçemeyecek irilikteki danelere çok fazla oranda sahip ise iri danelerin elle karışımdan ayrıştırılması pek mümkün olmayacağından ötürü zemin örneği ıslak hazırlama yöntemi ile deneye hazırlanmalıdır.

Islak hazırlama yöntemine göre No.40 elek üzerinden geçebilecek bir zemin kümesinden 350 gram civarında alınır; küçük dilimler halinde bulunacak şekilde ufalanarak bir cam beher içerisine yerleştirilir. Cam beher içerisinde üzerini örtecek kadar damıtık su ilave edilir ve koyu bir bulamaç haline gelinceye dek karıştırma işlemi sürdürülür. Bu noktada zemin örneğinin yapısı suyu emecek durumda henüz değil ise gerekirse birkaç saat bekletilmesinin ardından karıştırma işlemine devam edilmesi önerilmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 49). Daha sonra, No.40 eleğin altına bir toplama kabı yerleştirilir, karışımı yeterince sağlanan bulamaç vaziyetteki zemin örneği eleğin üzerine dökülür. Bir yandan da damıtık su eklenerek zemin örneğine ait danelerin yıkaması sürdürülür.

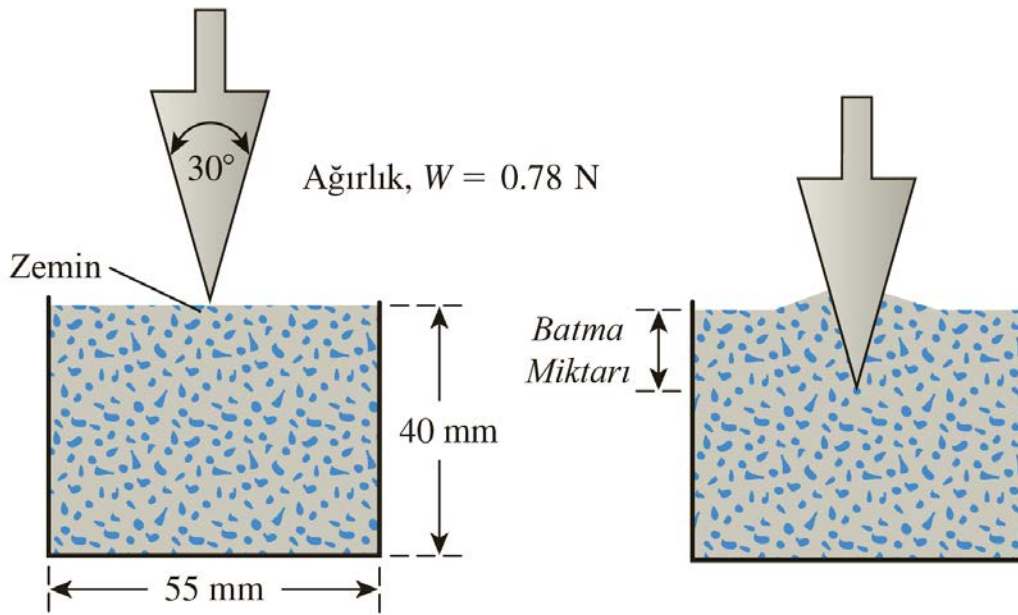
No.40 eleğin göz açıklığından geçebilecek tüm küçük boyutlu zemin örneği danelerinin toplama kabında birikmesiyle birlikte yıkama işlemi durdurulur; toplama kabında biriken ince daneli zemin örneği kümesi kayıp yaşanmadan başka bir kaba iletilir. Nihai halde yeter durumdan fazla suya sahip olduğu düşünülen zemin örneği üzerinde buharlaşmanın sağlanabileceği derecede karıştırma işlemi yapılabilir, sıcak etüvün üzerine yerleştirilebilir veya bir kurutma makinası vasıtasıyla kısmi kuruma durumu sağlanabilir. Zemin örneği fiziksel olarak koyu bir pasta kıvamına geldiğinde, koni batma likit limit deneyine hazır anlamına gelmektedir.

Koni batma likit limit deneyi için hazırlanan bu karışımdan yaklaşık 30-40 gram civarında plastik limit deneyinde de kullanılmak üzere ayrılması önerilir. Batma konisinin şaft çubuğu dâhil toplam ağırlığı $80 \pm 0,1$ g olacak şekilde ayarlayabilmek için içi boş olan şaft çubuğuna hedef ağırlık yakalanması için kurşun bilyeler yerleştirilir (Orhan ve diğerleri, 2004: 49). Batma konisinin ucunun yeterli sivrilikte, aşınmamış ve batmaya elverişli olduğu denetlenmelidir. Kilitleme sistemi serbest duruma getirildiğinde koni şaftı herhangi bir duraksama yaşamadan düşebilmesi için şaftın temiz ve pürüzsüz olması sağlanmalıdır. Batma konisinin tam düşey olarak hareket edebilmesi için koni batma cihazının terazisinde

yer alması gerektiğinden, cihaz tabanındaki küresel düzeç ayarlanmalıdır. Zemin örneği deneyden evvel belli bir süre karıştırılır; başlangıç kıvamı açısından 15 mm'lik koni batma değeri elde edilecek bir ölçü yeterli olacaktır. Bu durumun sağlanamadığı koşullarda zemin örneği üzerine damıtık su ilave edilerek karıştırma işlemi sürdürülmelidir.

Karıştırma kabında yer alan örnekten azar azar alınarak pirinçten yapılmış standart deney kabına yerleştirilir. Yerleştirme esnasında hava boşluklarının kalmaması açısından kenarlardan içe doğru bastırılmalı ve yüzeyi düzgün bir şekilde perdahlmalıdır (Orhan ve diğerleri, 2004: 51). Deney kabı aletin tabanına ve koninin tam altına gelecek şekilde konumlandırılır. Bir yandan elle koni tutulduktan sonra diğer yandan kilitleme düğmesine basılarak koni serbest bırakılır ve koninin ucu zemin örneği yüzeyine tam olarak temas edecek şekilde ayarlanır. Ölçme düzeneğinin ortasında yer alan ölçme çubuğunu hareket ettiren vida ağır bir biçimde çevrilerek çubuğun ucu, koni şaftının üst başlığına tam temastan emin olarak değene dek indirilir. Ölçme düzeneğinin ortasında yer alan vida çevrilerek ölçme ibresi sıfır konumuna getirilir. Bu yolla, koni ucuyla zemin örnek yüzeyinin teması, koni şaftıyla ölçme çubuğunun teması ve ölçme ibresinin sıfırlanması gibi deney kademeleri tamamlanmış olur.

Zaman ölçüm cihazı evvela 5 sn olarak ayarlanır, zaman ölçüm cihazı ile koni batma cihazı birbirine bağlı olması nedeniyle zaman ölçüm cihazı başlatıldığı anda koni batma cihazının içindeki kilitleme mekanizması açılır. Bu sayede koni şaftı serbest kalarak kendi ağırlığının etkisiyle zemin örneğinin içerisinde batmaya başlar. Zaman ölçüm cihazında ayarlanan süre tamamlandığında kilitleme mekanizması yeniden devreye girerek koni şaftını kilitler ve bulunduğu konumda sabitlenmesini gerçekleştirir. Batma işleminin tamamlanmasıyla başlangıç konumdan bitiş konumuna ölçülen açıklık farkı, koninin batma miktarı olarak tespit edilir (Bkz. Şekil 4.10). Batma işleminin bitmesiyle ölçme çubuğu yukarı çekilir, koni şaftı kaldırılır ve koni ucunun dikkatlice temizlenmesi sağlanır.



Şekil 4.10. Batma miktarının saptanması (Das ve Sobhan, 2017: 102)

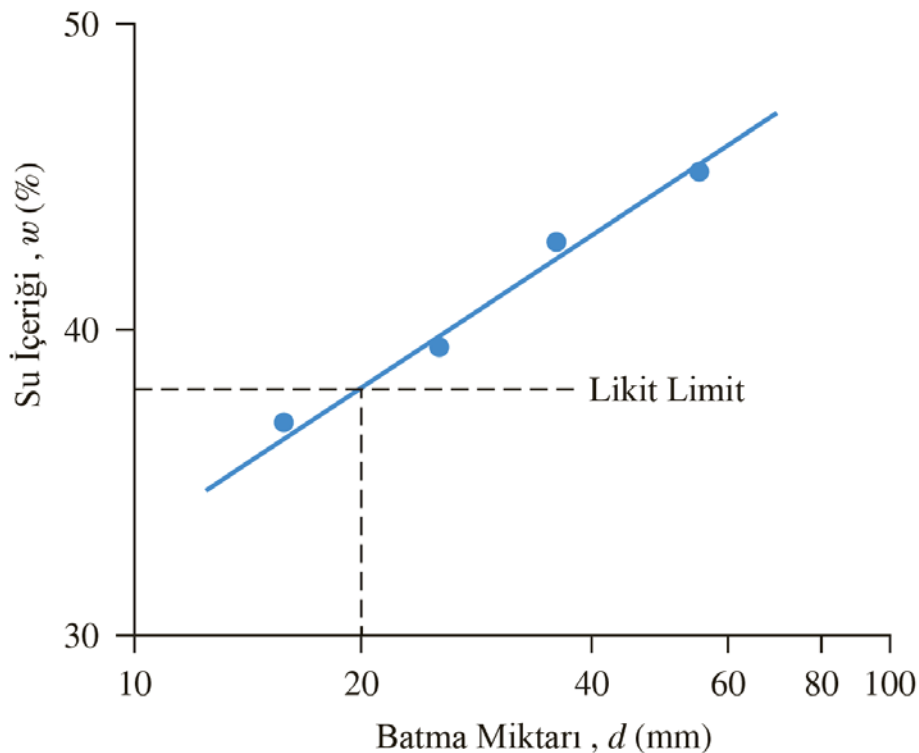
Bu işlemin ardından düzenek başlangıç konumuna getirilerek tekrardan bir koni batma değeri daha alınması sağlanır. Her iki batma miktarı arasındaki farkın 0,5 mm değerinden az olması durumunda iki batma miktarının aritmetik ortalaması alınır ve bu değer koni batma miktarı olarak kaydedilip deney çizelgesine işlenir. Eğer iki batma miktarı arasındaki fark 0,5 mm ile 1 mm değerleri arasında ise üçüncü bir batma daha uygulanır. Bu durumda batma miktarlarının herhangi ikisi arasındaki fark 1 mm değerinden az ise üçünün ortalaması alınarak batma miktarı değeri bulunur ve kaydedilip deney çizelgesine işlenir. Aksi halde batma miktarlarının herhangi ikisi arasındaki fark 1mm değerini aşıyor ise zemin örneği deney kabından çıkarılır, karıştırma kabına alınıp yeter süre karıştırılır ve yukarıda bahsedilen tüm deney adımları yinelenir.

Bir yandan da zemin su içeriği tespitinde kullanılacak numune kabının boş kap ağırlığı tartılarak deney çizelgesine işlenir. Koni batma işlemi tamamlanan zemin örneğinin su içeriğini belirlemek üzere karıştırma ıspatulasının ucu ile koninin battığı noktalardan 10 – 15 g civarında bir zemin örneği alınır (Orhan ve diğerleri, 2004: 54). Boş numune kabına yerleştirilen yaş zemin örneğinin kapla birlikteki toplam ağırlığı tartılarak deney çizelgesine işlenir. Su içeriği tespiti için numune alınan zemin örneğinin geriye kalan kısmı karıştırma ıspatulasıyla toparlanarak karıştırma kabına aktarılır; üzerinde bir miktar damıtık su ilave edilerek homojen bir görünüm elde edilinceye dek karıştırılır. Elde edilen zemin örneği

üzerinde yeniden koni batma deney adımları en az 4 defa olacak şekilde uygulanır. Bu şekilde en az 4 adet koni batma miktarı ve buna karşılık gelen 4 adet su içeriği saptanmış olur. Bu işlemlerin nihayetiyle elde edilen koni batma miktarlarının 15 mm ile 25 mm arasındaki değerlerde olması beklenmektedir.

Deneysel hesaplamalar:

Koni batma likit limit deneyinde deney tekrarlarından elde edilen verilere dayanarak su içeriği hesaplamaları Eş. 4.5’de belirtildiği üzere aynen yapılabilir. Su içeriklerinin eksiksiz saptanmasının ardından deney çizelgesinden su içeriklerine karşılık gelen batma miktarları okunarak su içeriği verileri yatayda doğrusal olarak, su içeriği düşeyde doğrusal olarak batma miktarı olacak şekilde bir eksen takımı üzerinde işaretlenir. Bu noktalardan geçen en iyi doğru tespit edilerek akma doğrusu adı verilen noktaları temsil eden yeni bir doğru çizilir. Akma doğrusu üzerinde 20 mm değerindeki batma miktarına denk gelen akma çizgisi koordinatı çizilir. Akma çizgisinin yatay ekseninde kestiği su içeriği değeri ise 20 mm değerindeki koni batma miktarına karşılık gelen su içeriği, yani zeminin nihai likit limiti olarak kaydedilir (Bkz. Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Koni batma deneyinde likit limit tayini (Das ve Sobhan, 2017: 102)

Deneyin koni batma miktarının saptandığı herhangi bir kademesinde tesadüfen 20 mm değerindeki batma miktarına ulaşırsa bu miktara ulaşılan zemin örneğinden belirlenen su içeriği, zemin örneğinin likit limit değeri olarak kabul edilir. Bu noktada önemli olan husus 20 mm değerinde elde edilen koni batma miktarındaki ölçüm hassasiyetinden emin olmaktır; böylesi bir garantinin mevcut olmadığı durumlarda aynı zemin örneğine beklemeden ötürü kaybedeceği suyu hafifçe ekleyerek yeniden koni batma miktarı tespit işlemi uygulanır. 20 mm değerindeki batma miktarının baki olması durumunda bu örneğe ait su içeriği zeminin likit limit değeri olarak kabul edilir. Buna karşın, elde edilen yeni batma miktarının farklı olması durumunda koni batma deneyine 4 adet deney tekrarı sağlanarak devam edilmelidir.

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Koni batma likit limit deneyine ait veri alma, düzenleme ve çözümlene yazılım sayfaları EK-6(a) ile EK-6(b)'de gösterilmiştir. Koni batma likit limit deneyinde, kullanıcıdan öncelikle deney yinleme sayısı talep edilmektedir. Oluştur komutuyla birlikte girilen tekrar sayısına bağlı olarak ekrana, aşağıda yer alan verileri talep eden bir deney veri alma çizelgesi getirilir.

- ✓ Batma miktarı
- ✓ Deney kap ağırlığı
- ✓ Yaş zemin ve kap ağırlığı
- ✓ Kuru zemin ve kap ağırlığı

Burada belirtilen verilerin, veri alma çizelgesinde eksiksiz ve uygun bir biçimde girilmesiyle hesapla komutuyla deney çözümlene adımına geçilir. Bu sayfada kullanıcıya, her bir deney tekrarına ait hesaplanmış su içeriği oranlarını içeren bir sonuç çizelgesi sunulur.

Deney verilerinden oluşan koni batma miktarı-su içeriği değerleri, bir eksen takımı üzerinde çizilerek kullanıcıya sunulur. Bu çizim alanında deneyde hesaplanan batma miktarı-su içeriği değerlerini temsil eden noktalardan geçen en iyi doğru çizilir. Bu doğru üzerinde batma miktarı 20 mm değerine denk gelen su içeriği değeri, kullanıcıya likit limit değeri olarak sunulur.

4.2.4. Tek noktalı koni batma likit limit deneyi

Deneyin tanımlanması:

Koni batma yöntemine göre gerçekleştirilen likit limit deneyi, zeminlerin likit limit değerinin hızlı bir biçimde tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Clayton ve Jukes (1978) tarafında değişken profilli zeminler üzerinde yapılan çok noktalı koni batma likit limit deneyinin sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilerek akma doğrusu eğiminden hareketle deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere bazı katsayılar önerilmiştir.

Bu katsayılardan yararlanılmak üzere, koni batma miktarı 15 mm ile 25 mm arasında olacak şekilde sadece tek bir deney tekrarı yapılarak zemin örneğine ait su içeriği tespit edilmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 59). Bahsedilen istatistiksel ölçümler neticesinde ortaya konan ve koni batma miktarına bağlı olan çizelgeden alınacak katsayıyla su içeriğinin çarpılması suretiyle zeminin likit limit değeri hesaplanabilmektedir.

Deney araç-gereç dizelgesi:

- ✓ Koni Batma Likit Limit Cihazı
- ✓ Düşme Süresi Ayarlama Cihazı
- ✓ Koni Batma Kabı (pirinç veya alüminyum alaşımlı kap)
- ✓ Batma Konisi (paslanmaz, pürüzsüz, sert materyal)
- ✓ Etüv (termostat kontrollü ve hava dolaşımı, 110 ± 5 °C)
- ✓ Hassas Duyarlı Terazı
- ✓ Metal Plaka (ortası delik)
- ✓ Karıştırma İspatulası
- ✓ Karıştırma Kapları (porselen ya da melamin)
- ✓ Metal Numune Kapları (korozyona dayanıklı)
- ✓ Desikatör
- ✓ Isıya Dayanıklı Eldiven
- ✓ No.40 Elek (0,425 mm göz açıklığı)
- ✓ Piset (plastik su kabı)

Deneyin yapılışı:

Tek noktalı koni batma likit limit deneyinde zemin örneğinin deney öncesinde yapılması gereken hazırlık safhaları, çok noktalı koni batma likit limit deneyi için önerilen yöntemlerde olduğu gibi aynen geçerlidir. Çok noktalı yöntemden farklı olarak, tek noktalı koni batma likit limit deneyinde zemin örneği için 100 g alınması yeterli olacaktır (Orhan ve diğerleri, 2004: 59). Zemin örneğinin su içeriği, koni batma miktarı 15-25 mm aralığında olacak şekilde düzenlenmelidir.

Deneyin gerçekleştirilmesi ise çok noktalı yöntemde olduğu gibi gerçekleştirilir ve tüm deney adımları aynı şekilde uygulanır. Tek bir deney tekrarı gerçekleştirileceğinden dolayı tek noktalı batma işleminden elde edilen koni batma miktarı deney çizelgesine işlenir. Su içeriğinin tespiti için ise koninin battığı bölgeleri kapsayacak şekilde kabın içerisinde yer alan zemin örneği alınır; su içeriğinin tespit edilmesiyle elde edilen veri, deney çizelgesine işlenir.

Deneyisel hesaplamalar:

Tek noktalı koni batma likit limit deneyinde Eş. 4.8'de yer alan matematiksel bağıntıdan yararlanılır.

$$LL = k \times \omega \quad (4.8)$$

Burada,

LL = zemin örneğinin likit limit değeri, (%)

ω = zemin örneğinin su içeriği, (%)

k = ölçülen su içeriği ve koni batma miktarına bağlı likit limit hesaplama çarpanı olarak ifade edilmektedir.

BS 1377-2 (1990) içerisinde ölçülen su içeriği aralığına bağlı olarak değişen likit limit hesaplama çarpanı, 15-25 mm arasındaki tüm koni batma miktarı değerleri için Clayton ve Jukes (1978) tarafından yapılan bilimsel çalışmalara dayanarak hesaplanmış olup, sonucunda bir çizelge haline getirilmiştir (Bkz. Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Tek noktalı koni batma likit limit deneyi k katsayıları (BS 1377-2, 1990)

Koni batma miktarı (mm)	Su içeriği (ω) aralığına bağlı olarak katsayılar		
	$\omega < \%35$	$\%50 \geq \omega \geq \%35$	$\omega > \%50$
15	1,057	1,094	1,098
16	1,052	1,076	1,075
17	1,042	1,058	1,055
18	1,030	1,039	1,036
19	1,015	1,020	1,018
20	1,000	1,000	1,000
21	0,984	0,984	0,984
22	0,971	0,968	0,967
23	0,961	0,954	0,949
24	0,955	0,943	0,929
25	0,954	0,934	0,909
Plastisite	Düşük	Orta	Yüksek

Tek noktalı koni batma likit limit deneyinde elde edilen su içeriği, bu çizelgede hangi ölçülen su içeriği aralığına denk geliyorsa tespit edilir. Bu aralıkta, deneye ait koni batma miktarıyla çizelge üzerinde hangi değerde kesişim gerçekleşiyorsa ilgili likit limit hesaplama çarpanı tespit edilir. Son olarak, elde edilen likit limit hesaplama çarpanı su içeriği değeriyle çarpılarak zemine ait nihai likit limit değeri belirlenir.

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Tek noktalı koni batma likit limit deneyine ait veri alma, düzenleme ve çözümleme yazılım sayfaları EK-7’de gösterilmiştir. Tek noktalı koni batma likit limit deneyinde öncelikle kullanıcıdan deney tekrar sayısı talep edilir. Oluştur komutuyla birlikte girilen deney tekrar sayısına göre aşağıda yer alan verileri içeren bir deney veri alma çizelgesi getirilir.

- ✓ Koni batma miktarı
- ✓ Deney kap ağırlığı
- ✓ Yaş zemin ve kap ağırlığı
- ✓ Kuru zemin ve kap ağırlığı

Gereken değerlerin eksiksiz bir şekilde girilmesinin ardından, hesapla komutuna basılarak deney çözümleme aşamasına geçilir. Bu sayfada kullanıcıya her bir deney için k katsayısı ile bu çarpana bağlı olarak hesaplanmış likit limit değeri bir çizelge üzerinde sunulur.

4.2.5. Plastik limit deneyi

Deneyin tanımlanması:

İnce daneli zeminlerin su ile olan ilişkilerinin tayini amacıyla sıkça gerçekleştirilen kıvam limitleri deneylerinden olan plastik limit deneyi, zeminin plastik yani şekil verilebilir kıvamda olduğu anda sahip olduğu en düşük su içeriğini tespit etmeyi amaçlamaktadır. Deneyin gerçekleştirilme yöntemi, düz bir yüzey üzerinde el ayasıyla ya da parmaklarla nizamlı bir şekilde yuvarlanan bir zemin örneği üzerinde yaklaşık 3 mm çapında 10 mm uzunluğunda bir silindir şeklinin kazandırılması esasına dayanmaktadır (Orhan ve diğerleri, 2004: 61).

Zemin örneğinin boyutlarının ifade edilen bu silindir görünümüne erişmesiyle belli bir müddet sonra örnek üzerinde kırılmaların ve çatlama meydana geldiği gözlenecektir; bu anda zemin örneğinin sahip olduğu su içeriği, zeminin şekil verilebilirlik sınırı yani plastik limiti olarak adlandırılmaktadır. Plastik limit deneyinde benzerlikler taşınmasından ötürü ASTM standardı, BS ve TS esaslarının derlenmesiyle geniş çaplı bir deney yöntemi takip edilmiştir (ASTM D 4318, 2017; BS 1377-2, 1990; TS 1900-1, 2006).

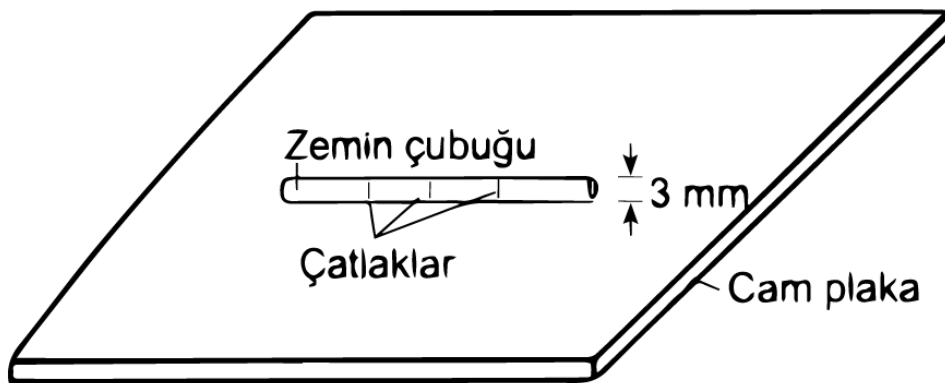
Deney araç-gereç dizelgesi:

- ✓ Etüv (termostat kontrollü ve hava dolaşımli, 110 ± 5 °C)
- ✓ Hassas Duyarlı Terazi
- ✓ Cam Levha
- ✓ Palet Bıçak
- ✓ Kap
- ✓ Elek
- ✓ Tava
- ✓ Tel Çubuk
- ✓ Düşme Yükseklik Ölçeği
- ✓ Porselen Karıştırma Kabı

Deneyin yapılışı:

Plastik limit deneyi, geoteknik mühendisliğinde genel olarak herhangi bir yönteme ait likit limit deneyiyle birlikte gerçekleştirilir. Bu nedenle plastik limit deneyi için zemin örneğinin hazırlanmasında herhangi bir yönteme ait likit limit deneyi zemin numunesi hazırlama safhaları uygulanabilir. Buna ek olarak, zemin örneğinin killi bir zemin karakteristiğine sahip olması durumunda bu tip zeminlerin doğal haldeki kıvamlarının şekil verilebilirliğin çok üzerinde bir akışkanlıkta olması beklenmektedir. Bu nedenle kil tipi zeminlerde plastik limit deneyine geçilmeden önce zemin örneğinin açık havaya temas eden bir ortamda bekletilmesi ya da yüzeyi aşırı kurumayacak şekilde hafif sıcak hava akımına tutulması, deneyin tutarlılığı açısından önerilmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 62).

Burada vurgulanan benzeri numune hazırlama ya da aksi özel tip bir numune olmadığı sürece deneyin başlangıcında 425 μm 'lik göz açıklığına sahip elekten geçen zemin örneğinden bir miktar numune alınarak cam levha üzerine yerleştirilir. Cam levha üzerinde zemin örneği, bir miktar damıtık suyla birlikte homojen yuvarlak bir top görünümü alana dek diğer bir deyişle şekil verilebilir kıvama varana dek avuç ayasıyla yoğrulup yuvarlanır. Belli bir kıvamda yuvarlanmış numuneler yaklaşık 3 mm çapında silindirik bir çubuk biçimine varana dek yuvarlanmaya devam ettirilir (Bkz. Şekil 4.12). Bu işlemler süresince çap kontrolü, çapı kesin olarak bilinen metal bir çubuk aracılığıyla sağlanır.



Şekil 4.12. Plastik limit deney ortamı (Uzuner, 2016, 85)

Silindir haline getirilen zemin örneği çapı yaklaşık 3 mm veya altına düştüğü anda örnek zemin üzerinde gözlenen kopma veya çatlama yok ise zeminin henüz plastik kıvamda olduğu varsayıp tekrardan toprak haline getirilir ve yuvarlama işlemi aynı yolla sürdürülür. Silindir halini koruyan zemin örneğinin çapı yaklaşık 3 mm veya altına düştüğü anda örnek zeminde çatlama veya dağınıklar gözlemlenirse şekil verilebilir sınır kıvamına varıldığı kabul edilerek yoğurma durdurulur ve karışımdan bir miktar alınarak yaş ağırlık tartılır. Burada yaş ağırlığı tartılan zemin örneğinin su içeriğinin sağlıklı bir şekilde tespit edilebilmesi için 6 g ağırlığından az alınmaması tavsiye edilmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 62).

Yaş ağırlığı tartılan ve deney çizelgesine değeri işlenen zemin örneği daha sonra 24 saat boyunca etüvde kurumaya bırakılır ve geçen sürenin bitiminde zemin örneğinin kuru ağırlığı da tartılarak deney çizelgesine işlenir. Bu sürecin tamamlanmasıyla deney tekrar sayısına göre elde edilen tüm bulgular deney çizelgesine eksiksiz işlenir; her bir deney tekrarındaki zemin örneğine ait su içerikleri hesaplandıktan sonra ortalama su içeriği bu zeminin plastik limit değeri olarak alınır. Likit limit değerinden plastik limit değerinin çıkarılmasıyla plastisite indisi elde edilir.

Deneyisel hesaplamalar:

Plastik limit deneyinde deney tekrarlarından elde edilen verilere dayanarak su içeriği hesaplamaları Eş. 4.5’de belirtilen matematiksel denklemdeki gibi aynen yapılabilir. Bir zeminin likit limit ve plastik limit değerlerinin hesaplanmasının ardından zemin endeks özellikleri arasında önemli bir anlam ifade eden, özellikle de zemin sınıflandırma sistemlerinde sıkça başvurulan plastisite indisi de hesaplanmalıdır. Zeminin plastik hali, kırılıp parçalanmalar olmadan bir zeminin şekil verilebilirlik kıvamı olarak tanımlanırken, zeminin plastik kıvamda davranabildiği sınırlar arası aralığa plastisite indisi adı verilmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 65). Plastisite indisi değeri Eş. 4.9’da yer alan bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$PI = LL - PL \quad (4.9)$$

Burada,

PI = zeminin plastisite indisi, (%)

LL = zeminin likit limit değeri, (%)

PL = zeminin plastik limit değeri, (%)

olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 4.5. Plastisite indisinin nitel olarak sınıflandırılması (Burmister, 1949)

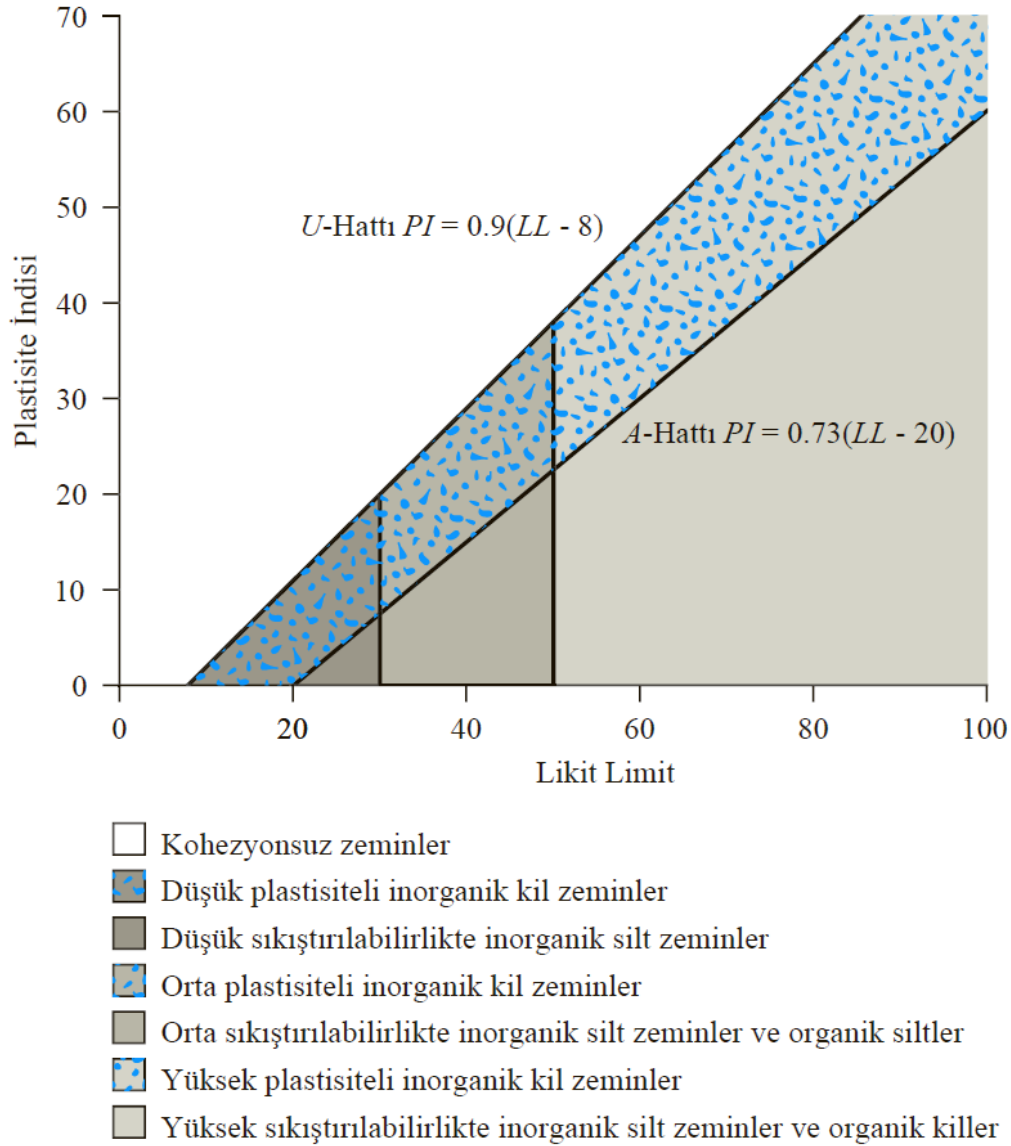
Plastisite İndisi	Tanımlama
0	NP
1 – 5	Çok az plastisite
5 – 10	Düşük plastisite
10 – 20	Orta plastisite
20 – 40	Yüksek plastisite
> 40	Çok yüksek plastisite

Bazı karakteristik özelliğe sahip zeminlerin plastik olma durumları bulunmamasından ötürü bu zeminlere plastik olmayan zemin adı verilir ve NP sembolüyle ifade edilir. Bir zeminin plastik olmayan yani NP olarak kabul edilmesi için belli bazı hususlar bulunmaktadır. Buna göre:

- ✓ Bir zeminin plastik limitinin tam olarak saptanamaması (zeminin yaklaşık 3 mm çaplı bir silindire dönüşmemesi)
- ✓ Bir zeminin likit limitinin tam olarak saptanamaması (zemin oluğunun akma değil kayma şekilde aniden kapanması)
- ✓ Bir zeminin plastik limitinin likit limitine eşit ya da daha büyük olması
- ✓ Bir zemine ait plastisite indisinin 5 ya da daha az bir değere sahip olması

Eğer bir zeminin plastik olmayan yani NP olmasından şüphe duyuluyorsa kıvam limitleri deneylerinden evvela plastik limit deneyinin yapılması önerilmektedir, zira plastik limitin tam olarak belirlenemediği koşullarda zeminin doğrudan plastik olmadığı öne sürülebilir (Liu ve Evett, 2009: 95). Bir zeminin plastik olmayan yani NP olması durumunda ilgili deney sonuç çıktılarında hem likit limit için, hem de plastik limit için ortak olarak NP ibaresi verilmelidir.

Casagrande (1932: 121-136) tarafından çok çeşitli doğal zeminler üzerinde akışkanlık sınırı ile plastisite indisi arasındaki ilişki incelenerek yapılan deneyler sonucunda bir plastisite kartı önerilmiştir (Bkz. Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Casagrande plastisite kartı (Das ve Sobhan, 2017: 117)

Bu plastisite kartında göze çarpan en önemli konu, A hattı ve U hattı olmak üzere tanımlanmış kritik doğruların bulunmasıdır. Plastisite kartına ait karakteristiklerden biri, inorganik killeri inorganik siltlerden ayıran Eş. 4.10'da verilen denkleme göre çizilen A hattıdır (Das ve Sobhan, 2017: 117).

$$PI (A Hattı) = 0,73 x (LL - 20) \quad (4.10)$$

Bu plastisite kartında A hattının üzerinde kalarak değerlendirme alanını sınırlayan U hattı, şu anda bilinen herhangi bir zemin için plastisite indisiyle akışkanlık sınırı arasındaki ilişkinin üst sınırını teşkil etmektedir (Das ve Sobhan, 2017: 117). U hattı Eş. 4.11’de yer alan denkleme göre çizilmektedir.

$$PI (U Hattı) = 0,9 x (LL - 8) \quad (4.11)$$

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Plastik limit deneyi veri alma, düzenleme ve çözümleme yazılım sayfaları EK-8’de verilmiştir. Plastik limit deneyinde öncelikle, kullanıcıdan deney yineleme sayısı talep edilir. Oluştur komutuna basılmasıyla girilen deney tekrar sayısına göre aşağıda yer alan verileri talep eden bir veri alma çizelgesi ekrana getirilir.

- ✓ Deney kap ağırlığı
- ✓ Yaş zemin ve kap ağırlığı
- ✓ Kuru zemin ve kap ağırlığı

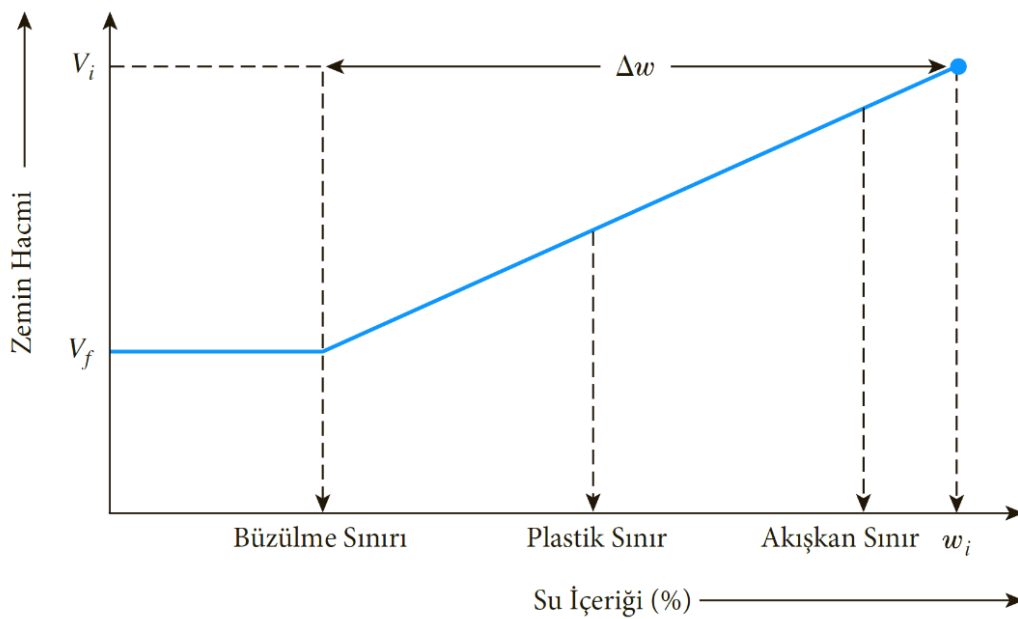
Burada ifade edilen değerlerin uygun ve eksiksiz bir biçimde girilmesinin ardından hesapla komutuna basılarak deney çözümleme aşamasına geçilir. Bu sayfada kullanıcıya her bir deney yineleme sayısı için hesaplanmış plastik limit değeri ile ortalama plastik limit değeri bir çizelge üzerinde sunulur.

4.2.6. Büzülme limiti deneyi (cıva yöntemi)

Deneyin tanımlanması:

Büzülme limiti deneyinin amacı, belirli bir zeminin yarı katı durumdan katı duruma geçtiği andaki sınır su içeriği anlamına gelen büzülme limiti değerini hesaplamaktır. İnce daneli zeminlerde, zemin bünyesinde muhteva oranı azaldıkça danecikler arası mesafe gittikçe azalacak, hacimsel daralma meydana gelecek ve nihayetinde zemin üzerinde büzülme yaşanacaktır (Orhan ve diğerleri, 2004: 69).

Bahsedilen bu durum, bir noktadan itibaren zemin bünyesindeki su miktarının azalmasına rağmen zeminin hacminde bir değişiklik oluşturamaz hale gelerek hacmin sabit kaldığı gözlenmektedir (Bkz. Şekil 4.14). Zemin örneğinde gerçekleşen muhteva kaybına rağmen hacimsel değişikliğin durduğu andaki su içeriği, büzülme limiti olarak ifade edilmektedir.



Şekil 4.14. Büzülme sınırının tanımı (Das ve Sobhan, 2017: 108)

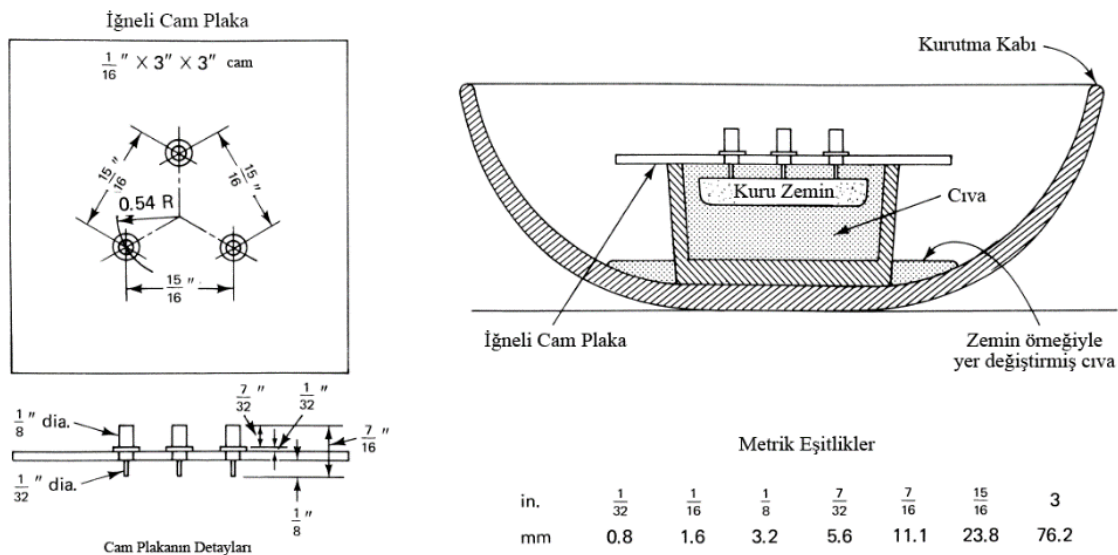
Büzülme limiti deneyinde temel alınan standart esasları ASTM standardı olup, uygulanan deney yöntemi olarak cıva taşıma yöntemi seçilmiştir (ASTM D 427, 2004).

Deney araç-gereç dizelgesi:

- ✓ Etüv (termostat kontrollü ve hava dolaşımı, 110 ± 5 °C)
- ✓ Hassas Duyarlı Teraziler
- ✓ Büzülme Kabı (ısı etkisine karşı hacmini koruyabilen)
- ✓ Hacim Ölçme Kabı (yuvarlak ve düzgün)
- ✓ İğneli Cam Plaka
- ✓ Porselen Kap (taşan cıvayı toplamak için)
- ✓ İspatula (çeşitli boyutlarda)
- ✓ Çelik Cetvel (düzeltme ve karıştırma için)

- ✓ Ölçü Silindiri (şeffaf camdan imal edilmiş)
- ✓ Cıva
- ✓ Lastik Eldiven
- ✓ Küçük Fırça

Cıva taşıma yöntemi esasına göre yürütülen büzülme limiti deneyine ait verilen bazı araç-gereç elemanlarının özel geometrik şekillere ve belirli ebattaki ölçülere sahip olması gerekmektedir. Liu ve Evett (2009: 105) tarafından yapılan çalışmada büzülme limiti deneyine ait cıva taşıma yöntemine göre gereken donanımların ölçüleriyle orantılı olarak şematik görünüşleri sunulmaktadır (Bkz. Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Büzülme limiti deneyine ait bazı donanımların ölçüleri (Liu ve Evett, 2009: 105)

Deneyin yapılışı:

No.40 elek üzerinden geçen belirli bir miktar zemin örneği karıştırma kabına yerleştirilir ve akışkan kıvamın biraz üzerine ulaşıncaya dek damıtık su ilavesiyle homojen bir kıvam elde etmek için karıştırılır. Burada bahsedilen akışkan kıvam, görelî ve tahmine dayalı olarak tespit edilir. Zemin örneğinin fazla bulamaç halde olmadan büzülme kabına yerleştiğinde kolayca yayılacak kıvam yapısında olması beklenmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 72).

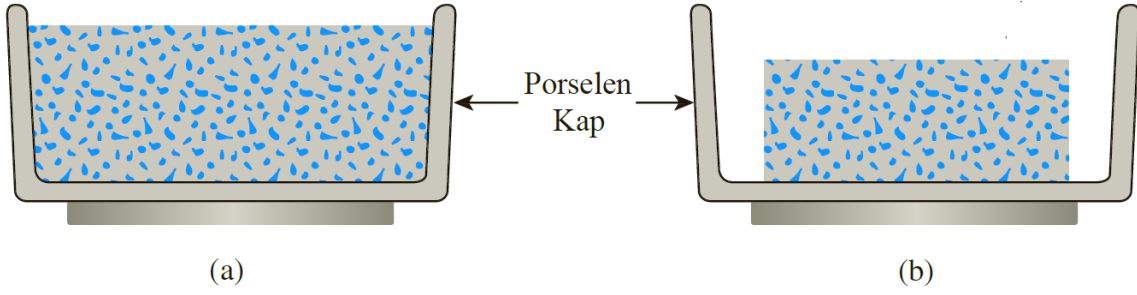
Zemin örneğinin yapışmaması amacıyla büzülme kabının iç kısımları, vazelin, silikon, ince yağ gibi temin edilebilecek bir materyal yardımıyla kaplanır ve büzülme kap ağırlığı tartılarak deney çizelgesine işlenir. Büzülme kabının iç hacminin ölçülebilmesi için büzülme kabı, taşan cıvanın tayini amacıyla öncelikle porselen kabın içerisine yerleştirilir. Burada kabın içerisine hava kalmayacak şekilde cıva yerleştirilir; cıva dolu kabın yüzeyi ise iğneli cam plaka aracılığıyla düzlenir.

Cıva dolu halde olan büzülme kabının toplam ağırlığı tartılır; kabın içerisindeki cıvanın ağırlığı, cıvanın birim hacim ağırlığı değerine bölünerek büzülme kabının içini dolduran cıvanın, bir diğer deyişle büzülme kabının iç hacmi hesaplanır. Bu durumun gerçekleştirilmesinin güç olduğu koşullarda büzülme kabı içerisinde yer alan cıva, ölçü silindire boşaltılarak da hacim değeri okunabilir.

Büzülme kabının hacminin üçte biri oranında alınan zemin örneği kabın ortasına yerleştirilir; kabın içerisinde yanal olarak yayılması ve boşluklarda yer alan hava kabarcıklarının açığa çıkması için büzülme kabının dış yüzeyine hafif darbelerle vurulur (Orhan ve diğerleri, 2004: 73). Zemin örneği yine büzülme kabının hacminin üçte biri oranına denk gelecek miktarda alınarak son adımda bahsedilen tüm işlemler tekrarlanır; tekrarında geriye kalan son zemin örneği miktarıyla da aynı işlemler tekrar edilerek büzülme kabının tamamı üç kademe doldurulur. Büzülme kabı ve içerisinde yer alan tam haldeki zemin örneği toplam ağırlığı tartılarak deney çizelgesine işlenir.

Doğru bir ağırlık alımı için, büzülme kabının ıspatula yardımıyla yüzeyinin düzlenmesi ve kabın kenarına taşmış olabilecek tanelerin temizlenmesi önem arz etmektedir. Büzülme kabıyla birlikte toplam ağırlığı alınan zemin örneği açık havayla temas eden laboratuvar ortamında zemin renginin koyudan açığa doğru değişinceye dek bekletilir (Orhan ve diğerleri, 2004: 73).

Bir miktar kuruması amaçlanan ve günün dörtte birlik kısmınca bekletilmesi uygun olan zemin örneği daha sonra 110 ± 5 °C sıcaklığındaki etüve konulur. Tamamen kurduğu gözlemlendiği anda zemin örneği, etüvden çıkarılır ve büzülme kabıyla birlikte toplam ağırlığı tartılarak deney çizelgesine işlenir. Zemin örneğinin kuruduktan sonraki görünümü ile deney başlangıcında yaş haldeki görünümü temsili olarak Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. Büzülme limiti deneyi: (a) zemin örneği kurumadan önce; (b) zemin örneği kuruduktan sonra (Das ve Sobhan, 2017: 109)

Hacim ölçme kabı yeniden temizlenen porselen kabın içerisine yerleştirilir; içerisine taşıncaya dek cıva doldurulur ve iğneli cam plaka vasıtasıyla üzerine bastırılarak yüzeyin düzlenmesi sağlanır. Ölçü kabının kenar yüzeylerine yapışan ve taşarak porselen kap içerisinde biriken cıva temizlenir ve hacim ölçme kabının temiz porselen kap içerisinde konumlandığı doğrulanır.

Etüvde kuruyan zemin örneği kırılmadan yekpare şekilde alınarak hacim ölçme kabının içerisine yerleştirilir. Zemin örneğinin yoğunluğu, cıvanın yoğunluğuna nazaran daha az olacağı beklendiğinden, zemin örneği cıva içerisinde batmadan yüzer vaziyette konumlanacaktır. Bu nedenle zemin örneğinin iğneli cam plaka yardımıyla cıvanın içerisine tamamen batırılması ve cıvanın bu haldeyken yüzeyinin düzlenmesi büyük önem arz etmektedir..

Bu işlemin yapılmasının ardından, hacim ölçme kabından taşıp porselen kaptaki kümelenen cıvanın hacmi aslında zemin örneğinin hacmine eşittir. Kabın içerisinde yer alan cıva taneleri dikkatli ve noksansız şekilde toplanarak ölçü silindiri içerisine yerleştirilir, dolayısıyla cıvanın ve kuru zemin örneğinin hacmi tespit edilmiş olur.

Deneysel hesaplamalar:

Büzülme limiti (cıva yöntemi) deneyi için gereken deneysel veriler elde edildikten sonra büzülme limiti ve büzülme oranı Eş. 4.12 ve Eş. 4.13'de yer alan matematiksel bağıntılar yardımıyla hesaplanır.

$$S_L = \omega - \left[\frac{(V - V_0)}{M_0} \times \rho_w \times 100 \right] \quad (4.12)$$

$$S_R = \frac{M_0}{V_0 \times \rho_w} \quad (4.13)$$

Burada:

S_L = büzülme limiti, (%)

S_R = büzülme oranı

ω = zemin örneği başlangıç su içeriği, (%)

V = zemin örneği başlangıç hacmi, cm^3

V_0 = zemin örneğinin kuru haldeki hacmi, cm^3

M_0 = zemin örneğinin kuru haldeki ağırlığı, g

ρ_w = suyun yoğunluğu, g/cm^3

olarak ifade edilmektedir.

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Büzülme limiti deneyine (cıva yöntemi) ait veri alma, düzenleme ve çözümleme yazılım sayfaları EK-9'da gösterilmiştir. Büzülme limiti deneyinde (cıva yöntemi) öncelikle, kullanıcıdan deney tekrar sayısı girilmesi istenir. Oluştur komutuyla veri alma çizelgesi oluşturulur ve aşağıda yer alan veriler talep edilir.

- ✓ Büzülme kabının ağırlığı
- ✓ Yaş zemin ve büzülme kabı ağırlığı
- ✓ Kuru zemin ve büzülme kabı ağırlığı
- ✓ Yaş (başlangıç) zemin hacmi
- ✓ Kuru (etüv) zemin hacmi

Burada yer alan verilerin doğru bir biçimde girilmesiyle hesapla komutuna basılır ve deney çözümleme ekranına geçilir. Burada ekrana getirilen çizelge üzerinde her bir deney tekrarına ait taşan cıva ağırlığı, başlangıç su içeriği, büzülme oranı gibi deney hesaplama sonuçları ile zeminin büzülme limiti değeri gösterilir.

4.2.7. Büzülme limiti deneyi (cihaz yöntemi)

Deneyin tanımlanması:

Büzülme limiti deneyi cihaz yönteminde boy/çap oranı 2 olacak şekilde örselenmemiş veya silindirik tüpler içerisinde sonradan hazırlanan silindirik örneklerin birkaç kademedeki kurutulması yoluyla hacimlerinin ve su içeriklerinin saptanması amaçlanmaktadır (Orhan ve diğerleri, 2004: 79). Belirlenen hacim ve su içerikleri değerlerinin bir eksen takımı üzerinde işaretlenmesiyle ilgili hesap yöntemleri neticesinde bu eksen takımı üzerinden büzülme limiti tespit edilebilmektedir. TRRL tarafından geliştirilen özel bir büzülme cihazı vasıtasıyla 38-51 mm çaplı bozulmamış zemin örnekleri üzerinde uygulanmakta iken zemin örneğinin hacmi bu cihaz içerisinde ölçülmektedir (Head, 2006: 97). Bu nedenle bilimsel yazın kaynaklarında bu deneyin diğer bir adı da TRRL yöntemi olarak geçmektedir. Bu çalışmada büzülme limiti deneyini temel alan standart esasları BS olarak belirlenmiştir (BS 1377-2, 1990).

Deney araç-gereç dizelgesi:

- ✓ Büzülme Test Cihazı
- ✓ Cıva
- ✓ Hassas Duyarlı Teraziler
- ✓ Silindirik Tüpler (örselenmemiş numune alma tüpleri Ø38-50 çap aralığında)
- ✓ Kesme ve Ölçme Donanımları
- ✓ Su İçeriği Belirleme Donanımları
- ✓ Küçük Fırça, Maşa ve Tepsi
- ✓ Cetvel ve Kumpas
- ✓ Lastik Eldiven (cıvayla teması dayanımlı)

Deneyin yapılışı:

Deneyin başlangıcında boy/çap oranı 2 olacak şekilde Ø38 çap genişliğine 76 mm boy uzunluğuna sahip örselenmemiş silindirik örnekler kullanılmalıdır. İlk olarak cetvel veya kumpas yardımıyla zemin örneğinin boyutları ölçülerek başlangıç hacmi ve başlangıç

ağırlığı belirlenir ve ilgili değerler deney çizelgesine işlenir. Büzülme limiti cihazının iç çapı ayarlaması, hazne cıva doluluğunun denetlenmesi, sağlam bir düzlem üzerinde ayaklarıyla sabitlenmesi, başlangıç mikrometre okumasının alınması gibi cihaza dair teknik adımlar deney öncesinde ilgili standart esasına bağlı olarak gerçekleştirilir (Orhan ve diğerleri, 2004: 80). Hazır halde bulunan zemin örneği cihazın sepetine yerleştirilir ve cıva haznesinin içine daldırılır; burada haznenin içindeki cıvanın zemin örneğinin üzerini tamamen örtecek durumda olmasına dikkat edilmelidir. Zemin örneğinin cihaz sepetinin içerisine yerleştirilmesi aşamasında meydana gelen hava kabarcıklarının çıkarılması için cihaz sepeti hafif darbeli bir şekilde sağa-sola döndürülür. Bu adımda mikrometre, cıvanın yüzeyine temas ederek cihaz üzerinde bulunan lamba yanına dek indirilir.

Cihaz lambasının yanmasıyla birlikte erişilen noktada mikrometre okuması yapılır ve elde edilen veri deney çizelgesine işlenir. Cihaz sepeti yukarıya kaldırılır ve zemin örneğinin içerisinden çıkarılması sağlanır; zemin örneğinin yüzeyine yapışmış ya da tutunmuş halde cıva bulunuyorsa yeterli temizlik yapılarak cıva haznesinin yeniden içerisine aktarılır. Zemin örneğinin mevcut ağırlığı tartılarak deney çizelgesine işlenir. Zemin örneğinin ağırlığının ve hacminin saptanmasıyla birlikte hızlı bir kurumamanın önüne geçebilmek için zemin örneği cam bir kabın içerisine yerleştirilir; kabın oda sıcaklığında laboratuvar ortamında yaklaşık 2 saat bekletilerek sadece bir miktar kurumaması gerçekleştirilir (Orhan ve diğerleri, 2004: 81). Bu deney adımından sonra bütün okuma ve ölçüm işlemleri birkaç defa zemin örneği üzerinde yinelenmeye devam ettirilir. Zemin örneği üzerinde yürütülen her bir tekrarda zemin örneğine ait hacim ve ağırlık ölçümleri belirlenerek deney çizelgesine işlenir.

Deneyde yeterli yineleme yapılmasıyla birlikte bir müddet sonra zemin örneğinin ağırlığının azalmasına rağmen hacminin sabit hale geldiği gözlenir. Bu andan itibaren zemin örneği hacminin sabit bir değere ulaşmasına rağmen en az üç defa daha ağırlık ile hacim ölçümü alınmalıdır (Orhan ve diğerleri, 2004: 81). Zemin örneği üzerinde yaşanabilecek daha fazla bir büzülme olmayacağı gözlemlendiği anda zemin örneği 110 °C sıcaklığında ayarlı etüv içerisine yerleştirilerek sabit bir ağırlığa varıncaya dek kurumaya bırakılır. Zemin örneğinin sabit bir ağırlığa kavuşmasıyla birlikte kuru ağırlığı tartılarak elde edilen veri deney çizelgesine işlenir. Etüv içerisinde yeterli kuruluğa ulaşan zemin örneği tekrardan cihaz sepetinin içerisine yerleştirilerek cıva haznesinin içerisine daldırılır ve yaş halinde uygulanan mikrometre okuması işlemi, kuru zemin örneği için de gerçekleştirilir.

Deneysel hesaplamalar:

TRRL yöntemine göre gerçekleştirilen büzülme limiti deneyinde her bir kademe için sırasıyla zemin örneğinin hacminin, 100 g kuru zemin ağırlığına karşılık gelen birim hacmin, su içeriğinin ve büzülme oranının hesaplanması gerekmektedir. Zeminin büzülme limiti, her bir kademedeki su içeriği ve karşılık gelen birim hacim değerleri yardımıyla bir eksen takımı üzerinden tespit edilebilmektedir.

Her bir kademedeki zemin örneğinin hacmi:

$$V = (M - M_o) \times \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{1}{1000} \quad (4.14)$$

Etüvde kurutulmuş zemin örneğinin hacmi:

$$V_d = (M_d - M_o) \times \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{1}{1000} \quad (4.15)$$

Her kademedeki 100 g kuru zemin örneğine ait birim hacim:

$$U = \frac{V \times 100}{m_d} \quad (4.16)$$

Etüvde kurutulmuş zemin örneğinin 100 g kuru zemine karşılık gelen birim hacim:

$$U_d = \frac{V \times 100}{m_d} \quad (4.17)$$

Her bir kademedeki su içeriği:

$$\omega = \frac{m - m_d}{m_d} \times 100 \quad (4.18)$$

Zemin örneğine ait büzülme oranı:

$$R_s = \frac{m_d}{V_d} \quad (4.19)$$

Burada,

V = her bir kademedeki zemin örneğinin hacmi, g/cm^3

M = her bir kademedeki alınan mikrometre okumaları, mm

M_o = cihaz sepeti boş iken cıva içinde yapılan sıfır mikrometre okuması, mm

D = büzülme cihazının haznesinin iç çapı, mm

V_d = etüvde kurutulmuş zemin örneğinin hacmi, g/cm^3

M_d = etüvde kurumuş zemin örneği üzerinde yapılan mikrometre okuması, mm

U = her kademede 100 g kuru zemin örneğine ait birim hacim, cm^3

m_d = etüvde kurutulmuş zemin örneği ağırlığı, g

U_d = etüvde kurutulmuş zemin örneğinin 100 g kuru zemine karşılık gelen birim hacim, cm^3

m = her bir kademede zemin örneği ağırlığı, g

ω = her bir kademede su içeriği, (%)

R_s = zemin örneğine ait büzülme oranı

olarak ifade edilmektedir.

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Büzülme limiti deneyine (cihaz yöntemi) ait veri alma, düzenleme ve çözümleme yazılım sayfaları EK-10(a) ile EK-10(b)'de sunulmuştur. Büzülme limiti deneyinde (cihaz yöntemi) öncelikle kullanıcıdan, deney yinleme sayısı talep edilir ve girilen sayıya göre ekrana 2 bölümden oluşan veri alma çizelgeleri getirilir.

Kullanıcıdan deney tekrar sayısı kadar aşağıda yer alan veriler talep edilir:

- ✓ Sıfır okuması
- ✓ Hacim okuması
- ✓ Yaş zemin ağırlığı

Kullanıcıdan deney için sabit olarak aşağıda yer alan veriler talep edilir:

- ✓ Kuru zemine ait sıfır okuması
- ✓ Kuru zemine ait hacim okuması
- ✓ Kuru zemin ağırlığı

Burada ifade edilen veriler doğru ve eksiksiz bir biçimde girildikten sonra hesapla komutuna basılarak deney çözümleme sayfasına geçilir. Burada ekrana getirilen deney sonuç çizelgesinde hesaplanmış su içerikleri ile 100 gr kuru örneğe karşılık gelen birim hacim değerleri sunulur.

Buna ek olarak, deneye ait su içeriği-100 gr kuru örneğe karşılık gelen birim hacim değerlerinin nokta olarak temsil edildiği bir eksen takımı ekranda gösterilir. Bu eksen takımı üzerinde, su içeriği ve ilgili birim hacim değerine bağlı olarak aralarında kırılmanın olduğu 2 farklı eğime sahip doğrular temsil edilir. Bu doğruların uzantılarının kesiştiği nokta TRRL yöntemine göre hesaplanmış büzülme limiti olarak kullanıcıya sunulur.

4.2.8. Lineer rötre limiti deneyi

Deneyin tanımlanması:

Bir zeminin lineer rötre limiti en yalın haliyle zeminde yaşanan daha fazla su kaybının zemin üzerinde daha fazla hacim azalmasına neden olmadığı andaki su içeriği olarak ifade edilir. Doğrusal büzülme limiti olarak da tanımlanan lineer rötre limiti özellikle az miktarda kil içeren zeminlerin plastik özelliklerini belirttiği için büyük önem arz etmektedir (Yılmaz ve diğerleri, 2009: 38).

Deney araç-gereç dizelgesi:

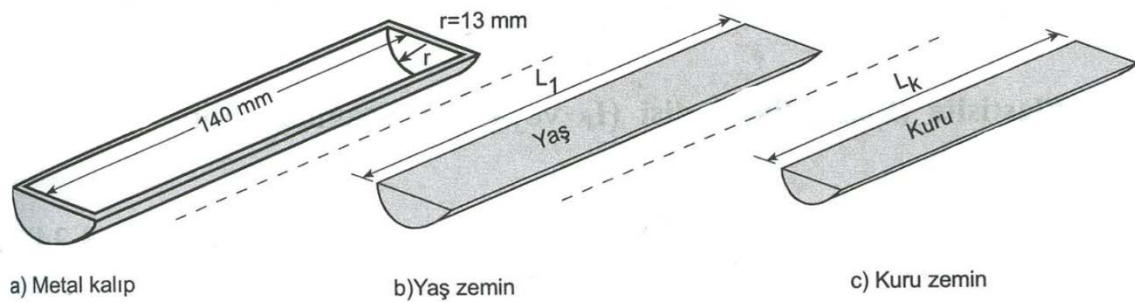
- ✓ Büzülme Kapları
- ✓ Cam Plaka (boyutları 450x450 mm kalınlığı 9 mm)
- ✓ Etüv (termostat kontrollü ve hava dolaşımı, 110 ± 5 °C)
- ✓ Çelik Cetvel
- ✓ Silikon Gres
- ✓ İspatula

Deneyin yapılışı:

Bir zemin örneğine ait No.40 elek üzerinden geçen malzeme yeterli derecede karıştırılarak 100 g ağırlığında ayrıştırılır (Yılmaz ve diğerleri, 2009: 38). Zemin örneğinin başlangıçtaki uzunluğu ölçülerek deney çizelgesine işlenir. Buradan alınan zemin örneği kısmının üzerine bir miktar arı su ilave edilerek derin bir porselen kap içerisinde macun kıvamına erişinceye dek ıspatula yardımıyla karıştırılır. Büzülme kapları, yeterliliğinden emin olunana dek

temizlenir ve zemin örneğinin içerideki yüzeylere yapışmaması için tabana ve kenarlara silikon gresi sürülür.

Zemin örneği, üç kademe halinde büzülme kapları içerisine özellikle hava kapsamayacak şekilde özenle yerleştirilir ve son kademe yüzeyin düzlenmesine özen gösterilir. Zemin örneği büzülme kaplarında kalıp çerperinden teması çekilene dek oda sıcaklığında muhafaza edilir, sonra etüv içerisinde 60-65 °C arası bir sıcaklıkta, kuruma evresinin başladığı anda ise 105 °C sıcaklıkta iyice kuruması için bekletilir (Yılmaz ve diğerleri, 2009: 38). Yeterince kuruyan zemin ile zeminin başlangıçtaki yaş hali arasında doğrusal olarak bir fark gözlemlenir (Bkz. Şekil 4.17). Zemin örneğinin kurumasını takiben kalıp içerisindeki boyu ölçülür ve ilgili veri deney çizelgesine işlenir.



Şekil 4.17. Bir boyutlu doğrusal büzülme sınırının saptanması (Uzuner, 2016: 89)

Deneysel hesaplamalar:

Lineer rötre limiti deneyinde elde edilen verilerin neticesinde zeminin doğrusal büzülme oranı Eş. 4.20'de yer alan matematiksel bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$R_L = \left(\frac{L_0 - L}{L_0} \right) \times 100 \quad (4.20)$$

Burada,

R_L = zemine ait doğrusal büzülme limiti yani, lineer rötre limiti, (%)

L_0 = zemin örneğinin başlangıçtaki boyu, cm

L = zemin örneğinin kuru haldeki boyu, cm

olarak ifade edilmektedir.

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Lineer rötire limiti deneyine ait veri alma, düzenleme ve çözümleme yazılım sayfaları EK-11’de verilmiştir. Lineer rötire limiti deneyinde öncelikle, kullanıcıdan deney tekrar sayısı talep edilerek oluştur komutuna basılmasının ardından, girilen deney tekrar sayısına göre deney veri alma çizelgesi oluşturulur. Kullanıcıdan, bu çizelge üzerinde aşağıda yer alan veriler talep edilir.

- ✓ Kap No (varsa)
- ✓ Zeminin ilk boyu
- ✓ Zeminin son boyu

Burada ifade edilen değerler tutarlı bir biçimde girilmesinin ardından hesapla komutuyla deney çözümleme aşamasına geçilir ve kullanıcıya zeminin doğrusal büzülme limitini yani lineer rötire limiti değerini içeren bir deney sonuç çizelgesi sunulur.

4.3. Zeminlerde Dane Çapı Dağılımının Belirlenmesi

Bir zeminin dane çapı dağılımının belirlenmesi ve toplam zemin kütlesi içerisindeki ağırlıkça yüzdelik oranlarının saptanması, geoteknik mühendisliğinde bu konuda mevcut önemli tüm standartlarda zeminin malzeme cins dağılım oranlarının tespit edilmesi amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bir zeminin, malzeme cinsini tayin eden sınır şartları, ilgili standart esasına bağlı olarak değişmekle beraber, olası malzeme cinsleri blok, moloz, çakıl, kum, silt ve kil olarak sıralanabilmektedir. Çok çeşitli zemin cinslerinde bulunabilen zeminlerin malzeme cinslerine bağlı olarak sahip oldukları dane özelliklerinde çeşitli farklılık görülmektedir (Bkz. Çizelge 4.6).

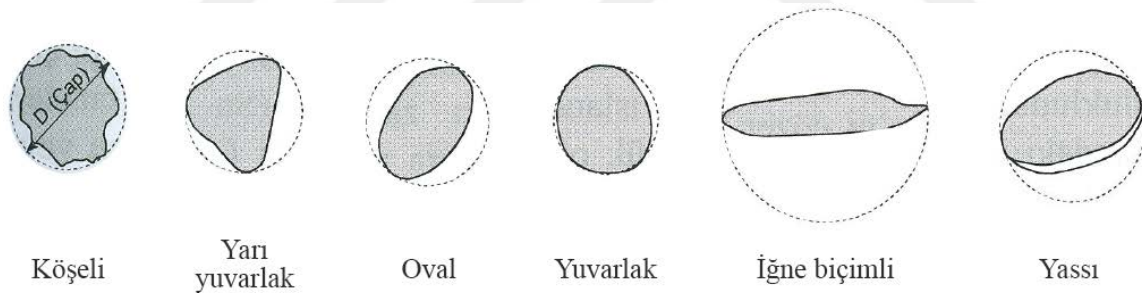
Çizelge 4.6. Eşit kürelerdeki danecik boyutu, kütlesi ve yüzey alanı (Head, 2006: 164)

Eşdeğer zemin ulamı	Dane çapı (mm)	Yaklaşık danecik kütlesi (g)	Gram başına yaklaşık danecik sayısı	Yaklaşık yüzey alanı	
				(mm ² /g)	(m ² /g)
Küçük taş (en büyük zemin danesi)	75	590	1.7/kg	30	-

Çizelge 4.6. (Devam) Eşit kürelerdeki danecik boyutu, kütlesi ve yüzey alanı (Head, 2006: 164)

Kaba kum	1	0,0014	720	2300	-
İnce kum	0,1	$1,4 \times 10^{-6}$	$7,2 \times 10^5$	23 000	0,023
Orta silt	0,01	$1,4 \times 10^{-9}$	$7,2 \times 10^8$	$2,3 \times 10^5$	0,23
Kil (ölçülmüş en küçük boyut)	0,001	$1,4 \times 10^{-12}$	$7,2 \times 10^{11}$	$2,3 \times 10^6$	2,3

Dane çapı dağılımının belirlenmesinde gerçekleştirilen elek analizi ve hidrometre deneyleri esasen birbirinin devamı niteliğinde olup, birçok çalışmada deneylerin ayrı ayrı yapılmasına karşın sonuçların birlikte sunulduğu gözlenmiştir (Orhan ve diğerleri, 2004: 101). Zeminlerin dane biçimleri ise çeşitli fiziksel görünümlere sahip olup bazı dane biçimleri Şekil 4.18’de temsili olarak verilmiştir.



Şekil 4.18. Zemin dane biçimleri (Uzuner, 2016: 11)

Elek analizi deneyiyle 0,075 mm boyutuna kadar olan zeminlerin dane çapı dağılımı saptanabilirken, hidrometre deneyiyle 0,075 mm boyutundan daha küçük olan zeminlerin dane çapı dağılımı tayin edilebilmektedir. ASTM standardı, TS ve BS gibi bazı standart esaslarına göre, No.200 elek üzerinden geçen malzeme oranı %10 değerinden az olan zeminlerde hidrometre deneyinin yapılmasına gerek yoktur (Orhan ve diğerleri, 2004: 101). Hidrometre deneyine özellikle kil yüzdesini tespit etmek amacıyla sıklıkla başvurulmaktadır.

4.3.1. Elek analizi deneyi

Deneyin tanımlanması:

Elek analizi deneyinde bir zemin örneğine ait farklı boyuttaki dane kısımlarının eleme yöntemiyle ayrımını yaparak zemine ait dane çaplarının dağılımını gözlemlemek amaçlanır. Elek analizi deneyi geoteknik mühendisliğinde ağırlıklı olarak No.200 elek üzerinde kalan iri daneli kısımların saptanması için uygulanır. Buna karşın ince daneli zeminlerde uygulanması durumunda silt ya da kil gibi çok ince malzemelerin birbirlerine yapışmasını veya çakıl, kum gibi iri daneli malzemelerin üzerine yapışmasını önlemek amacıyla zemin örneğinin yıkanması suretiyle eleme yapılması önerilir (Orhan ve diğerleri, 2004: 102).

Deney araç-gereç dizelgesi:

- ✓ Standart Elekler (uygun göz açıklığına sahip)
- ✓ Tepsi
- ✓ Etüv (termostat kontrollü ve hava dolaşımli, 110 ± 5 °C)
- ✓ Hassas Duyarlı Terazı
- ✓ Yıkama Donanımları
- ✓ Kurutma Kapları
- ✓ Kürek ve Lastik Tokmak
- ✓ Kılılı Fırça
- ✓ Bölgeç
- ✓ Nem Kabı

Elek analizi deneyinde en önemli deney donanımı, kullanılacak kare delikli standart eleklerdir. Bu nedenle elek analizinde kullanılabilecek elekler ve göz açıklıkları için TS ile ASTM standart esaslarından yararlanılması önerilir (TS 1225 ISO 565, 2001; ASTM E 11, 2009). Elek analizi deneyinde ne kadar elek seti kullanılacağı veya hangi göz açıklığına sahip elek seti seçileceği zemin örneğinin gözlemsel yapısına ve deneysel sonuçların kullanım amacına göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bu noktada en önemli olan husus, tercih edilen elek serisi içerisinde No.4, No.10 ve No.200 gibi malzeme cins dağılımı sınırlarını belirleyen özel elek setlerinin bulunmasıdır (Orhan ve diğerleri, 2004: 102).

Bir diğ er önemli nokta, eğer ki elek analizi deney sonuçları zeminin sınıflandırılması amacıyla kullanılacak ise konu edilen zemin sınıflandırma sisteminde bilinmesi gereken özel bir dane ç apı için ihtiyaç duyulan elek setinin de elek serisine eklenmesi gerektiğ idir. Örneğ in, USCS zemin sınıflandırma sistemi için No.4, No.10 ve No.200 gibi elek setlerinin elek serisi içerisinde bulunması elzem iken, AASHTO zemin sınıflandırma sisteminde bu elek setlerine ek olarak No.40 elek setinin de elek serisi içerisinde bulunması zaruridir.

Deneyin yapılışı:

Elek analizi deneyine baş lamak için zemin örneklerinden alınması gereken asgari miktarlar, çeş itli standart esasına ve seç ilen elek serisine göre değ iş kenlik göstermektedir. Bu nedenle ç alışılan elek serisinin en büyük seti ile yararlanılacak standart esasının tespitine göre ilgili ç izelgeden zemin örneğ i için gereken asgari miktarda numune alınır (TS 1900-1, 2006; ASTM D422, 2007). ASTM standart esasına ait bazı elek numaraları ile elek göz açıklıkları Ç izelge 4.7’de verilmiştir.

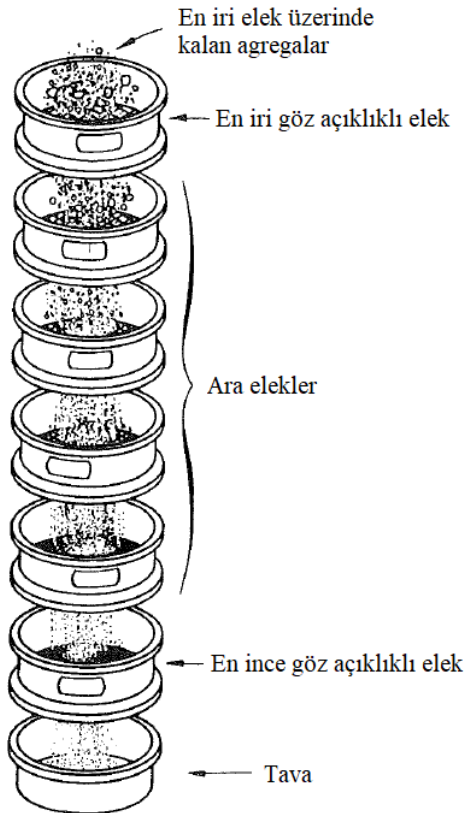
Ç izelge 4.7. ASTM standart esasına göre bazı eleklerin adı ve elek göz açıklığı (ASTM E 11, 2009)

Elek Adı (Elek No)	Elek Göz Açıklığı (mm)
3/4 inç	19,00
No.4	4,75
No.10	2,00
No.18	1,00
No.40	0,425
No.200	0,075
No.230	0,063

Deney baş langıcında, standartlara göre deneye baş lamak için gerekli en az miktarları saç layan zemin numunesi 24 saat süreyle etüvde kurutulduktan sonra bir nem kabına konumlandırılarak oda koşullarında kâfi miktarda soğ uması saç lanır (TS 1900-1, 2006; ASTM D422, 2007).

Bu aşamada halen zemin örneği içerisinde topaklanmış ya da kümelenmiş malzemeler bulunuyorsa lastik tokmak aracılığıyla hafif darbelerle ezilip dağılması sağlanır. Deneyin başlangıcında arzu edilirse zemin örneği elek serisinden tek tek elenmeden evvel No.200 elekte öncelikle elenerek hidrometre deneyi için daha uygun olan ince daneli malzemeler baştan ayrılabilir (Orhan ve diğerleri, 2004: 104). Bunun yerine tüm zemin örneği üzerinde deneye başlanmak istenirse numune malzeme evvela birincil elek setinin üzerine boşaltılır.

Zemin örneği miktarında gözle görülür bir eksilme oluncaya dek ilk elek setinin üzerinde sarsmaya maruz bırakılır. Sarsılan eleğin altına zemin örneğine ait başka malzeme geçemeyinceye dek devam edilen sarsma işlemine, sonrasında elek üzerinde kalan kütle tartılarak son verilir. Eleme esnasında kaydedilen değer deney çizelgesine işlenir. Bu işlemler sırasıyla elek serisi içerisinde yer alan tüm elekler için uygulandıktan sonra geriye kalan son zemin örneği parçası tava değeri olarak kabul edilir. Bir elek analizinin en iri göz açıklıklı elekten tavaya kadar olan eleme süreci temsili olarak Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Elek analizi örneği (Liu ve Evett, 1991: 13)

Deney esnasında en önemli konulardan biri de her elek için eleğin üzerinde kalan zemin örneği ağırlığının ayrı ayrı tartılmasıdır. Bütün zemin örneği elek serisinden elendikten sonra tüm veriler ilgili deney çizelgesine işlenir. Kayıt altına alınan tüm elek üzerinde kalan kütleler bir çizelgeye işlenir; bu çizelge üzerinden her bir elekten geçen yığışımli malzeme yüzdeleri tespit edilir. Deney sonunda, elek göz açıklıkları-elekten geçen yığışımli malzeme yüzdeleri eğrisi logaritmik bir cetvel üzerine çizilir ve zemin örneğine ait dane çapı dağılımı eğrisi elde edilir.

Deneysel hesaplamalar:

Elek analizi deneyinde gereken deneysel veriler elde edilmesinin ardından elek göz açıklıklarına karşılık gelen elekten geçen yığışımli malzeme yüzdelерinin hesaplanması gerekmektedir. Elekten geçen yığışımli malzeme yüzdelерinin hesaplandığı en uygun yol, çapraz çıkartma yöntemi olarak bilinmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 106).

Çapraz çıkartma yöntemine göre öncelikle kullanılan eleklere ait göz açıklıklarının ve elek üzerinde kalan örnek ağırlıklarının alt alta yazılı olduğu iki adet sütun oluşturulur. Herhangi bir elek üzerinde kalan zemin örneği bulunmuyorsa o elek için elek üzerinde kalan ağırlık ve tavada yer alan son ağırlık sıfır olarak kabul edilir.

Bundan sonraki adım ise her bir standart eleğe ait elekte kalan yığışımli örnek ağırlıklarının tespit edilmesidir. Bir elekte kalan yığışımli ağırlık, kendisinden önce gelen eleklerin üzerinde kalan ağırlıklar ile kendi üzerinde kalan ağırlığın toplamı olarak ifade edilmektedir. Bu işleyiş doğrultusunda, her bir elek için elek üzerinde kalan yığışımli zemin ağırlıkları hesaplanır.

Sonrasında tüm zemin örneğinin toplam ağırlığı kullanılarak, her elek için toplam zemin ağırlığından elek üzerinde kalan yığışımli ağırlığın farkının alınması suretiyle elekten geçen yığışımli ağırlık tespit edilir. Son olarak elde edilen elekten geçen yığışımli ağırlıklar, toplam zemin ağırlığına oranlanarak her bir elek için elekten geçen yığışımli malzeme yüzdesi hesaplanır. Elek analizinde kullanılan çapraz çıkartma yöntemi Şekil 4.20’de temsili olarak ifade edilmiştir.

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üzeri Kalan Kütle, M_R (g)	Elek Üzeri Kalan Malzeme Yüzdesi, $100 \times M_R / M_T$ (%)	Elek Üzeri Kalan Yığılımlı Malzeme Yüzdesi, M_{RP} (%)	Elekten Geçen Yığılımlı Malzeme Yüzdesi, $100 - M_{RP}$ (%)
9.53	0	0.0	0.0	100.0
4.75	53.0	8.2	8.2	91.8
2.00	76.0	11.7	19.9	80.1
0.85	73.0	11.2	31.1	68.9
0.425	142.0	21.9	52.9	47.1
0.15	85.4	13.1	66.1	33.9
0.075	120.5	18.5	84.6	15.4
	99.8	15.4		
Toplam kütle $M_T = 649.7$		100.0		

Şekil 4.20. Elek analizinde kullanılan çapraz çıkartma yöntemi (Budhu, 2015: 14)

Elek analizi deneyinde, her bir elek için elekten geçen yığılımlı yüzdenin bulunmasıyla deneyin yarı logaritmik ölçekli bir eksen takımına dökümü gerçekleştirilir. Buna göre elde edilen ikili değerlerden yatay eksenle logaritmik olarak konumlanan elek göz açıklığı düşey eksenle doğrusal olarak konumlanan elekten geçen yığılımlı malzeme yüzdesi bir eksen takımı üzerinde yarı logaritmik olarak işaretlenir. Bu işaretleme sonucu bu noktalardan geçen temsili eğri çizilir ve elek analizi deneyine ait dane çapı dağılımı eğrisi belirlenmiş olur.

Dane çapı dağılımı eğrisi üzerinde Eş. 4.21 ve Eş. 4.22’de yer alan matematiksel bağıntılarla kritik dane çaplarının tespit edilmesi gerekir.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (4.21)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60} \times D_{10})} \quad (4.22)$$

Burada:

C_u = eşşekillilik katsayısı

C_c = süreklilik katsayısı

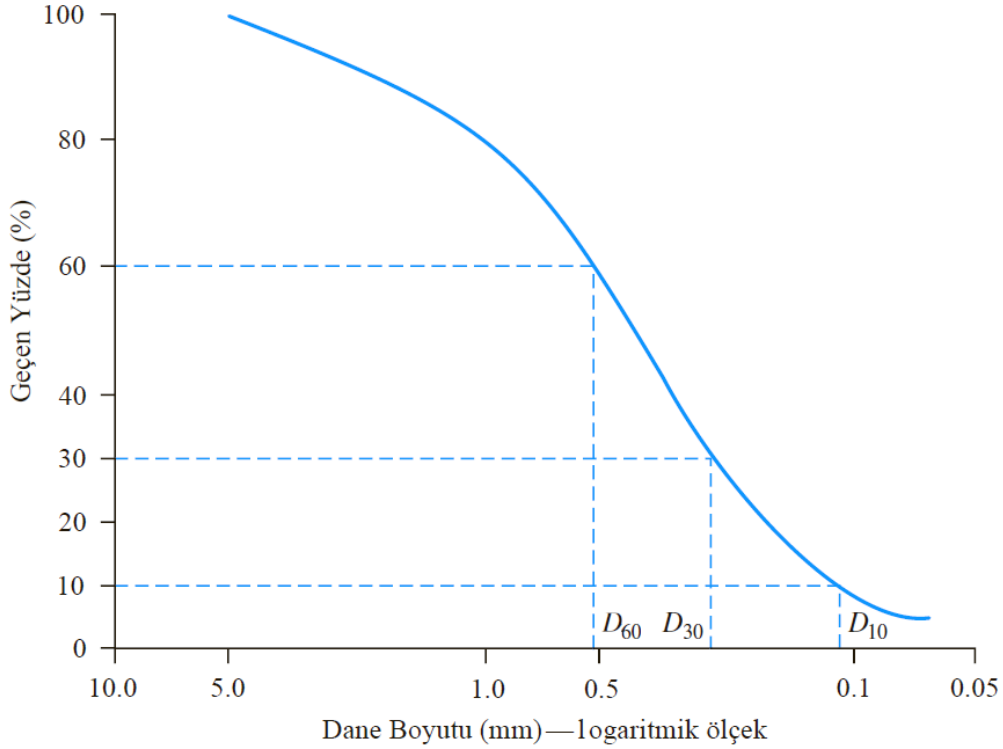
D_{10} = danelerin %10’unun geçtiği kritik dane çapı, mm

D_{30} = danelerin %30’unun geçtiği kritik dane çapı, mm

D_{60} = danelerin %60’unun geçtiği kritik dane çapı, mm

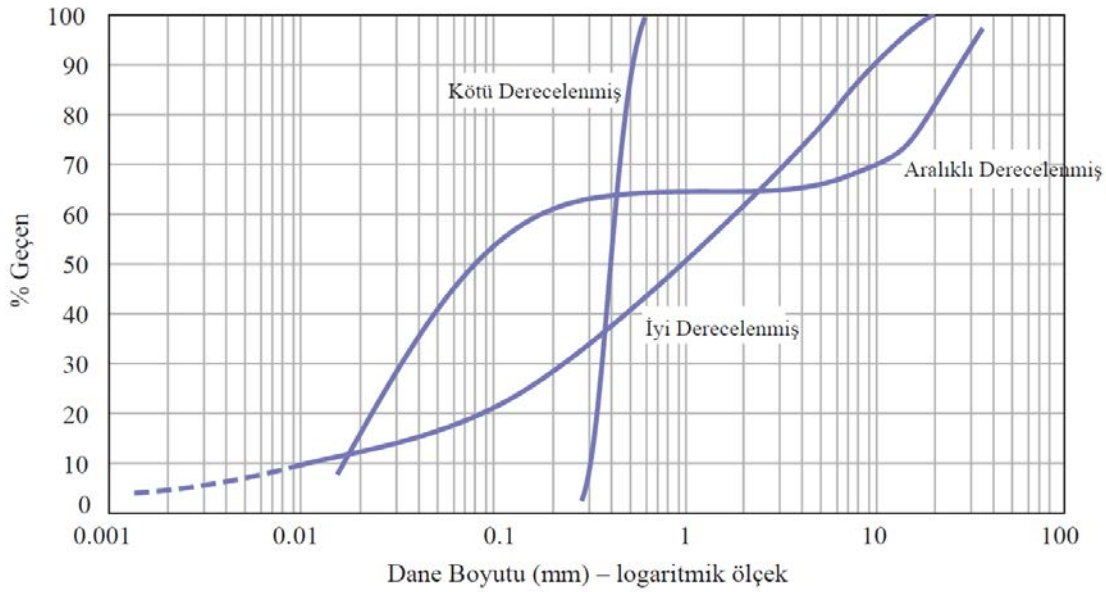
olarak ifade edilmektedir.

D_{10} , D_{30} ve D_{60} değerleri dane çapı dağılımı eğrisinden okunurken eşşekillilik katsayısı (C_u) ve süreklilik katsayısı (C_c) değerleri bu okumalar üzerinden sayısal olarak hesaplanabilir (Bkz. Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Kritik dane çapları (Das ve Sobhan, 2017: 49)

Dane çapı dağılımına ait kritik dane çaplarının ve önemli dane katsayılarının bulunmasının yanında dane çapı dağılımının eğrisel biçimine göre zeminin daneleri hakkında derecelenme durumu üzerine çeşitli saptamalar bulunmaktadır (Bkz. Şekil 4.22). Bu saptamalara dayanarak, benzer dane çapı dağılımı sergileyen zemin örneklerine ait derecelenme durumları iyi, orta ve kötü olarak nitelendirilebilmektedir.



Şekil 4.22. Dane çapı dağılımının derecelenme durumları (Budhu, 2015: 8)

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Elek analizi deneyine ait veri alma, düzenleme ve çözümleme yazılım sayfaları EK-12(a), EK-12(b), EK-12(c) ve EK-12(d)'de gösterilmiştir. Elek analizi deneyinde öncelikle kullanıcıdan, ASTM standart esasına göre oluşturulmuş elek seti seçimleri talep edilmektedir (ASTM E 11, 2009). Bu ekranda elek adı veya elek numarası ile karşılık gelen elek göz açıklığını içeren bir elek seti sunulmuştur. Bu elek setinden deneyde kaç adet elek kullanılacak ise kullanıcıdan elek seçim kutusunu onaylaması beklenir. Ek olarak, kullanıcı tarafından elek göz açıklığı değiştirilmek istenmesi durumunda ya da farklı bir standart esasına uyumlu elek setiyle çalışılmak istenmesi durumunda yapılacak elek seçimleri sonraki yazılım sayfasında dilendiği gibi düzenlenebilmektedir.

Elek seçimleri yapıldıktan sonra kullanıcıdan, elek adına veya numarasına karşılık gelen elek göz açıklıkları bilinen elekler için her bir eleğin üzerinde kalan zemin örneği ağırlığı girilmesi beklenir. Bütün elek seti için elek göz açıklıkları ile elek üzerinde kalan malzeme kütlesi girilmesiyle birlikte hesaplama komutuna basılır. Bu bölümde yapılan hesaplamalar sonucunda her bir eleğe ait elekten geçen malzeme yüzdesi ile elekten geçen yığılımlı malzeme yüzdesi hesaplanarak bir deney sonuç çizelgesi üzerinde kullanıcıya sunulur.

Bu hesaplamalar neticesinde elde edilen dane boyutuna karşılık gelen yığılımlı geçen yüzdelere yarı logaritmik bir eksen takımı üzerinde işaretlenerek dane çapı dağılımı eğrisi çizilir. Bu yarı logaritmik alan üzerinde çeşitli matematiksel denklemlere göre hesaplanan eğri alternatifleri kullanıcıya sunulur. Uygun görülen bir eğri üzerinden yazılım tarafından okunan kritik dane çapları yani, D_{10} , D_{30} ve D_{60} değerleri ile bu değerler üzerinden hesaplanan eşşeklilik katsayısı (C_u) ve süreklilik katsayısı (C_c) değerleri bir çizelge üzerinde sunulur.

Elek analizi neticesinde elek setinde deneyi gerçekleştirilen zemin örneğine ait zemin malzeme dağılım oranları ile yazılım içerisinde kritik elek olarak kabul edilen No.4 ve No.200 eleklerinden geçen yüzdelere çeşitli grafik tipleri altında sayfa üzerinde dinamik olarak kullanıcıya sunulur.

4.3.2. Hidrometre deneyi

Deneyin tanımlanması:

Hidrometre deneyi, çok küçük boyutlu daneciklere sahip zeminlerin dane boyutunun belirlenmesi amacıyla uygulanan ve genel hesap ilkesi Stokes yasasına dayanan bir çöktürme analizidir. Stokes yasası, bir sıvı içerisinde çöken ve geometrik olarak küre şekline sahip danelerin çapları ile çökme hızları arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır (Orhan ve diğerleri, 2004: 109). Stokes yasasına göre dane çapları Eş. 4.23'de yer alan matematiksel denklemlerle ifade edilmektedir.

$$D = \sqrt{\frac{18}{1} * \frac{n}{\gamma_s - \gamma_w} * \frac{L}{T}} \quad (4.23)$$

Bu matematiksel bağıntıya göre:

D = eşdeğer küre çapı, mm

n = suyun akma katsayısı, g/cm.sn

γ_s = danelerin birim hacim ağırlığı, g/cm³

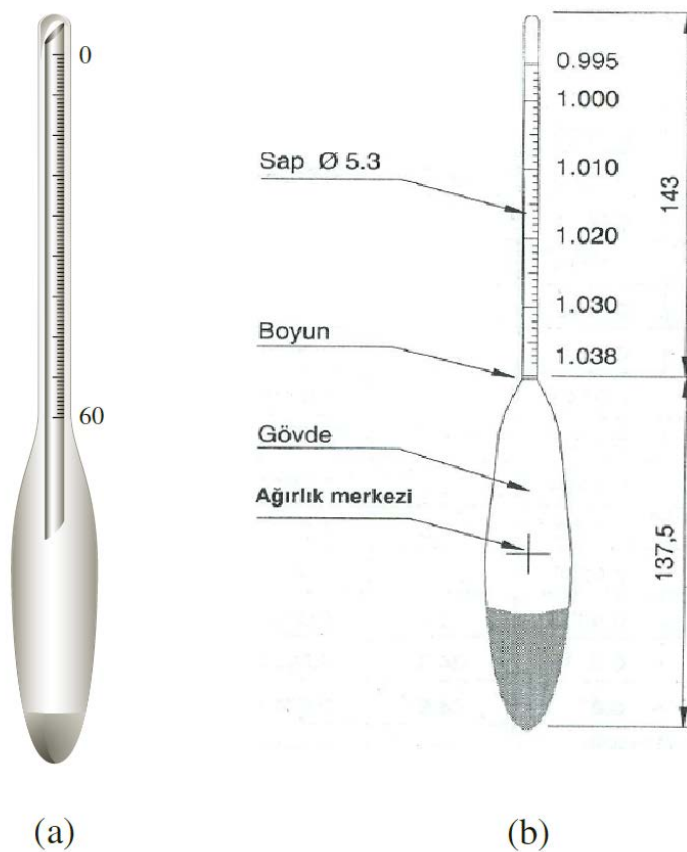
γ_w = suyun birim hacim ağırlığı, g/cm³

L = danelerin çökme mesafesi, cm

T = çökme işleminin başlangıcından beri geçen zaman, sn

olarak ifade edilmektedir.

Stokes yasasının küre görünümüne sahip daneler için geçerli olmasından ötürü, çok küçük boyutlu zeminin dane boyutunun belirlenmesinde zemin danelerinin de küre görünümüne sahip olduğu varsayılmaktadır (Orhan ve diğerleri, 2004: 109). Hidrometre deneyinde zemin daneleri, içi suyla dolu olan bir silindirin içerisine yerçekimi ve sahip olduğu kütle etkisiyle çökmeye bırakılmakta iken hidrometre adı verilen bir gereçle belli zaman aralıklarında danelerin çökme mesafesi ile zemin-su karışımının yoğunluğu tespit edilmektedir. Hidrometre deneyinde temel alınan standart esas olarak ASTM standardı belirlenmiştir (ASTM E 100, 2015). Bu standart esasına göre deneyin gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılacak 151H ve 152H olmak üzere iki farklı şekilde zemin hidrometresi tanımlanmıştır (Bkz. Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Hidrometre tipleri: (a) ASTM 152H hidrometresi (Das ve Sobhan, 2017: 45); (b) ASTM 151H hidrometresi (Orhan ve diğerleri, 2004: 132)

Zemin örneği ile su karışımının g/ml veya g/cm³ cinsinde yoğunluğunun ölçülmesi durumunda 151H tipi hidrometre, gram cinsinden karışımdaki zemin miktarı ölçülmesi durumunda ise 152H tipi hidrometre kullanılması önerilmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 109).

Her iki tip hidrometre de ağırlığı hacmine eşit olacak ve ağırlık merkezi gövde ortasında konumlanacak şekilde imal edilmiştir. Bu tez kapsamında 151H tipi hidrometre ile gerçekleştirilen hidrometre deneyi çalışma kümesi olarak tercih edilmiştir; danelerin çökme mesafeleri ve zemin örneği-su karışımının yoğunluğu deney sırasında ölçülebildiği için 151H tipi hidrometre kullanımı tercih sebebi olmuştur.

Deney araç-gereç dizelgesi:

- ✓ 151H Tipi Zemin Hidrometresi
- ✓ Çöktürme Silindiri
- ✓ Etüv (termostat kontrollü ve hava dolaşımı, 110 ± 5°C)
- ✓ Hassas Duyarlı Terazi
- ✓ Yüksek Devirli Mekanik Karıştırıcı
- ✓ Sıcaklık Ölçer ve Zaman Ölçer
- ✓ Ölçüm Silindiri
- ✓ Cam Beher
- ✓ Cam Çubuk ve Piset
- ✓ Sodyum Karbonat, Sodyum Hegzametafosfat, Damıtık Su (standart esasına göre miktarlar)

Deneyin yapılışı:

Deney yapılacak zemin örneğinin zemin sınıfına bağlı olarak ilgili standart esası doğrultusunda yeteri miktarda alınan zemin örneği, cam behere aktarıldıktan sonra üzerine damıtma maddesi olarak NaPO₃ çözeltisi dökülür (Orhan ve diğerleri, 2004: 111). Zemin örneğine ait bütün daneler ıslanincaya kadar cam çubukla karıştırılır; damıtma maddesinin kimyevi etkileşimi sonucu daneler arasında yapışma veya topaklanma durumu gözlenirse, zemin örneği gerekirse hava sızdırmaz bir nem bekletme dolabında yeterli süre zarfında

muhafaza edilebilir. Karışımı ve bekletilmesi tamamlanan zemin örneği denetim amaçlı gözlemlenerek cam çubukla birkaç kez karıştırılır, sonrasında da mekanik karıştırıcı haznesine dökülür. Cam beher yüzeyine yapışan zemin daneleri mevcut ise temizlenip ayrıştırılarak aynı şekilde mekanik karıştırıcı haznesine ilave edilir. Son olarak malzemenin üçte ikisi oranında damıtılmış su ilave edilerek karıştırıcı çalıştırılır ve kısa bir süre yeterli devirde karışımı sağlanır.

Dağılımı sağlanan sulu zemin örneği alınarak çöktürme silindirine iletilir; karıştırıcı yüzeyinde kalan zemin daneleri mevcut ise ayrıştırılarak gerekirse de piset yardımıyla damıtık su vasıtasıyla yıkanarak aynı şekilde çöktürme silindirine aktarılır (Orhan ve diğerleri, 2004: 112). Bu aşamada çöktürme silindiri toplam hacmi okunur; 1000 ml hacim değerine çok az bir pay farkıyla tamamlanacak şekilde gerekli arı su ilavesi çöktürme silindiri üzerinde sağlanır.

Hidrometre kullanımına geçmeden önce sıcaklık ölçer ve zaman ölçer hazır vaziyette, piset ise damıtık su dolu ve temiz şekilde bulunuyor olmalıdır. Hidrometre ise içerisinde sadece saf su bulunan bir çöktürme silindirinin içerisinde yer almalıdır. Çöktürme silindirinin ağzı tıpa veya avuç içi yoluyla kapatılarak iki elin arasına alınır; çalkalamak amacıyla yaklaşık bir dakika içerisinde 60 defa havada yarım ay çizer şekilde ters-düz edilerek silindir takla attırılır (Orhan ve diğerleri, 2004: 113).

Havada çalkalama işleminin tamamlanmasıyla çöktürme silindiri deney düzlemi üzerine yerleştirilir. Bu esnada zaman ölçer çalıştırılarak çöktürme zamanı takip edilmeye başlanır. Hidrometre üzerinde ilk okuma 1 dakika geçtikten sonra alınır. Hidrometre çok fazla titreşim veya salınım göstermeden yeter sürede sabit konumda kalması için olası okuma derinliğine kadar elle indirildikten sonra bırakılması önerilmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 113).

Takip edilen zaman ölçer üzerinde 1 dakika dolduğu anda menüsküsün üst hizasından hidrometre okuması yapılır ve elde edilen değer deney çizelgesine işlenir. İlk hidrometre okumasının alınmasının ardından deney başlama anından itibaren 2, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 250, 600 ve 1440 dakika adımlarında hidrometre okumaları alınmaya devam edilir. Burada önemli olan hususlardan biri de ilk üç okuma süresinin birbirine hayli yakın olmasından ötürü hidrometrenin karışımın içerisinde çıkarılmaması gerektiğidir.

5. dakika okumasından sonra hidrometreyi yavaşça karışımdan ayırıp damıtık su dolu diğer silindirin içerisine yerleştirilir. Sıcaklık ölçer vasıtasıyla karışımın sıcaklığı ölçüldükten sonra ilk üç okuma için sıcaklık verisi deney çizelgesine işlenir. 5. dakika okumasından itibaren hidrometre okuması alındıktan hemen sonra karışım sıcaklığı da ölçülerek elde edilen sıcaklık verisi deney çizelgesine okuma değeriyle birlikte işlenir. Son hidrometre okuması yapıldıktan sonra deney tamamlanır, çöktürme silindirinde yer alan karışım dökülür, silindir yeter vaziyette iyice temizlenir.

Son iki okuma 600. ve 1440. dakikalarının ardından yapılması mutlak koşul değildir; dilenirse bu zaman adımlarına yakın bir aralıkta okumalar yapılabilmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 114). Buna karşın hidrometre okuması yapılan son iki okumaya ait gerçek zaman verileri aynı şekilde deney çizelgesine işlenmek durumundadır. Elde edilen verilerin deney çizelgesine işlenmesiyle, zaman-sıcaklık-hidrometre okumaları olmak üzere üç bileşenden oluşan bir veri çizelge havuzu elde edilir. Bu havuzda yer alan hidrometre okumalarına asıl hidrometre okumaları adı verilir.

Deneysel hesaplarda, asıl hidrometre okuma değerleri üzerinde menüsküs çizgisi, sıcaklık etkisi ve dağıtma maddesi gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak okuma düzeltmeleri yapılır. Asıl hidrometre okumaları üzerinde düzeltmeleri neticesinde elde edilen yeni okumalara düzeltme uygulanmış hidrometre okumaları adı verilir.

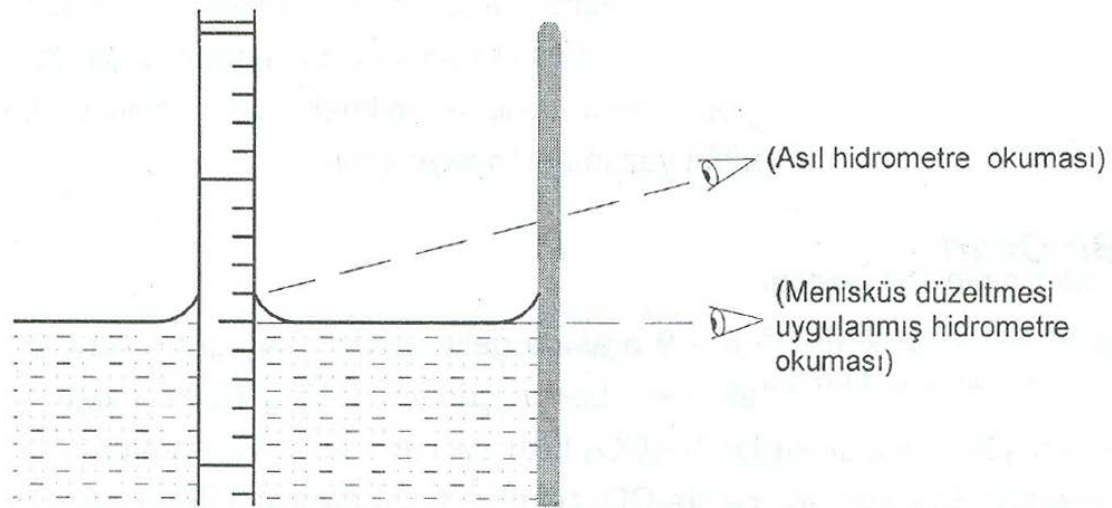
Deneysel hesaplamalar:

Hidrometre deneyi için gereken deneysel veriler elde edildikten sonra, hidrometre deney sonuçları üç aşamalı hesap adımları uygulanarak aşağıda belirtilen matematiksel bağıntılar yardımıyla hesaplanır.

- i) Asıl hidrometre okumalarının düzeltilmesi
- ii) Dane çaplarının hesaplanması
- iii) Toplam geçen yüzdelerin hesaplanması

Asıl hidrometre okumalarının düzeltilmesi

Suyun hidrometre sapında ve çöktürme silindiri duvarında yüzey gerilim kuvvetlerinden ötürü yukarıya doğru bir miktar tırmanarak oluşturduğu kavise menüsküs adı verilmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 128). Hidrometre deneyinde ilk başta, bahsedilen etkiden ötürü oluşan bu kavisten dolayı suyun yukarı kıvrıldığı değer okunurken esas olan okumanın suyun üst yüzeyi hizasından olması gerekmektedir (Bkz. Şekil 4.24). Bu nedenle asıl hidrometre okumaları üzerinde menüsküs çizgisi düzeltilmesi yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.24. Asıl hidrometre okuması ve düzeltilmiş hidrometre okumasının saptanması (Orhan ve diğerleri, 2004: 128)

Bu düzeltme miktarı ASTM standart esasında yer alan deneysel yollarla belirlenir; yapılan bu deneysel çalışma sonucu 151H tipi hidrometre için belirtilen menüsküs çizgisi düzeltme değeri $R=0,0008$ olarak belirlenmiştir (ASTM E 100, 2015). Hidrometre deneyinde kullanılan 151H tipi yoğunluk hidrometreleri, 20 °C sıcaklığında bulunan saf suyun yoğunluğunu 1 g/cm^3 olarak ölçecek şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle hidrometre deneyi esnasında zemin örneği ile su karışımının 20 °C sıcaklığında olması arzu edilir. Bu yüzden, hidrometre okumasının yapıldığı anda eğer ki karışımın sıcaklığı 20 °C sıcaklıktan farklı ise sıcaklığa bağlı olarak suyun yoğunluğunun değişeceğinden ötürü ölçülen sıcaklığa ait su yoğunluğunun belirlenerek düzeltilmesi gerekmektedir (Orhan ve diğerleri, 2004: 129).

Hidrometre deneyinde 20 °C sıcaklıktan farklı ölçülen her sıcaklık değeri ve buna karşılık gelen hidrometre okuması bir eksen takımı üzerine işlenir. Bu eksen takımı üzerinde temsil edilen noktaların oluşturduğu en iyi doğru olan regresyon doğrusu oluşturularak 20 °C sıcaklıktan farklı olarak ölçülen ilgili sıcaklıklar için en uygun okuma düzeltmesi elde edilmiş olur. Asıl hidrometre okumalarına menüsküs çizgisi düzeltmesi eklenirken, sıcaklık ve dağıtma maddesi kaynaklı düzeltme değeri bu toplamdan çıkarılır ve nihayetinde kalan salt değere düzeltme uygulanmış hidrometre okumaları adı verilir. Deneysel hesaplamalarda hidrometre okuması gereken bağıntılarda ise düzeltme uygulanmış hidrometre okumaları kullanılmalıdır.

Dane çaplarının hesaplanması

Dane çapının hesaplanması amacıyla Eş. 4.24'de belirtilen matematiksel bağıntı kullanılır.

$$D = K * \sqrt{\frac{L}{T}} \quad (4.24)$$

Burada:

D = dane çapı, mm

K = zemin örneğinin özgül ağırlığına ve karışımın sıcaklığına bağlı olarak değişen bir katsayı

L = etkin derinlik, cm

T = deneyin başından hidrometre okuması yapılan ana dek geçen süre, dk

olarak ifade edilmektedir (ASTM D422-63, 2007).

Eş. 4.24'de yer alan K değeri, hidrometre deneyi uygulanan zemin örneği karışımının sıcaklığına ve zemine ait boyutsuz özgül ağırlığa bağlı olarak belirlenebilen bir sabit katsayıdır. K katsayı değerleri, ASTM standart esasında sıcaklık ve özgül ağırlığa bağlı olarak hazırlanan çizelgeler üzerinden saptanabilmektedir (ASTM D422-63, 2007). Bu standart içerisinde yer alan K katsayı çarpanlarından, bir kısmı Çizelge 4.8'de verilmiştir.

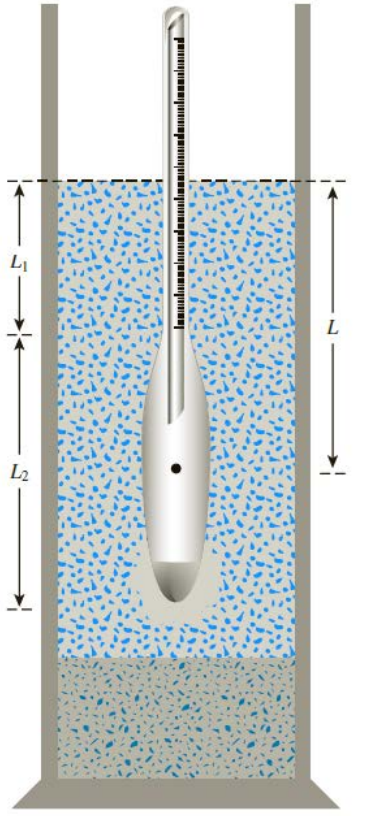
Çizelge 4.8. Sıcaklık ve özgül ağırlık değerlerine bağlı K sabit katsayıları (ASTM D422-63, 2007)

Sıcaklık °C	Zemin Danelerine Ait Özgül Ağırlık				
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65
16	0.01530	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217

Etkin derinlik; hidrometrenin zemin örneği karışımının içerisine daldırılmadan önceki halde, karışımın üst seviyesiyle hidrometreye ait ağırlık merkezi arasında kalan uzaklık olarak tanımlanmaktadır (Orhan ve diğerleri, 2004: 133). Deneyde kullanılan hidrometrenin çöktürme silindiriyle birlikte bir ölçümlene uygulanmasıyla etkin derinlik hesaplanır ve elde edilen sonuçlar bir çizelgede döküm haline getirilir. Etkin derinlik, bağlı hidrometre okumasına göre bu çizelge dökümünden elde edilir.

Ölçümlene işlemi ve bağlı olarak elde edilen etkin derinlik değeri deneyde kullanılan çöktürme silindirine ve hidrometreye bağlı olarak tespit edilen değerlerdir. Bu nedenle etkin derinlik, hidrometre tipi ve çöktürme silindiri boyutlarına bağlı olarak oluşturulan özel çizelge dökümünden hesaplanması gerekmektedir.

Hidrometre deneyinde, kullanılan hidrometre tipine bağlı olarak, etkin derinliğin saptanmasında; silindir enkesit alanı, hidrometre gövde uzunluğu, hidrometre hacmi dahil olmak üzere birtakım önemli mesafeler ve boyutlar bulunmaktadır (Bkz. Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Hidrometre deneyinde L etkin derinliğin tanımlanması (Das ve Sobhan, 2017: 46)

Etkin derinlik değeri, Şekil 4.25’de yer alan kaynak ölçülere ve hidrometre tipine bağlı olarak Eş. 4.25’de yer alan matematiksel bağıntı üzerinden hesaplanmaktadır.

$$L = L_1 + \frac{1}{2} \times \left(L_2 - \frac{V_B}{A} \right) \quad (4.25)$$

Burada:

L = etkin derinlik, cm

L_1 = hidrometre okuması ile hidrometrenin boyun kısmı arasında kalan uzaklık, cm

L_2 = hidrometre gövdesinin uzunluğu, cm

V_B = hidrometrenin hacmi, cm^3

A = çöktürme silindirinin en kesit alanı, cm^2

olarak ifade edilmektedir.

L_1 değerinin hesaplanabilmesi için hidrometre tipine özel ilk ve son okuma yapılması gerekmektedir. ASTM standart hidrometre tipleri 151H ve 152H için V_B , A ve L_2 değerleri

ortak iken, her iki hidrometre tipine ait L_1 değerinin hesaplanabilmesi için ASTM standardı içerisinde ilk ve son ölçümler verilmiştir (ASTM D422-63, 2007).

Çizelge 4.9’da yer alan değişmez hidrometre ölçüleri ele alındığında bir hidrometreye ait etkin derinliğin saptanabilmesi için Eş. 4.25’de yer alan değişkenlerin bilinen değerleri Çizelge 4.9’dan temin edilerek sadece L_1 değişkenine bağlı yeni bir eşitlik elde edilir.

Çizelge 4.9. ASTM hidrometre tiplerine göre standart hidrometre ölçüleri ve okuma ile ölçüm değerleri (ASTM D422-63, 2007)

	ASTM 151H		ASTM 152H		
L_1 ilk okuma	10,5 cm	1,000	L_1 ilk okuma	10,5 cm	0 g/litre
L_1 son okuma	2,3 cm	1,031	L_1 son okuma	2,3 cm	50 g/litre
A	27,8 cm ³		A	27,8 cm ³	
V_B	67,0 cm ³		V_B	67,0 cm ³	
L_2	14,0 cm		L_2	14,0 cm	

Eş. 4.25’de yer alan etkin derinlik eşitliğinde yer alan L_2 , V_B , ve A değerleri ASTM 151H ve 152H için ortak olduğundan, her iki standart hidrometre tipine ait sadece L_1 değerine bağlı olan yeni etkin derinlik denklemleri elde edilir.

Yalnızca L_1 değerine bağlı olan etkin derinlik Eş. 4.26’da yer alan matematiksel bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$L = L_1 + 5,795 \quad (4.26)$$

Çizelge 4.9’da yer alan her bir hidrometre tipi için verilen L_1 ilk okumaları ve son okumaları kullanılarak önce ilk ve son okumaya göre etkin derinlik değeri, ardından da birim okuma için etkin derinlik değişimi tespit edilebilir.

Bir hidrometre tipine ait bilinen ilk ve son L_1 okumalarına göre birim okumada etkin derinlik değişimi Eş. 4.27’de yer alan matematiksel bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\Delta L = \frac{L_{son} - L_{ilk}}{N_{hidrometre}} \quad (4.27)$$

Burada:

ΔL = birim hidrometre okumasında yaşanan etkin derinlik değişimi

L_{ilk} = ilk hidrometre okumasında hesaplanan etkin derinlik

L_{son} = son hidrometre okumasında hesaplanan etkin derinlik

$N_{hidrometre}$ = hidrometre okuma sayısı

olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 4.9'da yer alan L_I okuma değerlerinin Eş. 4.26'da yerine konmasıyla 151H hidrometre tipi için L_{ilk} değeri 16,3 cm ve L_{son} değeri de 6,2 cm olarak, 152H hidrometre tipi için ise için L_{ilk} değeri 16,3 cm ve L_{son} değeri de 8,1 olarak belirlenmektedir. Bu değerlerin arasındaki hidrometre okumalarına ait etkin derinlik değerlerinin hesaplanabilmesi için Eş. 4.27'deki ΔL değeri bulunmalıdır.

ASTM D422-63 (2007) standart esasında değişen hidrometre okumalarına göre etkin derinlik değerleri her hidrometre tipi için çizelge haline getirilerek verilmiştir (Bkz. Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11).

Çizelge 4.10. 151H hidrometresi için etkin derinlik değerleri (ASTM D422-63, 2007)

Asıl hidrometre okuması	Etkin derinlik, L (cm)	Asıl hidrometre okuması	Etkin derinlik, L (cm)
1,000	16,3	1,020	11,0
1,001	16,0	1,021	10,7
1,002	15,8	1,022	10,5
1,003	15,5	1,023	10,2
1,004	15,2	1,024	10,0
1,005	15,0	1,025	9,7
1,006	14,7	1,026	9,4
1,007	14,4	1,027	9,2
1,008	14,2	1,028	8,9
1,009	13,9	1,029	8,6

Çizelge 4.10. (Devam) 151H hidrometresi için etkin derinlik değerleri (ASTM D422-63, 2007)

1,010	13,7	1,030	8,4
1,011	13,4	1,031	8,1
1,012	13,1	1,032	7,8
1,013	12,9	1,033	7,6
1,014	12,6	1,034	7,3
1,015	12,3	1,035	7,0
1,016	12,1	1,036	6,8
1,017	11,8	1,037	6,5
1,018	11,5	1,038	6,2
1,019	11,3		

Çizelge 4.11. 152H hidrometresi için etkin derinlik değerleri (ASTM D422-63, 2007)

Asıl hidrometre okuması	Etkin derinlik, L (cm)	Asıl hidrometre okuması	Etkin derinlik, L (cm)	Asıl hidrometre okuması	Etkin derinlik, L (cm)
0	16,3	20	13,0	40	9,7
1	16,1	21	12,9	41	9,6
2	16,0	22	12,7	42	9,4
3	15,8	23	12,5	43	9,2
4	15,6	24	12,4	44	9,1
5	15,5	25	12,2	45	8,9
6	15,3	26	12,0	46	8,8
7	15,2	27	11,9	47	8,6
8	15,0	28	11,7	48	8,4
9	14,8	29	11,5	49	8,3
10	14,7	30	11,4	50	8,1
11	14,5	31	11,2	51	7,9
12	14,3	32	11,1	52	7,8
13	14,2	33	10,9	53	7,6
14	14,0	34	10,7	54	7,4
15	13,8	35	10,6	55	7,3
16	13,7	36	10,4	56	7,1
17	13,5	37	10,2	57	7,0
18	13,3	38	10,1	58	6,8
19	13,2	39	9,9	59	6,6
				60	6,5

Toplam geçen yüzde oranlarının saptanması

Hidrometre deneyinin sonuçlandırılmasında son aşama olan toplam geçen yüzde oranlarının saptanması Eş. 4.28’de yer alan matematiksel bağıntıdan faydalanarak hesaplanmaktadır.

$$\%P = \frac{G_s}{M \times (G_s - 1)} \times 1000 \times P_{200} \times (R - 1) \quad (4.28)$$

Burada:

$\%P$ = geçen yüzde, (%)

G_s = zemin örneğine ait özgül ağırlık

M = zemin örneğinin kuru ağırlığı, g

R = düzeltme uygulanmış hidrometre okuması

P_{200} = No.200 elekten toplam geçen yüzde, (%) [elek analizi deneyinden temin edilir] olarak ifade edilmektedir.

Bu matematiksel hesaplamalar her bir hidrometre okuması için adım adım gerçekleştirilir ve işlemler neticesinde her hidrometre okumasına karşılık geçen yüzde değerleri hesaplanır.

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Hidrometre deneyine ait veri alma, düzenleme ve çözümleme yazılım sayfaları EK-13(a), EK-13(b), EK-13(c), EK-13(d) ve EK-13(e)’de verilmiştir. Hidrometre deneyinde öncelikle kullanıcıdan; zemin örneği fiziksel özellikleri, deney aleti ile çözelti malzemesi bilgisi, menüsküs düzeltmesi, etkin derinlik hesap ölçüleri gibi çok adımlı veriler talep edilmektedir. Hidrometre deneyi boyunca tek sefer için alınan veriler aşağıda sıralanmıştır:

- ✓ Zemin örneği özgül ağırlığı
- ✓ Kuru zemin örneği ağırlığı
- ✓ No.200 elekten geçen toplam zemin yüzdesi
- ✓ Varsayılan menüsküs düzeltme katsayısı
- ✓ Etkin derinlik okumaları ile hidrometre ölçüleri
- ✓ Dağıtma maddesi (isteğe bağlı)
- ✓ Hidrometre tipi adı (isteğe bağlı)

Bu veriler giriş ekranında girildikten sonra son olarak kullanıcıdan hidrometre deneyi okuma sayısı talep edilir ve girilen bu sayıya göre hidrometre okuma verisi alma deney çizelgesi oluşturulur. Deney okuma sayısına göre talep edilen veriler, aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ Geçen zaman
- ✓ Asıl hidrometre okuması
- ✓ Sıcaklık

Bu aşamada deneyin başlangıcında girilen etkin derinlik okumaları ile hidrometre ölçülerine göre oluşturulmuş etkin derinlik-hidrometre çizelgesi ile sıcaklık-okuma doğrusu kullanıcılara gözlenmesi açısından sunulur. Geçen zaman, asıl hidrometre okuması ve sıcaklık değerleri girilmesiyle birlikte hesap aşamasına geçilir ve deney diğer verilerle birlikte çözümlenir.

Deney sonuç ekranında menüsküs ve sıcaklık-dağıtma maddesi düzeltme değerleri, düzeltilmiş hidrometre okumaları, dane çapı, K katsayı değerleri ve toplam geçen yüzde değerleri bir sonuç çizelgesi üzerinde kullanıcıya sunulur.

4.4. En Elverişli (Optimum) Su İçeriğinin ve Yerinde Yoğunluğun Belirlenmesi

Geoteknik mühendisliğinde zeminler üzerinde tasarım, değerlendirme, iyileştirme gibi önemli amaçlar yürütülebilirken, inşaat mühendisliği kapsamında zeminlerin farklı hedeflerle farklı koşullarda kullanımı da bulunmaktadır. Yol yapım projelerinde ve diğer ulaştırma yapılarında zeminlerin gerek temel tabakası gerek dolgu malzemesi gerekse de etki parametresi olarak ele alındığı bilinmektedir. Bu gibi işlevlerde kullanılan zeminlerin bazı açılardan bazen arazi öncesinde bazen de arazi üzerinde tahlil edilmesi icap edebilmektedir.

Örneğin, bir yol yapım çalışmasında uygulanması gereken sıkıştırma işleminde en yüksek verim elde edebilmek için en elverişli (optimum) su içeriğinin saha çalışması öncesinde tespit edilmesi gerekmektedir. Bir diğer örnek olarak, saha çalışması esnasında yapılan bir sıkıştırmanın geoteknik mühendisi tarafından denetimi gerekebilir böylesi bir durumda yerinde yoğunluk değeri de kullanılarak sıkışma derecesi ölçülmektedir (Budhu, 2011: 97).

4.4.1. Sıkıştırma (Kompaksiyon) deneyi

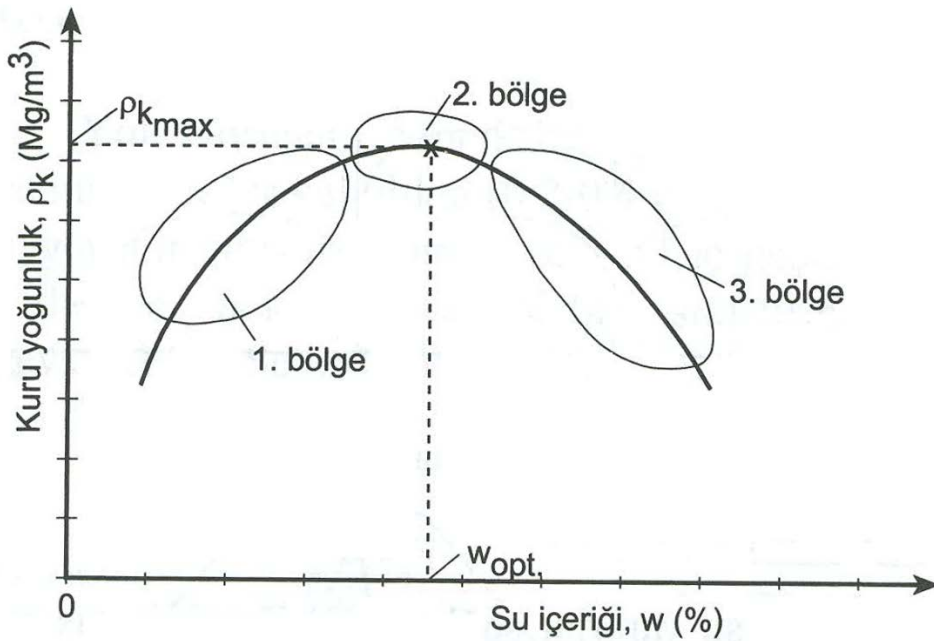
Deneyin tanımlanması:

Geoteknik mühendisliğinde zeminin geçirimliliğini azaltmak, zeminde yük altında yaşanabilecek oturmaları azaltmak ve zeminin belirli bir oranda taşıma gücünü arttırmak amacıyla geoteknik bir çalışma kapsamında zeminlerin kademeler halinde serilerek ve çeşitli makinalar yardımıyla zemine itki kuvveti uygulayarak sıkıştırılması sağlanmaktadır. Bu sıkıştırma işleminin temel olay örgüsü, zeminin sahip olduğu su ve dane hacmi sabit iken zemin bünyesindeki havanın dışarı atılarak zaman içerisinde zemin danelerinin sıkıştırılmasına dayanmaktadır.

Bahsedilen yöntemler esasında gerçekleştirilen bu işleme ise kompaksiyon yani sıkıştırma adı verilir (Yılmaz ve diğerleri, 2016: 73). Sıkıştırma uygulanmış bir zeminde sıkıştırmanın ölçüsü ve derecesi, o zemine ait kuru birim hacim ağırlığıdır. Bir zeminin kuru birim hacim ağırlığı değeri ne denli büyükse zeminin o denli iyi sıkıştırıldığı söylenebilmektedir.

Proctor (1933) tarafından yapılan çalışmada sıkıştırılmış bir zeminde su içeriği ile kuru birim hacim ağırlık arasındaki ilişki çizgesel olarak ortaya konulmuştur. Bu çalışmaya göre bir zemin belirli bir sıkıştırma enerjisiyle sıkışmaya başladığında bir noktaya kadar su içeriğine bağlı olarak kuru birim hacim ağırlığı artmaktadır. Artan kuru birim hacim ağırlığın tepe seviyesine ulaştığı andan itibaren su içeriğinin artmasına karşın kuru birim hacim ağırlığın aksine azaldığı görülmüştür (Bkz. Şekil 4.26).

Sıkıştırma (Kompaksiyon) deneyinde, zemin örneği üzerinde laboratuvar ortamı koşullarında yeterli sıkıştırma enerjisini (darbe yoluyla) sağlayabilmek için, adını bilim insanı Proctor'dan alan ve standart donanım boyutlarına sahip olan özel bir tokmak kullanılmaktadır. Sıkıştırma (Kompaksiyon) deneyi donanım seti üzerine birtakım ölçüler (örneğin mold örnek yerleştirme kalıbı) ASTM standart esasında belirtilmiştir (ASTM D 698-12e2, 2012).



Şekil 4.26. Sıkıştırılmış bir zeminde su içeriği-kuru yoğunluk ilişkisi (Uzuner, 2016: 218)

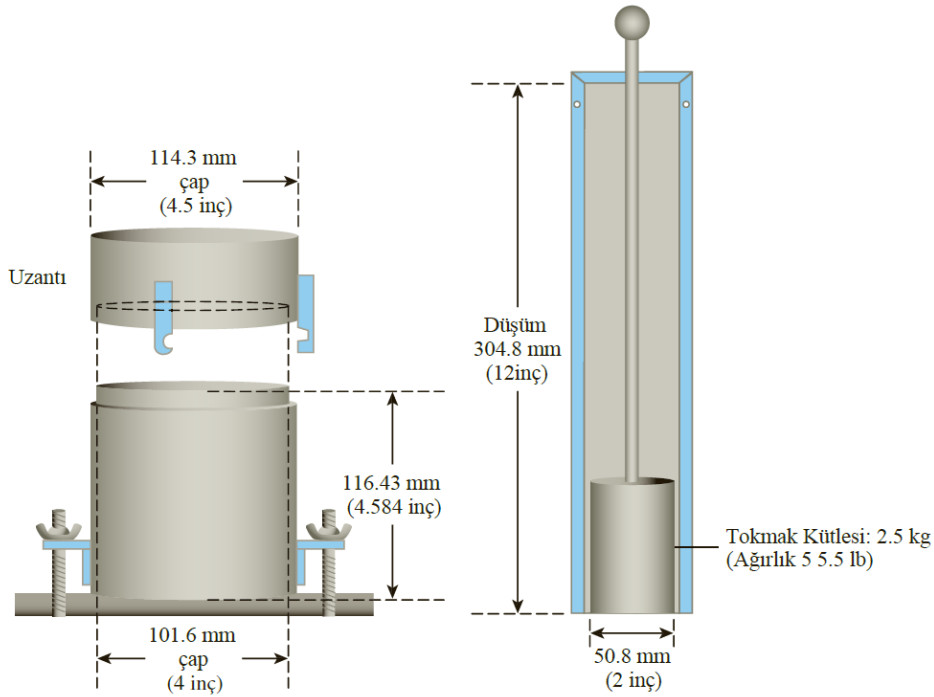
Şekil 4.26'ya göre 1.bölgede artan su içeriğine karşı zeminin kuru yoğunluğu artan bir davranış sergilemekte, 2. bölgede en elverişli su içeriğine erişilmesiyle sıkışmanın en fazla olduğu en yüksek kuru yoğunluk değeri elde edilmekte ve 3. bölgeden itibaren zemindeki suyun çıkartılabilir havaya göre giderek artmasıyla, suyun sıkıştırılmaz olmasından kaynaklı kuru yoğunluk değeri de azalmaktadır (Uzuner, 2016: 218).

Bu ilişkinin altında zemin bünyesindeki havanın sıkıştırma enerjisiyle olabilecek en yüksek miktarda dışarı çıkarılması fakat artan sıkıştırma enerjisiyle geriye su kalması sonucu suyun bir noktadan sonra sıkıştırılmaz hale gelmesi şeklinde açıklanabilmektedir. Buradan hareketle, en yüksek kuru birim hacim ağırlık değerinin elde edildiği su içeriğine en elverişli su içeriği (optimum su muhtevası) adı verilmektedir. En elverişli su içeriğinin (optimum su muhtevası) mühendislik açısından anlamı, bir arazide uygulanacak sıkıştırma işleminin arazide en elverişli su içeriği elde edilmesinin ardından başlatılmasıdır (Yılmaz ve diğerleri, 2016: 74). Bir zeminin en elverişli su içeriği laboratuvar ortamında sıkıştırma deneyi ile saptanmaktadır.

Deney araç-gereç dizelgesi:

- ✓ Sıkıştırma (Proktor) Tokmağı (Bkz. Şekil 4.27)

- ✓ Sıkıştırma Kabı
- ✓ Taban Plakası
- ✓ Karıştırma Leğeni
- ✓ Karıştırma Küreği, Ispatula ve Bıçak
- ✓ Numune Ayırıcı
- ✓ Etüv (termostat kontrollü ve hava dolaşımı, 110 ± 5 °C)
- ✓ Hassas Duyarlı Terazi
- ✓ Gereken Diğer Su İçeriği Deney Donanımları



Şekil 4.27. Standart Proktor deney donanımları (Das ve Sobhan, 2017: 158)

Deneyin yapılışı:

Sıkıştırma deneyi zemin örneğinin özelliklerine bağlı olarak 2,5 kg ya da 4,5 kg ağırlığındaki tokmaklar kullanılarak iki farklı yoldan gerçekleştirilebilmektedir (Bkz. Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13). Deneyin gerçekleştirileceği zemin örneği içerisinde yeterli miktarda numune alınarak 4,75 mm, 9,5 mm ve 20 mm göz açıklığına sahip eleklerden elenmesi sağlanır (Yılmaz ve diğerleri, 2016: 75).

Çizelge 4.12. 2,5 kg ağırlığındaki tokmak için deney kıstasları (Yılmaz ve diğerleri, 2016: 75)

Kullanım koşulu	Kullanılan malzeme	Kalıp boyutları	Tabaka sayısı	Her tabakaya vuruş sayısı
%20 ve daha az malzeme 4,75 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	4,75 mm'lik elekten geçen	Çap: 105 mm Boy: 115,5 mm	3	25
%20 ve daha fazla malzeme 4,75 mm'lik elek üzerinde kalıyor ve %20 ila daha az malzeme 9,5 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	9,5 mm'lik elekten geçen	Çap: 105 mm Boy: 115,5 mm	3	25
%20'den fazla malzeme 9,5 mm'lik elek üzerinde kalıyor ve %30 ila daha az malzeme 20 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	20 mm'lik elekten geçen	Çap: 152,4 mm Boy: 115,5 mm	3	56

Çizelge 4.13. 4,5 kg ağırlığındaki tokmak için deney kıstasları (Yılmaz ve diğerleri, 2016: 75)

Kullanım koşulu	Kullanılan malzeme	Kalıp boyutları	Tabaka sayısı	Her tabakaya vuruş sayısı
%20 ve daha az malzeme 4,75 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	4,75 mm'lik elekten geçen	Çap: 105 mm Boy: 115,5 mm	5	25
%20 ve daha fazla malzeme 4,75 mm'lik elek üzerinde kalıyor ve %20 ila daha az malzeme 9,5 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	9,5 mm'lik elekten geçen	Çap: 105 mm Boy: 115,5 mm	5	25
%20'den fazla malzeme 9,5 mm'lik elek üzerinde kalıyor ve %30 ila daha az malzeme 20 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	20 mm'lik elekten geçen	Çap: 152,4 mm Boy: 115,5 mm	5	56

Eleklerden geçen zemin örneği oranları ve kullanılan çekiç ağırlığına bağlı olarak ilgili kalıp boyutları, tabaka sayısı ve her tabaka başına vuruş sayısı kullanılan tokmak ağırlığına göre

belirtilen sıkıştırma deneyi uygulama çizelgesi yardımıyla saptanır. Zemin örneğinin yeterince arı suyla karıştırılması gerekmektedir ve bilhassa suyun kohezyonlu zeminlerde homojen olarak dağılması için zemin örneğinin hava geçişi olmayan bir kap içerisinde 16 saate yakın bekletilmesi önerilmektedir (Yılmaz ve diğerleri, 2016: 76). Zemin örneğine ilave edilmesi gereken suyun oranı ise çakıllı ve kumlu zeminlerde %3-5 arasında, kohezyonlu zeminlerde plastik limitin %12-16 arasında kalacak şekilde sağlanması önemlidir.

Taban plakası takılan sıkıştırma kabının ağırlığı tartılarak elde edilen veri, deney çizelgesine işlenir. Daha sonra kalıbın üst ucuna donanım ağırlığı monte edilir ve tüm donanım beton tarzı düz ve sert bir yüzey üzerine dikkatlice yerleştirilir. Sıkıştırma deneyi uygulama çizelgesi vasıtasıyla gereken tabaka sayısı ve tabaka başına gerçekleştirilecek vuruş sayısı belli olan zemin örneği için tokmak düşümü başlatmak üzere ilk tabaka serimi gerçekleştirilir. Her tabaka için gereken vuruş sayısı kadar tokmak düşümü gerçekleştirilir (Bkz. Çizelge 4.12 ve 4.13).

Her düşümde oluşturulan darbenin tabakanın yüzeyine eşit aralıklarla yayılması sağlanmalıdır. Tokmağın serbest düşümünün engellenmemesi için tokmak kılavuzunun zemin örneğiyle tıkanmamasına dikkat edilmelidir. Deney esnasında kullanılan zemin örneği miktarı normal olarak kalıbı dolmaya yetecek oranda ayarlanmalıdır, ancak donanım üzerine monte edilen yaka tekrardan çıkarıldıktan sonra kesilip çıkarılacak artık zemin yüksekliğinin 6 mm değerini aşmaması önerilmektedir (Yılmaz ve diğerleri, 2009: 63).

Zemin örneğinin belirtilen vuruş sayısına tabi tutulması sonucu sıkıştırma işleminin sağlanmasıyla yakanın çıkartılması işlemi gerçekleştirilir. Bundan sonra zemin örneği çelik cetvel vasıtasıyla kalıbın üst kenar seviyesinde tesviye edilerek düzlenir, ardından kalıp ve zemin örneği toplam ağırlığı tartılarak elde edilen veri deney çizelgesine işlenir. Sıkıştırılan zemin örneği kalıptan çıkarılarak geniş bir kap içerisinde konumlandırılır; burada zeminin karakteristiğini yansıtacak denklkte görel olarak alınan bir miktar zemin örneği iki bölüme ayrılıp iki ayrı kaba aktararak zeminin su içeriği saptanır.

Deneyde başlangıç su içeriği oranları çakıllı ve kumlu zeminler için %1-2 arasında, kohezyonlu zeminler için %2-3 arasında arttırılarak deneyin yinelenmesine devam edilir

(Yılmaz ve diğeri, 2016: 76). Deneysel hesaplamaların sağlığı açısından en az 5 yinelenme yapılması ve karşılığında en az 5 deneysel veri elde edilmesi önerilmektedir. Deneylelerden elde edilecek su içerikleri, maksimum kuru birim hacim ağırlığı verinin en elverişli (optimum) su içeriğini arasına alacak şekilde sınırlandırılmalıdır.

Deneysel hesaplamalar:

Sıkıştırma deneyi sonucu elde edilen su içeriği değerleri ile zemin örneğine ait ilgili su içeriğinin hesaplandığı doğal birim hacim ağırlık değerleri Eş. 4.32’de yer alan matematiksel bağıntıda kullanılarak her bir su içeriğine karşılık gelen kuru birim hacim ağırlık saptanır.

$$\gamma_k = \frac{\gamma_n}{1 + \omega} \quad (4.32)$$

Burada,

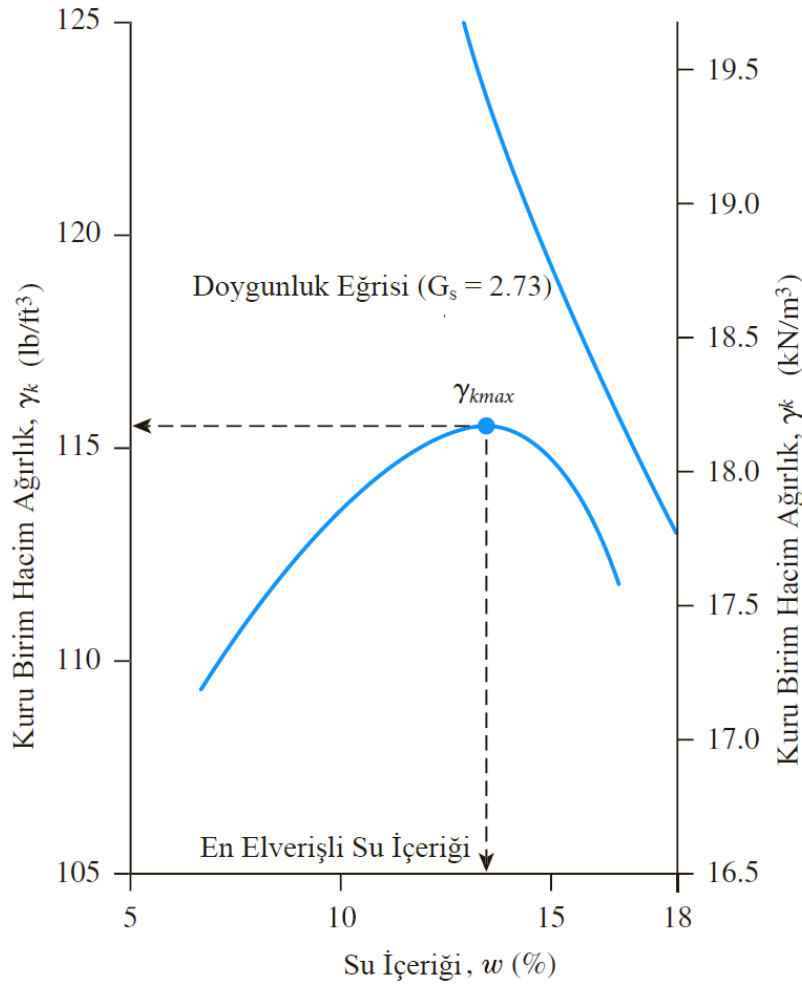
γ_k = zemin örneğine ait kuru birim hacim ağırlık, g/cm³

γ_n = zemin örneğine ait doğal birim hacim ağırlık, g/cm³

ω = zemin örneğine ait su içeriği, (%)

olarak ifade edilmektedir.

Sıkıştırma deneyi uygulanan zemin örneğinden elde su içeriği ve kuru birim hacim ağırlık değerleri bir eksen takımı üzerinde işaretlenir. Eksen takımı üzerinde işaretlenen bu noktalardan temsili olarak geçen eğriye sıkıştırma eğrisi adı verilir ve bu eğrinin en yüksek değerde olduğu tepe noktası tespit edilir. Bu nokta, sıkıştırma deneyi sonucu aranan değerlerden yatay ekseninde en elverişli (optimum) su içeriği değerini verirken, düşey ekseninde ise en yüksek (maksimum) kuru birim hacim ağırlık değerini vermektedir (Bkz. Şekil 4.28).



Şekil 4.28. En elverişli (optimum) su içeriği – en yüksek kuru birim hacim ağırlık tespiti (Das ve Sobhan, 2017: 160)

Su içeriği-kuru birim hacim ağırlık verilerinden oluşan eksen takımı sisteminde sabit bir doğunluk derecesi için kuramsal olarak çizilen eğriye doğunluk çizgisi adı verilir. Doğunluk çizgisi, farklı doğunluk yüzdeleri kabulü için (örneğin %100, %90, %85 gibi) elde edilen su içeriği-kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre çizilmektedir. Bu, su içeriği-kuru birim hacim ağırlık değer ikililerine Eş. 4.33'de yer alan matematiksel bağıntı yardımıyla ulaşılabilir.

$$\gamma_k = \frac{G_s * \gamma_w}{1 + \frac{G_s * \omega}{S}} \quad (4.33)$$

Burada,

γ_k = doğunluk eğrisi için gereken zemine ait kuru birim hacim ağırlık, g/cm³

γ_w = doygunluk eğrisi için gereken zemine ait doğal birim hacim ağırlık, g/cm^3

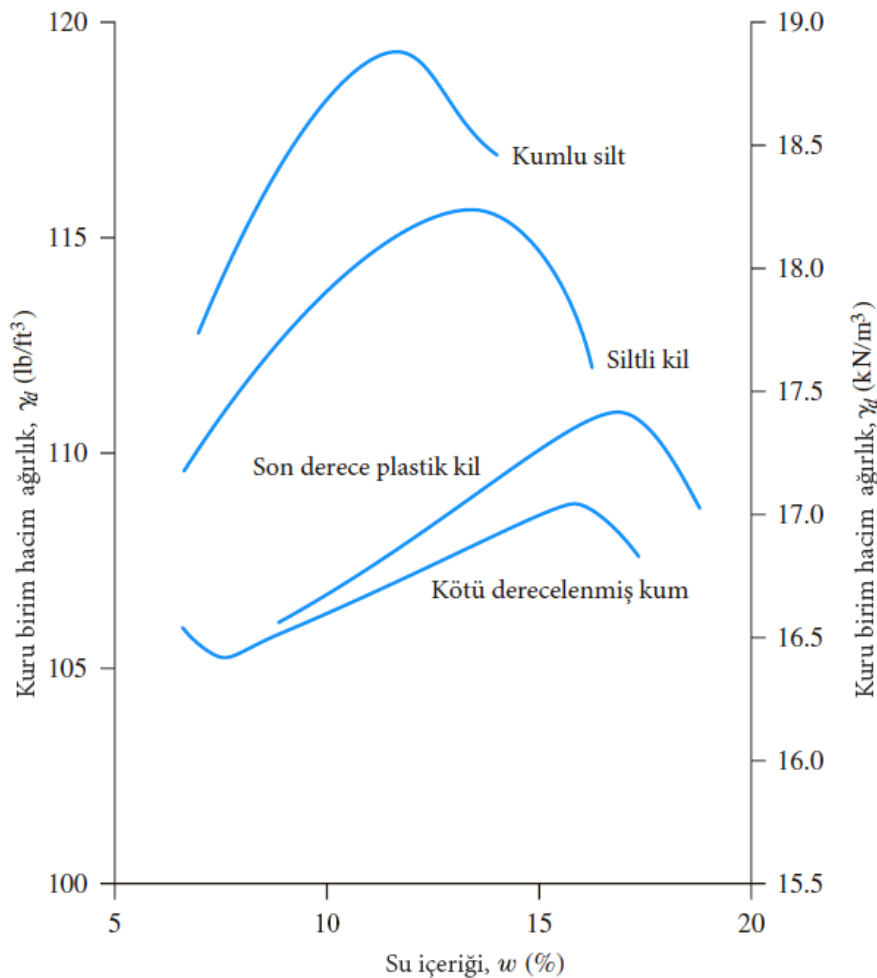
G_s = zeminin özgül ağırlığı,

ω = zemin örneğine ait su içeriği, (%)

S = doygunluk derecesi, (%)

olarak ifade edilmektedir.

Zemin danelerinin şekli, zemin dane çapı dağılımı, katı bölümün özgül ağırlığı, mevcutsa kil miktarı türü gibi çok çeşitli etkenlerin belirlediği zemin tipinin en elverişli (optimum) su içeriği ile en yüksek kuru birim hacim ağırlık değerleri üzerinde büyük bir etkisi bulunmaktadır (Das ve Sobhan, 2017: 162). ASTM standart esasına uygun olarak yapılan sıkıştırma deneyinin farklı zemin tipleri üzerindeki sonuçları Şekil 4.29'da verilmiştir (ASTM D 698-12e2, 2012).



Şekil 4.29. Bazı zemin çeşitleri için tipik sıkıştırma eğrisi örnekleri (Das ve Sobhan, 2017: 162)

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Sıkıştırma (kompaksiyon) deneyine ait veri alma, düzenleme ve çözümlene yazılım ara yüzleri EK-15(a) ile EK-15(b)'de verilmiştir. Sıkıştırma (kompaksiyon) deneyinde öncelikle kullanıcıdan, deney tekrar sayısı talep edilerek girilen deney yineleme sayısına bağlı olarak aşağıda yer alan verileri içeren bir deney veri alma çizelgesi oluşturulur.

- ✓ Numune kalıp çapı
- ✓ Numune kalıp yüksekliği
- ✓ Yakasız kalıp ağırlığı
- ✓ Yaş zemin ve kalıp ağırlığı
- ✓ Dara kap ağırlığı
- ✓ Yaş zemin ve dara ağırlığı
- ✓ Kuru zemin ve dara ağırlığı

Burada ifade edilen verilerin eksiksiz ve uygun bir biçimde girilmesinin ardından hesapla komutuyla deney çözümlene ara yüzüne geçilir. Burada deney verilerinden hesaplanan doğal birim hacim ağırlık, su içeriği ve kuru birim hacim ağırlık değerleri deney sonuç çizelgesi üzerinden kullanıcıya sunulur.

Su içeriği-kuru birim hacim ağırlık sonuçlarından elde edilen veri ikilileri bir eksen takımı üzerinde işaretlenerek zemin örneğine ait kompaksiyon eğrisi çizilir. Yazılım tarafından çeşitli matematiksel denklemlere göre çizilen kompaksiyon eğrilerinden uygun görülen eğri üzerindeki tepe noktasına ait su içeriği en elverişli (optimum) su içeriği olarak, tepe noktasına ait kuru birim hacim ağırlık değeri de maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri olarak kullanıcıya sunulur.

4.4.2. Kum konisi deneyi

Deneyin tanımlanması:

Bir yapıda temel göreviyle bulunan zeminlerin sıklığının veya başka bir amaç kapsamında oluşturulan bir dolgunun sıklığının bilinmesi, bazı mühendislik parametrelerinin bu sıklık

değerine bağlı olmasından ötürü önemli bir etkendir (DSİ, 2016). Bir zemine ait sıklığın yorumlanması için arazide yerinde yoğunluğun belirlenmesi amacıyla balon yoğunluk, nükleer yoğunluk gibi kullanım yaygınlığı nispeten az olan yöntemler bulunmaktadır. Buna karşın geoteknik mühendisliği çalışmalarında yerinde yoğunluğun tespitinde sıklıkla başvurulan arazi kesafet deneyi kum konisi yöntemidir (Yılmaz ve diğerleri, 2016: 65).

Kum konisi deneyi, zeminlerin yerinde doğal birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla sıklıkla uygulanan ve yol dolgusu, toprak dolgu gibi dolguların saha sıkıştırma sonuçlarının denetiminde kullanılan bir deneydir (Yılmaz ve diğerleri, 2016; 95). Kum konisi deneyinin esası, irdelenen bir zeminin içerisinde açılan bir çukurdan çıkarılan zemin örneğinin ağırlığının tartılması ile yoğunluğu hesaplanabilen bir kum malzemesinin yardımıyla açılan bu çukurun hacminin tespit edilmesi suretiyle zeminin yerinde birim hacim ağırlığının hesaplanmasına dayanmaktadır.

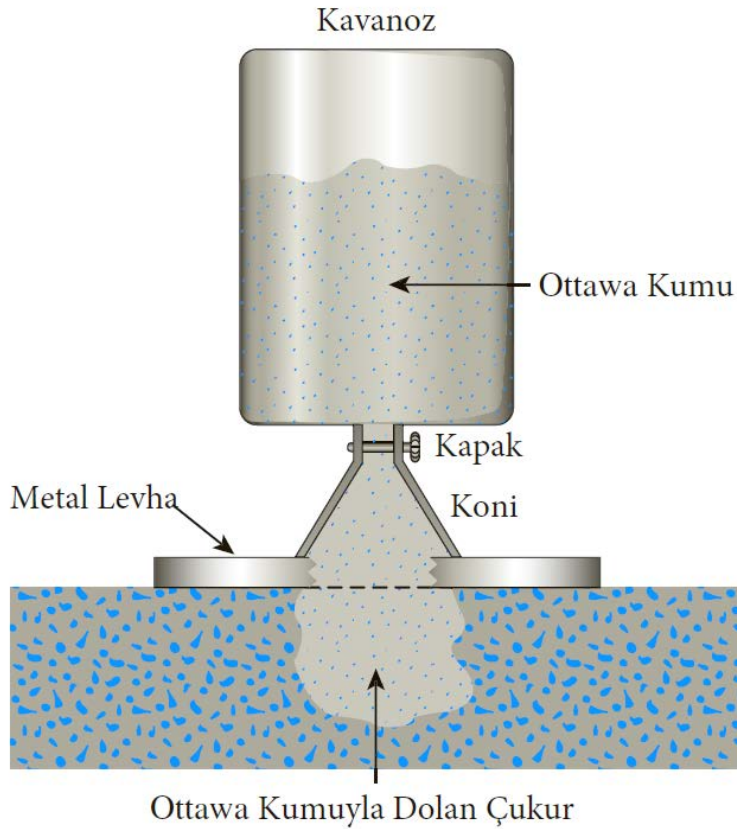
Deney araç-gereç dizelgesi:

- ✓ Boşaltma Silindiri
- ✓ Çukur Açma Kaşığı ya da Küçük El Küreği
- ✓ Ölçümleme Kabı
- ✓ Yoğunluğu Bilinen Deney Kumu
- ✓ Metal Tepsi
- ✓ Hassas Duyarlı Terazî
- ✓ Cam Plaka
- ✓ Numune Alıcı
- ✓ Diğer Su İçeriği Deney Donanımları

Deneyin yapılışı:

Kum konisi deneyinde kullanılacak olan ve yoğunluğu hesaplanabilen kum ince daneli, eşşekilli ve eleme uygulanması sonucu No.20-No.200 arasında kalan özellikte bir kum olmalıdır (Yılmaz ve diğerleri, 2016; 67). ASTM standart esasında kum konisi deneyi için kullanılacak kumun eşşekillilik katsayısının 2'den az, tüm dane çapının 2 mm değerinden küçük ve de 0,25 mm çapından ufak danelerin oranını ise % 3 olarak sınırlamaktadır (ASTM

D 1556, 2015). Kum konisi deneyinde belirtilen şartları sağlayan kumların kullanılmasının yanında deneyde kullanılacak kum olarak tek tip Ottawa kumu da önerilmektedir (Das ve Sobhan, 2017: 188). Ottawa kumu doldurulmuş kum konisi deney düzeneğinin yerinde temsili görünümü Şekil 4.30'da verilmiştir.

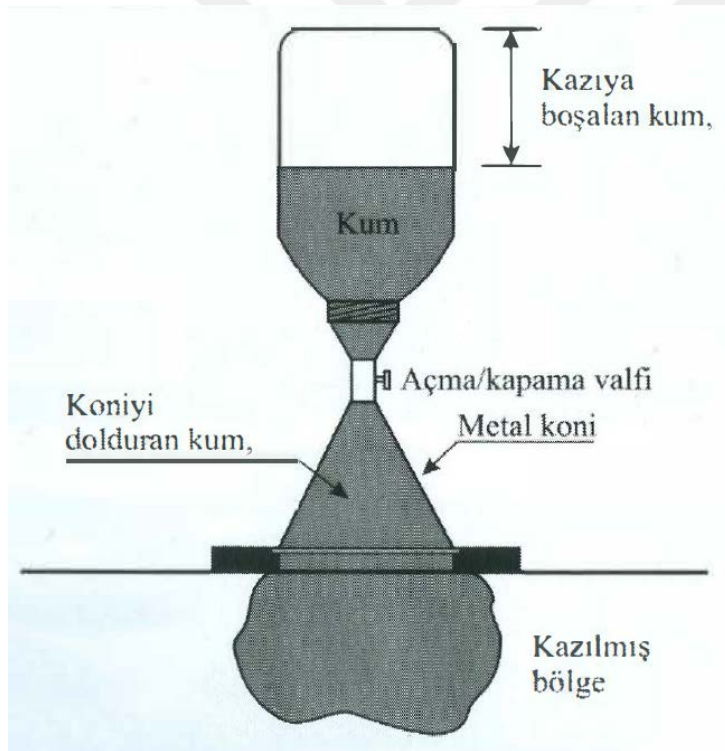


Şekil 4.30. Yerinde birim hacim ağırlık deneyinde Ottawa kumu kullanılması (Das ve Sobhan, 2017: 189)

Deneyde ilk olarak hacim değeri belirli olan bir sıkıştırma kabı öncelikle boş ağırlığı tartılarak deney çizelgesine işlenir, ardından içerisine deneyde kullanılacak kum tamamen doldurularak sıkıştırma kabının yüzeyi ispatula yardımıyla tesviye yoluyla düzlenir. Deney kumuyla dolu olan sıkıştırma kabının ağırlığı tartılarak elde edilen değer, deney çizelgesine işlenir. Kumun sıkıştırma kabına yerleşimi esnasında tam doluluktan emin olmak açısından gerekirse sıkıştırma kabından kum tamamen boşaltılıp yeniden doldurulur, bu şekilde aynı hacimdeki kumun farklı ağırlıklarının olması durumunda ortalama kum ağırlığı tespit edilebilir. Deney kumunun ağırlığının belirlenmesi ile kumun tamamen doldurduğu

sıkıştırma kabının hacminin belli olması nedeniyle ağırlığın hacme bölünmesi suretiyle kumun yoğunluğu hesap edilir, elde edilen veri deney çizelgesine işlenir.

Deney kumunun yoğunluğunun belirlenmesinin ardından boşaltma silindirin yeter miktarda kumla doldurulması sağlanır ve boşaltma silindirin kum dâhil toplam ağırlığı tartılarak deney çizelgesine işlenir. Boşaltma silindirin kapağı kapatılarak koni kısmı yüzeye temas edecek şekilde düz bir yüzey üzerinde konumlanması sağlanır. Bunun ardından boşaltma silindirine ait kapak açılarak kumun konik kısmı tamamen doldurması beklenir (Bkz. Şekil 4.31). Kumun akışının durması neticesinde boşaltma silindirin kapağı kapatılarak dikkatlice yüzey üzerinden kaldırılır ve ağırlığı tartılarak elde edilen veri, deney çizelgesine işlenir.



Şekil 4.31. Yerinde birim hacim ağırlığının belirlenmesinde deney düzeneği (Yılmaz ve diğerleri, 2009: 53)

Boşaltma silindirin kum dolu ilk halinin ağırlığı ile konik kısmı dolduran kumun boşalmasıyla kalan halinin ağırlığı arasındaki fark, konik kısma tamamen boşalan kumun ağırlığını verecektir. Bu deney adımlarının ardından deneyin saha kademesine geçilerek başlangıç olarak boşaltma silindiri yoğunluğu artık bilinen kumla yeteri kadar doldurulur.

Yerinde yoğunluğun hesap edileceği zemin örneğinin üzerinde belirlenen bir yerde düzeltme bıçağı vasıtasıyla 45 cm kenar ölçüsüne sahip kare bir alan tesviye edilerek düzlenir (Yılmaz ve diğerleri, 2016: 70). Zemin örneği üzerinde ortası delik metal tepsi dikkatlice konumlandırılır ve tepsiye ait zemine çivileme gözlemlerinden zemine sabitlenmesi sağlanır. Metal tepsinin ortasındaki delik kaynak alınarak zemin üzerinde derinliği yaklaşık 150 mm olacak şekilde bir çukur kazılır. Bu kazı sırasında çukur içerisinde herhangi bir malzeme kalmamasına ve çukur kazı yüzlerinin ezilmemesine dikkat edilir.

Açılan çukurdan çıkarılan zemin malzeme su içeriğini ve yapısını kaybetmeyecek şekilde bir naylon torbaya aktarılır. Açılan çukurun girişinde yer alan ortası delik metal tepsiye düşey olarak hizalanan içerisi kum dolu boşaltma silindiri kapağı kapalı vaziyette bekletilir. Boşaltma silindirinin kapağının açılmasıyla kumun tamamen dolacak şekilde çukurun içerisine akışı sağlanır; kumun akışının durmasından emin olduktan sonra boşaltma silindiri kapağı kapatılır ve donanım tepsi üzerinden kaldırılır. Çukurun içerisine deney kumundan bir miktarın boşaltılmasıyla geriye kalan kum ve boşaltma silindiri ağırlığı tartılarak elde edilen veri deney çizelgesine işlenir. Deneyin önceki adımlarında naylon torba içerisine alınan çukurdan çıkarılmış deney örneğinin laboratuvar ortamında su içeriği hesaplanır.

Deneysel hesaplamalar:

Kum konisi deneyine ait hesaplamalar iki adımdan oluşmaktadır; öncelikle yerinde deney yapılan zemin örneğinin alındığı çukurun hacminin hesaplanması ardından hesaplanan zemin örneği ağırlığının çukur hacmine oranlanması sonucu zeminin yerinde birim hacim ağırlığının hesaplanması gerekir. Çukurun hacmi Eş. 4.29'da yer alan matematiksel bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$V = \frac{W_f - W_e - W_c}{\gamma_{kum}} \quad (4.29)$$

Burada:

V = açılan çukurun hacmi, cm^3

W_f = deney kumuyla dolu boşaltma silindirinin ilk ağırlığı, g

W_e = boşaltma silindirinin deney kumuyla kalan deney sonu ağırlığı, g

W_c = koniyi doldurmak için gereken kumun ağırlığı, g

γ_{kum} = kumun yoğunluğu, g/cm³

olarak ifade edilmektedir.

Zemin örneğinin yerinde birim hacim ağırlığı ise Eş. 4.30'da yer alan matematiksel bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (4.30)$$

Burada,

γ = zemin örneğinin yerinde birim hacim ağırlığı, g/cm³

W = çukurdan alınan zemin örneğinin ağırlığı, g

V = çukurun hacmi, cm³

olarak ifade edilmektedir.

Bunlara ek olarak, laboratuvar koşullarında zemin örneğine ait su içeriğinin hesaplanması neticesinde zemine ait kuru birim hacim ağırlık da Eş. 4.31'de belirtilen matematiksel bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$\gamma_k = \frac{\gamma}{(1 + \omega)} \quad (4.31)$$

Burada,

γ_k = zemine örneğinin kuru birim hacim ağırlığı, g/cm³

γ = zemin örneğinin yerinde birim hacim ağırlığı, g/cm³

ω = zemin örneğine ait su içeriği oranı

olarak ifade edilmektedir.

Deneyin kodlama ve geliştirme süreci:

Kum konisi deneyine ait veri alma, düzenleme ve çözümlenme yazılım ara yüzleri EK-14'de verilmiştir. Kum konisi deneyinde öncelikle kullanıcıdan deney yineleme sayısı alınarak oluştur komutuyla deney veri alma çizelgesi hazırlanır. Bu çizelge üzerinde talep edilen veriler, aşağıda sıralanmıştır:

- ✓ Çukurdan çıkarılan toplam zemin ağırlığı

- ✓ Başlangıçta deney kumu ve kap ağırlığı
- ✓ Çukur dolduktan sonra kalan deney kumu ve kap ağırlığı
- ✓ Koni içerisinde kullanılan kumun yoğunluğu
- ✓ Kum konisi hacmi
- ✓ Çukurdan çıkarılan toplam malzemedeki çakıl ağırlığı (varsa)
- ✓ Çukurdan çıkarılan toplam malzemedeki çakıl yoğunluğu (varsa)

Burada ifade edilen verilen doğru bir biçimde girilmesiyle hesaplama komutuna basılarak deney sonuç ara yüzüne geçilir ve ilgili hesaplama neticeleri deney sonuç çizelgesinde sunulur. Her bir deney tekrarı için hesaplanan yerinde yoğunluğu aranan kumun ağırlığı ve hacmi ile kumun yerinde yoğunluğu bu deney sonuç çizelgesi üzerinde kullanıcıya gösterilir.

4.5. Zeminlerin Sınıflandırılması

Geoteknik mühendisliğinde temel inşaatı tasarımı, derin kazı inşası, yol yapım inşaatı, toprak istinat yapıları, toprak dolgu barajlar, şevlerin duraylılığı gibi teknik ve bilimsel çalışma konularında gerek geoteknik ve yapısal tasarım açısından, gerekse tahkikat ve değerlendirme açısından en önemli kademelerden biri zeminin sınıfının tespit edilmesidir. Bir zemin sınıflandırma sisteminin hedefi, benzer niteliklere veya karakteristiğe sahip zeminleri bir çatı altında kümelendirmektir (Carter ve Bentley, 2016). Zemin sınıflandırma sistemlerinin saha deneyimlerinin sonuçlarını deneysel bir şekilde ifade edebilmesi nedeniyle zemin sınıflandırma sistemleri, mühendislere genel bir kılavuzluk etmektedir (Murthy, 2002: 76).

Zeminlerin dane çapı dağılımına, kıvam limitleri veya malzeme cins dağılımına bağlı olarak gerçekleştirilen zemin sınıflandırmasının esası benzer şekilde karakteristik ortaya koyan zeminlerin bir sistem çatısı altında gruplara ya da alt gruplara ayrılarak farklı mühendislik disiplinlerinin de algılayacağı şekilde çeşitli mühendislik amaçları doğrultusunda tanımlanmasına dayanmaktadır (Orhan ve diğerleri, 2004: 139). Zeminin taşıyıcı, dolgu malzemesi, geçirimsizlik malzemesi gibi mühendislik açısından farklı koşullarda kullanılabilir olması zeminin belli ölçütler doğrultusunda uygunluğunun bir sistematığe dayandırılmasını gerekli kılmaktadır.

Bazı zemin sınıflandırma sistemlerinin esasını oluşturan standartlarda zemin malzeme cinslerinin tayin edilebilmesi için çeşitli sınır şartlar belirtilmiştir. Her bir standart esasında veya zemin sınıflandırma sisteminde; zeminleri kil, silt, kum, çakıl, moloz, kaya gibi malzeme cinslerinde tanımlayan dane çapı sınırı bulunmaktadır. Bazı standart esaslarına göre zemin malzeme cinsi sınırlarını ifade eden boyut şartları Şekil 4.32’de verilmiştir.

TS 1500	kil	silt	kum	çakıl	moloz	kaya	mm
	0.002	0.075	2	60	300		
USCS (ASTM D2487)	kil ve silt		kum	çakıl	moloz	kaya	mm
	0.075		4.75	75	300		
AASHTO (M-145-91)	kil	silt	kum	çakıl	kaya		mm
	0.005	0.075	2	75			
ESCS (EN ISO 14688:2)	kil	silt	kum	çakıl	moloz	kaya	mm
	0.002	0.063	2	63	200		
BS 1377-2	kil	silt	kum	çakıl	moloz	kaya	mm
	0.002	0.06	2	60	200		
ASTM D422	kil	silt	kum	çakıl	moloz	kaya	mm
	0.005	0.075	4.75	75	300		
USDA	kil	silt	kum	çakıl	moloz	kaya	mm
	0.002	0.05	2	76	250		

Şekil 4.32. Bazı standartlara göre zemin malzeme cinsi boyutları sınır şartları

Örneğin, USCS zemin sınıflandırma sistemi genel olarak zemin mühendisliği çalışmalarında kullanılırken, AASHTO zemin sınıflandırma sistemi ağırlıklı olarak karayolu yapım çalışmalarında kullanılmaktadır (Orhan ve diğerleri, 2004: 139). USDA zemin sınıflandırma sistemi en eski zemin sınıflandırma sistemlerinden biri olup, günümüzde zemin hakkında sadece malzeme oranlarından yola çıkarak hızlı sonuçlar elde etmek için kullanılmaktadır. Türk zemin sınıflandırma sistemi, ülkemize ait bir sınıflandırma sistemi iken birçok yönü BS ve ASTM standart esaslarında ifade edilen zemin sistemlerine benzemekle birlikte ülkemizin kendi yapısından dolayı bu standartlar üzerinde bazı değişiklikler öngörülerek yeniden düzenlenmesiyle oluşturulmuştur.

Örnek olarak, Türk zemin sınıflandırma sistemi içerisinde TS 1500 (2000) esasına dayanarak USCS zemin sınıflandırma sisteminden farklı olarak orta plastisite kavramı getirilmiştir. Türkiye'nin de üye olduğu Avrupa Standartlar Komitesi tarafından yeni mühendislik yaklaşımları ve kavramsal ifadeleri eklenerek yayımlanan EN ISO 14688:2 (2018) standart esasına dayanan ESCS zemin sınıflandırma sistemi ise çok daha yeni bir zemin sistemi olması nedeniyle özellikle uluslararası çalışmalarda zemin sınıfının özel normlar gerektirdiği koşullarda kullanılmaktadır.

4.5.1. USCS zemin sınıflandırma sistemi

Sistemin tanımlanması:

USCS zemin sınıflandırma sistemi, dünyanın birçok ülkesinde mühendisler tarafından çeşitli mühendislik çalışmalarında ve ASTM tarafından zeminlerin sınıflandırılmasında standart yöntem olarak kabul edilen, en bilinen ve en yaygın kullanılan zemin sınıflandırma sistemlerinden biridir (Orhan ve diğerleri, 2004: 147). Ortak bir USCS sınıflandırmasını paylaşan zeminler; mukavemet, geçirgenlik ve sıkıştırılabilirlik dâhil olmak üzere benzer mühendislik özellikleri gösterirler bu nedenle USCS zemin sınıflandırma sistemi, istenilen bir başarıma ulaşmak için zemin sınıfını saptamada kullanışlıdır (Kalinski, 2011: 53).

ASTM tarafından yayımlanan standart esasına göre USCS zemin sınıflandırma sisteminde zeminin sınıfı, çeşitli anlamlar yüklenmiş sembollerle ifade edilmektedir (Bkz. Çizelge 4.14). Bu sembollerin oluşmasında zeminin tipik yapısına göre birincil ve ikincil olarak saptanan harflerin birleşmesi esası yer almaktadır (ASTM D 2487, 2017).

Çizelge 4.14. USCS zemin tanımlamasında kullanılan semboller

Birinci Harf	Tanımlama	İkinci Harf	Tanımlama
G	Çakıl	W	İyi derecelenmiş
S	Kum	P	Kötü derecelenmiş
C	Kil	H	Yüksek plastisiteli
M	Silt	L	Düşük plastisiteli
O	Organik		

Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi olarak da tanımlanan USCS, zeminleri kendi içerisinde iri daneli zeminler, ince daneli zeminler ve organik zeminler olmak üzere üç ana gruba ayırır; her bir ana grubun içerisinde zemine ait çeşitli parametrik değerler kullanılarak zeminin nihai sınıfını saptar.

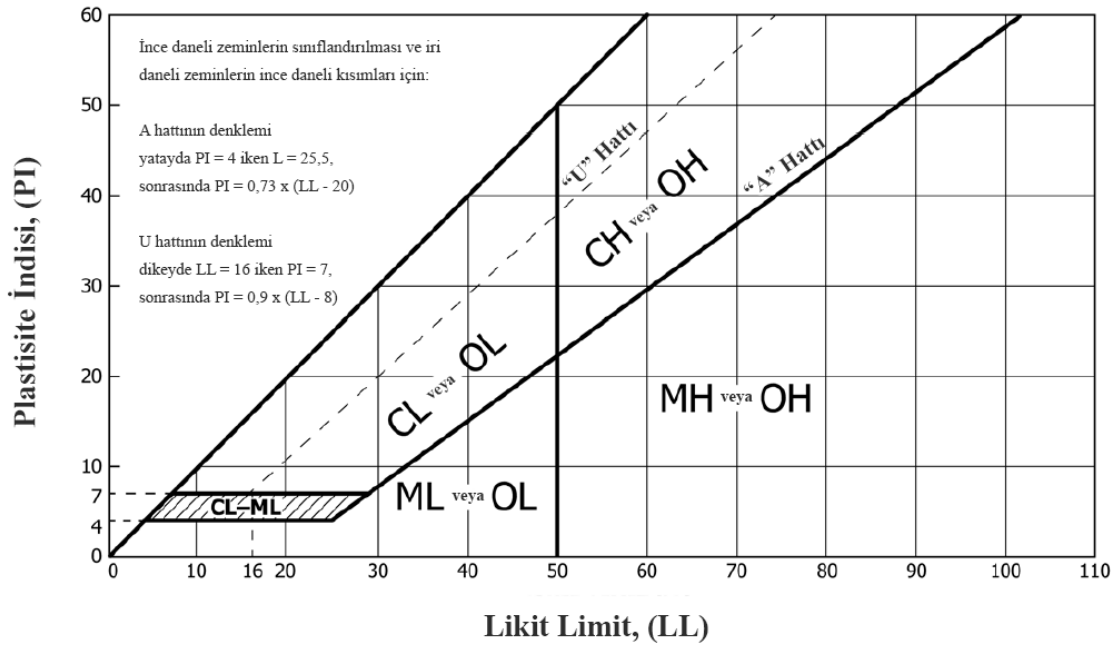
USCS zemin sınıflandırma sistemine göre bir zeminin iri daneli-ince daneli olma durumu zemin örneğine uygulanan mekanik eleme sonucu No. 200 (75 µm) elekten geçen malzeme yüzdesine göre belirlenmektedir. No.200 elekten geçen malzeme oranının %50 ve üzeri olmasında durumunda zemin ince daneli olarak, aksi halde iri daneli olarak ifade edilir. Bu nedenle USCS esaslı bir zemin sınıflandırması yapabilmek için zeminin dane çapı dağılımı, likit limit ve plastik limit değeri gibi kıvam sınırları tespit edilmelidir.

ASTM tarafından yayımlanan standart esasına göre zeminlerin tanımlandığı sınıfın doğru olarak tespit edilebilmesi için zemin tespit akış şeması ile plastisite abağı yayımlanmıştır (ASTM D 2487, 2017). Bu akış şemalarından ve Şekil 4.33’de yer alan abaktan yararlanarak zeminin iri daneli ya da ince daneli olma durumuna ve sahip oldukları mekanik-kıvam özelliklere göre zemin sınıfı tespiti gerçekleştirilir. USCS zemin sınıflandırma sistemine göre iri daneli olarak tanımlanan çakıl veya kum zeminlere ait dane çapı derecelenme durumları ise Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.15. USCS'de zeminlerin derecelenmeye göre tanımları (ASTM D 2487, 2017)

İri Daneli Zeminlerin Derecelenmesi		C_u	C_c
Çakıllar	İyi derecelenmiş	≥ 4	1-3
	Kötü derecelenmiş	< 4	< 1 veya >3
Kumlar	İyi derecelenmiş	≥ 6	1-3
	Kötü derecelenmiş	< 4	< 1 veya >3

Zeminin organik olması durumunda yine aynı yöntemler izlenebilirken zeminin organikliği koyu renkli olması, odunsu-köksi gibi heterojen bir yapıya sahip olması, çok kötü kokması gibi belirteçler üzerinden tanımlanabilir (Orhan ve diğerleri, 2004: 150).



Şekil 4.33. USCS zemin sınıflandırma sisteminde plastisite abağı (ASTM D 2487, 2017)

Sisteme ait özel hesaplamalar:

Organik zeminler taşıma güçlerinin yetersizliği, oturma eğilimlerinin fazlalığı gibi gerekçelerden ötürü inşaat mühendisliği çalışmalarında olumsuz bir zemin türü olarak nitelendirilmektedir (Uzuner, 2016: 101). Bu nedenle bir zeminin organik olma durumunun saptanması büyük önem arz ederken, zeminin organik olup olmadığının denetimi gözlem yolundan farklı olarak deneysel yöntemlerle de tespit edilebilir. Bu durum bir zemin örneğinin doğal halinde belirlenen likit limit değerinin, aynı zemin örneğinin etüvde kurutulduktan sonra belirlenen likit limit değeriyle mukayese edilmesi esasına dayanır. Bu kıyaslama Eş. 4.34'da belirtilen matematiksel bağıntı yardımıyla yapılır.

$$\frac{LL_{kurutulmuş}}{LL_{doğal\ hal}} < 0,75 \quad (4.34)$$

Burada,

$LL_{kurutulmuş}$ = etüvde kurutulmuş zemin örneğine ait likit limit değeri, (%)

$LL_{doğal\ hal}$ = doğal haldeki zemin örneğine ait likit limit değeri, (%)

olarak ifade edilmektedir.

Buna göre etüvde kuruyan zemin örneğinin likit limit değeri, doğal haldeki likit limit değerine göre %75'inden düşük olarak saptanırsa bu zemin örneğinin organik kökenli bir zemin olduğu neticesine varılabilir (Orhan ve diğerleri, 2004: 150).

Sistemin kodlama ve geliştirme süreci:

USCS zemin sınıflandırma sistemine ait yazılım çözümleme sayfası EK-16'da verilmiştir. USCS zemin sınıflandırma sistemi çözümleme sayfasında kullanıcıdan aşağıda belirtilen veriler talep edilir:

- ✓ No.4 elekten geçen malzeme yüzdesi
- ✓ No.200 elekten geçen malzeme yüzdesi
- ✓ Eşşekillilik katsayısı, C_u
- ✓ Süreklilik katsayısı, C_c
- ✓ Likit limit
- ✓ Plastik limit

Burada ifade edilen veriler girildikten sonra hesapla komutuyla USCS zemin sınıflandırma sistemi esaslı zemin çözümlemesi gerçekleştirilerek, ilgili zemin örneğine ait kıvam limitleri değerleriyle yazılımda zemin plastisite abağı üzerinde işaretleme gerçekleştirilir.

4.5.2. AASHTO zemin sınıflandırma sistemi

Sistemin tanımlanması:

Amerikan Karayolları Araştırma Bürosu tarafından geliştirilen AASHTO zemin sınıflandırma sistemi, dane çapı dağılımı ve kıvam limitleri deneylerinden elde edilen birtakım verilerle üzerinde sorgulama yapılabilen ve ağırlıklı olarak yol projelerinde tercih edilen bir zemin sınıflandırma sistemi çizelgesinden oluşmaktadır. AASHTO zemin sınıflandırma sistemi, karayolu kurumları ve zemin mühendisleri tarafından yaygın olarak kullanılan bir sınıflandırma sistemidir (Das ve Sobhan, 2017: 132).

AASHTO tarafından yayımlanan sınıflandırma çizelgesi üzerinde soldan sağa doğru eleme usulüyle ilerlenerek zemin kümelerinin belirlendiği sütunlardaki tüm verilerin ilk uygun olduğu andaki belirtilen zemin cinsinin, nihai zemin sınıfı olarak belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Orhan ve diğerleri, 2004: 139). AASHTO zemin sınıflandırma çizelgesinde A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7 şeklinde 7 adet ana zemin kümesi bulunurken, bunlardan A-1, A-2 ve A-7 kümeleri kendi içlerinde bir alt zemin kümelerine ayrılmaktadır (Bkz. Çizelge 4.16).

AASHTO zemin sınıflandırma sisteminde zemin sınıfının saptanmasının yanında zemine ait grup indeks değeri de hesaplanır ve ilgili sonuçlarda zemin sınıfının yanında parantez içerisine alınarak gösterilir. (Eş. 4.35) AASHTO zemin sınıflandırma sistemindeki gruplar set, alt tabaka ve dolgu maddesi gibi amaçlarla kullanılmak üzere zemin malzemesinin nispi kalitesini saptamada yararlı olmaktadır (AASHTO M-145-91, 2008).

Çizelge 4.16. AASHTO zemin sınıflandırma sistemine ait zemin tespit tablosu (AASHTO M-145-91, 2008)

Genel Sınıflandırma	Daneli Zeminler (%35 veya daha azı 0.075 mm'lik elekten geçiyor)							Silt-Kil Zeminler (%35'den fazlası 0.075 mm'lik elekten geçiyor)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Küme Sınıflandırması	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Elek analizi, yüzde geçen:											
2.00 mm (No. 10)	50 max	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.425 mm (No. 40)	30 max	50 max	51 min	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
75 mm (No. 200)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
0.425 mm (No. 40) altına geçen kısmın özellikleri											
Likit Limit (%)	-----	-----	-----	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Plastisite İndisi (%)	6 max	-----	NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min*
Kümeyi oluşturan başlıca malzeme özellikleri	Taş parçaları çakıl ve kum		İnce kum	Siltli veya killi çakallar ve kumlar				Siltli zeminler		Killi zeminler	
Yol taban malzemesi olarak değerlendirilmesi	Çok iyi - İyi							Orta - Kötü			

* A-7-5 alt sınıf kümesinin plastisite indisi (LL-30) a eşit veya küçüktür. A-7-6 alt sınıf kümesinin plastisite indisi (LL-30)'dan büyüktür

Liu (1967) tarafından yapılan bir araştırmada AASHTO ile USCS zemin sınıflandırma sistemleri mukayese edilmiştir; bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre oluşturulan karşılaştırma durumları Çizelge 4.17' de sunulmuştur.

Çizelge 4.17. AASHTO ile USCS olası zemin sınıfı eşdeğerlilik karşılaştırması (Das ve Sobhan, 2017)

AASHTO Zemin Grubu	Kıyaslanabilir USCS Zemin Sınıfları		
	En Olası	Olası	Olası ama muhtemel değil
A-1-a	GW, GP	SW, SP	GM, SM
A-1-b	SW, SP, GM, SM	GP	—
A-3	SP	—	SW, GP
A-2-4	GM, SM	GC, SC	GW, GP, SW, SP
A-2-5	GM, SM	—	GW, GP, SW, SP
A-2-6	GC, SC	GM, SM	GW, GP, SW, SP
A-2-7	GM, GC, SM, SC	—	GW, GP, SW, SP
A-4	ML, OL	CL, SM, SC	GM, GC
A-5	OH, MH, ML, OL	—	SM, GM
A-6	CL	ML, OL, SC	GC, GM, SM
A-7-5	OH, MH	ML, OL, CH	GM, SM, GC, SC
A-7-6	CH, CL	ML, OL, SC	OH, MH, GC, GM, SM

Dolgu taban zemini, alt temel ve temelde kullanılan malzemelerin fiziksel özelliklerinden çıkarılan verilerle hesaplanan grup indeksi ne kadar düşükse, yol yapımında alt tabaka malzemesi olarak tercihi o kadar uygun demektir (Orhan ve diğerleri, 2004: 140). Grup indisinin bir diğer yararı ise yapılan sınıflandırma neticesinde esasen birbirinden farklı olan iki zeminin aynı gruba ya da aynı alt gruba isabet etmesi durumunda zeminlerin ayrımı grup indisinin sayesinde mümkün olmaktadır.

Sisteme ait özel hesaplamalar:

Bir zeminin yol alt yapısı dolgu malzemesi olarak kalitesinin saptanmasında, esnek ve rijit üstyapıların toplam kalınlığının tespit edilmesinde önemli bir parametrik değer olan grup indisi Eş. 4.35’de belirtilen matematiksel bağıntı yardımıyla tespit edilir.

$$GI = (F - 35) \times [0,2 + 0,005 \times (LL - 40)] + 0,01 \times (F - 15) \times (PI - 10) \quad (4.35)$$

Burada:

GI = grup indisi,

F = No.200 elekten geçen toplam malzeme yüzdesi, (%)

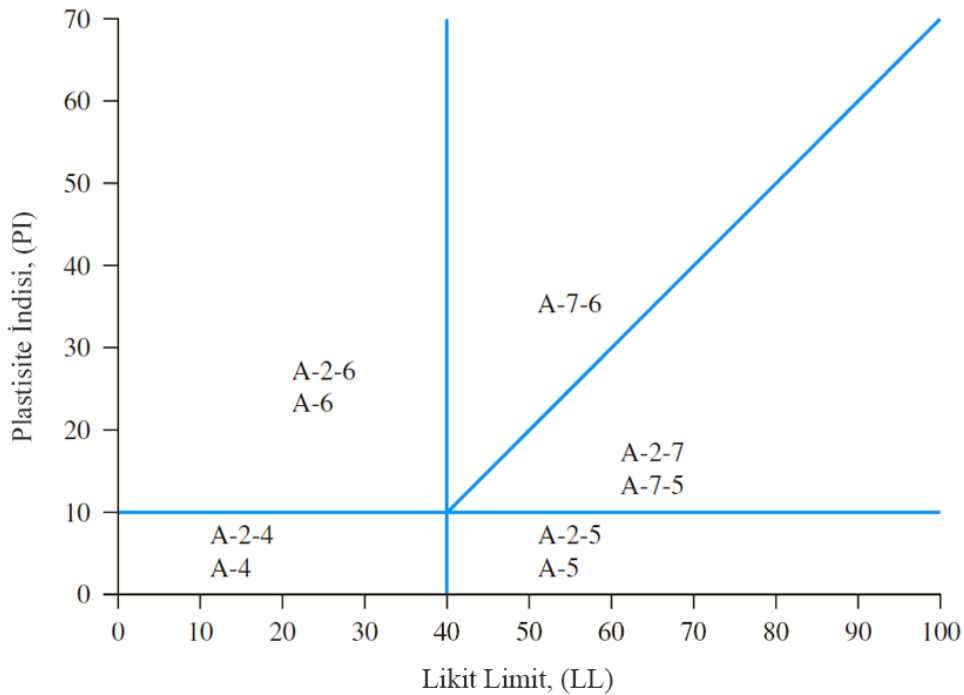
LL = zeminin likit limiti, (%)

PI = zeminin plastisite indisi, (%)

olarak ifade edilmektedir.

Hesaplanan grup indisi değeri, negatif bir sayı olarak çıkarsa bu durumda grup indisi sıfır olarak kabul edilir. Hesaplanan grup indisi değeri, küsuratlı bir sayı olarak çıkarsa bu durumda grup indisi değerine en yakın tam sayıya yuvarlanarak sunulur. Hesaplama yapılan zemin, plastik olmayan bir zemin (NP) ya da zemine ait likit limit değeri saptanamadı ise bu durumda grup indisi sıfır olarak kabul edilir (Orhan ve diğerleri, 2004: 140).

Hesaplanan grup indisi değerinin, herhangi bir üst sınırı bulunmamaktadır. A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 ve A-3 tipi zeminler için grup indisi daima sıfır olmaktadır. AASHTO zemin sınıflandırma sisteminde yer alan zemin gruplarının likit limit-plastisite indisi değerlerine bağlı olarak grafiksel yerleşimleri Şekil 4.34’de gösterilmiştir.



Şekil 4.34. A-2, A-4, A-5, A-6 ve A-7 zemin sınıflarının likit limit ile plastisite indisi aralığı

Sistemin kodlama ve geliştirme süreci:

AASHTO zemin sınıflandırma sistemine ait yazılım çözümleme sayfası EK-20’de verilmiştir. AASHTO zemin sınıflandırma sistemi çözümleme sayfasında kullanıcıdan aşağıda sıralanan veriler talep edilir:

- ✓ No.10 elekten geçen malzeme yüzdesi
- ✓ No.40 elekten geçen malzeme yüzdesi
- ✓ No.200 elekten geçen malzeme yüzdesi
- ✓ Likit limit
- ✓ Plastik limit

Burada ifade edilen veriler girildikten sonra hesapla komutuyla AASHTO zemin sınıflandırma sistemi esaslı zemin çözümlenmesi gerçekleştirilerek, ilgili zemin örneğine ait zemin özellikleri yazılımda AASHTO çizelgesi üzerinde renklendirme yoluyla gösterilir.

4.5.3. Türk zemin sınıflandırma sistemi

Sistemin tanımlanması:

Türk zemin sınıflandırma sistemi, Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından inşaat mühendisliğinde zeminlerin sınıflandırılması başlığıyla yayımlanan TS 1500 (2000) standart esasında ifade edilen, ülkemize ait bir zemin sınıflandırma sistemidir. Zemin sınıflandırılmasında mühendislikte sıkça kullanılan ASTM standardı ve BS gibi standart esasları temel alınarak oluşturulan Türk zemin sınıflandırma sistemi, zeminleri iri daneli, ince daneli ve organik kökenli olarak üç temel bölüme ayırmaktadır. Bir zeminin hangi bölümde yer aldığını saptamak için zemine ait birtakım yapısal bilgiler elde edildikten sonra TS 1500 (2000) içerisinde verilen akış diyagramları kullanılır. Bu diyagramlardan hareketle ilgili koşulların sağlandığı akış yolu tespit edilir; bir veya iki simge ve bir ad vererek zeminin nihai zemin sınıfı belirlenir (Bkz. Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Türk zemin sınıflandırma sisteminde kullanılan semboller

Birinci Harf	Tanımlama	İkinci Harf	Tanımlama
G	Çakıl	W	İyi derecelenmiş
S	Kum	P	Kötü derecelenmiş
C	Kil	C	Killi
M	Silt	M	Siltli
		H	Yüksek plastisiteli
		I	Orta plastisiteli
		L	Düşük plastisiteli
		O	Organik

Türk zemin sınıflandırma sisteminin, kaynak olarak alındığı ve türetildiği uluslararası standart esaslarına göre birtakım önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bunlardan ilki, çakıl-kum sınırının USCS’de olduğu gibi 4,75 mm yerine kılcallık kuvvetlerinin etki sınırı olan 2,00 mm olarak kabul edilmesidir. Bir diğer farklılık ise Türk zemin sınıflandırma sisteminde plastisite simgelenmesinde orta plastisite kavramının getirilerek plastisite bölümlerinin biraz daha detaylı aralıklandırılmasıdır.

Bir deprem kuşağı ülkesi olan Türkiye’nin genel depremselliği ve zemin yapısı göz önüne alındığında özellikle de 1999 Marmara Depremi’nin yaşanmasıyla plastik olmayan bazı siltlerde görülen sıvılaşma olaylarının etkisiyle Türk zemin sınıflandırma sistemi, içerisinde plastisite bölümlerinin yüksek, orta ve düşük şeklinde çoğaltılarak daha uygun bir sistem haline getirilmiştir (Önalp, 2004). TS 1500 (2000) esasında yer alan zemin sınıflandırma sistemine ait plastisite sınır şartlarına bağlı plastisite tanımları Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. TS 1500 (2000)’e göre plastisite sınır şartları

Plastisite Aralık Tanımı	Likit Limit, ω_L
Yüksek plastisite	> 50
Orta plastisite	35-50
Düşük plastisite	< 35

TS 1500 (2000) standart esasına göre bir zemini çözümlmek için öncelikle zemine ait örnek üzerinde dane çapı dağılımlarının ve kıvam sınırlarının saptanması gerektirmektedir; bu noktada ilgili zemin için elek analizi, çökeltme analizi, likit limit deneyi ve plastik limit deneyi gereken durumlar karşısında gerçekleştirilir. Türk zemin sınıflandırma sisteminde çözümlenecek zeminlerin taş (moloz) cinsi haricinde geriye kalan tüm malzeme cinsleri için dane çapı dağılımı ve kıvam sınırları deneyleri TS esasına göre yürütülmelidir (TS 1900-1, 2006).

Bir zeminin çözümlenmesinde dane çapı dağılımı belirlenirken kullanılacak standart eleklerin TS 1225 ISO 565 (2001) esasına uygun eleklerden seçilmesi gerekmektedir. TS 1500 (2000) içerisinde belirtilen elek serisinin bir zeminin dane çapı dağılımını belirlemede yetersiz kaldığı durumlarda zeminin özelliğine göre gereken elekler, elek serisi içerisinde araya ve üste yerleştirilebilir.

Buna ek olarak, zemine ait dane çapı dağılımı belirlendikten sonra elek analizi deneyi olduğu gibi kritik dane çapları kullanılarak Eş. 4.23 ve Eş. 4.24'e göre eşşekillilik ve süreklilik katsayıları hesaplanması gerekmektedir. Türk zemin sınıflandırma sisteminde, zeminin çözümlenmesi esnasında zeminin yapısına göre bazı değerlendirme imtiyazları tanınmıştır (TS 1500, 2000). Buna göre bir zemine ait ince danelerin oranı %5'den az olması durumunda zemin sınıfının tespiti için sadece dane çapı dağılımının saptanması yeterli olacaktır. Yine bir zemine ait iri danelerin oranı %50'den az olması durumunda zemin sınıfı tespiti için sadece kıvam sınırlarının saptanması yeterli olacaktır.

Sistemin kodlama ve geliştirme süreci:

Türk zemin sınıflandırma sistemine ait yazılım çözümlene sayfası EK-17'de verilmiştir. Türk zemin sınıflandırma sistemi çözümlene sayfasında kullanıcıdan aşağıda ifade edilen veriler talep edilir:

- ✓ No.10 elekten geçen malzeme yüzdesi
- ✓ No.200 elekten geçen malzeme yüzdesi
- ✓ Eşşekillilik katsayısı, C_u
- ✓ Süreklilik katsayısı, C_c
- ✓ Likit limit
- ✓ Plastik limit

Burada sıralanan veriler girildikten sonra hesapla komutuyla Türk zemin sınıflandırma sistemi esaslı zemin çözümlenmesi gerçekleştirilerek, ilgili zemin örneğine ait kıvam limitleri değerleriyle yazılımda zemin plastisite abağı üzerinde işaretleme gerçekleştirilir.

4.5.4. USDA (Üçgen) zemin sınıflandırma sistemi

Sistemin tanımlanması:

USDA zemin sınıflandırma sistemi Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı tarafından geliştirilen ve geoteknik mühendisliği çalışmalarında üçgen sınıflandırma sistemi olarak da tanımlanan bir zemin dokusu saptama sistemidir. USDA zemin sınıflandırma sistemi bitki,

Bir zeminin USDA zemin sınıflandırma sisteminde çözümlenebilmesi için öncelikle zemin daneleri üzerinde mekanik analiz gerçekleştirilip zeminin çakıl, kum, silt ve kil gibi malzeme cins dağılım oranlarının saptanması gerekmektedir. Bu zeminin sahip olduğu çakıl, kum, silt ve kil oranlarına bağlı olarak USDA zemin sınıflandırma sistemi içerisinde tanımlanan üçgen bir zemin dokusu saptama alanında karşılık gelen zeminin dokusu belirlenebilmektedir.

USDA zemin sınıflandırma sisteminde zeminin dokusunun belirlenebilmesi için kıvam sınırlarına ait herhangi bir bilgiye ihtiyaç duyulmamaktadır (Das ve Sobhan, 2017: 132). Bu durum, üçgen zemin sınıflandırma sisteminin özellikle kullanım amacı göz önüne alındığında beklenen bir durumdur ve diğer geleneksel zemin sınıflandırma sistemlerinden ayıran en önemli farklılıktır. Buna karşın zemin dokusunun belirlenmesinde kıvam sınırlarının kullanılmaması ince daneli zeminlerin sınıflandırılmasında diğer zemin sınıflandırma sistemlerinin aksine daha az hassasiyetle sonuç vermektedir. Bunun yanında, USDA zemin sınıflandırma sistemi içerisinde herhangi bir organik madde yer almadığı da kabul edilmektedir.

Bir zemin mühendisinin zemine ait birtakım özellikleri doğru yorumlaması için zemine ait plastisite özelliklerini yorumlaması gerektiği göz önüne alınırsa üçgen zemin sınıflandırma sisteminin plastisiteyi hesaba katmaması nedeniyle çoğu mühendislik amacı açısından yetersiz kaldığı öne sürülmektedir (Das ve Sobhan, 2017: 132).

USDA zemin sınıflandırma sistemine ait zemin dokularının mutlak olarak çevrilebildiği bir zemin sınıflandırma sistemi olmamasından ötürü birçok araştırmacı USCS zemin sınıflandırma sistemiyle bir ilişik oluşturabilmek amacıyla birtakım yöntem önerileri içeren çeşitli ilgilisim çalışmaları yürütmüştür (Zakikhani, Gidley ve Tingle, 2017). Örnek olarak Baylot, Stevens, Patterson, Bandon ve Green (2013) ile Frankenstein (2014) tarafından yapılan ilgilisim çalışmalarında USDA zemin sınıflandırma sistemiyle birlikte değerlendirmek için emsal olarak mühendislikte çok yaygın bir şekilde kullanılması nedeniyle USCS tercih edildiği görülmektedir (Bkz. Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20. USDA-USCS zemin sınıfı karşılaştırma örnekleri

FAO Numarası	USDA zemin dokusu	Baylot ve diğerlerine (2013) göre USCS'deki zemin sınıfı karşılığı	Frankenstein'a (2014) göre USCS'deki zemin sınıfı karşılığı
1	Kum	SP	SP
2	Lemli kum	SM	SM
3	Kumlu lem	SC	SM
4	Siltli lem	SM	ML
5	Silt	ML	ML
6	Lem	CL	ML
7	Kumlu kil lem	SC	SC
8	Siltli kil lem	CL	CL
9	Kil lem	CL	CL
10	Kumlu kil	SC	SC
11	Siltli kil	CL	CH
12	Kil	CH	CH

Sisteme ait özel hesaplamalar:

USDA zemin sınırlandırma sisteminde saptanabilecek 12 adet zemin doku terimi bulunmaktadır; bunlardan bazıları kum, silt, kil gibi bilinen zemin doku isimleri iken, bazıları da ortak özellik gösteren birbirinin çeşitlemeleridir (USDA, 2017: 124). USDA zemin sınıflandırma sisteminde farklı olarak lem adı verilen özel bir doku terimi de bulunmaktadır; lem kum, silt, kil karışımı humus görünümlü bir zemin türüdür.

Zemin dokusu belirlenmesinde ise şu yöntemler izlenir: ilk olarak zemine ait çakıl, kum, silt ve kil malzeme cins dağılım oranları belirlenir. Üçgen zemin sınıflandırma sisteminde:

- ✓ *Kum boyutu:* 2,0-0,05 mm çap aralığında
- ✓ *Silt boyutu:* 0,05-0,002 mm çap aralığında
- ✓ *Kil boyutu:* 0,002 mm'den küçük çaplarda

olarak ifade edilmektedir (Das ve Sobhan, 2017: 130).

Üçgen zemin sınıflandırma sisteminde eğer var ise çakıl yüzdesinin diğer malzeme cins oranlarından çıkarılarak düzeltilmiş kum, silt ve kil oranları elde edilmesi gerekmektedir. Zemine ait malzeme cins dağılım oranları üzerinde düzeltilme işlemi yapıldıktan sonra kum, silt ve kil yüzdelерinin toplamının %100 olması lazımdır (Uzuner, 2016: 94). Zeminin düzeltilmiş malzeme cins dağılım oranlarının hesabı Eş. 4.36, Eş. 4.37 ve Eş. 4.38’de yer alan matematiksel bağıntılara göre hesaplanabilir.

$$Yeni Kum Oranı (\%) = \frac{(P_{kum} \times 100)}{(100 - P_{çakıl})} \quad (4.36)$$

$$Yeni Kil Oranı (\%) = \frac{(P_{kil} \times 100)}{(100 - P_{çakıl})} \quad (4.37)$$

$$Yeni Silt Oranı (\%) = \frac{(P_{silt} \times 100)}{(100 - P_{çakıl})} \quad (4.38)$$

Burada:

$P_{çakıl}$ = zemin örneğinde yer alan başlangıç çakıl yüzdesi, (%)

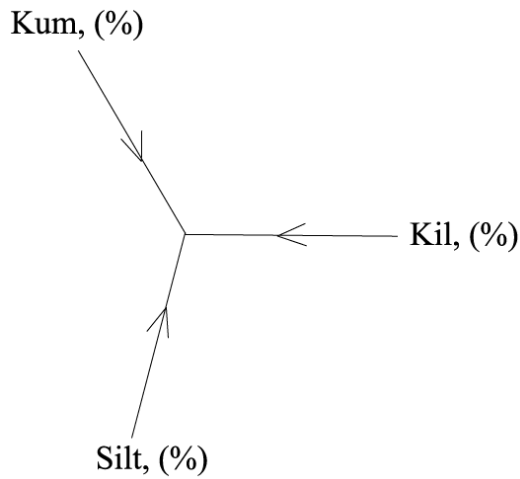
P_{kum} = zemin örneğinde yer alan başlangıç çakıl yüzdesi, (%)

P_{kil} = zemin örneğinde yer alan başlangıç çakıl yüzdesi, (%)

P_{silt} = zemin örneğinde yer alan başlangıç çakıl yüzdesi, (%)

olarak ifade edilmektedir.

Bunun ardından zemin doku üçgeni kullanılarak her bir malzeme cinsinin sahip olduğu yüzde için ilgili malzeme cinsine ait kenarda işaretlemeler yapılır; bu işaretlemeler neticesinde zemin doku üçgeni için Şekil 4.36’da belirtilen anahtar yönler kullanılarak üç kenardan gelen doğruların kesişim noktası belirlenir (Uzuner, 2016: 94). Bu noktanın içerisinde yer aldığı zemin doku tipi, zemine ait nihai zemin dokusu yani zemin sınıfı olarak adlandırılır.



Şekil 4.36. USDA zemin dokusu üçgeninde takip edilen anahtar yönler

Sistemin kodlama ve geliştirme süreci:

USDA zemin sınıflandırma sistemine ait yazılım çözümleme sayfası EK-19’da verilmiştir. USDA zemin sınıflandırma sistemi çözümleme sayfasında kullanıcıdan aşağıda belirtilen veriler talep edilir:

- ✓ Çakıl malzeme yüzdesi
- ✓ Kum malzeme yüzdesi
- ✓ Silt malzeme yüzdesi
- ✓ Kil malzeme yüzdesi

Burada ifade edilen veriler girildikten sonra hesapla komutuyla USDA zemin sınıflandırma sistemi esaslı zemin çözümlemesi gerçekleştirilerek, ilgili zemin örneğine ait dane büyüklüğü değerleriyle yazılımda zemin üçgen dokusu üzerinde işaretleme gerçekleştirilir.

4.5.5. ESCS zemin sınıflandırma sistemi

Sistemin tanımlanması:

Uluslararası Standardizasyon Örgütü Geoteknik Teknik Komitesi (ISO/TC 182) ile Avrupa Standartlaştırma Komitesi Geoteknik İnceleme ve Değerlendirme Teknik Komitesi (CEN/TC 341) işbirliği neticesinde iki bölüm halinde yayınlanan EN ISO 14688 standart

esasları zeminlerin tanımlanması ve ifade edilmesi için birtakım kuralları ve bu kurallar doğrultusunda zeminlerin sınıflandırma ilkelerini kapsamaktadır. Kovačević ve Jurić-Kaćunić (2014) tarafından EN ISO 14688 standart esaslı bölümleri altında yer alan zemin tanımları, sembolleri ve sınıflandırma ilkelerine göre ESCS adını verdikleri yeni bir zemin sınıflandırma sistemi geliştirmiştir.

2018 yılında ise ISO/TC 182 ve CEN/TC 341 ortak işbirliği neticesinde yayımlanan öncül standartları güncellemek amacıyla Avrupa zemin sınıflandırma sistemi tanımları, sembolleri ve ilkeleri yeniden düzenlenmiştir.

Türkiye'nin de içerisinde yer aldığı CEN üye ülkeleri tarafından uygulanmak zorunda olduğu bu standart normları haliyle Türk Standartları Enstitüsü tarafından 19.03.2018 tarihinde TS EN ISO 14688-2 adı altında ülkemizde yürürlüğe konulmuştur. Bunun neticesinde, Kovačević, Jurić-Kaćunić, Librić ve Ivoš (2018) tarafından, güncellenen yeni standart esasları doğrultusunda ESCS zemin sınıflandırma sistemi yenilenerek mevcut normlarla örtüşen ve mühendislik amaçları için kullanılabilen yeni bir ESCS zemin sınıflandırma sistemi ortaya konulmuştur.

ESCS zemin sınıflandırma sistemi zeminleri kendi içerisinde birçok sisteme benzer şekilde iri daneli zeminler, ince daneli zeminler ve organik kökenli zeminler olarak üç temel bölüme ayırmaktadır. ESCS zemin sınıflandırma sisteminde bir zemin sınıfını ifade etmek için, zemin malzeme cinsine bağlı olarak birincil harfler; zeminin dane çapı dağılımı ve kıvam özelliklerine bağlı olarak da ikincil harfler kullanılmaktadır (Bkz. Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21. ESCS zemin tanımlamasında kullanılan semboller

Birinci Harf	Tanımlama	İkinci Harf	Tanımlama
Gr	Çakıl	W	İyi derecelenmiş
Sa	Kum	M	Orta derecelenmiş
Cl	Kil	P	Kötü derecelenmiş
Si	Silt	U	Düzgün derecelenmiş
Or	Organik	G	Aralıklı derecelenmiş
		V	Çok yüksek plastisite
		H	Yüksek plastisite
		M	Orta plastisite
		L	Düşük plastisite

Bu sistem içerisinde zeminlerin çözümlenebilmesi için yine birçok sisteme benzer şekilde zemine ait dane çapı dağılımının ve kıvam sınırlarının saptanması gerekmektedir. Zeminlerin ince daneli ya da iri daneli olarak belirlenmesi birçok zemin sınıflandırma sisteminden farklı olarak No.230 elekten geçen zemin oranına göre belirlenir (Kovačević ve diğerleri, 2018).

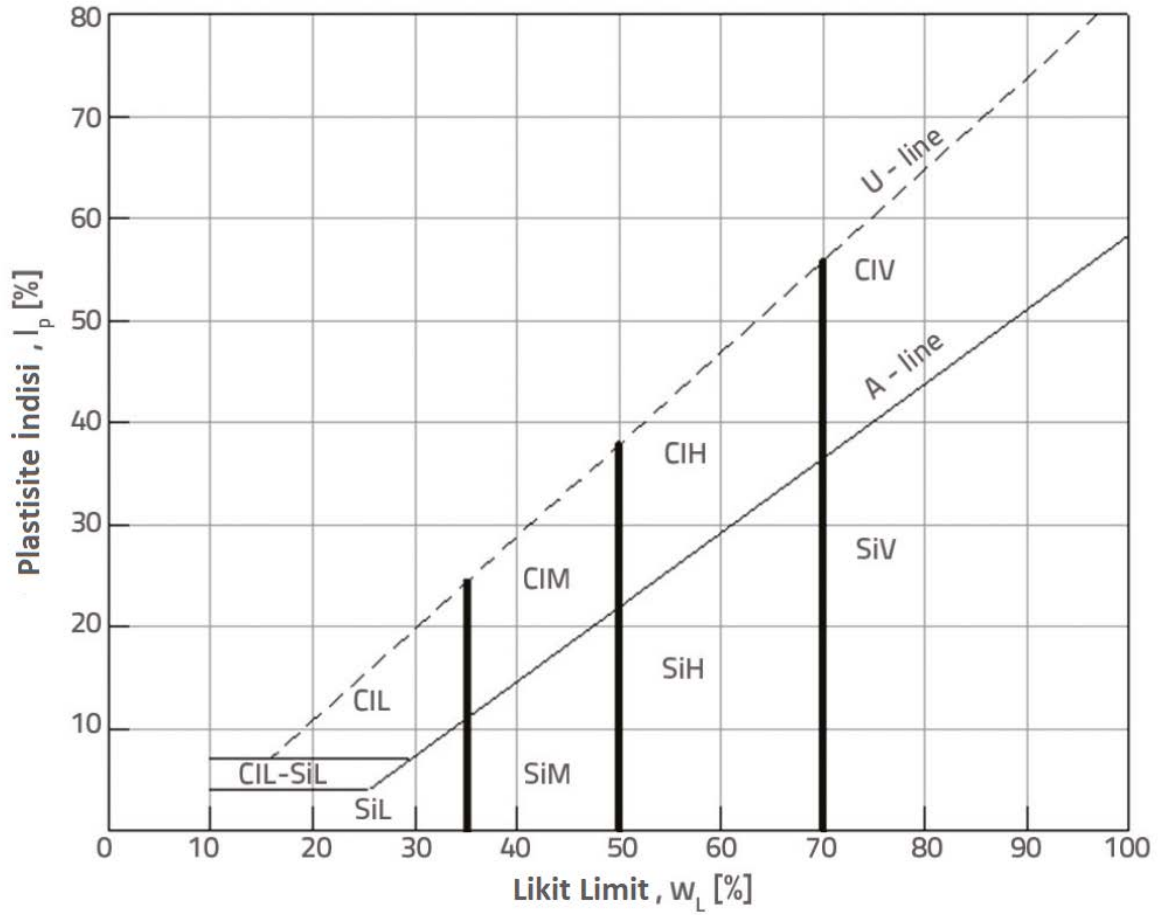
Zeminleri çözümlenme esnasında gereken kritik dane çapları ise diğer sistemlere benzer şekilde zemine ait dane çapı dağılımı eğrisinden bulunmaktadır. Eşşekillilik katsayısı ve süreklilik katsayısı gibi önemli değerler Eş. 4.24 ve Eş. 4.24'de yer alan denklemde olduğu gibi hesaplanmaktadır. Kıvam sınırlarının belirlenmesi ise likit limit ve plastik limit deneyleri üzerinden sağlanmaktadır.

Buna karşın ESCS zemin sınıflandırma sisteminin diğer zemin sınıflandırma sistemlerine göre önemli farkları bulunmaktadır. İlk farklılık, bahsedildiği üzere zeminleri iri daneli-ince daneli olarak ayıran elek çapının birçok zemin sisteminde olduğu gibi 0.075 mm değil 0.063 mm olmasıdır. Bir diğer değişiklik ise ESCS zemin sınıflandırma sisteminde iri daneli zeminlerin derecelenme durumlarının iyi, orta, kötü, eşşekli ve aralıklı olarak 5 farklı biçimde ifade edilmesidir. Bu derecelenme durumları da eşşekillilik ve süreklilik katsayısının 5 farklı eşitsizlik aralığı durumuna göre tespit edilmektedir (Bkz. Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. ESCS'de zeminlerin derecelenmeye göre tanımları (Kovačević ve diğerleri, 2018)

İri Daneli Zeminlerin Derecelenmesi	C_u	C_c
İyi derecelenmiş	> 15	1-3
Orta derecelenmiş	6-15	< 1
Kötü derecelenmiş	3-6	< 1
Düzensiz derecelenmiş	< 3	< 1
Aralıklı derecelenmiş	> 15	< 0,5

ESCS zemin sınıflandırma sisteminde tespit edilen bir diğer farklılık ise ince daneli zeminlerin plastisite aralıklarının 4 farklı şekilde bölünmesidir; bu plastisite şekilleri sistem içerisinde düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak yer almaktadır (Bkz. Şekil 4.37).



Şekil 4.37. ESCS zemin sınıflandırma esasına göre plastisite abağı (Kovačević ve diğerleri, 2018)

Sistemin kodlama ve geliştirme süreci:

ESCS zemin sınıflandırma sistemine ait yazılım çözümleme sayfası EK-18'de verilmiştir. ESCS zemin sınıflandırma sistemi çözümleme ara yüzünde kullanıcıdan aşağıda belirtilen veriler talep edilir:

- ✓ No.10 elekten geçen malzeme yüzdesi
- ✓ No.230 elekten geçen malzeme yüzdesi
- ✓ Eşşeklilik katsayısı, C_u
- ✓ Süreklilik katsayısı, C_c
- ✓ Likit limit
- ✓ Plastik limit

Burada ifade edilen veriler girildikten sonra hesapla komutuyla ESCS zemin sınıflandırma sistemi merkezli zemin çözümlenmesi gerçekleştirilerek, ilgili zemin örneğine ait kıvam limitleri değerleriyle yazılımda zemin plastisite abağı üzerinde işaretleme gerçekleştirilir.

4.6. Yazılım Genel Arayüzü, Depolama Durumu ve Dil Seçeneği

Bu tez kapsamında geliştirilen yazılıma ait bütün deney çözümlenme bölümleri, her bir deneye ait kullanıcıdan veri alma süreçleri, deneylerde kullanıcılara döndürülen çıktı türleri ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. Bu bölümde yazılım içerisinde yer alan diğer önemli özellikler maddeler halinde sıralanmıştır:

Geliştirilen bu yazılıma ait uzaktan erişimli depolama sunucusu üzerinde, zemin mekaniğine ait zemin endeks özelliklerini saptamada kullanılan 15 adet geoteknik deney veri alma çizelgesi bulunmaktadır. Bu tez kapsamındaki tüm zemin sınıflandırma sistemlerine ait biri ortak olmak üzere 6 adet veri alma çizelgesi daha bulunurken yazılımdaki zemin sınıflandırma sistemleri için diğer bölümler içerisinde verilerin taşınabilmesi amacıyla 3 adet de deney veri kaydetme çizelgesi bulunmaktadır. Model bağlama gibi amaçlarda dâhil olmak üzere Azure SQL veritabanı sunucusu üzerinde bir veritabanı altında 27 adet deney veri çizelgesi modeli oluşturulmuştur. Bütün veritabanı hizmet sunucusu erişim görünümüleri EK-21’de verilmiştir.

Geliştirilen bu yazılım Türkçe dil seçeneğinin yanında eş zamanlı olarak İngilizce dil seçeneğinde de kodlanmıştır. Bütün deneylere ait her bir yazılım deney adımında arayüzlerde yer alan düğmeler, veri alma çizelgeleri, seçim kutuları, metinler, grafikler ve dinamik öğelerin tamamı İngilizce dilinde de kodlanmıştır. Kullanıcılar, diledikleri takdirde gösterge panelinde yer alan “TR” veya “EN” düğmelerine tıklayarak diller arası geçişi esnek bir biçimde gerçekleştirebilmektedir. Bu sayede yazılımın, kullanıcılar üzerinde etki mahiyeti ile kullanımı esnasında getirdiği çeşitlilik önemli ölçüde artmıştır. Yazılımın İngilizce modunda çalıştırılır iken çeşitli deneylerden elde edilen görüntüler EK-22(a), EK-22(b) ve EK-22(c)’de sunulmuştur.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde kuramsal altyapısı ve hesaplama yöntemi ifade edilen tüm zemin endeks deneylerinin geoteknik web yazılımı içerisinde kodlanması sonucu her bir deney için kesinleşmiş deney sonuçlarıyla aynı verilere ait yazılımdan elde edilen dijital sonuçlar kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama sonucu her bir deney için bilimsel yazınlarda tariflenmiş deney sonuçlarıyla tutarlılıkları ve değerlendirme sonuçları paylaşılmıştır.

Bu sonuçlara göre geliştirilen yazılım ile bilimsel yazınlar içerisinde yer alan uygulanmış örnekler arasında bazılarında tam kesinlik, geri kalanında ise büyük bir tutarlılık olduğu belirlenmiştir. Bu yazılımda yürütülen bir bağımsız deney bölümünden elde edilecek sonuçların büyük oranda girilen verilerin uygunluğuna ve verilerin deneye ait sınır koşullarına uyumluluğuna bağlı olduğu unutulmamalıdır. Bir mesleki yazılımdan doğru neticeler elde edilebilmesinin etkenleri arasında sınır koşullarının ve veri girişinin doğruluğunun da yer aldığı unutulmamalıdır (Özmen, 2011).

Örneğin, yapılan bir araştırmada inşaat mühendisliği bölümünde eğitim gören bir öğrenci kümesi üzerinde çeşitlik yetkinliklerin sorgulaması yapılmıştır. Bu çalışmaya göre öğrencilerin mesleki yetkinlik anlamında betonarme yapılar, su yapıları, inşaat işletmesi, yapı malzemesi gibi dallarda kendilerini yeterli görürken zemin yapıları konusunda ortalama değerlere göre kararsız bir tutum gösterdikleri belirlenmiştir (Bayram, Çelik ve Oral, 2014).

Yazılım içerisinde yapılan zemin mekaniği endeks özellikleri belirleme deneyleri ile zemin sınıflandırma sistemi sonuçları, bilimsel yayınlarda yer alan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. EK-24(a), EK-24(b), EK-24(c) ve EK-24(d)'de yer alan deney sonuçları ile sınıf değerlendirme sonuçları mutlak fark değerleri de birlikte hesaplanarak çizelgeler halinde verilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında geoteknik mühendisliğinde zemin endeks özelliklerini belirlemeye yönelik geoteknik laboratuvar deneyleri ile bu deneylerle ilişik birtakım geoteknik saha deneylerinin çok farklı özellikte yazılım dilleri kullanılarak bilgisayar ortamında kodlanması sonucu internet tabanlı geoteknik bir web uygulaması hazırlanmıştır. Geoteknik mühendisliğinde hayli önemli bir yer tutan zeminlerin davranışlarının, yapılarının ve sınıflandırmalarının değerlendirilmesinde kullanılan zemin endeks özelliklerinin deneysel giriş, deney süreci ve deney sonucu kademeleri bu yazılım içerisinde derlenerek ortaya her türlü bilgisayar ve cihaz ortamıyla uyumlu çağdaş bir yazılım ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Yazılım içerisinde son kullanıcıya yönelik sunulan zemin endeks deneyleri; zeminlerin fiziksel durumlarını, kıvam limitlerini, dane dağılımlarını ve yerinde yoğunluk-sıkıştırma özelliklerini saptamak için kullanılan geoteknik deneyler arasından seçilmiştir. Bu çalışma içerisinde her bir geoteknik deneye ait kuramsal kavramlar irdelenerek her bir deneye ait açıklama, araç-gereç dizelgesi, gerçekleştirilme yöntemi, sayısal hesaplamalar ayrıntılı bir biçimde ifade edilmiştir.
- Her bir deneyin amacı, yöntemi ve sonucu yeter düzeyde vurgulandıktan sonra deneyin yazılım içerisinde kodlanması aşamasına geçilmiştir. Takip edilen bu sistematik sayesinde her bir deneyin geoteknik mühendisliği içerisinde kullanım amacı detaylandırılarak, bu deneylerin sanal ortamda çözümlenmesinin geoteknik mühendisliği kapsamında ne şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.
- Sanal geoteknik uygulamasında yer alan tüm deneyler için her bir deneye ait birtakım öncül verileri alan, bu verilere ait kapsam şartlarını belirleyen ve bu verileri işleyerek kullanıcıya çıktı sonuçları döndüren ortak bir deney akış yolu belirlenmiştir. Tüm deneyler için ortaya koyulan deney akış yoluna göre düzenlenen matematiksel yordamların sonuç çıktıkları, çeşitli araştırmacılar tarafından daha önceden gerçekleştirilmiş birtakım deneyleri kapsayan bilimsel yazınlar içerisindeki kesinleşmiş sonuçlarla kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamanın neticesinde tüm geoteknik deney sonuçlarında genel olarak bir tutarlılık gözlemlenmiştir; özellikle görelî

değerlendirmeler gereken bazı geoteknik deneylerde (örneğin özel dane çapı katsayıları, kıvam akma doğruları, kompaksiyon eğrisi) ortaya kabul görmüş matematiksel çözümler koyularak görelî hesaplarda yaşanan farklılıklar, sayısal bir altyapıya dayandırılarak sınırlandırılmıştır. Buna ek olarak, görelî hesaplar ve yaklaşık değerler gereken deney sonuçlarında; son kullanıcının etkileşimine bağılı olarak yazılım tarafından çeşitli matematiksel yaklaşımlara göre hesaplanmış neticeler uygulama içerisinde kullanıcılara sunulmuştur.

- Geliştirilen geoteknik web yazılımının bir hizmet sunucusu üzerinde yer alan uzaktan erişimli bir veritabanıyla ilişkilendirilmesi, tüm deneylerde girilen veriler ile elde edilen sonuçların depolanmasına olanak tanımaktadır. Bu sayede yazılımın kullanım yoğunluğunun artması durumunda gerçek cihazlar üzerinde herhangi bir disk depolama alanı gerektirmeden ve olası bir sorunda deneylere ait tüm girdi-çıkı verilerini yitirmeden mühendislik açısından kalıcı bir çözüm getirilmiştir.
- Yazılım geliştirme dünyasındaki ilerlemeler göz önüne alındığında, bazı teknik çalışmalarda veri setlerine ihtiyacın hayli yüksek oranda arttığı bilinmektedir. Geoteknik web yazılımında girdi-çıkı verileri bir veritabanı üzerinde bir yazılım diliyle işlenmesi sayesinde artan deney yoğunluğuna göre farklı mühendislik amaçları için (örneğin makine öğrenmesi) bir veri seti üretme imkânı mevcuttur.
- Bu bilimsel araştırma kapsamında geliştirilen internet tabanlı web uygulamasının, her tür cihaz ve aygıt üzerinden internet vasıtasıyla erişilebilir olması sayesinde; çok farklı konumlardan kullanıma başlanması durumunda, sadece zemin endeks özelliklerine ait deneysel veri havuzu değil aynı zamanda kullanıcı konumlarına bağılı olarak bölgesel de bir veri havuzu oluşturulabileceği görülmüştür. Geliştirilen bu yazılıma tanımlanan kullanıcı hesaplarının, deney veri havuzuna sadece deneysel bulguları değil aynı esnada konum bilgilerini de girmesiyle her bir deney ögesi için bölgesel değerlendirme haritalarının oluşturulabileceği saptanmıştır.
- Geliştirilen bu yazılımın kod mimari yapısında ve dinamik görüntüleme aşamasında (veritabanı ilişkilendirilmesi hariç) ilavesi gereken tüm bağımsız bileşenler, destekleyici paketler ve ek kod sınıfları açık kaynaklı geliştirilen ortamlardan

derlenmiştir. Böylelikle yazılımın paylaşım, dağıtım ve erişim aşamalarında herhangi bir lisans sorunundan kaçınılması sağlanmıştır.

- Bu çalışmadaki temel kazanımlardan birinin geoteknik mühendisliğinde yazılım geliştirme olmasından dolayı, bir yazılım geliştirme süreci için geçerli olan sürdürülebilirlik ve çoğaltılabilirlik gibi devamlılığı irdeleyen hususlar burada geliştirilen yazılım için de değerlendirilmiştir. Yazılım kaynak kodlarının ASP.NET Core yazılım çerçevesi altında üretilmiş olması ilerleyen zamanlarda yazılımın herhangi bir sunucuda çalıştırılması düşünüldüğünde sunucu hizmetleri açısından .NET teknolojilerinin aksine sadece Windows sunucularında değil aynı zamanda çok daha uygun maliyetli ve çok daha geniş seçenekli Linux sunucularında da çalıştırılabileceğini göstermektedir. Ayrıca ASP.NET Core bünyesindeki Kestrel yapısı, kişisel kullanımlar için IIS üzerinden paylaşımına da uygun düşmektedir.
- Yazılım arka-yüzü içerisinde çok yönlü ve işlevsel bir dil olan C# yazılım dilinin kullanılması ilerleyen zamanlarda bu yazılımın istenirse hedef dijital ortamının daraltılarak ilgili dijital ortama yönelik özel tasarımlarla dönüştürülebileceği görülmektedir. Örnek olarak, aynı C# temelli kaynak sınıfları ve veri döndürme yöntemleri kullanılarak herhangi bir internet bağlantısı gerektirmeden genişletilmiş bir şekilde masaüstü bilgisayar yazılımına çevrilebilir. Bir başka örnek olarak aynı C# temelli kaynak sınıfları ve veri döndürme yöntemleri kullanılarak Xamarin çapraz platform mobil uygulama geliştirme çerçevesi içerisinde akıllı telefonlara yönelik özel sunuş ve boyutlara sahip bir mobil yazılıma çevrilebilir.
- Bu gibi .NET esaslı platformlar arası dönüşümlerin kolaylıkla gerçekleşmesini sağlayacak en önemli gerekçe geliştirilen geoteknik web yazılımının arka-yüzü içerisinde yürütülen tüm işlemlerin ve sorgulamaların gerçekleştirildiği dil ile WPF gibi masaüstü uygulama geliştirme çerçevesi ile Xamarin gibi mobil uygulama geliştirme çerçevesi içerisinde yararlanılan dilin aynı olmasından kaynaklanmaktadır. Yazılımın bu şekilde platformlara özelleşmiş olarak ayrı ayrı geliştirilmesinde kaynak kod yapıları tamamen aynı olacak, değişen tek farklılık tüm görüntü ve grafik kurgularının mevcut yazılımda olduğu gibi HTML dili yerine WPF ve Xamarin gibi yazılım çerçevelerinde XAML dilinin kullanılacak olmasıdır.

KAYNAKLAR

- AASHTO M 145-91 (2008). Standard Specification for Classification of Soils and Soil Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes, American Association of State and Highway Transportation Officials.
- Alkaya, D. & Yeşil, B. (2010). Geoteknik Rapor Hazırlanmasında Spreadsheet (Ms Excel) Programı Kullanılarak Standart Çözüm Oluşturulması, Akademik Bilişim'10 - XII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri 10 - 12 Şubat 2010 Muğla Üniversitesi.
- Asherlou, S. (2015), Karayolu Uygulama Projelerinin Bilgisayar Destekli (Arayüz Yazılımıyla) Mobil Olarak Tam Denetimi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Aralık 2015.
- ASTM D1556/D1556M-15e1, Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method, West Conshohocken, PA; ASTM International, 2015, www.astm.org.
- ASTM D2216-10, Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, www.astm.org.
- ASTM D2487-17, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.
- ASTM D422-63 (2007), Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007, www.astm.org.
- ASTM D427-04, Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method (Withdrawn 2008), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004, www.astm.org.
- ASTM D4318-17e1, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.
- ASTM D698-12e2, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org.
- ASTM D854-14, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org.
- ASTM E100-15a, Standard Specification for ASTM Hydrometers, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org.

- ASTM E11-09, Standard Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009, www.astm.org.
- Atterberg, A. (1911). On the investigation of the physical properties of soils and on the plasticity of clays. *Internationale Mitteilungen für Bodenkunde*, 1, 10-43.
- Baylot, A. B., M. T. Stevens, J. A. Patterson, G. M. Bandon, and J. G. Green. (2013). Arc-of-Instability and Combatant Command Terrain Geostatistics and Ground Vehicle Mobility Predictions. ERDC/GSL TR-13-3. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center.
- Bayram, S., Çelik, G. T., & Oral, E. L. (2015). Mühendislik öğrencilerinin öğrenim yeterlilikleri ve mesleki yetkinlikleri: inşaat mühendisliği öğrenci perspektifi (Educational qualification and vocational competence of engineering students: civil engineering student perspective). *Turkish Journal of Education*, 4(1), 04-18.
- Bol, E., Özocak, A., Sert, S., TS1500/2000 İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, "04-Zeminlerin-Sınıflandırılması" Ders Notları, 07.10.2015.
- BS 1377-2:1990, Methods of test for soils for civil engineering purposes. Classification tests, British Standards, 31 August 1990.
- Budhu, M. (2011). *Soil mechanics and foundations*. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons, Inc.
- Budhu, M. (2015), "Soil Mechanics Fundamentals", 3rd Edition, Metric Version, John Wiley & Sons Inc.
- Burmister, D. M. (1949). Principles and techniques of soil identification. In *Proceedings of Annual Highway Research Board Meeting*. National Research Council. Washington, DC (Vol. 29, pp. 402-434).
- Carter, M., & Bentley, S. P. (2016). *Soil properties and their correlations*. John Wiley & Sons.
- Casagrande, A. (1932). Research on the Atterberg limits of soils. *Public roads*, 13(8), 121-136.
- Chiaretta, S. (2018). *Front-end development with Asp.Net Core, Angular, and Bootstrap*. Indianapolis, IN: John Wiley & Sons, Inc.
- Clayton, C. R. I., & Jukes, A. W. (1978). A one point cone penetrometer liquid limit test?. *Geotechnique*, 28(4), 469-472.
- Çokça, E. (2004), "Geoteknik Mühendisliği Lisans Eğitimi Üzerine Bazı Düşünceler", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası", 49, 24-26.
- ÇŞB, (2019). *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı*, Ankara.

- Das, B. M. & Sobhan, K. (2017), "Principles of Geotechnical Engineering", 9th Edition, Cengage Learning.
- Dingil, M., Örnek, M. & Türedi, Y. (2019). Laboratuvar Deneyleri İçin Yazılım Önerisi: Kıvam Limitleri ve Elek Analizi Örnekleri, Tam Metin Bildirisi, 8. Uluslararası Geoteknik Sempozyumu, 13 - 15 Kasım 2019.
- DSİ, (2016). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Farklı Yöntemlerle Elde Edilen Yerde Sıklık Değerlerinin Karşılaştırmalı Analizi, Ar-Ge Proje No: 2012/2, Kasım 2016. Ankara.
- Dubey, S. K. (2016). A Research including e-learning platform based on Java Technology in Civil Engineering. International Research Journal Of Engineering and Technology, Vol. 03 Issue 07, July 2016.
- Dutta, R. K., Dutta, K., Kumar, R., & Chaudhary, S. (2019). Development of Mobile App for the Soil Classification. i-manager's Journal on Mobile Applications and Technologies, 6(1), 34.
- El-Garhy, Basuony & Ragab, Tarek & Asal, Fahmy. (2013). A Computer Aided Learning Package for Teaching Geotechnical Engineering. Electronic Journal of Geotechnical Engineering. Vol. 18 [2013],. 1437-1448.
- Emmanuel, A., & Chukwuma, O. (2015). A Matlab program for Soil Classification Using AASHTO Classification. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 12(2), 58-62.
- EN ISO 14688-2:2018: Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 2: Principles for a classification. Comité Européen de Normalisation.Brussels, 2018.
- Frankenstein, S. (2014). Fast All Season Soil Strength (FASST) Model Fact Sheet. U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center. Hanover, NH.
- Garcia-Gaines, R. A., & Frankenstein, S. (2015). USCS and the USDA soil classification system: development of a mapping scheme. Engineer Research and Development Center Hanover NH cold Regions Research and Engineering Lab, ERCD. US Army Corps of Engineers.
- Göçer, S. (2019). Bina Yüzme Riskini Ön Tasarım Aşamasında Belirleyen Program Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Ocak 2019.
- Gumus, O., & Ragupathi, M. T. (2018). ASP. NET Core 2 Fundamentals: Build cross-platform apps and dynamic web services with this server-side web application framework. Packt Publishing Ltd.

- Gürkan, A. (2019), İnşaat 4.0 Kavramı ve Türk İnşaat Firmalarının Yeni Teknolojik Gelişmelere Yaklaşımı Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Haziran 2019.
- Head, K. H. (2006). Manual of soil laboratory testing, soil classification and compaction tests: Volume 1, New York.
- Isik, H., & Cabalar, A. F. (2018). Sieve analysis and standard penetration test correlations using Microsoft Excel VBA and an iPhone app. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(6), 2092-2101.
- Jaksa, M. B., & Kuo, Y. L. (2009). Java applets in geotechnical engineering. In 20th Annual Conference for the Australasian Association for Engineering Education, 6-9 December 2009: Engineering the Curriculum (p. 249). Engineers Australia.
- Kaklamanos, J. (2016). geotech: Development of Geotechnical Engineering Software Package in R, USUCGER Board of Directors, February 2016.
- Kalinski, M. E. (2011). Soil mechanics: lab manual (No. Ed. 2). John Wiley & Sons.
- Kaya, O. M., Aytakin, O., & Özdemir, H. K. İ. (2012). İnşaat Yönetimi Alanında Yapı Maliyeti Hesapları İçin Sunucu Tabanlı Uygulamalar Özet. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 7(1), 1A0299.
- Keleş, A, E, Kaya Keleş, M, (2018). “İnşaat Sektöründe Kullanımı Artan Bilgisayar Yazılımları ve Bilgi Teknolojilerinin İrdelenmesi” *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* 2018, 5(2); 610-617.
- Kovačević, M. S., & Jurić-Kačunić, D. (2014). European soil classification system for engineering purposes. *Građevinar*, 66(09.), 801-810.
- Kovacevic, M. S., Juric-Kacunic, D., & Libric, L. (2016). Comparison of Unified and European Soil Classification Systems. In Fifth International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterisation, , January 2016.
- Kovačević, M. S., Jurić-Kačunić, D., Librić, L., & Ivoš, G. (2018). Engineering soil classification according to EN ISO 14688-2: 2018. *Gradevinar*, 70(10), 873-879.
- Liu, C., & Evett, J. B. (1991). *Soils and Foundations* . 3rd Ed. New Jersey, Pearson/Prentice Hall.
- Liu, C., & Evett, J. B. (2009). *Soil properties: Testing, measurement, and evaluation*. Upper Saddle River, N.J: Pearson/Prentice Hall.
- Liu, T. K. (1967). A review of engineering soil classification systems. *Highway Research Record* 156:1–22. Washington, DC: National Academy of Sciences.
- Lock, A. (2018). *Asp.Net Core in Action*. Shelter Island, NY: Manning Publications.

- Microsoft (2019), “Technical documentation, API, and code examples”. [online] Erişim Adresi: <https://docs.microsoft.com/en-us/> [Erişim Tarihi: 1 Aralık 2019].
- Murthy, V. N. S. (2002). Geotechnical engineering: principles and practices of soil mechanics and foundation engineering. CRC press.
- Orhan, M., Özer, M., Işık, S. N. (2004), “Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri Cilt I (İndeks ve Sınıflama Deneyleri)”, Gazi Kitabevi.
- Önal, Okan. (2007). Development Of A Soil Classification Program For Smart Mobile Devices Using Microsoft Visual Basic Okan ÖNAL. Journal of engineering sciences. 14. 49-54.
- Önalp, A. (2004). Zeminlerin Sınıflandırılması ve TS 1500/2000’in Tanıtımı, TMH – Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 430 - 2004/2.
- Özmen, G. (2011). İnşaat Mühendisliği Eğitiminde Bilgisayar. 2. İnşaat Mühendisliği Eğitimi.
- Proctor, R. R., (1933). Fundamental Principles of Soil Compaction. Engineering News-Record, Vol. 111, No. 9, 10, 12 and 13.
- Reynders, F. (2018). Modern API Design with ASP.NET Core 2: Building Cross-Platform Back-End Systems. Apress. doi: 10.1007/978-1-4842-3519-5.
- Shakya, Sanjina (2018), "Cross Platform Web Application Development Using ASP.NET Core", 2018. Culminating Projects in Computer Science and Information Technology. 23.
- Shinde. A. J. & Salunkhe. M.D. & Navale N. V. (2018). Computer Application In Civil Engineering Software In Civil Engineering, International Journal of Advance Engineering and Research Development Technophilia-2018. Volume 5, Special Issue 04, Feb.-2018
- USDA Soil Science Division Staff. (2017). Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Sousa, Decíola & Rodrigues, Sueli & Lima, Herdjanía & Chagas, Lorena. (2019). R software packages as a tool for evaluating soil physical and hydraulic properties Computers and Electronics in Agriculture. 105077. 10.1016/j.compag.2019.105077.
- Tiwari, B. and Ajmera, B. (2018). “Soil Laboratory Tests,” Encyclopedia of Engineering Geology, 1-20, DOI: 10.1007/978-3-319-12127-7_304-1.
- TS 1225 ISO 565 (2001), Deney elekleri - Metal tel örgülü elekler, delikli metal plâkalar, elektrokimyasal şekillendirilmiş levhalar - Göz ve delik açıklıklarının anma büyüklükleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2001.

- TS 1500 (2000), İnşaat mühendisliğinde zeminlerin- Sınıflandırılması, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- TS 1900-1 (2006), İnşaat mühendisliğinde zemin lâboratuvar deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.
- Uzundurukan S. ve Göksan T. S., (2013), “Geoteknik Mühendisliği ve Eğitimi”, Türkiye Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası", 476, 36-42.
- Uzuner, B. A. (2016), “Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği”, Derya Kitabevi.
- Wisconsin Department of Transportation (2017), Geotechnical Manual, March 2017.
- Xing, Y., Deng, X., & Qu, M. (2017). The Design and Development of an ASP .NET Platform Based Integration Management System of Construction Engineering Projects. REVISTA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA, 32(1), 22-31.
- Yılmaz, I. & Yıldırım, M. & Keskin, İ. (2009), “Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri ve Problemler”, Teknik Yayınevi.
- Yılmaz, I. & Yıldırım, M. & Keskin, İ. (2016), “Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri ve Çözümlü Problemler”, Seçkin Yayıncılık.
- Yılmaz, O., & Şahin, A. (2013). Educational Software Development For Desing Of Steel Structures Lesson. Journal of Engineering and Natural Sciences Sigma, 31, 571-581.
- Yin-Fu, J. I. N., & Zhen-Yu, Y. I. N. (2018). ErosLab: a modelling tool for soil tests. Advances in Engineering Software, 121, 84-97.
- Yücel, C. M. (2017), On-Line Web-Based Structural Evaluation Program Development For Existing Reinforced Concrete Buildings Against Earthquakes, Ph.D, Middle East Technical University, January 2017.
- Zakikhani, M., Gidley, P. T., & Tingle, J. S. (2017). Development of an Engineering Soil Database (No. ERDC-TR-17-15). ERDC Vicksburg United States.



EKLER

EK-1. Birim hacim ağırlık deneyi yazılım arayüzleri

Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sayısı:

Birim Hacim Ağırlık - Örnek Çizelge					
Deney No	Numune Ağırlığı (gr)	Ölçekli Silindirden Okunan İlk Hacim (cm ³)	Ölçekli Silindirden Okunan Son Hacim (cm ³)	Parafinle Kaplı Numune Ağırlığı (gr)	Parafin Yoğunluğu (g/cm ³)
1	12	38	48	14.7	0.82
2	11.8	35	44	13.65	0.83

Şekil 1.1. Birim hacim ağırlık deneyi yazılım başlangıç arayüzü

Birim Hacim Ağırlık Deneyi Çizelgesi					
Deney No	Numune Ağırlığı (gr)	Ölçekli Silindirden Okunan İlk Hacim (cm ³)	Ölçekli Silindirden Okunan Son Hacim (cm ³)	Parafinle Kaplı Numune Ağırlığı (gr)	Parafin Yoğunluğu (g/cm ³)
1	<input type="text" value="12"/>	<input type="text" value="38"/>	<input type="text" value="48"/>	<input type="text" value="14.7"/>	<input type="text" value="0.82"/>
2	<input type="text" value="11.8"/>	<input type="text" value="35"/>	<input type="text" value="44"/>	<input type="text" value="13.65"/>	<input type="text" value="0.83"/>

Açıklama:

Şekil 1.2. Birim hacim ağırlık deneyi yazılım veri alma arayüzü

Birim Hacim Ağırlık Deneyi Çizelgesi						
Deney No	Numune Ağırlığı (gr)	Ölçekli Silindirden Okunan İlk Hacim (cm ³)	Ölçekli Silindirden Okunan Son Hacim (cm ³)	Parafinle Kaplı Numune Ağırlığı (gr)	Parafin Yoğunluğu (g/cm ³)	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)
1	12	38	48	14.7	0.82	1.79
2	11.8	35	44	13.65	0.83	1.74
Ortalama	11.90	36.50	46.00	14.18	0.83	1.77

Açıklama: -

Şekil 1.3. Birim hacim ağırlık deneyi yazılım sonuç arayüzü

EK-2. Su içeriği deneyi yazılım arayüzleri

Su İçeriği Deney Sayısı:

Su İçeriği Deneyi - Örnek Çizelge				
Deney No	Kap No	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Zemin ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Zemin ve Kap Ağırlığı (gr)
1	87	11.93	26.93	27.73
2	188	12.26	25.01	28.36
3	25	14.44	25.73	27.77
4	0	12.42	25.78	27.85
5	55	12.67	26.16	28.8

Şekil 2.1. Su içeriği deneyi yazılım başlangıç arayüzü

Su İçeriği Deneyi Çizelgesi				
Deney No	Kap No	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Zemin ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Zemin ve Kap Ağırlığı (gr)
1	<input type="text" value="90"/>	<input type="text" value="11.42"/>	<input type="text" value="25.47"/>	<input type="text" value="29.38"/>
2	<input type="text" value="24"/>	<input type="text" value="14.67"/>	<input type="text" value="25.59"/>	<input type="text" value="29.05"/>
3	<input type="text" value="34"/>	<input type="text" value="10.37"/>	<input type="text" value="25.08"/>	<input type="text" value="28"/>
4	<input type="text" value="28"/>	<input type="text" value="10.37"/>	<input type="text" value="25.76"/>	<input type="text" value="29.15"/>
5	<input type="text" value="130"/>	<input type="text" value="13.84"/>	<input type="text" value="26.14"/>	<input type="text" value="29.19"/>

Açıklama:

Şekil 2.2. Su içeriği deneyi yazılım veri alma arayüzü

Su İçeriği Deneyi Çizelgesi							
Deney No	Kap No	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Zemin ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Zemin ve Kap Ağırlığı (gr)	Su Ağırlığı (gr)	Kuru Zemin Ağırlığı (gr)	Su İçeriği, ω (%)
1	90	11.42	25.47	29.38	3.91	14.05	27.83
2	24	14.67	25.59	29.05	3.46	10.92	31.68
3	34	10.37	25.08	28	2.92	14.71	19.85
4	28	10.37	25.76	29.15	3.39	15.39	22.03
5	130	13.84	26.14	29.19	3.05	12.3	24.8
Ortalama	-	12.13	25.61	28.95	3.35	13.47	25.24

Açıklama: -

Şekil 2.3. Su içeriği deneyi yazılım sonuç arayüzü

EK-3. Özgül ağırlık deneyi yazılım arayüzleri

Özgül Ağırlık Deney Sayısı:

Özgül Ağırlık Deneyi - Örnek Çizelge			
Şişe Numarası	Şişe Ağırlığı (gr)	Şişe+Su Ağırlığı (gr)	Su Sıcaklığı (C°)
96	48.3	146.32	27
Deney No	Örnek Ağırlığı (etüv kuru) (gr)	Şişe+Örnek+Su Ağırlığı (gr)	Örnek+Su Karışımın Sıcaklığı (C°)
1	47	45	48
2	1	36	1
3	62	33	6
4	55	44	45
5	46	43	30

Şekil 3.1. Özgül ağırlık deneyi yazılım başlangıç arayüzü

Özgül Ağırlık Deney Çizelgesi			
Şişe Numarası	Şişe Ağırlığı (gr)	Şişe+Su Ağırlığı (gr)	Su Sıcaklığı (C°)
<input type="text" value="96"/>	<input type="text" value="48.3"/>	<input type="text" value="146.32"/>	<input type="text" value="27"/>
Deney No	Örnek Ağırlığı (etüv kuru) (gr)	Şişe+Örnek+Su Ağırlığı (gr)	Örnek+Su Karışımın Sıcaklığı (C°)
1	<input type="text" value="21.71"/>	<input type="text" value="160.14"/>	<input type="text" value="23.5"/>
2	<input type="text" value="19.72"/>	<input type="text" value="158.85"/>	<input type="text" value="23"/>
3	<input type="text" value="20.15"/>	<input type="text" value="159.16"/>	<input type="text" value="22"/>

Açıklama:

Şekil 3.2. Özgül ağırlık deneyi yazılım veri alma arayüzü

Özgül Ağırlık Deney Çizelgesi							
Şişe Numarası	Şişe Ağırlığı (gr)		Şişe+Su Ağırlığı (gr)		Su Sıcaklığı (C°)		
96	48.3		146.32		27		
Deney No	Örnek Ağırlığı (etüv kuru) (gr)	Şişe+Örnek+Su Ağırlığı (gr)	Örnek+Su Karışımın Sıcaklığı (C°)	Şişe+Su Ağırlığı (Tx C°De) (gr)	Sıcaklık Düzeltme Katsayısı, K	Özgül Ağırlık, Gs	Nihai Özgül Ağırlık, Gs
0	21.71	160.14	23.5	146.41	0.99922	2.719	2.711
0	19.72	158.85	23	146.42	0.99934	2.703	
0	20.15	159.16	22	146.44	0.99957	2.71	

Açıklama:

Şekil 3.3. Özgül ağırlık deneyi yazılım sonuç arayüzü

EK-4(a). Casagrande likit limit deneyi yazılım arayüzleri

Casagrande Likit Limit Deney Sayısı:

Casagrande Likit Limit Deneyi - Örnek Çizelge				
Deney No	Vuruş Sayısı	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)
1	8	23.23	25.48	26.69
2	28	23.24	25.2	26.07
3	48	22.73	24.55	25.35

Şekil 4a.1. Casagrande likit limit deneyi yazılım başlangıç arayüzü

Casagrande Likit Limit Deney Çizelgesi				
Deney No	Vuruş Sayısı	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)
1	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="23.23"/>	<input type="text" value="25.48"/>	<input type="text" value="26.69"/>
2	<input type="text" value="28"/>	<input type="text" value="23.24"/>	<input type="text" value="25.2"/>	<input type="text" value="26.07"/>
3	<input type="text" value="48"/>	<input type="text" value="22.73"/>	<input type="text" value="24.55"/>	<input type="text" value="25.35"/>

Açıklama:

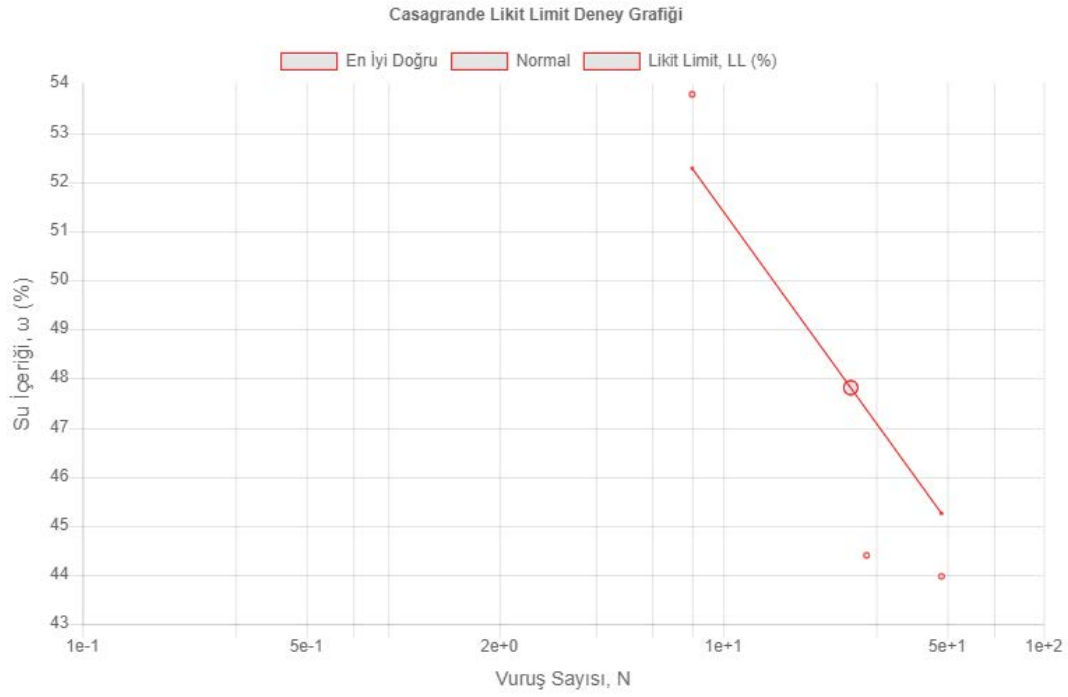
Şekil 4a.2. Casagrande likit limit deneyi yazılım veri alma arayüzü

Casagrande Likit Limit Deney Çizelgesi					
Deney No	Vuruş Sayısı	Deney Kap Ağırlığı(gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Su İçeriği (%)
1	8	23.23	25.48	26.69	53.78
2	28	23.24	25.2	26.07	44.39
3	48	22.73	24.55	25.35	43.96
Ortalama	-	23.07	25.08	26.04	47.38

Açıklama:

Şekil 4a.3. Casagrande likit limit deneyi yazılım sonuç arayüzü

EK-4(b). Casagrande likit limit deneyi yazılım arayüzleri (devam)



Şekil 4b.1. Casagrande likit limit deneyine ait vuruş sayısı-su içeriği yazılım grafiği

EK-5. Tek noktalı Casagrande likit limit deneyi yazılım arayüzleri

Tek Nokta Casagrande Likit Limit Deney Sayısı:

Tek Nokta Casagrande Likit Limit Deneyi - Örnek Çizelge				
Likit Limit Deney No	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Vuruş Sayısı
1	21.2	37.8	44.7	22
2	23.3	47.6	57.5	23

Şekil 5.1. Tek noktalı Casagrande likit limit deneyi yazılım başlangıç arayüzü

Tek Nokta Casagrande Likit Limit Deney Çizelgesi				
Likit Limit Deney No	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Vuruş Sayısı
1	<input type="text" value="21.2"/>	<input type="text" value="37.8"/>	<input type="text" value="44.7"/>	<input type="text" value="22"/>
2	<input type="text" value="23.3"/>	<input type="text" value="47.6"/>	<input type="text" value="57.5"/>	<input type="text" value="23"/>

Açıklama:

Şekil 5.2. Tek noktalı Casagrande likit limit deneyi yazılım veri alma arayüzü

Tek Nokta Casagrande Likit Limit Deney Çizelgesi							
Likit Limit Deney No	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Su İçeriği (%)	Vuruş Sayısı	k Katsayısı	Likit Limit
1	21.2	37.8	44.7	41.57	22	0.985	40.95
2	23.3	47.6	57.5	40.74	23	0.99	40.33
Ortalama	22.25	42.70	51.10	41.16	-	0.988	40.64

Açıklama:

Şekil 5.3. Tek noktalı Casagrande likit limit deneyi yazılım sonuç arayüzü

EK-6(a). Koni batma likit limit deneyi yazılım arayüzleri

Koni Batma Likit Limit Deney Sayısı:

Koni Batma Likit Limit Deneyi - Örnek Çizelge				
Likit Limit Deney No	Batma Miktarı (mm)	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)
1	15.2	17.2	25.3	29.8
2	17.9	18.5	24.1	27.6
3	23.6	15.7	20.2	23.5
4	27.2	16.6	27.4	36.2

Şekil 6a.1 Koni batma likit limit deneyi yazılım başlangıç arayüzü

Koni Batma Likit Limit Deney Çizelgesi				
Likit Limit Deney No	Batma Miktarı (mm)	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)
1	<input style="width: 80px;" type="text" value="15.2"/>	<input style="width: 80px;" type="text" value="17.2"/>	<input style="width: 80px;" type="text" value="25.3"/>	<input style="width: 80px;" type="text" value="29.8"/>
2	<input style="width: 80px;" type="text" value="17.9"/>	<input style="width: 80px;" type="text" value="18.5"/>	<input style="width: 80px;" type="text" value="24.1"/>	<input style="width: 80px;" type="text" value="27.6"/>
3	<input style="width: 80px;" type="text" value="23.6"/>	<input style="width: 80px;" type="text" value="15.7"/>	<input style="width: 80px;" type="text" value="20.2"/>	<input style="width: 80px;" type="text" value="23.5"/>
4	<input style="width: 80px;" type="text" value="27.2"/>	<input style="width: 80px;" type="text" value="16.6"/>	<input style="width: 80px;" type="text" value="27.4"/>	<input style="width: 80px;" type="text" value="36.2"/>

Açıklama:

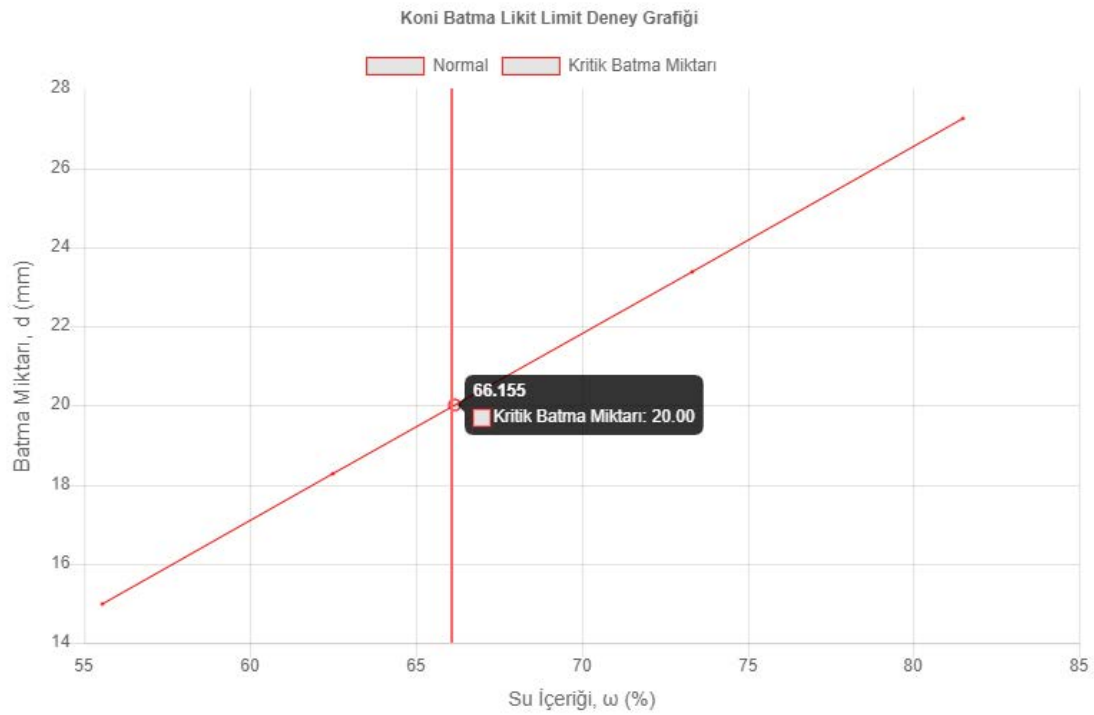
Şekil 6a.2. Koni batma likit limit deneyi yazılım veri alma arayüzü

EK-6(b). Koni batma likit limit deneyi yazılım arayüzleri (devam)

Koni Batma Likit Limit Deney Çizelgesi					
Likit Limit Deney No	Batma Miktarı (mm)	Deney Kap Ağırlığı(gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Su İçeriği (%)
1	15.2	17.2	25.3	29.8	55.56
2	17.9	18.5	24.1	27.6	62.5
3	23.6	15.7	20.2	23.5	73.33
4	27.2	16.6	27.4	36.2	81.48
Ortalama	-	17.00	24.25	29.28	68.22

Açıklama:

Şekil 6b.1. Koni batma likit limit deneyi yazılım sonuç arayüzü



Şekil 6b.2. Koni batma likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı yazılım deney grafiği

EK-7. Tek noktalı koni batma likit limit deneyi yazılım arayüzleri

Tek Nokta Koni Batma Likit Limit Deney Sayısı:

[Deney Çizelgesini Oluştur](#)

Tek Nokta Koni Batma Likit Limit Deneyi - Örnek Çizelge				
Likit Limit Deney No	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Batma Miktarı (mm)
1	22.5	41.2	48.7	18

Şekil 7.1. Tek noktalı koni batma likit limit deneyi yazılım başlangıç arayüzü

Tek Nokta Koni Batma Likit Limit Deney Çizelgesi				
Likit Limit Deney No	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Batma Miktarı (mm)
1	<input type="text" value="22.5"/>	<input type="text" value="41.2"/>	<input type="text" value="48.7"/>	<input type="text" value="18"/>

Açıklama:

[Hesapla](#)

Şekil 7.2. Tek noktalı koni batma likit limit deneyi yazılım veri alma arayüzü

Tek Nokta Koni Batma Likit Limit Deney Çizelgesi							
Likit Limit Deney No	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Su İçeriği (%)	Batma Miktarı (mm)	k Katsayısı	Likit Limit
1	22.5	41.2	48.7	40.11	18	1.039	41.67
Ortalama	22.50	41.20	48.70	40.11	-	1.039	41.67

Açıklama:

Şekil 7.3. Tek noktalı koni batma likit limit deneyi yazılım sonuç arayüzü

EK-8. Plastik limit deneyi yazılım arayüzleri

Plastik Limit Deney Sayısı:

Plastik Limit Deneyi - Örnek Çizelge			
Plastik Limit Deney No	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)
1	41.39	47.87	49.71
2	28.8	34.25	35.62

Şekil 8.1. Plastik limit deneyi yazılım başlangıç arayüzü

Plastik Limit Deney Çizelgesi			
Plastik Limit Deney No	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)
1	<input type="text" value="41.39"/>	<input type="text" value="47.87"/>	<input type="text" value="49.71"/>
2	<input type="text" value="28.8"/>	<input type="text" value="34.25"/>	<input type="text" value="35.62"/>

Açıklama:

Şekil 8.2. Plastik limit deneyi yazılım veri alma arayüzü

Plastik Limit Deney Çizelgesi				
Plastik Limit Deney No	Deney Kap Ağırlığı (gr)	Kuru Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Yaş Numune ve Kap Ağırlığı (gr)	Su İçeriği (%)
1	41.39	47.87	49.71	28.4
2	28.8	34.25	35.62	25.14
Ortalama	35.10	41.06	42.67	26.77

Açıklama:

Şekil 8.3. Plastik limit deneyi yazılım sonuç arayüzü

EK-9. Büzülme limiti (cıva yöntemi) deneyi yazılım arayüzleri

Büzülme Limiti (Cıva Taşıma) Deney Sayısı

Büzülme Limiti (Cıva Taşıma) Deneyi - Örnek Çizelge					
Deney No	Büzülme Kabının Ağırlığı (gr)	Büzülme Kabı ve Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	Büzülme Kabı ve Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	Yaş (başlangıç) Örnek Hacmi (cm ³)	Kuru (etüv) Örnek Hacmi (cm ³)
1	12.7	35.8	26.3	14.8	7.2

Şekil 9.1. Büzülme limiti (cıva yöntemi deneyi) yazılım başlangıç arayüzü

Büzülme Limiti (Cıva Taşıma) Deney Çizelgesi					
Deney No	Büzülme Kabının Ağırlığı (gr)	Büzülme Kabı ve Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	Büzülme Kabı ve Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	Yaş (başlangıç) Örnek Hacmi (cm ³)	Kuru (etüv) Örnek Hacmi (cm ³)
1	<input type="text" value="12.7"/>	<input type="text" value="35.8"/>	<input type="text" value="26.3"/>	<input type="text" value="14.8"/>	<input type="text" value="7.2"/>

Açıklama:

Şekil 9.1. Büzülme limiti (cıva yöntemi deneyi) yazılım veri alma arayüzü

Büzülme Limiti (Cıva Taşıma) Deney Çizelgesi											
Deney No	Büzülme Kabının Ağırlığı (gr)	Büzülme Kabı ve Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	Büzülme Kabı ve Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	Yaş (başlangıç) Örnek Hacmi (cm ³)	Kuru (etüv) Örnek Hacmi (cm ³)	Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	Taşın Cıvanın Ağırlığı (gr)	Başlangıç Su İçeriği (%)	Büzülme Oranı	Büzülme Limiti
0	12.7	35.8	26.3	14.8	7.2	23.1	13.6	97.56	69.85	1.889	13.968

Açıklama: Açıklama

Şekil 9.1. Büzülme limiti (cıva yöntemi deneyi) yazılım sonuç arayüzü

EK-10(a). Büzülme limiti (cihaz yöntemi) deneyi yazılım arayüzleri

Büzülme Limiti (TRRL) Deney Sayısı:

Büzülme Limiti (TRRL) Deneyi - Örnek Çizelge			
Kademe Okumaları			
Deney No	Sıfır Okuması, Mo	Hacim Okuması, M	Yaş Numune Ağırlığı, m (gr)
1	2.31	19.55	144.5
2	1.07	17.84	141.97
3	5.1	20.84	137.12
4	5.16	20.06	132.49
5	4.19	18.12	125.99
6	5.25	18.8	117.28
7	4.31	17.82	112.43
Etüv Kurutma Sonrası Okuma			
Kuru Numuneye Ait Sıfır Okuması, Mo	Kuru Numuneye Ait Hacim Okuması, Md	Kuru Numune Ağırlığı, md (gr)	
4.92	18.4	106.1	

Şekil 10a.1. Büzülme limiti (cihaz yöntemi) deneyi yazılım başlangıç arayüzü

Büzülme Limiti (TRRL) Deneyi - Örnek Çizelge			
Kademe Okumaları			
Deney No	Sıfır Okuması, Mo	Hacim Okuması, M	Yaş Numune Ağırlığı, m (gr)
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2.31"/>	<input type="text" value="19.55"/>	<input type="text" value="144.5"/>
<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="1.07"/>	<input type="text" value="17.84"/>	<input type="text" value="141.97"/>
<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="5.1"/>	<input type="text" value="20.84"/>	<input type="text" value="137.12"/>
<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5.16"/>	<input type="text" value="20.06"/>	<input type="text" value="132.49"/>
<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="4.19"/>	<input type="text" value="18.12"/>	<input type="text" value="125.99"/>
<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="5.25"/>	<input type="text" value="18.8"/>	<input type="text" value="117.28"/>
<input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="4.31"/>	<input type="text" value="17.82"/>	<input type="text" value="112.43"/>
Etüv Kurutma Sonrası Okuma			
Kuru Numuneye Ait Sıfır Okuması, Mo	Kuru Numuneye Ait Hacim Okuması, Md	Kuru Numune Ağırlığı, md (gr)	
<input type="text" value="4.92"/>	<input type="text" value="18.4"/>	<input type="text" value="106.1"/>	

Açıklama:

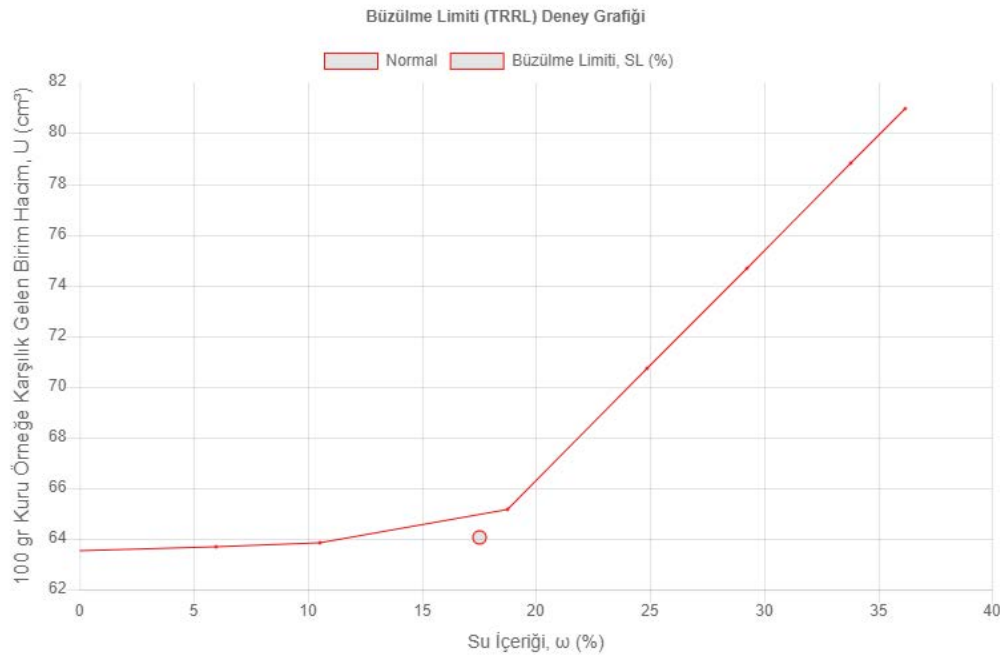
Şekil 10a.2. Büzülme limiti (cihaz yöntemi) deneyi yazılım veri alma arayüzü

EK-10(b). Büzülme limiti (cihaz yöntemi) deneyi yazılım arayüzleri (devam)

Büzülme Limiti (TRRL) Deneyi - Örnek Çizelge							
Kademe Okumaları							
Deney No	Sıfır Okuması, Mo	Hacim Okuması, M	Hacim Hesapları	$V = 5 \times (M - Mo)$	Yaş Numune Ağırlığı, m (gr)	Su İçeriği, ω (%)	100 gr Kuru Örneğe Karşılık Gelen Birim Hacim, U (cm^3)
1	2.31	19.55	17.24	86.2	144.5	36.19	81.24
2	1.07	17.84	16.77	83.85	141.97	33.81	79.03
3	5.1	20.84	15.74	78.7	137.12	29.24	74.18
4	5.16	20.06	14.9	74.5	132.49	24.87	70.22
5	4.19	18.12	13.93	69.65	125.99	18.75	65.65
6	5.25	18.8	13.55	67.75	117.28	10.54	63.85
7	4.31	17.82	13.51	67.55	112.43	5.97	63.67
Ortalama	3.91	19.00	15.09	75.46	130.25	22.77	71.12
Etüv Kurutma Sonrası Okuma							
Kuru Numuneye Ait Sıfır Okuması, Mo	Kuru Numuneye Ait Hacim Okuması, Md	Md - Mo	$Vd = 5 \times (Md - Mo)$	Kuru Numune Ağırlığı, md (gr)	Su İçeriği, ω (%)	100 gr Kuru Örneğe Karşılık Gelen Birim Hacim, Ud (cm^3)	
4.92	18.4	13.48	67.4	106.1	0	63.52	

Açıklama:

Şekil 10b.1. Büzülme limiti (cihaz yöntemi) deneyi yazılım sonuç arayüzü

Şekil 10b.2. Büzülme limiti (cihaz yöntemi) deneyi su ω -U yazılım deney grafiği

EK-11. Lineer rötre limiti (doğrusal büzülme) deneyi yazılım arayüzleri

Rötre Limiti Deney Sayısı:

Rötre Limiti Deneyi - Örnek Çizelge			
Deney No	Kap No	Zeminin İlk Boyu, Lo (mm)	Zeminin Son Boyu, L (mm)
1	17	141	129

Şekil 11.1. Lineer rötre (doğrusal büzülme deneyi) yazılım başlangıç arayüzü

Rötre Limiti Deney Çizelgesi			
Deney No	Kap No	Zeminin İlk Boyu, Lo (mm)	Zeminin Son Boyu, L (mm)
1	<input type="text" value="17"/>	<input type="text" value="141"/>	<input type="text" value="129"/>

Açıklama:

Şekil 11.2. Lineer rötre (doğrusal büzülme deneyi) yazılım veri alma arayüzü

Rötre Limiti Deney Çizelgesi				
Deney No	Kap No	Zeminin İlk Boyu, Lo (mm)	Zeminin Son Boyu, L (mm)	Zeminin Rötre Limiti, RL (%)
1	17	141	129	8.51
Ortalama	-	141.00	129.00	8.51

Açıklama: -

Şekil 11.3. Lineer rötre (doğrusal büzülme deneyi) yazılım sonuç arayüzü

EK-12(a). Elek analizi deneyi yazılım arayüzleri

Elek Seçim Çizelgesi		
Elek Adı	Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Seçimi
2.50 inç	63	<input type="checkbox"/>
2.00 inç	50.8	<input type="checkbox"/>
1.50 inç	38.1	<input type="checkbox"/>
1.25 inç	31.5	<input type="checkbox"/>
1.00 inç	25.4	<input type="checkbox"/>
3 / 4 inç	19.05	<input type="checkbox"/>
5 / 8 inç	16	<input type="checkbox"/>
1 / 2 inç	12.7	<input type="checkbox"/>
3 / 8 inç	9.52	<input type="checkbox"/>
5 / 16 inç	8	<input type="checkbox"/>
1 / 4 inç	6.35	<input type="checkbox"/>
No.4	4.76	<input type="checkbox"/>
No.5	4	<input type="checkbox"/>
No.7	2.83	<input type="checkbox"/>
No.8	2.36	<input type="checkbox"/>
No.10	2	<input type="checkbox"/>
No.16	1.19	<input type="checkbox"/>
No.18	1	<input type="checkbox"/>
No.20	0.85	<input type="checkbox"/>
No.25	0.71	<input type="checkbox"/>
No.30	0.59	<input type="checkbox"/>
No.35	0.5	<input type="checkbox"/>
No.40	0.425	<input type="checkbox"/>
No.45	0.355	<input type="checkbox"/>
No.50	0.30	<input type="checkbox"/>

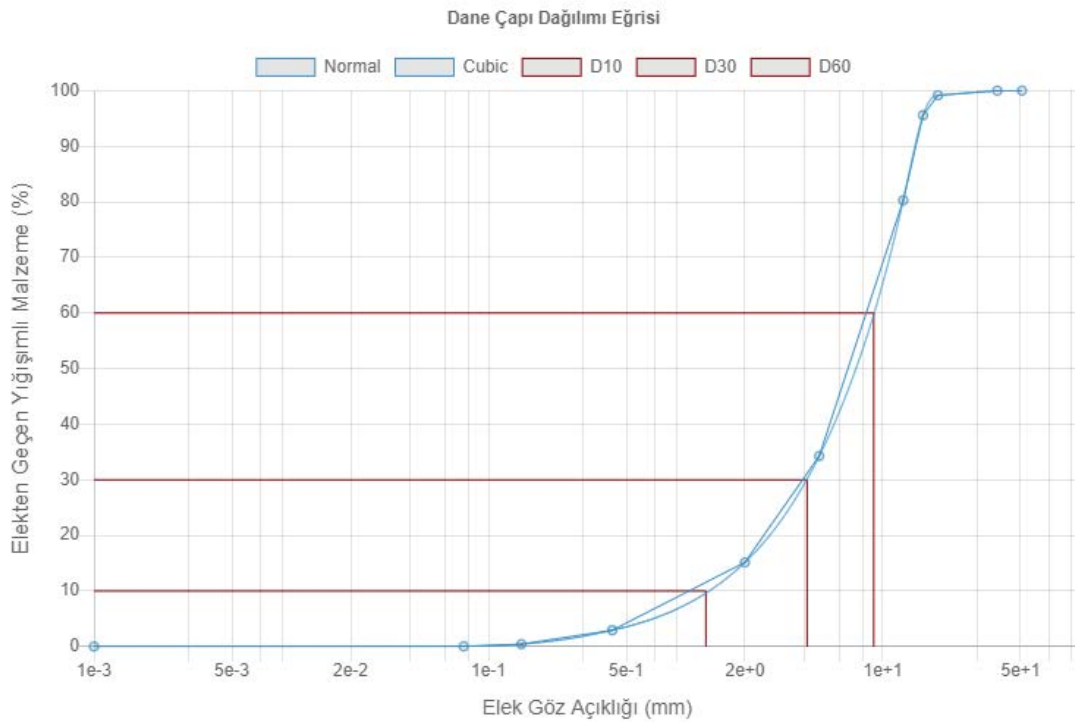
Şekil 12a.1. Elek analizi deneyi yazılım elek seçimi arayüzü

EK-12(b). Elek analizi deneyi yazılım arayüzleri (devam)

Elek Analizi Deney Çizelgesi	
Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üstü Kalan Kütle (gr)
63	14
9.52	6
0.425	10
0.212	41
0.09	2
0.045	8
0	47

Hesapla

Şekil 12b.1. Elek analizi deneyi yazılım veri alma arayüzü

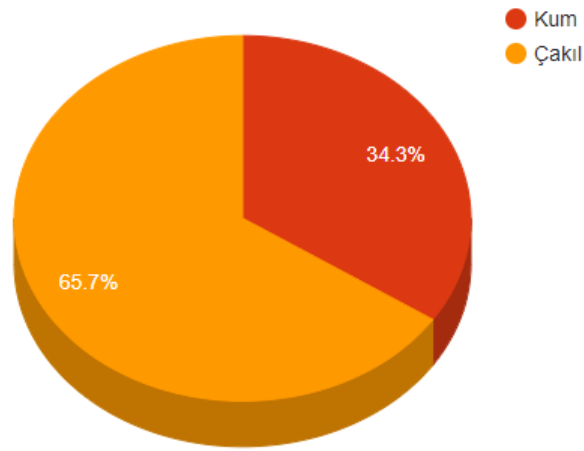


Şekil 12b.2. Elek analizi deneyi yazılım dane çapı dağılımı eğrisi

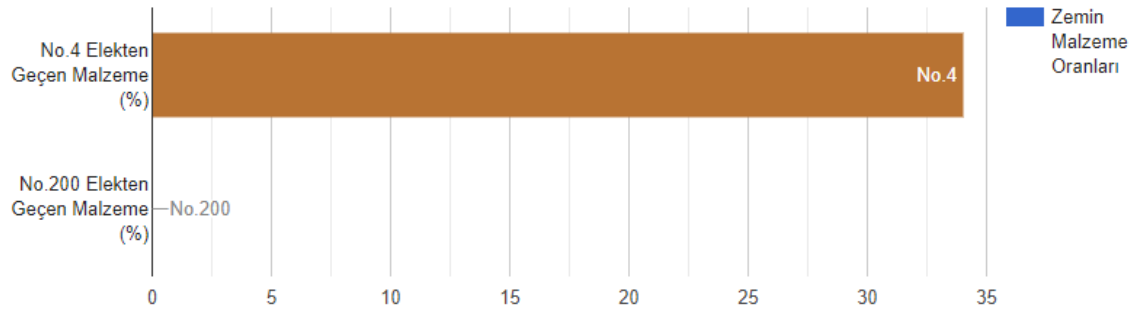
EK-12(c). Elek analizi deneyi yazılım arayüzleri (devam)

Kritik Dane Çapları ve Katsayıları				
D10 (mm)	D30 (mm)	D60 (mm)	Eşşekillilik Katsayısı, Cu	Süreklilik Katsayısı, Cc
1.2675	4.1311	8.9985	7.0996	1.4963

Zemin Malzeme Dağılımı Oranları (%)



Zemin Malzeme Dağılımı Oranları (%)



No.4 Elekten Geçen Malzeme (%): 34.274;

No.200 Elekten Geçen Malzeme (%): 0.040;

Şekil 12c.1. Elek analizi deneyi zemin malzeme dağılımına ait yazılım çıktıları

EK-12(d). Elek analizi deneyi yazılım arayüzleri (devam)

Elek Analizi Deney Çizelgesi				
No	Seçilen Elekler	Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üstü Kalan Kütle (gr)	Elekten Geçen Yığılımlı Malzeme(%)
1	2.00 inç	50.8	0	100
2	1.50 inç	38.1	0	100
3	3 / 4 inç	19.05	10.5	99.17
4	5 / 8 inç	16	45	95.59
5	1 / 2 inç	12.7	192.5	80.28
6	No.4	4.76	578.5	34.27
7	No.10	2	240.5	15.15
8	No.40	0.425	153.5	2.94
9	No.100	0.147	31.5	0.44
10	No.200	0.075	5	0.04
11	Tava	0	0.5	0

Şekil 12d.1. Elek analizi deneyi yazılım deney sonuç çizelgesi

EK-13(a). Hidrometre deneyi yazılım arayüzleri

Zemin Örneği Fiziksel Özellikleri

Zemin Örneğinin Özgül Ağırlığı, G _s :	2.7
Zemin Kuru Örnek Ağırlığı, M (gr) :	35.7
No.200 Elekten Geçen Toplam Yüzde, P ₂₀₀ (%) :	67.6

Deney Aleti ve Çözelti Malzemesinin Belirlenmesi

Dağıtma Maddesi (Çözelti):	125 mL NaPO ₃	Hidrometre Tipi:	ASTM 151 H
----------------------------	--------------------------	------------------	------------

Not: Özel Bir Deney Ortamı için Varsayılan Ortamı Düzenleyiniz

Menisküs Düzeltmesinin Belirlenmesi

Varsayılan Menisküs Düzeltme Değeri:	0.0008
--------------------------------------	--------

Not: Özel Bir Menisküs Düzeltme Değeri için Varsayılan Değeri Düzenleyiniz

Sıcaklık ve Dağıtma Maddesi Düzeltmesinin Belirlenmesi

Varsayılan Doğrusal Regresyon Determinasyon Katsayısı, R² : 0.997390277610056

Varsayılan Kalibrasyonda Kullanılan Sıcaklık-Yoğunluk Okumaları	
Sıcaklık (C°)	Hidrometre Okuması
17.5	1.0046
19	1.0043
20	1.004
25.5	1.0031
28	1.0026
31	1.0021

Not: Bu Okumalardan R² Belirlenmiştir ve Bir Düzeltme Regrasyon Doğrusu Oluşturulacaktır

Özel Bir Kalibrasyon Kullanmak için İşaretleyin	<input type="checkbox"/>	Özel Bir Kalibrasyon Kullanmak için Okuma Sayısı Girin:	9
---	--------------------------	---	---

Şekil 13a.2. Hidrometre deneyi başlangıç sınır şartları belirleme arayüzü (II)

EK-13(b). Hidrometre deneyi yazılım arayüzleri (devam)

Etkin Derinliğin Belirlenmesi

Etkin Derinlik - Kullanılan Hidrometre Tipi :

Etkin Derinlik Denklemi

$$L = L_1 + [(L_2 - (V_b / A))] / 2$$

L : Etkin Derinlik (cm)

L₁ : Hidrometre Okuması ile Hidrometre Boyun Kısmı Arasındaki Mesafe (cm)

L₂ : Hidrometre Gövdesinin Uzunluğu (cm)

A : Çöktürme Silindirisinin Enkesit Alanı (cm²)

V_b : Hidrometrenin Hacmi (cm³)

Etkin Derinlik için Varsayılan 151 H Hidrometre Değerleri

L₂ : A : V_b :

Okuma L₁ :

Okuma L₁ :

Şekil 13b.1. Hidrometre deneyi başlangıç sınır şartları belirleme arayüzü (III)

Hidrometre Deneyi Okuma Sayısının Belirlenmesi

Hidrometre Deneyi Okuma Sayısı

Hidrometre Deneyi - Örnek Çizelge			
Deney Ortamı Ögelerinin Belirlenmesi			
Dağıtma Maddesi (Çözeltili):		Hidrometre Tipi:	
125 mL NaPO ₃		ASTM 151 H	
Hidrometre Okumalarının Düzeltilmesi			
Varsayılan Menisküs Düzeltme Değeri		Sıcaklık-Dağıtma Maddesi Düzeltmesi Determinasyon Katsayısı, R ²	
0.0008		0.997390277610056	
Zemin Örneği Fiziksel Özellikleri			
Zemin Örneğinin Özgül Ağırlığı, G _s	Zemin Kuru Örnek Ağırlığı, M (gr)	No.200 Elekten Geçen Toplam Yüzde, P ₂₀₀ (%)	
2.7	35.7	67.6	
Hidrometre Deney Verileri			
Okuma Sayısı	Geçen Zaman (dk)	Asıl Hidrometre Okuması	Sıcaklık (C°)
1	35	6	16
2	51	14	41
3	76	18	20
4	31	19	1
5	69	24	10

Şekil 13b.2. Hidrometre deneyi başlangıç sınır şartları belirleme arayüzü (IV)

EK-13(c). Hidrometre deneyi yazılım arayüzleri (devam)

Hidrometre Deneyi - Örnek Çizelge			
Deney Ortamı Öğelerinin Belirlenmesi			
Dağıtma Maddesi (Çözelti):		Hidrometre Tipi:	
125 mL NaPO ₃		ASTM 151 H	
Hidrometre Okumalarının Düzeltilmesi			
Varsayılan Menisküs Düzeltme Değeri		Sıcaklık-Dağıtma Maddesi Düzeltmesi Determinasyon Katsayısı, R ²	
0.0008		0.997390277610056	
Zemin Örneği Fiziksel Özellikleri			
Zemin Örneğinin Özgül Ağırlığı, G _s	Zemin Kuru Örnek Ağırlığı, M (gr)	No.200 Elekten Geçen Toplam Yüzde, P ₂₀₀ (%)	
2.7	35.7	67.6	
Hidrometre Deney Verileri			
Okuma Sayısı	Geçen Zaman (dk)	Asıl Hidrometre Okuması	Sıcaklık (C°)
1	1	25	1.024
2	2	25	1.023
3	5	24.5	1.022
4	10	24.5	1.0212
5	15	23.5	1.0206
6	30	23.5	1.0198
7	60	22.5	1.0182
8	120	21	1.017
9	260	21	1.0157
10	580	21.5	1.0142
11	1550	21.5	1.013

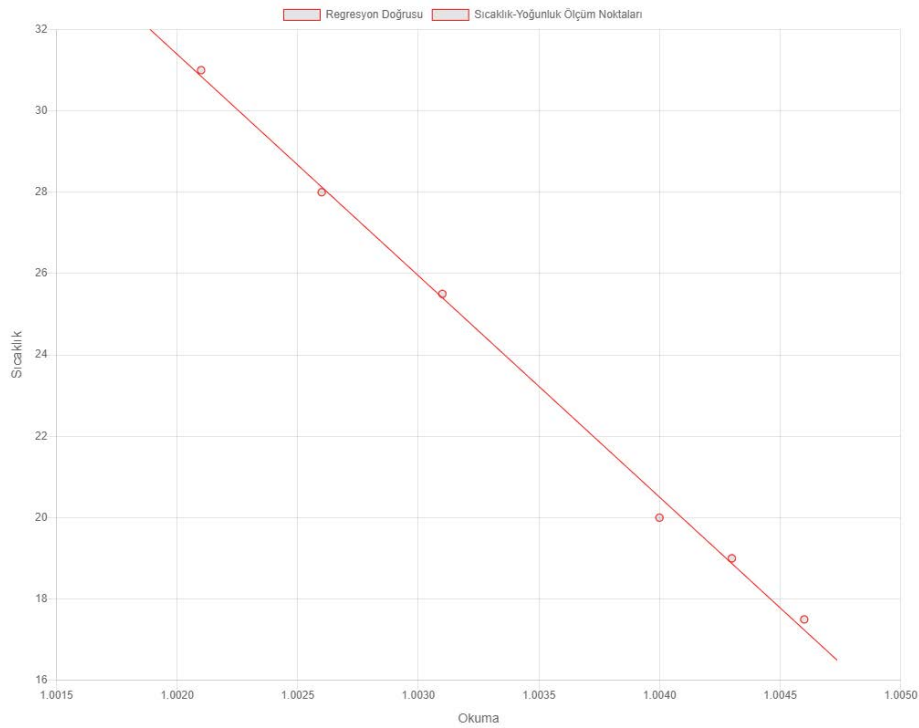
Not: Özel Bir Menisküs Düzeltme Değeri için Varsayılan Değeri Düzenleyiniz

Şekil 13c.1. Hidrometre deneyi yazılım veri alma arayüzü (I)

EK-13(d). Hidrometre deneyi yazılım arayüzleri (devam)

Hidrometre Deneyi - Örnek Çizelge					
Hidrometre Okuması	L : Etkin Derinlik (cm)	Hidrometre Okuması	L : Etkin Derinlik (cm)	Hidrometre Okuması	L : Etkin Derinlik (cm)
1	16.3	1.013	12.9	1.026	9.4
1.001	16	1.014	12.6	1.027	9.2
1.002	15.8	1.015	12.3	1.028	8.9
1.003	15.5	1.016	12.1	1.029	8.6
1.004	15.2	1.017	11.8	1.03	8.4
1.005	15	1.018	11.5	1.031	8.1
1.006	14.7	1.019	11.3	1.032	7.8
1.007	14.4	1.02	11	1.033	7.6
1.008	14.2	1.021	10.7	1.034	7.3
1.009	13.9	1.022	10.5	1.035	7
1.01	13.6	1.023	10.2	1.036	6.8
1.011	13.4	1.024	9.9	1.037	6.5
1.012	13.1	1.025	9.7	1.038	6.2

Şekil 13d.1. Hidrometre deneyi yazılım veri alma arayüzü (I)



Şekil 13d.2. Hidrometre deneyi yazılım veri alma arayüzü (II)

EK-13(e). Hidrometre deneyi yazılım arayüzleri (devam)

Hidrometre Deneyi Çizelgesi											
Deney Ortamı Öğelerinin Belirlenmesi											
Dağıtma Maddesi (Çözelti):						Hidrometre Tipi:					
125 mL NaPO ₃						ASTM 151 H					
Hidrometre Okumalarının Düzeltilmesi											
Varsayılan Menisküs Düzeltme Değeri				Sıcaklık-Dağıtma Maddesi Düzeltmesi Determinasyon Katsayısı, R ²							
0.0008				0.997390277610056							
Zemin Örneği Fiziksel Özellikleri											
Zemin Örneğinin Özgül Ağırlığı, G _s			Zemin Kuru Örnek Ağırlığı, M (gr)						No.200 Elekten Geçen Toplam Yüzde, P200 (%)		
2.7			35.7						67.6		
Hidrometre Deney Sonuçları											
Okuma Sayısı	Geçen Zaman (dk)	Sıcaklık (C°)	Asıl Hidrometre Okuması	Menisküs Düzeltmesi Uygulanmış Hidrometre Okuması	Sıcaklık-Dağıtma Maddesi Düzeltmesi	Düzeltilmeleri Tamamlanmış Nihai Hidrometre Okumaları	Etkin Derinlik	K Değeri	Dane Çapı	Toplam Geçen (%)	
0	1	25	1.024	1.0248	0.0032	1.0216	9.73	0.01267	0.0395	65.04	
1	2	25	1.023	1.0238	0.0032	1.0206	10	0.01267	0.0283	62.03	
2	5	24.5	1.022	1.0228	0.0033	1.0195	10.26	0.01274	0.0183	58.75	
3	10	24.5	1.0212	1.022	0.0033	1.0187	10.48	0.01274	0.013	56.34	
4	15	23.5	1.0206	1.0214	0.0034	1.018	10.63	0.0129	0.0109	53.98	
5	30	23.5	1.0198	1.0206	0.0034	1.0172	10.85	0.0129	0.0078	51.58	
6	60	22.5	1.0182	1.019	0.0036	1.0154	11.27	0.01304	0.0057	46.21	
7	120	21	1.017	1.0178	0.0039	1.0139	11.59	0.01328	0.0041	41.78	
8	260	21	1.0157	1.0165	0.0039	1.0126	11.93	0.01328	0.0028	37.87	
9	580	21.5	1.0142	1.015	0.0038	1.0112	12.33	0.0132	0.0019	33.63	
10	1550	21.5	1.013	1.0138	0.0038	1.01	12.64	0.0132	0.0012	30.02	

Şekil 13e.1. Hidrometre deneyi yazılım sonuç arayüzü

EK-14. Kum konisi deneyi yazılım arayüzleri

Kum Konisi Deney Sayısı:

Kum Konisi Deneyi - Örnek Çizelge							
Deney No	Çukurdan Çıkarılan Toplam Zemin Ağırlığı (gr)	Başlangıçta Deney Kumu ve Kap Ağırlığı (gr)	Çukur Dolduktan Sonra Kalan Deney Kumu ve Kap Ağırlığı (gr)	Koni İçerisinde Kullanılan Deney Kumu Yoğunluğu (gr/cm ³)	Kum Konisi Hacmi (cm ³)	Çukurdan Çıkarılan Toplam Malzemede Çakıl Ağırlığı (gr)	Çukurda Bulunan Çakıl Yoğunluğu (gr/cm ³)
1	2021	6828	3517	1.52	1188	786.58	2.65

Şekil 14.1. Kum konisi deneyi yazılım başlangıç arayüzü

Kum Konisi Deney Çizelgesi						
Çukurdan Çıkarılan Toplam Zemin Ağırlığı (gr)	Başlangıçta Deney Kumu ve Kap Ağırlığı (gr)	Çukur Dolduktan Sonra Kalan Deney Kumu ve Kap Ağırlığı (gr)	Koni İçerisinde Kullanılan Deney Kumu Yoğunluğu (gr/cm ³)	Kum Konisi Hacmi (cm ³)	Çukurdan Çıkarılan Toplam Malzemede Çakıl Ağırlığı (gr)	Çukurda Bulunan Çakıl Yoğunluğu (gr/cm ³)
<input type="text" value="2021"/>	<input type="text" value="6828"/>	<input type="text" value="3517"/>	<input type="text" value="1.52"/>	<input type="text" value="1188"/>	<input type="text" value="786.58"/>	<input type="text" value="2.65"/>

Açıklama:

Şekil 14.2. Kum konisi deneyi yazılım veri alma arayüzü

Kum Konisi Deney Çizelgesi														
Deney No	Çukurdan Çıkarılan Toplam Zemin Ağırlığı (gr)	Başlangıçta Deney Kumu ve Kap Ağırlığı (gr)	Çukur Dolduktan Sonra Kalan Deney Kumu ve Kap Ağırlığı (gr)	Çukuru ve Koniye Doldurulan Deney Kumu Ağırlığı (gr)	Koni İçerisinde Kullanılan Deney Kumu Yoğunluğu (gr/cm ³)	Çukur ve Koni Toplam Hacmi (cm ³)	Kum Konisi Hacmi (cm ³)	Çukur Hacmi (cm ³)	Çukurdan Çıkarılan Toplam Malzemede Çakıl Ağırlığı (gr)	Çukurdan Çıkarılan Çakılın Yoğunluğu (gr/cm ³)	Çukurdan Çıkarılan Çakılın Hacmi (cm ³)	Yerinde Yoğunluğu Aranan Kumun Hacmi (cm ³)	Yerinde Yoğunluğu Aranan Kumun Ağırlığı (gr)	Çukurdan Çıkarılan Kumun Yerinde Yoğunluğu (gr/cm ³)
1	2021	6828	3517	3311	1.52	2178.29	1188	990.29	786.58	2.65	296.82	693.47	1234.42	1.78

Açıklama: -

Şekil 14.3. Kum konisi deneyi yazılım sonuç arayüzü

EK-15(a). Sıkıştırma (Kompaksiyon) deneyi yazılım arayüzleri

Sıkıştırma (Kompaksiyon) Deney Sayısı:

Deney Çizelgesini Oluştur

Sıkıştırma (Kompaksiyon) Deneyi - Örnek Çizelge							
Doğal Birim Hacim Ağırlık γ_n (g/cm ³)					Su Muhtevası, ω (%)		
Deney No	Numune Kalıp Çapı (cm)	Numune Kalıp Yüksekliği (cm)	Yakasız Kalıp Kütle (gr)	Yaş Numune ve Kalıp Kütle (gr)	Dara Kap Kütle (gr)	Yaş Numune ve Dara Kütle (gr)	Kuru Numune ve Dara Kütle (gr)
1	10.2	11.7	4878	6596.5	29.9	86.2	84.23
2	10.2	11.7	4878	6771.5	61.1	161.58	154.25
3	10.2	11.7	4878	6845	40.75	173.48	159.08
4	10.2	11.7	4878	6813	28.07	114.63	104.75
5	10.2	11.7	4878	6757	30.6	118.43	107.8

Şekil 15a.1. Sıkıştırma (Kompaksiyon) deneyi yazılım başlangıç arayüzü

Sıkıştırma (Kompaksiyon) Deneyi Çizelgesi						
Doğal Birim Hacim Ağırlık γ_n (g/cm ³)				Su Muhtevası, ω (%)		
Numune Kalıp Çapı (cm)	Numune Kalıp Yüksekliği (cm)	Yakasız Kalıp Kütle (gr)	Yaş Numune ve Kalıp Kütle (gr)	Dara Kap Kütle (gr)	Yaş Numune ve Dara Kütle (gr)	Kuru Numune ve Dara Kütle (gr)
<input type="text" value="10.2"/>	<input type="text" value="11.7"/>	<input type="text" value="4878"/>	<input type="text" value="6596.5"/>	<input type="text" value="29.9"/>	<input type="text" value="86.2"/>	<input type="text" value="84.23"/>
<input type="text" value="10.2"/>	<input type="text" value="11.7"/>	<input type="text" value="4878"/>	<input type="text" value="6771.5"/>	<input type="text" value="61.1"/>	<input type="text" value="161.58"/>	<input type="text" value="154.25"/>
<input type="text" value="10.2"/>	<input type="text" value="11.7"/>	<input type="text" value="4878"/>	<input type="text" value="6845"/>	<input type="text" value="40.75"/>	<input type="text" value="173.48"/>	<input type="text" value="159.08"/>
<input type="text" value="10.2"/>	<input type="text" value="11.7"/>	<input type="text" value="4878"/>	<input type="text" value="6813"/>	<input type="text" value="28.07"/>	<input type="text" value="114.63"/>	<input type="text" value="104.75"/>
<input type="text" value="10.2"/>	<input type="text" value="11.7"/>	<input type="text" value="4878"/>	<input type="text" value="6757"/>	<input type="text" value="30.6"/>	<input type="text" value="118.43"/>	<input type="text" value="107.8"/>

Açıklama:

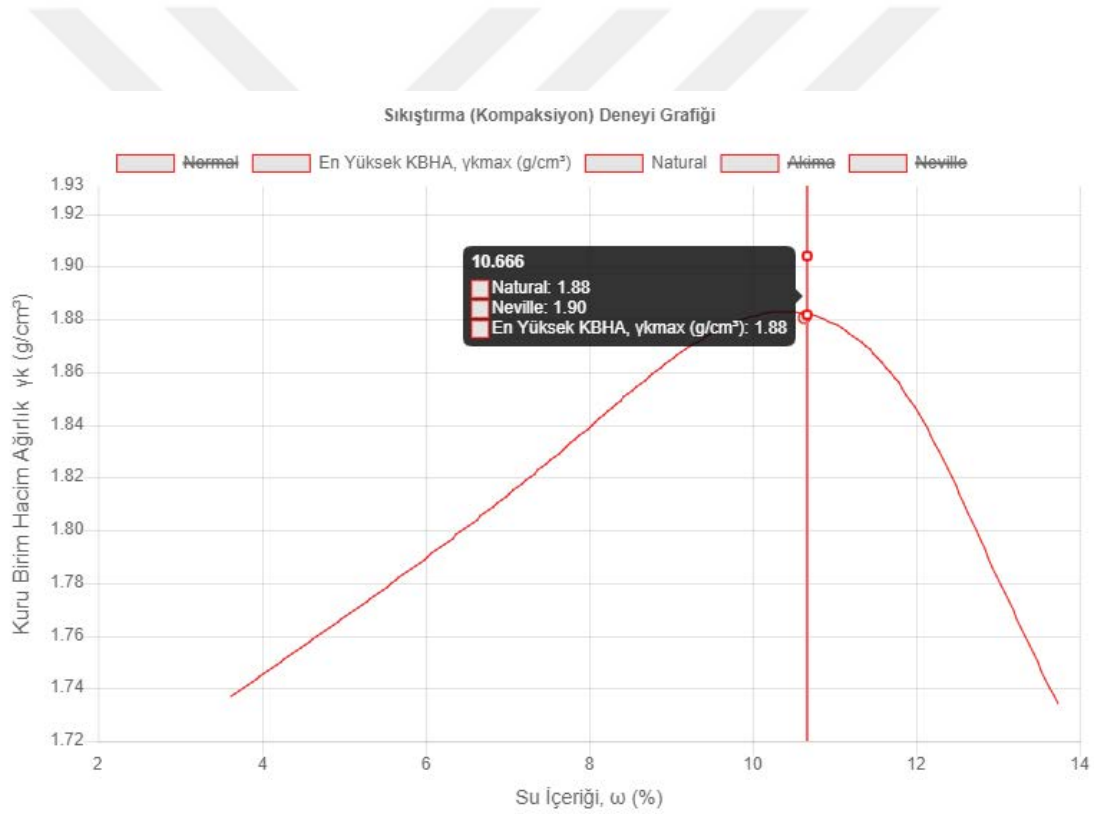
Hesapla

Şekil 15a.2. Sıkıştırma (Kompaksiyon) deneyi yazılım veri alma arayüzü

EK-15(b). Sıkıştırma (Kompaksiyon) deneyi yazılım arayüzleri (devam)

Sıkıştırma (Kompaksiyon) Deneyi Çizelgesi										
Deney No	Numune Kalıp Çapı (cm)	Numune Kalıp Yüksekliği (cm)	Yakasız Kalıp Kütle (gr)	Yaş Numune ve Kalıp Kütle (gr)	Dara Kap Kütle (gr)	Yaş Numune ve Dara Kütle (gr)	Kuru Numune ve Dara Kütle (gr)	Doğal Birim Hacim Ağırlık γ_n (g/cm ³)	Su Muhtevası, ω (%)	Kuru Birim Hacim Ağırlık γ_d (g/cm ³)
1	10.2	11.7	4878	6596.5	29.9	86.2	84.23	1.8	3.63	1.73
2	10.2	11.7	4878	6771.5	61.1	161.58	154.25	1.98	7.87	1.84
3	10.2	11.7	4878	6845	40.75	173.48	159.08	2.06	12.17	1.83
4	10.2	11.7	4878	6813	28.07	114.63	104.75	2.02	12.88	1.79
5	10.2	11.7	4878	6757	30.6	118.43	107.8	1.97	13.77	1.73
Ortalama	10.20	11.70	4878.00	6756.60	38.08	130.86	122.02	1.97	10.06	1.78

Şekil 15b.1. Sıkıştırma (Kompaksiyon) deneyi yazılım deney sonuç çizelgesi



Şekil 15b.2. Sıkıştırma (Kompaksiyon) deneyi yazılım sonuçlarında en elverişli (optimum) su içeriğinin saptanması

EK-16. USCS zemin sınıflandırma sistemi çözümü yazılım arayüzleri

Dane Özellikleri

No.4 Geçen Malzeme (%):	<input type="text" value="22"/>
No.200 Geçen Malzeme (%):	<input type="text" value="34"/>
Eşşeklilik Katsayısı, Cu:	<input type="text" value="3"/>
Süreklilik Katsayısı, Cc:	<input type="text" value="2"/>

Kıvam Özellikleri

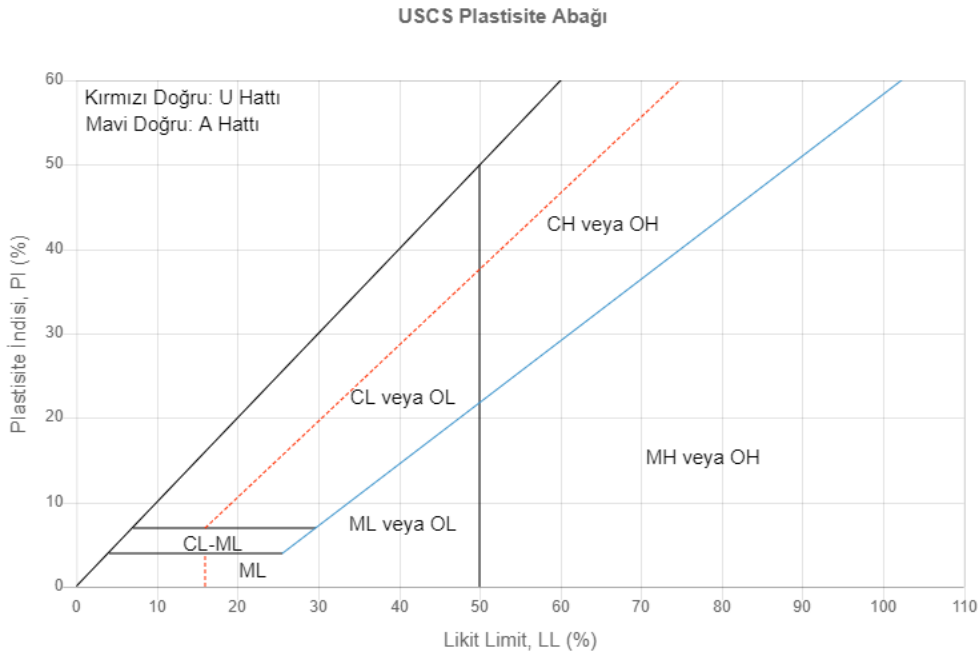
Likit Limit, LL (%):	<input type="text" value="40"/>
Plastik Limit, PL (%):	<input type="text" value="13"/>

Hesapla

GC

Killi Çakıl

Şekil 16.1. USCS zemin sınıflandırma sistemi yazılım veri alma arayüzü



Şekil 16.2. USCS zemin sınıflandırma sistemi yazılım plastisite abağı

EK-17. Türk zemin sınıflandırma sistemi çözüm yazılım arayüzleri

Dane Özellikleri

No.10 Geçen Malzeme (%):	<input type="text" value="19"/>
No.200 Geçen Malzeme (%):	<input type="text" value="29"/>
Eşşekillilik Katsayısı, Cu:	<input type="text" value="1"/>
Süreklilik Katsayısı, Cc:	<input type="text" value="7"/>

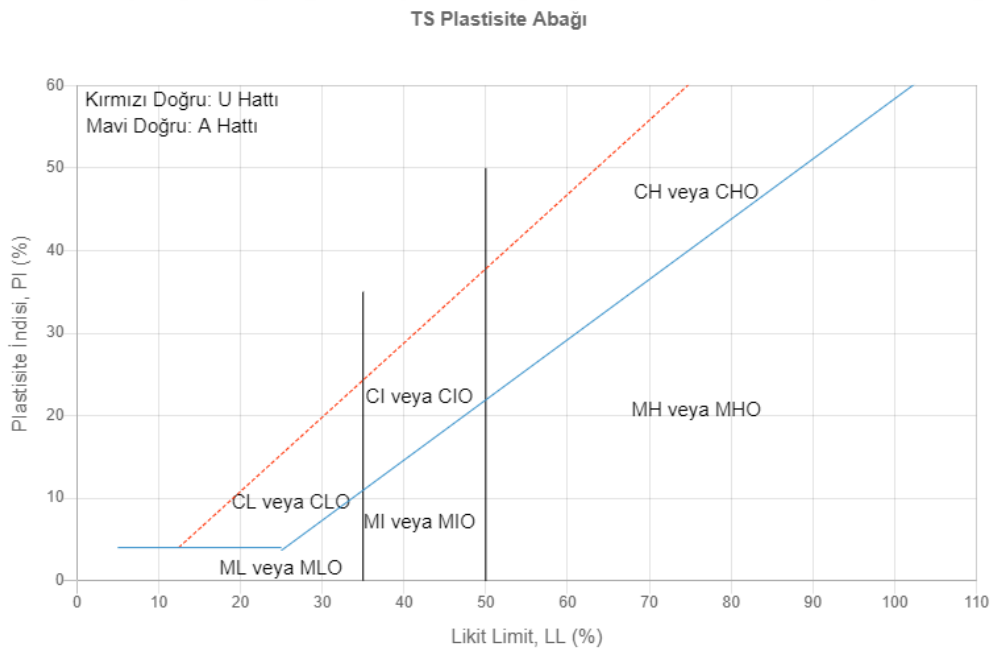
Kıvam Özellikleri

Likit Limit, LL (%):	<input type="text" value="6"/>
Plastik Limit, PL (%):	<input type="text" value="6"/>

GM

Siltli Çakıl

Şekil 17.1. Türk zemin sınıflandırma sistemi yazılım veri alma arayüzü



Şekil 17.2. Türk zemin sınıflandırma sistemi yazılım plastisite abağı

EK-18. ESCS zemin sınıflandırma sistemi çözümü yazılım arayüzleri

Dane Özellikleri

No.10 Geçen Malzeme (%):	4
No.230 Geçen Malzeme (%):	73
Eşşeklilik Katsayısı, Cu:	3
Süreklilik Katsayısı, Cc:	7

Kıvam Özellikleri

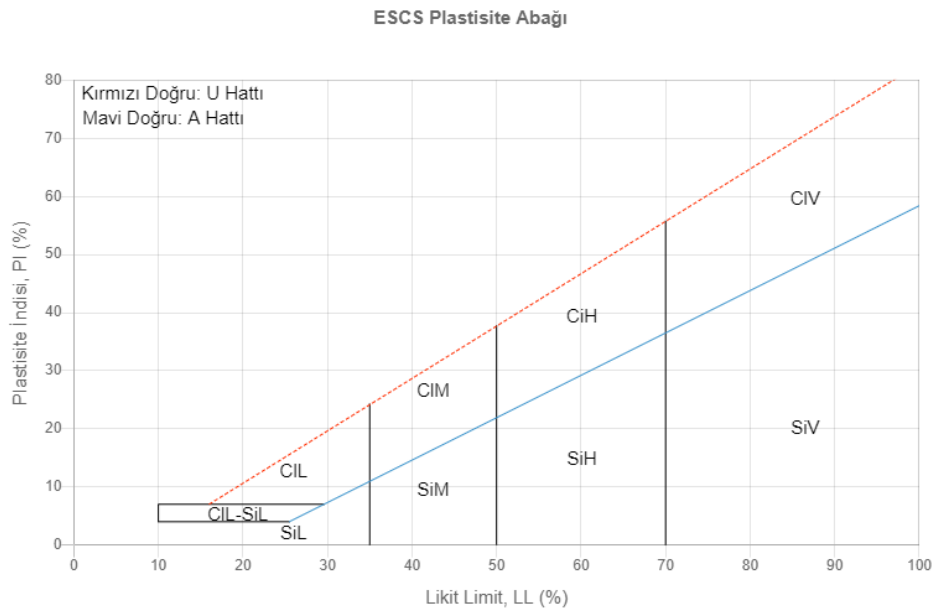
Likit Limit, LL (%):	34
Plastik Limit, PL (%):	14

Hesapla

grCLL

çakıllı Düşük Plastisiteli Kil

Şekil 18.1. ESCS zemin sınıflandırma sistemi yazılım veri alma arayüzü



Şekil 18.2. ESCS zemin sınıflandırma sistemi yazılım plastisite abağı

EK-19. USDA (Üçgen) zemin sınıflandırma sistemi çözümü yazılım arayüzleri

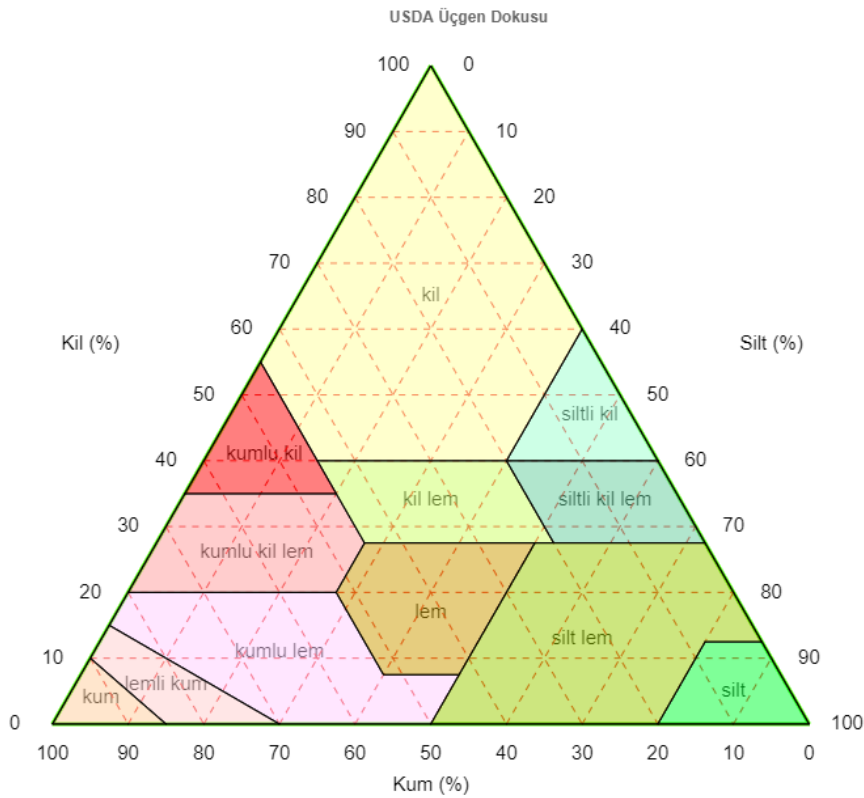
Dane Özellikleri

Çakıl (%):	10
Kum (%):	57
Silt (%):	5
Kil (%):	28

Hesapla

Kumlu Kil Lem

Şekil 19.1. USDA (Üçgen) zemin sınıflandırma sistemi yazılım veri alma arayüzü



Şekil 19.2. USDA (Üçgen) zemin sınıflandırma sistemi yazılım zemin doku üçgeni

EK-20. AASHTO zemin sınıflandırma sistemi çözümü yazılım arayüzleri

Dane Özellikleri

No.10 Geçen Malzeme (%):	42
No.40 Geçen Malzeme (%):	23
No.200 Geçen Malzeme (%):	49

Kıvam Özellikleri

Likit Limit, LL (%):	16
Plastik Limit, PL (%):	7

Hesapla

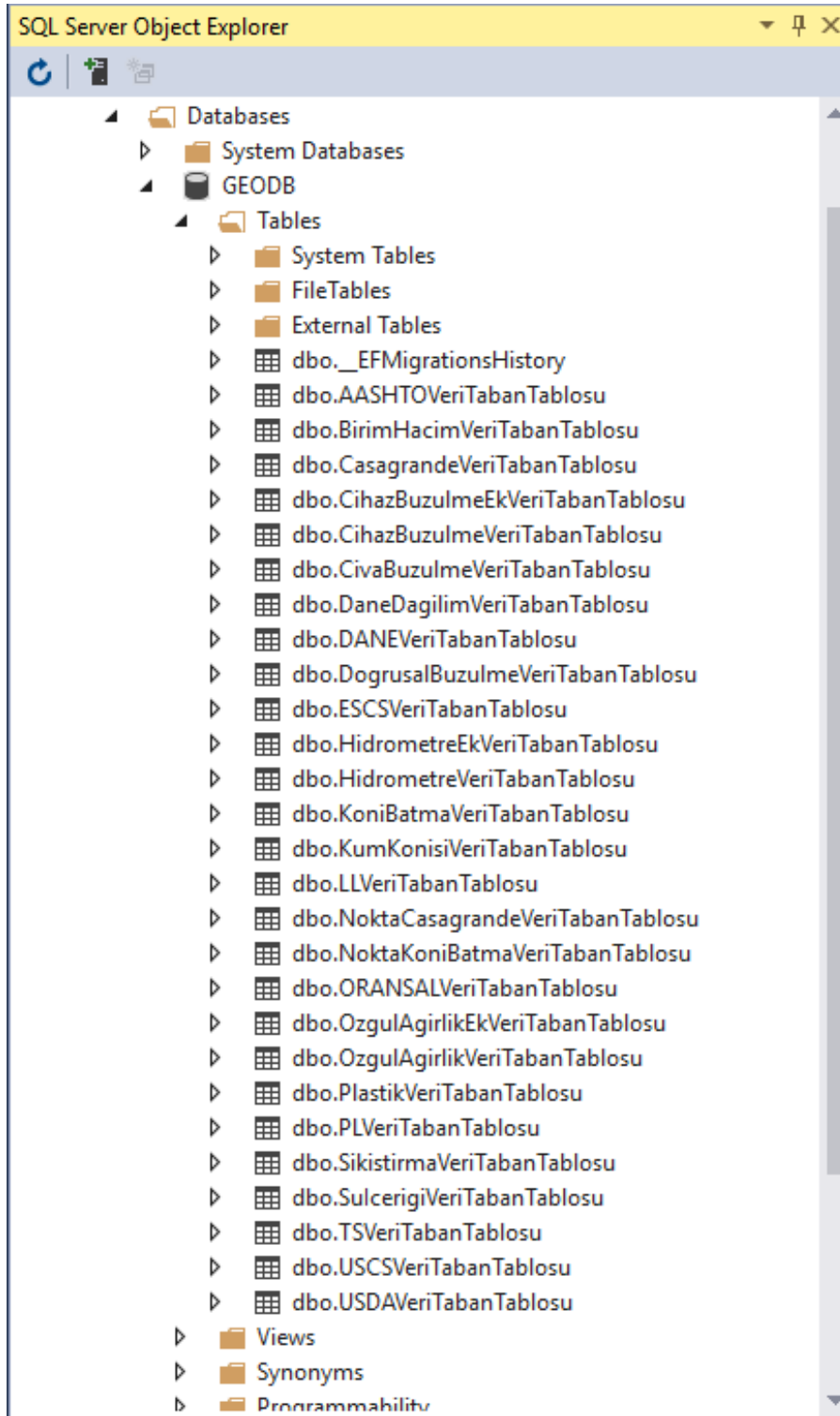
Belirlenen Zemin Türü: A-4 (1)

Şekil 20.1. AASHTO zemin sınıflandırma sistemi yazılım veri alma arayüzü

AASHTO Karayolları Zemin Sınıflandırma Sistemi												
Genel Sınıflandırma		Tanelli Malzemeler No.200 Elekten Geçen Malzeme (0.075 mm) ≤ %35						Silt-Kil Malzemeleri No.200 Elekten Geçen Malzeme (0.075 mm) > %35				
Grup Sınıflandırması		A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7
		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Elek Analizi - Geçenlerin Yüzdesi	No.10	≤50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	No.40	≤30	≤50	>50	-	-	-	-	-	-	-	-
	No.200	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≤35	>35	>35	>35	>35
No.40 Geçen Malzemenin Karakteristiği (0.425 mm)	Likit Limit, LL	-	-	-	≤40	>40	≤40	>40	≤40	>40	≤40	>40
	Plastisite İndeksi, PI	≤6	≤6	N.P	≤10	≤10	>10	>10	≤10	≤10	>10	>10
Grup İndeksi	GI	0	0	0	0	0	≤4	≤4	≤8	≤12	≤16	≤20
Malzemeyi Oluşturan Önemli Bileşenler		Taş Kırıntıları, Çakıl ve Kum		İnce Kum	Siltli veya Killi Çakıllı Kum			Siltli Zeminler		Killi Zeminler		
Taban için Kullanılabilirlik		Çok İyi - İyi						Orta - Zayıf				
*A-7 türü zeminin alt türünü belirlemek için şu yöntem izlenir: Eğer PI≤(LL-30) ise zemin A-7-5 ya da Eğer PI>(LL-30) ise zemin A-7-6												

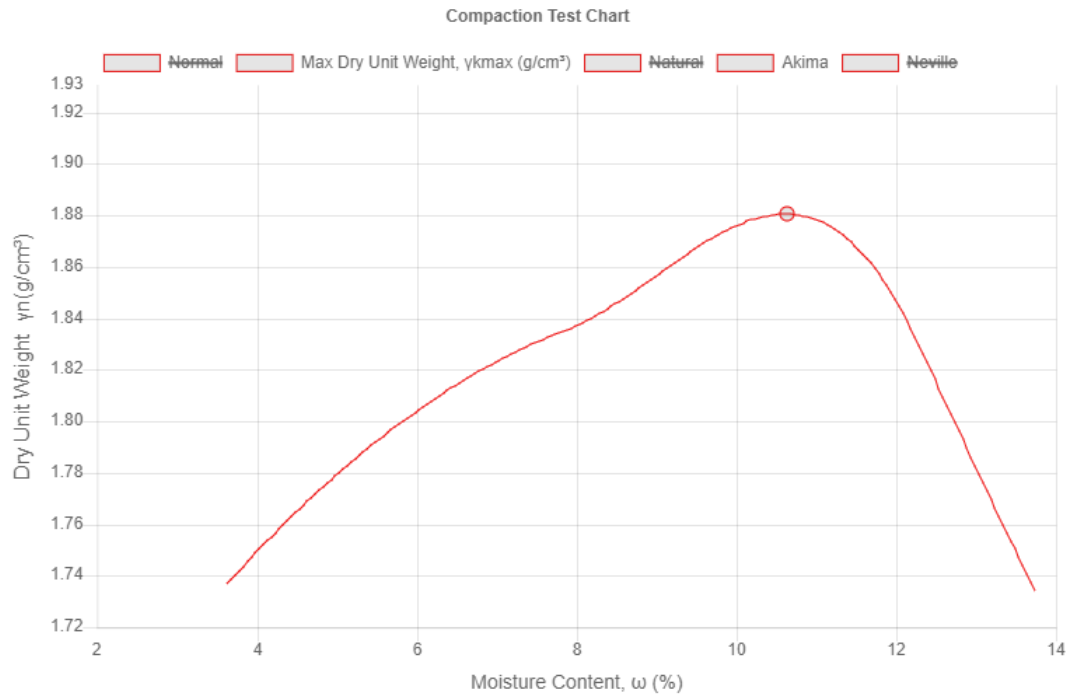
Şekil 20.2. AASHTO zemin sınıflandırma sistemi yazılım sınıflandırma çizelgesi

EK-21. Azure sunucu hizmeti üzerinde oluşturulan uzaktan erişimli SQL veri tabanı

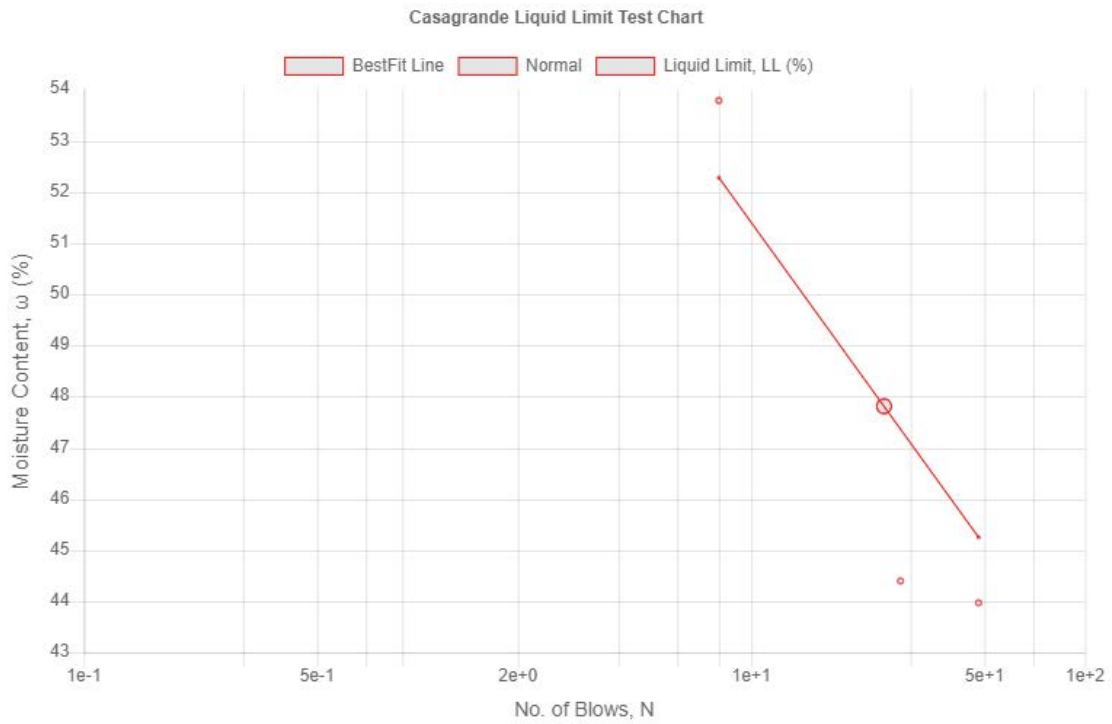


Şekil 21.1. Azure sunucu hizmeti uzaktan erişimli SQL veri tabanında yer alan yazılım deney veri alma çizelgeleri

EK-22(a). Yazılıma ait İngilizce dil seçeneği modunda yer alan arayüz örnekleri

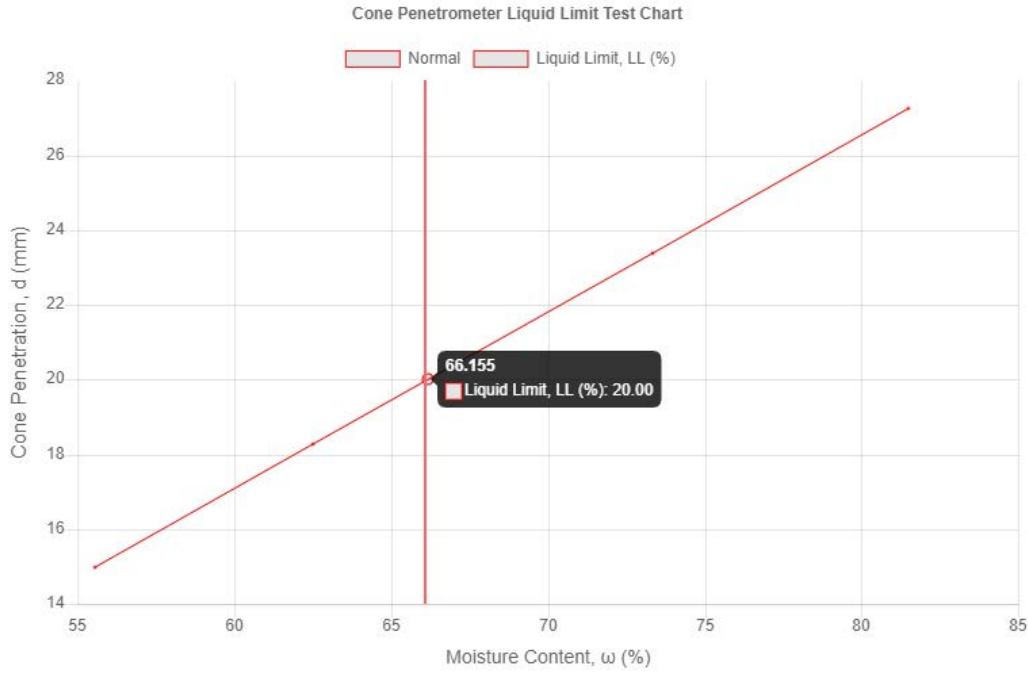


Şekil 22a.1. Sıkıştırma (Kompaksiyon) deneyi en elverişli (optimum) su içeriğinin tespiti (İngilizce)

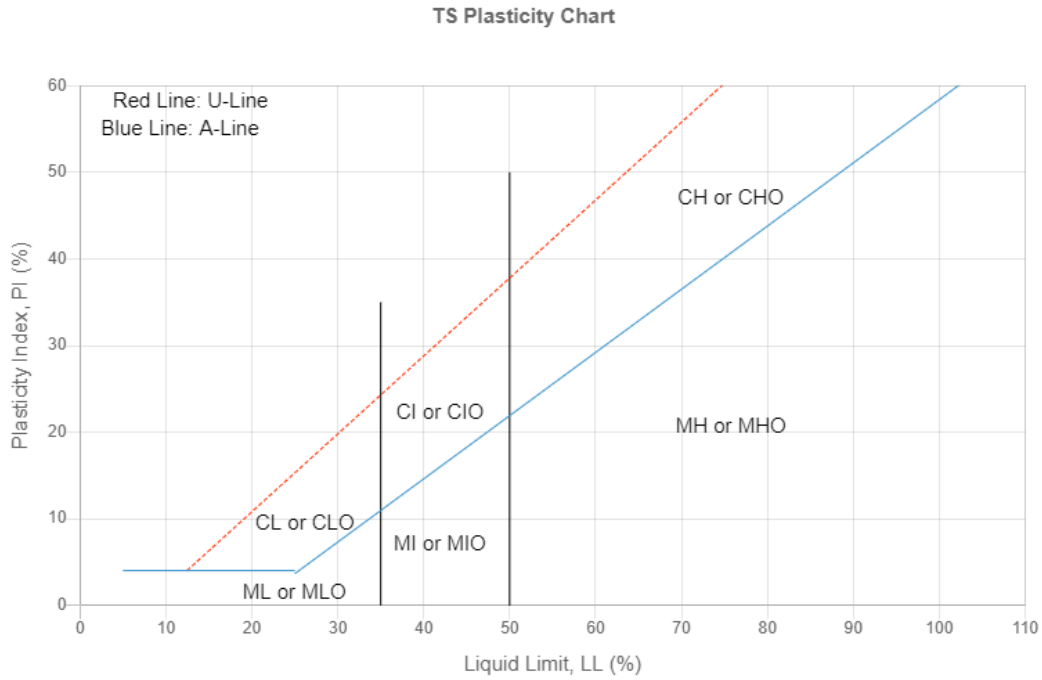


Şekil 22a.2. Casagrande likit limit deneyi vuruş sayısı-su içeriği yazılım çıktısı (İngilizce)

EK-22(b). Yazılıma ait İngilizce dil seçeneği modunda yer alan arayüz örnekleri (devam)

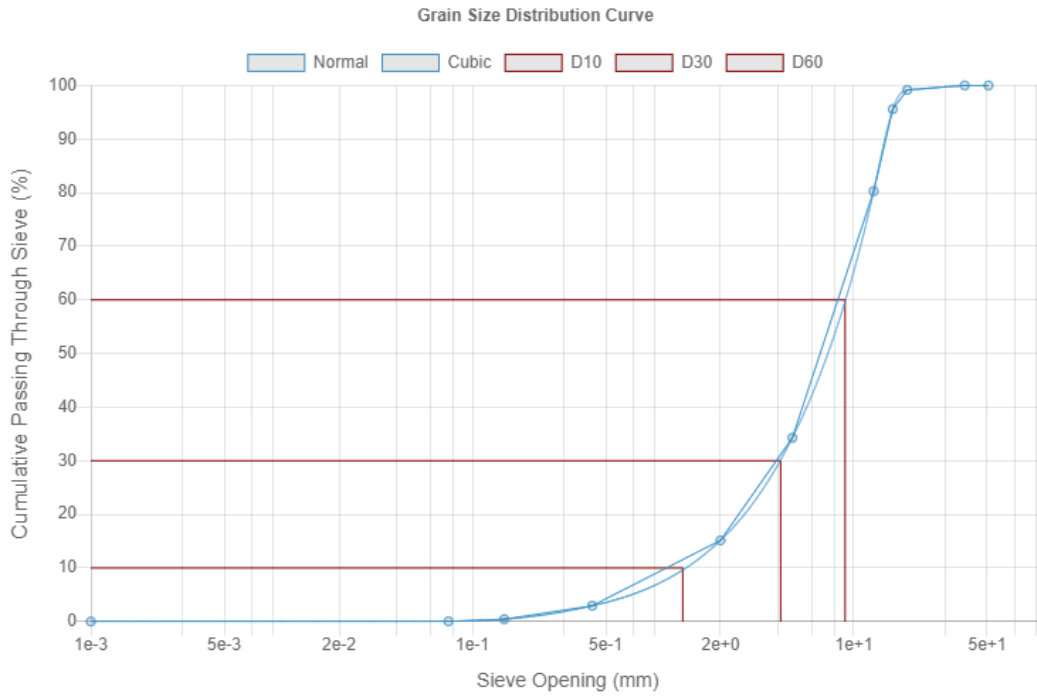


Şekil 22b.1. Koni batma likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı yazılım çıktısı (İngilizce)



Şekil 22b.2. Türk zemin sınıflandırma sistemi yazılım plastisite abağı (İngilizce)

EK-22(c). Yazılıma ait İngilizce dil seçeneği modunda yer alan arayüz örnekleri (devam)



Critical Grain Size and Coefficients				
D10 (mm)	D30 (mm)	D60 (mm)	Coefficient of Uniformity, Cu	Coefficient of Curvature, Cc
1.2675	4.1311	8.9985	7.0996	1.4963

Şekil 22c.1. Elek analizi deneyi yazılıma ait dane çapı dağılımı deney çıktısı (İngilizce)

Cone Penetrometer Liquid Limit Test Count:


Create Test Table

Cone Penetrometer Liquid Limit Test - Sample Table				
Liquid Limit Test Number	Cone Penetration (mm)	Weight of Tare (gr)	Weight of Dry Soil and Tare (gr)	Weight of Wet Soil and Tare (gr)
1	15.2	17.2	25.3	29.8
2	17.9	18.5	24.1	27.6
3	23.6	15.7	20.2	23.5
4	27.2	16.6	27.4	36.2

Şekil 22c.2. Koni batma likit limit deneyi yazılım başlangıç arayüzü (İngilizce)

EK-23. Yazılıma ait kullanıcı gösterge paneli ile panel üzerinde yer alan deneyler

Zemin Mekaniği Endeks Deneyleri
Bulut Destekli İnternet Web Uygulaması



Hoşgeldin, **Muhammet**

✉ 👤 TR

Gösterge Panelim

- Anasayfa
- Kullanıcı Bilgisi
- Birim Hacim Ağırlık Deneyi
- Su İçeriği Deneyi
- Özgül Ağırlık Deneyi
- Casagrande Likit Limit Deneyi
- Tek Noktalı Casagrande Likit Limit Deneyi
- Koni Batma Likit Limit Deneyi
- Tek Noktalı Koni Batma Likit Limit Deneyi
- Plastik Limit Deneyi
- Büzülme Limiti (Cıva) Deneyi

- Büzülme Limiti (Cihaz) Deneyi
- Lineer Rötire Limiti Deneyi
- Elek Analizi Deneyi
- Hidrometre Deneyi
- Kum Konisi Deneyi
- Sıkıştırma Deneyi
- USCS Zemin Sınıflandırması
- TÜRK Zemin Sınıflandırması
- AASHTO Zemin Sınıflandırması
- USDA Zemin Sınıflandırması
- ESCS Zemin Sınıflandırması

Şekil 23.1. Geliştirilen yazılıma ait kullanıcı gösterge paneli ile yüklü deney dizelgesi

EK-24(a). Yazılım ile bilimsel yazınlar arasında yapılan kıyaslama sonuçları

Çizelge 24a.1. Elek analizi deneyi, yazılım ile bilimsel yazınlar arasındaki sonuç kıyaslaması

Hesaplanan Değer	Yazılım	Uzuner, 2016: 106
D ₁₀ (mm)	0,06	0,0125
D ₃₀ (mm)	0,23	0,25
D ₆₀ (mm)	1,62	1,75

Hesaplanan Değer	Yazılım	Das ve Sobhan, 2017: 50
D ₁₀ (mm)	0,1	0,09
D ₃₀ (mm)	0,19	0,185
D ₆₀ (mm)	0,41	0,41

Hesaplanan Değer	Yazılım	Budhu, 2015: 16
D ₁₀ (mm)	0,11	0,1
D ₃₀ (mm)	0,17	0,18
D ₆₀ (mm)	0,44	0,45

Çizelge 24a.2. USDA (Üçgen) zemin sınıflandırma sistemi, yazılım ile bilimsel yazınlar arasındaki sonuç kıyaslaması

Kaynak	Kaynaktaki Sonuç	Yazılım
Uzuner, 2016: 109	Lemli kum	Lemli kum
Das ve Sobhan, 2017: 131 (A)	Kil lem	Kil lem
Das ve Sobhan, 2017: 131 (B)	Lem	Lem
Das ve Sobhan, 2017: 131 (C)	Kil	Kil
Das ve Sobhan, 2017: 131 (D)	Kil	Kil

Çizelge 24a.3. ESCS zemin sınıflandırma sistemi, yazılım ile bilimsel yazınlar arasındaki sonuç kıyaslaması

Kaynak	Kaynaktaki Sonuç	Yazılım
Kovačević ve diğerleri, 2018 (I)	clGr	clGr
Kovačević ve diğerleri, 2018 (II)	saCIM	saCIM

EK-24(b). Yazılım ile bilimsel yazınlar arasında yapılan kıyaslama sonuçları (devam)

Çizelge 24b.1. AASHTO zemin sınıflandırma sistemi, yazılım ile bilimsel yazınlar arasındaki sonuç kıyaslaması

Kaynak	Kaynaktaki Sonuç	Yazılım
Orhan ve diğerleri, 2004: 145 (I)	A-7-6 (11)	A-7-6 (12)
Orhan ve diğerleri, 2004: 145 (II)	A-2-6 (0)	A-2-6 (0)
Das ve Sobhan, 2017: 136	A-7-6 (42)	A-7-6 (42)
Murthy, 2002: 79	A-7-6 (24)	A-7-6 (23)

Çizelge 24b.2. USCS zemin sınıflandırma sistemi, yazılım ile bilimsel yazınlar arasındaki sonuç kıyaslaması

Kaynak	Kaynaktaki Sonuç	Yazılım
Orhan ve diğerleri, 2004: 151 (I)	SC	SC
Orhan ve diğerleri, 2004: 151 (II)	GW	GW
Uzuner, 2016: 110 (1)	GW	GW
Yılmaz ve diğerleri, 2016: 128 (A)	GP	GP
Das ve Sobhan, 2017: 142	CL	CL
Das ve Sobhan, 2017: 143	SC	SC
Das ve Sobhan, 2017: 144 (A)	SP-SC	SP-SC
Das ve Sobhan, 2017: 147	SP	SP
Murthy, 2002: 78 (A)	GW	GW
Murthy, 2002: 79	CL	CL

Çizelge 24b.3. Türk zemin sınıflandırma sistemi, yazılım ile bilimsel yazınlar arasındaki sonuç kıyaslaması

Kaynak	Kaynaktaki Sonuç	Yazılım
Bol, Özocak ve Sert, 2015 (I)	SM	SM
Bol, Özocak ve Sert, 2015 (II)	GM	GM
Bol, Özocak ve Sert, 2015 (III)	GC	GC
Bol, Özocak ve Sert, 2015 (IV)	SW-SC	SW-SC

EK-24(c). Yazılım ile bilimsel yazınlar arasında yapılan kıyaslama sonuçları (devam)

Deneyin Adı	Hesaplanan Değer	Kaynak	Değer	Kaynak	Değer	Mutlak Fark (%)
Su İçeriği Deneyi	Su İçeriği (ω)	Yazılım	38,41	Orhan ve diğerleri, 2004: 18	38,4	0,03
Su İçeriği Deneyi	Su İçeriği (ω)	Yazılım	16,66	Orhan ve diğerleri, 2004: 26	16,7	0,24
Su İçeriği Deneyi	Su İçeriği (ω)	Yazılım	17,89	Head, 2006: 72	17,89	0,00
Özgül Ağırlık Deneyi	Özgül Ağırlık (G_s)	Yazılım	2,711	Orhan ve diğerleri, 2004: 99	2,711	0,00
Casagrande Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	49,8	Orhan ve diğerleri, 2004: 38	49,4	0,81
Casagrande Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	36,43	Uzuner, 2016: 109	36	1,19
Casagrande Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	38,41	Budhu, 2015: 44	38	1,08
Casagrande Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	41,57	Das ve Sobhan, 2017: 100	39,5	5,24
Casagrande Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	49,34	Murthy, 2002: 63	50	1,32
Casagrande Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	80,83	Head, 2006: 92	81,3	0,58
Tek Noktalı Casagrande Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	40,64	Orhan ve diğerleri, 2004: 44	40,6	0,10
Tek Noktalı Casagrande Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	39,7	Das ve Sobhan, 2017: 101	39,7	0,00
Koni Batma Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	66,155	Orhan ve diğerleri, 2004: 56	66,2	0,07
Koni Batma Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	39,852	Yılmaz ve diğerleri, 2016: 51	45	11,44
Koni Batma Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	56,516	Budhu, 2015: 45	60	5,81

EK-24(d). Yazılım ile bilimsel yazınlar arasında yapılan kıyaslama sonuçları (devam)

Deneyin Adı	Hesaplanan Değer	Kaynak	Değer	Kaynak	Değer	Mutlak Fark (%)
Koni Batma Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	32,128	Das ve Sobhan, 2017: 103	32,5	1,14
Koni Batma Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	63,868	Head, 2006: 84	63,8	0,11
Tek Noktalı Koni Batma Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	41,67	Orhan ve diğerleri, 2004: 60	41,7	0,07
Tek Noktalı Koni Batma Likit Limit Deneyi	Likit Limit (ω_L)	Yazılım	31,18	Das ve Sobhan, 2017: 104	32,43	3,85
Plastik Limit Deneyi	Plastik Limit (ω_P)	Yazılım	25,65	Orhan ve diğerleri, 2004: 67	25,9	0,97
Plastik Limit Deneyi	Plastik Limit (ω_P)	Yazılım	16,01	Yılmaz ve diğerleri, 2016: 51	16,01	0,00
Plastik Limit Deneyi	Plastik Limit (ω_P)	Yazılım	26,7	Head, 2006: 84	26,7	0,00
Büzülme Limiti (Cıva Yöntemi) Deneyi	Büzülme Limiti (S_L)	Yazılım	13,968	Orhan ve diğerleri, 2004: 76	14	0,23
Büzülme Limiti (Cıva Yöntemi) Deneyi	Büzülme Limiti (S_L)	Yazılım	12,698	Budhu, 2015: 47	12,1	4,94
Büzülme Limiti (Cıva Yöntemi) Deneyi	Büzülme Limiti (S_L)	Yazılım	17,276	Das ve Sobhan, 2017: 112	17,28	0,02
Büzülme Limiti (Cıva Yöntemi) Deneyi	Büzülme Limiti (S_L)	Yazılım	10,248	Murthy, 2002: 66	10,2	0,47
Büzülme Limiti (Cıva Yöntemi) Deneyi	Büzülme Limiti (S_L)	Yazılım	14,363	Head, 2006: 105	14,4	0,26
Büzülme Limiti (Cihaz Yöntemi) Deneyi	Büzülme Limiti (S_L)	Yazılım	17,52	Orhan ve diğerleri, 2004: 85	17,5	0,11
Büzülme Limiti (Cihaz Yöntemi) Deneyi	Büzülme Limiti (S_L)	Yazılım	17,192	Head, 2006: 101	17,3	0,62
Lineer Rötire Limiti Deneyi	Lineer Rötire Limiti (%)	Yazılım	8,51	Yılmaz ve diğerleri, 2016: 51	8,51	0,00
Hidrometre Deneyi	En Büyük Dane Çapı (D_{max})	Yazılım	0,0395	Orhan ve diğerleri, 2004: 120	0,0398	0,75
Sıkıştırma (Kompaksiyon) Deneyi	Max Kuru BHA (γ_k)	Yazılım	1,46	Yılmaz ve diğerleri, 2016: 79	1,425	2,46
Sıkıştırma (Kompaksiyon) Deneyi	Max Kuru BHA (γ_k)	Yazılım	1,89	Yılmaz ve diğerleri, 2016: 167	1,91	1,05

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : DİNGİL, Muhammet
 Uyruğu : T.C.
 Doğum Tarihi ve Yeri : 06.09.1991 / ALMANYA
 Medeni Hali : Evli
 Telefon : +90 (539) 409 88 44
 E-Posta : muhammetdingil@gmail.com
 : muhammetdingil.mfbe17@iste.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	Devam ediyor
Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	2017
Lise	İstiklal Makzume Anadolu Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-Halen	Utamar Apps.	Yazılım Geliştirme Uzmanı

Yabancı Diller

İngilizce, Almanca

Yazılım Dilleri

Xamarin, ASP.NET Core, WPF, ML.NET, C#, SQL, JavaScript, XAML, HTML, MATLAB

Yayınlar

Dingil, M., Örnek, M. & Türedi, Y. (2019). *Laboratuvar Deneyleri İçin Yazılım Önerisi: Kıvam Limitleri ve Elek Analizi Örnekleri*, Tam Metin Bildiri, 8. Uluslararası Geoteknik Sempozyumu, 13- 15 Kasım 2019.



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

