

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FERROKROM CÜRUFUNUN KARAYOLU ALT
DOLGULARINDA KULLANILABİLİRLİK PERFORMANSI
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sedar YILDIRIM

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi İsa VURAL

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FERROKROM CÜRUFUNUN KARAYOLU ALT
DOLGULARINDA KULLANILABİLİRLİK PERFORMANSI
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sedar YILDIRIM

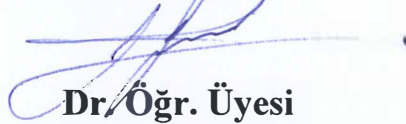
Enstitü Anabilim Dalı

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

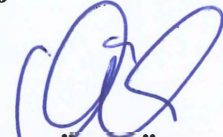
Bu tez 30/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Metin İPEK
Jüri Başkanı



Dr. Öğr. Üyesi
İsa VURAL
Üye



Dr. Öğr. Üyesi
Günay BEYHAN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Sedar YILDIRIM

07/05/201

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi İsa VURAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Yüzüncü Yıl Üniversitesi Jeoloji Bölümü öğretim üyeleri Doç. Dr. Levent SELÇUK, Doç. Dr. Ali ÖZVAN'a ve bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet TÜRKMENOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Yüksel AKINAY'a teşekkür ederim.

Modifiye Proctor ve CBR deneylerinin yapılması için imkan sağlayan Karayolları 11. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederim. Deneyler esnasında her türlü imkanı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen AR-GE baş mühendisi Murat KAÇMAZ ve ekibine teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans öğrenimi boyunca her konuda desteğini ve anlayışını esirgemeyen eşime ve oğluma şükranlarını sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KARAYOLU	3
2.1. Karayolu Tarihçesi	4
2.2. Ülkemizde Karayolu	6
2.3. 1950'den Günümüz Kadar Olan Dönem.....	9
2.5. Günümüzde Karayolu Yapımı.....	12
BÖLÜM 3.	
ZEMİN ISLAHI	17
3.1. Zemin Islah Yöntemleri.....	22
3.2.1. Kireç ile stabilizasyon	22
3.2.2. Çimento ile stabilizasyon.....	26
3.2.3. Bitüm ile stabilizasyon.....	28
3.2.4. Uçucu kül ile stabilizasyon.....	29

3.2.4. Cüruf ile stabilizasyon.....	30
-------------------------------------	----

BÖLÜM 4.

MATERYAL	33
4.1. Kaolin Kil.....	23
4.2. Ferrokrom(FeCr) Cürufu.....	35
4.2.1. Ferrokrom fabrikası.....	39
4.2.1. Ferrokrom ihracatı.....	40
4.3. Portland Çimentosu.....	42

BÖLÜM 5.

DENEYLER.....	43
5.1. Piknometre Deneyi.....	43
5.1.1. Cihazlar.....	43
5.1.2. Deneyin yapılışı.....	44
5.1.3. Hesaplar.....	45
5.2. Hidrometre Deneyi.....	45
5.2.1. Cihazlar.....	46
5.2.2. Deneyin yapılışı.....	46
5.2.3. Hesaplar.....	47
5.3. Islak Elek Analizi Deneyi.....	48
5.3.1. Cihazlar.....	49
5.3.2. Deneyin yapılışı.....	49
5.3.3. Hesaplar.....	50
5.4. Atterberg(Kıvam) Limitleri.....	50
5.4.1. Deney numunesinin hazırlanması.....	51
5.4.2. Likit limit deneyi.....	51
5.4.3. Plastik limit deneyi.....	52
5.4.4. Plastisite indisi(PI)	53
5.5. Modifiye Proctor Deneyi(Yüksek Enerjili Kompaksiyon)	53
5.5.1. Cihazlar.....	54
5.5.2. Numunelerin deneye hazırlanması.....	55
5.5.3. Deneyin yapılışı.....	55

5.3.4. Hesaplar.....	58
5.6. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR)	60
5.6.1. Cihazlar.....	61
5.6.2. Numunelerin deneye hazırlanması.....	62
5.6.3. Deneyin yapılışı.....	63
5.6.4. Hesaplar.....	64
BÖLÜM 6.	
DENEY SONUÇLARI.....	66
6.1. Piknometre Deneyi Sonuçları.....	66
6.2. Hidrometre ve Yıkamalı Elek Analizi Deneyi sonuçları.....	66
6.3. Atterberg Limitleri.....	67
6.4. Modifiye Proctor Deneyi(Yüksek Enerjili Kompaksiyon)	68
6.5. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR)	70
BÖLÜM 7.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR	75
EKLER	78
ÖZGEÇMİŞ	125

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
CBR	: The california bearing ratio/kaliforniya taşıma oranı
CL	: Orta plastisiteli kil
FeCr	: Ferrokrom
GP	: Kötü derecelenmiş çakıl
Gs	: Özgül ağırlık
HCFeCr	: Yüksek karbonlu ferrokrom
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KTŞ	: Karayolları teknik şartnamesi
LL	: Likit limit
MH	: Yüksek plastisiteli silt
ML	: Düşük plastisiteli silt
MÖ	: Milattan önce
PCA	: Portland Çimento Birliği
PI	: Plastisite indisi
PL	: Plastik limit
SEM	: Scanning Electron Microscope/Taramalı Elektron Mikroskopu
SP	: Kötü derecelenmiş kum
SW	: İyi derecelenmiş kum
w	: Su muhtevası
WL	: Likit limit
YSE	: Yol Su Elektrik
XRD	: X Ray Diffraction/X Işınları Kırınımı
XRF	: X-Işını Floresans

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Tipik Esnek Üstyapı Enkesiti (Umar & Açar, 1985).....	13
Şekil 3.1: Islah yöntemlerinin uygulanabilirliği (Önalp, 1983).	20
Şekil 3.2: Zemin Parametrelerinin Kireç Oranı İle Değişimi (Das, 2007).....	26
Şekil 3.3: Yeni Dolgu ve Çimento Stabilizasyonu Karşılaştırması (Çetin, 2011).	28
Şekil 3.4: Demir Çelik Üretim Prosesi (Dündar, 2006).....	31
Şekil 4.1: Türkiye Kaolen Yatakları Haritası (www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-yataklari).	34
Şekil 4.2: FeCr Cürufu Kimyasal Bileşimi Grafik Gösterimi.....	35
Şekil 4.3: Türkiye Krom Yatakları (www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-yataklari).	36
Şekil 4.4: FeCr cürufu çelik potalardan alınırken (Yılmaz, 2002).....	37
Şekil 4.5: Ferrokrom Üretim Isıl İşlem Prosesi (Çetin, 2011).	39
Şekil 4.6: Elektrik ark fırını cürufu basitleştirilmiş üretim seması (Yılmaz, 2002).....	41
Şekil 4.7: Çimento Hamurundaki Ana bileşenlerin Gösterdiği Dayanım Artışı (Erdoğan, 2003).	42
Şekil 5.1: Piknometre vakum işlemi.	45
Şekil 5.2: Su banyosu içerisindeki cam mezür.	47
Şekil 5.3: Menisküs Oluşması (Orhan Mehmet, Özer, & Işık, 2013).	48
Şekil 5.4: Yıkamalı Elek analizi aşamaları.	49
Şekil 5.5: Likit Limit Deney Aşamaları.....	52
Şekil 5.6: Karışımların hazırlanması numunelerin hava almayacak şekilde bekletilmesi(minimum 16 saat) (TS 1900-1, 2006).	55
Şekil 5.7: Otomatik Modifiye Proctor Cihazı ve kompaksiyon deney aşamaları.	58
Şekil 5.8: Doygunluk Çizgileri (Gündüz, 2015).	59
Şekil 5.9: Enerjinin kompaksiyona etkisi (Gündüz, 2015).	60

Şekil 5.10: CBR Ölçüm cihazı(Geocomp LoadTrac II marka ve model).....	62
Şekil 5.11: Karışımların hazırlanması ve zeminin hava almayacak şekilde bekletilmesi(minimum 24 saat) (TS 1900-2, 2006).....	62
Şekil 5.12: CBR deneyi 1. aşaması sıkıştırma ve kür işlemleri	64
Şekil 5.13: CBR deneyini 2. Aşaması test ve test sonucu numunelerin durumu.	64
Şekil 6.1: FeCr cürufu dane dağılım eğrisi.	67
Şekil 6.2: Likit limit deneyi.	68
Şekil 6.3: Plastisite Kartı.....	68
Şekil 6.4: Tüm Karışımlara ait kompaksiyon eğrileri.....	69
Şekil 6.5. 28 günlük kür sonucu CBR testi yapılan 1(sol) ve 7(sağ) nolu karışımlar.	71

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1: Stabilizasyon Metodları (Tunç, 2002).	22
Tablo 3.2: Zemin Tiplerine Göre Optimum Çimento Oranları (Das, 2007)	27
Tablo 4.1: FeCr Cürufu Kimyasal Bileşimi.	35
Tablo 5.1: Deneyde kullanılan karışımlar ve oranları.....	54
Tablo 5.2: Modifiye Proctor deneyi için kullanılması gereken kalıp ve eleklerin seçim kuralları (TS 1900-1, 2006).	56
Tablo 5.3: Kırmataş için standart değerler (Gündüz, 2015).....	65
Tablo 6.1: Piknometre deney sonuçları.....	66
Tablo 6.2: Kompaksiyon deney sonuçları.....	69
Tablo 6.3: CBR deneyi sonuçları.....	70

FERROKROM CÜRUFUNUN KARAYOLU ALT DOLGULARINDA KULLANILABİLİRLİK PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Sanayi sektöründeki gelişmeler ve ilerlemeler üretimle beraber atık madde gerçeğini de karşımıza çıkarmaktadır. Hiçbir şeyin yoktan var olmadığı ve her şeyin bir değişim ve dönüşüm içinde olduğu dünyamızda, atık maddelerin değerlendirilmesi kuşkusuz ki çok önemli ve değerlidir. Atıkların bertaraf edilmesi son seçenek olarak dururken değişik üretim süreçlerinde geri kazanılması daha ekonomik ve uygundur. Endüstriyel atık olarak çıkan cüruflar ve benzeri diğer atıkların kullanım alanlarının başında kütleli olarak büyük miktarda malzemeye ihtiyaç duyan karayolu inşaatları gelmektedir.

Yapılan çalışmada yüksek karbonlu ferrokrom üretilen Elazığ Ferrokrom Fabrikası atıklarından biri olan ferrokrom cüruflarının yumuşak killi zeminlerde zemin stabilitesine etkisi araştırılmıştır. Ferrokrom cürufunun çevreyi kirletici etkisi olduğu ve bu kirleticilerin çimento ile bağlandığı bilinmektedir. Ferrokrom cürufunun çevreyi kirletici etkilerini önlemek ve puzolonik özelliğinden dolayı bağlayıcı olarak portland çimentosu kullanılmıştır.

Çalışmada tabii zemin numunesi kaolin kiline ağırlıkça %0, %5, 10, %15, %20 ve %25 oranında FeCr cürufu karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Kaolinin indeks özellikleri tespit edildikten sonra karışımlar üzerinde kompaksiyon deneyleri yapılarak karışımların optimum su muhtevsındaki kuru birim hacim ağırlıkları bulunmuştur. Karışım oranlarına elde edilen su muhtevsında sıkıştırılan numuneler 1, 7 ve 28 günlük kürlere bırakılmıştır. Kür sürelerini tamamlayan numuneler üzerinde CBR deneyleri yapılarak taşıma gücü oranlarındaki değişim bulunmuştur. Sonuç olarak taşıma gücü oranı yetersiz olan zeminin taşıma gücünde yüksek bir oran elde edilmiştir. Bağlayıcı ile kullanılan ferrokrom cürufunun yüksek CBR değerine sahip olması sebebiyle stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca çimentonun puzolonik özelliğinden dolayı taşıma kapasitesinin zamanla daha da artacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Ferrokrom, zemin iyileştirme, karayolu, kompaksiyon, CBR

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF FERROCHROME SLAGS ON USABILITY PERFORMANCE IN HIGHWAY LOWER FILLER

SUMMARY

Together with production, rapid advances in industry and technology bring out the reality of waste. In this study, the utilization of the waste Ferrochrome slag of Elaziğ Ferrochrome Plant, which is producing high carbon ferrochrome, in ground improvement was investigated. Road constructions are one of the main areas where waste materials can be used massively. Roads that make up the transportation network of people are constructions that have a limited possibility of changing their routes. For this reason, it is one of the priorities to make the engineering properties more stable and increase the carrying capacities by improving the poor ground encountered in the route. For this purpose, the carrying rates of ground have been determined by improving ground in laboratory with FeCr slags. Compaction experiments were made by using Kaolin, FeCr and Portland cement as binder; and CBR experiments were started by finding dry unit volume weights in optimum water content. CBR values of 1, 7 and 28 days of the mixtures were measured. In the mixtures, the cement rate was 0 % for reference and 5% at fixed rate, FeCr 0% for reference and between 5% -25 % and kaolin was selected within a range of 70 % - 100 %. When the CBR values of the mixtures were examined, it was seen that a high rate of carrying capacity was obtained as a result of improvement. It has been determined that ferrochrome slags, used with the binder because of its high CBR value, can be used as a stabilization material. In addition, due to the pozzolanic nature of the cement, it is thought that the carrying capacity will increase with time.

Keywords: Ferrochrome slag, Ground mechanics, Improving ground, compaction, CBR

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Zemin, üzerinde yaşadığımız ve yaşamamız için gerekli olan her türlü barınma, sağlık, ulaşım, enerji vb. gibi tesislerin gerek üzerine gerekse içerine tesis edildiği kara parçasını ifade eder. Zemin değişik çap ve ebatlardaki danelerin değişik şekillerde dizilmesiyle meydana gelmektedir. Bu dizilimler beraberinde boşluklu bir yapı ve bu boşluklarda kısmen ya da tamamen yer alan su ile bütünleşerek zemin profilini oluştururlar.

Zeminler karmaşık bir yapıya sahiptirler. Bu durum zeminlerin bir takım fiziksel özelliklerini ön plana çıkarmaktadır. Zeminler için en önemli hususların başında taşıma gücü ve oturma kapasiteleri gelmektedir. Bunun yanında zeminlerin şişme potansiyelleri, geçirgenlikleri, don dayanımları, sıvılaşma potansiyeli, deprem yükleri altındaki davranışları gibi kıstaslarda zeminlerin diğer önemli kriterleridir. Üzerinde veya içerisinde yapılarak zeminle etkileşimi kaçınılmaz olan yapılar projelendirilip hayata geçirilirken zeminlerin başta fiziki özellikleri olmak üzere her türlü özelliği göz önüne alınması olmazsa olmaz koşuldur.

Zeminle en çok etkileşim halinde olan yapıların başında karayolu gelmektedir. Ulaşım ağının en büyük yapısı olan karayollarının en temel önceliği yol güzergâhının geçtiği arazinin yapısıdır. Arazinin geoteknik yapısı iyi irdelenip zemin iyi etüt edilmelidir. Karayolu güzergâhlarını değiştirme imkanı pek mümkün olmadığından buralarda karşılaşılan problemliler zeminler yol yapımı için engel teşkil etmektedir. Karayolu inşaatında karşılaşılan problemlerin başında zeminlerin taşıma gücü yetersizliği, aşırı oturma miktarı ve yüksek şişme potansiyeli gelmektedir. Yol aksı altında kalacak olan bu gibi problemliler zeminlerin çözümünde bozuk kesimlerin kaldırılıp yerine kaya dolgu yapılması yöntemi tercih edilmektedir. Fakat problemliler zemin kesitinin üç metreden fazla olduğu yerlerde bu çözüm ekonomik

olmamaktadır. Bu kesimlerde çeşitli uygulamalarla zemin ıslah yöntemleri önem kazanmaktadır.

Zeminlerin ıslah edilmesinin çeşitli yöntemleri olmakla beraber bunlardan biride işletmelere yük olan ve çevre kirliliği yaratan endüstriyel atıkların değerlendirilmesi noktasında da önem arz eden zemine cüruf ilave edilerek gerçekleştirilen cüruf ile ıslah yöntemidir.

Bu çalışmada yüksek karbonlu ferrokrom üretimi yapan Elazığ Ferrokrom Fabrikası cürufları kullanılmıştır.

Çalışmada ağırlıkça %5 çimento oranı sabit tutularak FeCr cürufu %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında ilave edilip karışımlar oluşturulmuştur. Oluşturulan karışımlar üzerinde ağır kompaksiyon ve CBR deneyleri yapılarak sonuçlar irdelenmiştir.

BÖLÜM 2. KARAYOLU

Ulaşım terimi kısaca “yarar sağlamak amacıyla insanların ve eşyaların yer değiştirmesi” olarak tanımlanacak olursa ulaşım yapısının hızlı, emniyetli, konforlu, elverişli (ekonomik, çevreye uyumlu, talebe cevap verme, vb.) ulaşım yapılarının tümü, planlama, tasarım, uygulama, değerlendirme olmak üzere dört farklı süreçte ele alınmaktadır (Tunç, Esnek Kaplama Malzemeleri, 2004).

Ulaşım olgusu toplumların ve insanların ayakta kalıp gelişmesini direk etkilerken bu olgunun nitelikli olarak hizmet verebiliyor olması insanoğluna evrimsel anlamda toplumları değiştirmede büyük ivmeler kazandıracaktır. Büyük atılımların gerçekleşmesi, insanların beyinlerinde tutsaklıklar oluşturan toplumsal normların ve tabuların değişmesi ancak diğer topluluklarla ilişki kurarak gerçekleşebilir. Topluluklar arasındaki bu ilişki ise ulaşım yoluyla gerçekleşmektedir. Ulaşımın kalitesi ne kadar iyiyse etkileşim o kadar çabuk ve devamlı olacaktır (Gökdağ, 1999). Günümüz dünyasında insanoğlu bir yerden başka bir yere giderken veya eşyalarını bir yerden başka bir yere nakledeırken çeşitli ulaşım araçları kullanırlar. Bunlar karayolunda, demir yolunda, havada ve denizde seyreden araçlardır. İnsanlar uzak mesafelere giderken zaman ve konfor açısından hava yolunu, büyük hacimli uluslararası lojistik hizmetlerinde deniz yolunu tercih ederken şehir içi ulaşım, şehirlerarası nakliye vb. gibi hayatın geri kalan kısmındaki ulaşımın neredeyse tamamını karayolu üzerinden gerçekleştirmektedirler. Demir yolu da şehirlerarası yük taşımada kısmen de olsa etkilidir. Metropollerde raylı sistemler olarak toplu taşımının yükünü hafifletmektedir.

Karayolu belirli bir aks üzerinde, ilgili standart, şartname, normlara uygun olarak geometrisi teşkil edilen, geçeceği aks üzerindeki tabii zeminin istenilen yüksekliğe getirilmesi, dağ, ırmak, ova, vadi, gibi coğrafi oluşumların gerekli olan sanat yapıları(tünel, köprü, viyadük vb.) inşa edilmek suretiyle geçildiği üzerinde kara

araçlarının hızlı, emniyetli ve konforlu bir şekilde hareket etmesi amacıyla en ekonomik ve maksimum faydayı sağlayacak biçimde inşa edilen yapıların tümü olarak tarif edilebilir.

2.1. Karayolu Tarihçesi

Dünya tarihinde ilk yollar hayvanların otlaklar arasında gidip gelirken bıraktıkları izler olmakla beraber insanların yiyecek toplama avlanma gibi yaşamını idame ettirme gereklilikleri keçiyolu olarak da adlandırılan patikaları oluşturmuştur. Tekerleğin bulunmasıyla beraber bu yollar daha da sağlam bir yapıya kavuşturularak geniş yollar haline getirilmiştir.

Uygarlık tarihinde ilk yollar ticaret ve ülke sınırlarının kontrolü için milattan önceki yıllarda yapılmıştır. Bu yollardan en bilineni Çin'den başlayarak Anadolu ve Akdeniz üzerinden Avrupa'ya kadar uzanan ve dünyaca ünlü ticaret yolu olan İpek Yoludur. Yol yapımı günden güne ilerleme kaydederken modern yol teknolojisi ile tanışma 18.yy da Fransızlar ile olmuş bunu 20. yy da Amerika ve diğer Avrupa devletleri takip etmiştir.

Yapmış oldukları yapılardaki mühendislik tekniklerinden söz ettirerek tarihteki yerini alan Romalılar karayolu yapımında da adından söz ettirmişlerdir.

Romalıların yaptırdığı yolların mühendisliği konusunda yazılı belgeler mevcuttur. Açıklamalar mevcuttur ve arkeologların kazılar sonucu ortaya çıkardıkları yolların bazı bölümleri bugüne değin hiç bozulmadan kalmışlardır. Yapımına MÖ 312'de başlanan ve Brindisi'yi Roma'ya bağlayan Appian Yolu böyle bir örnektir. Çift yönlü ara şeritli 4,5m genişliğindeki bu yol, beş kat döşenmiş ve su basmasını engellemek için üç ayrı yöntem kullanılmıştır: toprak düzeyinden yüksek yapılmıştır; ortası kavislidir; iki yanına da hendekler kazılmıştır. Kaplama olarak çakıllı kum üzerine (Güney İtalya'da bol bulunan) lav taşı kullanılıyordu. Roma yollarının çoğunda temel için kullanılan büyük taşlar, kireçli harç ya da pozzuloana(doğal volkanik çimento) ile karıştırılır ve bu bir çeşit beton oluştururdu. Roma yollarının yüzeyleri yerel malzemeye ve bu malzemenin sağlanma kolaylığına göre değişirdi (İnsan ve Makinalar, 1976).

İyi bir mühendislik uygulaması ile ekonomik açıdan maliyeti yüksek olmayan ilk yolları Pierre Tresaguet (1716-96) tasarlamış ve yapmıştır. Tresaguet'e göre dayanıklı bir yolun iki koşulu vardır sağlam bir altyapı ve dayanıklı bir kaplama (İnsan ve Makinalar, 1976).

Fransızların başlattıkları bu akım, çok geçmeden Avrupa'nın her yerinde izleyiciler buldu ve gelişmiş yol dizaynı konusunda iki İngiliz mühendisin adı sık sık anılmaya başlandı. Bir duvarcı ustası olan Thomas Telford (1757-1834), Tresaguet'inkine benzeyen yollar yaptı. Telford'un kullandığı kaplama pahalıydı ve verimi düşürmeden maliyeti azaltmayı John McAdam (1756-1836) adlı İskoçyalı başardı. McAdam trafiğin yükünü toprağın taşıdığı ve sıkıştırılmış toprağın kuru kaldığı sürece her tür yükü taşıyabileceği sonucuna vardı. McAdam yolu, su birikintisini önlemek için ortası kavisli yapılmıştı ve çelik kaplı tekerleklerle ufalanıp silindirlenerek su geçirmez bir yüzey oluşturan küçük taş parçaları ile döşenmişti. McAdam kaplaması lastik tekerleğin bulunmasına değin işlevini sürdürdü. Lastik tekerlek, ufalanmış taşlardan oluşan yüzeyi sıkıştırmıyor, tersine büyük taşların arasındaki ince malzemeyi süpürerek yüzeyi parçalıyordu. Bir yapıştırıcı gerekiyordu ve sorun katran ile çözüme bağlandı. Yeni yüzeyin adı, asfalttı (İnsan ve Makinalar, 1976).

Thomas Telford (1757-1834) 1826'da Shrewsbury ile Holyhead'ı birbirine bağlayan yolu bitirmiştir. Yolun mevcudunda bulunan virajlı yapı, iniş ve çıkışlar gibi sürüş konforunu olumsuz yönde etkileyen kısımları minimize etmiştir. Ayrıca olağanüstü drenaj sistemini kazandırmıştır. Kendi zaman zarfında yol yapım hususunda kilometre taşı olup bugün bile A5 yolunun bir parçası olarak işlev görmektedir.

Hız yapabilen motorlu araçların kullanacağı yollar 21.yy ilk çeyreğinden hemen önce 1920'ler gibi inşa edilmeye başlanmıştır. II. Dünya Savaşı sırasında yolun savaş ve hareket için önemini kavrayan Hitler bir palan dahilinde yol yapımına ağırlık vermiştir. Frankfurt ile Darmstadt kentlerini birbirine bağlayan aotubahn yapılmıştır.

2.2. Ülkemizde Karayolu

Geçmişten günümüze tüm uygarlıkların ortak noktası milli ve bağımsız bir şekilde ayakta kalabilmektir. Bunun için de ekonomik bağımsızlık ve ülke güvenliği vatandaşların huzur ve refahı olmazsa olmazlardan biridir.

Uluslar bağımsızlıklarını korumak, halkın refah seviyesini arttırmak, vatandaşlarının daha huzurlu bir toplumda güvenli bir şekilde yaşamasını sağlamakla mükelleftir. Ayrıca vatandaşlarının hayatını idame ettirmesini sağlamak için her türlü güvenlik, barınma, sağlık, eğitim, ulaşım gibi hizmetleri sunmak ve adaleti tesis etmek zorundadırlar. Bu durum başta ülkemiz olmak üzere birçok ülke tarafından da yasalarla güvence altına alınmıştır.

Devletlerin kanunlarla güvence altına aldıkları hakların başında gelen ulaşım ve güvenlik insanoğlunun dünyaya geldiği günden beri hayatının bir parçası olmuştur. Devleti yöneten iradenin ilk önceliği ulaşım ağları örerek vatan topraklarının her noktasına ulaşımı sağlamaktır. Bu ulaşım ağları ile hem asayiş hem de vatandaşların seyahat edebilmesini sağlanmış olacak ve insanların iletişimi, etkileşimi artacaktır. Ayrıca ticari hayatta bu ağlarla her yere ulaşım ekonomik kalkınma sağlanacaktır.

Anadolu coğrafyası İpekyolu, Baharat Yolu gibi önemli ticaret yollarına sahip olmakla beraber birçok uygarlığa, beyliğe de ev sahipliği yapmıştır. Anadolu da farklı zamanlarda söz sahibi olan gerek Selçuklu Hükümdarlığı gerekse Osmanlı İmparatorluğu ve bu yollar üzerinde kurulan beylikler bu ticaret yollarının sosyal ve kültürel etkileşimin yanında ekonomiye katkısını göz önüne alarak yolu kullanan tüccarların güvenlik, konaklama, vb. ihtiyaçlarının karşılanması için hanlar, kervansaraylar köprüler, geçitler gibi yapılar inşa etmişlerdir.

Anadolu'da tarih boyunca değişik medeniyetler tarafından ulaşım ağını iyileştirme amaçlı bazı çalışmalar yapılmıştır. Bizans ve öncesinde genelde savaş ve ticari amaçlarla ulaşım ağı geliştirilmiştir. Bu durum Anadolu Selçuklu döneminde de devam etmiştir. Özellikle bu dönemde ticari amaçlı yapılara ulaşımı kolaylaştırmak için yol yapım çalışmaları yapılmış ancak bu çalışmalar kentsel yerleşim birimleri dışına çıkamamıştır (Afetinan, 1989).

Osmanlı İmparatorluğu Anadolu Selçukluların açtığı yolları uzun bir süre kullanmışlardır. Her devlette olduğu gibi Osmanlılarda da yola başta ülke güvenliği ve ticari faaliyetler için ihtiyaç duymuşlardır. Yeni yol yapmaktan ziyade mevcut yolları iyileştirmeyi tercih etmişlerdir.

İmparatorluğun son dönemlerinde yaşanan ekonomik olumsuzluklar, savaşların uzun sürmesi, bazı savaşların kaybedilmesi birinci dünya savaşında ülkenin savaş alanına dönmesi yolların bozulmasına birçoğunun kullanılmaz hale gelmesine neden olmuştur.

Birinci dünya savaşı neticesinde ülke sömürgeci devletler tarafından kendi araların da pay edilerek paylaşılmıştır. Bu durumu kabullenemeyen halk yaşadığı yerlerde işgalcilere karşı çeşitli milis güçler oluşturarak direnişe başlamıştır. Ayrıca çeşitli cemiyetlerde kurularak manda ve himayeye karşı çıkılarak halk örgütlenmiştir. Atatürk ve silah arkadaşları tarafından kurtuluş savaşı mücadelesi başlamış halkın can siparane mücadelesi ile bu savaş zafer ile taçlanmıştır.

Kurtuluş savaşı kazanıldıktan sonra ülkede cumhuriyet ilan edilmiş ve yeni kadrolar savaştan çıkan yoksul, varını yoğunu savaşa adanmış halk için kolları sıvamıştır. “Bağımsız ve Milli” devlet ilkesiyle çalışmalarına başlamışlardır. Mustafa Kemal çağdaş uygarlık seviyesine yükselip modern ülkelerle rekabet edebilmenin ön koşulu sağlam ve güvenli bir ulaşım ağı olduğunun bilincindedir.

Yeni kurulan devletin Osmanlılardan devraldığı yaklaşık 18000 km yolun sadece çok az bir kısmı, 400 km’si iyi durumdadır. Cumhuriyetin ilk yıllarında kurucular önceliği demiryollarına vermiştir ve bu durum ikinci dünya savaşına kadar sürmüştür savaştan sonra diğer dünya ülkeleri gibi ağırlık karayoluna verilmiştir.

Ülkede sanayi adına bir şey olmaması ve insanların tarımla uğraşması nedeniyle yönetici kadro ilk önceliği tarım ve ulaştırmaya vermiştir. Ulaşımında en büyük pay demiryolu ağına ayrılıştı. Karayollarının ve alt yapı çalışmalarının gelişimi ise yolun demiryoluna ve limana yakınlık derecesine bağlıydı (İnce, 2012).

Cumhuriyetin ilk 15 yıllık döneminde bütçeden karayollarına ayrılan pay çok azdır. Bu dönemde ulaşımında denizyolu ve demir yolu öncelikli olduğu için yol yapımı

sırasında da gene ağırlık limanlara ve demir yollarına yakın olan yerlere verilmiştir. Daha içerilerde kalan kırsal bölgelerin yolları ise liman bölgelerine göre daha kötüdür. İstisna olarak 1925-26 yıllarında bütçedeki pay arttırılarak buralarda da yol çalışmaları yapılmıştır.

KGM verileri incelendiğinde cumhuriyetin ilanından 1938 yılına kadar sırasıyla kronolojik olarak aşağıdaki gelişmeler yaşanmıştır.

- 1925 Yol Mükellefiyeti Kanunu
- 1929 1525 sayılı Şose ve Köprüler Kanunu
- 1935 Şose ve Köprüler Reisliği'nin kuruluşu
- 1937 Karayolu ağı programı(22000km ve 1. Öncelikli)

Kurtuluş savaşı yıllarında ülke ekonomik olarak yıpranmıştır. Bu durum halka sunulması gereken hizmetlerde ister istemez aksaklıklara sebep olmuştur bundan yol inşaatları da payına düşeni almıştır. Bunu aşabilmek için bir takım uygulamalar yapılmıştır. Bu amaçla 1921'de "Tarik Bedeli Nakdisi" kanunu çıkarılmıştır.

1925 yılına gelindiğinde "Tarik Bedeli Nakdisi" adlı kanunu yetersiz kalmaya başlamıştır. Bu eksiklik nedeniyle aynı yıl çıkarılan "Yol Mükellefiyeti Kanunu" çıkarılmıştır. Bu kanun adından da anlaşılacak üzere vatandaşlara bir takım mükellefiyetler getirmekteydi. Bu mükellefiyet; yaşı 18-60 arasındaki erkek nüfusun yol inşaatında çalışması idi. İl Genel Meclisi tarafından belirlenecek çalışma takvimi çerçevesinde 6-12 gün çalışılacaktı. Çalışanlar ikamet ettikleri yerden en fazla sekiz saat uzaklıktaki yollarda çalışacaklardı. Gene aynı kanunla il meclislerine o ilde yapılacak olan yolların önemlerine göre 5 yıllık bir program hazırlama görevi veriliyordu.

1929 yılına gelindiğinde "Şose ve Köprüler Kanunu" hayata geçirilmiştir. Bu kanun ile yollar sınıflandırılarak milli şoseler ve il yolları ayrı ayrı ele alınması hedeflenmiştir. Ayrıca milli şoselerin programlanıp yapılması merkezi idareye il yollarının 3 er yıllık programlarının hazırlanıp bayındırlık bakanlığına onaylatılması hususu getirilmiştir.

Gene KGM bilgilerinden anlaşıldığı üzere 1945 yılında; asfalt, parke, kırmataş şose, tesviye ve arabayolu olarak sınıflandırılan yaklaşık 40-45 bin km yolun yarısının on

beş yılda geçilir hale getirilmesine ve iyi halde tutulmasına, devlet yolları dışındaki yolların ise illerin sorumluluğunda olmasına karar verilmiştir. Bu büyük ölçekli yol yapım hedefinin tutturulması için makine parkının genişletilmesi öngörülmüş ve bu maksatla yaklaşık 1600 kadar makine alımı gerçekleştirilmiştir.

1946'da Şose ve Köprüler Reisliğine bağlı 4. Bölge Müdürlüğünün sayısı 10'a çıkarılmıştır. Makineli dönemin başlamasıyla geçit yollarına öncelikli ağırlık verilmiştir (Karayolları Genel Müdürlüğü, Dün, bugün, yarın, 2014).

1950 yılında "Karayolları Genel Müdürlüğü" kurulup ve ülke genelindeki tüm yol faaliyetleri çalışmalarına başlanılmıştır.

2.3. 1950'den Günümüze Kadar Olan Dönem

İkinci dünya savaşı sonunda ağır askeri ekonomik kayıplar veren Avrupa devletlerinin yanında karlı çıkan iki devletten biri Sovyetler Birliği diğeri ise ABD idi. Bu durum soğuk savaşın başlaması demektir. ABD komünizme doğru eğilim sergileyen Avrupa devletlerini kendi ideolojisine çekebilmek için parasal yardımlarda bulunmaya başladı. Dönemin ABD dış işleri bakanı George Marshall'ın adını taşıyan "Marshall Planı"nı devreye koydu.

Marshall Planıyla ülkemize dayatılan ulaşım politikaların başında demiryollarını işlevsiz hale getirerek karayolunun daha da önem kazanması gelmekteydi. Bunun arkasında yatan ana neden emperyalist Amerika'nın otomotiv devleri ile petrol şirketlerinin para hırsıydı. Marshall yardımlarını alan ülkeler daha uygun olan demir yolunu terk ederek karayoluna yöneldi ve karayolu inşaatları hız kazanmaya başladı.

ABD yönetimi 1947'den itibaren ülkemizde karayolu inşasına yardım etmeye başlamıştır. Yardımlar başlarda askerler tarafından gerçekleştirilmiştir. Daha sonra "Amerikan Devlet Yollar İdaresi" inden getirilen teknik elemanlar vasıtasıyla bizim çalışanlarımıza yol yapım, bakım, onarım, yönetim vb. gibi alanlarında eğitimler verilmiştir. Ayrıca Amerika'dan gene yol işleri için makineler tedarik edilmiştir. yol yapım ödenekleri de arttırılmıştır. Türkiye'deki ilk stabilize yolun başlangıcı gene bu iş birliği kapsamında 1948'de olmuştur.

1950 den sonraki yıllar karayolunun tamamen egemen olduğu yıllardır. Demir yolu yeni yol yapılmadığı gibi eski hatlara da pek bakım yapılmamıştır. Ülkemizde otomotiv sanayinin kurulumu, yol yapım işlerinde kullanılmak için makine ve teçhizatların dışı kredi ile temini, kamyon ithalatının serbest olması, insanların otomobil alma istekleri gibi birçok etken karayolunun hızlı yükselmese neden olmuştur. Ayrıca YSE kurularak köy yollarının inşaatı buraya devredilmiştir. Yapılan yollar sayesinde köylü ürününü tarladan pazara, sanayici fabrikadan eve ulaştırmış ve ticari faaliyetlerin artması ile refah seviyesi de yükselmeye başlamıştır.

1950 yılında KGM kurulmuştur. KGM nin amacı üzerinde at arabası, öküz arabası gibi araçların geçebildiği yolları çağın araç ve taşıtlarına uygun hale getirerek insanların daha güvenli, konforlu yolculuklar yapabilmelerini sağlamaktır. Bu amaca uygun olarak atılan adımlar sonucu;

Makine ile bakımı yapılan yol uzunluğu,

1950 de 8024 km iken,

1960 da 33bin km'ye,

Her mevsim geçit veren yol uzunluğu,

1950 yılında 9624 km iken,

1960 yılında 22bin km. ye ulaşmıştır(Karayolları Genel Müdürlüğü, Dün, bugün, yarın, 2014).

1960'larda ülkenin ihtiyacı olan 60bin km yol ağı oluşturulmuştur. 1950-1960 yılları arasın hedeflenen hizmetlerin ulaşabilmesi için yaz kış demeden geçit veren yollar iken 1960-170 arasında asfalt önemli hale gelmiştir.

1970'lerde karayolunu kullanan motorlu taşıt sayısı giderek artarken; trafiği yoğun ana yollarda, büyük şehirlerin çevrelerinde çok şeritli ekspres yollarla otoyolların yapımı önem kazanır (Karayolları Genel Müdürlüğü, Dün, bugün, yarın, 2014).

Kuşkusuz ki ülkemiz karayolu tarihinin kilometre taşlarından biri şimdiki adı “15 Temmuz Şehitleri Köprüsü” olan “Boğaziçi Köprüsü” dür. Avrupa Yatırım Bankasının vermiş olduğu krediyle 1970 de inşasına başlanılan köprü 1973’te tamamlanarak trafiğe açılmıştır. Bu sayede Asya ve Avrupa karayoluyla bağlanmıştır. Bu köprü ile ilk kez ücretli köprü ve yol sistemi uygulama alanı bulmuştur.

Avrupa Yatırım Bankası’ndan alınan kredi ile 1970 yılında yapımına başlanan Boğaziçi Köprüsü 1973 yılında trafiğe açılmış ve bu sayede Avrupa ile Asya kıtaları karayolu ile birbirine bağlanmıştır. Ayrıca, bu köprünün yapımı ile ülkemizde ilk ücretli yol ve köprü politikası başlatılmıştır. 1980’li yıllarda bir yandan mevcut devlet ve il yolları üzerinde fiziki ve geometrik iyileştirme çalışmaları sürerken diğer yandan yeni bir atılımla tam erişme kontrollü otoyol yapımına hız verilmiştir. 1984 yılında hizmete açılan 38 km uzunluğundaki Gebze-İzmit Ekspres yolu ile başlatılan ücretli yol politikası günümüzde de devam etmektedir. 1985 yılında inşaatı başlatılan 2. Boğaz Köprüsü’nün “Fatih Sultan Mehmet Köprüsü” 1988 yılında hizmete girmesiyle Avrupa ve Asya’ya ikinci kez karayolu ile bağlanmıştır (Karayolları Genel Müdürlüğü, Stratejik Plan 2012-2016, 2012).

1980: 24 500 km’si asfalt olmak üzere toplam 35 bin km devlet yolu gene 9 600 km’si asfalt olmak üzere toplam 27 bin 500 km il yolu

1985: Otoyol çalışmalarının başlangıcı

2002 yılı sonu: Bölünmüş Yol Yapım Çalışmalarının Başlangıcı

Bölünmüş yol çalışmalarının amacı, Ülkemizin ihtiyaç duyduğu güvenli, ekonomik ve rahat erişilebilirliği sağlayan bir karayolu ulaşımını sağlamak ve trafik kazalarını asgariye indirmektir (Karayolları Genel Müdürlüğü, Dün, bugün, yarın, 2014).

Bölünmüş yol yapımının temel prensibi, Kamudaki personel ve makine parkını tek bir havuzda toplamak suretiyle mevcut kaynakları daha verimli kullanmak ve böylece daha az harcama ile daha fazla uzunlukta yol inşa etmektir (Karayolları Genel Müdürlüğü, Dün, bugün, yarın, 2014)

2010'lu yıllarda belirlenen ulaşım politikaları doğrultusunda, karayolu ağının kamu kaynaklarının yanı sıra alternatif finans kaynakları kullanılarak geliştirilmesi benimsenerek; İstanbul-Bursa-İzmir Otoyolu ve Osmangazi Köprüsü, Kuzey Marmara Otoyolu ve Yavuz Sultan Selim Köprüsü, Malkara – Çanakkale Otoyolu ve 1915 Çanakkale Köprüsü, Menemen – Aliğa – Çandarlı Otoyolu, Ankara – Niğde Otoyolu gibi önemli projeler Kamu Özel Sektör İşbirliği modeli olan Yap-İşlet-Devret sistemiyle gerçekleştirilmeye başlandı (www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/tarihçe.aspx).

Bölünmüş yollar, toplam yol ağımızın % 38,5'ini oluşturmasına karşın, yollarımızdaki trafiğin yaklaşık % 80'ine hizmet vermektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, Dün, bugün, yarın, 2014).

2007-2016 yılları arasında nüfus % 13, motorlu kara taşıtları sayısı % 68 oranında artarken; 2016 yılı verilerine göre trafik kazalarında kaza yerinde hayatını kaybeden kişi sayısı % 30 azaldı (Karayolları Genel Müdürlüğü, Dün, bugün, yarın, 2014).

Karayolları Genel Müdürlüğü, 1 Haziran 2018 itibarıyla 2.657 km'si otoyol olmak üzere 67.839 km uzunluğunda yol ağına sahiptir (www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/tarihçe.aspx).

Tüm bu veriler, göstergeler şunu ifade etmektedir ki teknoloji ve sanayi başta olmak üzere hayatın her alanında meydana gelen gelişmelerle birlikte ülke ekonomisi kalkınmakta kalkınan gelişen ekonomiye bağlı olarakta daha kaliteli daha konforlu daha güvenli yollar ulaşım ağlarına katılmaktadır. Ayrıca mevcut yollar daha da modernize edilmektedir.

2.4. Günümüzde Karayolu Yapımı

İnsanlık tarihi ile başta patikalar olarak karşımıza çıkan yollar gelişmelere, ihtiyaçlara paralel olarak da günden güne gelişim göstermiştir. Tekerliğin icadı, at arabasının keşfedilmesi, arabanın yapılması, asfaltın bulunması, lastik tekerlekli araçların icadı, sanayideki gelişmelerle beraber otomobilin insan hayatının bir parçası olması bunların başında gelenleri olup kilometre taşlarıdır da denilebilir.

duvarı gibi sanat yapıları da altyapı olarak kabul edilir (İlcalı, Karayolu Üst Yapısında Erdemir Cürufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 1988).

Üst kaplama tabakası trafikte sürüş güvenliği ve konforunu sağlayacak yüzeyi oluşturur. Trafik yükü ve çevre koşullarına doğrudan maruz kaldığı için yeterli dayanım ve dayanıklılıkta olmalıdır. Rijit üstyapılarda beton kaplama betonun yüksek dayanımı ve elastisite modülü dolayısı ile rijit bir plak gibi çalışır. Esnek ve rijit üstyapılarda trafik yüklerinin üst kaplama tabakasından zemine iletilmesi birbirinden farklıdır (Yeğinoğlu, 2009).

Esnek üstyapılarda asfalt kaplama tabakasına gelen trafik yükü sırası ile temel ve alttemel tabakalarına yayılarak altyapıya, yani doğal zemine intikal eder. Bu nedenle yükün taşınmasında her tabaka önemlidir. Tabaka kalınlıkları yüke ve zemin özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Aynı koşullarda esnek üstyapı toplam kalınlığı rijit üstyapıya göre daha fazla olması gerekir.

Tabakalardaki malzeme kalitesi ise üst tabakalara doğru çıktıkça artış gösterir. Kaplama tabakası genellikle asfalt (agrega+bitüm karışımı) kaplama olarak imal edilir. Kaplama altındaki tabakalar ise, bunlar genellikle iki tabakadan ibarettir, sıkıştırılmış agregadan oluşur. Üstyapının her tabakasında kullanılan malzemeler, standartlarda belirtilmiş olan, bazı özelliklere sahiptir. Çoğunlukla bu standart özellikler malzemenin (gradasyonu, tane yapısı, dayanımı, donma direnci vb.) birçok karakteristik özelliğini kapsar. Malzemeler için aranan bu standartlar üstyapı tabakalarında yukarıya doğru çıktıkça daha sıkılaşır ve daha yüksek kalite arzu edilir. Çünkü üst tabakalar trafikten gelen yüklere doğrudan maruz kaldığı için bu yükleri karşılayabilecek kalitede ve dayanımda olmalıdır. En üst katman olan kaplama tabakası ayrıca atmosfer etkilerine (sıcaklık, yağış vb.) daha çok maruz kalmaktadır (Yılmaz, Ferrokrom ve Silikofrokrom Cürufaları İle Silis Dumanının Yol Üst Yapısında Kullanımının İncelenmesi, 2008).

Rijit üstyapılarda ise beton kaplama tabakası (beton plak) betonun yüksek elastisite modülü ve rijitliği sayesinde yükü büyük ölçüde karşılar. Doğal zemine göreceli olarak çok daha küçük gerilme intikal eder. Zemin özellikleri tabaka kalınlığının belirlenmesinde kritik bir rol oynamaz. Temel tabakası beton plak için düzgün bir

taban oluşturulması ve yeterli drenaj sağlanması amacı ile hazırlanır (Yeğinoğlu, 2009).

Belirtilen tabakaların işlevi kısaca özetlenecek olursa; Kaplama tabakası, taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak ve yapıya sızan yüzeysel su miktarını ve temel tabakasına iletilen kayma gerilmelerini azaltmak amacıyla temel tabakası üzerine inşa edilen bir tabakadır. Kaplama altındaki temel tabakası ise bağlayıcısız ya da bir bağlayıcı malzemeyle işlem görmüş olan belirli granülometrideki malzemedir. Ana görevi, üstyapının yük taşıma yeteneğini artırmaktır. Ayrıca trafik hareketlerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşı da koruma sağlayabilecek özelliklere sahip olmalıdır. Alttemel ise, trafik yüklerinin taban üzerine yayılmasını sağlamak, ince taneli altyapıların temel tabakasına nüfuz etmelerini önlemek, ayrıca su ve don etkilerine karşı dayanım sağlamak ve tampon bölge görevi yapmak için tesviye yüzeyi üzerine serilen tabakadır; aynı zamanda yol üstyapı inşaatı sırasında is makinalarının yükünü taban zeminine aktarır ve düzgün yuvarlanma yüzeyi oluşturur (Umar & Ağar, 1985).

Yol zemininin tabanı sıkıştırma sonucu meydana gelmektedir. Üst yapıya gelen tüm yükler ve tabaka kalınlıklarından gelen yükler son olarak buraya aktarılır ve buraya taşıttırılır. Bu tabakanın kendisine aktarılan yüklerden dolayı meydana gelen gerilmeleri emniyetli olarak taşıması gerekmektedir. Zemin bu gerilmelere direnç gösteremiyor ise trafik yüklerine, iklime yol kalitesine göre zemine uygun şekilde iyileştirme yoluna gidilir.

Taban zeminlerinde yeraltı su seviyesi tesviye yüzeyinin en az 150 cm altında tutulmalı, bununla sağlanması için uygun yeraltı drenajı yapılmalıdır. Ayrıca uygun drenaj sistemi ile yüzey suyunun yol gövdesini etkilemesi önlenmelidir (Hanlı, 2009).

Yol yapımında güzergah boyunca bulunan yarma ve dolgular şartnameleri dahilinde sıkıştırılıp uygun geometriye kavuşturulurlar. Üst yapı tabakalarının kalınlıkları taban zemini ile doğrudan alakalıdır. Taban zemini ne kadar sıkı ve taşıma gücü

yüksek olursa üst yapı tabaka kalınlıkları da az olacaktır. Ayrıca don olayı da göz ardı edilmemesi gereken diğer bir husustur.



BÖLÜM 3. ZEMİN ISLAHI

Zemin, en basit tabiri ile insanların tüm hayati fonksiyonlarını yerine getirip yaşamını sürdürebilmeleri için gerekli olan her türlü yapının üzerine, içerisine inşa edildiği kara parçasını ifade eder.

Zemin, değişik dane çapındaki mineral ve organik maddeleri içeren, su-katı-gaz fazlarından oluşan, değişik orijinlere sahip, çeşitli kompozisyon ve özellikler arzeden, yer kürenin dış kabuğunu oluşturan ve kayaların fiziksel ve kimyasal ayrışmasından meydana gelen malzemelerdir (Tunç, Yol Mühendisliğinde Geoteknik Uygulamaları, 2002).

Zeminler, esas olarak kayaların çevre koşulları etkisi altında ayrışması ve parçalanması sonucu meydana gelmektedirler. Bazı durumlarda organik maddeler de zeminlerin bileşenlerinden birini oluşturmaktadır. Kayaların ayrışmasına yol açan etkenler fiziksel ve kimyasal olarak iki ayrı grup içinde düşünülebilir. Isı farklılıkları, don, rüzgâr, su ve bitki köklerinin etkisi gibi fiziksel ayrışma sonucu kayalar parçalanmaktadır. Kayaların içinde yer alan bazı yarı duyarlı mineraller ise kimyasal ayrışmaya uğrayarak birtakım ikincil minerallere dönüşmektedir. Dayanıklılığı daha az olan bu ikincil mineraller ise tekrar fiziksel ayrışmaya uğrayarak daha küçük parçalara ayrılmaktadır. Sonuç olarak, birçok değişik minerallerden oluşan kayalar, ayrışmaya yol açan farklı nedenlerin etkisi altında boyutları ve biçimleri birbirinden farklı çok sayıda küçük parçacıklara (danelere) ayrılmaktadır. Bu katı daneler ve onların arasında yer alan boşluklar zeminleri meydana getirmektedir (Özaydın, 2000).

Zemin; insanoğlunun barınma, savunma, gizlenme, ulaşım, enerji gibi ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik inşa edilen yapıların gerek temelleri altında taşıyıcı tabaka olarak gerekse inşaat malzemesi olarak tarih boyunca kullanılmıştır. Zeminler farklı özelliklere sahiptirler ve yerel koşullara bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Farklı amaçlar için karşılaşılan zeminler her zaman kullanım amacına uygun özellikleri sağlamayabilmektedir. Zeminin özellikleri kullanım amacı için yeterli olmadığında zeminde iyileştirme yapılır (Alkaya, 2002).

Bir döngü içerisinde zemin(toprak, kayaç, kil, çakıl, kum vs.) hammadde olarak alınıp çeşitli üretim aşamalarından sonra yeni yapı malzemesi(beton, asfalt, tuğla, seramik, cam, demir, çelik, vb.) elde edilerek gene zemin üstüne veya da içine inşa edilmektedir. Ayrıca yapı malzemesinin yanı sıra zeminler dolguda, baraj gövdesinde, çakıllar filtre malzemesi oluşturmada, killer çöp sahası baraj gövdesi gibi yerlerde sızdırmazlık tabakası oluşturma gibi birçok amaçla da kullanılırlar.

Zeminler üzerine inşa edilen yapılardan gelen yükleri belirlenen oturmalar çerçevesinde karşılamak durumundadırlar. Aksi halde yapılarda yapısal hasarlar meydana gelmekte hatta yapılar kullanılamaz hale bile gelebilmektedirler. Bu durum yapılan yatırımın heba olmasına sebep olmakta ya da bakım onarım maliyeti olarak karşımıza çıkmaktadır.

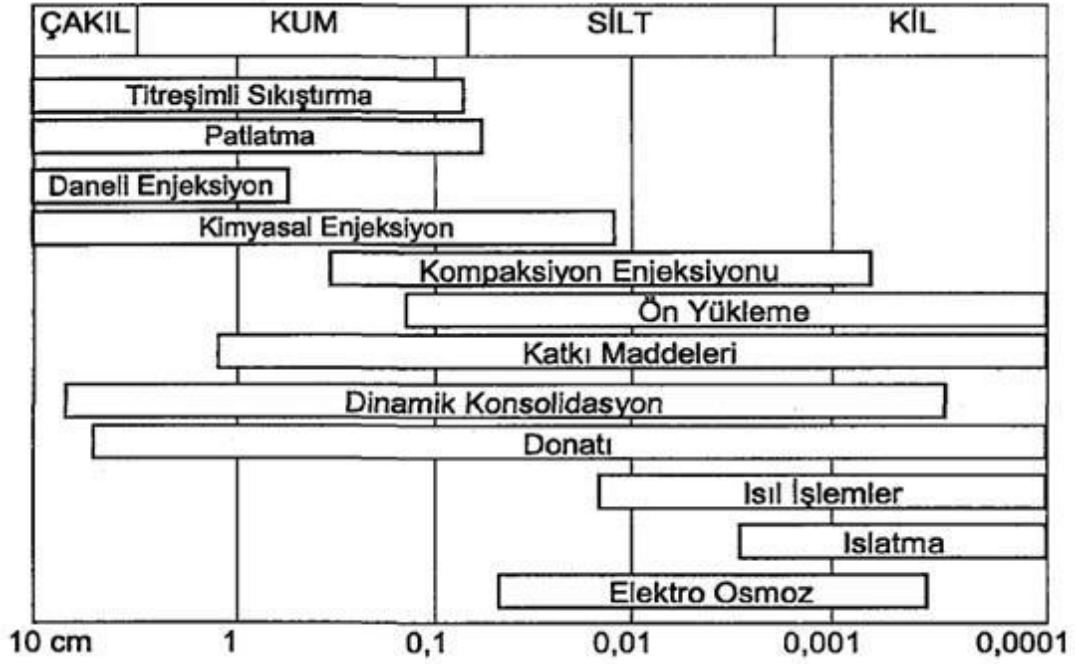
Yapılar belirli standart ve fen kuralları çerçevesinde yapılmaktadır. Bu standart ve kuralların başında zeminlerin etüt edilmesi gelmektedir. Bir zemin ne kadar hassas etüt edilirse alınan sonuçlar o kadar gerçekçi olur. Etütlerin hassaslığı ve gerçekçiliği ile de sağlıklı tasarım ve projelendirmeler hayata geçirilir. Ayrıca iş sonu veya ortasında da istenmeyen durumlar ortaya çıkıp ekstra maliyetlere yol açmaz. Maalesef günümüzde sıkça rastlanan istinat duvarlarının yıkılması, iksa sistemlerinin göçmesi, kazı sırasında yan ve komşu parsellerde yer alan yapıların zarar görmesi hatta yıkılması etüt, tasarım, projelendirme ve uygulama hatalarının kaçınılmaz sonucudur.

Bir zeminin emniyetli taşıyabileceği yük, oturma miktarı, şişme potansiyeli, sıvılaşma durumu, sıkışması, permaabilitesi gibi verilerin belirlenmesi o zeminin fiziksel özelliklerinin doğru tespit edilmesine bağlıdır. Ayrıca efektif gerilmeler, yer altı su seviyesi ve zeminin gerilme altındaki davranışı diğer önemli projelendirme kriterleridir.

Zeminlerin belli oturma sınırları içerisinde üzerlerine gelen yükleri taşıma durumunda olduğunu yukarıda da belirtmiştik. Zeminin üzerine gelen yükü taşıyamaması söz konusu olabileceği gibi yükü taşıyıp, oturma kriterini sağlayamadığı durumlar, ya da oturmayı sağlayıp yükü taşıyamadığı ve ya da ikisini birden sağlayamadığı durumlar da olabilir. Böyle durumlarda yatırımcının veya idarenin değişik tercihlere yönelmesi gerekebilir. Bunların başında bahse konu yatırımın yerinin değiştirilmesi gelmektedir. Ayrıca bozuk olan zemin tabakasının kaldırılarak daha kararlı yapıdaki başka zeminle dolgu yapılması diğer bir seçenektir. Bu ve benzeri seçenekler bazı durumlarda ekonomik olabilirler. Fakat daha büyük ölçekli yatırımlar olan ve yeri, konumu, güzergâhı değiştirme imkânı pek bulunmayan baraj, karayolu, demir yolu, hava alanı gibi yapılar için bu seçeneklerin uygulama alanı söz konusu olamayabilmektedir. Bu durumlar da yapılması gerekenlerin başında yapının üzerine inşa edileceği zeminin ıslah edilerek üzerinde yapılacak yapı türüne göre istenilen standartlara uygun olarak fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi gelmektedir.

Stabilizasyon (ıslah, iyileştirme, sağlamlaştırma, vb.); zeminin özelliklerinin, çeşitli yöntemlerle iyileştirilmesine verilen genel addır. Stabilizasyonda amaç, işin özelliğine göre; taşıma gücünü artırmak, beklenen oturmaları, deformasyonları azaltmak, geçirimsizliği azaltmak, vb. olabilir (Uzuner, 2000).

Zeminlerin karmaşık ve net olarak kestirilemeyen bir yapıya sahip olması, her zemin türünün farklı farklı özellikler barındırması beraberinde zeminin özelliklerine göre ıslah edilmesi gerekliliğini doğurmuştur. Bu gereklilik neticesinde de çeşitli ıslah yöntemleri geliştirilip uygulama konmuştur. Bu yöntemlerin dane çapına bağlı olarak zemin türüne göre sınıflandırılması şekil 3.1: deki gibidir. Her zeminin kendine has davranışı olduğu göz ardı edilmemelidir. Ona uygun ıslah metodu tercih edilmelidir.



Şekil 3.1: İslah yöntemlerinin uygulanabilirliği (Önalp, 1983).

İyileştirme yöntemleri;

1. Mekanik iyileştirme kısa süreli mekanik kuvvetlerin etkisi ile zemin yoğunluğunun artırılmasını amaçlayan, patlatma ile sıkıştırma, sıkıştırma kazıkları ile zeminin sıkıştırılması gibi yöntemler,
2. Hidrolik iyileştirme drenler veya kuyular yardımı ile boşluk suyu basıncının düşürülerek kayma dayanımını arttırmayı hedefleyen, diyafram duvarlar, palplanş duvarlar ve geomembranlar, keson ve tünelde basınçlı hava kullanılarak zemin suyunun uzaklaştırılması gibi yöntemler,
3. Fiziksel ve kimyasal iyileştirme yüzeysel zemin tabakalarında katkıların fiziksel olarak karışımı, katkıların derinlerde kolonlar teşkil edecek şekilde karışımı ve jet grout kolonu gibi yöntemler,
4. Ekleme ve sınırlama ile iyileştirme fiberler, şeritler, donatılar ve hasırların zemine yerleştirilmesi ile zemin kütlesi dayanımını arttırmayı hedefleyen kafes duvarlar, gabion elemanlar, geotekstilli bohçalama duvarları, taş kolon gibi yöntemler olarak açıklamıştır (Yıldırım, 2009)

Islah işlemleri yapılmadan önce deney ve gözlemlerle arazi zeminin durumu, özellikleri iyi tespit edilmelidir ki uygulanacak olan iyileştirmeden istenilen sonuç elde edilebilsin. Taşıma gücü problemi, sıvılaşma riski, oturma problemi, heyelan ve şev stabilitesi gibi farklı farklı sorunlar için uygun çözümler üretmek gerekmektedir.

Günümüzde uygulanan çözümlerin başında zemine farklı maddelerin ilave edilmesi ile ıslahı ter almaktadır. Uygulama işleminin kolay ayrıca ekonomik olması tercih sebeplerinin başında gelmektedir.

Kimyasal stabilizasyon olarak bilinen bu yöntemde zemine kireç, çimento, bitüm, reçine, uçucu kül, cüruf gibi maddeler ilave edilerek kimyasal reaksiyon sonucu zeminde iyileşme hedeflenir. Yol altyapısı ve granüler üst yapı tabakalarının ıslahında genelde tercih edilen yöntemdir. Tablo 3.1: de amaçlanan stabilizasyonun sağlanması için zemin cinsine bağlı olarak stabilizasyon metodları verilmiştir.

Hangi zeminde çalışıldığı, zeminin hangi özelliğinin iyileştirileceği, iyileştirmenin amaç ve hedefleri tespit edilerek uygun olan iyileştirme malzemesi ve yöntemi tercih edilmelidir. Bilinçsizce, ne istediğini bilmeden ve eksik yapılan her iş ve işlem zaman ve para kaybının yanında beyhude bir çabadan öteye geçmeyecektir.

Tablo 3.1: Stabilizasyon Metodları (Tunç, 2002).

AMAÇ	ZEMİN CİNSİ	STABİLİZASYON METODU
Yük taşıma ve deformasyon direncini artırmak	İnce granüler	Asfalt, Çimento, Mekanik Karıştırma, Kompaksiyon
	Kaba granüler	Asfalt, Çimento, Mekanik Karıştırma, Kompaksiyon
	Düşük PI killer	Kompaksiyon, Çimento, Kireç
	Yüksek PI killer	Kireç
Don duyarlılığını azaltmak	İnce granüler	Çimento, Asfalt, Uçucu Kül
	Düşük PI killer	Çimento, Kireç
Su geçirimsizliği	Düşük PI killer	Çimento, Asfalt, Kireç
Kabarma – Büzülme Kontrolü (Hacim Stabilitesi)	Düşük PI killer	Çimento, Kompaksiyon, Kireç
	Yüksek PI killer	Kireç
	Yüksek PI killer	Kireç
	Elastik kil veya siltler	Çimento

3.1. Zemin İslah Yöntemleri

Zemin ıslah yöntemleri çok çeşitli olmakla beraber aşağıdaki başlıklar altında sıralanabilir.

3.1.1. Kireç ile stabilizasyon

Kireç başta yapı sektörü olmak üzere kimya endüstrisi, demir çelik endüstrisi, kağıt endüstrisi, cam endüstrisi, çevre rehabilitasyonu gibi bir çok sektörde kullanım alanı bulmaktadır. Kireç yapı sektöründe yapı malzemesi üretim girdisi olmakla, beraber aynı zamanda tek başına da bir inşaat malzemesidir. Ayrıca kireç çevre ıslahı(bataklık ıslahı, çöp ıslahı, atık suların arıtılması, fabrika bacalarından çıkan zehirli gazların filtrasyonu vb.) ile beraber çoğu zaman problem teşkil eden kohezyonlu zeminlerin ıslahında da çokça tercih edilmektedir.

Kirecin zemindeki suyu çekerek kuruttuğu ve iyi bir stabilizasyon malzemesi olduğu eski çağlardan beri bilinmektedir. Özellikle Çin’de kullanılan ve sönmemiş kirecin zeminde açılan boşluklar içerisine doldurulup sıkıştırılması şeklinde uygulanan stabilizasyon yöntemleri mevcuttur. Bu yöntem ince daneli ve su muhtevasının %50 den fazla olduğu zemin türünde etkilidir.

Plastisitesi yüksek kil ya da kil miktarı fazla olan kohezyonlu zeminleri iyileştirmede kireç iyi bir tercih sebebidir. Kireç ve kil birleşmesinde kilin silisyum ve alüminyum yönünden zengin olması nedeniyle puzolonik reaksiyon oluşmakta ve zemini kararlı hale getirmektedir.

Kireç hammaddesinin doğada bol miktarda bulunması ucuz ve kolay tedarik edilen bir malzeme olması, çevreyi olumsuz etkilememesi gibi özellikleri, kireç katkı maddesinin seçiminde ana etkenlerdir. Genel olarak kireç katkısı zeminin dayanımını ve taşıma kapasitesini arttırmakta, taban suyu veya yüzeysel suların akışını ve yer değiştirmesini azaltmakta, yüzeysel sularla ayrışmayı azaltarak daha iyi imalat ve sıkıştırma için uygun bir çalışma platformu sağlamaktadır (Aydın, 2010).

İyileştirmede kullanılan kireç genellikle;

- Sönmüş yüksek kalsiyum kireci,
- Monohidratlı dolomitik kireç,
- Sönmemiş kalistik kireç veya sönmemiş dolomitik kireç olarak üretilmektedir.

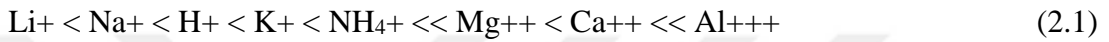
Kil su sistemine kireç katıldığı zaman divalent kalsiyum katyonları kil yüzeyinde adsorbe edilen katyonlarla yer değiştirmektedirler. Kalsiyumun su sistemindeki bir çok katyonla yer değiştireceği, yüksek yüklü katyonların daha düşüklerle ve aynı yüklü daha büyük katyonların daha küçüklerle yer değiştireceğini ifade eden izotropik dizilerle açıklanmaktadır (Ülker, 2005)

Kirecin killi zeminlere etkisinde dört ana başlık vardır. Bunlar;

- Katyon değişimi

- Flokülasyon
- Pozolanik reaksiyon
- Karbonatlaşma

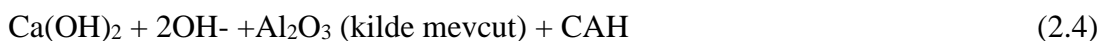
Katyon değişimi ve flokülasyon: Kireç, su ve killi bir zemin ile bir araya geldiğinde, pozitif iki yüklü Ca^{++} katyonları kil yüzeyine adsoplanmış katyonlarla yer değiştirir. Bu Lyotropic serileri ile de açıklanabilir. Aşağıdaki her katyon, soldakinin yerini alabilir.



Katyon yer değiştirmesi sebebiyle, bu tabakanın kalınlığı çok azdır. Kil partikülleri birbirlerine yaklaşarak yeni bir yapı oluşturur ve bu da flokülasyona sebep olur (Mohammed Ali, 2012) .

Pozolanik reaksiyon: Kireç, su ve zemin bir araya geldiğinde farklı çimentolaşmalar oluşturur. Zemin içerisindeki potansiyel pozolan maddeler, kil minerallerini içerir. $Ca(OH)_2$ nin suya eklenmesiyle suyun pH değeri hemen yükselir. Bu değer yeterli kirecin eklenmesiyle $250C^\circ$ 'de zirveye ulaşarak 12.4 olur. Bu karışımın pH değeri çok önemlidir, çünkü ancak yüksek pH değerlerine ulaşıldığında kireç ile reaksiyona giren ve pozolan maddeyi oluşturan silika ve alümina mineralleri çözeltilmeye geçer (Mohammed Ali, 2012).

Eades ve Grim (1965) X ışını analizi sonuçlarıyla, uygun koşullar sağlandığında, kireç ve silikanın reaksiyona girerek kompleks bir kalsiyum silikat yapısı oluşturduğunu göstermiştir. Bu yapı, sistemde silika ve kalsiyum bulunduğu süre içinde devam eder. Bu reaksiyonlar aşağıda özetlenmiştir.

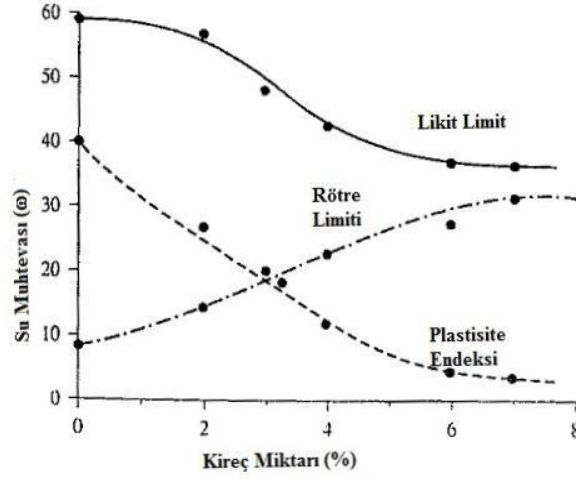


Karbonatlaşma: Kireç açıkta kalıp hava ile temas ettiği zaman, karbonatlaşma ve zayıf çimentolanma meydana gelir (Garaisayev, 2008).

Kireç stabilizasyonu ile yapılan uygulamada killi malzemenin kimyasal yapısı bozulmaktadır. Örneğin kalsiyum iyonları kilde potasyum ve sodyum iyonları yerine geçebilir. Bu durum kil taneciklerinin birbirine kenetlenip daha büyük tanecikler oluşturmasını sağlar. Yine kireç, kil mineralinin kristal kafesinden silisi sökerek reaksiyona girer. Oluşan jel kil topraklarını çevreleyip boşlukları tıkar (Önalp, 1983). Sonuç olarak likit limit azalırken plastik limit artmasıyla plastisite indeksi azalmış olur, işlenebilirlik artar ve dayanım ile sıkışabilirlikte iyileşme görülür (Yıldırım, 2009). Kilin su tutma ve şişme özelliğini kaybetmesi ve tekrar su ile temas ettiğinde kil davranışı göstermemesi kireç stabilizasyonunun avantajları arasında sayılmaktadır (Akyarlı, Atay, Alkaya, & Kavak, 2009).

Kireç ile yapılan stabilizasyon sonunda;

- Oluşan kimyasal bağlar sonucunda kirletici ve zararlı madde miktarında azalma meydana gelmektedir.
- Ortamda bulunan mevcut sıvı miktarı azalmaktadır.
- Stabilize karışımının mukavemeti (direnci) artmaktadır.
- Stabilize karışımının donma/çözölmeye karşı dayanıklılığı dolayısı ile durabilitesi de artmaktadır (Tuncan, Tuncan, Koyuncu, & Soyal, 1996).



Şekil 3.2: Zemin Parametrelerinin Kireç Oranı İle Değişimi (Das, 2007).

Mevcut zeminin içindeki kireç oranının artmasının likit limit, rötire limiti ve plastisite indisi üzerindeki etkisi Şekil 3.2: de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde kireç miktarının ilk % 2 - % 3, olduğu kısımda işlenebilirlik ve zemin özellikleri önemli ölçüde değişmektedir.

3.1.2. Çimento ile stabilizasyon

Çimento ile stabilizasyon özellikle karayolu, demir yolu ve hava alanı gibi yapılarda tercih edilmenin yanı sıra heyelan, şev stabilitesi gibi zemin problemlerini çözmeye de sıkça tercih edilen bir yöntemdir.

Yüzeysel iyileştirmede çoğunlukla portland çimentosu kullanılır. Portland çimentosunun puzolonik özelliğinden dolayı zeminde mukavemet artışı sürekli devam eder.

Genellikle, 3 tip zemin-çimento karışımı bulunmaktadır.

- Plastik zemin-çimento karışımı
- Çimento katkılı zemin karışımı
- Sıkıştırılmış zemin-çimento karışımı

Plastik zemin-çimento karışımları, sıva harcına benzeyen ve belirli oranlarda su, zemin, ve çimento içeren, sıva harcı kıvamında karışımlardır. Bu tip karışımlar genellikle şevlerde ve ya erozyona maruz kalan zeminlerde kullanılmaktadır.

Çimento katkılı zemin karışımları, katılaşmamış ya da yarı-katılaşmış zemin-çimento karışımlarıdır. Diğer karışımlara oranla daha az miktardaki Portland çimentosu, zemine eklenir ve karıştırılarak zeminin fiziksel ve kimyasal özellikleri değişir. Eklenen çimento zeminin plastisitesini ve su tutma kapasitesini düşürür fakat bunun yanında mukavemet ve taşıma gücü kapasitesini artırır. İyileştirme oranı zemin tipine ve eklenen çimento oranına göre değişir. Genellikle kullanım alanları, yol dolguları, temel altı dolguları ve iksa arkası dolgularıdır.

Sıkıştırılmış zemin-çimento karışımları ise genellikle öğütülmüş zemin ile belirlenmiş miktardaki Portland çimentosu ve suyun karışması ve sıkıştırılmasıyla oluşur. Sonuç olarak oluşan rijit, ortalama mukavemetteki yeni tabaka; ıslanma-kuruma ve donma-çözülme etkilerine karşı yüksek dayanıma sahiptir.

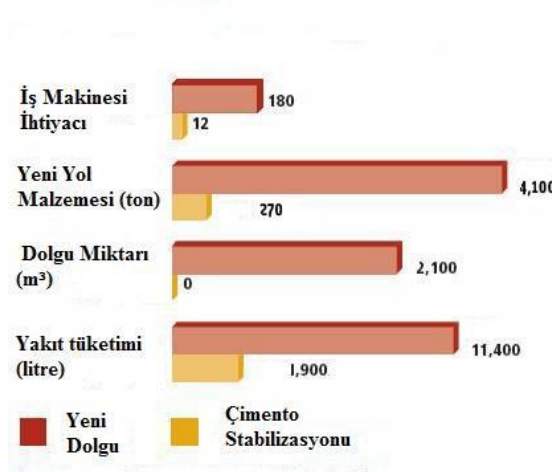
Das(2007) yaptığı çalışmalar neticesinde özellikle kil tipi yumuşak zeminlerde çimento kullanımı; likit limiti düşürdüğünü, plastisite indisinin ve zeminin işlenebilirliğini arttırdığını tespit etmiştir. Kil tipi zeminlerde çimento stabilizasyonunun etkin olabilmesi için likit limit değerinin 45-50, plastisitenin ise 25'ten küçük olması gerektiğini görmüştür. Zemin tipine bağlı olarak karıştırılacak optimum çimento oranları Tablo 3.2: deki gibi vermiştir.

Tablo 3.2: Zemin Tiplerine Göre Optimum Çimento Oranları (Das, 2007)

Zemin Sınıflandırması		Hacimsel Oran (%)
AASHTO	Birleşik Zemin Sınıflandırması	
A-2 ve A-3	GP, SP ve SW	6-10
A-4 ve A-5	CL,ML ve MH	8-12
A-6 ve A-7	CL ve CH	10-14

Çimento ile gerçekleştirilen yüzeysel iyileştirmeler de tıpkı kireçle yapılan ıslah gibi maliyetleri düşürmektedir. Kazılan zeminin tekrar kullanılması, çimentonun kolay temin edilebilir olması, ayrıca zemin taşıma gücünü arttırdığı için yol temel ve alttemel tabaka kalınlıklarını da azalıyor olması gibi etmenler bazılarıdır.

PCA'nın yaptırdığı araştırmaya göre; 24 feet genişlik, 6 inç kalınlık ve 1 mil uzunluğunda olan temel alt takasının kaldırılıp yerine dolgu yapılması ve alternatif olarak çimento ile ıslahının karşılaştırıldığı durum şekil 3.3.: te verilmiştir.



Şekil 3.3: Yeni Dolgu ve Çimento Stabilizasyonu Karşılaştırması (Çetin, 2011).

3.1.3. Bitüm ile stabilizasyon

Kireç ve çimentoya oranla daha pahalı olması sebebi ile daha az kullanılan bitümlü stabilizasyonda danelerin asfalt ile kaplanması gerekir. İnce daneli malzemenin suya karşı isteğini azaltırken, daneli malzemeye kohezyon veren bitüm, emülsiyon ya da köpük biçiminde katılmaktadır (Önalp, 1983).

Zemine asfalt ilave edilerek yapılan ilk iyileştirme 1925-1932 tarihleri arasında Amerika'da gerçekleştirilmiş ve likit asfalt ile stabilize edilmiş olumlu sonuçlar almışlardır.

Kullanılan su+bitümlü malzemenin yüzde toplamı sıkıştırılacak karışımın boşluklarını dolduracak hacmi aşmaması gerekir.

Zeminin granülometrisi ve fiziki özellikleri iyileştirme de rol oynamaktadır. Zeminin plastikliği arttıkça karışması zorlaşmaktadır. Fakat granüle zeminlerde çok daha iyi karışmakta, iyi bir ıslah gerçekleşmektedir. Dayanıklılıkla beraber direnç artarken kullanılan asfalt miktarı azalır. Birçok zemin türü asfaltla ıslah edilebilir, içerisinde bulunan ince malzeme miktarının fazlalığı asfalta olan ihtiyaca arttırmaktadır.

Witczac ve arkadaşları(1975) sahil bölgelerinde kumlu zeminde asfaltla stabilizasyonu başarı uygulayıp iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Burada asfalt kil ve

kum arasında bağlayıcı görevi görmüştür. Ayrıca bu şekilde su geçirgenliğide düşmektedir.

İnce daneli zeminlerin plastisite indisinin maksimum %12 civarı olması uygun olarak değerlendirilmektedir. Daha yüksek plastisiteli zeminler orta ve hızlı kür eden asfaltlar ile ıslah edilmelidirler. Yapılan deneylerde ıslah işlemlerinde bitüm sıcaklıkları malzeme cins ve miktarına göre değişmektedir. Stabilizasyon mümkünse sıcak havalarda yapılmalı ve 10°C'nin altındaki havalarda likit asfaltla iyileştirme yapılmamalıdır.

Sahada uygulamada zemin su içeriği optimumun altında olmalıdır. Karışım bu oranda karıştırılıp sıkıştırılmalıdır.

3.1.4. Uçucu kül ile stabilizasyon

Uçucu küllerin yüksek miktarlarda atık olarak stok sahsında birikmesi kullanım alanlarının genişlemesi için insanları yeni araştırmalar yapmaya sevk etmiştir. Hazır beton üretiminde kullanılan küller ayrıca geotekniğinde araştırma konusu içerisindedir.

Geoteknik alanına yönelik olarak yapılan çalışmalarda olumlu sonuçlar alınmış bu durum araştırmalara daha da ağırlık verilmesine neden olmuştur. Uçucu kül ince yapısı ve puzolan özelliğinden dolayı ince daneli zeminlerde, killerde istenilen dayanım ve şartları sağlamaktadır.

Evlerde kullanım imkânı bulunmayan linyit kömürü sanayide kullanılarak değerlendirilmekte olup artı değer yaratılmaktadır. Dünyada yıllık 500 milyon ton civarı uçucu kül çıkmaktayken ülkemizde bu değer 16 milyon civarındadır. Uçucu kül dünyada ve ülkemizde ağırlıklı olarak inşaat sektöründe değerlendirilmektedir.

Uçucu küller camsı yapıya sahip, içerisi boşluklu süngerimsi yapıda yanmamış taneciklerden oluşur. Kimyasal bileşimleri kullanılan kömürün içerdiği mineral safsızlıkların tipi ve miktarına bağlıdır. Genellikle uçucu küllerin %85'ini SiO₂, Al₂O₃, CaO, ve MgO oluşturur (Tokyay & Erdoğan, 1998).

Puzolan; tek başına bağlayıcılık özelliği olmayan ancak ince öğütülüp normal sıcaklıktaki nemli ortamda kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği gösteren malzeme olarak tanımlanır (ASTM, 1985). En yaygın puzolan uçucu küldür.

Uçucu küller, çimento ve beton, tuğla, hafif agrega ve gaz beton üretiminde kullanılmaktadır. Geoteknik uygulamalarda ve yol yapımında aşağıdaki alanlarda değerlendirilmektedir (Gücek, 2011).

- Dolguların stabilizasyonunda
- Altyapı ve taban malzemesi olarak
- Alt drenaj tabakası olarak
- İri stabilize malzemelerin boşluklarının doldurulmasında
- Zemin enjeksiyonlarında kireçle birlikte.

Taşıma gücünü arttırması yanında şişme problemi olan zeminlerde de olumlu sonuçlar vermektedir.

Uygulama şekli kireç ve çimento uygulamasından farklı değildir. Laboratuvar deneyleri ile tespit edilen optimum su muhtevasin da karıştırılıp serip sıkıştırmak suretiyle tatbiki yapılır.

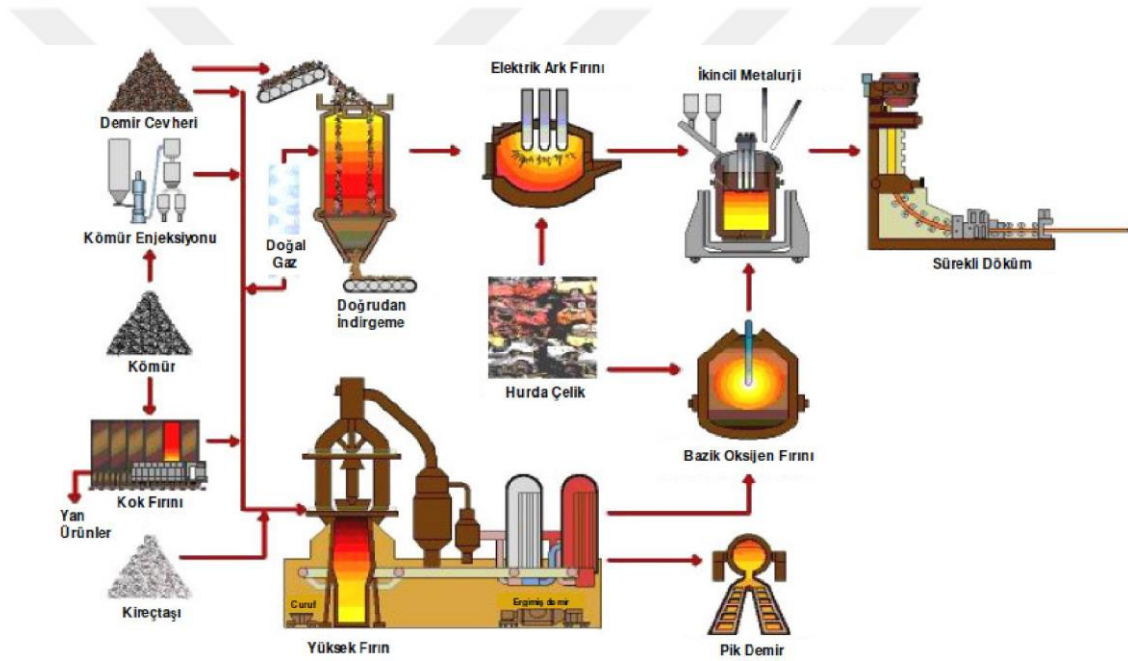
3.1.5. Cüruf ile stabilizasyon

Kırdan kente göçlerle beraber kent nüfusları günden güne artmaktadır. Nüfus artışları ve insanoğlunun bitmek tükenmek bilmeyen ihtiyaçları neticesinde teknolojik ilerlemelerle beraber sanayide de yeni gelişmeler kaçınılmaz olmuştur. Toplumun taleplerini karşılamak için meydana gelen bu gelişmeler neticesinde büyük endüstriyel yatırımlar gerçekleşmiştir. Çeşitli sektörlerle kaynak sağlayan bu tesislerde yapılan üretimler neticesinde çeşitli atık maddeler çıkmaktadır. Bunlardan en dikkat çeken ağır endüstriyel tesislerde üretim çıktısı olan cüruflardır.

Cüruflar metalürji tesislerde elde edilen yan ürünlerdir. İsmi genelde fırınların yanma şeklinden alırlar. Kimyasal kompozisyonları birbirinden farklılık

göstermektedir. Bu durum tesislerde üretilen ürünlere bağlı olduğu gibi üretim şekliyle de ilgilidir. Kiminin bağlayıcı özelliği yokken kimisi puzolan özelliktedir.

Cüruflar yüksek fırın cürufu, çelikhane cürufu, bazik oksijen fırını cürufu, elektrik ark fırını cürufu gibi cüruflardan oluşmaktadır. Demir ve çelik üretimi sonucu oluşan bu cüruflar adını aldıkları fırınlarda ısı işlemler sonucu elde edilmektedir. Aradaki fark fırınların yanma prensipleri farklılık göstermesidir. Isıl işlemler sonucu ortaya çıkan eriyik ve cüruf bir potaya dökülmektedir. Oksitleme nedeniyle cüruf üstte eriyik altta kalmaktadır, potanın şekline göre alt taraftan önce eriyik sonra cüruf veya da üstteki çeneden önce cüruf sonra eriyik alınır. Potalardan alınan cüruflar ya açık havada soğumaya bırakılır ya da su ile soğutulularak atıl hale gelir.



Şekil 3.4: Demir Çelik Üretim Prosesi (Dündar, 2006)

Cüruflar soğutma tiplerine bağlı olarak farklı özellik göstermektedirler. Havada kendi halinde soğumaya bırakılanlar kristal yapıdır köşeli sivri ve yüzeyi pürüzlüdür. Hızlı bir şekilde soğutulanlar ise camsı yapıya sahiptirler genelde beton ve beton elemanların imalinde kullanılır.

Cüruflar ıslah için kullanılacakları zeminin özelliklerine göre değerlendirilmelidirler. Kullanılacak cürufların fiziki ve kimyasal özellikleri iyi bilinmeli ve ona göre hareket edilmelidir. Bunun için gerekli literatür araştırmaları yapıp laboratuvar deneyleri neticesinde zemin ve cüruf etkileşimi irdelenmeli uygulama için uygun

karışımlar tespit edilmelidir. Ayrıca yer altı suları, yüzeysel sular ve çevreye olan kirletici etkileri araştırılmalıdır.

Cüruflar ile yapılan yüzeysel zemin ıslahında uygulama, çimento, kireç, uçucu külde yapılan uygulama gibidir. Malzemeler belli oranda ve kalınlıkta tabakalar halinde serilip sıkıştırılarak uygun dayanım ve sıkılık elde edilir.



BÖLÜM 4. MATERYAL

Çalışmada kaolin kil, FeCr cürufu ve PÇ 42,5 çimento kullanılmıştır. Kaolin kil Ege Bölgesinde faaliyet gösteren Egemin Madencilikten, FeCr cürufu ETİ Maden A.Ş. işletmesinde bulunan Elazığ Ferrokrom Fabrikasından, PÇ 42,5 ise piyasadan temin edilerek kullanılmıştır.

4.1. Kaolin Kil

Çalışmaya konu olan ve bazı kaynaklarda “Kaolin” bazılarında da “Kaolen” olarak isimlendirilen kil Ege yöresinden temin edilerek kullanılmıştır.

Kaolin ismi, bulunduğu yer olan Çin’in Kiangski eyaletindeki Kao-Ling(yüksek dağ) dağından gelmektedir (Salam, 2004). Ayrıca kaolin Çin Kili (China Clay) olarak bilinmektedir.

Killerin sınıflandırılmasında bir birlik sağlanmamış uzun müddet tartışılmıştır. Ross ve Kerr “kaolin” adını bazı mineraller (kaolinit, dikit, nakrit ve halloysit) için kullanmış, bazıları da petrografik bir tarifleme olarak kaolin grubunu kil minerallerinden oluşmuş bir kaya ismi olarak kullanmışlardır.

İnce daneli zeminlerde dane şekli ile özellikle suyun mevcudiyeti, kilin davranışı üzerinde çok önemli ölçüde etki yapabilmektedir. Killeri oluşturan minerallerin cinsi ve miktarı, kohezyonlu zeminlerin davranışına etki eden diğer bir önemli faktördür. Dolayısıyla zeminde kil miktarı arttıkça zeminin davranışı killer tarafından belirlenmektedir. Eğer kohezyonlu zeminlerde kil miktarı %50 veya daha fazla ise kum ve siltin zemin kitlesinin davranışı üzerinde hiçbir etkisi olamamaktadır (Yavaşcan, 2010). Geoteknik mühendisliği bakımından kil mineralleri kaolinitler, illitler ve montmorillenit olmak üzere genelde üç grupta ele alınır.

Kaolin, kısmi düşük sıcaklıklarda feldispatları oluşturan silikatların asitli ortamlarda bozulması neticesinde oluşur. Kaolin $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ formülüne sahiptir. İçeriğinde %39,50 Al_2O_3 , %46,55 SiO_2 , %13,95 H_2O bulunmaktadır. Bununla beraber yapısında safsızlığa bağlı olarak mika, kuvars, demir, titan oksitler de bulundurulabilirler. Kaolin yapı olarak genelde mat ve gevşek toprak görünümünde olmakla birlikte nadiren kristal halde de bulunabilir. Kaolinin sertliği 2-3 özgül ağırlığı $2,6 \text{ gr/cm}^3$ 'dir. Kaolinlerde aranılan en belirgin özellik ateşe karşı dayanıklılığıdır. Erime sıcaklığı 1760 C^0 dir. Saf halde beyaz, safsızlığın derecesiyle alakalı yeşil ya da sarı renkte olabilir. Kaolinlerin bir diğer önemli özelliği de çok az bir su ile döküm kabiliyeti kazanabilmesidir. Fiziksel özellik ve bulunduğu ortam bakımından kaolinleşme, orjinal ana kayacın bozulma işleminin yerinde gerçekleşmesiyle ortaya çıkar (Fırat, Soyaner, Okur, & Yılmaz, 2017).

Kaolinler öncelikli olarak ham maddesini oluşturduğu seramik, boya, kağıt, ilaç ve dental sektöründe kullanılmaktadır. Yurdumuzda ise ağırlıklı olarak çimento sektörü başta gelirken onu seramik cam, boya vs. takip etmektedir.

Türkiye kaolin yatakları andezit, dasit, tüf ve granitlere bağı olarak oluşmuşlardır. Yurdumuzda Marmara, Doğu Karadeniz, İç Batı ve Orta Anadolu bölgelerinde toplam 102 kaolin oluşum yatağı belirlenmiştir. İşletilen ocakların çoğunluğu Çanakkale, Bursa, Balıkesir, Bilecik, İstanbul, Eskişehir, Uşak illeri sınırları içerisinde yer alır (Salam, 2004).



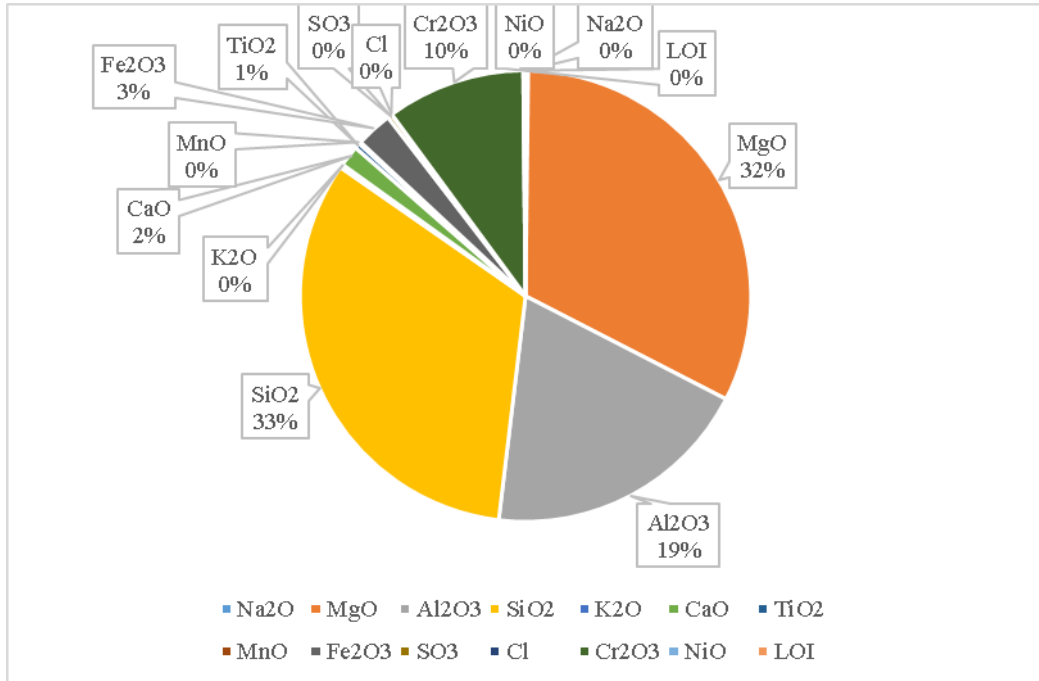
Şekil 4.1: Türkiye Kaolen Yatakları Haritası (www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-yataklari).

4.2. Ferrokrom(FeCr) Cürufu

FeCr cürufu ark fırınlarda ısıtılma işlemleri sonucu ortaya çıkan metalurjik yan ürün olup “Ferrous slag” diğer adıyla “Demir-alaşım cürufları” alt sınıfındadırlar.

Tablo 4.1: FeCr Cürufu Kimyasal Bileşimi.

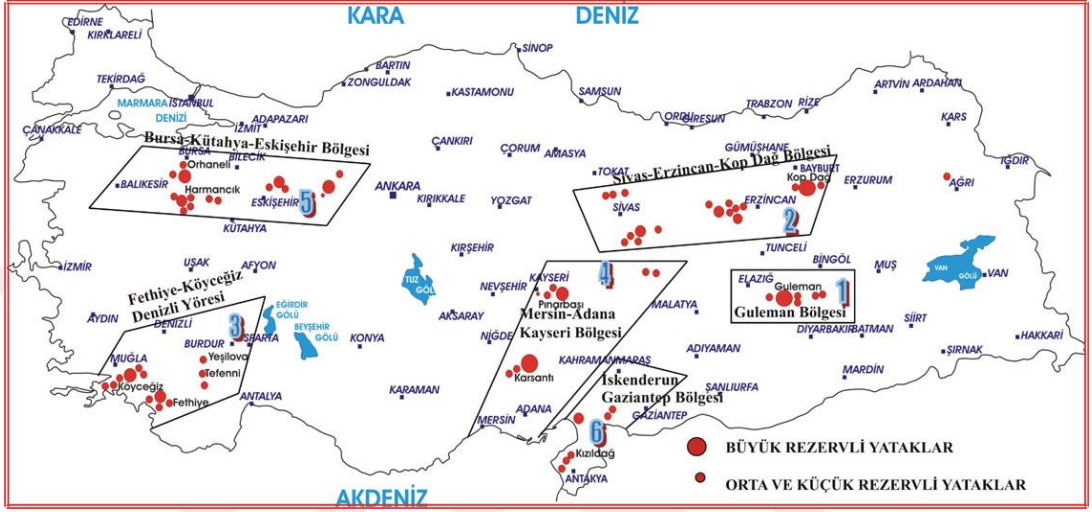
FeCr Cürufu Kimyasal Bileşimi	
Formül	Konsantrasyon
Na ₂ O	0,19%
MgO	32,35%
Al ₂ O ₃	19,34%
SiO ₂	32,76%
K ₂ O	0,25%
CaO	1,50%
TiO ₂	0,39%
MnO	0,14%
Fe ₂ O ₃	2,61%
SO ₃	0,32%
Cl	0,01%
Cr ₂ O ₃	9,94%
NiO	0,03%
LOI	0,13%
TOPLAM	9,97%



Şekil 4.2: FeCr Cürufu Kimyasal Bileşimi Grafik Gösterimi.

Ferrokrom % 50 - % 70 arası krom ve % 30 - % 50 demir içeren alaşımdır. Bu alaşım magnezyum, krom oksidi ve demirin elektrik ark ocaklarında eritilmesiyle elde edilir. Bu alaşım paslanmaz çelik sektöründe yoğun olarak kullanılmaktadır. %80

den fazlasını kullanan sektör en büyük tüketici durumundadır. Paslanmaz çelikteki %18 civarında bulunan krom içeriği ona paslanma karşısında dayanım kazandırıp karakteristik görünüşünde de etkilidir. HCFecr ise özel uygulamalarda tercih edilmektedir. Burada Fe/Cr oranı önem taşır ayrıca diğer elementler de minimum seviyede olacak şekilde en iyi seviyelerde tutulmak zorundadır.



Şekil 4.3: Türkiye Krom Yatakları (www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-yatakları).

Türkiye’de iki yerde endüstriyel boyutta ferrokrom cürufu çıkmaktadır. Bunlardan birisi Antalya Ferrokrom İşletmesi diğeri ise Elazığ Ferrokrom İşletmesi’dir. Sıcak cürufun çelik potalardan alınırken çekilmiş resmi Sekil 2.4’te verilmiştir. Bu cürufların hemen hemen tamamı stok alanlarında depolanmakta olup günümüze kadar bunların ciddi anlamda değerlendirilmesi söz konusu olmamıştır. Açık alanda depolanan cürufklar aynı zamanda çevresel kirlilik oluşturmaktadır (Yılmaz, Antalya Ferrkrom İşletmesinin Elektrik Ark Fırını Cürufklarının Ve Baca Tozu Atıklarının Asfalt Betonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 2002).



Şekil 4.4: FeCr cürufu çelik potalardan alınırken (Yılmaz, 2002).

Cüruflar soğutma şekillerine göre farklı özellikler göstermektedir. Cüruflar havada yaşa soğumaya bırakıldıkları takdirde kristal bir yapıya kavuşmaktadırlar. Bu şekilde soğutulan cürufların mekanik özellikleri oldukça iyidir ve agrega olarak değerlendirilirler. Hızlı soğutmaya maruz kalan cüruflar ise camsı yapıya sahip olup beton ve çimento imalatında kullanılır.

Dünyada yapı malzemesi olarak kullanılan cürufun çoğunluğunu (%80-90 oranında) havada soğutulmuş, kristal yapıya cüruf oluşturur. Havada soğutulmuş fırın cürufunun potansiyel kullanım alanları bulunmaktadır. Bu alanlar; asfalt betonu agregası, sathi kaplama agregası, beton yol agregası, yol temel ve alttemel malzemesi, yapısal dolgularda dolgu malzemesi, demiryolu balastı, zemin iyileştirme (stabilizasyon) malzemesi, kayma direnci yüksek agrega olarak, kar ve buz ile mücadele şeklinde sayılabilir (Kalyoncu, 2003).

Yol yapımında cüruf kullanımının geçmişi çok eski zamanlara, Roma İmparatorluğu dönemine kadar gitmektedir. Demir cürufu MÖ 4.yy başlarında meşhur Appia yolunun yapımında bazı katmanlarda kullanılmıştır. İlk demir cürufu üretimi ise 1848'de Avustralya'da Mittagong şehrinde yapılmıştır. Daha yakın zamanlara bakılacak olursa modern demir cürufunun, yaklaşık kırk yıldır yol yapımında kullanıldığı görülecektir. Hız yollarında ve ağır trafikli yollarda dahi cüruf kullanımı başarılı sonuçlar vermiştir (Yılmaz, Ferrokrom ve Silikofrokrom Cürufları İle Silis Dumanının Yol Üst Yapısında Kullanımının İncelenmesi, 2008).

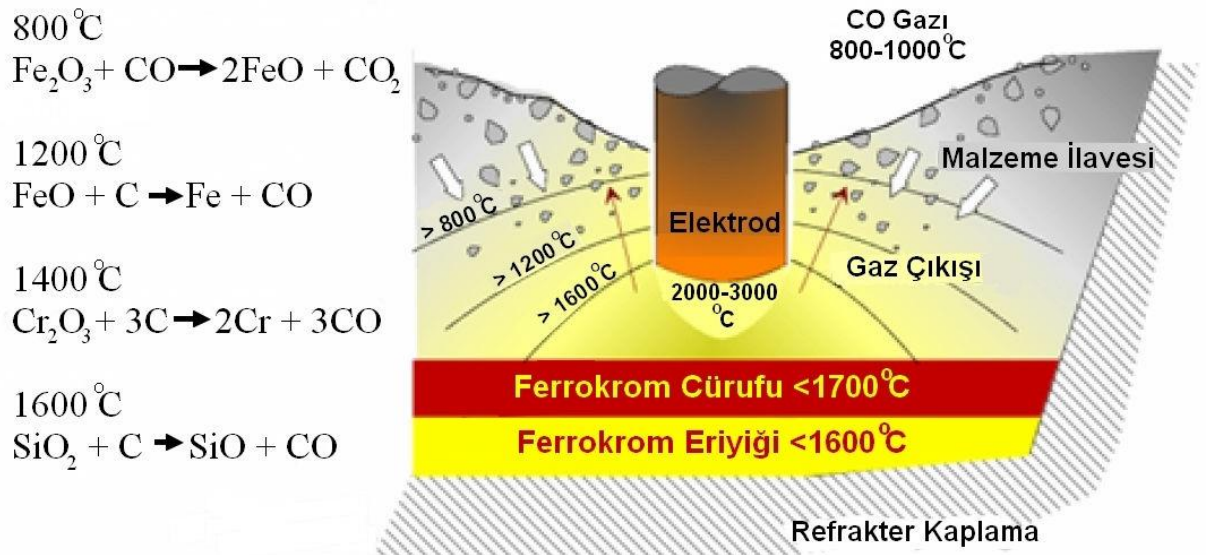
Krom cevheri sanayilerin vazgeçilemez bir üretim girdisidir. Atmosfer korozyonuna, kimyasal etkilere, aşınmaya karşı yüksek direnç göstermesi, çok sert olması

nedeniyle çelik ve öteki metallerin korunmasında kaplama olarak yaygın bir biçimde kullanılır. Bugün kromit cevheri üreten ülkelerin hemen hemen tamamı kaynaklarını ferrokrom ve paslanmaz çelik üretimine yönlendirerek ülke kaynaklarından maksimum faydayı elde etmektedir (Devlet Planlama Teşkilatı, 2001). 1970'li yıllardan başlayarak ferrokrom tesisleri, paslanmaz çelik üreten Japonya, Batı Avrupa ve ABD gibi sanayisi gelişmiş ülkelere krom cevherinin üretildiği ülkelere kaymıştır. Diğer bir deyişle, bu ülkeler krom cevheri ihtiyaçlarını ferrokrom ithali yoluyla karşılamakta, kendi ülkelerinde ferrokrom üretiminden uzaklaşmaktadırlar (Devlet Planlama Teşkilatı, 2001). Dünyada, kromit ile ferrokrom üreticisi ve ihracatçısı olan ülkelerde genel strateji bu doğrultuda olmakla birlikte, üç kromit üreticisi ülke Türkiye, Arnavutluk ve Kazakistan bu genel stratejinin dışında plansız bir ticari eğilim içerisindedir. Bunun başlıca nedenlerinden biri de bu ülkelerin paslanmaz çelik sanayilerinden yoksun oluşlarıdır. Türkiye Dünyanın en büyük kromit ihraç eden ülkesidir. Ülkemizde son yüzyıl içinde yaklaşık 40 milyon ton satılabilir kalitede krom cevherinin üretildiği belirtilmektedir. Alpin tipi Türk kromitleri Dünya krom pazarlarında her zaman üst seviye fiyatlarda talep gören nitelikli, metalürjik kalite cevherler olarak tanımlanmaktadır. Birçok sanayileşmiş ülke, özellikle Alpin tipi kromit ve ferrokrom halen stratejik hammadde olarak değerlendirmektedirler. Bu anlamda kromit üreticisi ülkeler uzun süreden beri ferrokrom üretimine, hatta daha ileri asama olan paslanmaz çelik üretimine yönelmek suretiyle hammaddelerinin katma değerlerini azami ölçüde artırarak değerlendirme stratejilerini uygularken, ülkemizde ilk adım sadece ferrokrom üretimine yönelik olarak, 1958 yılında Antalya da üretime başlayan ve halen varlığını sürdüren 10.000 ton/yıl düşük karbonlu ferrokrom kapasiteli tesisle atılmıştır. Daha sonra 1977 yılında 100.000 ton/yıl yüksek karbonlu ferrokrom üreten Elazığ Ferrokrom İşletmesi ve 1984 yılında devreye giren ve kimyasal kalite kromit cevheri işleyen Özel sektöre ait Mersin Kromsan Krom Bileşikleri Fabrikası yatırımları gerçekleştirilmiştir (Çınk, 2002).

Elazığ merkezli Yıldırım Holding bünyesindeki Eti Kromun paylaştığı bilgilere göre; firma dünyanın en büyük ikinci yüksek karbonlu ferrokrom (HCFeCr) üreticisi halindedir. Metalürjik (sert parça, ufalanabilir ve konsantre) ve refrakter (sert parça ve ufalanabilir) tipi malzeme üreten Eti Krom, ülkenin farklı yerlerinde çıkardığı yüksek tenorlu krom cevherini Elazığ'daki fabrikasında işleyerek HCFeCr ye

dönüştürmektedir. Ayrıca baca gazından elektrik üretmeye yönelik AR-GE faaliyetleri devam etmekte olup büyük çapta yatırımlarla bu bacalardan elektrik üretimi yapılması planlanmaktadır. Aynı holdinge ait Antalya da bulunan fabrikasında ise düşük karbonlu FeCr üretilmektedir.

Dünya yüksek karbonlu ferrokrom üretimi (HCFeCr) 2005'te 6 milyon ton civarında kaydedilirken, buna paralel olarak 1 ton ferrokrom üretimi (FeCr) için ton başına 1,1-1,6 ton civarında cüruf olarak gerçekleşmiştir. Neredeyse ferrokromların hepsi elektrik ark fırınlarında üretilmektedir. Metalürjik kok kullanılarak krom ve demir oksitler, elektrik ark fırınlarında metale indirgenir. Es zamanlı olarak silikanın bir kısmı da indirgenmektedir (Şekil 4.4.). Cürufun sıcaklığı 1700°C iken ferrokrom sıcaklığı 1600°C' dir. Cürufun ergime noktası, metalin ergime noktasından daha yüksek olmalıdır çünkü metal, cürufun sıvı kısmı kullanılarak kızdırılır. Genellikle optimum ergime noktası 1680-1720°C olarak uygulanmaktadır (Çetin, 2011).



Şekil 4.5: Ferrokrom Üretim Isıl İşlem Prosesi (Çetin, 2011).

4.2.1. Ferrokrom fabrikası

Elazığ Bingöl karayolu üzerinde yer alan fabrika ile ilgili Marmara Elazığlılar Derneğinin şu bilgileri paylaşmaktadır. Fabrika Elazığ'a yaklaşık 55km mesafede olup 217,5 hektarlık bir alan üzerine tesis edilmiştir. Alanın 61 hektarı fabrikalar ile idare binalarına 13 hektarı da sosyal tesisler tarafından kullanılmaktadır.

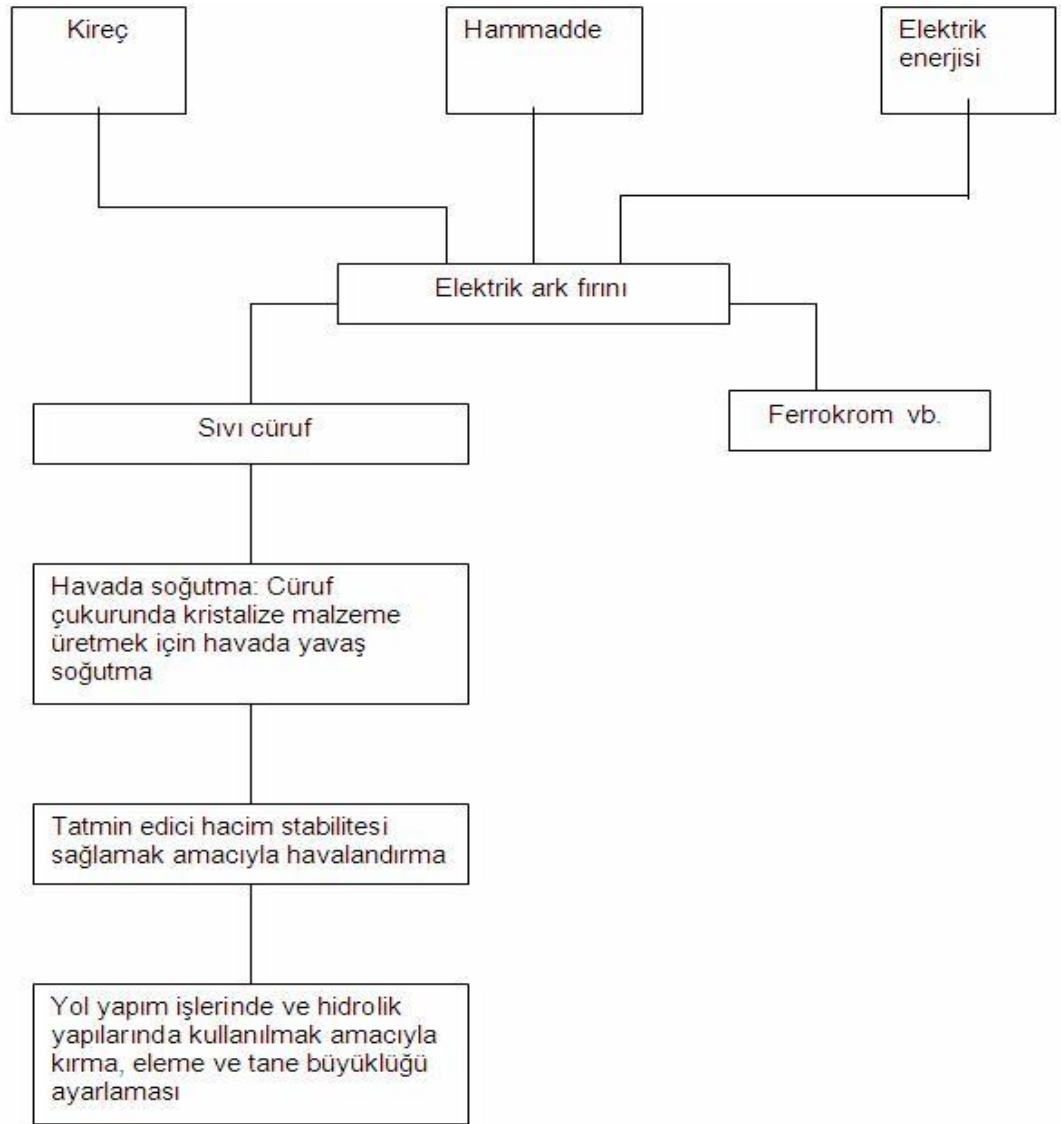
Fabrikanın temelleri 1973 de atılmış olup 1977 de üretime geçilmiştir. Yıllık 50.000 ton kapasite ile A tesisinde üretime başlamıştır. 1978 yılında ise B tesisine başlanarak 1989 yılında da bu tesiste yıllık 100.000 ton kapasite ile üretime geçilmiştir.

Fabrika içerisinde ayrıca beton santrali ve beton ürünler üreten tesisler(kilit taşı, bordür oluk taşı vb.) inşa edilmiş olup fabrika yan ürünü cürufların bir miktarı buralarda değerlendirilmektedir. Ayrıca tesis içerisinde bulunan demir yolu vasıtasıyla da ihraç ürünleri limanlara taşınmaktadır.

4.2.2. Ferrokrom ihracatı

Tesis daha öncede değinildiği gibi dünyanın en yüksek ikinci HCFeCr üreten tesissidir. Üretilen HCFeCr çok az bir kısmı iç piyasaya sunulurken büyük çoğunluğu ihraç edilmektedir. Alpin tipi Türk kromitlerinin kalitesinden dolayı dünya pazarında üst seviyede fiyatlarda talep görmesi de ayrı bir avantajdır.

Eti Krom A.Ş. kuruluşundan 1997 yılı sonu itibari ile 337.745.000 dolar hasılat elde edilmiştir. 1998 yılı ilk beş ayında ise 23.431.000 dolar hasılat gerçekleşmiştir.

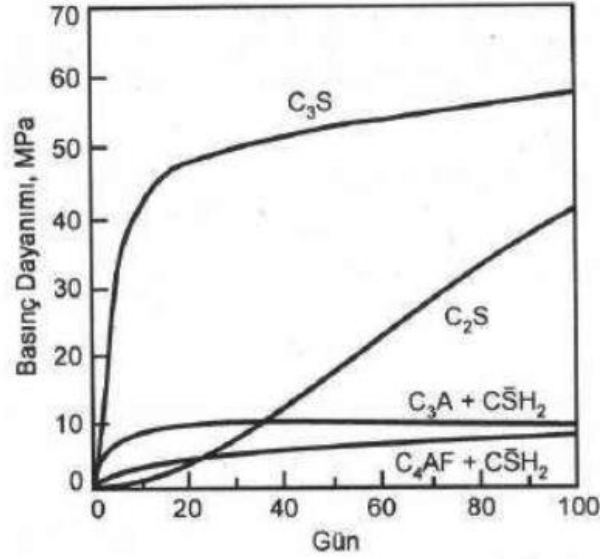


Şekil 4.6: Elektrik ark fırını cürufu basitleştirilmiş üretim seması (Yılmaz, 2002).

4.3. Portland Çimentosu

Portland çimentosu kil ve kalkerin belirli oranlarda karıştırılarak pişirilmesi ile elde edilen ve “klinker” olarak bilinen malzemenin az miktarda alçı taşı ile öğütülmesi sonucu elde edilir. Su ile karşılaşınca hidrolik bağlayıcı özellik kazanır diğer deyişle su altında sertleşerek erimeyen bir yapı olur.

Çimento ve su temas etmeye başladığında aralarında “hidratasyon” adı verilen kimyasal reaksiyon başlamaktadır. Bu reaksiyonlar uygun nem ve sıcaklık ortamında devam etmekte olup günden güne dayanım artışı sağlanmaktadır.



Şekil 4.7: Çimento Hamurundaki Ana bileşenlerin Gösterdiği Dayanım Artışı (Erdoğan, 2003).

Erdoğan(2003) yazdığı eserinde portland çimentoları ile ilgili olarak; hidratasyon hızı, hidratasyonda ne kadar ısı açığa çıkacağı, ne kadar hızda dayanım kazanacağı gibi parametrelerin çimentoda bulunan ana bileşenlerin miktarlarına bağlı olduğunu belirtmiştir. Yani ana bileşenlerin oranlarının değiştirilmesiyle değişik tipte portland çimentosu elde edilebileceğini belirtmiştir.

BÖLÜM 5. DENEYLER

Çalışmanın bu aşamasında ham kolin kilin indeks özelliklerini ve cürufun dane dağılımını bulmak için deneyler yapılmıştır. Ayrıca karışımda kullanılan kolin, FeCr cürufu ve çimentonun özgül ağırlıkları bu aşamada tespit edilmiştir. Tüm bu tespitler zemin danelerinin bağıl yoğunluğunun(özgül ağırlık) tayini, yıkamalı elek analizi, hidrometre, kıvam limitleri, deneyleri yapılmıştır. Son olarak kompaksiyon deneyleri ile optimum su muhtevası ve buna karşılık gelen kuru birim hacim ağırlıklar tespit edilmiştir. Kompaksiyon deneyleri ile elde edilen optimum su muhtevasında karışımlar hazırlanarak CBR deneyleri yapılmış ve karışımların taşıma oranları belirlenmiştir. Söz konusu deneyler TS-1900-1, TS-1900-2 ve TS 1500 de anlatıldığı şekli ile yapılmıştır.

5.1. Piknometre Deneyi

Adını piknometre olarak adlandırılan deney şişesinden alan bu deneyde ki amaç ince danelerin bağıl yoğunluğunun tespitidir. Kütlesi belli olan bir zemin numunesinin tamamen sıvı ile dolu olan bir şişeye ilave edilmesi ile taşıdığı sıvı hacmi hesaplanır. Taşan sıvı hacmi aynı zamanda numunenin hacmini verir prensibi ile yapılan bir deney metodudur.

Deney TS-1900-1 de anlatıldığı şekliyle icra edilmiştir.

5.1.1. Cihazlar

- Yoğunluk Şişesi (piknometre) en az 50 mL kapasiteli ve sıcağa dayanıklı,
- Terazı (0.01 gr duyarlıklı),
- Termometre (ez az 0,5°C hassasiyetli),
- Etüv (110 ± 5°C sıcaklıkta),
- Saf su,

- Vakum pompası,
- Desikatör,
- Piset,
- Cam huni,
- Su banyosu, $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ sıcaklık sağlayabilen,
- Cam çubuk,
- Termometre.

5.1.2. Deneyin yapılışı

- Hacim şişesi, sıcaklığı $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ olan etüvde kurutulmuş, desikatörde soğutulmuş ardından tartıldı (M_1).
- Numune(kaolin, FeCr cürufu, çimento) $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ olan etüvde kurutulmuş, oda sıcaklığına kadar soğutuldu.
- Etüvde kurutulmuş numuneden en az 10gr olacak şekilde piknometre içine konup, şişe, kapağı ve içerisindeki zemin tartılarak not edildi(M_2).
- Piknometre içine konan numune üzerini biraz geçecek şekilde damıtık su ile doldurulmuş, cam çubukla karıştırılıp kaynama olmayacak şekilde vakum işlemine tabi tutuldu(Şekil 5.1:) daha sonra kalan kısmı su doldurulmuş tekrar vakumlandı. Vakum işleminin ardından sıcaklığı 20°C olan su banyosu içine konarak yaklaşık bir saat beklendi. Su seviyesinde düşme olanlara tekrar ilave yapıldı ve banyoya kondu sıcaklık 20°C ve piknometre su ile tam dolu olunca çıkarılıp etrafı kurulanıp tartıldı(M_3)
- Hacim şişesi içindekiler boşaltıldıktan sonra iyice yıkandı. Damıtık su ile doldurulmuş kapağı kapatılarak su havuzuna konup istenilen sıcaklığa ulaşması için beklendi ve su ile tam olacak şekilde ilaveler yapıldı piknometre dolu ve istenilen sıcaklığa gelince havuzdan çıkarılıp kurulanarak tartıldı(M_4).
- Yukarıdaki bahsedilen adımlar kaolin, cüruf ve çimentonun her biri için üç deney olacak şekilde yapıldı.



Şekil 5.1: Piknometre vakum işlemi.

5.1.3. Hesaplar

$$G_s = \frac{\rho_L(M_2 - M_1)}{\rho_w(M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)} \quad (4.1)$$

Burada;

M_1 : Şişesinin kütlesi, (g),

M_2 : Şişe + kuru zemin kütlesi, (g),

M_3 : Şişe + zemin + sıvının kütlesi, (g),

M_4 : Şişesinin sadece sıvı ile dolu kütlesi, (g),

ρ_L : Kullanılan sıvının(deney sıvı su) deney sıcaklığında yoğunluğu, (kN/m^3),

ρ_w : Damıtık suyun deney sıcaklığında yoğunluğu, (kN/m^3)

5.2. Hidrometre Deneyi

Bu deney kil ve silt gurubu olarak bilinen ince daneleri zeminlerin dağılımını bulmak için yapılır. Deney prensibi Stokes yasasına dayanmaktadır. Stokes yasasında, viskoz sıvı içerisinde aşağı yönlü hareket eden tanelerin sahip olduğu nihai hız tane çapına, süspansiyondaki tanelerin ve sıvının yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Tanelerin düşme mesafesi ve geçen zaman belli olduğu için tanenin çapını hesaplamak mümkündür (Saran, 2018).

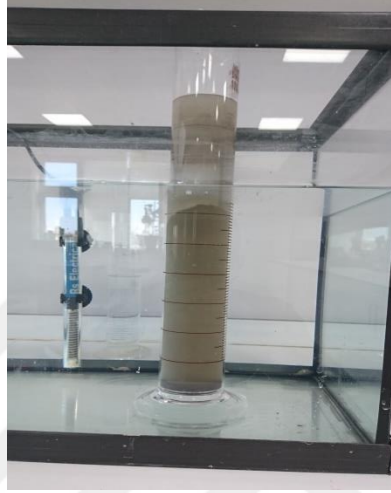
5.2.1. Cihazlar

- Hidrometre(151H veya 152H deneyde 151H kullanılmıştır),
- Mezür: çöktürme silindiri, (şeffaf camdan yapılmış ve 1000 ml'ye kadar ölçeklendirilmiş, 45.7 cm yüksekliğinde, 6.4 cm çapında ve 2 adet),
- Termometre,
- Karıştırıcı,
- Deney elekleri, 2mm, 1,19mm, 600µm, 300µm, 180µm veya 150µm, 75µm ve tavası,
- Terazi,
- Etüv,
- Kronometre,
- Cam çubuk,
- Su banyosu,
- Sodyum hegzametafosfat (NaPO_3).

5.2.2. Deneyin yapılışı

- Numune etüvde kurularak 200 nolu elekten elendikten sonra bir miktar alındı.
- 1000 ml lik saf suya 40gr NaPO_3 ilave edilerek hafif ateşte ısıtılarak topaklanma olmayacak şekilde dağıtıcı madde çözeltisi hazırlandı.
- Kullandığımız cüruf içerisinde organik madde bulunmadığından organik madde yakma işlemi yapılmamıştır.
- Numune cam behere konarak üzerine 125 ml dağıtıcı madde çözeltisi ilave edilip karıştırıldı.
- Süspansiyon daha sonra buradan da mekanik karıştırıcıya alınarak 15 dk kadar karıştırıldı.
- Karıştırıcıdaki malzeme kayıp olmayacak şekilde mezüre aktarıldı karıştırıcı kabında kalan daneler ise piset yardımıyla yıkanarak mezüre aktarıldı.
- Mezürde bulunan karışımın üzerine saf su eklenerek 1000 ml ye tamamlandı.
- Mezürün ağzı avuç içi ile kapatılarak 1dk boyunca havada ters düz edilerek içerisinde yer alan süspansiyonun homojen olması sağlandı.
- Homojen hale gelen mezür sıcaklığı 22°C sabit olan su havuzuna konuldu ve kronometre çalıştırıldı. 0,5(30 saniye), 1., 2. ve 4. dakikalarda hidrometre okumaları alındı.(Şekil 5.2:)

- Sonra hidrometre yavaşça süspansiyondan çıkarıldı damıtık su ile yıkanarak zemin numunesinin sıcaklığı ile aynı olan diğer mezür içerisine kondu.
- Kronometre 8. Dakikaya yaklaşırken(yaklaşık 15-20sn) kala hidrometre yavaşça tekrar suya kondu ve 8. dakika okuması alındı. Benzer işlemler diğer okumalar içinde tekrarlandı. Hidrometrenin süspansiyona konması ve çıkarılması 10 saniyelik zaman diliminde ve suda çalkalanma, titreşim olmamasına özen gösterilmiştir.

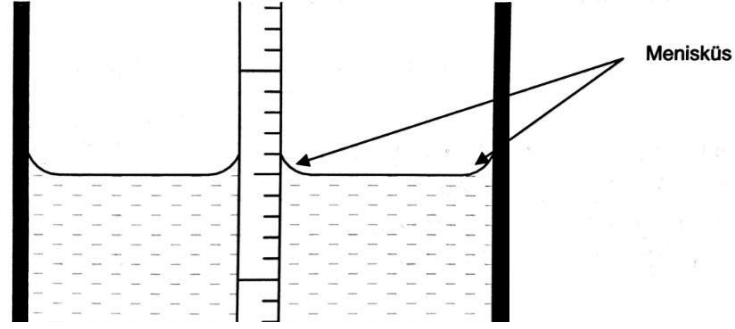


Şekil 5.2: Su banyosu içerisindeki cam mezür.

5.2.3. Hesaplamalar

Deney esnasında yapılan ham okumalar “asıl hidrometre okumaları” olarak adlandırılmaktadır. Bu okumalara menisküs, sıcaklık düzeltmeleri eklenip dağıtıcı madde düzeltmesi çıkarılarak düzeltilmiş hidrometre okumaları elde edilir.

Menisküs düzeltmesi; yüzey gerilim kuvvetlerinden kaynaklanan ve suyun hidrometrenin sapında bir miktar yükselerek oluşturduğu kavise “menisküs” denilmektedir (Şekil 5.3:). Hidrometre deneyinde suyun üst seviyesinden okuma alınmalıdır. Ancak mezürdeki karışım bulanık olduğundan bu seviyeden doğru okuma almak oldukça zordur. Bu yüzden menisküsün üst yüzeyinden okuma alınır ve sonra menisküs miktarı okuma değerine eklenir. Menisküs düzeltme miktarı ise 1000 ml seviyesine kadar saf su ile dolu olan diğer mezürün içerisine bırakılarak hesaplanır. Menisküsün üst seviyesi ve su seviyesinden alınan okumalar arasındaki fark menisküs miktarını verir (Orhan Mehmet, Özer, & Işık, 2013).



Şekil 5.3: Menisküs Oluşması (Orhan Mehmet, Özer, & Işık, 2013).

151 H tipi hidrometreler, 20°C sıcaklıktaki saf suyun yoğunluğunu 1 g/cm³ (veya g/ml) ölçecek şekilde tasarlanmışlardır. Bu yüzden hidrometre deneyi esnasında karışımın sıcaklığı 20°C olmalıdır. Suyun yoğunluğu sıcaklık ile değiştiğinden dolayı (suyun sıcaklığı ile yoğunluğu ters orantılıdır) hidrometre okuması yapılırken karışımın sıcaklığı 20°C'den farklı ise sıcaklık düzeltmesi yapılmalıdır (Orhan Mehmet, Özer, & Işık, 2013).

“K” değeri zemin özgül ağırlığına bağlı olarak tablodan enterpolasyon yapılarak bulundu.

$$\text{Sıcaklık düzeltmesi: Tablo veya } M_t = 0,0055t^2 - 0,0403t - 1,3932 \quad (4.2)$$

$$\text{Efektif derinlik: Tablo veya } L = - 263,57 \times \text{Hidrometre Okuması} + 279,85 \quad (4.3)$$

$$\text{Eşdeğer Çap: } D = k \times \sqrt{L/t} \text{ mm} \quad (4.4)$$

$$\% P = (100000 / M) \times (G_s / (G_s - 1.002)) \times (\text{Düz. Hid. Ok} - 1.002) \quad (4.5)$$

5.3. Islak Elek Analizi Deneyi

Bu deney zemin içerisinde bulunan ince kum ve ondan boyutça daha iri olan malzemelerin dane dağılımını tespit etmek maksadıyla yapılır. İnce malzeme olarak tariflediğimiz kil ve siltin ise toplam yüzdesini, miktarını verir. Bu deney zeminin 200 nolu elek üstünde kalan kısmına uygulanır. FeCr cürufunun dane dağılımını bulmak için bu deney uygulanmıştır.

5.3.1. Cihazlar

- Deney elekleri, (deneyde göz açıklıkları, 2 mm, 1,19 mm, 600 μ m, 300 μ m, 180 μ m 150 μ m, 75 μ m olan elekler kullanılmıştır).
- Terazi,
- Etüv,
- Tepsi,
- Elek temizlemek için fırça
- Elek sarsma makinesi, (deneyde kullanılmıştır).

5.3.2. Deneyin yapılışı

- Elek analizi deneyi, hidrometre deneyi yapıldıktan sonra mezürdeki malzemenin elek setinden yıkanarak geçirilmesi şeklinde yapılmıştır.
- Tepsilerde iyice karıştırılan numune 150 μ m, 75 μ eleklere dökülerek yıkanmaya başlandı eleklerdeki malzeme miktarının 150gr mı geçmemesine özen gösterilerek başta bulanık olan yıkama suyunun duru olmasına kadar işlem devam etti(Şekil 5.4:)
- Yıkanan malzeme temiz tepsilere alınarak etüve atılıp tekrar kurumaya bırakıldı.
- Sıcaklığı (105 \pm 5) $^{\circ}$ C olan etüvde 24 saat kurutularak değişmez kütleye eriştiği görülen numune etüvden alınarak 600 μ m, 300 μ m, 180 μ m, 150 μ m, 75 μ m sıralı eleklerine boşaltıldı.
- Eleklere boşaltılan numune sarsma cihazında 20 dakika süreyle belirli bir şiddette elendi ve her elekte kalan numune miktarı kaydedildi. Yıkamaya bağlı olarak tavada malzeme olmadığı da görüldü.



Şekil 5.4: Yıkamalı Elek analizi aşamaları.

5.3.3. Hesaplamalar

- Elek üstü zemin ağırlığı = (boş elek ağırlığı + kuru zemin ağırlığı) - (boş elek ağırlığı) (4.6)

- % Kalan = (Elek üstü zemin ağırlığı / Toplam numune ağırlığı) x 100 (4.7)

- Toplam % Kalan = % Kalanların kümülatif toplanması ile elde edilir (4.8)

- Toplam % Geçen = 100 - Toplam % Kalan (her satır için uygulanır) (4.9)

- Daha sonra dane dağılım eğrisi çizilerek Üniformluluk katsayısı ve süreklilik katsayıları hesaplanır.

$$\text{Üniformluluk Katsayısı: } C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (4.10)$$

$$\text{Süreklilik Katsayısı: } C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10}) \times (D_{60})} \quad (4.11)$$

5.4. Atterberg(Kıvam) Limitleri

Atterberg (Kıvam) limitleri, zeminlerin farklı su içeriklerindeki davranışlarını ifade eder. Önce taneli zeminler tanımlanırken doğal su içeriği ve Atterberg limitleri önemli rol oynar. Atterberg limitleri, zeminlerin birçok mühendislik özelliğinin belirlenmesinde kullanıldığı için laboratuvar deneylerinde oldukça önemlidir. Örneğin bir zeminin plastiklik özelliğinin az ya da çok oluşu gibi birçok özellik kıvam limitleriyle tespit edilebilmektedir. Plastik limit (PL), likit limit (LL), ve rötre limit (SL) olmak üzere üç tanedir.

Zeminlerin kıvamı; taneler arasındaki bağ kuvvetini (adezyon), yük karşısındaki kayma direnci ve stabilitesini, su içeriğine bağlı olarak değişen zemin yapısını ve hangi su içeriğinde nasıl bir zemin yapısı göstereceğini belirlenmesin de en önemli faktördür.

5.4.1. Deney numunesinin hazırlanması

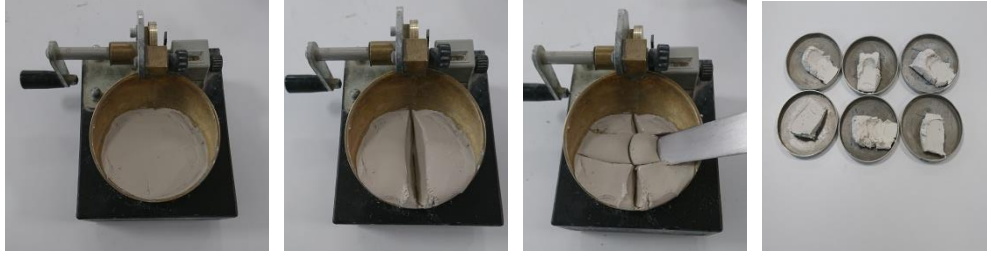
Deneyle TS-1900-1 da anlatıldığı şekilde yapılmıştır. Deneye tabi tutulacak olan kaolin kilinden yaklaşık olarak 200gr alındı. Alınan numune porselen potaya konularak homojen bir hamur şeklini alıncaya kadar damıtık su ile karıştırıldı. Daha sonra hamur, suyun her tarafa yayılması için hava almayacak şekilde bir kaba kondu ve 24 saat desikatörde dinlendirilmeye bırakıldı.

5.4.2. Likit limit deneyi

Likit limit (wL), zeminin kıvamlılığının artan su muhtevasında plastikten sıvı hale dönüştüğü andaki su içeriğidir. Zemin burada sıvı hale geçme aşamasında olduğundan pratik olarak taşıma gücü yoktur, sıfırdır.

5.4.2.1. Deneyin yapılışı

- Daha önceden hazırlanarak desikatörde bekletilen numune alındı ve 10 dk kadar karıştırıldı.
- Karıştırılan numunedan bir miktar alınarak likit limit cihazı (cassagrende) na konularak yüzeyi tabana paralel olacak şekilde düzlendi.
- Oluk açma bıçağı ile tasın ortasına gelecek şekilde zemin ortadan iki eşit parçaya ayrıldı, zeminde “V” kesitli bir oyuk açıldı(Şekil 5.5:).
- Cihazın kolu saniyede 2 devir hızla olacak şekilde çevrilerek düşüslere başlandı ve oluğun iki yanında kalan zeminin 13mm boyunca birbirine değdiği anda cihaz durdurularak düşüş sayısı not edildi.
- Su muhtevasının tayini için oluğun kapanmış olan kesiminin çevresinden 10gr dan az olmamak üzere bir miktar numune alınarak etüve atıldı.
- Numune kaptan alındı ve her seferinde bir miktar su ilave ederek aynı işlemler beş kez tekrar edildi.
- Bu şekilde artan su muhtevalarına karşılık gelen düşüş sayıları tespit edildi.
- Su muhtevası düşüş sayısı grafiğı logaritmik eksen takımında çizilerek 25 düşüşe karşılık gelen su muhtevası değeri likit limit değeri olarak tespit edildi.



Şekil 5.5: Likit Limit Deney Aşamaları.

5.4.3. Plastik limit deneyi

Zeminin henüz plastikliğini kaybetmediği andaki en düşük su içeriğini ifade eder. Deneideki prensip 3mm silindir çubuğu haline getirilen numunede kopma veya çatlama oluyor ise numune en düşük su muhtevasına ulaşmış demektir. Bu noktadaki deformasyonlar artık kalıcıdır.

5.4.3.1. Cihazlar

- Spatula,
- Geniş cam plaka (levha),
- Etüv ($110 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklıkta),
- Terazî (0.01 gr duyarlıklı),
- Numune kapları (numaralı ve düşük kütleli),
- Saf su.

5.4.3.2. Deneyin yapılışı

- Likit limit deneyi için hazırlanan numuneden yaklaşık 30-35 gr alındı.
- Numunenin su miktarının fazla olduğu görülünce numune fazla suyunu vermesi için camın üzerine yayıldı.
- Camdan toplanan numune elde yoğrulup top biçimini alabilecek plastikliğe ulaşması sağlandı.
- Üç eşit top şeklinde parçaya ayrılan numuneden her biri 3mm kalınlığında çubuklar oluşacak şekilde avuç ayası ile cam plaka üzerinde yuvarlandı. Numunenin 3mm kalınlıkta olduğu bu durumda numunede kopma ve çatlama olup olmadığına bakıldı. Kopma çatlama olan numuneden su muhtevası tayini için bir miktar alınıp etüve atıldı.

- Eđer yuvarlama sonucunda 3mm çapta kopma ve çatlama olmuyorsa numunenin mevcut su muhtevası fazla demektir bu durumda numune tekrar cama serilip havalandırılarak su muhtevası dūşürülmelidir.
- Aynı işlemler ikinci, üçüncü numune içinde yapılarak su muhtevaları bulundu. Bulunan su muhtevaların aritmetik ortalamaları alınarak plastik limit değeri tespit edildi.

5.4.4. Plastisite indisi(PI)

Zeminin plastik davranış gösterdiği aralığı ifade eder. Plastisite zeminin davranışını belirleyen en önemli özelliklerden biridir. Zemin içerisindeki su miktarı arttıkça plastiklik artmakta, kohezyon azalmaktadır. Ayrıca kil taneleri etrafını saran su film tabakası nedeniyle daneler birbirini itmekte hacim artışı olmaktadır. Ayrıca Plastisite indisini suya karşı hassasiyet olarak da tarifleyebiliriz.

$$PI = LL - PL \quad (4.12)$$

Numunelerin indeks özellikleri belirlendikten sonra “Kompaksiyon” ve “CBR” deneylerine geçilmiştir bu deneyler Karayolları 11. Bölge Müdürlüğü AR-GE laboratuvarlarında yapılmıştır.

5.5. Modifiye Proctor Deneyi(Yüksek Enerjili Kompaksiyon)

Zeminler daneler, daneler arası boşluklar ve bu boşluklarda kısmen veya tamamen yer alan su ile doludur. Yol, havaalanı, baraj gibi yapılarda çeşitli araç ve vasıtalarla sıkıştırma yapılarak zeminin özellikleri iyileştirilmektedir. Bu işlemlere geçilmeden laboratuvar deneyleri ile uygulanacak yöntem, takip edilecek yol belirlenir.

Deneyin amacı sahada, uygulamanın yapılacağı yerde en yoğun şekilde sıkışmanın sağlanabileceği su içeriğini, su miktarını tespit etmektedir. Diğer bir deyişle zemin içerisindeki havanın dışarı atılarak birim hacimde en yoğun şekilde danelerin yer aldığı andaki su içeriğinin tespit edilmesidir.

Kompaksiyon çalışmalarının başlangıç dönemlerinde, saha uygulamalarındaki inşaat ekipmanlarının sağladığı kompaksiyon enerjisinin sonraki dönemlerdekine oranla düşük olması, laboratuvarında nispeten düşük kompaksiyon enerjisini yeterli

kılmaktaydı. Sonraki dönemlerde inşaat ekipmanları ve uygulama prosedürlerindeki gelişmeler, daha yüksek sıkışmışlık (yüksek yoğunluklar) yaratabilecek kompaksiyon enerjilerine ulaşması ile laboratuvar deneyindeki kompaksiyon enerjisinin yükseltilmesi gündeme gelmiştir.

Modifiye Proctor deneyi II. Dünya savaşı sırasında U.S. Army Corps of Engineering tarafından geliştirilmiş olup, ağır nakliye uçaklarının iniş yaptığı havaalanlarında, daha iyi sıkışmanın gerekliliğinden doğmuştur (<https://docplayer.biz.tr/8511303-4-kompaksiyon-courtesy-of-u-s-wick-drain-inc.html>).

Deney ile ağırlıkça oranları Tablo 5.1: de verilen karışımların optimum su muhtevsındaki kuru birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır.

Tablo 5.1: Deneyde kullanılan karışımlar ve oranları.

Karışım No	Karışım Oranları
Karışım - 1	% 100 Kil + % 0 Çimento + % 0 FeCr Curufu
Karışım - 2	% 95 Kil + % 5 Çimento + % 0 FeCr Curufu
Karışım - 3	% 90 Kil + % 5 Çimento + % 5 FeCr Curufu
Karışım - 4	% 85 Kil + % 5 Çimento + % 10 FeCr Curufu
Karışım - 5	% 80 Kil + % 5 Çimento + % 15 FeCr Curufu
Karışım - 6	% 75 Kil + % 5 Çimento + % 20 FeCr Curufu
Karışım - 7	% 70 Kil + % 5 Çimento + % 25 FeCr Curufu

5.5.1. Cihazlar

- Otomatik modifiye Proctor cihazı,
- Standart kompaksiyon moldu (105 mm iç çap ve 115.5 mm iç etkili yüksekliğinde, (4" lik mold)),
- Etüv ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa sahip),
- Su muhtevası kapları (numaralandırılmış),
- Numune karıştırma kabı(leğen),
- Kriko,
- Desikatör,

- Terazi (0.1 gr duyarlıklı),
- Karıştırma küreği, spatula, bıçak ve düzgün çelik cetvel,
- Lastik tokmak.

5.5.2. Numunelerin deneye hazırlanması

Deneye başlamadan önce Tablo 5.1: belirtilen karışımlardan her birinden farklı su muhtevalarında 5 adet numune deneyden bir gün önce hazırlandı. Hazırlanan her karışım su muhtevası bir öncekinden yaklaşık toplam ağırlığın %2,5' u gibi bir oranda artırıldı. Her bir numune 2000gr olarak hazırlandı. Hazırlanan numuneler hava almayacak şekilde poşetlere konarak suyun homojen olarak dağılması için 24 saat dinlenmeye, küre bırakıldı(Şekil 5.6:).



Şekil 5.6: Karışımların hazırlanması numunelerin hava almayacak şekilde bekletilmesi(minimum 16 saat) (TS 1900-1, 2006).

5.5.3. Deneyin yapılışı

Deneyde otomatik Proctor cihazı yani 458mm'den serbest düşen 4,5 kg kütleli bir tokmak kullanıldı. Ayrıca deney için kullanılması gereken TS 1900/1 de verilen kalıp, elek ve vuruş sayıları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir(Tablo 5.2:). Bizim numunemiz tabloda "A" harfi ile temsil edilen koşulları içerisinde yer aldığından sıkıştırma standart kalıpta beş tabaka halinde 25 vuruş ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.2: Modifiye Proctor deneyi için kullanılması gereken kalıp ve eleklerin seçim kuralları (TS 1900-1, 2006).

Kullanım şartı	Kullanılan malzeme	Kalıp (iç ölçüler)	Tabaka	Vuruş sayısı
A % 20 ve daha az malzeme 4,75 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise,	4,75 mm'lik elekten geçen	Çap: 105,0 mm Boy: 115,5 mm	Beş	25
B % 20 ve daha fazla malzeme 4,75 mm'lik elekte kalıyor ve %20 ve daha az malzeme 9,5 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	9,5 mm'lik elekten geçen	Çap: 105,0 mm Boy: 115,5 mm	Beş	25
C % 20 den daha fazla malzeme 9,5 mm'lik elekte kalıyor ve % 30 ve daha az malzeme 20 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	20 mm'lik elekten geçen	Çap: 152,40 mm Boy: 115,5 mm	Beş	56

- Deneye başlamadan önce moldun(deney kalıbı) ağırlığı taban plakası ile beraber tartılarak kaydedildi.
- Bir gün önceden belirli su muhtevalarında karıştırılıp hava almayacak şekilde poşetlere konan ve numaralandırılan numunelerden ilki bir leğen içerisine boşaltıldı.
- Leğene boşaltılan numune tekrar bir süre karıştırıldı ve ilk tabaka yakası takılmış molda konulup üstü düzlenerek otomatik Proctor cihazına yerleştirildi (Şekil 4.7:)
- Cihazın kapakları kapatılıp 5 tabaka, 25 vuruş yapacak şekilde ayarları yapıldıktan sonra cihaz çalıştırıldı.
- İlk tabakanın sıkışmasından sonra kapaklar açılıp sıkışmış olan numunenin üzeri spatula yardımı ile enine ve boyuna çizildi.
- Daha sonra ikinci tabaka için numune kondu, üstü düzlenip ve kapak kapatılarak çalıştırıldı. 25 vuruş sonunda tekrar üstü spatula yardımıyla

izilerek 3. Tabaka yerleştirilip dzlendi. Bu işlemler diğer tabakalar içinde sırasıyla gerçekleştirildi.

- Her tabaka için molda yerleştirilen zeminin eşit miktarda olmasına dikkat edildi.
- Son tabakada sıkıştırıldıktan sonra mold içindeki numuneyle beraber cihazdan çıkarıldı.
- Çıkarılan moldun yakası söküldü ve yaklaşık 5-10mm kadar olan artık zemin demir cetvel ile kesilip atıldı ve moldun yüzeyi güzelce dzlendi.
- Taban plakasının etrafına altına yapışan zeminler temizlendikten sonra mold taban plakası ve içerisinde sıkışmış haldeki zemin ile beraber tartılarak kaydedildi.
- Daha sonra moldun içindeki zemin kriko yardımı ile çıkarıldı.
- Moldan ıkarılan zeminin alt, st ve orta yerinden numunenin tamamını temsil edebilecek şekilde bir miktar alınarak su muhtevası tayini için etüve atıldı.
- Etüvde 24 saat kurutulan numunelerin su muhtevaları tespit edilerek kaydedildi.
- Yukarıda yapılan işlemler diğer su muhtevaları içinden gerçekleştirilerek beş adet numune için hesaplamalar sonucu kuru birim ağırlık ve su muhtevaları tespit edildi.
- Tespit edilen değerlerden su muhtevası kuru birim ağırlık grafiği çizildi ve maksimum kuru birim hacim ağırlık ile optimum seviyedeki su içeriği bulundu.



Şekil 5.7: Otomatik Modifiye Proctor Cihazı ve kompaksiyon deney aşamaları.

5.5.4. Hesaplar

5.5.4.1. Numunenin ıslak birim hacim ağırlığı

$$\gamma_n = \frac{M_2 - M_1}{V} \times 9,81 \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad (4.13)$$

M_1 = Mold + Taban ağırlığı toplamı (gr)

M_2 = Mold + Taban + Zemin ağırlığı toplamı (gr)

V = Mold hacmi (cm³)

5.5.4.2. Numunenin kuru birim hacim ağırlığı

$$\gamma_k = \frac{100\gamma_n}{100+w} \quad (4.14)$$

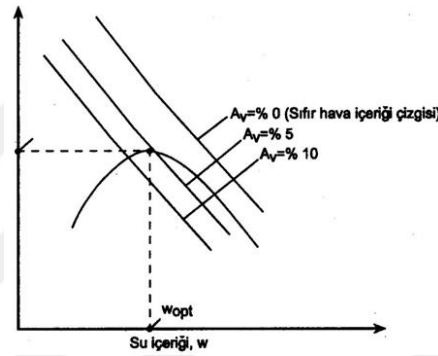
γ_n : ıslak birim hacim ağırlık (gr/cm³)

w : Su muhtevası (%)

5.5.4.3. Sıfır hava boşluğu çizgisinin çizilmesi

Teknik olarak zemin numunesinin tam olarak sıkışması mümkün değildir ne şekilde sıkılırsa sıkılışın içerisinde mutlak suretle bir miktar hava kalmaktadır. Söz konusu çizgilerle deneyde elde edilen eğrinin herhangi bir noktasında doygunluk durumu incelenir. Özellikle tepe nokta irdelenir. Tepe noktasında ki doygunluk ne kadar yüksekse zemin o kadar iyi sıkışmış olarak kabul görür.

Sıfır boşluk eğrisi doygun durumda yani içerisinde hava kalmadığı kabulüyle kuru birim hacim ağırlığın farklı su muhtevaları için tespitiyle çizilir. Seçilen su muhtevaları optimum seviyenin altından ve üstünden($\pm \%1-2$) değerler olmalıdır.



Şekil 5.8: Doymunluk Çizgileri (Gündüz, 2015).

$$\gamma_k = \frac{(1 - n_a) \cdot G_s}{1 - n_a + \frac{G_s \cdot w}{100}} \times 9.81 \text{ kN/m}^3 \quad (4.15)$$

$$n_a(\%) = 100 - S_r \quad (4.16)$$

S_r : Doymunluk derecesi

n_a : Hava içeriği

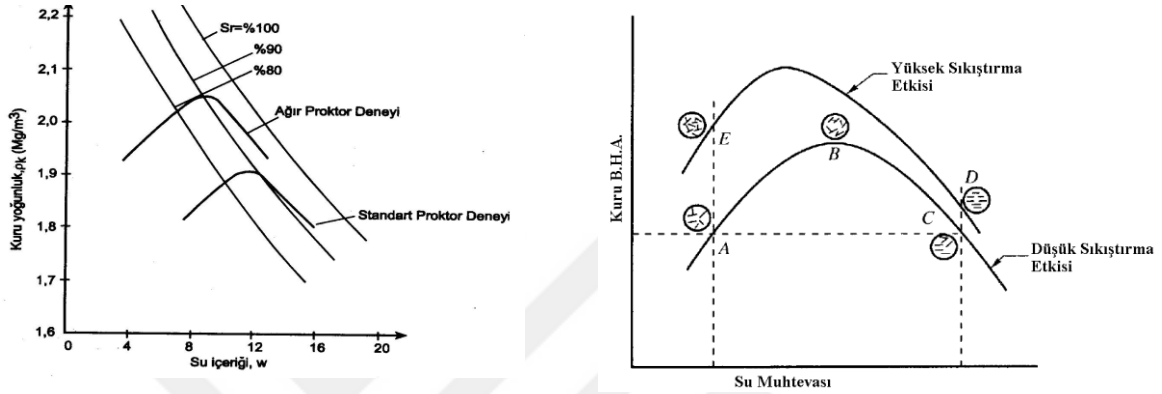
G_s : Özgül ağırlık

w : numunenin su içeriği

Formül 4.15. te verildiği gibi verilen değerler ve istenilen boşluk eğrisi değeri yerine konularak kuru birim ağırlık hesaplanır ve grafiği çizilerek sıkışma eğrisi ile yorumu yapılır. Formülasyonda $n_a=0$ alınması $S_r=\%100$ anlamına gelir.

5.5.4.4. Enerji miktarının hesaplanması

Aynı zemin numunesi için daha yüksek sıkıştırma enerjisi daha iyi sıkışmanın olması demektir. Birim hacme daha fazla danenin yerleşmesi anlamı taşımaktadır. Ayrıca daha az su muhtevasında daha fazla kuru yoğunluk verir. Standart enerjili sıkıştırmaya göre γ_k - w eğrisinin sola ve yukarı doğru çıktığı görülür(Şekil 5.9:).



Şekil 5.9: Enerjinin kompaksiyona etkisi (Gündüz, 2015).

$$CE = \frac{n \times N \times H \times (M_t \times 9,81)}{V} \quad (4.17)$$

CE: Kompaksiyon enerjisi (kJ/m^3)

n: Tabaka(kaç tabakada sıkıştırıldığı)

N: Bir tabakadaki vuruş adedi

H: Tokmağın düşüş yüksekliği (m)

M_t : Tokmağın ağırlığı (kg)

V: Hacim (Mold) (m^3)

5.6. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR)

TS 1900-1 anlatıldığı şekliyle;

1935 mm^2 alana sahip olan bir pistonun belirli bir hızla zemine batırılması şekliyle tatbik edilir. Pistonun zemine batırılması sırasında ortaya çıkan yük-batma miktarı bağıntısı ile taşıma oranı bulunur. Kısaca CBR olarak adlandırılan deney kalıp ve piston boyutları nedeniyle dane boyutu 20 mm'den küçük malzeme için daha uygundur.

Bu deney, alanı 1935 mm^2 olan pistonun belirlenmiş bir hızda zemine itilmesiyle elde edilen yük - penetrasyon bağıntısını kullanarak taşıma oranının bulunmasıyla ilgilidir. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) olarak da bilinen bu deney, kalıbı ve penetrasyon pistonunun boyutları nedeniyle dane boyutu 20 mm 'den küçük malzeme için elverişlidir (TS 1900-2, 2006).

Kaliforniya taşıma oranı (CBR) olarak da bilinen, taşıma oranı deneyi, belirli bir su muhtevasındaki ve yoğunluğundaki zeminin kayma direncini ölçmek için kullanılır. Taşıma oranı, zemin numunesinin, kesit alanı 1935 mm^2 olan pistonun 1.20 mm/dk hızla numune içerisine batırılmasına karşı gösterdiği direncin ölçülmesi prensibine dayalı olarak hesaplanır. Bir başka deyişle, bu zeminin belli bir penetrasyon için gösterdiği direncin, aynı penetrasyon derinliği için standart bir kırma taş numunesinin gösterdiği dirence oranı olarak tanımlanır. Taşıma oranı, standart gerilmenin bir yüzdesi olarak ifade edilmektedir (Gündüz, 2015).

Deney tüm karışımlar için 1, 7ve 28 günlük kür süreleri uygulanarak yapılmıştır.

5.6.1. Cihazlar

- Otomatik modifiye Proctor cihazı ve kompaksiyon deneyinde kullanılan diğer cihazlar,
- Modifiye kompaksiyon moldu (152 mm iç çap ve 127 mm iç etkili yüksekliğinde, (6" lik mold)), taban plakası delikli,
- CBR ölçüm cihazı(Şekil 5.10:),
- Metal ağırlıklar,
- Sacayak(numunenin suda bekletildiği sürede şişmesini ölçmek için),
- Süzgeç kâğıdı.



Şekil 5.10: CBR Ölçüm cihazı(Geocomp LoadTrac II marka ve model).

5.6.2. Numunelerin deneye hazırlanması

Deneye başlamadan önce Tablo 5.1: belirtilen karışımlardan her biri kompaksiyon deneyinde bulunan optimum su muhtevalarında karıştırılarak her bir numune 4000gr olarak hazırlandı. Hazırlanan numuneler hava almayacak şekilde poşetlere konarak suyun homojen olarak dağılması için 24 saat dinlenmeye, küre bırakıldı(Şekil 5.11:.



Şekil 5.11: Karışımların hazırlanması ve zeminin hava almayacak şekilde bekletilmesi(minimum 24 saat) (TS 1900-2, 2006).

5.6.3. Deneyin yapılışı

- Deney ilk aşaması olan sıkıştırma işlemi kompaksiyon deneyi ile birebir aynı olarak gerçekleştirilmektedir.
- Delikli taban plakası takılarak moldun ağırlığı ölçülerek kaydedildi.
- Kompaksiyon deneyinde izlenen yol ile zemin gene beş tabaka halinde serilip sıkıştırıldı farklı olarak 25 vuruş değil her tabakada 61 vuruş gerçekleştirildi.
- Sıkıştırma sonrası yaka sökülüp üstü düzlenen zemin tartılıp kaydedildi.
- Su muhtevası için bir miktar alınıp etüve konuldu ve 24 saat sonra tartılarak su içeriği tespit edildi.
- Yaka tekrar takılarak süzgeç kağıdı ve üzerine ağırlıklar konuldu.
- Ağırlıkların konmasına müteakip şişme miktarını ölçebilmek için sacayak ile sıfırlama işlemi yapıldı.
- Sıfırlama işlemi sonunda numune kür havuzuna konarak tarih ve saati kaydedildi.
- Kür havuzunda bekletilen numuneler günü geldiğinde önce sacayak ile ölçümleri yapılmış daha sonra kür havuzuna konulma sırasına göre sırası ile havuzdan çıkarılıp tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir.
- Ağırlıkları kaydedilen numuneler sularının süzülmesi için 15dk bekletilip daha sonra CBR cihazına konarak ölçüm işlemine geçilmiştir.
- Ölçümleri tamamlanan numuneler kriko yardımıyla kalıptan çıkarılıp su muhtevası için numuneyi temsil edebilecek düzeyde ve miktarda alınarak etüve atılmıştır.

Deneyde ilk olarak 28 günlük numuneler, ikinci olarak 7 günlükler son olarakta 1 günlükler küre yatırılmıştır. 7 ve 28 günlükler aynı gün sudan çıkarılarak 1 günlükler küre yatırılmıştır. Ertesi gün bir günlüklerde çıkarılarak ölçümler tamamlanmıştır. Bu şekilde CBR değerleri arasında bir kıyas yapılarak zaman kaybı olmadan XRD ve SEM çekimlerine geçilmiştir.



Şekil 5.12: CBR deneyi 1. aşaması sıkıştırma ve kür işlemleri



Şekil 5.13: CBR deneyini 2. Aşaması test ve test sonucu numunelerin durumu.

5.6.4. Hesaplamalar

$$\text{Taşıma Oranı} = \frac{\text{Deneyde Uygulanan Yük}}{\text{Kırmataş İçin Standart Yük}} \quad (4.18)$$

Tablo 5.3: Kırmataş için standart değerler (Gündüz, 2015).

Penetrasyon miktarı(mm)	Standart Yük miktarı(kN)
1,25	0,84
2,00	11,50
2,50	13,24
4,00	17,60
5,00	20,00

2.54 mm ve 5.08 mm değerlerine karşılık gelen CBR oranları belirlenerek, bunlardan büyük olanı alınır. Bu değer zeminin taşıma gücü oranıdır.

BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI

Bir önceki bölümde nasıl yapıldıkları anlatılan deneylerin bu bölümde sonuçları raporlanarak yorumlanmıştır.

6.1. Piknometre Deneyi Sonuçları

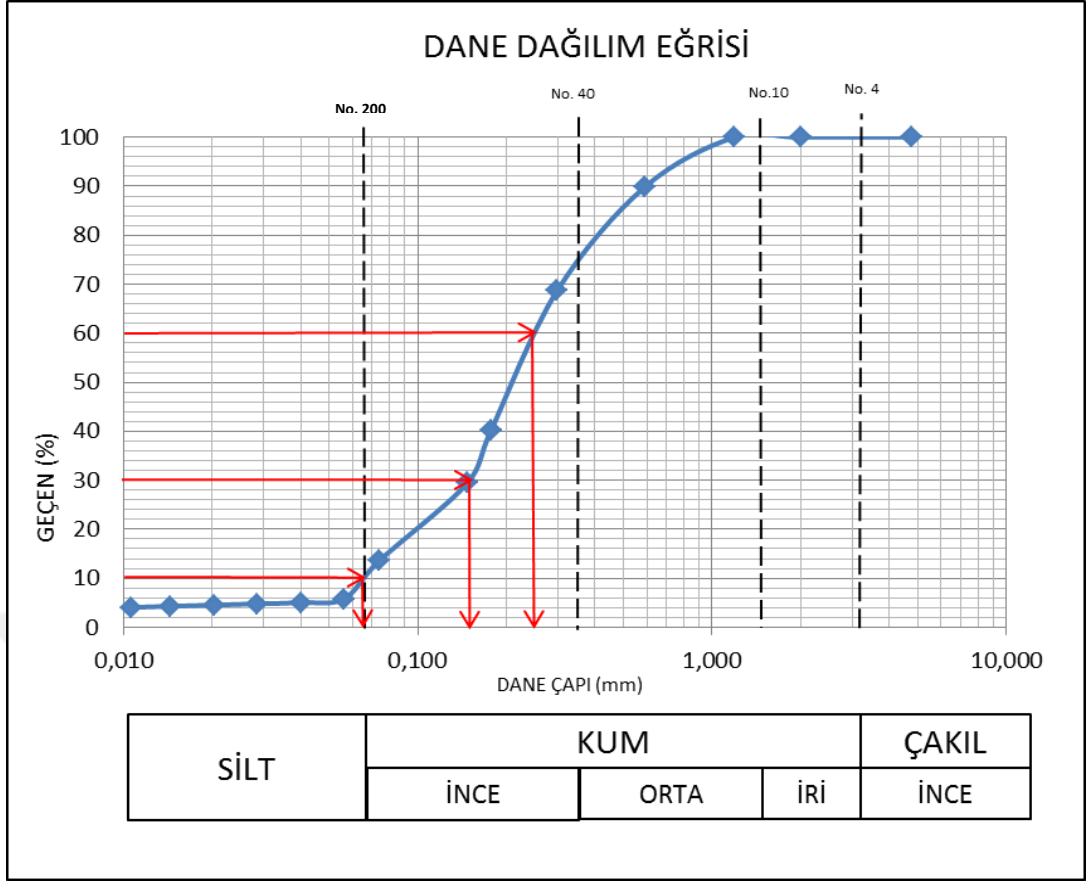
Piknometre deney sonuçları Ek-3 te verilmiş aşağıda Tablo 6.1: de özetlenmiştir. Her numune için üçer adet deney yapılarak ortalamaları alınmıştır. Numuneler için yapılan ilk üç deneyde bulunan değerlerin arasındaki farkın 0,03 ten büyük çıktığı durumlarda deney tekrarlanmıştır. Her numunenin üç deneyi de hata payını en aza indirmek için aynı piknometre ile yapılmıştır. Suyun deney sıcaklığındaki yoğunluğu TS 1900-1 verilen ve Ek-A da sunulan tablodan alınmıştır. Çıkan değerlere bakıldığında en yüksek değer ferrokrom cürufuna sonra çimento ve son olarakta kaoline ait olduğu görülmüştür.

Tablo 6.1: Piknometre deney sonuçları.

Malzeme	Gs
FeCr Cürufu	3,36
Pc-42,5 Çimento	3,09
Kaolin Kil	2,59

6.2. Hidrometre ve Yıkamalı Elek Analizi Deneyi sonuçları

Yıkamalı gerçekleştirilen elek analizi ve hidrometre deneyine ait sonuçlar Ek-4 verilmiş olup dane dağılım eğrisi Şekil 6.1: deki gibidir.



Şekil 6.1: FeCr cürufu dane dağılım eğrisi.

$$D_{10} = 0,065$$

$$D_{30} = 0,150$$

$$D_{60} = 0,250$$

$$\text{Üniformluluk Katsayısı } C_u = 3,85$$

$$\text{Süreklilik Katsayısı: } C_c = 1,38$$

* Uniform zeminde C_u , 1'e yakındır.

* İyi derecelenme şartı :

KUMLAR için, $C_c = 1 - 3$ ve $C_u \geq 6$

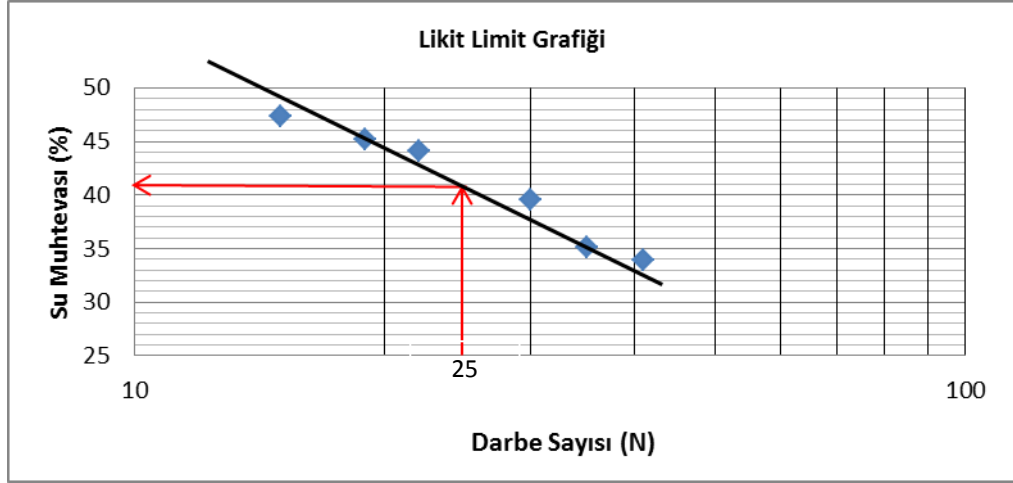
ÇAKILLAR için, $C_c = 1 - 3$ ve $C_u \geq 4$

Cüruf numunesinin yaklaşık %21 orta kum, %65,40 ince kum olmak üzere %86,40 kum kalan %13,60 ise ince malzeme olan (silt, kil) boyutundadır.

6.3. Atterberg Limitleri

Likit ve plastik limit deneyleri yapılarak kaolin kilin zemin sınıfı tespit edilmiştir.

Kaolin numunesi üzerinde yapılan deney sonucunda zeminin plastik limit değeri (PL) % 22 ve likit limit değeri (LL) % 41 olarak bulunmuştur (Şekil 6.2:). Bu değerler kullanılarak zeminin plastisite indisi (PI) % 19 olarak bulunmuştur.

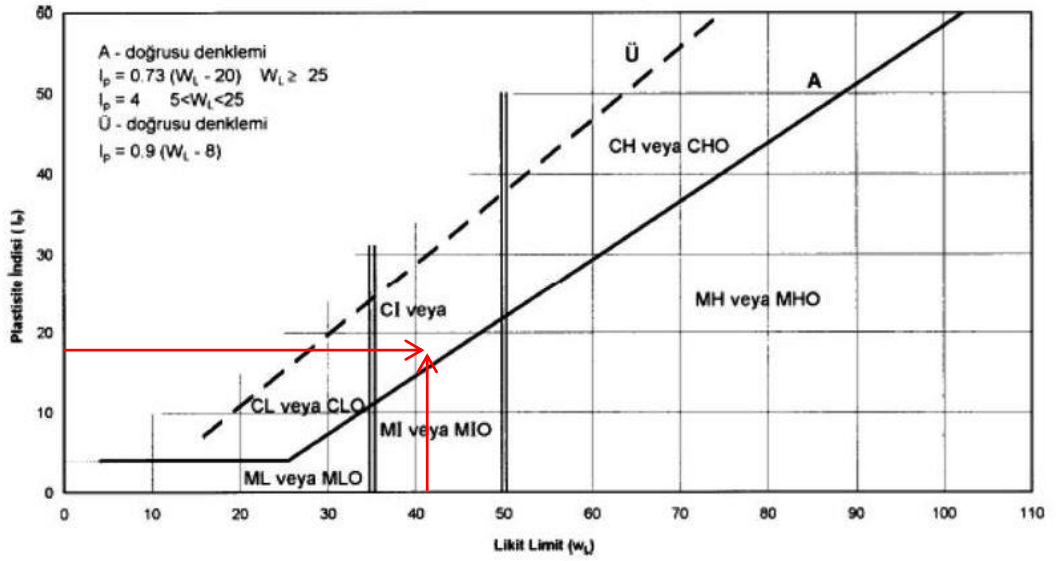


Şekil 6.2: Likit limit deneyi.

Likit Limit = 41

Plastik Limit = 22

Plastisite İndisi = 41-22=19



Şekil 6.3: Plastisite Kartı.

Bulunan değerler plastise kartında işaretlenip kesişim noktasına bakıldığında kaolen kilinin zemin sınıfı “CI” düşük plastisiteli kil olarak bulunmuştur(Şekil6.3:).

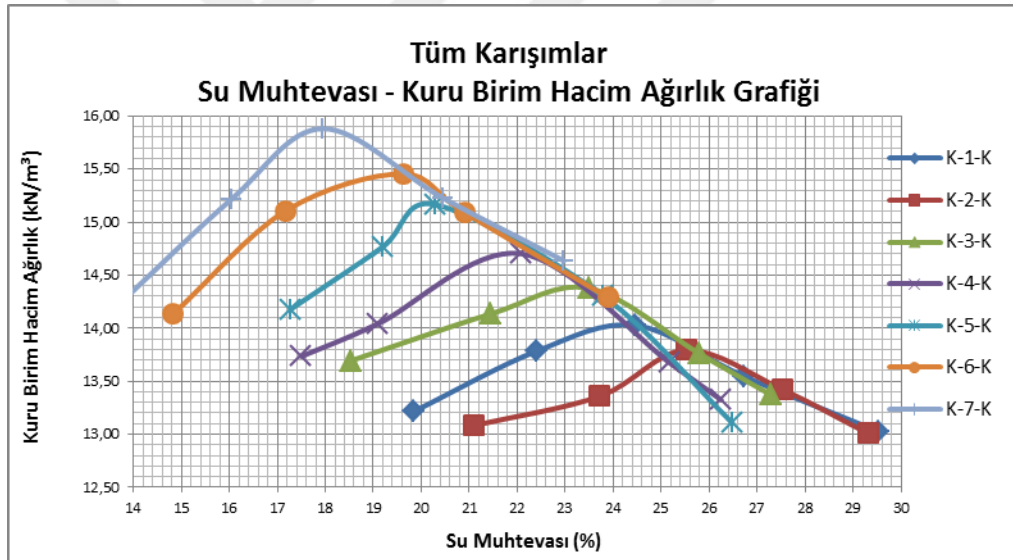
6.4. Modifiye Proctor Deneyi(Yüksek Enerjili Kompaksiyon)

Deneyde kullanılan numuneler üzerinde sınıflama deneyleri tamamlandıktan sonra iyileştirme deneylerine geçilmiştir. Karışımlara ait deneyler yapılarak eğrileri çizilip

grafiklerden optimum su içerikleri ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları tespit edilmiştir. Karışımlara ait değerler Tablo 6.2: te verilmiştir. Ayrıca maksimum kuru birim ağırlıklar – optimum su muhtevası eğrileri Şekil 6.4: te yer almaktadır.

Tablo 6.2: Kompaksiyon deney sonuçları.

KARIŞIM NO	KARIŞIM ORANLARI	Wopt., (%)	ρ_k , (kN/m ³)
Karışım - 1	% 100 Kil + % 0 Çimento + % 0 FeCr Cürufu	24,47	14,03
Karışım - 2	% 95 Kil + % 5 Çimento + % 0 FeCr Cürufu	25,52	13,79
Karışım - 3	% 90 Kil + % 5 Çimento + % 5 FeCr Cürufu	23,50	14,38
Karışım - 4	% 85 Kil + %5 Çimento + % 10 FeCr Cürufu	22,08	14,70
Karışım - 5	% 80 Kil + % 5 Çimento + % 15 FeCr Cürufu	20,30	15,17
Karışım - 6	% 75 Kil + % 5 Çimento + % 20 FeCr Cürufu	19,63	15,46
Karışım - 7	% 70 Kil + % 5 Çimento + % 25 FeCr Cürufu	17,95	15,88



Şekil 6.4: Tüm Karışımlara ait kompaksiyon eğrileri.

Sıkıştırma Enerjisi: $CE = 2543,94 \text{ kJ/m}^3$

Deney sonuçları incelendiğinde cüruf miktarının artması ile optimum su muhtevası azalırken kuru birim ağırlık artmaktadır ve cürufun en fazla olduğu 7 nolu karışım en yüksek sıkışma değerine sahiptir. Aynı sıkışma eğrisinde sola ve yukarı doğru kaymakta olan eğri de gene bu durumun bir göstergesidir.

Eğrileri kuru(artan), tepe ve ıslak(düşen) bölge olarak ele alırsak. Kuru bölgedeki paralellikler artan azalan kil ve artan cüruf miktarına paralel olarak kur birim hacim ağırlıklardaki artışı göstermektedir. Eğrilerin sola ve yukarı doğru kaydığı pik noktalarında gene artan cüruf miktarına bağlı olarak azalan su muhtevalarında artan kuru birim hacim ağırlıkları temsil etmektedir. Son olarak ıslak bölge de ise eğrilerin iç içe geçerek bir birini kestiği görülmekte olup bu durum su içeriğinin fazla olması ve suyun sıkıştırılmaz olmasından ileri gelmektedir.

Sadece kilden oluşan 1. karışım ve %95 kil + %5 çimentodan oluşan 2. karışım ele alındığında 2 no lu karışımının optimum su içeriği daha fazla, kuru birim ağırlığı daha düşük çıkmıştır. Bu durum kile ilave edilen çimentonun numunenin plastikliğini düşürüp suya olan ihtiyacı arttırmasından ileri gelmektedir. 1 no lu karışıma göre daha çok su ihtiva eden 2 no lu karışımın optimum su içeriği artmış ve haliyle kuru ağırlığı düşmüştür.

6.5. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR)

Kompaksiyon deneyi ile elde edilen optimum su muhtevasında numuneler hazırlanıp kür süresi sonucu CBR deneyine tabi tutulmuşlardır. Deney sonuçları Tablo 6.3: te verilmiştir.

Tablo 6.3: CBR deneyi sonuçları.

CBR DENEY SONUÇ TABLOSU				
KARIŞIM ADI	1 GÜNLÜK	7 GÜNLÜK	28 GÜNLÜK	
K1 (%100 KİL)	10	7	5	
K2 (%95 KİL + % 5 ÇİMENTO)	75	116	158	
K3 (%90 KİL + % 5 ÇİMENTO + %5 FeCr)	85	216	162	
K4 (%85 KİL + % 5 ÇİMENTO + %10 FeCr)	96	264	180	
K5 (%80 KİL + % 5 ÇİMENTO + %15 FeCr)	123	255	201	
K6 (%75 KİL + % 5 ÇİMENTO + %20 FeCr)	127	272	210	
K7 (%70 KİL + % 5 ÇİMENTO + %25 FeCr)	124	299	292	

Tabloya bakıldığında artan cüruf miktarıyla beraber CBR değerlerinde bir artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 6.5. 28 günlük kür sonucu CBR testi yapılan 1(sol) ve 7(sağ) nolu karışımlar.

Şekil 6.5: te verilen resimlere bakıldığında resmin solunda yer alan ve sadece ham kaolen suda süngerleşmiş ve test sırasında kabardığı görülmüştür. Ayrıca elle bile bastırıldığında hareketli olduğu gözlenmiştir. Sağda yer alan yedi nolu karışım ise kür süresinde mukavemetini de kazanarak daha da kararlı hale gelmiştir. Ayrıca ölçüm cihazına da aşırı direnç göstererek test süresini uzatmıştır. Kalıptan çıkarılan numuneyi kırmak parçalara ayırmak oldukça zor olmuştur.

BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının ferrokrom cürufu ile zemin ıslahı araştırılmıştır. Doğal zemin numunesi temsilen kaolin kil, ferrokrom cürufu ve bağlayıcı olarak portland çimentosu kullanılmıştır.

Deneyde kullanılan kaolen kil, cüruf ve çimento üzerinde piknometre deneyi yapılarak birim ağırlıkları bulunmuştur. Kil üzerinde atterbeg limitleri deneyleri ile kilin sınıfı “CI” olarak tespit edilmiştir. Ayrıca cürufun dane dağılım eğrisi çizilerek üniforluluk katsayıları tespit edilip yorumlanmıştır. Ardından belirlenen karışım oranlarında numuneler hazırlanarak mekanik deneylere geçilmiştir.

Mekanik deneylere ağır kompaksiyon deneyi ile başlanmıştır. Her karışım için beşer deney yapılarak maksimum kuru birim ağırlık optimum su muhtevası eğrileri çizilmiştir.

Karışımlara cüruf ilave edildikçe su muhtevası azalırken kuru birim hacim ağırlığın arttığı görülmüştür. Kil ve çimentodan oluşan iki nolu karışımın kuru birim ağırlığı tüm karışımlar içinde en düşük değere, su muhtevası ise tüm karışımlar içinde en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Bu durumun; kil tanelerini saran çimento taneciklerinin birbirini itmesi neticesinde boşluklu bir yapı meydana getirmesinden ileri geldiği düşünülmektedir. En yüksek su içeriği 2 nolu karışımda iken en düşük su içeriğide 7 nolu karışımda ölçülmüştür. Kompaksiyon eğrilerinin tepe noktasına doğru artması enerji ile sıkışmanın arttığını tepede optimum seviyeye ulaştığını tepenin sağ tarafındaki düşüşün ise içerisindeki atılabilen havanın atıldığı kalan zemin ve suyun artık sıkışmaz olduğu anlamındadır.

Kompaksiyon deneylerinden elde edilen optimum su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlıklarda yapılan karışımlar 1, 7 ve 28 günlük kür süreleri sonrasında CBR deneyine tabi tutulmuşlardır.

Yapılan çalışmada K1 olarak adlandırılan ve sadece kilden oluşan zeminin CBR değeri KTŞ için gerekli olan şartı sağlamadığı görülmüştür. Bu durum doğal zemin numunesi olarak kullanılan kilin ıslaha ihtiyaç duyduğunun bir göstergesidir.

Tüm kür süreleri için bakıldığında artan cüruf miktarıyla beraber CBR değerlerinin de arttığı görülmüştür. Birim hacim ağırlığı kırmataşınkinden fazla olan cüruf artan miktarıyla beraber çimento ve kille daha iyi bağlanmakta ve kararlı hale gelerek taşıma gücünde artış meydana getirmektedir.

Karışımların kür süresi arttıkça CBR değerinin arttığı görülmektedir. Bu durumun bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun puzolanik özelliğinden ileri geldiği düşünülmektedir. Karışımların EK-8 de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde de bu durum görülecektir. Artan kür süreleri sonunda numunede saman çöpü gibi yapılaşmalar görülmektedir.

Cürufun şişme üzerinde olumlu etkileri de gözlemlenmiştir. Şişme değerleri incelendiğinde tüm karışımlar için KTŞ limitlerinin altındadır. En yüksek değer sadece 1 nolu karışım olan kil de iken cürufllu karışımlarda şişme yok denecek kadar az 6 ve 7. karışımlarda hiç yoktur.

Cüruf içinde yer alan kirleticiler çimento ile bağlanarak çevreye özellikle yer altı sularına geçişi engellenmiştir. Bu çalışmada liç deneyleri yapılmamış önceki çalışmalar baz alınmıştır. Uygulamada liç deneyleri tekrar yapılarak kil ve çimento ile olan bağlayıcılığı tekrar irdelenmeli çimento miktarı artırılıp veya azaltılmalıdır.

XRD deneyleri ile de karışımlarda meydana gelen değişimler EK-9 da sunulmuştur. Bu sonuçlar incelendiğinde yanma sonucu oluşan cürufdaki oksit bileşiklerinin kaolen kili ve çimento ile tepkimeye girerek bağlandıkları ayrıştıkları görülmektedir. FeCr atıklarının değerlendirilebileceğinin ayrı bir göstergesidir.

Deneye tabi tüm karışımlarda KTŞ de istenilen CBR şartı değeri fazlasıyla sağlanmaktadır. Yapılan çalışma için en uygun karışım %25 cüruf, %5 çimento, %70 kaolinden meydana gelen karışımdır. Pratikte uygulama esnasında karışımlar tekrar

irdelenmeli ekonomik analizleri yapılmalıdır. Ayrıca liç deneyine de tabi tutularak çimento ihtiyacı veya fazlası göz ardı edilmemelidir.

Depo sahasında tonlarca atık bulunan işletmenin atıkları değerlendirmesi bakımından bir uygulama alanı tespit edilmiştir.



KAYNAKLAR

- Afetinan, A. (1989). *İzmir İktisat Kongresi*. Ankara: T.T.K Basımevi.
- Alkaya, D. (2002). *Uçucu Kül Katkısının Dolgu Zeminlerin Stabilizesine Etkisi*. (Doktora Tezi). Denizli: Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydın, S. (2010). *Yenikent (Ankara) yerleşim Alanı Killerinin Kireç Ve Uçucu Külle Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çınk1, M. M. (2002). Krom: IMF, WFO be WB Kısılacında Özelleştirmeye Kadar Uzanan Kanlı Bir Öykü. *Metallurji Dergisi*(128).
- Devlet Planlama Teşkilatı. (2001). *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu, Sekizinci 5 yıllık Kalkınma Planı*. Ankara: Devlet Planlama Teşkilatı.
- Dündar, H. (2006). *Farklı Soğutma Hızlarında Soğutulan Çelikhane Cürüflarının Öğütme Parametrelerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erdoğan, T. Y. (2003). *Beton*. Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını.
- Fırat, S., Soyaner, E., Okur, D., & Yılmaz, G. (2017). Performance Of Steel Slag And fly Ash Added Soil As Subbase Materials. *3rd İnternational Sustainable Building Symposium*. Dubai.
- Garaisayev, S. (2008). *Şişen Zeminlerin Kimyasal Yöntemlerle Stabilizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gökdağ, M. (1999). *Kentsel Ulaşımında Karayolu ve Raylı Taşıma Sistemlerinin Bazı Önemli Faktörlere Göre Karşılaştırılması*. Ankara: Türkiye Makine Mühendisleri Odası.
- Gücek, S. (2011). *Mermer Tozu ve Uçucu Külün Kil Zeminlerin İyileştirilmesinde Kullanımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Gündüz, Z. (2015). Zemin Mekaniği ders Notları. Sakarya.
- Hanlı, E. (2009). *Esnek Yol Üst Yapısında Oluşan Bozulmalar ve Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

- <https://docplayer.biz.tr/8511303-4-kompaksiyon-courtesy-of-u-s-wick-drain-inc.html>. (tarih yok).Erişim:19/04/2019 <https://docplayer.biz.tr/8511303-4-kompaksiyon-courtesy-of-u-s-wick-drain-inc.html> adresinden alındı
- Ilıcalı, M. (1988). *Karayolu Üst Yapısında Erdemir Cürufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. (Doktora Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Ilıcalı, M., Özen, H., & Tayfu, S. (2001). *Asfalt ve Uygulamaları*. İstanbul: İsfalt.
- İnce, E. (2012). Cumhuriyetin İlk Yıllarında Türkiye'de Karayolu Ulaşımına Genel Bir Bakış ve Köyde Ulaşım. *Çağdaş Türkiye Tarih Araştırmaları Dergisi*, 171-188.
- İnsan ve Makinalar. (1976). *İnsan ve Makinalar*. İstanbul: Gelişim Basım ve Yayımları A.Ş.
- Kalyoncu, R. S. (2003). Iron And Steel Slag. *Geological Survey Mineral Commodity Summaries*, 92-93.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2012). Stratejik Plan 2012-2016. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü Yayını.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2014). Dün, bugün, yarın. Ankara.
- Mohammed Ali, M. (2012). *Kireç Ve Uçucu Kül İle Stabilize Edilen şişen Killerde Esneklik Modülü Tayini*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Orhan Mehmet, Özer, M., & Işık, N. S. (2013). *Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri Cilt: 1*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Önalp, A. (1983). *İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Özaydın, K. (2000). *Zemin Mekaniği*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Saran, O. (2018). *Van Gölü Çevresindeki İnce Taneli Zeminlerin Kompaksiyon Parametrelerinin Ve Ön Konsolidasyon Basınçlarının Standart Ve Modifiye Proctor Yöntemleri İle İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Van: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Toktay, M., & Erdoğan, K. (1998). *Türkiye Termik santrallerinde Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu*. Ankara: TÇMB.
- TS 1500. (2000). *İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS 1900-1. (2006). *İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1 : Fiziksel Özelliklerin Tayini*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS 1900-2. (2006). *İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 2 : Mekanik Özelliklerin Tayini*. Ankara: Türk standartları Enstitüsü.
- Tuncan, M., Tuncan, A., Koyuncu, H., & Soyak, A. K. (1996). Petrollü Sondaj Atıklarının Yol Alat Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi*. İzmir.

- Tunç, A. (2002). *Yol Mühendisliğinde Geoteknik Uygulamaları*. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım.
- Tunç, A. (2004). *Esnek Kaplama Malzemeleri*. Ankara: Nobel Yayınevi.
- Umar, F., & Açar, E. (1985). *Yol Üst Yapısı*. İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Yayınları.
- Uzuner, B. A. (2000). *Temel Mühendisliğine Giriş*. Trabzon: Derya Kitabevi.
- Ülker, Ş. (2005). *Karayolu Altyapısında Zeminlerin Kireçle İyileştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/tarihçe.aspx. (tarih yok). Nisan Perşembe, 2019 tarihinde www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/tarihçe.aspx adresinden alındı
- www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-yataklari., Erişim; 11/04/2019 www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-yataklari adresinden alındı
- Yavaşcan, S. (2010). *İnce Daneli zeminlerin Endüstriyel Atık Maddeleri İle İyileştirme Potansiyelinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Niğde: Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yeğinobalı, A. (2009). *Niçin Beton Yol*. Ankara: TÇMB.
- Yıldırım, S. (2009). *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*. İstanbul: Birsen yayınevi.
- Yılmaz, A. (2002). *Antalya Ferrkrom İşletmesinin Elektrik Ark Fırını Cüruflarının Ve Baca Tozu Atıklarının Asfalt Betonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Antalya: Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, A. (2008). *Ferrokrom ve Silikoferrokrom Cürufları İle Silis Dumanının Yol Üst Yapısında Kullanımının İncelenmesi*. (Doktora Tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.



EKLER

Ek A**Suyun yoğunluğu ve viskozitesi**

Suyun çeşitli sıcaklıklardaki yoğunluğu ve viskozitesi aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Sıcaklık, t °C	μ_w $\times 10^{-6}$ Nsm	ρ_w g/cm ³	Sıcaklık °C	μ_w $\times 10^{-6}$ Nsm	ρ_w g/cm ³
0,0	1,7921	0,99987	18,0	1,0559	0,99862
0,5		0,99990	18,5		0,99853
1,0	1,7313	0,99993	19,0	1,0299	0,99843
1,5		0,99995	19,5		0,99833
2,0	1,6278	0,99997	20,0	1,0050	0,99823
2,5		0,99998	20,5		0,99812
3,0	1,6191	0,99999	21,0	0,9810	0,99802
3,5		1,00000	21,5		0,99791
4,0	1,5674	1,00000	22,0	0,9579	0,99780
4,5		1,00000	22,5		0,99768
5,0	1,5188	0,99999	23,0	0,9358	0,99757
5,5		0,99998	23,5		0,99745
6,0	1,4728	0,99997	24,0	0,9142	0,99732
6,5		0,99995	24,5		0,99720
7,0	1,4284	0,99993	25,0	0,8937	0,99707
7,5		0,99990	25,5		0,99694
8,0	1,3860	0,99988	26,0	0,875	0,99681
8,5		0,99984	26,5		0,99668
9,0	1,3462	0,99981	27,0	0,855	0,99654
9,5		0,99977	27,5		0,99640
10,0	1,3077	0,99973	28,0	0,836	0,99626
10,5		0,99968	28,5		0,99612
11,0	1,2713	0,99963	29,0	0,818	0,99597
11,5		0,99958	29,5		0,99582
12,0	1,2363	0,99952	30,0	0,800	0,99567
12,5		0,99947	30,5		0,99553
13,0	1,2028	0,99940	31,0	0,783	0,99537
13,5		0,99934	31,5		0,99521
14,0	1,1709	0,99927	32,0	0,767	0,99506
14,5		0,99920	32,5		0,99490
15,0	1,1404	0,99913	33,0	0,751	0,99473
15,5		0,99905	33,5		0,99457
16,0	1,1111	0,99897	34,0	0,736	0,99440
16,5		0,99889	34,5		0,99423
17,0	1,0828	0,99880	35,0	0,731	0,99406
17,5		0,99871	35,5		0,99389

Suyun Yoğunluğu ve Viskozitesi

Ek 1. Özgül Ağırlık Deneyi “K” Sıcaklık Düzeltme Katsayıları

Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (g/mL) [#]	Sıcaklık Katsayısı (K)	Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (g/mL) [#]	Sıcaklık Katsayısı (K)	Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (g/mL) [#]	Sıcaklık Katsayısı (K)	Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (g/mL) [#]	Sıcaklık Katsayısı (K)
15.0	0.99910	1.00090	16.0	0.99895	1.00074	17.0	0.99878	1.00057	18.0	0.99860	1.00039
.1	0.99909	1.00088	.1	0.99893	1.00072	.1	0.99876	1.00055	.1	0.99858	1.00037
.2	0.99907	1.00087	.2	0.99891	1.00071	.2	0.99874	1.00054	.2	0.99856	1.00035
.3	0.99906	1.00085	.3	0.99890	1.00069	.3	0.99872	1.00052	.3	0.99854	1.00034
.4	0.99904	1.00084	.4	0.99888	1.00067	.4	0.99871	1.00050	.4	0.99852	1.00032
.5	0.99902	1.00082	.5	0.99886	1.00066	.5	0.99869	1.00048	.5	0.99850	1.00030
.6	0.99901	1.00080	.6	0.99885	1.00064	.6	0.99867	1.00047	.6	0.99848	1.00028
.7	0.99899	1.00079	.7	0.99883	1.00062	.7	0.99865	1.00045	.7	0.99847	1.00026
.8	0.99898	1.00077	.8	0.99881	1.00061	.8	0.99863	1.00043	.8	0.99845	1.00024
.9	0.99896	1.00076	.9	0.99879	1.00059	.9	0.99862	1.00041	.9	0.99843	1.00022
19.0	0.99839	1.00018	20.0	0.99821	1.00000	21.0	0.99799	0.99979	22.0	0.99777	0.99957
.1	0.99837	1.00016	.1	0.99819	0.99988	.1	0.99797	0.99977	.1	0.99775	0.99954
.2	0.99835	1.00014	.2	0.99816	0.99986	.2	0.99795	0.99974	.2	0.99773	0.99952
.3	0.99833	1.00012	.3	0.99814	0.99984	.3	0.99793	0.99972	.3	0.99770	0.99950
.4	0.99831	1.00010	.4	0.99812	0.99982	.4	0.99791	0.99970	.4	0.99768	0.99947
.5	0.99829	1.00008	.5	0.99810	0.99980	.5	0.99789	0.99968	.5	0.99766	0.99945
.6	0.99827	1.00006	.6	0.99808	0.99978	.6	0.99786	0.99966	.6	0.99764	0.99943
.7	0.99825	1.00004	.7	0.99806	0.99985	.7	0.99784	0.99963	.7	0.99761	0.99940
.8	0.99823	1.00002	.8	0.99804	0.99983	.8	0.99782	0.99961	.8	0.99759	0.99938
.9	0.99821	1.00000	.9	0.99802	0.99981	.9	0.99780	0.99959	.9	0.99756	0.99936
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.99730	0.99909	25.0	0.99705	0.99884	26.0	0.99679	0.99858
.1	0.99752	0.99931	.1	0.99727	0.99907	.1	0.99702	0.99881	.1	0.99676	0.99855
.2	0.99749	0.99929	.2	0.99725	0.99904	.2	0.99700	0.99879	.2	0.99673	0.99852
.3	0.99747	0.99926	.3	0.99723	0.99902	.3	0.99697	0.99876	.3	0.99671	0.99850
.4	0.99745	0.99924	.4	0.99720	0.99899	.4	0.99694	0.99874	.4	0.99668	0.99847
.5	0.99742	0.99921	.5	0.99717	0.99897	.5	0.99692	0.99871	.5	0.99665	0.99844
.6	0.99740	0.99919	.6	0.99715	0.99894	.6	0.99689	0.99868	.6	0.99663	0.99842
.7	0.99737	0.99917	.7	0.99712	0.99892	.7	0.99687	0.99866	.7	0.99660	0.99839
.8	0.99735	0.99914	.8	0.99710	0.99889	.8	0.99684	0.99863	.8	0.99657	0.99836
.9	0.99732	0.99912	.9	0.99707	0.99887	.9	0.99681	0.99860	.9	0.99654	0.99833
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99565	0.99744
.1	0.99649	0.99828	.1	0.99621	0.99800	.1	0.99592	0.99771	.1	0.99562	0.99741
.2	0.99646	0.99825	.2	0.99618	0.99797	.2	0.99589	0.99768	.2	0.99559	0.99738
.3	0.99643	0.99822	.3	0.99615	0.99794	.3	0.99586	0.99765	.3	0.99556	0.99735
.4	0.99641	0.99820	.4	0.99612	0.99791	.4	0.99583	0.99762	.4	0.99553	0.99732
.5	0.99638	0.99817	.5	0.99609	0.99788	.5	0.99580	0.99759	.5	0.99550	0.99729
.6	0.99635	0.99814	.6	0.99607	0.99785	.6	0.99577	0.99756	.6	0.99547	0.99726
.7	0.99632	0.99811	.7	0.99604	0.99783	.7	0.99574	0.99753	.7	0.99544	0.99723
.8	0.99629	0.99808	.8	0.99601	0.99780	.8	0.99571	0.99750	.8	0.99541	0.99720
.9	0.99627	0.99806	.9	0.99598	0.99777	.9	0.99568	0.99747	.9	0.99538	0.99716

Sıcaklıklara göre su yoğunlukları ve (K) sıcaklık düzeltme katsayıları (ASTM D 854-02, 2003).

Ek 2. Hidrometre Deneyi Efektif Derinlik ve “K” Katsayıları

Hidrometre Okuması	Efektif Derinlik, L (cm)	Hidrometre Okuması	Efektif Derinlik, L (cm)	Hidrometre Okuması	Efektif Derinlik, L (cm)	Hidrometre Okuması	Efektif Derinlik, L (cm)
0.995	16.96	1.006	14.21	1.017	11.46	1.028	8.71
0.996	16.71	1.007	13.96	1.018	11.21	1.029	8.46
0.997	16.46	1.008	13.71	1.019	10.96	1.030	8.21
0.998	16.21	1.009	13.46	1.020	10.71	1.031	7.96
0.999	15.96	1.010	13.21	1.021	10.46	1.032	7.71
1.000	15.71	1.011	12.96	1.022	10.21	1.033	7.46
1.001	15.46	1.012	12.71	1.023	9.96	1.034	7.21
1.002	15.21	1.013	12.46	1.024	9.71	1.035	6.96
1.003	14.96	1.014	12.21	1.025	9.46	1.036	6.71
1.004	14.71	1.015	11.96	1.026	9.21	1.037	6.46
1.005	14.46	1.016	11.71	1.027	8.96	1.038	6.21

Düzeltilmiş hidrometre okumasına karşılık gelen efektif derinlik düzeltilmesi.

Sıcaklık (C°)	Zemin Tanelerinin Özgül Ağırlığı																	
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.1323	0.01305	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.1323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

Tane çaplarının hesaplanmasında kullanılan “K” değerleri (ASTM D 422-63, 2002).

ÖZGÜL AĞIRLIK DENEY FORMU (PİKNOMETRE YÖNTEMİ)										
Proje			Yüksek Lisans Tezi				Standart		TS 1900-1	
Numune Tipi			Kaolin, Çimento , Cüruf				Piknometre		250 mL	
Deneyi Yapan			Sedar YILDIRIM				Deney Tarihi		09.01.2019	
SIRA NO	NUM. NO	t (°C)	ρ_L	ρ_w	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	G _s	G _s
ÇİMENTO	1	20	0,99823	0,99823	74,22	99,22	348,42	331,97	3,08	3,09
	2	20	0,99823	0,99823	74,22	99,30	348,49	331,97	3,09	
	3	20	0,99823	0,99823	74,22	99,25	348,50	331,97	3,11	
FeCr CURUFU	1	20	0,99823	0,99823	74,87	99,89	353,34	336,21	3,36	3,36
	2	20	0,99823	0,99823	74,87	99,85	353,28	336,21	3,35	
	3	20	0,99823	0,99823	74,87	99,90	353,35	336,21	3,36	
KAOLİN KİL	1	20	0,99823	0,99823	75,54	100,95	340,51	325,36	2,58	2,59
	2	20	0,99823	0,99823	75,54	100,52	340,33	325,36	2,61	
	3	20	0,99823	0,99823	75,54	100,82	340,47	325,36	2,59	

Ek 3. Dane Boyutu Analizi Deney Verileri

DANE BOYUTU ANALİZİ										
Proje	Yüksek Lisans Tezi		Standart		TS 1900-1					
Numune No	-		Alınan Kuru Numune Kütlesi, (g)		285,34					
Numune Tipi	FeCr (Ferrokrom) Cürufu		Yıkama sonunda Kalan Kuru Numune Kütlesi (g)		246,54					
Deneyi Yapan	Sedar YILDIRIM		Hidrometre		151 H					
Deney Tarihi	09.01.2019		Dane Özgül Ağırlığı		3,36					
No. 10 dan geçen	100		Menisk Düzeltmesi (mm)		0,0008					
ELEK ANALİZİ DENEYİ										
Elek		Göz Açıklığı (mm)	Üstte Kalan Numune(gr)	Kalan (%)	Σ Kalan (%)	Σ Geçen (%)				
No:8	2 mm	2,000	0,00	0,00	0,00	100,00				
No:16	1,19 mm	1,190	0,00	0,00	0,00	100,00				
No:30	600 µm	0,590	28,91	10,13	10,13	89,87				
No:50	300 µm	0,297	60,44	21,18	31,31	68,69				
No:80	180 µm	0,177	81,50	28,56	59,88	40,12				
No:100	150 µm	0,147	30,59	10,72	70,60	29,40				
No:200	75 µm	0,074	45,10	15,81	86,40	13,60				
PAN		PAN		0,00	0,00	0,00				
		Toplam	246,54							
HİDROMETRE DENEYİ										
Saat	Süre (dk)	Asıl Hid. Okuması	Menisk Düz. Hid. Okuması	Sıcak lık (°C)	Sıc. düz.	Düz. Hid. Ok.	k (Tablo)	Efektif Derinlik	Eşdeğer Çap (mm)	%P
10:15	0,5	1,0090	1,0098	22	0,0038	1,0136	0,010636	13,908	0,056	5,79
10:16	1	1,0075	1,0083	22	0,0038	1,0121	0,010636	14,303	0,040	5,04
10:17	2	1,0070	1,0078	22	0,0038	1,0116	0,010636	14,435	0,029	4,79
10:19	4	1,0065	1,0073	22	0,0038	1,0111	0,010636	14,567	0,020	4,54
10:23	8	1,0060	1,0068	22	0,0038	1,0106	0,010636	14,699	0,014	4,29
10:30	15	1,0055	1,0063	22	0,0038	1,0101	0,010636	14,830	0,011	4,04
10:45	30	1,0050	1,0058	22	0,0038	1,0096	0,010636	14,962	0,008	3,80
11:15	60	1,0045	1,0053	22	0,0038	1,0091	0,010636	15,094	0,005	3,55
12:15	120	1,0035	1,0043	22	0,0038	1,0081	0,010636	15,358	0,004	3,05
14:15	240	1,0030	1,0038	22	0,0038	1,0076	0,010636	15,489	0,003	2,80
10:15	1440	1,0030	1,0038	22	0,0038	1,0076	0,010636	15,489	0,001	2,80

Ek 4. Atterbeg (Kıvam) Limitleri Deney Verileri

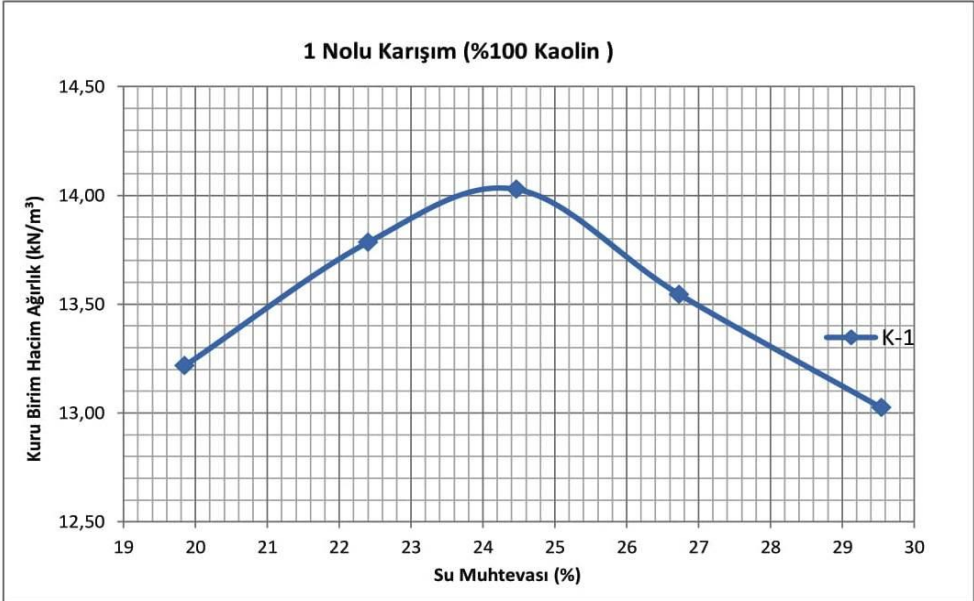
ATTERBERG (KIVAM) LİMİTLERİ DENEY FÖYÜ									
Proje	Yüksek Lisans Tezi			Standart			TS 1900-1		
Numune Tipi	Kaolin Kil			Deney Tarihi			09.01.2019		
Deneyi Yapan	Sedar YILDIRIM								
Deney Adı	LİKİT LİMİT						PLASTİK LİMİT		
Deney Nu.	1	2	3	4	5	6	1	2	3
Kap Nu.	13	10	2	16	19	20	1	10	13
Kap + Yaş örnek(g)	42,1	53,8	47,2	54,7	69,7	45,8	38,2	35,4	36,8
Kap + Kuru örnek (g)	35,5	47,3	42,1	45,3	59,2	39,7	35,9	33,6	34,7
Kap Ağırlığı (g)	21,5	33,1	30,6	21,5	29,4	21,8	25,5	25,7	24,6
Kuru Örnek Ağ. , Ws	14,0	14,2	11,5	23,8	29,9	18,0	10,4	7,9	10,1
Su Ağ., Ww (g)	6,6	6,4	5,1	9,4	10,5	6,1	2,3	1,8	2,1
Su Muhtevası, w %	47	45	44	40	35	34	22	23	21
Darbe Sayısı, N	15	19	22	30	35	41	Wp	22	

Likit Limit Grafiği

Darbe Sayısı (N)	Su Muhtevası (%)
15	47
19	45
22	44
30	40
35	35
41	34

Ek 5 . Kompaksiyon Deneyi Verileri

KURU BİRİM AĞIRLIK SU İÇERİĞİ BAĞINTISININ SAPTANMASI

Sedar Yıldırım Yüksek Lisans Tezi			1. Karışım (%100 Kaolin)		
Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak	Tabaka	Vuruş	Tarih	
		4,5	5	25	5.12.2018
KURU BİRİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI					
Kalıp Numarası	1	2	3	4	5
Kalıp + Yaş Numune Ağırlığı	3.480,00	3.585,00	3.645,00	3.615,00	3.585,00
Kap Ağırlığı	1.865,00	1.865,00	1.865,00	1.865,00	1.865,00
Yaş Numune Ağırlığı	1.615,00	1.720,00	1.780,00	1.750,00	1.720,00
Kalıp Hacmi	1.000,10	1.000,10	1.000,10	1.000,10	1.000,10
Yaş Birim Ağırlık	15,84	16,87	17,46	17,17	16,87
Kuru Birim ağırlığı	13,22	13,78	14,03	13,54	13,02
SU İÇERİĞİNİN SAPTANMASI					
Kap Numarası	1	26	348	5	367
Kap Ağırlığı	22,80	21,40	19,30	11,60	18,00
Kap + Yaş Numune Ağırlığı	88,00	82,60	72,20	62,80	75,00
Kap + Kuru Numune Ağırlığı	77,20	71,40	61,80	52,00	62,00
Su Ağırlığı	10,80	11,20	10,40	10,80	13,00
Kuru Numune Ağırlığı	54,40	50,00	42,50	40,40	44,00
Su içeriği	19,85	22,40	24,47	26,73	29,55
Maksimum Kuru Birim Ağırlık: 14,03 kN/m³					
Optimum Su Muhtevası: % 24,47					
					

1 nolu karışım kompaksiyon verileri ve eğrisi

KURU BİRİM AĞIRLIK SU İÇERİĞİ BAĞINTISININ SAPTANMASI

Sedar Yıldırım Yüksek Lisans Tezi			2. Karışım (%95Kaolin + %5 Çimento)		
Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak	Tabaka	Vuruş	Tarih	
	4,5	5	25	5.12.2018	
KURU BİRİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI					
Kalıp Numarası	1	2	3	4	5
Kalıp + Yaş Numune Ağırlığı	3.520,00	3.615,00	3.675,00	3.530,00	3.600,00
Kap Ağırlığı	1.865,00	1.865,00	1.865,00	1.865,00	1.865,00
Yaş Numune Ağırlığı	1.655,00	1.750,00	1.810,00	1.665,00	1.735,00
Kalıp Hacmi	1.000,10	1.000,10	1.000,10	1.000,10	1.000,10
Yaş Birim Ağırlık	16,23	17,17	17,75	16,33	17,02
Kuru Birim ağırlığı	13,69	14,16	14,38	12,98	13,37
SU İÇERİĞİNİN SAPTANMASI					
Kap Numarası	42	13	29	407	37
Kap Ağırlığı	13,40	10,70	14,10	17,20	19,30
Kap + Yaş Numune Ağırlığı	55,60	64,40	57,20	72,80	77,60
Kap + Kuru Numune Ağırlığı	49,00	55,00	49,00	61,40	65,10
Su Ağırlığı	6,60	9,40	8,20	11,40	12,50
Kuru Numune Ağırlığı	35,60	44,30	34,90	44,20	45,80
Su içeriği	18,54	21,22	23,50	25,79	27,29
Maksimum Kuru Birim Ağırlık: 14,38 kN/m³					
Optimum Su Muhtevası: % 23,50					
<div style="text-align: center;"> <p>2 Nolu Karışım (%95Kaolin + %5 Çimento)</p> <p style="text-align: center;">Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)</p> <p style="text-align: center;">Su Muhtevası (%)</p> </div>					

2 nolu karışım kompaksiyon verileri ve eğrisi

KURU BİRİM AĞIRLIK SU İÇERİĞİ BAĞINTISININ SAPTANMASI

Sedar Yıldırım Yüksek Lisans Tezi		3. Karışım (%90 Kaolin + %5 Çimento + %5 FeCr Cüruf)			
Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak	Tabaka	Vuruş	Tarih	
	4,5	5	25	5.12.2018	
KURU BİRİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI					
Kalıp Numarası	1	2	3	4	5
Kalıp + Yaş Numune Ağırlığı	3.480,00	3.550,00	3.630,00	3.610,00	3.580,00
Kap Ağırlığı	1.865,00	1.865,00	1.865,00	1.865,00	1.865,00
Yaş Numune Ağırlığı	1.615,00	1.685,00	1.765,00	1.745,00	1.715,00
Kalıp Hacmi	1.000,10	1.000,10	1.000,10	1.000,10	1.000,10
Yaş Birim Ağırlık	15,84	16,53	17,31	17,12	16,82
Kuru Birim ağırlığı	13,08	13,36	13,79	13,42	13,01
SU İÇERİĞİNİN SAPTANMASI					
Kap Numarası	45	15	23	56	11
Kap Ağırlığı	20,00	25,60	25,50	25,50	19,30
Kap + Yaş Numune Ağırlığı	77,40	93,40	79,60	92,20	69,60
Kap + Kuru Numune Ağırlığı	67,40	80,40	68,60	77,80	58,20
Su Ağırlığı	10,00	13,00	11,00	14,40	11,40
Kuru Numune Ağırlığı	47,40	54,80	43,10	52,30	38,90
Su içeriği	21,10	23,72	25,52	27,53	29,31
Maksimum Kuru Birim Ağırlık: 13,79 kN/m ³					
Optimum Su Muhtevası: % 25,52					
<div style="text-align: center;"> <p>3 Nolu Karışım (%90 Kaolin + %5 FeCr Cüruf + %5 Çimento)</p> <p>Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)</p> <p>Su Muhtevası (%)</p> </div>					

3 nolu karışım kompaksiyon verileri ve eğrisi

KURU BİRİM AĞIRLIK SU İÇERİĞİ BAĞINTISININ SAPTANMASI

Sedar Yıldırım Yüksek Lisans Tezi		4. Karışım (%85 Kaolin + %5 Çimento + %10 FeCr Cüruf)			
Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak	Tabaka	Vuruş	Tarih	
	4,5	5	25	5.12.2018	
KURU BİRİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI					
Kalıp Numarası	1	2	3	4	5
Kalıp + Yaş Numune Ağırlığı	3.510,00	3.570,00	3.695,00	3.610,00	3.580,00
Kalıp Ağırlığı	1.865,00	1.865,00	1.865,00	1.865,00	1.865,00
Yaş Numune Ağırlığı	1.645,00	1.705,00	1.830,00	1.745,00	1.715,00
Kalıp Hacmi	1.000,10	1.000,10	1.000,10	1.000,10	1.000,10
Yaş Birim Ağırlık	16,14	16,72	17,95	17,12	16,82
Kuru Birim ağırlığı	13,76	14,04	14,70	13,67	13,32
SU İÇERİĞİNİN SAPTANMASI					
Kap Numarası	22	385	33	350	3
Kap Ağırlığı	18,30	17,50	14,90	12,70	19,70
Kap + Yaş Numune Ağırlığı	77,30	73,00	79,60	65,40	92,80
Kap + Kuru Numune Ağırlığı	68,60	64,10	67,90	54,80	77,60
Su Ağırlığı	8,70	8,90	11,70	10,60	15,20
Kuru Numune Ağırlığı	50,30	46,60	53,00	42,10	57,90
Su içeriği	17,30	19,10	22,08	25,18	26,25
Maksimum Kuru Birim Ağırlık: 14,70 kN/m ³					
Optimum Su Muhtevası: % 22,08					
<div style="text-align: center;"> <p>4 Nolu Karışım (%85 Kaolin + %10 FeCr Cüruf + %5 Çimento)</p> <p>Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)</p> <p>Su Muhtevası (%)</p> </div>					

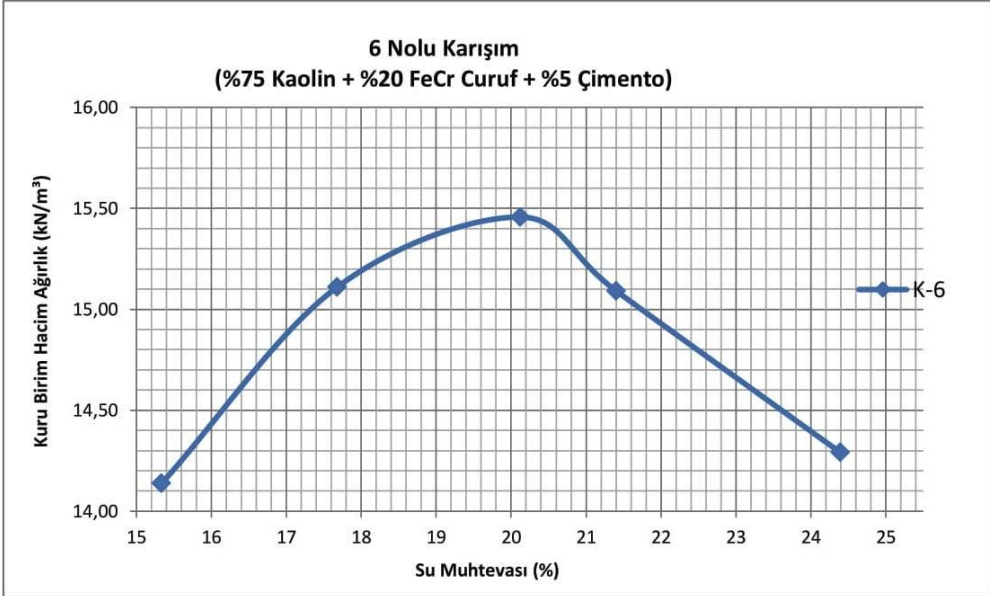
4 nolu karışım kompaksiyon verileri ve eğrisi

KURU BİRİM AĞIRLIK SU İÇERİĞİ BAĞINTISININ SAPTANMASI

Sedar Yıldırım Yüksek Lisans Tezi		5. Karışım (%80 Kaolin + %5 Çimento + %15 FeCr Cüruf)			
Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak	Tabaka	Vuruş	Tarih	
	4,5	5	25	6.12.2018	
KURU BİRİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI					
Kalıp Numarası	1	2	3	4	5
Kalp + Yaş Numune Ağırlığı	3.520,00	3.670,00	3.750,00	3.725,00	3.670,00
Kap Ağırlığı	1.865,00	1.865,00	1.865,00	1.865,00	1.865,00
Yaş Numune Ağırlığı	1.655,00	1.805,00	1.885,00	1.860,00	1.805,00
Kalp Hacmi	1.000,10	1.000,10	1.000,10	1.000,10	1.000,10
Yaş Birim Ağırlık	16,23	17,71	18,49	18,24	17,71
Kuru Birim ağırlığı	14,14	15,11	15,46	15,09	14,29
SU İÇERİĞİNİN SAPTANMASI					
Kap Numarası	17	600	406	2	403
Kap Ağırlığı	16,20	19,50	17,60	19,60	17,60
Kap + Yaş Numune Ağırlığı	82,00	76,80	68,80	89,00	73,60
Kap + Kuru Numune Ağırlığı	73,50	68,40	60,40	77,00	62,80
Su Ağırlığı	8,50	8,40	8,40	12,00	10,80
Kuru Numune Ağırlığı	57,30	48,90	42,80	57,40	45,20
Su içeriği	14,83	17,18	19,63	20,91	23,89
Maksimum Kuru Birim Ağırlık:		15,46		kN/m ³	
Optimum Su Muhtevası: %		19,63			
<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>5 Nolu Karışım (%80 Kaolin + %15 FeCr Cüruf + %5 Çimento)</p> </div> </div>					

. 5 nolu karışım kompaksiyon verileri ve eğrisi

KURU BİRİM AĞIRLIK SU İÇERİĞİ BAĞINTISININ SAPTANMASI

Sedar Yıldırım Yüksek Lisans Tezi		6. Karışım (%75 Kaolin + %5 Çimento + %20 FeCr Cüruf)			
Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak	Tabaka	Vuruş	Tarih	
	4,5	5	25	6.12.2018	
KURU BİRİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI					
Kalıp Numarası	1	2	3	4	5
Kalıp + Yaş Numune Ağırlığı	3.560,00	3.660,00	3.725,00	3.670,00	3.555,00
Kap Ağırlığı	1.865,00	1.865,00	1.865,00	1.865,00	1.865,00
Yaş Numune Ağırlığı	1.695,00	1.795,00	1.860,00	1.805,00	1.690,00
Kalıp Hacmi	1.000,10	1.000,10	1.000,10	1.000,10	1.000,10
Yaş Birim Ağırlık	16,63	17,61	18,24	17,71	16,58
Kuru Birim ağırlığı	14,18	14,77	15,17	14,30	13,11
SU İÇERİĞİNİN SAPTANMASI					
Kap Numarası	86	333	8	3	411
Kap Ağırlığı	13,40	17,50	10,90	19,70	17,35
Kap + Yaş Numune Ağırlığı	65,00	68,40	51,20	79,00	82,30
Kap + Kuru Numune Ağırlığı	57,40	60,20	44,40	67,60	68,70
Su Ağırlığı	7,60	8,20	6,80	11,40	13,60
Kuru Numune Ağırlığı	44,00	42,70	33,50	47,90	51,35
Su içeriği	17,27	19,20	20,30	23,80	26,48
Maksimum Kuru Birim Ağırlık:			15,17	kN/m ³	
Optimum Su Muhtevası: %			20,30		
<div style="text-align: center;"> <p>6 Nolu Karışım (%75 Kaolin + %20 FeCr Cüruf + %5 Çimento)</p>  <p>Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)</p> <p>Su Muhtevası (%)</p> </div>					

. 6 nolu karışım kompaksiyon verileri ve eğrisi

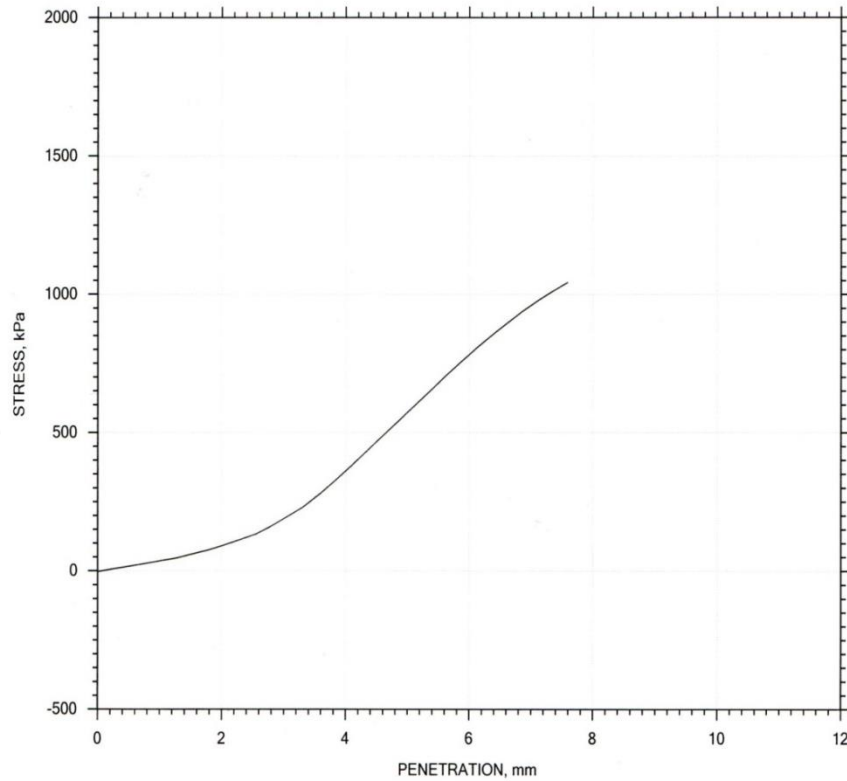
KURU BİRİM AĞIRLIK SU İÇERİĞİ BAĞINTISININ SAPTANMASI

Sedar Yıldırım Yüksek Lisans Tezi		7. Karışım (%70 Kaolin + %5 Çimento + %25 FeCr Cüruf)			
Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak	Tabaka	Vuruş	Tarih	
	4,5	5	25	6.12.2018	
KURU BİRİM AĞIRLIĞIN SAPTANMASI					
Kalıp Numarası	1	2	3	4	5
Kalıp + Yaş Numune Ağırlığı	3.515,00	3.665,00	3.775,00	3.735,00	3.700,00
Kap Ağırlığı	1.865,00	1.865,00	1.865,00	1.865,00	1.865,00
Yaş Numune Ağırlığı	1.650,00	1.800,00	1.910,00	1.870,00	1.835,00
Kalıp Hacmi	1.000,10	1.000,10	1.000,10	1.000,10	1.000,10
Yaş Birim Ağırlık	16,18	17,66	18,74	18,34	18,00
Kuru Birim ağırlığı	14,23	15,22	15,88	15,23	14,64
SU İÇERİĞİNİN SAPTANMASI					
Kap Numarası	100	59	62	6	48
Kap Ağırlığı	12,30	11,40	11,10	13,00	12,20
Kap + Yaş Numune Ağırlığı	60,40	60,60	67,60	66,00	66,80
Kap + Kuru Numune Ağırlığı	54,60	53,80	59,00	57,00	56,60
Su Ağırlığı	5,80	6,80	8,60	9,00	10,20
Kuru Numune Ağırlığı	42,30	42,40	47,90	44,00	44,40
Su içeriği	13,71	16,04	17,95	20,45	22,97
Maksimum Kuru Birim Ağırlık:		15,88		kN/m ³	
Optimum Su Muhtevası: %		17,95			
<div style="text-align: center;"> 7 Nolu Karışım (%70 Kaolin + %25 FeCr Curuf + %5 Çimento) </div>					

7 nolu karışım kompaksiyon verileri ve eğrisi

Ek 6. CBR Deneyi Verileri

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

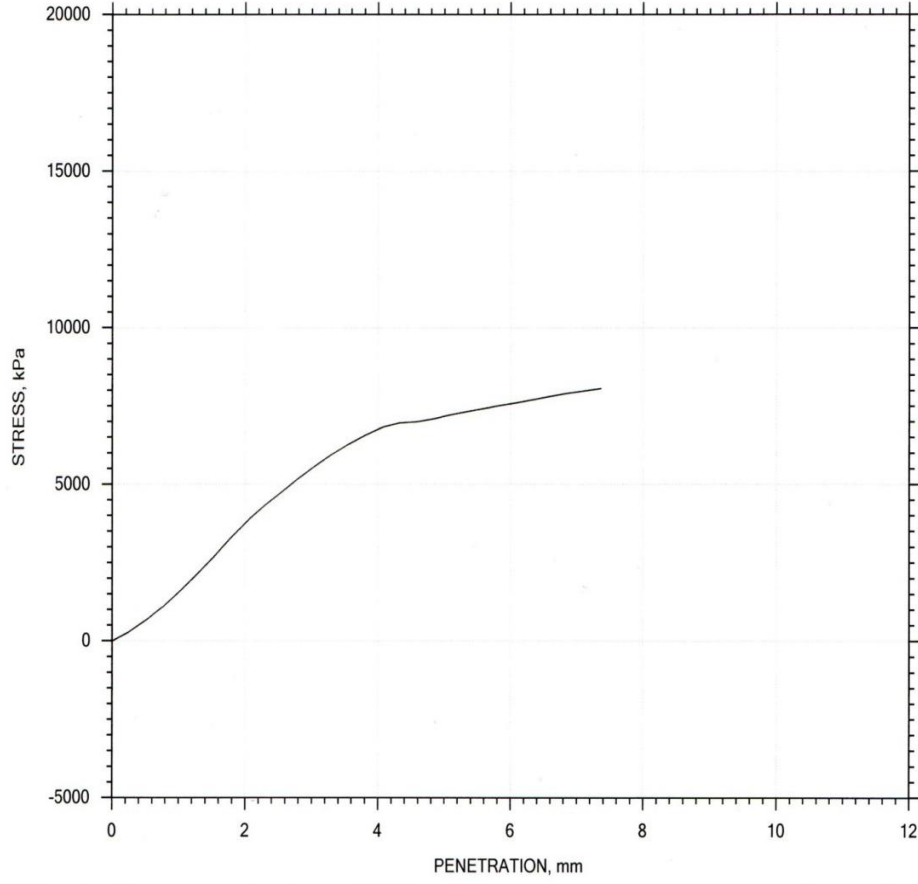


Sample Height: 142.24 mm		California Bearing Ratio			
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 8	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 10	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

Project: 1 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
Sample No.:	Test Date: 19/03/2019	Depth:
Test No.: CBR K-1	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
Description:		
Remarks:		

K-1 1 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

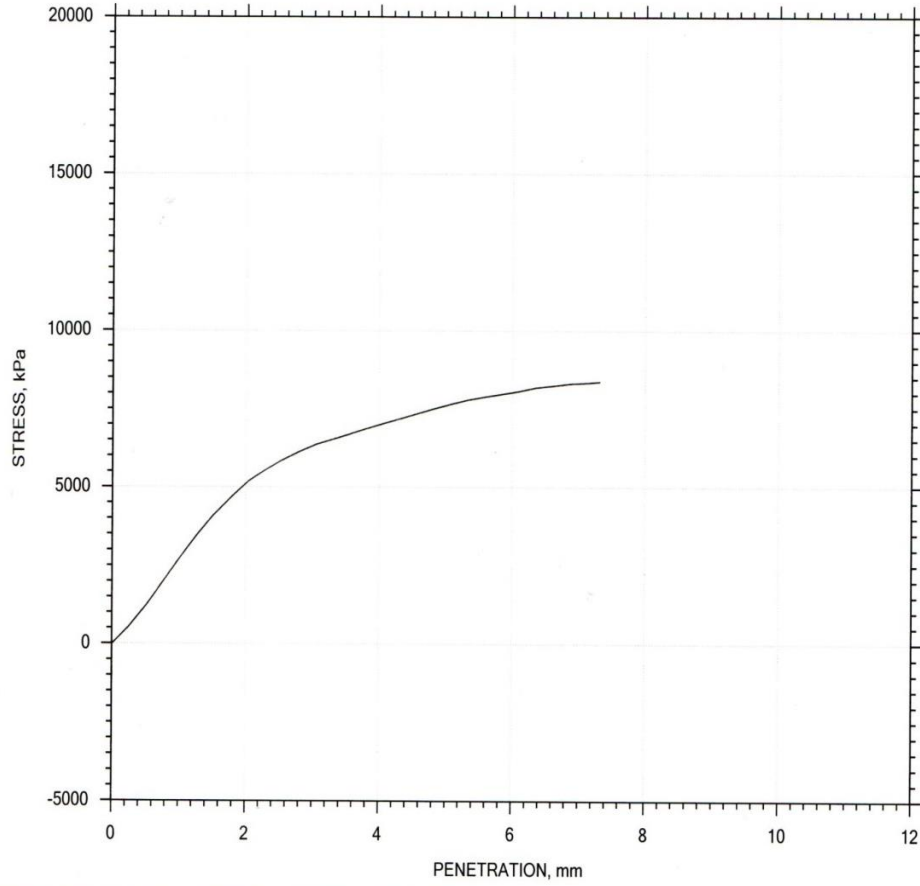


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 75	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 71	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

Project: 1 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
Sample No.:	Test Date: 19/03/2019	Depth:
Test No.: CBR K-2	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
Description:		
Remarks:		

K-2 1 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

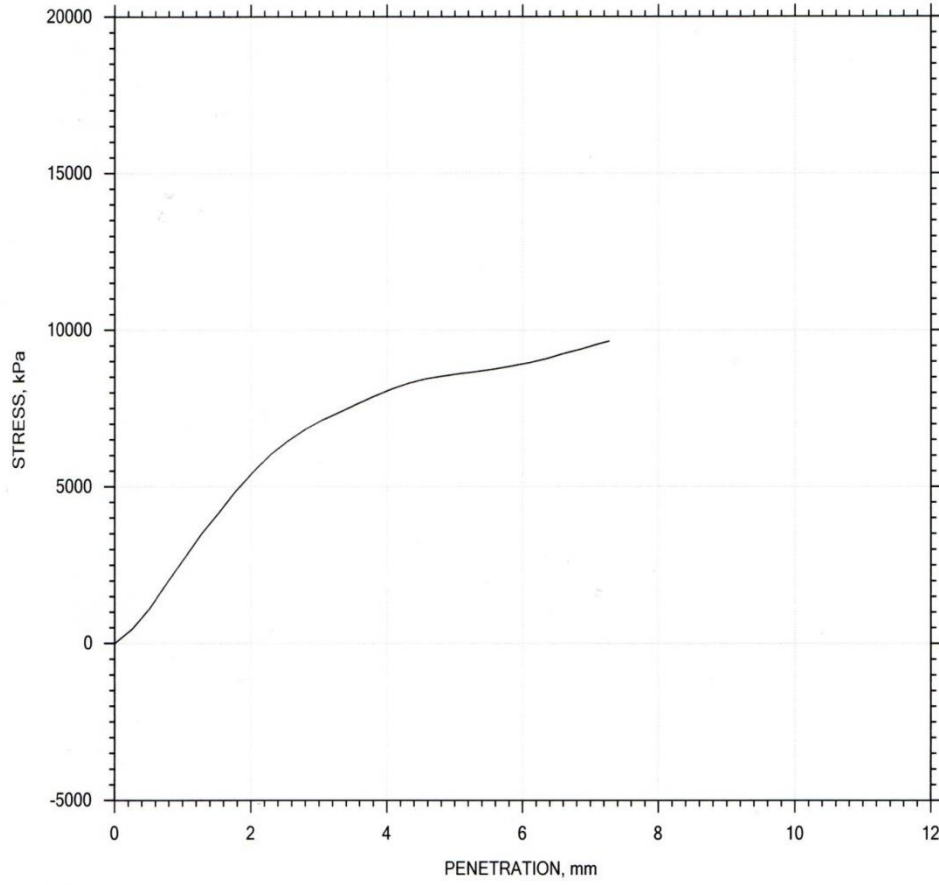


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 85	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 74	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

	Project: 1 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
	Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
	Sample No.:	Test Date: 19/03/2019	Depth:
	Test No.: CBR K-3	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
	Description:		
	Remarks:		

K-3 1 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

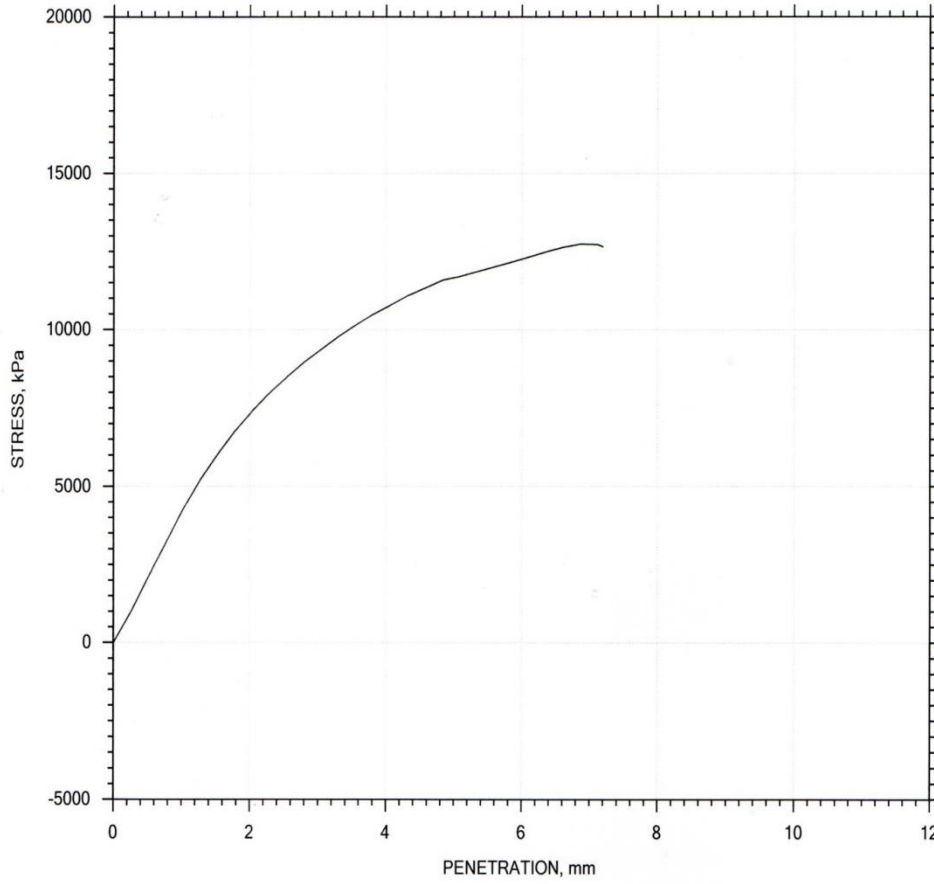


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 96	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 84	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

Project: 1 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
Sample No.:	Test Date: 19/03/2019	Depth:
Test No.: CBR K-4	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
Description:		
Remarks:		

K-4 1 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

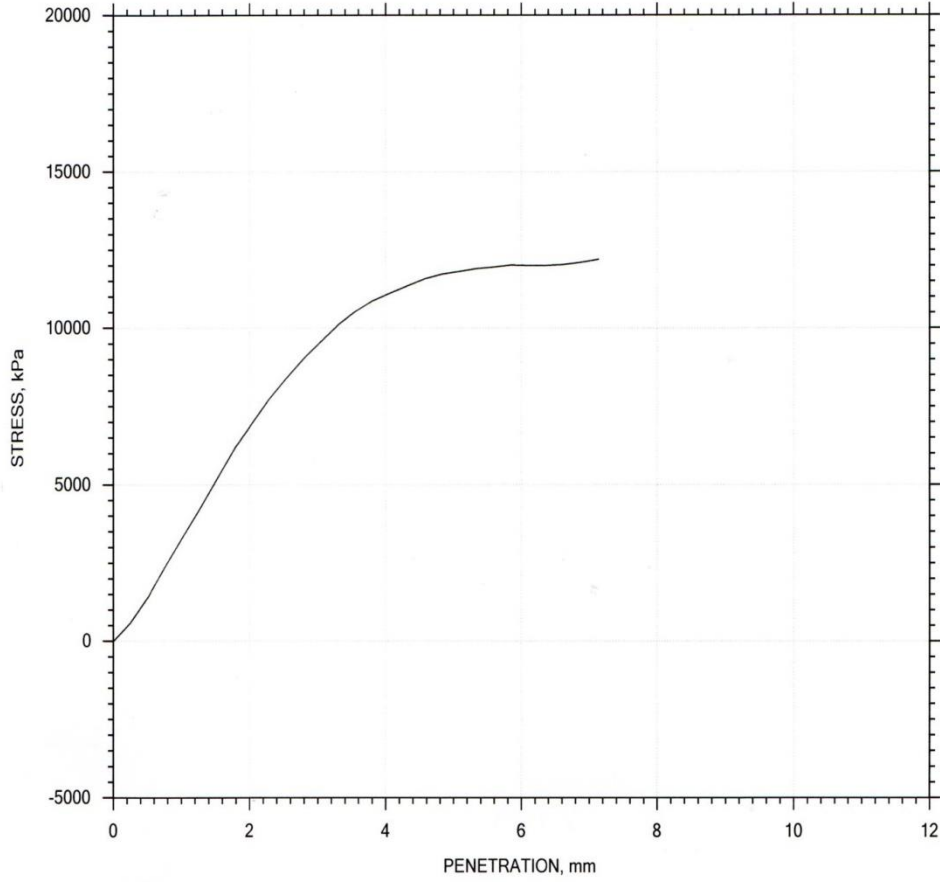


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 123	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 113	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

	Project: 1 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
	Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
	Sample No.:	Test Date: 19/03/2019	Depth:
	Test No.: CBR K-5	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
	Description:		
Remarks:			

K-5 1 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

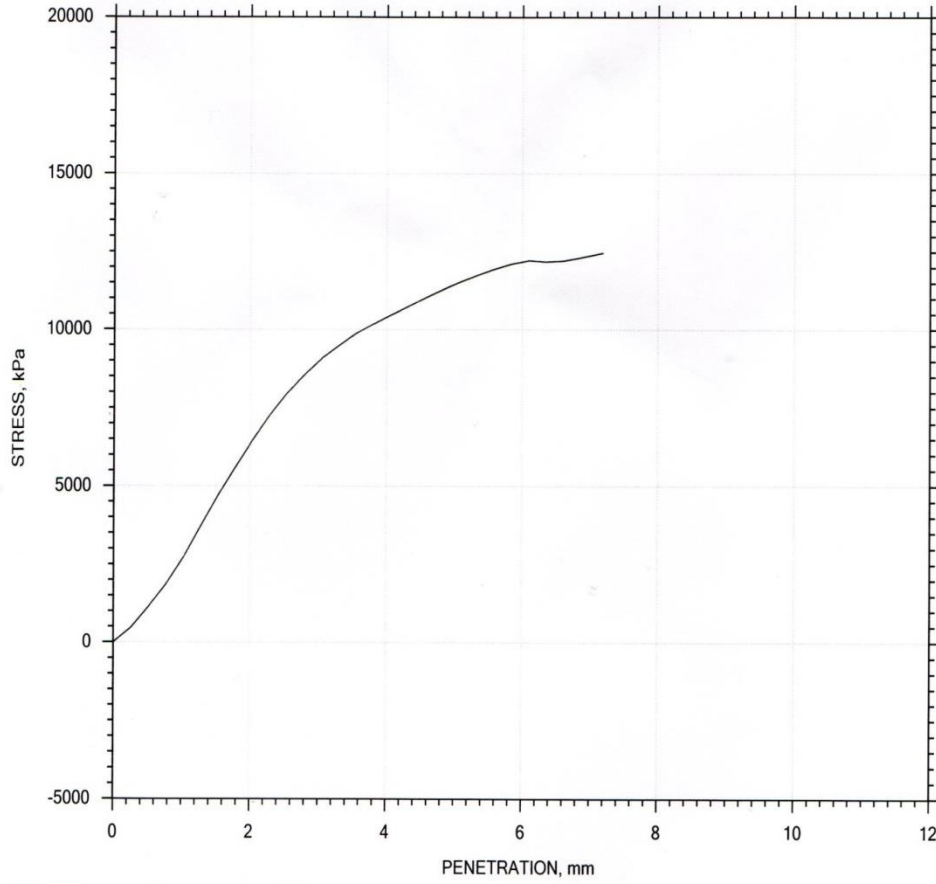


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 127	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 115	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

Project: 1 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
Sample No.:	Test Date: 19/03/2019	Depth:
Test No.: CBR K-6	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
Description:		
Remarks:		

K-6 1 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

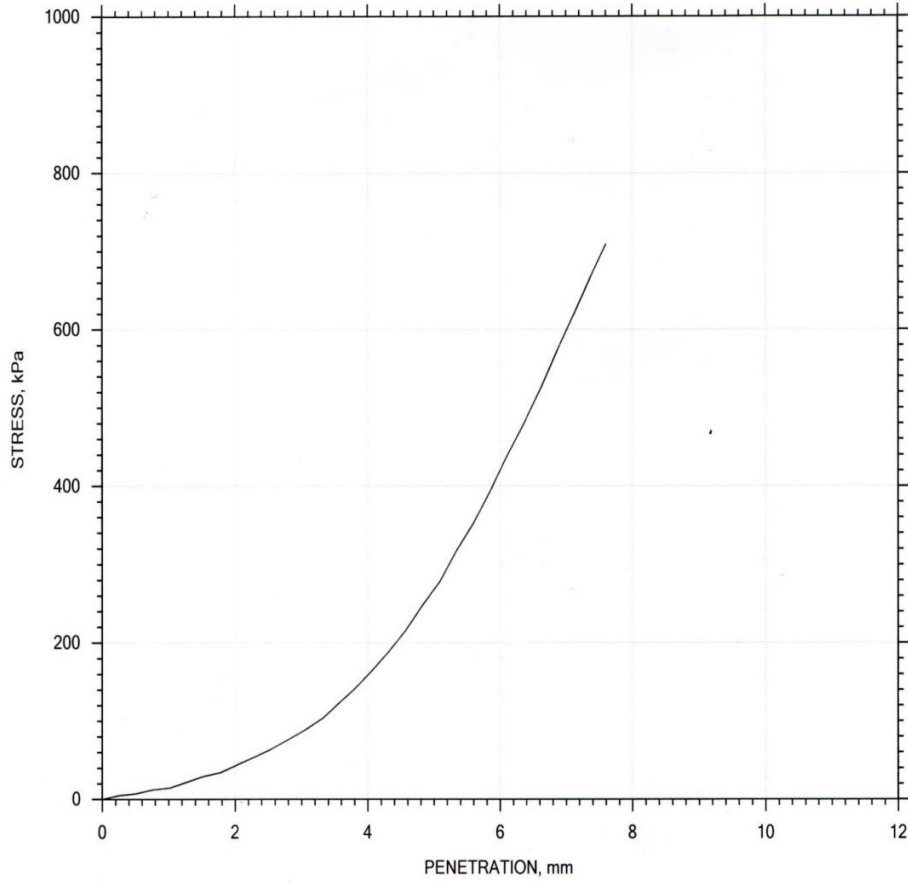


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 124	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 114	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

	Project: 1 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
	Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
	Sample No.:	Test Date: 19/03/2019	Depth:
	Test No.: CBR K-7	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
	Description:		
	Remarks:		

K-7 1 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

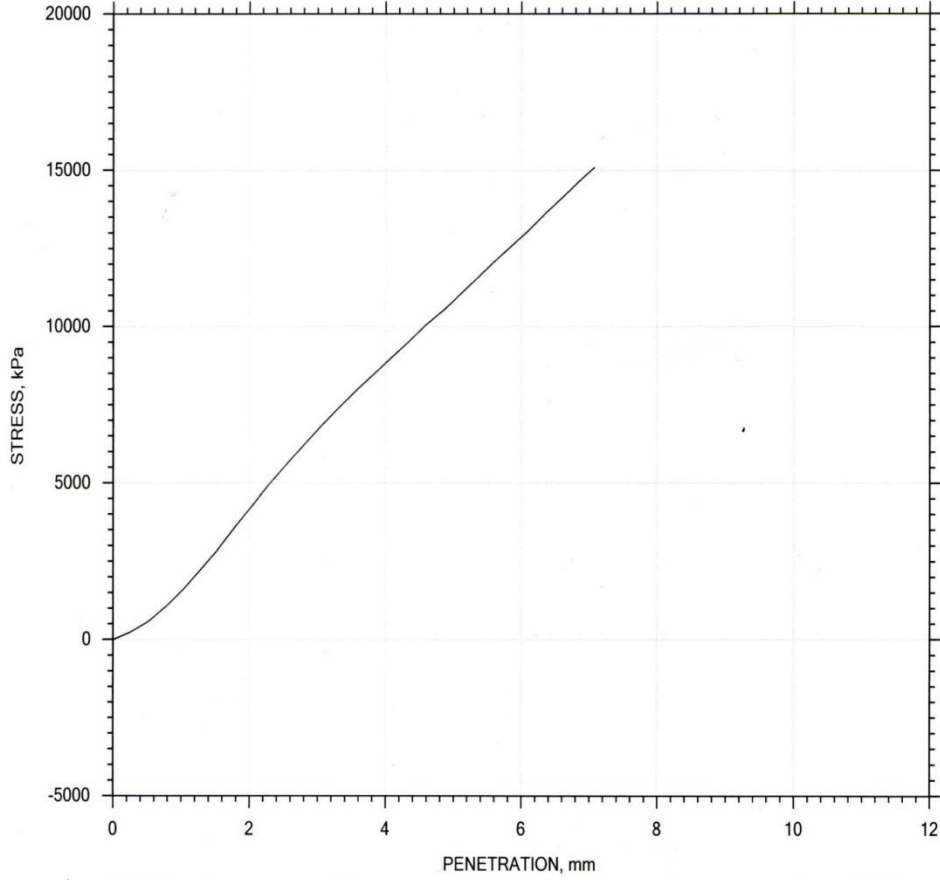


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 7	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: N/A	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

Project: 7 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
Sample No.:	Test Date: 18/03/2019	Depth:
Test No.: CBR K-1	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
Description:		
Remarks:		

K-1 7 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

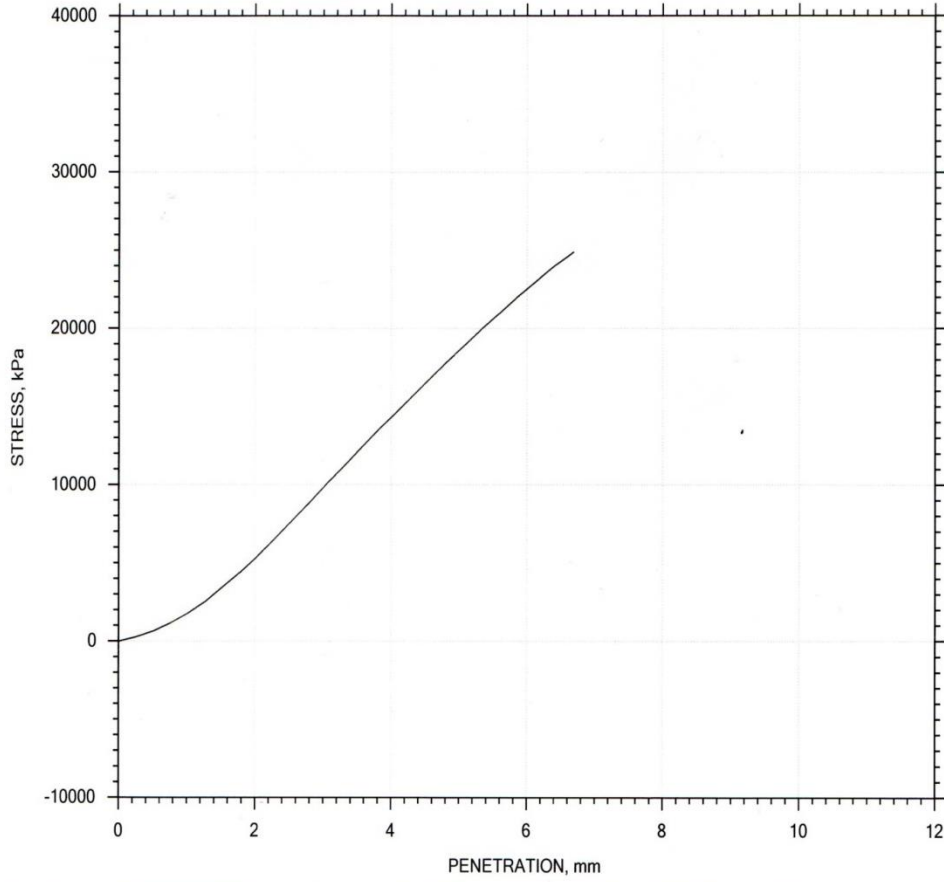


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 97	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 116	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

Project: 7 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
Sample No.:	Test Date: 18/03/2019	Depth:
Test No.: CBR K-2	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
Description:		
Remarks:		

K-2 7 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

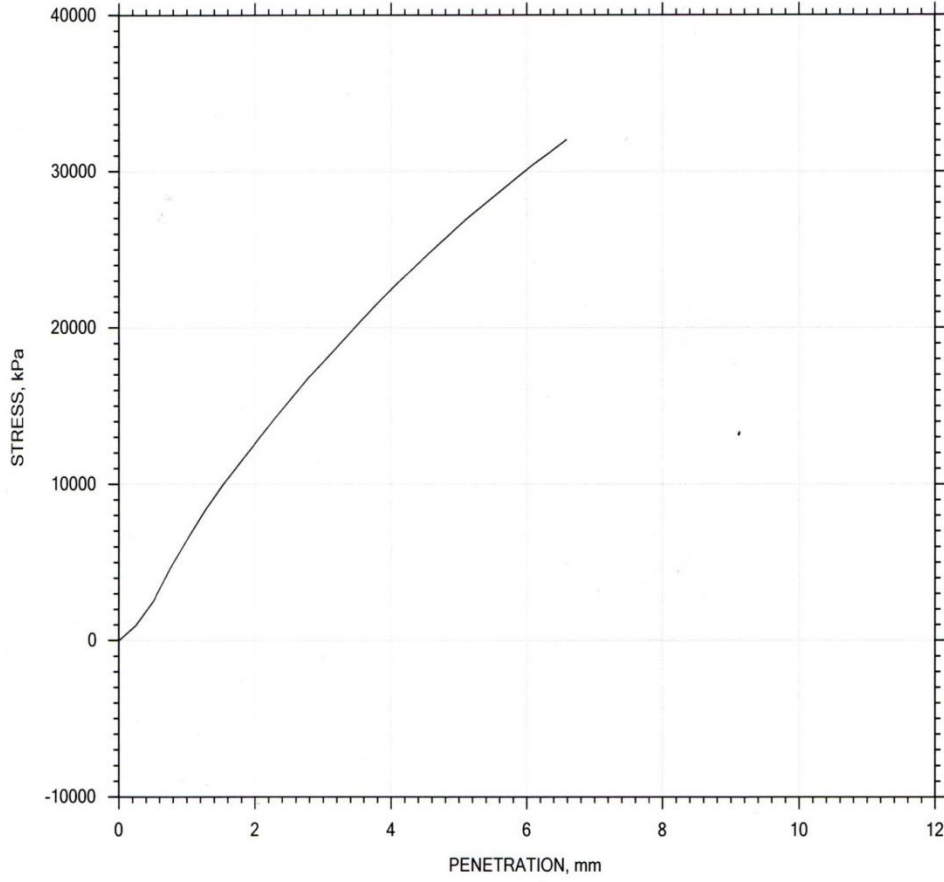


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 169	at 7.62 mm: N/A		at 12.7 mm: N/A	
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 216	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

	Project: 7 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
	Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
	Sample No.:	Test Date: 18/03/2019	Depth:
	Test No.: CBR K-3	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
	Description:		
Remarks:			

K-3 7 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

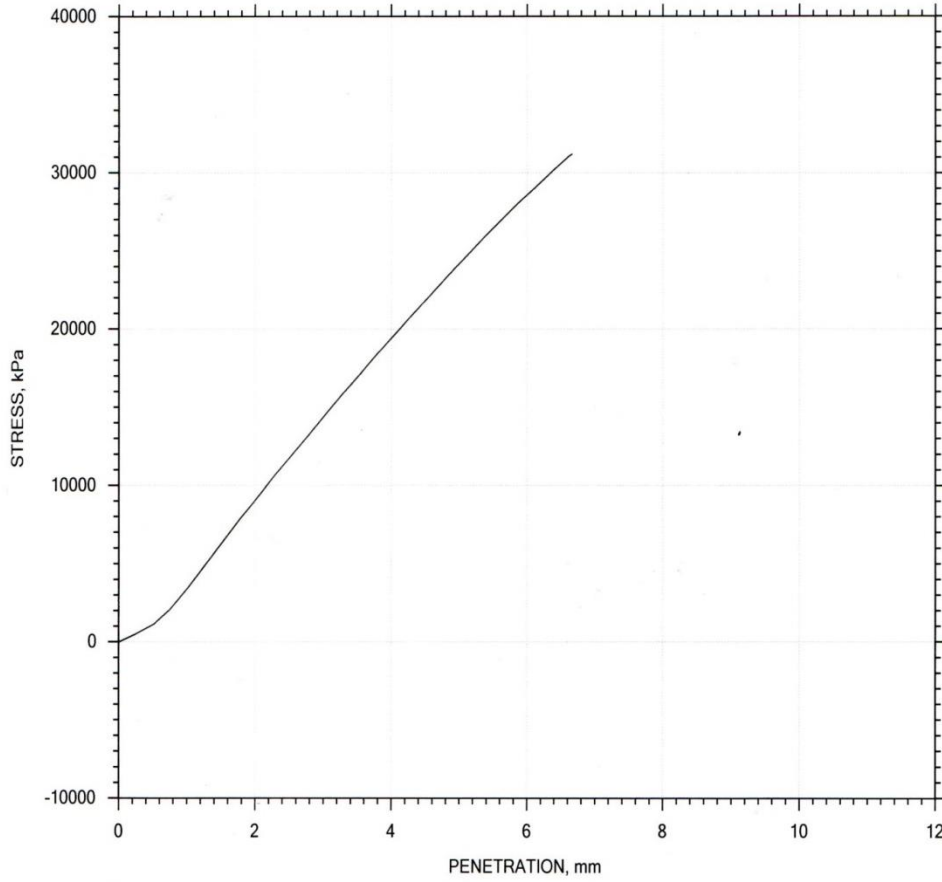


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 235	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 264	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

	Project: 7 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
	Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
	Sample No.:	Test Date: 18/03/2019	Depth:
	Test No.: CBR K-4	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
	Description:		
Remarks:			

K-4 7 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

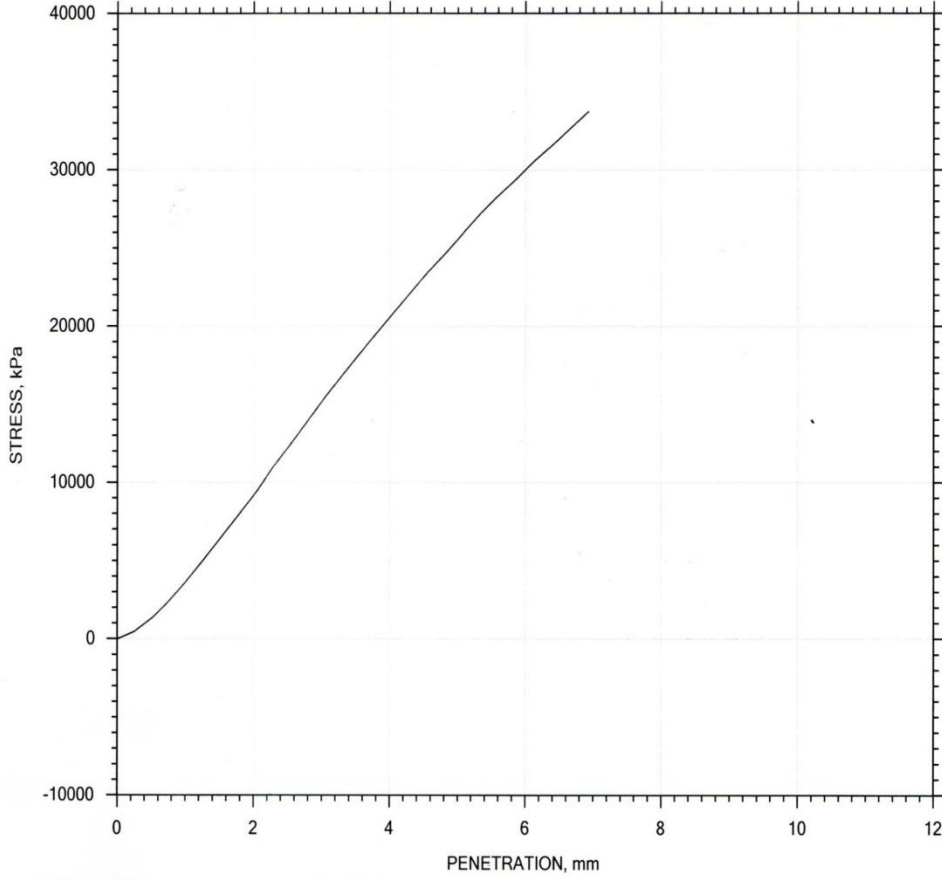


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 203	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 255	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

	Project: 7 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
	Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
	Sample No.:	Test Date: 18/03/2019	Depth:
	Test No.: CBR K-5	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
	Description:		
Remarks:			

K-5 7 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

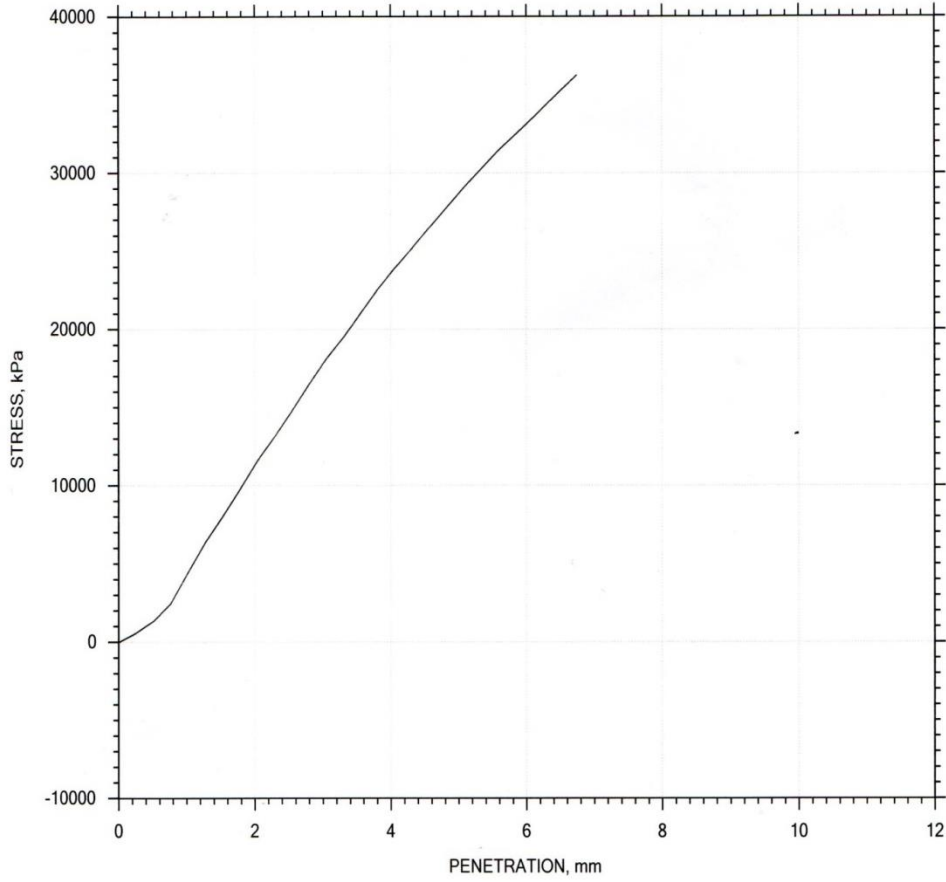


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 220	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 272	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

	Project: 7 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
	Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
	Sample No.:	Test Date: 18/03/2019	Depth:
	Test No.: CBR K-6	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
	Description:		
Remarks:			

K-6 7 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

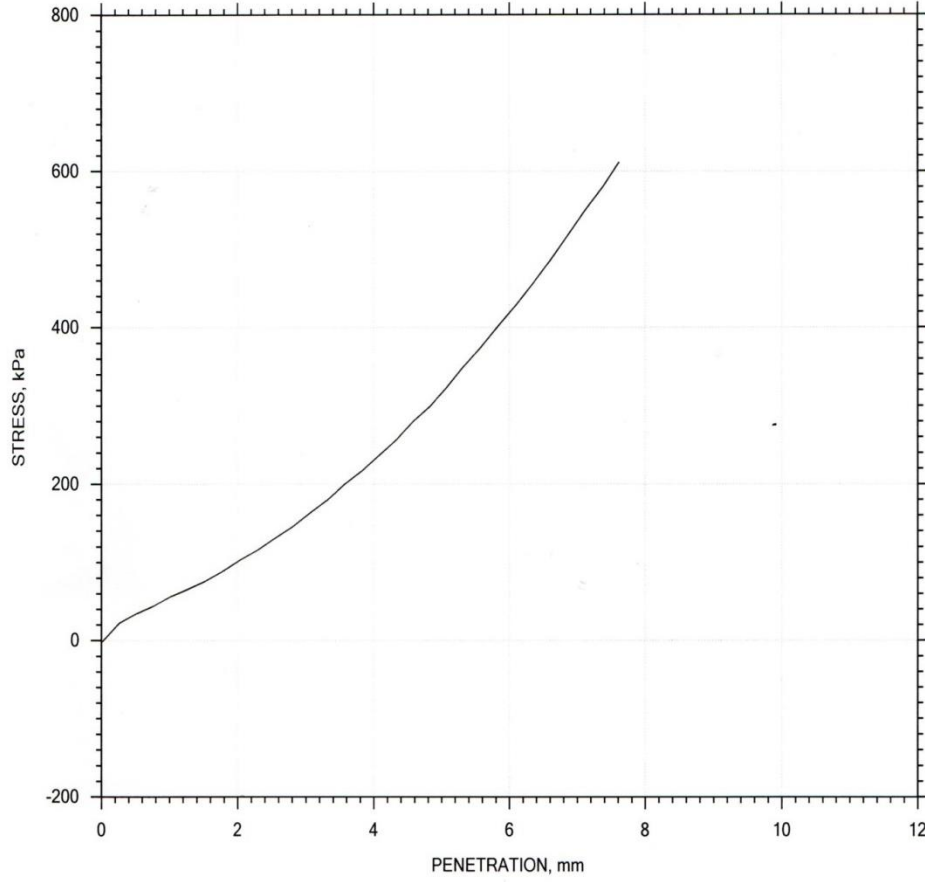


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 251	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 299	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

	Project: 7 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
	Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
	Sample No.:	Test Date: 18/03/2019	Depth:
	Test No.: CBR K-7	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
	Description:		
	Remarks:		

K-7 7 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

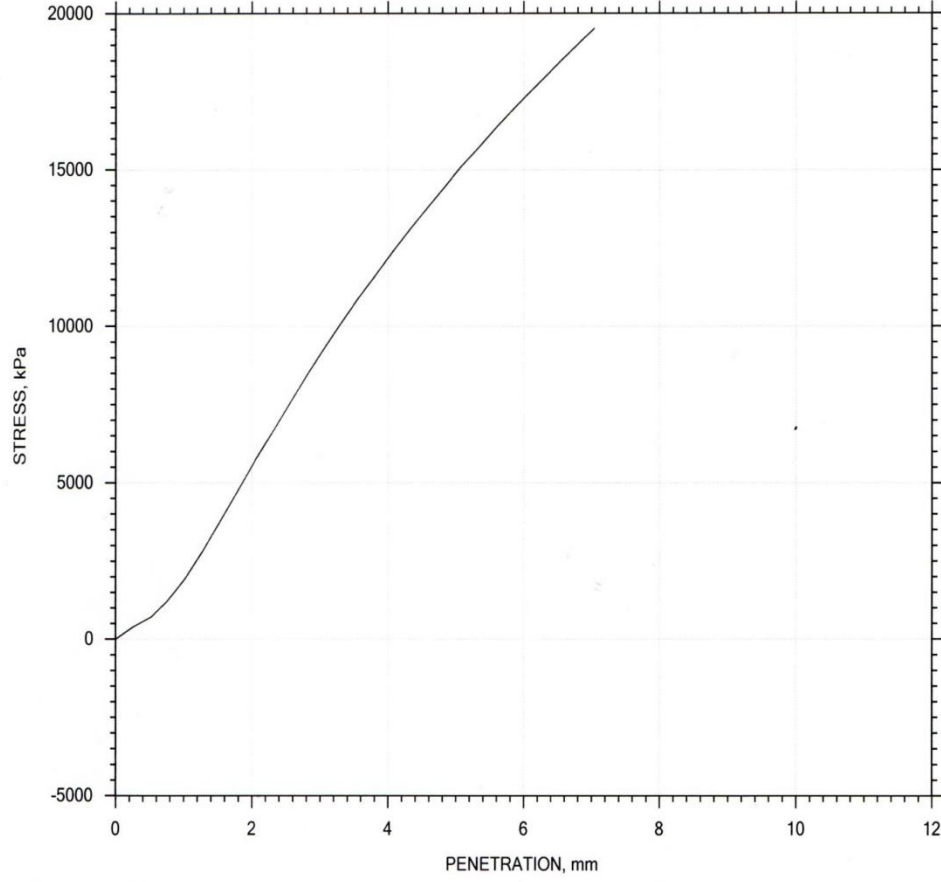


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 5	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: N/A	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

	Project: 28 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
	Boring No.:	Tested By:	Checked By:
	Sample No.:	Test Date: 18.03.2019	Depth:
	Test No.: CBR K-1	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation:
	Description:		
	Remarks:		

K-1 28 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

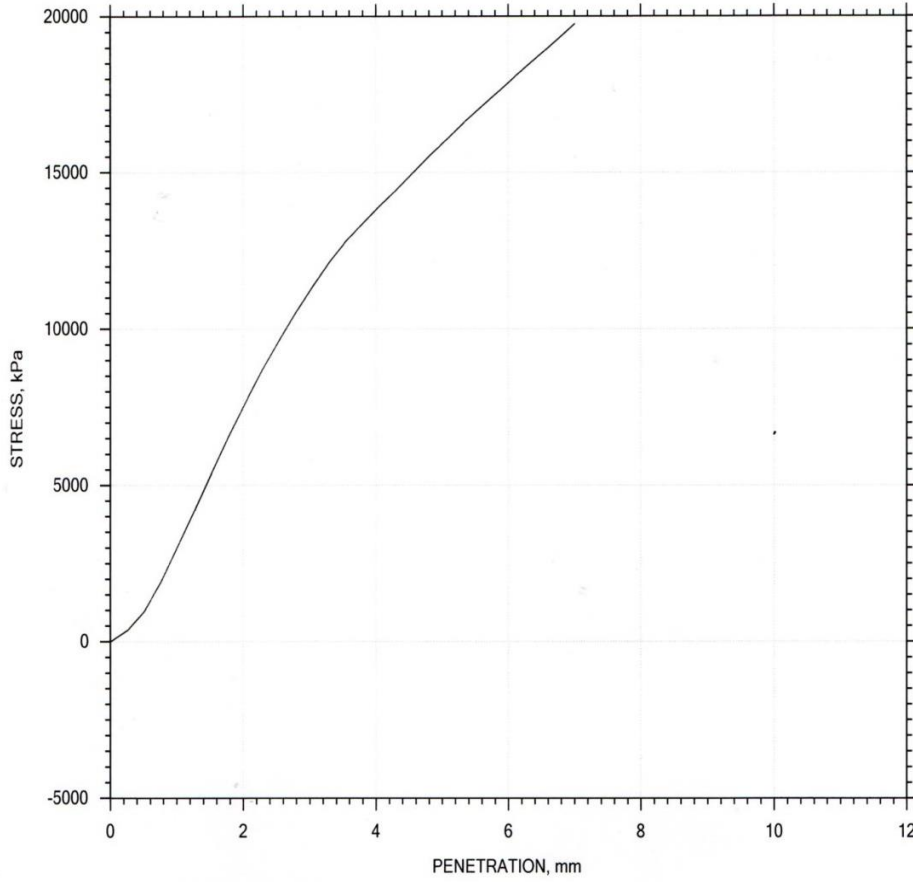


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 134	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 158	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

	Project: 28 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
	Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
	Sample No.:	Test Date: 18/03/2019	Depth:
	Test No.: CBR K-2	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
	Description:		
Remarks:			

K-2 28 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

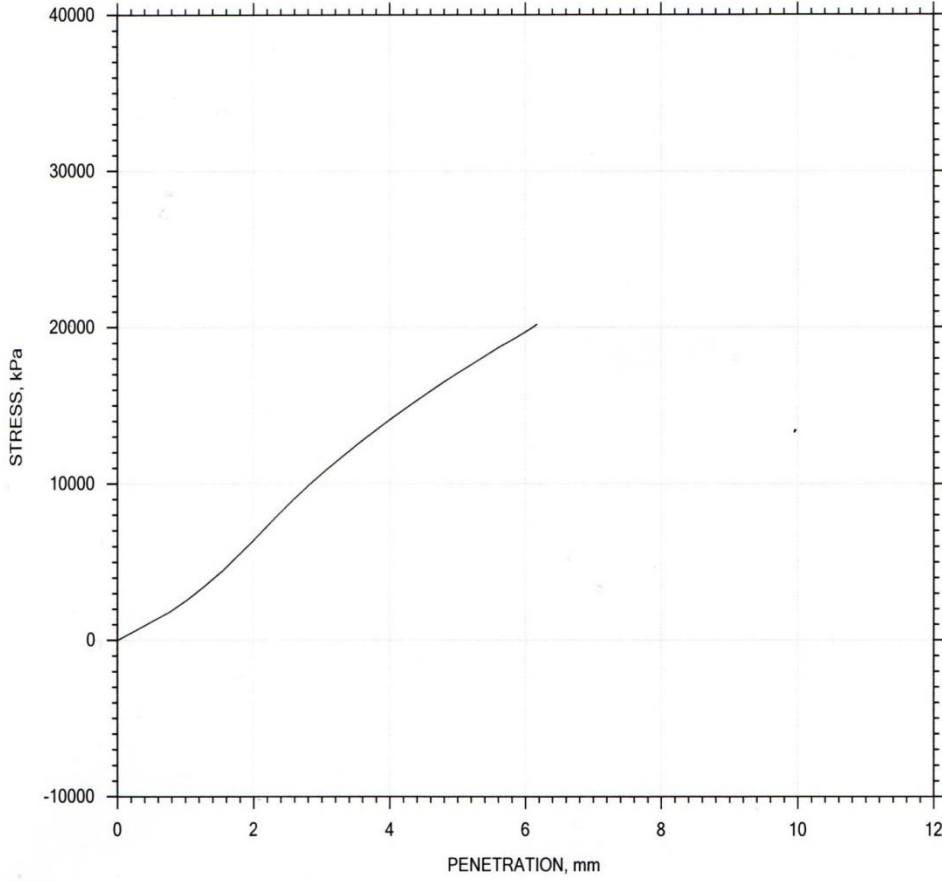


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 157	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 162	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

Project: 28 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
Sample No.:	Test Date: 18/03/2019	Depth:
Test No.: CBR K-3	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
Description:		
Remarks:		

K-3 28 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

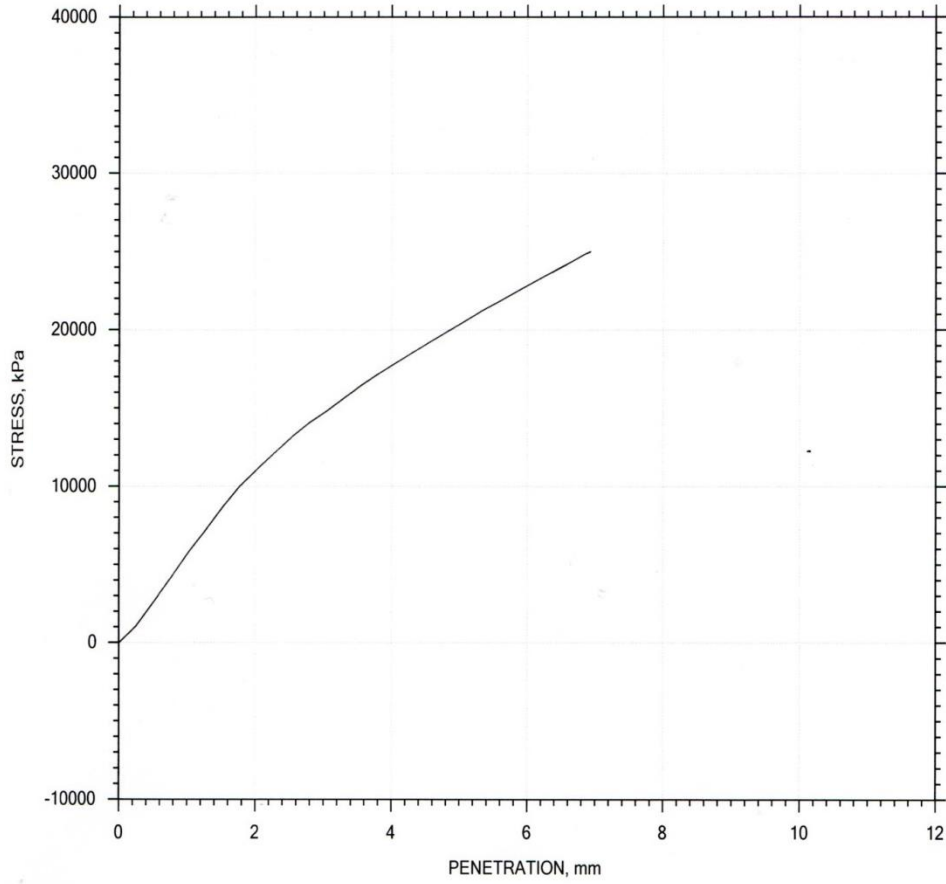


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 156	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 180	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

	Project: 28 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
	Boring No.:	Tested By:	Checked By:
	Sample No.:	Test Date: 18.03.2019	Depth:
	Test No.: CBR K-4	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation:
	Description:		
	Remarks:		

K-4 28 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

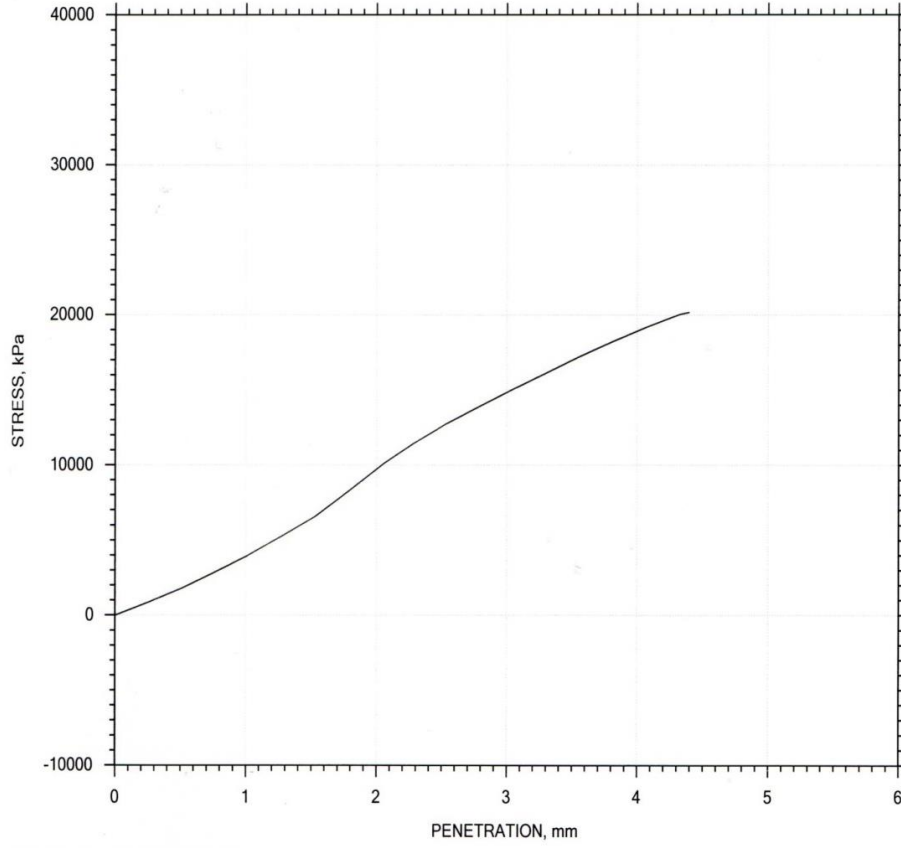


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 195	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 201	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

	Project: 28 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
	Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
	Sample No.:	Test Date: 18/03/2019	Depth:
	Test No.: CBR K-5	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
	Description:		
Remarks:			

K-5 28 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

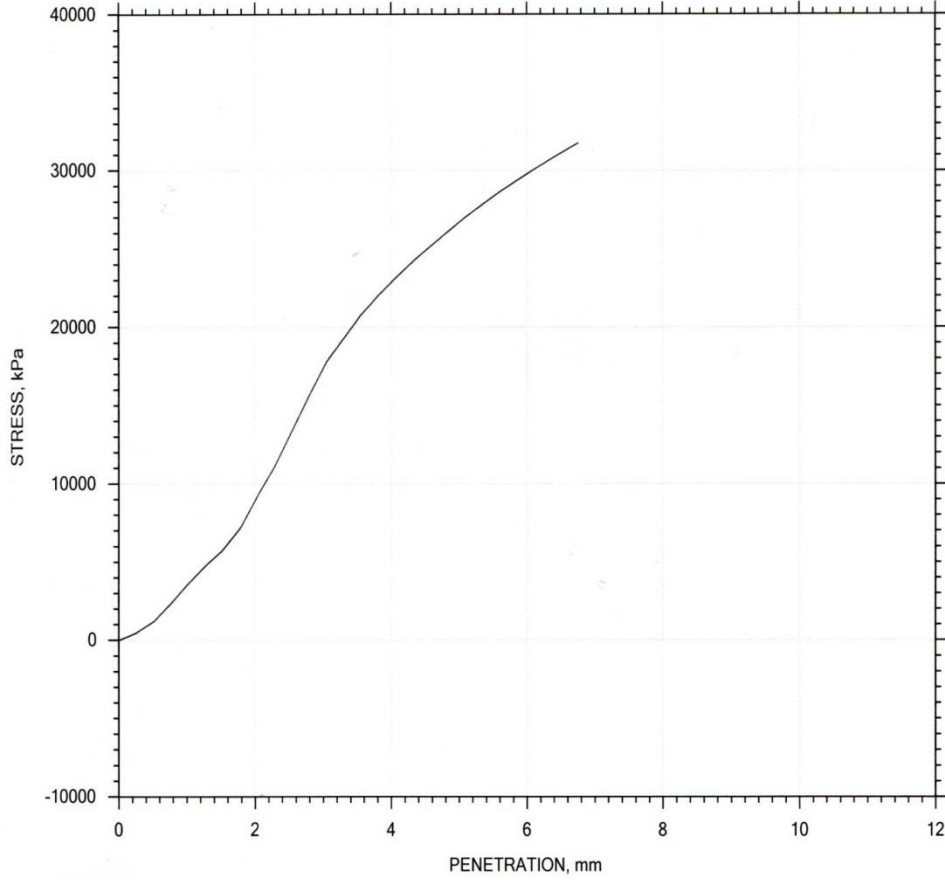


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 210	at 7.62 mm: N/A	at 12.7 mm: N/A		
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: N/A	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

Project: 28 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
Boring No.:	Tested By:	Checked By:
Sample No.:	Test Date: 18.03.2019	Depth:
Test No.: CBR K-6	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation:
Description:		
Remarks:		

K-6 28 günlük CBR raporu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT

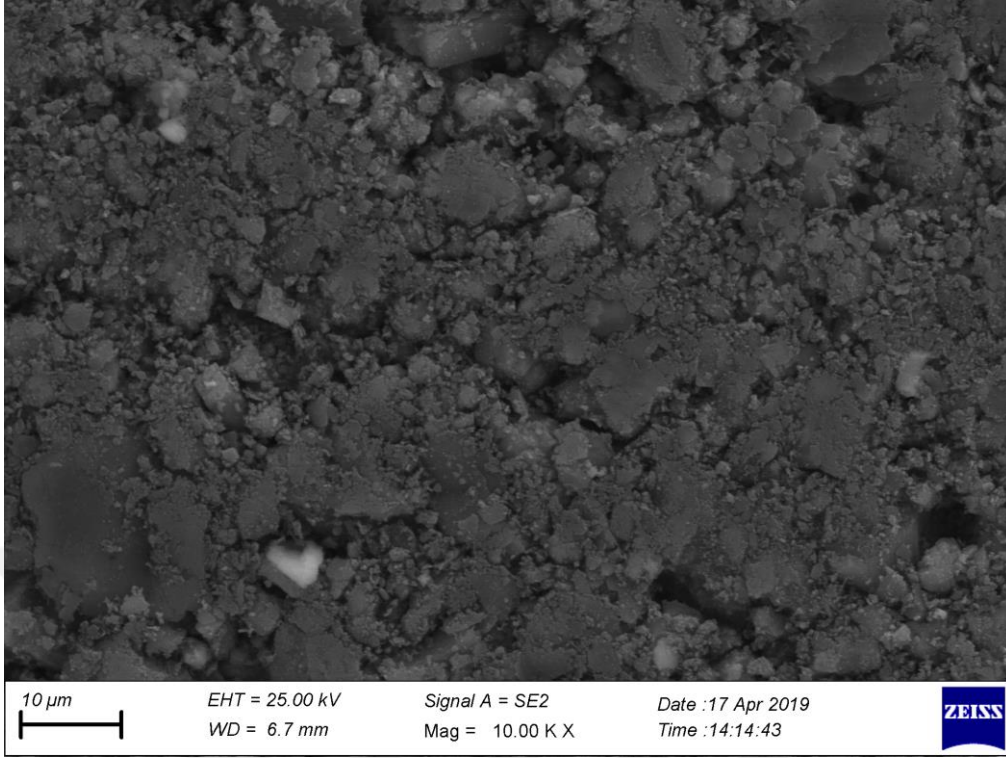


Sample Height: 142.24 mm	California Bearing Ratio				
Sample Area: 3972.6 mm ²	at 2.54 mm: 292	at 7.62 mm: N/A		at 12.7 mm: N/A	
Sample Volume: 565.06 cc	at 5.08 mm: 288	at 10.16 mm: N/A			
Sample Mass: 0.4 kg					
Sample Condition: Soaked	Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -95.27 %	Tare ID	mnb	jhg		sa-09
Surcharge: 0.259 kg	Tare Mass, kg	0.01	0.01		0.01
Void Ratio: 3.97	Mass Tare + Wet Soil, kg	0.125	0.123		0.124
Wet Unit Weight: 6942 N/m ³	Mass Tare + Dry Soil, kg	0.098	0.097		0.0975
Dry Unit Weight: 5328.4 N/m ³	Water Content, %	30.68	29.89	30.28	30.29

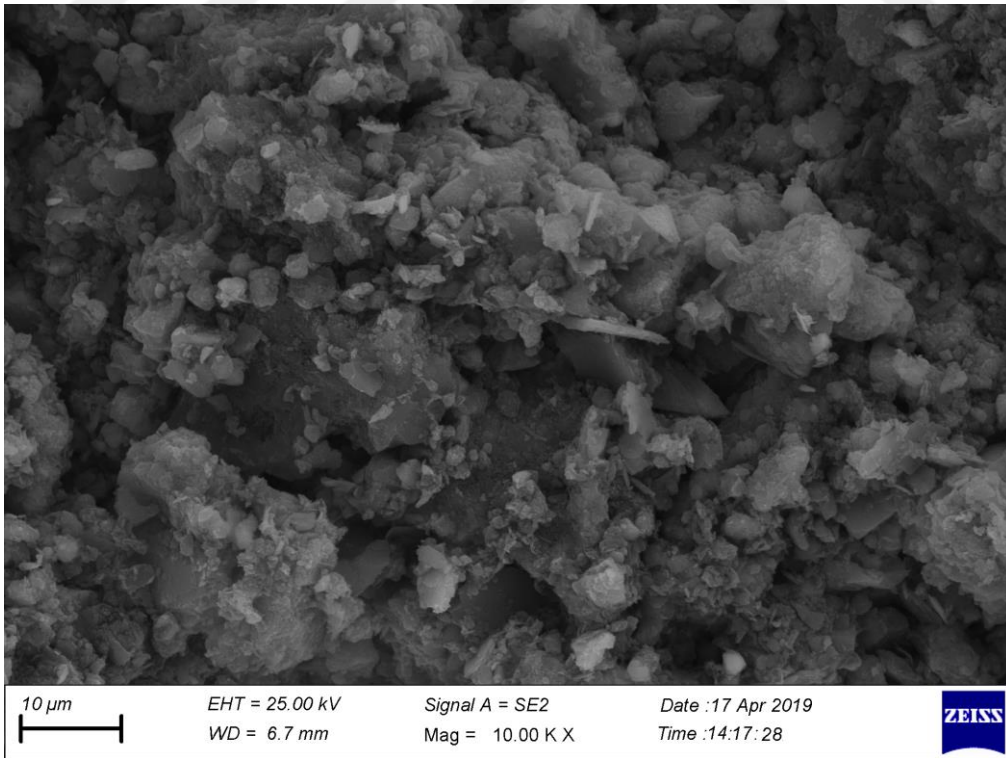
	Project: 28 GÜNLÜK	Location:	Project No.:
	Boring No.:	Tested By:	Checked By: Binod
	Sample No.:	Test Date: 18/03/2019	Depth:
	Test No.: CBR K-7	Sample Type: SEDAR YILDIRIM	Elevation: na
	Description:		
	Remarks:		

K-7 28 günlük CBR raporu

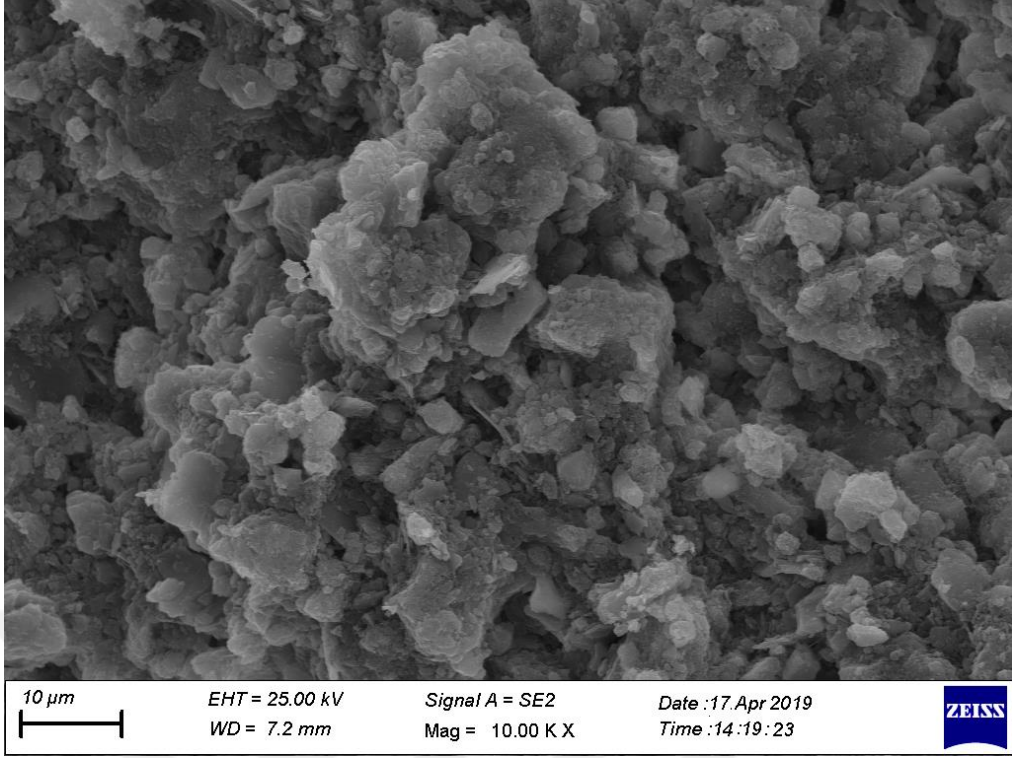
Ek-7 SEM Görüntüleri:



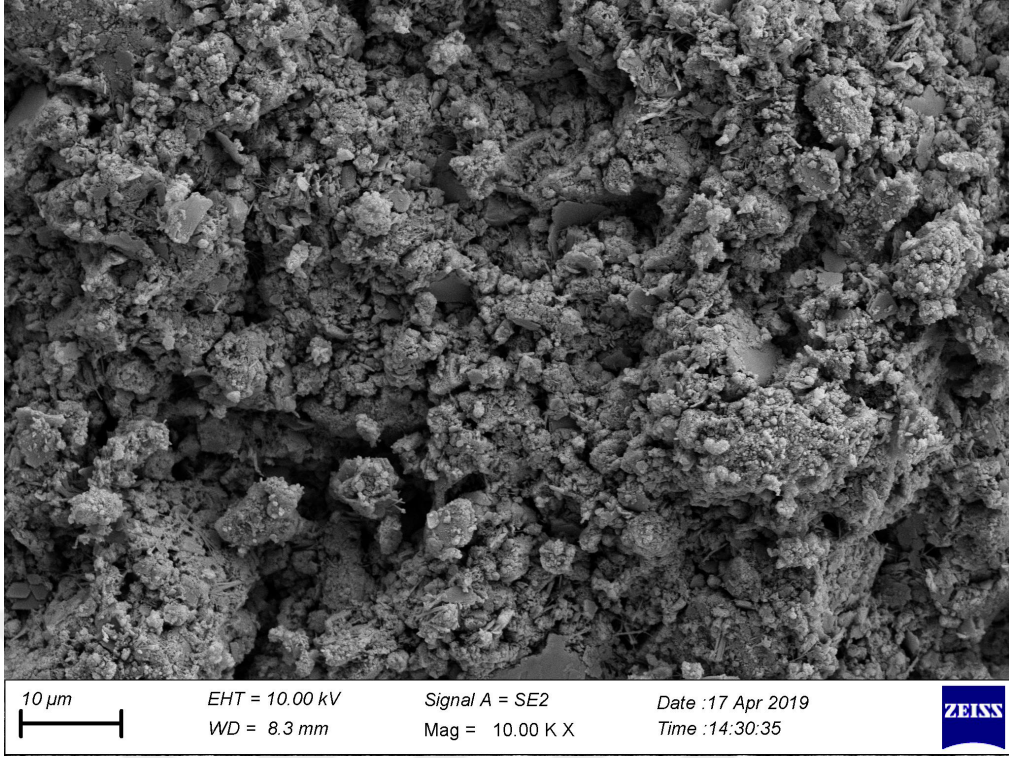
K-1 1 günlük SEM Görüntüsü



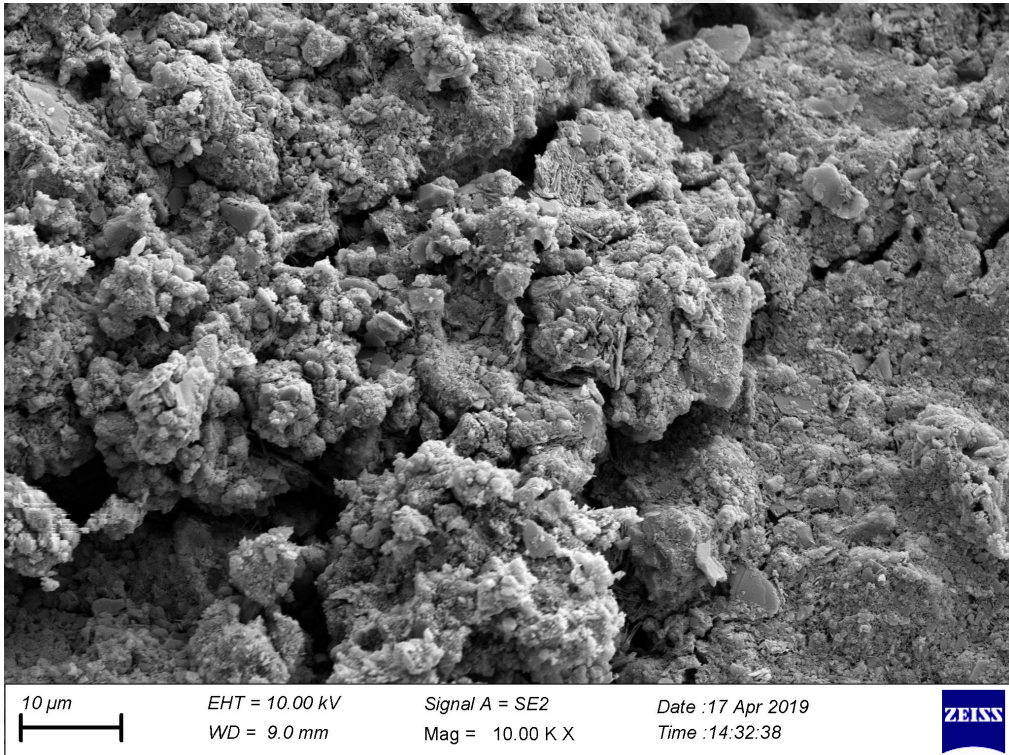
K-1 7 günlük SEM Görüntüsü



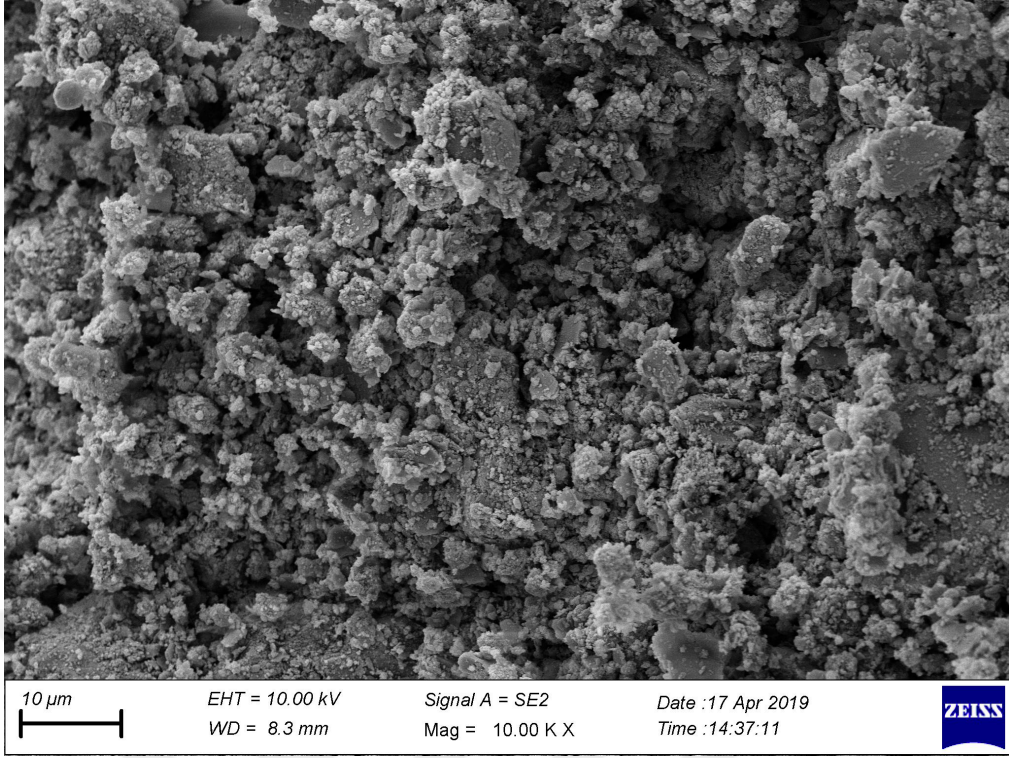
K-1 28 günlük SEM Görüntüsü



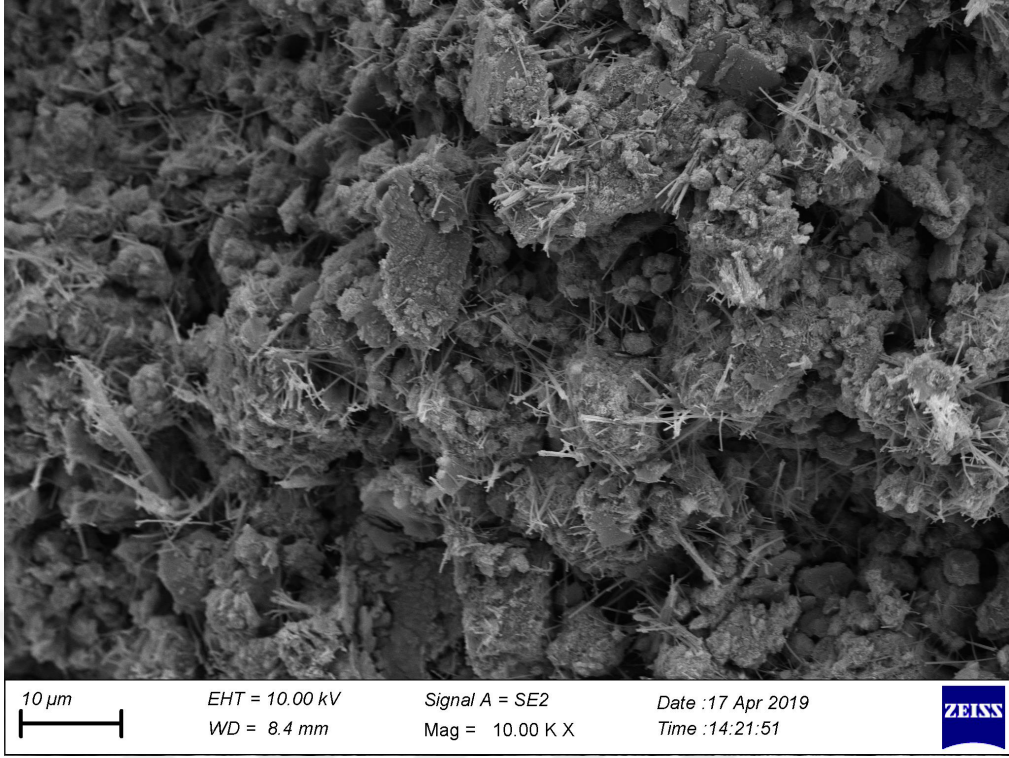
K-2 1 günlük SEM Görüntüsü



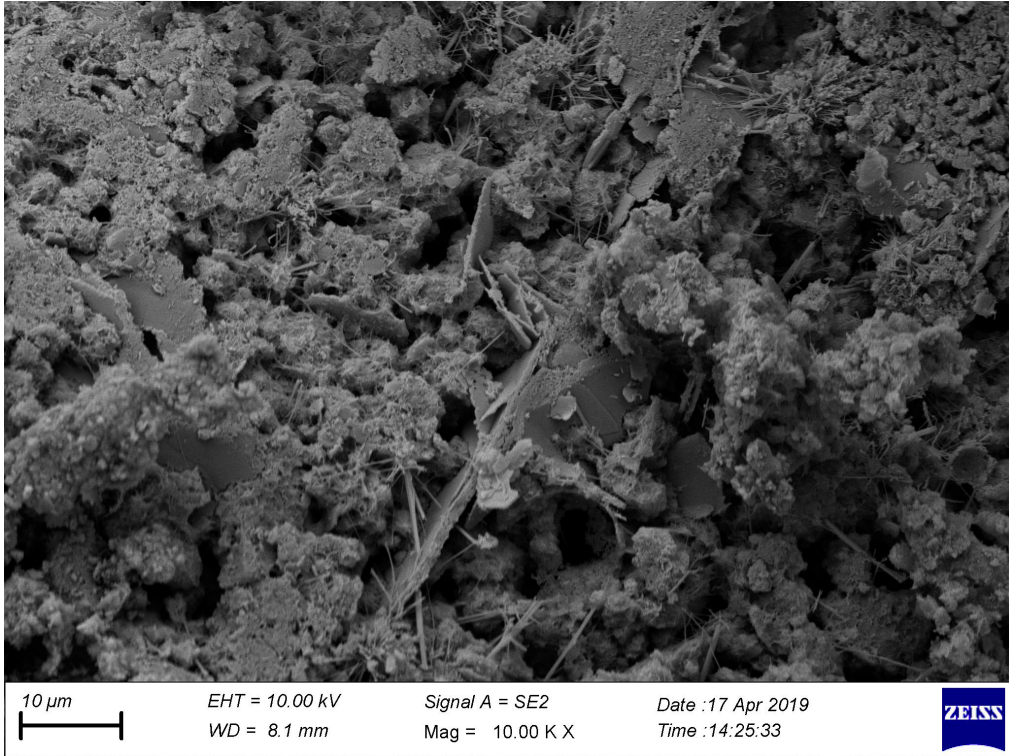
K-2 7 günlük SEM Görüntüsü



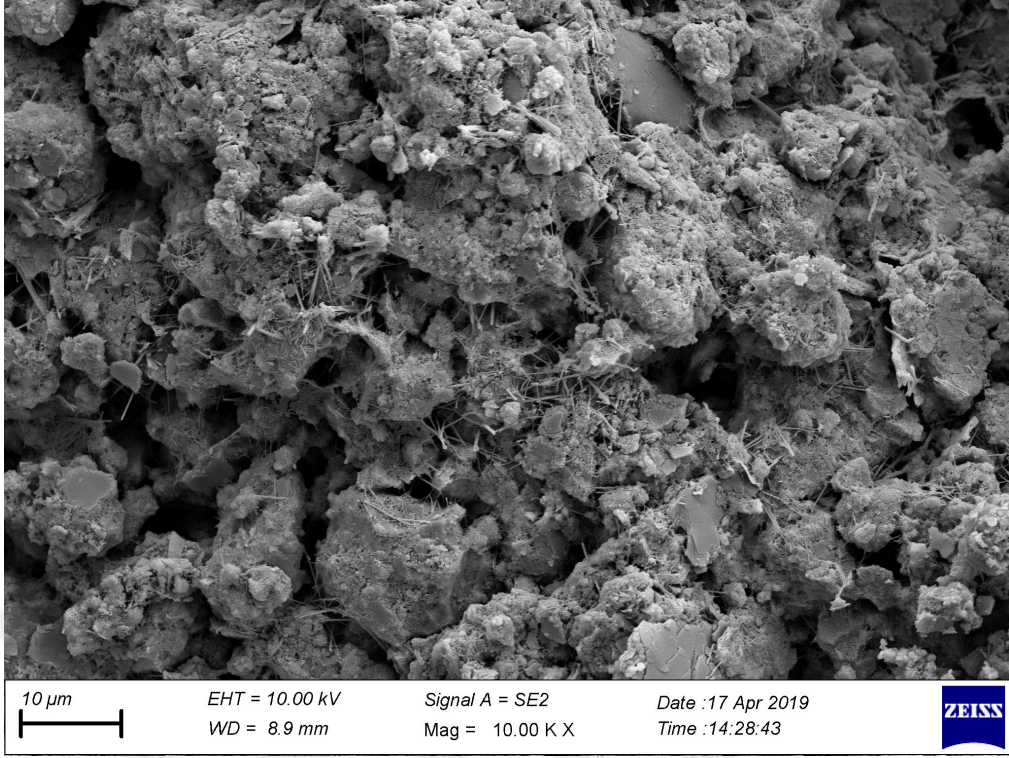
K-2 28 günlük SEM Görüntüsü



K-7 1 günlük SEM Görüntüsü

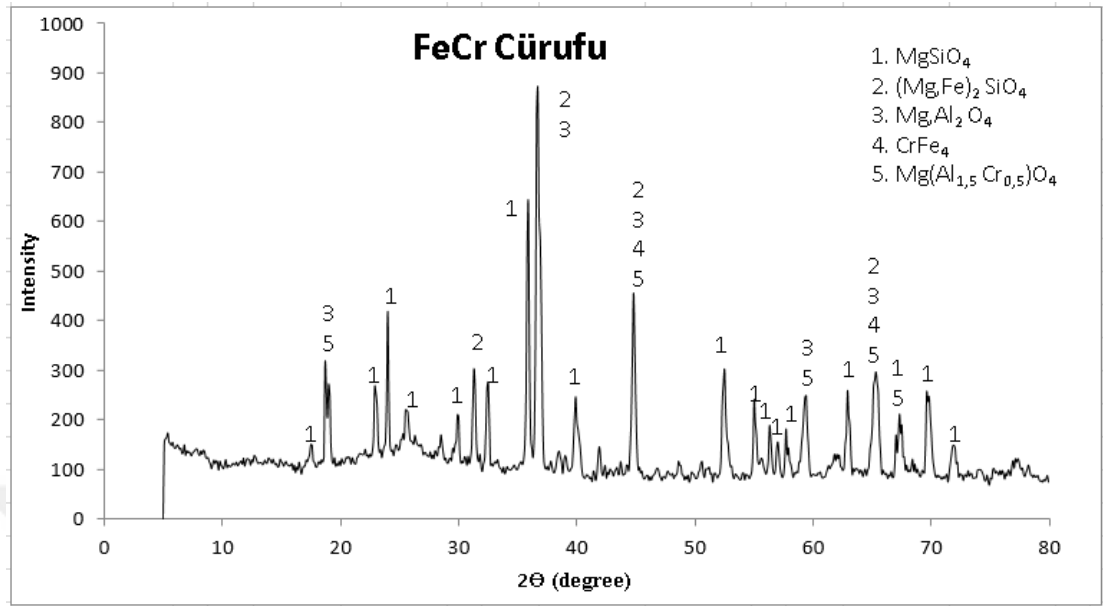


K-7 7 günlük SEM Görüntüsü

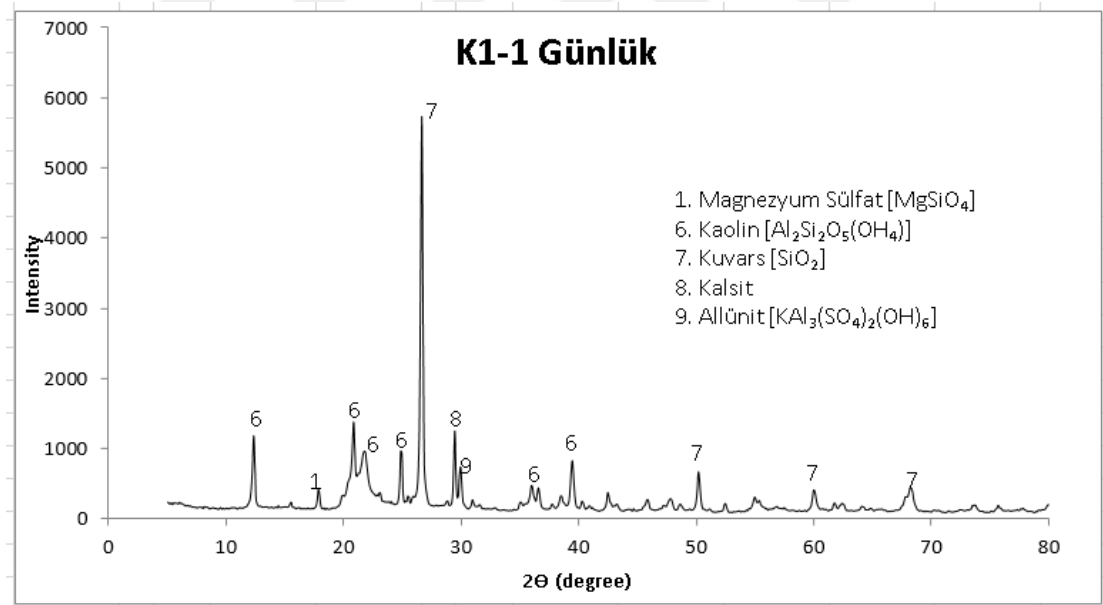


K-7 28 günlük SEM Görüntüsü

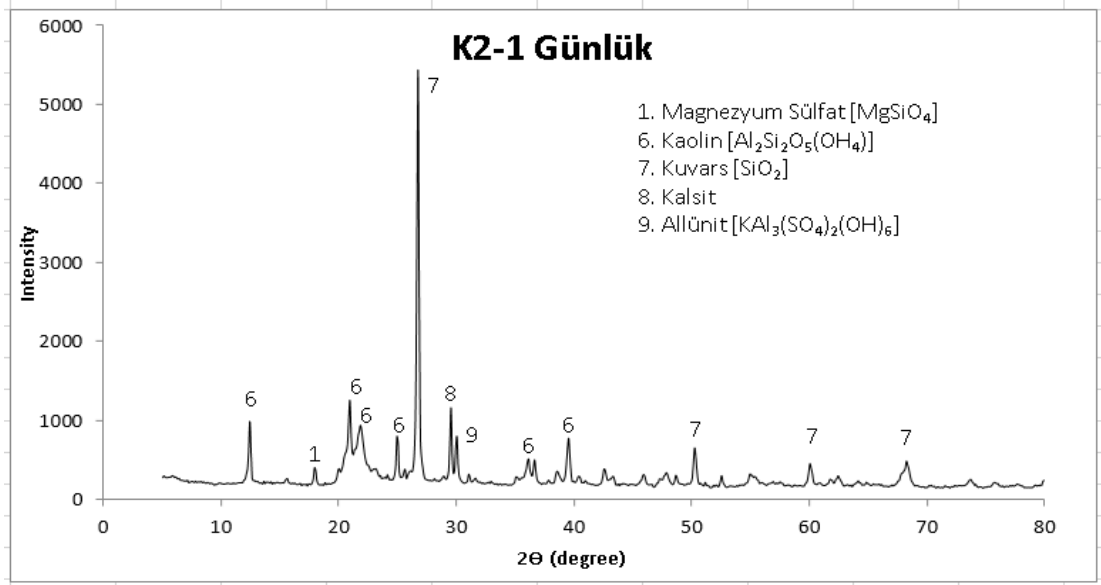
Ek-8 XRD Grafikleri



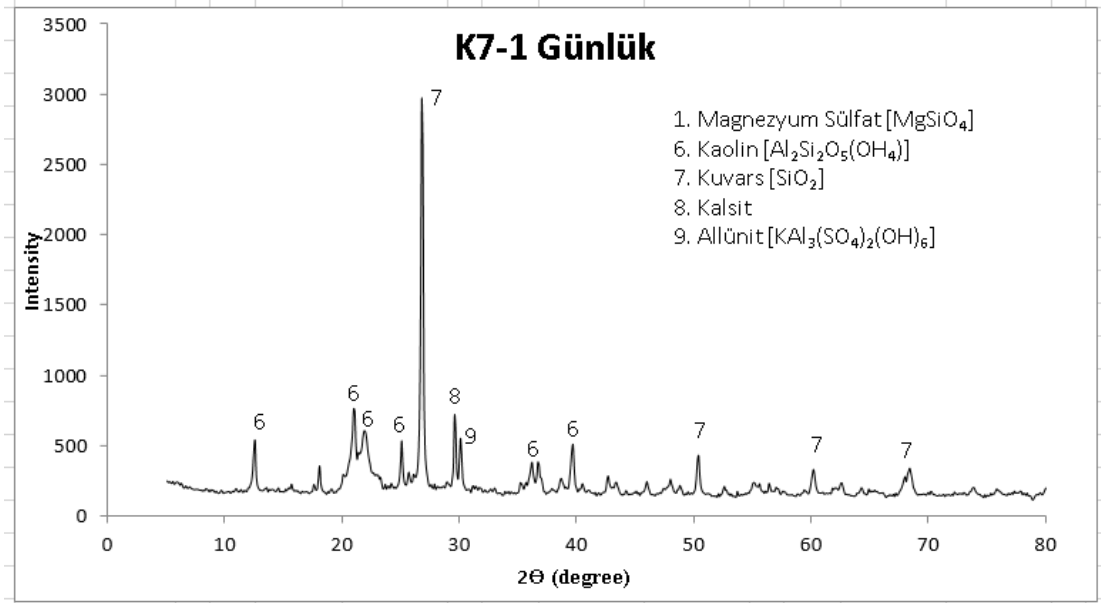
FeCr Cürufu XRD Grafiği



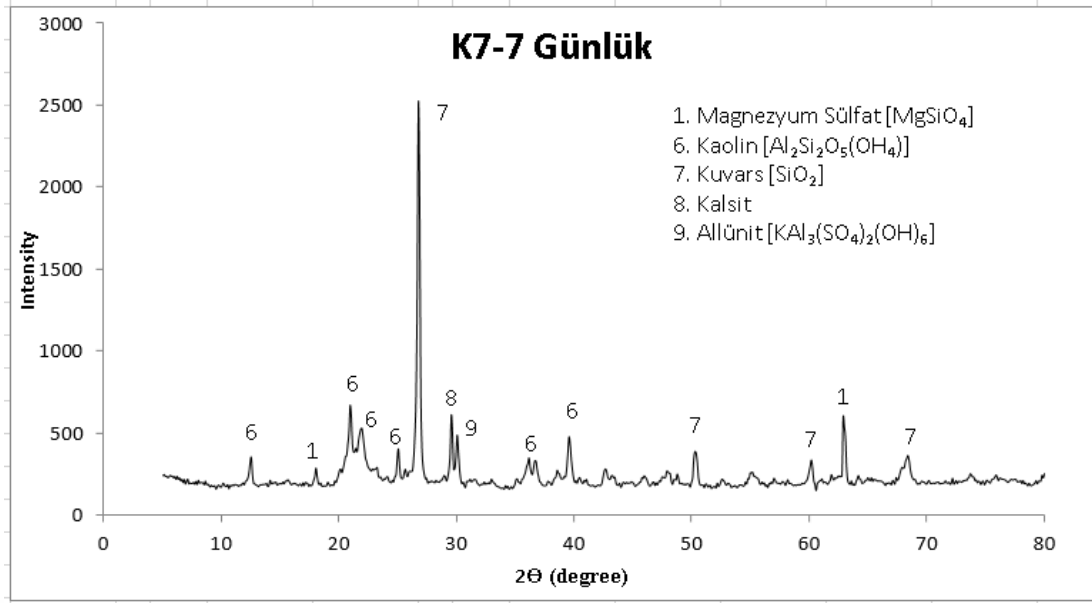
K1-1 Günlük XRD Grafiği



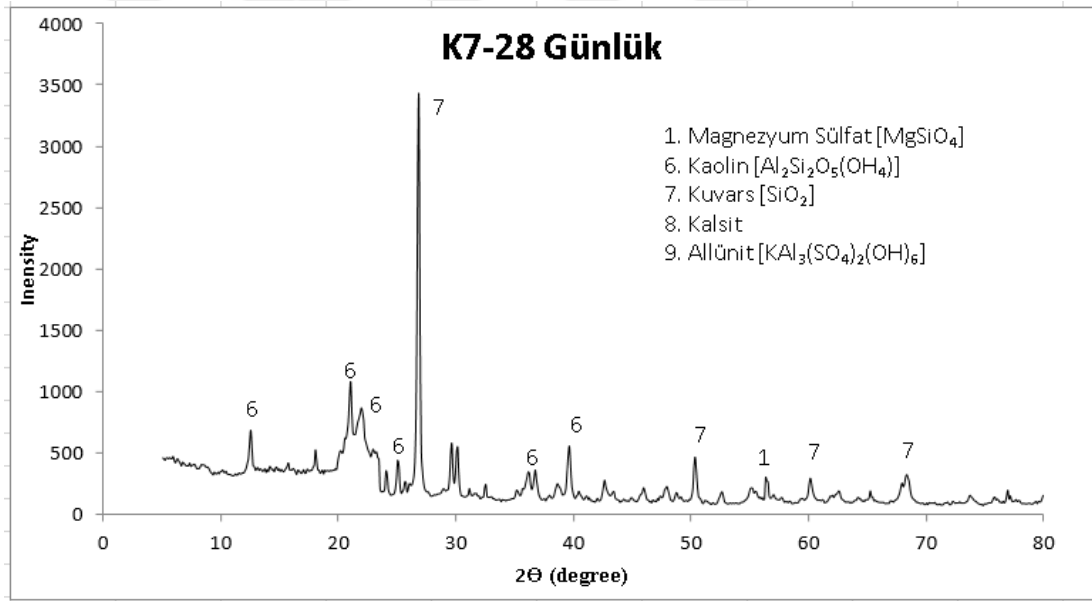
K2-1 Günlük XRD Grafığı



K7-1 Günlük XRD Grafığı



K7-7 Günlük XRD Grafiği



K7-28 Günlük XRD Grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Sedar Yıldırım, 08/05/1980 de Tunceli’de doğdu. İlk ve ortaokul eğitimini Tunceli’de gördü. 1998 yılında Fatih Lisesini tamamladı. 2000 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2006 yılında bitirdi. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Evli ve bir çocuk babasıdır. Meslek hayatına özel sektörde devam etmektedir. Geoteknik, tarihi yapılar ve uygarlık tarihi ilgi alanlarını oluşturmaktadır.