

**GELENEKSEL ZEMİN STABİLİZASYON
YÖNTEMLERİNİN CONSOLID SİSTEMİ İLE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Şevki EREN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİMDALI**

ISPARTA – 2006

T.C
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GELENEKSEL ZEMİN STABİLİZASYON YÖNTEMLERİNİN
CONSOLID SİSTEMİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Şevki EREN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİMDALI**

ISPARTA – 2006

Fen Bilimleri Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından YAPI EĞİTİMİ ANABİLİMDALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

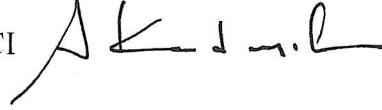
Başkan : Prof. Dr. Mümin FİLİZ



Üye : Yrd. Doç. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK



Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdullah KADAYIFÇI



ONAY

Bu tez 02/08/2006 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

02.08.2006

Prof. Dr. Fatma GÖKTEPE
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1.GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. Materyal.....	7
3.1.1. Kireç.....	7
3.1.2. Portland Çimentosu.....	8
3.1.3. Consolid444.....	10
3.1.4. Solidry.....	11
3.1.5. Bentonit.....	11
3.2. Yöntem.....	13
3.2.1. Zemin Stabilizasyonu.....	13
3.2.2. Stabilizasyon Yöntemleri.....	14
3.2.3. Katkılı (kimyasal) Stabilizasyon.....	16
3.2.3.1. Kireçle Stabilizasyon.....	17
3.2.3.2. Portland Çimentosu ile Stabilizasyon.....	31

3.2.3.3. Consolid Sistemi ile Stabilizasyon.....	39
3.2.4. Çöp Deponi Alanlarında Zemin Stabilizasyonu.....	43
3.2.4.1. Depo Yerinin Seçimi.....	46
3.2.4.2. Katı Atıkların Depolanma Koşulları.....	46
3.2.4.3. Antalya Kızıllı Düzenli Katı Atık Depolama Tesisi Zemin Stabilizasyonu Örneği.....	47
3.2.4.4. Consolid Sistemi ile Atık Depolama Sistemi.....	48
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	50
4.1. Isparta Darıdere Doğal Toprak Numunesi.....	50
4.1.1. Doğal Toprak Numunesi ile Kırma Çakıl Karışımı.....	53
4.1.2. Doğal Toprak Numunesi, Kırma Çakıl ve Consolid444 Karışımı.....	55
4.1.3. Doğal Toprak Numunesi ile Consolid444 + Solidry Karışımı.....	59
4.1.4. Doğal Toprak Numunesi ile Kireç Karışımları.....	62
4.1.5. Doğal Toprak Numunesi ile Çimento Karışımları.....	66
4.2. Bentonitli Numuneler.....	72
4.2.1. Kireç Katkılı Bentonit Numuneleri.....	73
4.2.2. Çimento Katkılı Bentonit Numuneleri.....	76
4.2.3. Consolid444+Solidry Katkılı Bentonit Numuneleri.....	79
5. SONUÇ.....	86
6. KAYNAKLAR.....	94
7. EKLER.....	96
ÖZGEÇMİŞ.....	99

ÖZET**“Geleneksel Zemin Stabilizasyon Yöntemlerinin Consolid Sistemi İle Karşılaştırılması”**

Yapının getirdiği gerilme, drenaj, titreşim değişiklikleri genellikle kullanılan zemince karşılanabilir. Zeminin özellikleri yeterli olmadığında seçilecek birkaç yol bulunmaktadır. Bu yollardan bir tanesi de katkılı stabilizasyondur. Zamanın kazandırdığı deneyim incelenen yüzlerce maddeden sadece bir kaçının sürekli uygulama olanağı bulunduğunu göstermektedir. Bunlar etkinlikleri yanında, ucuzluk ve gereksinme duyulduğunda kolayca bulunabilme özelliğine göre çimento, bitüm, kireç, fosforik asit, kalsiyum bileşikleri, reçine ve polimerler, ve son olarak da çok değerlikli iyon içeren maddelerdir.

Bu tez çalışmasında zemin stabilizasyonunda katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla consolid sistemi denenmiştir.

Isparta Darıdere kil ocağından örselenmiş zayıf zemin numunesi alınarak, bu zemin numunesinin, zemin stabilizasyonu ve çöp depolama alanlarındaki kullanılabilirliği üzerinde bir takım deneyler yapılmıştır. Alınan malzeme üç gruba ayrılmış ve gruplardan birincisine toprağın kuru ağırlığına göre çimento(%4;6;8;10), ikincisine kireç(%4;6;8;10) ve diğerine de consolid444(0,8lt/m³) + solidry(%1;2) katkıları karıştırılmıştır. Her bir grup malzeme üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca; beyaz bentonit malzemesinin çöp depolama alanlarında kullanılabilirliği de araştırılmıştır.

Isparta darıdere kil ocağından alınan toprak numunesinin elek analizi, hidrometre analizi ve plastisite indisi değerleri belirlendikten sonra zemin sınıfı SC olarak bulunmuştur. Proktor deneyi ile zeminin optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı belirlendikten sonra yapılan ıslak C.B.R deneyi neticesinde zeminin C.B.R'si (%3,7) olarak bulunmuş ve taşıma kapasitesinin çok düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca toprak numune dört gün süre ile permeabilite deneyine tabi tutulmuş ve bu zemin numunesinin çöp depolama alanları, baraj inşaatı vb. yerlerde geçirimsiz malzeme olarak kullanılabileceği görülmüştür. Bu zemin numunesi içerisine %10;20;30 oranlarında 5-15mm'lik kırma çakıl katılarak zeminin taşıma kapasitesi artırılmaya çalışılmış fakat yeterli artış sağlanmadığı görülmüştür.

Kullanılan katkı maddeleriyle zeminin taşıma kapasitelerinde belirgin artışlar meydana gelmiştir. Kireç miktarı arttırıldıkça zeminin taşıma kapasitesinde arttığı fakat %8 kireç katkısından sonra düşüşe geçtiği görülmüştür. Çimento yüzdesi arttırıldıkça zeminin taşıma kapasitesi de artmış, aynı şekilde toprağın içerisine ilave edilen solidry miktarı arttıkça dayanımın da arttığı görülmüştür. Ayrıca consolid444 katkılı zemin içerisine ilave edilen çakılın sadece consolid444 ilave edilen zeminin taşıma kapasitesiyle hemen hemen aynı değerlerde olduğu, kullanılan oranlardaki çakıl yüzdelерinin dayanıma etki etmediği görülmüştür.

Beyaz bentonit malzemesi üzerinde yapılan ıslak C.B.R deneyi neticesinde bu numunenin C.B.R si (%3,0) olarak bulunmuştur. Kullanılan katkı maddeleri zeminin dayanımını arttırmış fakat bu artış en fazla %8 çimento kullanıldığında elde edilmiş ve %27,1'e kadar yükselmiştir. Ayrıca dört gün süreyle permeabilite deneyine tabi tutulan bentonit malzemesinin içerisinden bu süre zarfında herhangi bir su geçişi görülmemiştir. Beyaz bentonit numunesinin çöp depolama alanlarında geçirimsizlik sağlamak amacıyla kullanılabileceği görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Stabilizasyon, beyaz bentonit, proktor, hidrometre, C.B.R., permeabilite, consolid444, solidry, plastisite indisi,

ABSTRACT

Comparing the Conventional Soil Stabilization Methods to the Consolid System

The tensile, drainage and vibration modifications caused by the structure could be often compensated by the soil used. There appear several ways to apply when the characteristics of the soil are insufficient. One of these ways is the added stabilization. In this study, a poor crumpled soil sample was taken from Daridere Clay mine located in Isparta and the soil was improved through adding it to the earth in an effort to ensure soil stabilization and make it usable in garbage storage areas. The material was classified into three groups and according to the dry weight of the earth, the first group was added with the cement (% 4, 6, 8,10), the second one with the lime (% 4, 6, 8,10) and the last one with consolid444 (0,8lt/m³). The results that were obtained through the tests performed on each group of material were then compared with each other. Also, usability of the white bentonites in garbage storage areas was investigated.

The soil class of the earth sample taken from the Daridere clay mine, Isparta was found to be SC. As a result of the wet CBR test, the soil proved to have a CBR of 3,7 % and the soil description was made as very bad. In addition, the earth sample was exposed to the permeability test for four days and the permeability coefficient was determined to be $6,54196 \times 10^{-9}$. The bearing capacity of the soil was strived to be increased through adding 5 to 15-millimeter broken pebbles at 10, 20 and 30 %; however, sufficient increase could not be ensured.

Bearing capacities of the soil were observed to increase considerably using the additives. The more the amount of lime was increased, the more the bearing capacity of the soil increased. Yet, it diminished when more than 8 % of lime was added. As the cement percentage was increased, the bearing capacity of the soil increased linearly. Similarly, the resistance was observed to increase when the amount of consolid444+solidry increased. It was also observed that the pebbles which had been added into the consolid444 added soil had the same values with the bearing capacity of the soil in which only consolid444 was added.

As a result of the wet CBR test performed on the white bentonites, wet CBR percentage of this sample was found to be 3,0 % and the soil description proved to be very bad. The additives which were used increased the permeability of the soil. Moreover, No water permeability was observed within the bentonite material which was exposed to the permeability test for four days. The permeability coefficient was determined to be lower than $1,73243 \times 10^{-9}$ cm/s. White bentonite sample proved to be usable for the purpose of assuring the impermeability in garbage storage areas.

KEY WORDS: Stabilization, white bentonite, CBR, permeability, consolid444, solidry, plastitite indisi

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarımın yönetimini kabul ederek bu tezi hazırlamama olanak sağlayan ve çalışmalarımın her aşamasında yakın destek ve yardımlarını gördüğüm tez danışmanım sayın Prof. Dr. Mümin FİLİZ'e, her türlü laboratuvar imkanlarından yararlanmamı sağlayan ve değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Müh. Mim. Fak. Jeoloji Müh. Bölümü Öğr. Üyesi sayın Yrd. Doç. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK'e, sonsuz teşekkürü sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca laboratuvar çalışmalarım sırasında benden yardımlarını esirgemeyen Jeoloji Müh. Bölümü öğrencileri İlhan Midilli, Derya Başar, Yıldırım Çelik ve Yapı Eğitimi Bölümü öğrencisi İsmail Kılıç 'a ve tüm Isparta Devlet Su İşleri, İzmir Karayolları Bölge Müdürlüğüne ve İzbeton A.Ş. çalışanlarına sonsuz teşekkürü sunmayı bir borç bilirim.

Şevki EREN

Isparta-2006

SİMGELER DİZİNİ

C.B.R. Kaliforniya taşıma oranı

CEM I 42,5 Yüksek dayanımlı portland çimentosu

k Permeabilite katsayısı

mak. K.b.h.a. Maksimum kuru birim hacim ağırlık

SC killi kum

T.b.h.a. Tane birim hacim ağırlık

USCS Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi

Wopt Optimum su içeriği

$\gamma_{dry\ mak}^*$ Maksimum kuru birim hacim ağırlık

L.L. Likit limit

P.L. Plastik limit

P.I. Plastisite indisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Kirecin likit limit ve plastik limitleri üzerindeki etkisi	22
Şekil 3.2. Kireç ilavesiyle plastik özelliklerdeki değişme	22
Şekil 3.3. Plastik toprakların hacim değişmesine kirecin tesiri	23
Şekil 3.4. Kirecin optimum rutubet ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları üzerindeki etkisi	24
Şekil 3.5. Toprağa belirli yüzdelerde ilave edilen çimento ve kirecin serbest basınç mukavemetleri üzerindeki etkisi	25
Şekil 3.6. Kür süresi ve kireç miktarının basınç dayanımına etkisi	27
Şekil 3.7. Toprağa belirli yüzdelerde kireç ilave edildikten sonra değişik enerjilerde sıkıştırılan karışımların şişme yüzdeleri üzerindeki tesiri	29
Şekil 3.8. Depo tabanı geçirimsizlik sistemlerinin görünümü	45
Şekil 4.1. Toprağın iri ve ince kısmının granülometri grafiği	51
Şekil 4.2. Toprak, consolid444, solidry karışımlarına çakıl ilavesiyle optimum su içeriği değerlerinde meydana gelen değişim	56
Şekil 4.3. Toprak, consolid444, solidry karışımlarına çakıl ilavesiyle mak. k.b.h.a. değerlerinde meydana gelen değişim	57
Şekil 4.4. Toprak, consolid444, solidry karışımlarına çakıl ilavesiyle ıslak C.B.R değerlerinde meydana gelen değişim	58
Şekil 4.5. Toprak , Consolid444+solidry karışımlarının su içeriği ile mak. k.b.h.a. değişimleri	61
Şekil 4.6. Toprak kireç karışımlarının su içeriği ile mak. k.b.h.a. değişimleri	64
Şekil 4.7. Toprak çimento karışımlarının su içeriği ile mak.k.b.h.a.değişimleri	67
Şekil 4.8. Toprak içerisine ilave edilen katkı içeriği ile optimum su içeriğinde meydana gelen değişim	69
Şekil 4.9. Toprak içerisine ilave edilen katkı içeriği ile mak. k.b.h.a. değişimi	69

Şekil 4.10. Toprak içerisinde ilave edilen katkı içeriği ile ıslak C.B.R. yüzdelerinde meydana gelen değişim	70
Şekil 4.11 .Toprak içerisinde ilave edilen katkı içeriği ile kıvam limitlerinde meydana gelen değişimi	71
Şekil 4.12. Kireç katkılı bentonit numunelerinin su içeriği ile mak. k.b.h.a. değişimleri	74
Şekil 4.13. Çimento katkılı bentonit numunelerinin su içeriği ile mak. k.b.h.a. değişimleri	77
Şekil 4.14. Consolid444 + solidry katkılı bentonit numunelerinin su içeriği ile mak. k.b.h.a. değişimleri	81
Şekil 4.15. Bentonitli numunelerin içerisinde ilave edilen katkı içeriği ile optimum su içeriğinde meydana gelen değişim	83
Şekil 4.16. Bentonitli numunelerin içerisinde ilave edilen katkı içeriği ile mak. k.b.h.a değişimi	83
Şekil 4.17. Bentonitin, katkı içeriği ile ıslak C.B.R. Yüzdelerinde meydana gelen değişim	84
Şekil 4.18. Bentonitin katkı içeriği ile likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değişimlerinin birlikte görünümü	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. C.B.R sayısına göre zeminlerin sınıflandırılması ve kullanımı	14
Çizelge 3.2. Kirecin topraktaki fiziki özelliklerine tesiri	21
Çizelge 3.3. Artan çimento miktarı ile basınç mukavemetlerinde elde edilen artışlar	35
Çizelge 4.1. Toprağın elek analizi ve hidrometre analizi değerleri	51
Çizelge 4.2. Isparta darıdere doğal toprak numunesinin geoteknik özellikleri	53
Çizelge 4.3. Kırma çakıl ilaveli toprak numunelerin geoteknik özellikleri	55
Çizelge 4.4. Toprak, kırma çakıl ve consolid444 + solidry katkılı numunelerin geoteknik özellikleri	59
Çizelge 4.5. Consolid444 + solidry katkılı numunelerin geoteknik özellikleri	62
Çizelge 4.6. Kireç katkılı toprak numunelerin geoteknik özellikleri	65
Çizelge 4.7. Çimento katkılı toprak numunelerin geoteknik özellikleri	68
Çizelge 4.8. Bentonit numunesinin hidrometre analizi değerleri	72
Çizelge 4.9. Bentonit numunesinin geoteknik özellikleri	73
Çizelge 4.10. Kireç katkılı bentonit numunelerinin geoteknik özellikleri	76
Çizelge 4.11. Çimento katkılı bentonit numunelerinin geoteknik özellikleri	79
Çizelge 4.12. Consolid444+solidry katkılı bentonit numunelerinin geoteknik özellikleri	82

1. GİRİŞ

Zeminlerin kullanımı, iki ana grup altında toplanabilir. Bunlardan birincisi zeminin üstyapıdan gelen yükleri taşıyan bir temel olarak kullanılması, ikincisi ise zeminin ahşap, çelik ya da beton gibi bir yapı malzemesi olarak kullanılmasıdır. Ancak bazen zeminlerin kullanım amacına uygun özelliklerde olmadığı, örneğin taşıma gücünün yetersiz olması, oturma koşulunu sağlamaması, yeterli geçirimsizliğe ya da geçirimsizliğe sahip olamaması gibi problemlerle karşılaşılabilir. Böyle durumlarda karşılaşıldığı zaman problemin çözümünde kullanılacak bazı seçenekler bulunmaktadır. Bu seçenekler şunlardır (Aytekin, 2004).

1. Amaca uygun olmayan zemini herhangi bir yöntemle geçerek üstyapı temellerini sağlam tabakaya oturtmak,
2. Üstyapı temellerini zayıf olan zeminin taşıyabileceği biçimde boyutlandırmak,
3. Amaca uygun olmayan zemini tamamen kaldırarak yerine daha iyi zemin doldurmak ya da doğal zemini iyileştirdikten sonra tekrar yerine yerleştirmek,
4. Zemini kazmadan yerinde yapılan işlemlerle amaca uygun hale getirmek.

Tarih boyunca mühendis, bilgisi ve sağduyusunu kullanarak yapılarını olanak bulunduğu sürece sadece sağlam zemine oturtmayı tercih etmiştir. Ancak zorunlu bulunduğu zaman kötü zeminlerin üzerinde yapım düşünülmüştür. Birinci yol için en iyi örnek Orta Çağda Venedik kentinin Vandal hücumlarından korunmak için bataklık içinde kurulmasıdır. Çok ağır yapılar binlerce ahşap kazığın bataklık zemini geçerek kuma çakılmasıyla yükselmiştir. İkinci yol Osmanlı döneminde Haliç ve çevresinde görülen yapım şeklini anımsatmaktadır. Örneğin, Yeni Caminin temelleri zayıf zemine önceden yerleştirilen tomrukların üzerine oturtulmuştur. Ancak zeminin çok zayıf olduğu durumda bu önlem etkin olmamakta ya da çok pahalıya çıkmaktadır. Doğal zeminin yerinden alınarak daha iyi bir malzeme getirilmesi, ya da özelliklerinin iyileştirildikten sonra yeniden yerleştirilmesi bugün pahalılığı nedeniyle ancak kısıtlı projelerde söz konusudur. Bu tür işleme en iyi örnek ulaşım

yolları yapımında doğal zeminin iri malzemeye karıştırılarak kullanımı, ya da katkı maddeleriyle ıslahıdır (Önalp, 1982).

Stabilizasyon konusunda en önemli uygulama doğal zeminin yerinde yapılan işlemlerle sağlamlaştırılmasıdır. Buna en eski örnek Çin’de M.Ö 600’lerde lösün içine açılan kayalara doldurulan sönmemiş kireçle stabilize edilmesi gösterilebilir. Sönmemiş kirecin çevredeki suyu hızla çekerek taşlaşması ve bir kazık oluşturması bugün için bile ilginç bir uygulamadır. Yine bu ülkede zayıf zeminlerin içine çakılan bambu kamışlarıyla donatıldırıldığı bilinir (Önalp, 1982).

İnşaat mühendisliğinde ilk ve orta çağın en ileri toplumu olan Roma imparatorluğunda stabilizasyon tekniklerine özellikle karayolu yapımında başvurulmuştur. İtalya’da bol bulunan puzzolan ve kirecin yardımıyla killi zeminlerin iyileştirilmesi başarıyla sağlanmıştır (Önalp, 1982).

1970’lerin stabilizasyon teknolojisine getirdiği yenilik plastiğin çok ucuza mal edilmesi sonucu bu malzemenin bol miktarda kullanılmasıdır. Geçirimsizliği ya da kayma direnci yetersiz olan doğal zemin plastik tabakalar uygulamasıyla kullanılır hale gelmektedir (Önalp, 1982).

Çöp yığınlarının iyi bir geçirgen ortam olduğu herkesçe açıkça bilinmektedir. Yığından geçen yağış suları geçiş suları geçiş sırasında suyun çözebileceği artıkların bileşiminde bulunan suda çözülebilir bileşikleri beraberinde taşımakta ve yüzeysel veya yeraltı sularına katmaktadır. Katı artık depolanması ancak yüzeysel ve yer altı sularına zara vermeyen alanlarda yapılabilir. Bunu dışında gerekli önlemler alındıktan sonra depolanabilir (Erdin, 1981).

Katı atıklar kaynaklarına göre; evsel katı atıklar, endüstriyel atıklar, açık alanlarda kaynaklanan atıklar, zirai atıklar, hastane atıkları, arıtma tesisi atıkları ve radyoaktif atıklar olarak sınıflandırılabilir (Kocasoy vd., 2003).

Herhangi bir yapı inşası sırasında zayıf bir zeminle karşılaşıldığında mevcut zayıf zeminin kazılıp başka yere götürülmesi ve yerine özellikleri önceden iyileştirilmiş zemin getirilmesi hem zaman kaybına yol açmakta hem de ekonomik olmamaktadır. Bu tez çalışmasında, kimyasal stabilizasyon yöntemi kullanılarak zayıf zeminin yerinde iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yapılan tez çalışmasında geoteknik özelliklerinin zayıf olduğu bilinen Isparta Darıdere doğal toprak numunesi ile beyaz bentonit numunesi kullanılmıştır. Isparta Darıdere numunesi üzerinde elek analizi, hidrometre deneyi, atterberg limitleri, standart proktor deneyi, ıslak C.B.R., permeabilite, organik madde ve piknometre deneyleri yapılmıştır. Yukarıda belirtilen deneylerle Isparta Darıdere doğal toprak numunesinin geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Doğal toprak numunesi içerisine %10, 20,30 oranlarında 5-15 mm'lik kırma çakıl ilave edilerek zeminin özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Doğal toprak ve çakıllı numuneler içerisine ayrıca consolid444+%1;2 oranlarında solidry katkıları ilave edilmiştir. Daha sonra doğal toprak numunesi içerisine %4,6,8,10 oranlarında kireç, %4,6,8,10 oranlarında çimento ve consolid444+%1;2 oranlarında solidry katkıları katılmış ve yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Beyaz bentonit numunesi üzerinde hidrometre deneyi, atterberg limitleri, standart proktor, ıslak C.B.R., permeabilite, ve piknometre deneyleri yapılmıştır. Bu numune içerisine %4,6,8,10 oranlarında kireç, %4,6,8,10 oranlarında çimento ve consolid444+%1;2 oranlarında solidry katkıları katılmış ve yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Kullanılan katkıları bu malzemelerin taşıma gücünde belirgin artışlar meydana getirdiği görülmüştür. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçları araştırma bulguları kısmında ayrıntılı olarak açıklanmış ve youmlanmıştır.

Consolid sistemi zemin stabilizasyonu için geliştirilmiştir. Sıvı bileşen olan consolid444 ve toz bileşen olan solidry zemine birbirinin tamamlayıcısı olarak birlikte kullanıldıklarından dolayı consolid sistemi olarak nitelendirilmektedir. Consolid Yatırım Danışmanlık A.Ş ile yapılan sözlü ve yazılı görüşmelerde consolid

sisteminin toprak ile kireç ve çimento gibi bağlayıcı olarak tepkimeye girmediği, sadece her türlü sıkı zeminin doğal katılma sürecini hızlandırarak zeminin niteliğine olumlu bir katkıda bulunduğu ve bu katkı malzemesinin Avrupa'nın bir çok ülkesinde yaygın bir şekilde kullanıldığı iddia edilmektedir. Consolid sistemi İsviçre de consolid AG şirketi tarafından üretilmiş olup kimyasal formülü sır olarak tutulduğundan dolayı bu konu hakkında bir yorum getirilememektedir. Consolid sisteminin Türkiye de ilk defa bu tez çalışmasında zemine olan etkileri araştırılmıştır. Consolid sistemi üzerinde daha geniş kapsamlı bir çalışma yapılarak zemine olan etkilerinin daha belirgin hale getirilmesi önerilmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Stanton, Hveem ve Beatty(1943), relatif (izafi) kompaksiyonda %5 kadar bir azalmanın basınç mukavemetinde meydana getireceği düşme, çimento miktarında %10 ila % 15 miktarında bir azalmanın (yani çimentonun %10'dan %9 ila %8 ½ değerine inmesi) doğuracağı düşmeden daha fazla olduğunu belirtmiştir.

Lund ve Ramsey(1959), killi topraklara kireç ilave edildiğinde hacim değişmelerinde şiddetli bir azalış meydana gelmekte, bu durum kireç ilavesinden sonra ilk saatler içerisinde olmakta ve toprakta hacim değişmesinin azalmasının maksimuma varması için %3 kireç ilavesinin yeterli geldiğini ileri sürmektedirler.

Croft(1968), kuru çimentoyu yoğun killilerle karıştırmak zordur ve özelliklerinde fark edilir değişiklikler meydana getirmek için yüksek miktarda çimento ilave edilmesi gerekir. Yine de likit limiti %45'i aşan ve plastisite indisi %18'in üzerinde olan topraklar genellikle çimento stabilizasyonuna tabi tutulurlar.

İngles ve Metcalf(1972), %3'e kadar kireç ilavesinin siltli killer, yoğun killer ve çok yoğun killeri değiştirdiğini, oysa %3-4 oranındaki kireç ilavesinin siltli killerin stabilizasyonu için gerekli olduğunu ve %3-8 oranındaki kireç ilavesinin de yoğun ve çok yoğun killerin stabilizasyonu için önerildiğini belirtmişlerdir.

Anon (1975), US Bureau of Reclamation tarafından uygulanan testlerin belirttiği üzere, %4 kireç ilavesi kilin plastisite indisi değerini %47'den %12'ye indirir ve büzülme limitini %7'den %26'ya çıkartmaktadır.

Kuno(1989), normal portland çimentosu karışımı ve %10 (ağırlıkça) alçı, organik topraklara ilave edildiği zaman, dayanım gelişmesine göre yalnız çimentonunkinden daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Kuno(1989), ağırlıkça %20 oranında alçı sönmemiş ya da sönmüş kirece ilave edildiği zaman bu karışım daha sonra aşırı yüksek doğal su içeriğine sahip olmadıklarında organik toprakları stabilize etmek için kullanılabilirliğini belirtmiştir.

Kocasoy (1992) evsel atıkların düzenli bir şekilde toplanarak bertaraf edilmesi tüm kentlerde belediyelerin en önemli çevre sorunlarından. Bu atıkların nihai bertaraf için çeşitli alternatifler olmakla beraber özellikle ekonomik olarak gelişmekte olan ülkeler ekonomik avantajlarından dolayı evsel katı atıkların bertarafı için düzenli depolama alanlarını kullanmaktadırlar.

Andreottola ve Cannes (1992); Clement (1995) bu yöntemde genel olarak atıklar geçirimsiz(veya geçirimsizleştirilmiş) zemin üzerine yerleştirilmekte, atık hacmini azaltmak için sıkıştırılmakta ve periyodik olarak üzeri kapatılmaktadır. Ancak bu sistemlerde organik atıkların bozunması ve yağmur sularının atıkların içinden süzülmesi sonucu sızıntı suları oluşmakta ve bu sızıntı suları gerektiği gibi arıtılmadığı takdirde toprak kirliliğine ve yer altı ve yüzeysel suların kirlenmesine neden olarak ayrı bir çevre sorunu oluşturmaktadır (Kocasoy vd., 2003).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında geoteknik özellikleri zayıf olan bir zemin numunesinin seçilmesi, amaçlanmıştır. Isparta Darıdere numunesi D.S.İ.'de dolgu amaçlı pek çok işte kullanılan geçirimsizliği düşük, taşıma gücü zayıf olan bir malzemedir. Aynı şekilde beyaz bentonit numunesi de inşaat mühendisliğinde temel ve baraj yapılarında su ve sıvı sızdırmazlığı elde etmede, atık suların temizlenmesinde vb. bir çok işte kullanılan permeabilitesi düşük, şişmesi yüksek, taşıma gücü zayıf olan bir malzemedir. Bu iki zemin numunesi aradığımız zemin özelliklerini taşıdıkları için bu tez çalışmasında kullanılmasına karar verilmiştir.

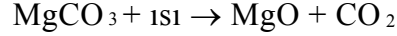
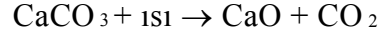
Günümüzde zemin stabilizasyonunda kullanılan yöntemlerden biri olan kimyasal stabilizasyonda katkı malzemesi olarak bir çok katkı çeşidi kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında zemin stabilizasyonunda en çok kullanılan katkı malzemeleri olan kireç ve çimento ile Türkiye de ilk kez zemin stabilizasyonunda katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılan consolid444 ve solidry adlı katkı malzemeleri bu tez çalışmasında kullanılmıştır. Aşağıda bu tez kapsamında kullanılan malzemeler içerisine ilave edilen katkı malzemeleri teker teker tanıtılmıştır.

3.1.1. Kireç

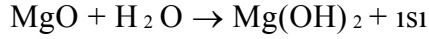
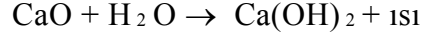
Kirecin hammaddesi kalker veya kireç taşıdır. Ancak içinde %30'a kadar $MgCO_3$ içeren kireçtaşları da (dolomit gibi) bu amaçla kullanılabilir. SiO_2 , Al_2O_3 , ve Fe_2O_3 de taşın içinde az miktarlarda bulunabilir (Baradan, 2000).

Birinci gruptan elde edilen kireç beyaz renklidir. İkinci gruptan elde edilenler ise, esmer ve dayanımı nispeten yüksek olanlardır.

Kalkerin(kireçtaşı) öğütülerek, $900^{\circ}C$ 'nin üstünde döner fırınlarda pişirilmesi(kalsinasyon) ile, aşağıdaki reaksiyon oluşur.



Bu reaksiyon sonucu oluşan kalsiyum oksit, sönmemiş kireçtir. CaO su ile karıştırılınca, büyük ısı(300-400⁰ C) açığa çıkarıp şu reaksiyonu yapar.



Bu işleme kirecin söndürülmesi işlemi ve Ca(OH)₂'e sönmüş kireç denir. Fabrikalarda elde edilen sönmüş kireç yalnızca Ca(OH)₂ olup ince toz halindedir. Çimento gibi torbalar halinde satılır ve hidrate kireç denir (Baradan, 2000). Bu tez çalışmasında kullanılan kirecin özellikleri Ek Çizelge 1'de sunulmuştur.

3.1.2. Portland çimentosu

Portland çimentoları su ile priz yapıp sertleştiğinden hidrolik bağlayıcılardandır. Çimentonun ilkel maddeleri kalker (kireçtaşı) ve kildir. Kalkerli malzemeler olarak, kireçtaşı ve marn, killi malzemeler olarak bol silisli kil, şeyl, şist gibi hammadde kaynakları kullanılır. Çimento yapımında bu maddeler belirli oranlarda karıştırılır ve yüksek sıcaklıklarda pişirilir. Yüksek sıcaklıkta kalkerin ayrışması sonucunda CaO, kilin ayrışması sonunda silis (SiO₂), Alümin(Al₂O₃) ve demir oksit(Fe₂O₃) oluşur (Baradan, 2000).

Bu maddeler yüksek sıcaklıkta yine aralarında birleşerek esas bileşimleri olan ve çimentoya bağlayıcı özelliğini kazandıran silikat ve alüminatları oluşturur. Normal portland çimentolarında prizin 1 saatten önce başlamaması, 10 saatten önce tamamlanması istenir (Baradan, 2000).

Çimentoların priz süreleri şu faktörlerin etkisindedir (Baradan, 2000).

Sıcaklık: Sıcak ortamlarda, hidrasyon olayı hızlandığından priz süresi kısaldır. Aksine yani sıcaklığın düşmesi ile priz süresi uzar.

Karıştırma Suyu Miktarı: Bağlayıcı madde hamurunda fazla miktarda su kullanmak priz sürelerinin artmasına neden olur.

Çimentonun Bekletilme Süresi: Fazla bekletilmiş çimentolarda dış ortamdan kapılan rutubet nedeniyle priz geç başlar.

Bağlayıcı maddeler priz ve sertleşme sırasında, kimyasal reaksiyon nedeniyle, bir miktar ısı açığa çıkarırlar. Çıkan ısı nedeniyle betonun sıcaklık derecesi artar. Çimentonun ısısını arttıran faktörler arasında çimento inceliğinin yanı sıra, çimentonun karma oksit bileşimi önemlidir.

Normal portland çimentolarında özgül ağırlık 3,10-3,15 dolaylarındadır. Çimento torbaları üzerine yazılan (PÇ32,5; PÇ42,5 vb.) değerler çimento harcının 28 günlük basınç dayanımlarıdır.

Çimentonun dayanımı zamana bağlı olarak önceleri hızla, sonra yavaş bir şekilde artmaktadır. Hidrasyon olayı bitene kadar bu artım devam etmektedir.

Çimento su ile karıştırıldıktan sonra, hidrasyonun başlaması ile hamurun hacminde azalmalar başlar. Deneylerle saptanan bu olay, boy kısalması şeklinde kendini gösterir. Rötire (büzülme) olayı tamamen çimentonun neden olduğu bir olaydır.

Çimentolar bazı koşullarda, değişik nedenlerle bir takım kimyasal reaksiyonlar sonucu, dayanımlarını yitirebilirler. Çimentoların iç ve dış tesirlerden etkilenme derecesine kimyasal dayanıklılığı denir. Asitlerin, sülfatların, asit karbonikli suların ve bazı iyonların sertleşmiş beton üzerinde olumsuz etkileri vardır. İç

etkilerde ortam koşullarının önemli bir etkisi yoktur. Bunların bir kısmı, çimentonun kendisine, bir kısmı beton üretiminde kullanılan su ve agregalara ait bulunmaktadır. Çimentoların içinde bulunan zararlı maddeler doğrudan doğruya hacim sabitliğini bozan, sönmemiş kireç(CaO), magnezi(MgO) ve SO₃'dür. Bunların su ile yaptıkları reaksiyon sonucu önemli bir hacim artması meydana gelir. Bu hacim artması yıllarca sürüp, yapıda çatlaklar ve hasar oluşturabilir (Baradan, 2000). Bu tez çalışmasında kullanılan çimentonun özellikleri Ek Çizelge 3'de sunulmuştur.

3.1.3. Consolid444

Consolid, yapışmış olan ince su tabakasını parçalayıp tanelerin geri dönülmez bir şekilde kümelenmelerine yol açarak suyun kapiler artışını önemli ölçüde azaltan kimyasal bir maddedir. Consolid 444'ün kullanımı ince tanelerin geri dönüşü olmayacak şekilde bağlanması ve bu yolla faal zemin yüzeyinin azaltılmasıyla sonuçlanır. Bağlanan su tabakası büyük ölçüde yıkılır, böylece zeminin has kenetleme kuvveti açığa çıkar. Zemindeki su içeriği, özellikle kapiler doygunluğu yüksek ölçüde azalır ve yavaşlar. Consolid 'in yüksek etkililiği toprağı, özellikle suyun içine işlemesine karşı korur. İşlenen zeminin daha iyi sıkışmasına olanak tanır ve zaman içinde ve trafiğin altında istenilen yoğunluğu artırır. Consolid 444 sıvı bir maddedir ve pH=6 dır. Yüksek basınç altında yanıcı değildir. Uygulama süreklilik gösterir ve bir kez kurudu mu geri dönüşümsüzdür.

Consolid 444, zemine ağırlığa göre %1 oranında uygulanır veya 1 m³ zemine 0,8 litre olarak kullanılır. Consolid444, 200 litrelik varillerde satılmaktadır.

Bu tez çalışmasında consolid444 adlı katkı malzemesi Consolid Yatırım Danışmanlık A.Ş'den alınmış ve yukarıda özellikleri anlatılan consolid444 katkısının aynısı kullanılmıştır.

3.1.4. Solidry

Solidry işlenen zeminin koruyucusu olarak hareket eden katı ve toz halde, kimyasal/organik bir maddedir. Zeminin kendine has bağlanma özelliklerini artırır. Zemine ağırlığa göre %1 - %2 oranında uygulanır. Solidry, 50 kg 'lık paketlerde satılmaktadır.

Maddenin kabarma hareketi işlenmiş zeminde kapiler artışı engeller ve su emilimi kapasitesi şiddetli miktarda düşer. Consolid'e ek olarak, solidry işlenen zeminin yüzeydeki suya ve aşınmaya maruz kalan üst katmanlarını korur. Suyun kapiler artışını daha fazla azaltır.¹

Bu tez çalışmasında yukarıda özellikleri belirtilen aynı özellikteki solidry katkısı kullanılmıştır.

3.1.5. Bentonit

Bentonit, ticari anlamda suyla temas geçince şişebilen ve başlıca montmorillonit mineralinden oluşan, asitle aktiflendirilebilen, sondaj çamurlarını koyulaştıran ve geniş bir yüzey alanı gösteren çeşitli renklerdeki kil yataklarına denir.

Bentonit, volkanik kül veya tuf gibi, camsı volkanik gerecin kimyasal ayrışmasıyla ve bozuşmasıyla ortaya çıkan ve son derece küçük kristaller halindeki kil minerallerinden (başlıca montmorillonit grubu) oluşan ve büyük ölçüde kolloidal silisten ibaret, yumuşak, şekillenebilir, gözenekli ve açık renkli bir kayadır (Ay, 2002). Bentonit Türkiye'de ham, öğütülmüş yığın ve torbalanmış halde piyasaya sunulmaktadır. Başlıca sondaj, peletleme, ilaç, dolgu, döküm ve yağ ağartma cinsi, bentonit çeşitleri olarak ülkemizde tanınmaktadır (Ay, 2002).

¹ C. Eryılmaz, 2005, sözlü ve yazılı görüşme, www.consolid.com.tr

Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kalsiyum, sodyum, (Ca-Na) montmorillonitlerden oluşmasına göre bentonitin özellikleri değişmektedir. Na, Na-Ca içeren bentonitler sondaj, demir tozu peletlemesi gibi işlerde kullanılırken Ca bentonitler ağartma gibi işlerde kullanılmaktadır. Mühendislik ve sondaj çalışmalarında özellikleri geliştirilmiş bentonite olan gereksinme Ca bentonitlerini soda vb. katkı maddeleriyle aktifleştirilmesini zorunlu kılar. Ayrıca ağartma toprağı olarak kullanılan Ca bentonitlerin de ağartma gücünü istenen düzeye çıkartmak için asitle aktifleştirme yapılmaktadır (Ay, 2002).

Bentonitin tüketim alanları

Çok geniş bir kullanım alanı olan bentonit başlıca aşağıdaki işlevleri için tüketilir. Sondajlarda sondaj çamurunu ağdalaşıp kırıntıların yukarı çıkmasını sağlar, su kaçaklarını önler. Döküm kumu bağlayıcısı olarak kalıpların hazırlanmasında (1600-°C' ye kadar dayanmaktadır), demir tozlarının peletlenmesinde, İnşaat Mühendisliğinde temel ve baraj yapılarında su ve sıvı sızdırmazlığı elde etmede, hayvan yemi yapımında, yemeklik sıvı yağların ağartılmasında, şarap ve meyve sularının berraklaştırılmasında, ilaç, kağıt, lastik sanayiinde dolgu maddesi olarak, çimento sanayiinde, seramik sanayiinde katkı maddesi olarak, evcil hayvanların altlarına yayılacak atıkların kolay temizlenmesinde, petrol rafinasyonunda, atık suların temizlenmesinde, boya sanayiinde ve yangın söndürücülerde, gübre yapımı ve toprak ıslahında kullanılır (Ay, 2002).

Bu tez çalışmasında kullanılan beyaz bentonit numunesinin özellikleri Ek Çizelge 2'de sunulmuştur.

3.2. Yöntem

3.2.1. Zemin Stabilizasyonu

Zeminlerin iyileştirilmesi (stabilizasyon), zemin veya kaya kitlesinin kayma direncini, dayanımını arttıran, geçirimsizlik ve hacimsel değişim yeteneğini azaltan her türlü işlem olarak adlandırılmaktadır (Aytekin, 2004).

Kompaksiyon(sıkıştırma), zemin danelerinin birbirine yaklaştırılması ve aralarındaki hava boşluklarının azaltılması sonucu daha sıkı bir yerleşime sahip olmalarını sağlayan mekanik işlemlere verilen isim olarak tanımlanabilir. Zeminin sıkıştırılması sonucu birim hacim ağırlığı artmakta ve buna bağlı olarak mühendislik özellikleri iyileştirilmiş olmaktadır(Özaydın, K., 1989).

Kompaksiyonla genel olarak şu yararlar sağlanır. Zeminin taşıma gücü artırılır, zeminin geçirimsizliği azaltılır, zemine daha kararlı bir yapı kazandırılır. Böylece zeminin su alarak, hacim değişikliklerine uğraması azaltılır. Zeminin sabit, hareketli, yükler altında yapacağı oturmalar azaltılır (Uzuner, 1998).

Kompaksiyon ile istenilen mukavemete varıldığını kabul edelim. Bu mukavemet sürekli olarak korunmalıdır. Zeminin durumunu değiştirmeye ve mukavemetini düşürmeye sebep olan yağmur ve dondur. Suyun yol temelini üstünden ve yanlarından doğrudan doğruya yol yapısına girmesi veya kapiler kuvvetler etkisi ile aşağıdan yükselmesi, sıkıştırılmış zemini zayıflatan esaslı bir sebeptir (Kumbasar, V., 1969).

C.B.R. deneyi, kontrol altında tutulabilen bir su içeriğinde ve yoğunluğundaki zeminin kayma direncini ölçmek için kullanılır. Deney sonunda bir taşıma gücü oranı sayısı (C.B.R.) elde edilir. Açıkça görüldüğü gibi bu sayı bir zemin için sabit bir sayı olmayıp zeminin su içeriğine ve yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Deneyden elde edilen sonuç sadece zeminin mevcut su içeriği ve yoğunluğu için geçerli

olmaktadır. Çizelge 3.1. C.B.R sayısına göre zeminlerin sınıflandırılması ve kullanımını göstermektedir.

Çizelge 3.1. C.B.R sayısına göre zeminlerin sınıflandırılması ve kullanımı (Aytekin, 2004)

C.B.R. sayısı	Zeminin tanımı	Kullanımı	Sınıflandırılması	
			USCS	ASSHO
0-3	Çok kötü	Altyapı	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3-7	Kötü-orta	Altyapı	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7-20	Orta	Alt temel	OL,CL,ML,SC,SM, SP	A2,A4,A6,A7
20-50	İyi	Temel-alt temel	GM,GC,SW,SM, SP,GP	A1b,A2-5,A3,A2-6
50'den büyük	Çok iyi	Temel	GW,GM	A1a,A2-4,A3

Bir yerde bulunan toprak gevşek veya yüksek derecede sıkıştırılabilir olduğu zaman, uygun olmayan yoğunluğa sahip olduklarında, çok yüksek geçirgenlik veya diğer herhangi istenmeyen özelliği toprağı bir inşaat projesinde kullanmak için uygunsuz kıldığında bu topraklar stabilize edilmek zorundadırlar (Bowles, 1984).

3.2.2. Stabilizasyon Yöntemleri

Zemin stabilizasyonunun da kullanılan pek çok yöntem mevcuttur ve her yöntem özel koşullarda geçerlidir. Bu koşulları şöyle özetlemek mümkündür (Önalp, 1982).

1. Ortamın türü: kil, organik, tortul vb.
2. İslah edilecek bölgenin alanı ve hacmi (ortamın geometrik özellikleri ve yapı türüne bağlı)
3. Yapının türü ve yüklerin dağılımı
4. Zeminin özellikleri (kayma direnci, sıkışabilirlik, geçirimsizlik.)
5. İzin verilebilir toplam ve farklı oturmalar

6. Malzeme durumu (taş , kum, su, katkı maddeleri).
7. Teknisyen, vasıflı işçi, özel aletlerin varlığı
8. Çevre koşulları (atıkların kullanımı, erozyon, su kirlenme kısıtlamaları)
9. Yerel deneyim ve birikimi
10. Ekonomik veriler

Zeminlerin stabilizasyonunda iki yol vardır. Bunlardan birincisi; zemine herhangi bir katkı maddesi (çimento, kireç, bitüm, reçine vb.) karıştırmadan ve zemin kitlesinde herhangi bir kimyasal reaksiyon oluşturmadan sıkıştırmak (kompaksiyon), başka zeminlerle karıştırarak uygun bir dane dağılımı elde etmek gibi yöntemlerle özelliklerinin amaca uygun hale getirilmesidir. Bu yöntem kısaca mekanik stabilizasyon olarak adlandırılır. İkinci yöntem ise zemin içerisine bir katkı maddesi (çimento, kireç, bitüm, reçine vb.) karıştırmak suretiyle zemin kitlesi içerisinde kimyasal reaksiyon oluşturarak zeminin amaca uygun hale getirilmesidir. Bu yöntem de kısaca kimyasal stabilizasyon olarak adlandırılır. Zeminlerin stabilizasyonun da kullanılan yöntemler şu biçimde sınıflandırılabilir (Aytekin, 2004).

A. Yüzeysel Stabilizasyon

1. Katkısız Stabilizasyon

- a) Kompaksiyon,
- b) Mekanik Stabilizasyon,
- c) Drenaj.

2. Katkılı Stabilizasyon

- a) Çimento, c) Bitüm
- b) Kireç, d) Uçucu kül, reçine vb.

B. Derin Stabilizasyon

1. Kohezyonsuz Zeminlerde Stabilizasyon

- a) Dinamik Konsolidasyon,
- b) Derin vibrasyon,
- c) Patlayıcılar,
- d) Enjeksiyon.

2. Kohezyonlu Zeminlerde Stabilizasyon

- a) Ön konsolidasyon,
- b) Kum drenleri,
- c) Elektroosmoz,
- d) Isıl işlemler.

Zemin stabilizasyonunda kullanılan pek çok yöntem bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında sadece katkı stabilizasyon yöntemi kullanılmıştır. Katkı malzemesi olarak kireç, çimento, consolid444 ve solidry katkıları kullanılmıştır.

3.2.3. Katkılı (kimyasal) Stabilizasyon

Katkı maddeleri kullanılarak zemin stabilizasyonu, toprak dolguların hazırlanması ile kaplama ve kaplama altı zemin tabakalarının özelliklerinin iyileştirilmesi için elverişli bir yöntem oluşturmaktadır. Arazideki elverişsiz mühendislik özelliklerine sahip doğal zemin tabakalarının özelliklerinin yerinde iyileştirilmesi (kazı ve yeniden yerleştirme gerekmeden) için ise farklı yöntemler uygulamak gerekmektedir (Özaydın, 1989).

Mekanik stabilizasyonun yeterli olmadığı ya da uygulanamadığı durumlarda kimyasal stabilizasyon bir alternatif olarak kullanılabilir. Kimyasal stabilizasyonda zemine çeşitli katkı maddeleri karıştırılarak özelliklerinin amaca uygun hale getirilmesine çalışılır (Aytekin, 2004).

Kimyasal stabilizasyon kireç, çimento, uçucu kül ve bunların kombinasyon biçimleriyle toprak stabilizasyonunda; toprağın permeabilitesini azaltmak, kayma direncini arttırmak, taşıma kapasitesini arttırmak, oturmayı azaltmak ve inşaatı kolaylaştırmak için geniş ölçüde kullanılır. Kimyasal stabilizasyon yüzey topraklarında daha başarılı bir şekilde kullanılabilir. Toprak karışımları ve kimyasallar ya mekanik olarak yerinde ya da yığın yöntemiyle karıştırılırlar. Stabilizasyonda bu etkenleri kullanmanın optimum faydası laboratuvar testleriyle saptanmalıdır (Raj, 1995).

Zamanın kazandırdığı deneyim incelenen yüzlerce maddeden sadece birkaçının sürekli uygulama olanağı bulunduğunu göstermektedir. Bunlar etkinlikleri yanında, ucuzluk ve gereksinme duyulduğunda kolayca bulunabilme özelliğine göre çimento, bitüm, kireç, fosforik asit, kalsiyum bileşikleri, reçine ve polimerler, son olarak da çok değerlikli iyon içeren maddelerdir (Önalp, 1982).

En yaygın katkı maddesi portland çimentosudur. Diğer katkıların amacı dayanımı arttırarak hem sıkışmayı hem de hidrolik geçirgenliği azaltacak şekilde yapay çimentolaşma sağlamaktır. Bu katkılar ayrıca killerdeki genleşme potansiyelini de azaltır (Coduto, 1999).

Zeminde kullanılacak olan katkı maddesi seçilirken dikkate alınması gereken hususlar şunlardır (Aytekin, 2004).

1. Stabilizasyonla özellikleri amaca uygun hale getirilecek olan zeminin cinsi,
2. Stabilizasyonun amacı,
3. Zeminin hangi özelliklerinin iyileştirileceği,
4. Stabilize edilmiş zeminden beklenen dayanım,
5. Ekonomi ve çevreye olan etkiler.

3.2.3.1. Kireçle Stabilizasyon

Genel olarak kireç toprağın kuru birim hacim ağırlığında bir azalmaya, plastik özelliklerinde bir değişmeye ve toprağın taşıma kapasitesinde bir yükselmeye sebebiyet verir. Plastisite indeksini düşürmekle toprakta boşluklu bir bünye meydana getirir. Ufalanabilme kabiliyeti az olan toprakların inşaat sırasında kolayca işlenebilmesini sağlaması ayrı bir özelliğidir (Ciason, 1964).

İnce daneli zeminlere kireç karıştırılması, zeminin plastisitesinin azalmasına, ayrıca kil mineralleri ile kireç arasında ortaya çıkan pozzolonik reaksiyon sonucu meydana gelen bir çeşit çimentolanma nedeni ile zeminin mukavemetinin artmasına yol açmaktadır (Özaydın, 1989).

Kireç, yüksek plastisiteli ince taneli topraklarla karıştırılan etkili bir maddedir. Etkili bir karışım için kireç yüzdesi %5-10 arasında değişir. İlk %2-3 arasındaki ağırlığa kadar toprağın özelliğini ve işlenebilirliğini geliştirmede tatmin edici bir etkiye sahiptir (Raj, 1995).

Kireç stabilizasyonu yoğun olarak killerdeki şişme potansiyelini ve şişme basıncını azaltmak için kullanılır. Donma ve çözünme döngüsü kireçle iyileştirilmiş toprakların dayanım kaybına yol açar (Dunn vd., 1980).

Kireç killi toprağı stabilize etmek için kullanıldığı zaman kil topraklarını birlikte bağlayan ve tabaka oluşturan bir kalsiyum silikat jeli oluşturur ve topraktaki boşlukları doldurur. Reaksiyon hazır bulunan ve kil minerallerinin yüzeyine kalsiyum ve hidroksil iyonlarını taşıyabilen suyla ilerleme kaydeder.(bu PH değeri yüksek olduğu zamandır). Sonuç olarak reaksiyon kuruma ile sona erer ve çok kuru topraklar kireçle reaksiyona girmezler (Bell., 1993).

Kirecin toprak üzerindeki etkisi üç esas reaksiyon ile açıklanabilir. Reaksiyonlardan bir tanesi kil minerallerinin etrafını saran su filminin değişmesidir. İkincisi, kirecin ilavesi ile toprak tanelerinin koagülasyon(pıhtılaşma) veya flokülasyonudur (topaklanma). Üçüncü reaksiyon ise toprak tanelerinin kireç ile reaksiyonu neticesinde yeni kimyevi maddelerin ortaya çıkmasıdır. Kireç ile reaksiyona giren toprağın içindeki silis ve alüminyumlardır. Bu uzun süreli bir reaksiyon olup, kireç - toprak karışımı bir müddet kür'e tabi tutulduğunda daha yüksek basınç mukavemetlerine sebebiyet verir. Bazı araştırmacılar bunu pozzolanik reaksiyon diye isimlendirmişlerdir. Toprak içindeki silis ve alüminyumlar üzerindeki eksi elektrik yükler kireç içindeki kalsiyum ve magnezyumdaki artı elektrik yükler ile bir bağlantı kurarlar, işte buna pozzolanik reaksiyon denir (Ciason, 1964).

Kirecin priz müddeti çimentonunkinden çok daha uzun olduğundan sertleşmesi de geç olacaktır. Bu sebepten dolayı, sonbaharda don olayının erken başladığı bölgelerde Eylül 15 den sonra yapılmamalıdır. Priz müddetinin uzun olması karışım ve sıkıştırma işlemlerinin rahatça yapılabilmesini temin etmektedir. Bunu

kirecin çimentoya nazaran bir üstün özelliği olarak kabul edebiliriz. Yalnız bu üstünlük fiziki özellik üstünlüğünden ziyade inşaat esnasında rahat ve korkusuz bir işlenebilme kabiliyeti bakımındandır (Ciason, 1964).

Kireçle stabilize edilmiş bir temel muhakkak surette bir aşınma tabakası ile örtülmelidir. Kireç stabilizasyonu yapılacak herhangi bir inşaatta yapılan tabaka en az 15cm olmalıdır (Ciason, 1964).

Toprak-kireç karışımlarında aşağıdaki olaylara rastlanmaktadır (Atanur, 1973).

- 1 — Topaklanma (Flocculation)
- 2 — Plastisite indeksinde düşüş.
- 3 — Hacim değişimi
- 4 — Optimum rutubette yükseliş ve kaba yoğunlukta düşüş
- 5 — Stabilite artması,
- 6 — Toprak kireç karışımının uzun ömürlü olması (Süreklilik)
- 7 — Tabii rutubette artma ve boşluk basıncında azalma.
- 8— Don ve rutubete karşı mukavemet (Dayanıklılık üzerinde tesiri)

Topaklanma

İnce taneli topraklara (killere) kireç ilave edildiği zaman ilk meydana gelen fiziki değişmelerden biri kil taneciklerinin topaklanmasıdır. Neticede; ince taneli killi topraklara kireç ilavesi ile iri taneli ve gevrek bir toprak meydana gelir. Buna örnek olarak ince taneli killi bir toprağa % 10 kireç ilave edildiğinde ve 14 günlük külden sonra toprakta büyük değişiklikler olur ve bu toprak elek analizi neticesinde “lem” olarak tasnif edilir. Aynı toprak-kireç karışımı 240 günlük bir külden sonra kum şekline dönüşür (Atanur, 1973).

Yukarıda tespit ettiğimiz esaslara göre, killi topraklara kireç ilave edildiğinde topaklaşmadan (Kümeleşmeden) dolayı tane çapı büyümekte, böylece yol yapımına elverişli olmayan killi topraklar kullanılabilir duruma gelmektedir. Topraklanma neticesinde meydana gelen iri tanecikler ıslatıldıktan sonra dahi uzun bir süre özelliklerini muhafaza etmektedirler (Atanur, 1973).

Plastisite indeksi değişimi

Yol inşaatında kullanılacak toprakların veya Agregaların belirli kohezyonda olması icap etmektedir. Dięer bir deyimle yol inşaatında kullanılacak malzemelerin Plastisite indeksleri belirli limitler dahilinde olmalıdır. Tabiatta mevcut toprakların plastisite indekslerine arzu ettiğimiz limitte nadiren rastlanmaktadır. Genellikle toprakların plastisite indeksi dūřuk veya çok yüksek olmaktadır. Bu gibi hallerde plastisitesi yüksek olan topraklara plastisitesi dūřuk topraklardan belli oranlarda karıştırmak suretiyle plastisite indeksleri arzu edilen limite indirilebilir. Fakat birçok hallerde granülometri bakımından böyle bir işlem elverişli olmayabilir. Bazen belirli nispette kum ilavesi ile de arzu edilen plastisite indeksi elde edilebilir. Plastisite indeksini düşürmenin başka bir yolu da toprağa kireç veya imento gibi maddeler katmaktır. Bu gibi hallerde toprağın plastisite indeksi düştüğü gibi toprakların taşıma gleri ve dona karşı mukavemetleri de artmaktadır (Atanur, 1973).

Kireç genellikle plastisite indisi %10'dan %50'ye kadar değişen oranlardaki pek çok toprakla reaksiyona girer. Plastisite indisi %10'dan az olan topraklar kireçle gerekli reaksiyonun olması için bir pozzolana ihtiyaç gerektirir, uçucu kül yaygın olarak kullanılır (Bell., 1993).

Kireç hem toprağın plastik limitine hem de likit limitine tesir etmektedir. Toprağa kireç ilave edildiğinde likit limitte düşüş, plastik limitte ise yükseliş meydana gelmektedir (Atanur, 1973).

Plastik limitin yükselmesi ve likit limitin düşmesi toprağın plastisite indeksini azaltmaktadır. İlave edilen kireç miktarının arttırılması ile likit limitin düşmesi bazı topraklarda görülmeyebilir. Çok plastik topraklara kireç ilavesiyle likit limit düşmekte, az plastik veya plastik olmayan topraklarda ise likit limit artmaktadır (Atanur, 1973).

Plastisite indeksi 15 den az olan topraklarda kireç, hem likit ve hem de plastik limitleri yükseltir ve netice olarak plastisite indeksi yükselir. Daha plastik topraklarda kirecin tesiri likit limiti azaltmak, plastik limiti yükseltmek ve

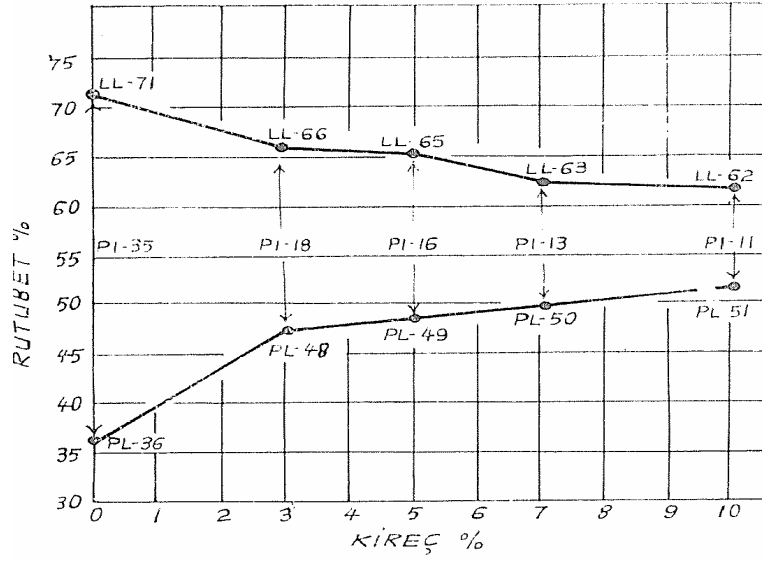
neticede plastisite indeksinin azalması halinde gerçekleşir. Bundan dolayıdır ki bir toprağa kireç ilavesi onu daha granüler ve gevrek yapar (Ciason, 1964). Çizelge 3.2. Kirecin topraktaki fiziki özelliklerine tesirini göstermektedir.

Çizelge 3.2. Kirecin topraktaki fiziki özelliklerine tesiri (Ciason, 1964).

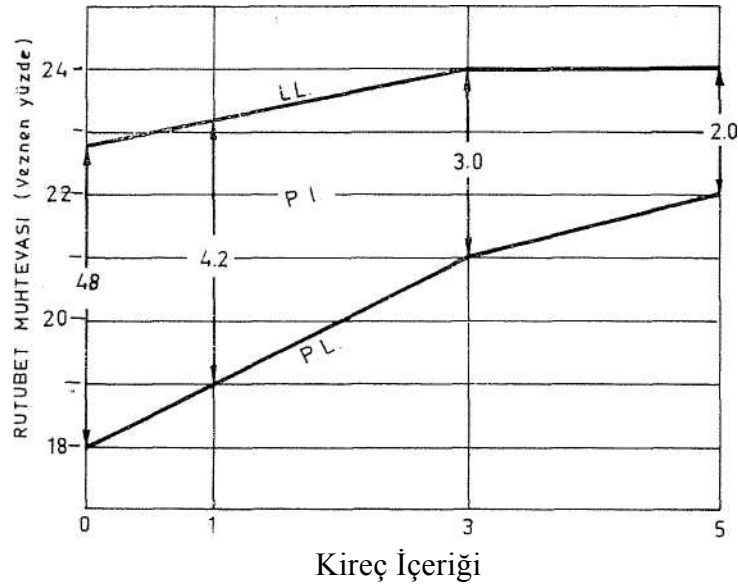
		% 0 Kireç	%2 Kireç	%5 Kireç
5 adet siltli toprak	Likit limit	25.8	28.2	29.2
	Plastik limit	16.2	17.6	18.4
	Plastik indeks	9.6	10.6	10.8
8 adet killi toprak	Likit limit	40.9	40.4	39.5
	Plastik limit	20.9	25.4	26.4
	Plastik indeks	20.0	15.0	13.1

Plastisite indeksi yüksek olan topraklara az miktarda kireç ilave edildiğinde plastisite indeksinde %50-80 arasında bir düşüş meydana geldiği gözlenmiştir. Buna açık bir örnek verelim; Likit limiti 51, Plastisite indeksi 30 olan bir killi toprağa %6 kireç ilave edildiğinde plastikliğini yitirmiştir. Topraklara kireç ilavesi ile plastisite indeksinde meydana gelen düşüşler, toprağın cinsine, ilave edilen kireç miktarına, kirecin çeşidine, kirecin toprakla reaksiyona girme süresine de bağlıdır. Şöyle ki: Toprağa kireç ilave edildikten sonra, ilk bir kaç saat içinde genel olarak plastisite indeksinde önemli bir azalma kaydedilir. 2-3 gün sonra toprağın plastisite indeksinde hemen hemen bütün değişimler gerçekleşmiş olur. Daha uzun müddet bekletildiğinde plastisite indeksinde genellikle daha fazla bir düşüş görülmektedir. Ancak bu düşüş ilk birkaç saat içinde gerçekleşmesine göre çok azdır (Atanur, 1973).

Kireç çeşidinin etkisine gelince sönmemiş kireçte sönmüş kirece nazaran plastisite indeksindeki düşüş daha hızlı olmaktadır (Atanur, 1973). Şekil 3.1. Kirecin likit limit ve plastik limitleri üzerindeki etkisini, Şekil 3.2. Kireç ilavesiyle plastik özelliklerdeki değişmeyi göstermektedir.



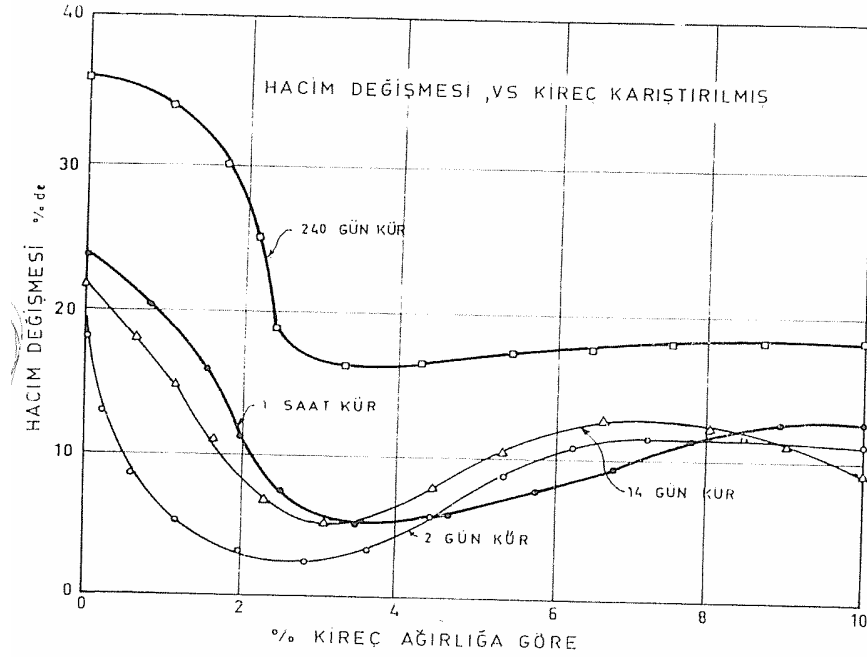
Şekil 3.1. Kirecin likit limit ve plastik limitleri üzerindeki etkisi (Atanur, 1973)



Şekil 3.2. Kireç ilavesiyle plastik özelliklerdeki değişme (Atanur, 1973)

Hacim değişimi

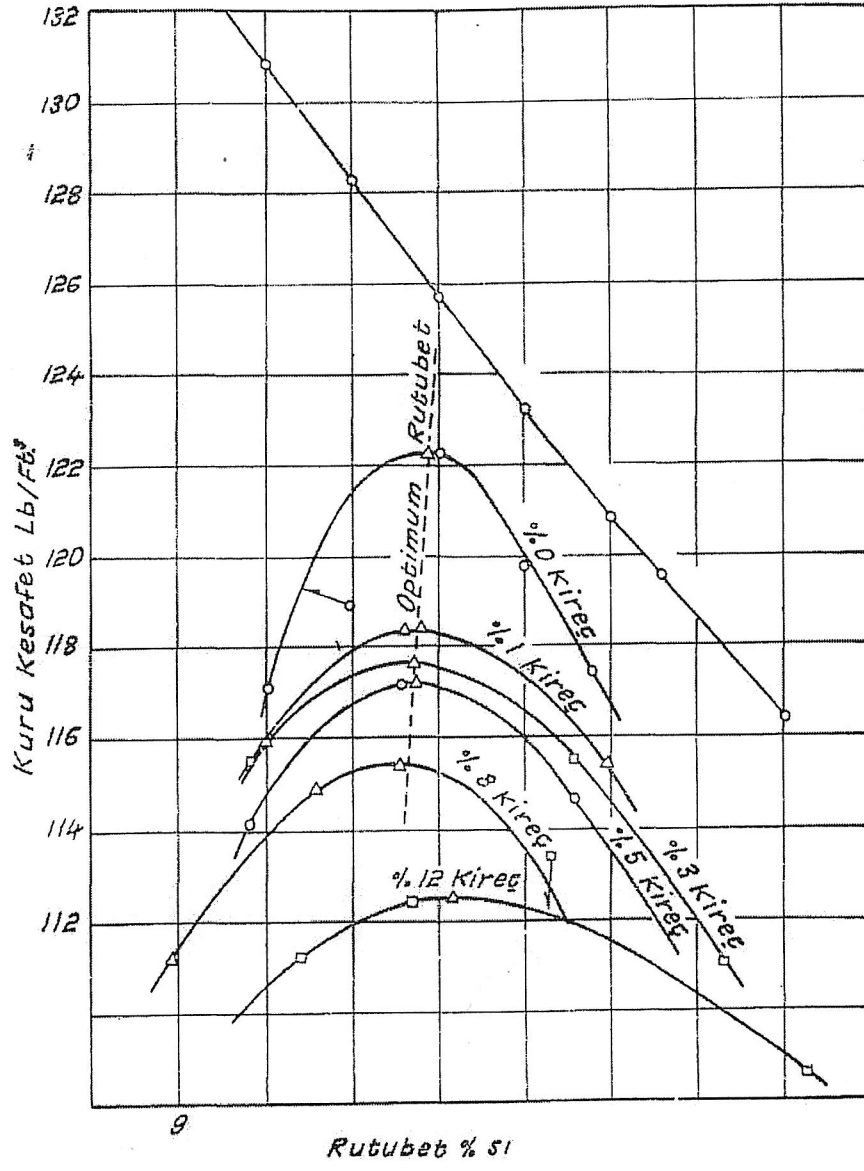
Killi topraklara kireç ilave edildiği zaman hacim değişimlerinde azalma olmaktadır, ilave edilen kirecin tesiri ile büzülme limiti artar ve büzülme oranı azalır. Neticede de toprağın hacim değişmesinde azalma meydana gelir (Atanur, 1973). Şekil 3.3. Plastik toprakların hacim değişmesine kirecin tesirini göstermektedir.



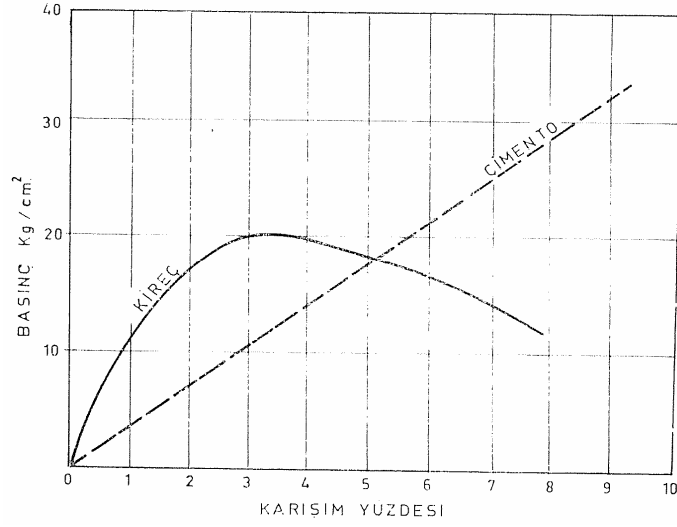
Şekil 3.3. Plastik toprakların hacim değişmesine kirecin tesiri (Atanur, 1973)

Optimum rutubette yükseliş ve maksimum kaba yoğunlukta düşüş

Aynı enerji ile sıkıştırıldığında Toprak-kireç karışımı kirecsiz olan orijinal topraktan daha düşük yoğunlukta sıkışmaktadır. Toprağa ilave edilen kireç yüzde miktarı arttıkça maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında düşüş o nispette fazla olur ve optimum rutubet yüzdelerinde ise yükseliş meydana gelir. Topraklara kireç ilavesi ile kuru birim hacim ağırlıklarında düşüş çoğu topraklarda ortalama %2,5 civarındadır (Atanur, 1973). Şekil 3.4 Kirecin optimum rutubet ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları üzerindeki etkisini, Şekil 3.5 Toprağa belirli yüzdelerde ilave edilen çimento ve kirecin serbest basınç mukavemetleri üzerindeki etkisini göstermektedir.



Şekil 3.4. Kirecin optimum rutubet ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları üzerindeki etkisi (Atanur, 1973)



Şekil 3.5. Toprağa belirli yüzdelerde ilave edilen çimento ve kirecin serbest basınç mukavemetleri üzerindeki etkisi (Atanur, 1973)

Kuru birim hacim ağırlığın azalmasıyla basınç mukavemetinde de bir azalma olacağı düşünülebilir fakat gerçekte bunun tam tersi meydana gelir. Toprağın mukavemetindeki ani yükselme hem toprak tanelerinin etrafındaki su filminin değişmesinden ve hem de tanelerin granüler bir hale gelmesindedir. Numuneleri bir müddet kür'e tabi tutmak kuvveti daha da fazlaştırır (Ciason, 1964).

Stabilitenin artması

Toprak-kireç karışımlarının mukavemetini değerlendirmek için serbest basınç, kaliforniya taşıma oranı (CBR), Hveem Stabilometresi, üç eksenli basınç mukavemeti, penetrasyon iğnesi deneyleri yapılmaktadır (Atanur, 1973).

Bu değişik deneylerle elde edilen sonuçlardaki eğilim, genellikle birbirlerine benzerler. Şöyle ki; Stabilize edilmiş toprak serbest basınç mukavemet deneyleriyle bir mukavemet artışı gösteriyorsa, CBR deneyinde de artış göstermektedir Bununla beraber mukavemet değerlerinin büyüklüğünde vaki olan artış yüzdesi deney metotlarına göre önemli ölçüde değişmektedir. Bir mukavemet deneyi, belli bir mukavemet değişmesi gösterdiği zaman aynı

şartlarda aynı toprak için yapılan başka bir deney ondan daha az veya fazla bir değişim gösterebilir (Atanur, 1973).

Birçok stabilize edici maddelerden farklı olarak, kireç stabilizasyonuna tabi tutulan bir toprak bütün şartlar altında maksimum bir mukavemet meydana getirecek bir optimum kireç yüzde miktarı vermeyebilir. Genellikle yapılan araştırmanın sonuçlarına göre toprak çeşidi ve kirece karşı toprağın affinitesine (uygunluk derecesine) göre her toprağın bir optimum kireç yüzdesi vardır. Toprağın optimum kireç yüzdesi belli bir kür süresi için bulunmuştur. Değişik şartlarda değişik optimum kireç yüzdeleri tespit edilebilir. Şöyle ki: 7 günlük rutubet küründen sonra tespit edilen optimum kireç %5 olarak tespit edilebilir. Aynı toprak 28 gün açık havada kür edildiğinde, optimum kireç yüzdesi % 8 olarak bulunabilir (Atanur, 1973).

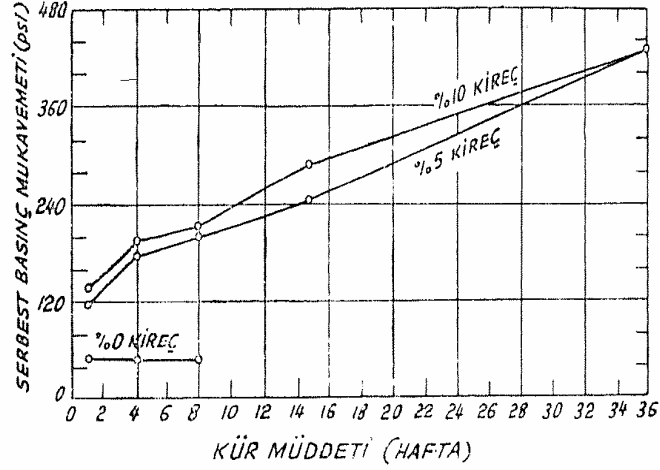
Toprak-kireç karışımının mukavemetini etkileyen başlıca faktörlerden biri toprağa ilave edilen kireç yüzde miktarı, kireç çeşidi, toprak tipi, toprağın maksimum kuru kaba yoğunluğu, kür şekli ve kür müddetidir (Atanur, 1973).

Kireç miktarı

Düşük kireç içeriğinde karıştırılmış toprak, daha yüksek kireç içeriğinde ilave edildiğinden daha az bir maksimum dayanıma ulaşır. Dayanım kireç içeriği ile lineer olarak artmaz ve aslında aşırı kireç ilavesi dayanımı azaltır. Bu azalma kirecin ne sürtünmesinden ne de kohezyonundan dolayıdır. Optimum kireç içeriği %4,5 ile %8 arasında değişim gösterir, daha yüksek değerler, daha yüksek kil parçaları olan topraklar için gereklidir. Kür süresi kireçle stabilize edilen toprağın dayanımını etkileyen diğer bir faktördür. (Bell and Couthard., 1990) aylar geçtikçe sağlam bir dayanım elde etmek kirecin karakteristiği olduğunu belirtmiştir (Bell., 1993).

Toprak-kireç stabilizasyonunda ilk ilave edilen kireç yüzdelerinde karışımda yüksek bir mukavemet artışı meydana gelir. Sonraki kireç ilaveleri ise mukavemette oldukça küçük artışlar yapmaktadır (Atanur, 1973).

Bir büyük projede zeminin hangi yüzdede kirece gereksinimi olduğunu saptamak için en uygun yolun küçük bir araştırma programı uygulayarak %3-8 arası katkı ve 7,14,28 gün bekletme ile optimum bulunması olduğu bilinmektedir (Önalp,1982). Şekil 3.6 Kür süresi ve kireç miktarının basınç dayanımına etkisini göstermektedir.



Şekil 3.6. Kür süresi ve kireç miktarının basınç dayanımına etkisi (Ciason, 1964)

Araştırmacılardan bir grup kireç tipinin toprak-kireç karışımlarında mukavemet kazanmada etkili olduğunu ileri sürmektedirler. Bu araştırmacılara göre, killi topraklarda dolomitik kirecin kalsitik kirece nazaran mukavemet kazanması daha etkili olmaktadır. Yine yapılan araştırmalara göre aynı toprakta ve aynı şartlar altında dolomitik ve kalsitik kireçlerden düşük yüzdelerde ilave edilerek aşağı yukarı aynı mukavemetler elde edilmiştir. Fakat daha yüksek kireç yüzdeleri ilave edildiğinde dolomitik kireçlerde kalsitik kireçlere nazaran daha yüksek mukavemetler elde edilmiştir. Diğer taraftan toprakların kireçle stabilizasyonlarında sönmemiş kirecin sönmüş kirece nazaran daha etkili olduğu anlaşılmıştır (Atanur, 1973).

Toprak kireç karışımlarının uzun ömürlü olması

Toprak-kireç karışımları üzerinde yapılan arazi deneyleri mukavemetin zamanla arttığını göstermektedir. Bu maksatla arazi tatbikatı yapılan toprak-kireç karışımları üzerinde muayyen zamanlarda plâka taşıma deneyi yapmak suretiyle mukavemetlerde

artış meydana gelip gelmediği kontrol edilmektedir. Toprak-kireç karışımları zamanla özelliklerinde değişiklik yapmamaktadır. Diğer bir deyimle toprak-kireç karışımı, zamanla kireç ilave edilmeyen toprağın özelliğine dönmemektedir. Bundan dolayı toprak-kireç karışımı uzun ömürlü sayılmaktadır. Plastisite indekslerinde az çok oynamalar olmakta ise de taşıma değerlerinde düşüş meydana gelmemektedir (Atanur, 1973).

Toprak-kireç karışımlarının uzun ömürlü olmasına tesir eden faktörler şunlardır (Atanur, 1973).

- a) Kirecin uygun miktarda ilave edilmesi. (Optimum kireç miktarı)
- b) Sıcak havada ve yeterli sürede kür edilmesi.
- c) Arzu edilen maksimum kuru kaba yoğunlukta sıkıştırılması,
- d) Kireç çeşidi ve toprak cinsidir.

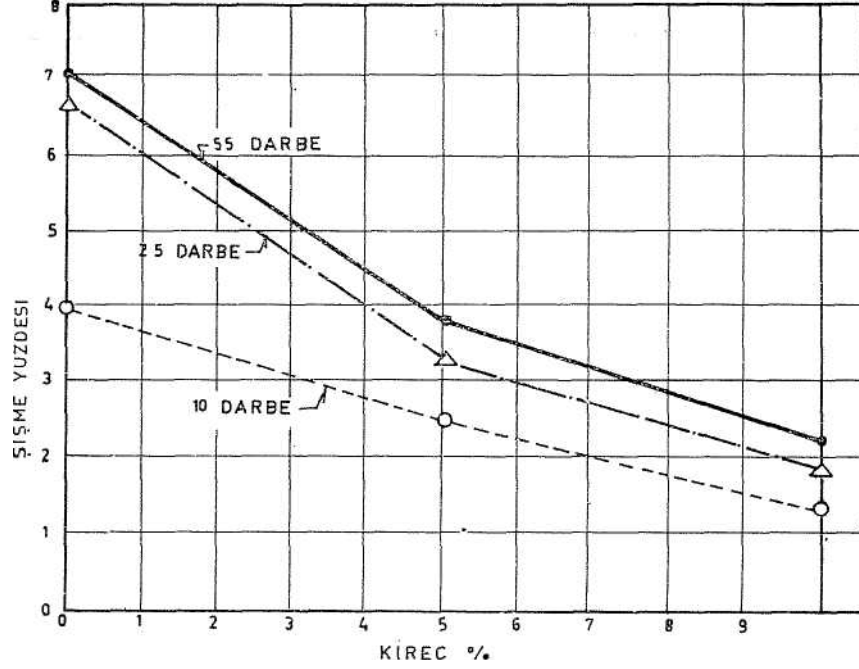
Ramana Sastry (1989) kür periyodunun kireçle stabilize edilmiş toprakların dayanımını oldukça etkileyeceği belirtilmektedir (Raj, 1995).

Doğal rutubet ve boşluk basıncı

Killi topraklar sulandırılmakla kendi hacminin birkaç misli artarlar. Diğer bir deyimle bazı killi topraklar suyun etkisi altında çok fazla şişme göstermektedirler. Neticede de şişme basıncıda pek fazla olur. Kireç ilavesi ile şişme basıncında bariz miktarda azalmalar meydana gelir (Atanur, 1973).

Esasen killerin en kötü özelliklerinden biri de sıkışmış ve kuru safhada oldukça iyi taşıma değerleri göstermesi, fazla su almaları neticesinde şişmeleri ve neticede de taşıma güçlerinin düşmesidir. Sıkıştırma ve ilave edilen kireç miktarlarına göre şişmede meydana gelen düşüşleri tespit için % 0-10 kadar kireç ilave edilen killi topraklar standart CBR kalıbında 10 Lb lik tokmak ile üç tabakada ve her tabakaya 10, 25 ve 55 darbe vurmak sureti ile sıkıştırıldıktan sonra su altında bırakılmak suretiyle şişme yüzdeleri tespit edilmiştir (Atanur, 1973).

Şekil 3.7. Toprağa belirli yüzdelerde kireç ilave edildikten sonra değişik enerjilerde sıkıştırılan karışımların şişme yüzdeleri üzerindeki tesiri



Şekil 3.7. Toprağa belirli yüzdelerde kireç ilave edildikten sonra değişik enerjilerde sıkıştırılan karışımların şişme yüzdeleri üzerindeki tesiri (Atanur, 1973)

Şekilde görüldüğü gibi ilave edilen kireç miktarının artması ile orantılı olarak şişme yüzdelerinde de düşmeler meydana gelmektedir

Don ve rutubete karşı mukavemet

Yol inşaatında kullanılacak toprakların donma-çözülme ve ıslatma-kurutma gibi doğal tesirlere karşı mukavim olması şarttır. Bu gibi iklim şartlarına mukavemet göstermeyen topraklarla teşkil edilen taban, alt temel, temel ve kaplama altı malzemeleri ilk ve sonbahar yağmurlarının taban veya temel tabakasına işlemesi neticesinde, kısa bir zamanda topraklarda kabarmalar, şişmeler meydana geldiği gibi sıkışmalarında ve taşıma değerlerinde de bariz bir düşüş görülür. Neticede yolda kısa zamanda çökmeler ve dağılmalar meydana geldiğinden yol trafiğe geçit vermeyecek bir duruma dahi düşebilir. Kış aylarında sıcaklığın

düşmesi neticesinde topraklar içindeki suda donma meydana gelir. Donmadan meydana gelen genişleme basıncı altında bilhassa porozitesi yüksek olan malzemeler kolaylıkla dağılabilir ve ilkbahar aylarında meydana gelen sıcaklığın yükselmesi ile çözümler meydana gelir. Bundan dolayı yol inşaatında kullanılacak toprak-kireç karışımlarının donma-çözülme ve ıslatma-kurutma gibi doğal tesirlere karşı mukavim olması gereklidir (Atanur, 1973).

Toprak-kireç karışımlarında doğal etkilere karşı dayanıklılığı (donma-çözülme ve ıslatma-kurutmaya karşı mukavemeti) laboratuarda meydana getirmek zor olduğundan bir problem teşkil eder. Bu maksatla birçok değişik deneyler uygulanmıştır. Islatma-kurutma ve donma-çözülme deneylerinde fırçalama işlemi yapılmaksızın 12 devreli ıslatma-kurutma ve donma-çözülme devresinden sonra serbest basınç mukavemet deneyi yapmak suretiyle toprak-kireç karışımlarının dayanıklılığı tespitine çalışılmaktadır. Henüz toprak-kireç karışımlarında standart dayanıklılık deneyi yoktur. Deney şekli, kür müddeti, kür şekli araştırmacıya göre değişmektedir (Atanur, 1973).

Toprak-kireç karışımlarının dayanıklılık mukavemeti kür süresi ile ilgilidir. Kür süresinin artması ile dayanıklılıkta artmaktadır. Diğer taraftan karışımın dayanıklılığının artmasına tesir eden başka bir faktörde kür esnasındaki sıcaklıktır. Toprak-kireç stabilizasyonunun arazide tatbikatı sonbahar aylarının sonunda yapılmışsa ve ardından uzun bir kış devresi geliyorsa toprak-kireç karışımı dayanıklılık bakımından öyle zayıf olur ki, daha ilk kış devresinde toprak-kireç karışımında bozulmalar meydana gelebilir. Bu husus göz önünde tutularak kireç stabilizasyonunun kür işleminin sıcak yaz aylarında yapılması arzu edilmektedir (Atanur, 1973).

İlave edilen kireç daima toprağın kuru ağırlığına göre hesaplanır. Basınç mukavemeti için hazırlanan silindirler yine standart kompaksiyon kalıbına sıkıştırılır. Bu silindirler sıkıştırılmadan önce 7 gün süreyle rutubetli odada ve 3 gün süreyle de havada bekletilir (Ciason, 1964).

Toprak-kireç ve toprak-çimento stabilizasyonlarının mukavemet kazanma hızları birbirlerinden farklıdır. Şöyle ki; toprak-kireç stabilizasyonunda mukavemet kazanma hızı yavaş olmakta ve karışım optimum kireç yüzdesinde maksimum mukavemeti vermektedir. Toprak-çimento stabilizasyonunda ise mukavemet kazanma hızı toprak-kireç stabilizasyonuna nazaran daha süratli olmakta, ve ilave edilen çimento yüzdesinin artması ile mukavemetlerde de artışlar meydana gelmekte ve toprak-çimento stabilizasyonunda optimum çimento miktarı tespit edilememektedir. Bundan dolayı toprak-çimento stabilizasyonunda arzu edilen mukavemetin elde edildiği çimento yüzdesi, toprağa ilave edilmesi gereken yeterli çimento yüzdesi olarak kabul edilmektedir (Atanur, 1973).

Yukarıda açıklanan toprak-kireç karışımlarının fiziki özelliklerini göz önünde tutarak bu tip bir stabilizasyonun nerelerde tatbik edilebileceğini de açıklamak faydalı olacaktır (Ciason, 1964).

1. Alt Yapı toprağı(taban toprağı) ve seçme malzemedede.

Alt Yapı toprağının karakterini değıştirip, taşıma kapasitesini arttırmak suretiyle üzerine gelecek olan seçme malzeme kalınlığını azaltır. Ocak bakımından fakir olan bölgelerde bu çok ekonomiktir.

Plastisite indeksi şartname hudutlarının dışına çıkan seçme malzemedede bu malzemenin plastisite indeksini düşürmek suretiyle temel malzemesi olarak kullanılmasını sağlar. Aynı zamanda seçme malzemeye bir mukavemet de verir.

2. Yolların banketlerinde genellikle trafiğın az olduğı yol banketlerinde kabarmalara mani olmak için.

3. Vasıta park yerlerinde

3.2.3.2. Portland Çimentosu ile Stabilizasyon

Mekanik stabilizasyon ile bir temelin hazırlanması imkansız veya pratik değılse, mevcut malzemenin doğal stabilitesi bazı hallerde çimento karıştırılarak iyileştirilebilir (Kumbasar, V.,1969).

Yüksek derecede organik topraklar veya bazı yüksek derecede plastik killerin haricindeki herhangi bir toprak türü çimentoyla stabilize edilebilir. Toprağın yaklaşık %50'sinden daha fazlası 0,18mm'den daha ince taneli olmaması gerekir. %5- %35 arasında ince taneler içeren tipteki topraklar en ekonomik toprak çimento ürününü verir. Taneli toprakların boyutları çimentonunkilerden daha büyük olduğundan her bir tane çimento pastasıyla kaplanır ve etki noktalarında yapıştırılır. Kohezyonlu topraklardaki taneler çimento tanelerinden çok daha küçüktürler ve sonuç olarak bu taneleri çimento ile kaplamak imkansızdır. Pratikte, kohezyonlu topraklar çimento ile kaplanacak kadar küçük parçalara kırılırlar ve sonra sıkıştırılırlar (Bell., 1993).

Herhangi bir çimento tipi toprak stabilizasyonu için kullanılabilir fakat normal portland çimentosu geniş çapta kullanılır. Normal portland çimentosuyla stabilizasyon için toprağın uygunluğuna karar vermedeki iki ana faktörden birincisi toprak ve çimentonun yeterli bir şekilde karışıp karışmaması ve ikincisi karıştırma ve sıkıştırmadan sonra toprak-çimentonun yeterli derecede sertleşip sertleşmemesidir. Organik topraklarda hızlı sertleşen ekstra kalsiyumlu çimento kullanılır. Sülfata dayanıklı çimentolar nadiren uygundur (Bell., 1993).

İlave edilmesi gereken çimento miktarını saptamak için sıklıkla başlangıç deneylerinin yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu deneyler; basınç dayanımı ve dayanıklılığın yanı sıra optimum su muhtevası ve toprak çimento karışımının maksimum yoğunluğunun belirlenmesini içerir (Tschebotarioff, 1951).

Çimento su ile reaksiyona girerek sertleşen bir malzemedir. Çimento stabilizasyonu çok değişik amaçlar için kullanılmaktadır. Örneğin; taşıma gücünün stabilizasyonla artırılması ile yerel olarak mevcut olan zeminler temel zemini olarak kullanılabilir. Böylece doğal hali zayıf olan zeminin yerinden taşınarak yerine daha sağlam zeminlerin taşınması ile yapılacak stabilizasyon önlenmiş ve ekonomi sağlanmış olur. Portland çimentosu içerisinde bir miktar kireç de bulunmaktadır. Yapılan stabilizasyonda kireçle stabilizasyonda bahsedilen iyileştirmeler de elde edilebilir. Ancak çimentonun kirece göre daha pahalı olması nedeni ile bu amaç için kullanılmaz (Aytekin, 2004).

Genel olarak çimento ile yapılan stabilizasyonlarda zeminlerin permeabiliteleri azalmaktadır. Çimento ile stabilizasyonu yapılmış zeminlerde hacim değişimi meydana gelmekte ve çatlaklar oluşmaktadır. Çimento ile stabilizasyon için kumlu ve çakıllı malzemeler uygun olmaktadır. Özellikle 200 nolu elekten geçen kısım %10-35, 4 nolu elekten geçen %55 ve yukarısı, 10 nolu elekten geçen %37 ve 2.5 cm den daha büyük danesi olmayan zeminler, çimento ile stabilizasyon için çok uygun olmaktadır. Çimento ile zeminin karıştırılması arazide veya belli bir yerde yapılarak çimento karıştırılmış zemin, yerine yerleştirilebilir. Çimento ile zemin karıştırıldıktan sonra 30 dakika içerisinde yerine taşınmalı, 1 saat içerisinde sıkıştırılmaya başlanmalı ve 2 saat sonunda sıkıştırma işlemi tamamlanmalıdır (Aytekin, 2004).

Kum ve çakılların permeabilitesi çimento ilavesiyle büyük oranda azalır oysa silt, siltli kil ve yoğun killer permeabilitede artış gösterir (Lee vd., 1983).

Arazide, mevcut toprak istenilen derinliğe kadar toprağı sürerek ezilir ve gerekli çimento ile su ilave edilir. Toprak tam olarak karıştırıldıktan sonra bir greyder ile yerleştirilir ve silindirler (Karol, 1960).

Toprak-Çimento Özelliğine Etki Eden Faktörler

Zemin cinsi, çimento miktarı, kompaksiyon ve karıştırma metodu, toprak-çimento kalitesine tesir eden başlıca faktörlerdir. Şayet zemin uygun değilse, toprak-çimentoyu uygun özelliğe getirmek için fazla bir şey yapılamaz (Kumbasar vd., 1970).

Zemin Cinsi

Burada, zemin cinsi ile daha ziyade dane büyüklüğü dağılımı ve zeminin kimyasal yapısı kasit olunmaktadır. The Portland Cement Association of Amerika ya göre ufulanabilen her zeminin, çimento ile stabilizasyonu mümkündür (Kumbasar vd., 1970).

Toprakta organik maddeler az bulunmalıdır, zira bu gibi maddeler toprak-çimentonun mukavemetini azaltacağından, başarılı stabilizasyon yapılmasına engel olur. Bazı zeminler için %0,5 oranında organik madde başarılı stabilizasyona engel olur. Bununla beraber %2 oranında organik madde, stabilizasyona müsait olma kriterinin, maksimum emniyetli üst değeri olarak tatbik edilebilir (Kumbasar vd., 1970).

Organik madde tercihen kalsiyum iyonlarını emdiğinden dolayı çimentonun hidrasyonunu geciktirir. Bununla birlikte, kalsiyum klorit veya sönmüş kireç ilavesi bir kalsiyum kaynağı sağlayabilir ve sonuç olarak, bu toprakların bazılarının işlenebilmesine olanak sağlayabilir (Bell., 1993).

Organik maddeler bir tarafa, toprağın kimyevi terkininin eğer oldukça önemli miktarda zararlı tuz ihtiva ediyorsa, stabilizasyonda önemli olduğuna inanılmaktadır. Bu bileşimlerin zararlı tesirleri, bunların çimentonun prizine karşı reaksiyonundan ziyade, boşlukların(gözeneklerin) içinde bulunan fazla miktarda kristalleşmiş tuzların toprak-çimentoyu bozmasından ileri gelmektedir (Kumbasar vd., 1970).

Çimento Miktarı

Çimentonun karışım içinde yeter şekilde hidrasyona uğraması halinde artan çimento miktarıyla beraber karışım mukavemeti de artar (Kumbasar vd., 1970).

Toprak çimentonun dayanımı, çimento içeriğinin artmasıyla lineer bir şekilde artış gösterir fakat farklı topraklarda farklı oranlarda artar (Bell., 1993). Çizelge 3.3 Artan çimento miktarı ile basınç mukavemetlerinde elde edilen artışları göstermektedir.

Çizelge 3.3. Artan çimento miktarı ile basınç mukavemetlerinde elde edilen artışlar (Kumbasar vd., 1970).

Zemin	Çimento miktarı (%)	Basınç mukavemeti (7günlük) (kg/cm ²)	Kuru birim hacim ağırlığı (t/m ³)	Su içeriği (%)
Siltli kil	7	24.5	1.78	16
	10	28.0	1.78	
	13	31.5	1.78	
Kumlu kil	7	18.2	1.87	14
	10	26.6	1.88	
	13	27.3	1.84	
Killi kum	7	16.8	1.78	12
	10	19.6	1.81	
	13	27.3	1.84	
Temiz kum (uniform derecelenmiş)	7	14.7	1.73	10
	10	28.7	1.84	
	13	60.2	1.88	
Çakıl (kötü derecelenmiş)	7	11.2	1.98	10
	10	25.2	2.00	
	13	39.2	2.03	

Çimento ile stabilizasyonda; zemine, kuru ağırlığının %5-15'i kadar çimento katılarak, karıştırılarak, kompaksiyon uygulanır. Saf kohezyonlu ve organik zeminler dışındaki zeminler, bu yöntem için uygundur. Çimento, taneler arasında bağlar oluşturur. Genellikle, Portland çimentosu kullanılır. Uygun çimento miktarı, serbest basınç ve diğer dayanıklılık deneyleri ile belirlenir (Uzuner, 2000).

Toprak çimento karışımları hemen hemen her toprakla yapılabilir. Sonuç düşük kaliteli betona eşdeğerdedir. Dayanımlar genellikle şaşırtıcı derecede yüksektir. Çimento içeriği %8-12 arasında değişir (Karol, 1960).

İngiltere de yol araştırma laboratuvarında yapılan araştırmalar göstermiştir ki, yedi günde varılan kırılma mukavemeti, bir zeminin, zemin-çimento imali için uygun olup olmadığını gösteren kabul olunabilir bir ölçüdür (Kumbasar, V. 1969).

Plastisite İndisi

Çimento ile stabilize edilecek toprağın maksimum plastisite indeksi, 30'dan fazla olmamalıdır. Yüksek plastisite indeksine sahip olan topraklar önce kireç ile stabilize edilerek plastisite indeksleri düşürülüp, sonra da çimento stabilizasyonuna tabi tutulabilir (Demirel vd., 1991)

Yoğun killer, yine de, %2- 3 oranında çimento ile veya daha sıkça sönmüş kireçle ön iyileştirme yapılabilir. Bu, plastisiteyi azaltır, o nedenle kilin daha işlenebilir olmasına yardım eder. Önceden iyileştirilen kil 1-3 günlük kürden sonra çimentoyla stabilize edilir (Bell., 1993).

Kirece benzer şekilde, çimento toprağın plastisitesini azaltan ve dayanımı arttıran bir etkiye sahiptir. Kumlu toprakların stabilizasyonu için gerekli çimento %6-10 arasında değişir, düşük plastisiteli kil ve siltler için %8-12 arasındadır ve yüksek plastisiteli killer için yaklaşık %10-14 arasındadır. Kalsiyum iyonlu killer çimentoyla kolaylıkla stabilize edilebilirler, oysa sodyumlu killer kireç stabilizasyonu ile daha iyi stabilize edilebilirler (Raj, 1995).

Su İçeriği

Su muhtevasının toprak-çimento kalitesine yaptığı tesir, daha ziyade onun kompaksiyon üzerine yaptığı tesirinden doğmaktadır. Sarf edilen muayyen bir enerji ile iyi bir kompaksiyon elde etmek için zeminin, bu enerji için maksimum kuru birim hacim ağırlığa getirilmesi gerekir. Kompaksiyon için en iyi su muhtevası, zemin cinsine ve kompaksiyon metoduna bağlı olup, betondaki su/çimento oranı, toprak-çimento stabilizasyonun da bir önem taşımaz (Kumbasar vd., 1970).

Maksimum kompaksiyon için gerekli su, çimentonun prizi için gerekli su miktarını rahatça sağlar. Su, toprağın her tarafına iyice yayılmalıdır, öyle ki, çimentonun hepsi yeterli derecede su ile temas etsin. Kohezyonlu zeminlerin suyu tutmaları özelliği dolayısıyla bu tip zeminlerin çimento ile karıştırılmasından sonra, daha bir miktar su

ilave edilerek çimentonun hidrasyonuna mani olacak kuru bölgelerin kalmaması sağlanır (Kumbasar vd., 1970).

Çimento-zemin karışımı için en uygun su muhtevasının önceden belirlenmesi için bir yol yoktur. Fakat en iyi sonuçlar, silindirme, kullanılan zeminin proctor deneyi ile belirlenen optimumsu muhtevasında yapılırsa elde olunur (Kumbasar, V., 1969)

Kompaksiyon (sıkıştırma)

Tatmin edici bir toprak-çimento elde etmek için yeterli miktarda bir kompaksiyon şarttır. Bir deneyde, kuru birim hacim ağırlığında $0,016t/m^3$ bir azalma, basınç mukavemetinde $1,40$ ila $2,8$ kg/cm^2 lik bir eksilmeye ve dayanıklılıkta ise daha büyük oranda bir azalmaya sebep olmuştur (Kumbasar vd., 1970).

Çimento birincil reaksiyonlar sonucu zemin matrisinde güçlü bağlar oluşturur. Bu reaksiyonun etkinliğini azaltmamak için laboratuvar ve arazide altı saatten geç sıkıştırma işlemlerinden kaçınılmalıdır (Önalp, 1982).

Yol araştırma laboratuvarında siltli kil ile yapılan deneylerde, su muhtevası değişik fakat çimento ve kompaksiyon miktarı aynı olan numunelerde en büyük mukavemet yaklaşık olarak optimum su muhtevasında elde edilmiştir. Bu sonuç su muhtevasının toprak-çimento kalitesi üzerine küçümsenecek ölçüde tesir ettiği görüşünü teyit eder. Bununla beraber şüphesiz, su muhtevasının kompaksiyondan sonraki kuru birim hacim ağırlığına etkisi fazladır (Kumbasar vd., 1970).

Karıştırma

Yeterli sıkıştırma başarılı stabilizasyon için gereklidir fakat karıştırma ve sıkıştırma arasındaki gecikmelerin uzatılması maksimum yoğunluğa ulaşmayı azaltır. Daha uzun karıştırma periyodu, sabit yoğunlukta bileşke dayanım kaybıyla çimentonun kısmi hidrasyonunu meydana getirir. Eğer sıkıştırma gecikirse çimento hidrasyona başlar ve neticede toprak-çimento sertleşmeye başlar. Sonuç olarak karışımı

sıkıştırmak daha güç hale gelir. Sıkıştırma iki saatlik bir karıştırma süresinde tamamlanmalıdır. Kür zamanı artarken, toprak-çimentonun dayanımı da yavaş yavaş artar. Ayrıca, daha yüksek sıcaklık, daha yüksek hız dayanımı kazandırır. Fazla kuruma dayanımı arttırır fakat toprak-çimentonun çatlamasına sebep olur (Bell., 1993).

Her ne kadar laboratuarda yapılan karışımların arazide yapılan karışımlara nazaran daha fazla mukavemetli ve dayanıklı olduğu biliniyorsa da, ön deneylere ait standartlarda bu husus hesaba katılır. Yol araştırma laboratuvarında yapılan çalışma, zirai makinelerle yerinde karıştırılmış toprak-çimentonun basınç mukavemeti, laboratuvar karışımlarının %40 ila 60'ı kadar olduğunu göstermiştir (Kumbasar vd., 1970).

Arazi kompaksiyonu için karıştırma alanda veya bir karıştırma tesisinde yapılabilir, ve sonra alana taşınabilir. Karışmış toprak daha sonra önceden saptanan su miktarı ilave edildikten sonra istenilen yoğunlukta sıkıştırılır (Raj, 1995).

Yaş ve Kür

Toprak-çimentonun basınç mukavemeti, betona benzer şekilde zamanla orantılı olarak artar (Kumbasar vd., 1970).

Pratikte, kompaksiyondan sonra, toprak-çimentonun mukavemetinin geliştiği ilk devrede, yüzeyin kurummasına imkan vermeyecek şartlar altında toprak-çimento küre tabi tutulur. Kürlemenin şartları, elde olunan malzemenin kalitesini etkiler. Normal olarak rutubetli bir atmosfer tercih edilir (Kumbasar vd., 1970).

Çimento ile Özelliği Düzeltilmiş Toprak

A.B.D da laboratuarda ve arazide az miktarda çimento kullanarak toprak özelliğini düzeltmek amacıyla bazı deneyler yapılmıştır. Bu yolla, bazı killerin likit limiti, plastiklik indisi ve su emme özelliğinde azalmalar sağlanabilir. Çimento, münferit

daneleri bir araya toplayıp zeminin ortalama dane boyutunu arttırarak zemine, toprak-çimento yapısından müstakil bir yeni özellik verir (Kumbasar vd., 1970).

3.2.3.3. Consolid Sistemi ile Stabilizasyon

Consolid zemin stabilizasyon sistemi, açık ve net bir şekilde zemin stabilizasyonu için geliştirilmiştir. Her sıkı zemin yeniden taşlaşma özelliği gösterir. Bunun için sadece çok uzun zaman ve yüksek basınç gereklidir. Mesele katalizörlerin eklenmesiyle bu işlemi hızlandırmaktır. Consolid Sistemi bağlayıcı veya oksitleyici olarak tepkimeye girmez. Consolid Sistemi, her türlü sıkı zeminin doğal katılaşma sürecini hızlandırır. Zemin niteliğine olumlu bir katkısı vardır. Consolid Sistemi'ni oluşturan Solidry ve Consolid 444'ün zeminle çok iyi karıştırılmaları ve optimum nem oranında çok iyi derecede sıkıştırılmaları gerekmektedir. Mekanik aşınmayı engellemek için sıkıştırılan zeminin üzerine 3-5 cm kalınlıkta kaplama uygulanır.

Temel Bileşenler

Consolid sistemi zemin stabilizasyonu için daima birlikte kullanılan iki ürün tarafından oluşturulur. Consolid ve solidry'dır. Consolid sıvı bileşen, solidry ise toz biçiminde bir bileşendir. İki bileşen zeminle karıştırılır. Bunun ardından zemin tamamen sıkıştırılmış olur.

Consolid Sisteminin Amacı

Her türlü zemini, her türlü yol yapımı ve zemin stabilizasyonu için iyileştirmektir. Geleneksel inşaat malzemelerinin kaynaklarının tükenmesi ve yıpranmaları sonucu, yerleşik zemin üzerinde yapılacak yol inşaatları ve bakım onarım çalışmaları ve diğer tüm inşaat çalışmalarında, çevreyi korumak, kısıtlı kaynaklara sahip kırılmış agrega ve çakıldan tasarruf etmek ve değerli inşaat malzemelerinin atılmasını engellemektir.

Islah edilmemiş zeminle karşılaştırıldığında, consolid aşağıdaki özelliklere sahiptir.

1. Zemindeki su niteliğini değiştirmek suretiyle daha iyi sıkılaştırılabilirlik
2. Kapiler hareketin azaltılması yolu ile su emilişinde ağır düşüş
3. Azaltılmış su geçirgenliği
4. İşlenmiş zeminin Proctorla optimum su muhtevası daha düşük ve yoğunluğu daha yüksek
5. Ağır düşüş gösteren kabarma ve büzülme hareketi

Consolid Sistemi İçin Elverişli Zeminler

Çoğunlukla tüm sıkı ve yarı sıkı zemin türlerine gereken ölçüde tesir edilebilir. Stabilizasyonun derecesi inşaatın gereksinimlerine göre belirlenir. Öncelikle gereken, zemin mekanik olarak karıştırılabilir olmalıdır. Çok ağır, sıkışık çamurlar (bazı organik balçıklar v.b) sorunlara yol açabilir ve ek kumlu malzeme yardımıyla uygun hale getirilmek zorundadır.

Esasen belli bir alüvyon içeriği (0,002 – 0,1 mm.) olan bütün yarı sıkı veya sıkı zeminlerde kalıcı bir zemin stabilizasyonu sağlanabilir. En uygun zemin karışımı 1/3 kil ve alüvyon (0 – 0,2 mm.), 1/3 kum (0,2 – 2 mm.) ve çakıl ve taşlardır (2 – 200 mm.). Eksik kalan kısımlar yakınlarda yer alan zeminlerden kolaylıkla karıştırılabilir.

Bu uygulama bütün yol inşaatlarında, demiryolu setlerinde ve stabilizasyonlarında, havaalanlarında, otoparklarda, orman yollarında, bölünmüş yollarda, barajlarda, göletlerde, katı atık, sıvı atık ve tehlikeli atıklar depolama alanlarında, erozyon kontrolünde ve kısacası stabilizasyonun kullanılacağı bütün inşaat alanlarında kullanılabilir.

Consolid sistemi ile yapılan işleme zemin hareketini daha yüksek yüklenme kapasitelerine çıkardığı için, consolid sistemi ile işlenen yerli zemini dışardan gelen malzeme yerine kullanmak mümkündür. İşlenmiş zeminin dışındaki suyun yumuşatma etkisinin engellenmesiyle yüzey taşıma kapasitesi, CBR ve diğer yüklenme faktörünü gösteren tüm ölçümler hatırı sayılır bir artış gösterir. İşlenmemiş toprağa göre 3 ila 5 kat, hatta uygulamaların %50'sinden fazlasında 5 kattan fazla. Bu gerçek dışarıdan gelen malzemenin yerine yerli zeminin kullanılmasını mümkün kılar.

Yerli zeminin kalitesine göre aşırı kum içerikli zeminlere killi taneler eklenmesi veya killerin yoğrulabilirlik ve büzülme/şişme miktarını azaltmak için kum veya kaba malzemenin katılması gerekebilir.

Donma direnci

Mevcut bilgiye ve Karlsruhe Üniversitesi'nin (1996) ve Dresden Üniversitesi'nin (1997) ve diğer üniversitelerin araştırmalarına göre, consolid sisteminin donmaya karşı direnç etkisinin de uzun vadeli olarak sağlandığını kabul edebiliriz.

Sınırlı su geçirgenliği nedeniyle, su ancak ince buz tabakaları yapacak kadar nüfuz edebilir. Bu alanda, consolid sistemi betonla aynı seviyededir. Consolid sistemi ile işlenen zemin setinin ısı iletkenliği ve böylelikle alt eğimin donma süresi de çok daha yüksek olur.

Çevre

Consolid sistemi doğayla uyum içerisindedir. İsviçre Federal Sağlık Bürosu, Haziran 1997'de consolid sistemi'nin çevreyle uyumlu olduğunu beyan etmiştir. Doğrulama işlemi Eluat Testi ile gerçekleştirilmiştir. Maddelerin hiçbiri başarısız olmamıştır.

Consolid Sistemi Kullanarak Yol İnşaatı

Consolid genellikle 200 litrelik varillerde verilerek inşaat alanında klasik su tankerine pompalanır. Böylece ürün tankerin spreyinden (tercihen basınçla) işlenerek bölgeye püskürtülmeden önce suyla seyreltilme işlemi (zeminin nem içeriğine bağlı olarak) istendiği gibi gerçekleşir.

Solidry çimento torbalarında, büyük çuvallarda (1000kg) veya depo içerisinde (ambar gövde kamyonları) getirilir. Torbalarla getirildiğinde (küçük bölgeler için), bu torbalar yola uygun aralıklarla yerleştirilir, ağızları açılır ve elle bile serpilebilir². Depo ile getirildiğinde, solidry bir serpme kamyonuna (örneğin kireç yayma aracı) yüklenir ve yol boyunca uygun oranda yayılır.

Tipik 200 veya 250mm derinlikteki bir işlemede consolid 444 tam derinlikte karıştırılırken conservex veya solidry üstteki 100mm ile karıştırılır.

1. Yol istenen şekle benzeyecek içimde düzeltilir, stabilizasyon için amaçlanan tam derinliğe kadar dişlenir.
2. Seyreltilen consolid gereken uygulama oranına ulaşmak için gerektiği kadar çok üzerinden geçilerek yola püskürtülür.
3. Consolid çözeltisi stabilizasyon için gereken derinlikte baştan başa karıştırılır.
4. Solidry'nin karıştırılacağı bütün derinlikte daha fazla düzeltme yapılmasını sağlayacak başlangıç sıkıştırması gerçekleştirilir.
5. Solidry serpilip ardından tozlanmayı en aza indirmek için bir miktar dişleme yapılır.
6. Gereken derinlikte baştan başa karıştırılır.
7. Tercihen bir keçi ayağı silindir ile önceden sıkıştırılır.
8. Klasik ve/veya lastik tekerlekli silindirle sıkıştırılır, düzeltilir ve kaplama hazırlanır.
9. Tercihen kuruduktan birkaç gün sonra kaplama yüzeyi uygulanır.²

² C. Eryılmaz, 2005, sözlü ve yazılı görüşme, www.consolid.com.tr

3.2.4. Çöp Deponi Alanlarında Zemin Stabilizasyonu

Katı atık depo sahalarında çevre kirliliği açısından en önemli problem sızıntı suyudur. Her türlü kirletici parametreyi ihtiva eden sızıntı suyu, suyun çözebileceği artıkların bileşiminde bulunan suda çözülebilir bileşikler beraberinde taşımakta ve yüzeysel veya yeraltı sularına katmaktadır. Katı atık depolanması ancak yüzeysel ve yer altı sularına zara vermeyen alanlarda yapılabilir. Bunu dışında gerekli önlemler alındıktan sonra depolanabilir. Sızıntı suyunun bu olumsuz etkilerini önlemek için depo sahasının tabanı geçirimsiz hale getirilir.

Stabilizasyon işlemi, herhangi bir atığı kimyasal olarak kararlı bir forma dönüştürmek için uygulanır. Kararlı bir kristal yapı veya bağlayıcı bir polimer içinde toksik element veya bileşenlerin tutularak çözünemeyen bileşikler haline dönüştürülmesi işlemidir (Filibelli, 1996).

Katı atıkların kontrolü yönetmeliğinde; katı atık için üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katkı maddeleri ve arıtma çamuruna katı atık denilir tanımlaması yapılmıştır (Kocasoy vd., 2003).

Düzenli depolama, katı atıkların ve arıtma çamurlarının halk sağlığı ve güvenliğine zarar vermeyecek şekilde depolanması ve üzerlerinin örtülmesi işlemidir (Filibelli, 1996).

Katı atık depo sahalarında çevre kirliliği açısından en önemli problem sızıntı suyudur. Her türlü kirletici parametreyi ihtiva eden sızıntı suyu, yer altı ve yerüstü su kaynaklarını kirletmektedir. Sızıntı suyunun bu olumsuz etkilerini önlemek için depo sahasının tabanı geçirimsiz hale getirilir. Bu geçirimsizliği sağlamak için çeşitli malzemeler kullanılabilir.

Bunlar: (Erdin., 2005).

- 1) Doğal malzemeler: kil, tın vb.
- 2) Kimyasal maddeler: Yeni geliştirilmiş çimento çeşitleri (sülfadür), kalsiyum hidroksit (karpit çamuru) kullanılabilir.
- 3) Kaplama veya örtme: Deponi tabanı bitümin veya zift ile geçirimsiz hale getirilebilir.
- 4) Plastik malzemeler: Yüksek yoğunluklu polietilen folyeler (HDPE) kullanılabilir.

Johansen ve Carlson (1976); Chian ve DeWalle (1976); Venkataramani vd.,(1984) sızıntı suyu, çöp deposunun çevre açısından önemli bir parametresidir. Sızıntı suyunun ana kaynağı yağmur suları ve çöpün ihtiva ettiği sudur. Çöplük işlemede iken hektar başına günde yaklaşık $2 \sim 5 \text{ m}^3$ sızıntı suyu oluşur. Sızıntı suyunun kalitesi ve miktarı, atığın kompozisyonuna, depo yaşına, depo sahasının hidrojeolojik yapısına ve topografyasına, sıkıştırma oranına, atıkların içerisine süzülen yağmur suyu oranına, deponun derinliğine, yüzey örtüsünün yapısına ve depo ortamındaki çevresel faktörlere bağlıdır (Erdin., 2005).

Düzenli depo tesisinden, depo tabanına sızan sızıntı sularının yer altı sularına karışmasını önlemek için depo tabanı geçirimsiz hale getirilir. Depo tabanında oluşturulan bir drenaj sistemi ile sızıntı suları toplanır. (Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 1991)

Bu amaçla;

1. Depo tabanı, tabi yeraltı suyunun maksimum seviyesinden en az 1 metre yüksekte olur.
2. Depo tabanına sıkıştırılmış kalınlığı en az 60cm olan kil veya aynı geçirimsizliği sağlayan doğal ya da yapay malzeme serilir. Bu malzemelerin geçirimsizlik katsayısı (permeabilite) 1.10^{-8} m/sn den büyük olamaz. Az çatlaklı kaya zeminlerde ise bu değer 1.10^{-7} m/sn olarak alınır.

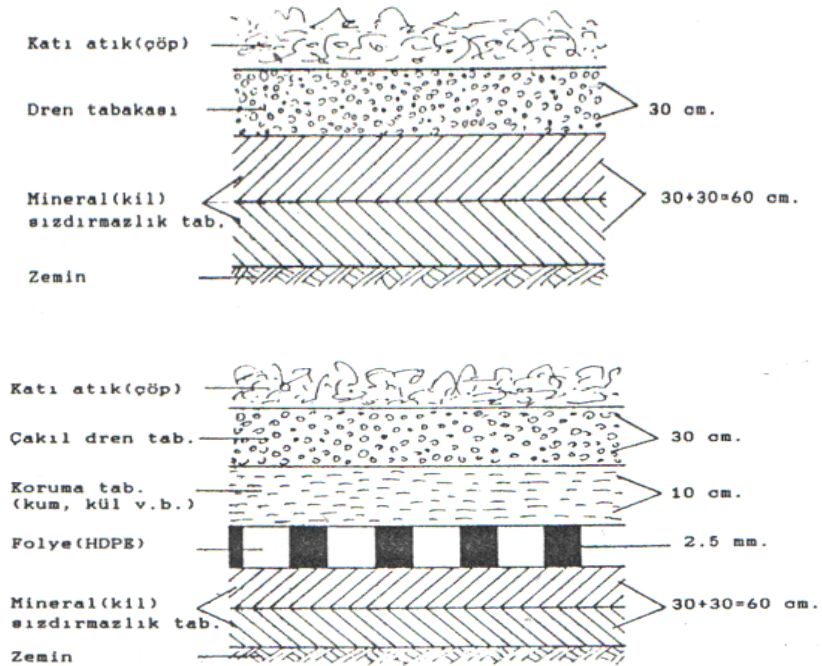
Depo tabanının, en az 3 metre kalınlığında doğal kil ve benzeri 1.10^{-8} m/sn geçirimsizlik katsayısını sağlayan bir malzeme olması durumunda, depo tabanı

tekrar geçirimsizlik malzemesiyle kaplanmaz. Bu durumda geçirimsizlik katsayısının sahanın her yerinde 1.10^{-8} m/sn olması sağlanır.

İçme ve kullanma suyu havzalarının uzun mesafeli koruma alanında inşa edilecek düzenli depo sahası tabanında, sıkıştırılmış kalınlığı 60cm olan kil tabakasının üzerine, kalınlığı 2mm olan yüksek yoğunluklu polietilen folye (HDPE)serilir. Serilecek folyenin yoğunluğu $941-965\text{kg/m}^3$ arasında olmak zorundadır.

3. Geçirimsiz hale getirilen taban üzerine dren boruları döşenerek sızıntı suları bir noktada toplanır. Hidrolik ve statik olarak hesaplanması gereken drenaj borularının çapı minimum 100mm ve minimum eğimi %1 olur. Dren boruları, münferit borular şeklinde, yatayda ve düşeyde kıvrım yapmadan doğrusal olarak depo sahası dışına çıkar. Depo tesisi çıkışında kontrol bacalar bulunur. Ayrıca dren boruları çevresine kum, çakıl filtre yerleştirilir. Bu filtrenin boru sırtından itibaren yüksekliği minimum 30 cm olur.

4. Toplanan sızıntı suları, su kirliliği kontrolü yönetmeliğinde verilen deşarj limitlerini sağlayacak şekilde arıtılır. Şekil 3.8 Depo tabanı geçirimsizlik sistemlerinin bir görünümünü göstermektedir.



Şekil 3.8. Depo tabanı geçirimsizlik sistemlerinin görünümü (Erdin., 2005).

3.2.4.1. Depo Yerinin Seçimi

Depo yerinin seçiminde tabanı sağlam, kil oranı yüksek, zemin emniyet gerilmesi yüksek araziler tercih edilmeli ve seçilmelidir. Ancak depo sahası geçirimsiz bir yapıya sahip olsa dahi, tabanı ilave işlemlerle geçirimsiz hale getirilerek, zeminin her yerinde geçirimsizlik katsayısının aynı olması sağlanır.

Depo sahasının üst kısmındaki tarım toprağı sıyrılarak, biriktirilmeli ve ileride sahanın yeşillendirilmesinde kullanılmalıdır. Zemin bitki ve ağaç köklerinden temizlenir. Bu işlemden sonra depo sahasının minimum 30 cm. derinliğindeki toprak tabakası sürülerek gevşetilir ve yol alt yapısı sıkıştırma tekniğine uygun olarak tekrar sıkıştırılır.

Bu tabakanın üzerine tabii geçirimsizlik malzemesi olarak kil serilir ve depo sahası tabanının her yerinde sıkıştırılmış, kalınlığı en az 60 cm. olacak şekilde, 30'ar cm.lik iki tabaka halinde, tekniğine uygun olarak sıkıştırılır. İyi bir sıkıştırmanın sağlanması ve çatlakların meydana gelmemesi için kilin optimum nemde olması lazımdır. Sıkıştırma işlemi silindir, keçi ayağı gibi yol alt yapısında kullanılan aletlerle yapılabilir (Erdin., 2005).

3.2.4.2. Katı Atıkların Depolanma Koşulları

Evsel ve evsel nitelikli endüstriyel katı atıkların öncelikle geri kazanılması esastır. Geri kazanmanın ekonomik ve teknik olarak mümkün olmaması halinde, atıklar çevrenin sağlığının korunması, katı atık hacminin azaltılması, kısmen enerji veya kompost elde edilmesi amacıyla termik veya biyolojik işlemlere tabi tutulur. Ancak termik veya biyolojik işlemlere elverişli olmayan veya bu işlemler sonucu yan ürün olarak ortaya çıkan atıkların depolanması zorunludur. Katı atıklar için yapılan depolarda aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulur. (Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 1991)

Evsel atıkları düzenli depolamak amacıyla inşa edilen depolara, insan ve çevre sağlığını korumak amacıyla; (Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,1991)

1. Sıvıların ve sıvı atıkların,
2. Akıcılığı kayboluncaya kadar suyu alınmamış arıtma çamurlarının,
3. Patlayıcı maddelerin,
4. Hastane ve klinik atıklarının,
5. Hayvan kavrularının,
6. Depolama esnasında aşırı toz, gürültü, kirlenmeye ve kokuya sebep olabilecek atıkların,
7. Radyoaktif madde ve atıkların,
8. Tehlikeli atık sınıfına giren katı atıkların, depolanması yasaktır.

3.2.4.3. Antalya Kızıllı Düzenli Katı Atık Depolama Tesisi Zemin Stabilizasyonu Örneği

Antalya düzenli katı atık depolama sahası, Antalya şehir merkezine yaklaşık 27 km mesafede Kızıllı köyü mevkiinde olup orman bakanlığından bu amaçla tahsisi yapılan 100 hektarlık bir alanda yer almaktadır. Katı atık düzenli depolama sahası inşaatı 1997 yılında çevre bakanlığı tarafından onaylanan ve uygun görüşü verilen çevresel etki değerlendirme raporu ve 2001 tarihinde çevre bakanlığı tarafından onaylanan taban izolasyonu revize raporu doğrultusunda yapılmış olup, öngörülen tedbirler alınmıştır.

Çöp depolanabilmesi için projede belirtilen 4 hektarlık alanın kazısı ve stabilizasyonu yapılmış, zemin tesviye edildikten sonra teşkil edilecek taban izolasyonunun birinci bölümünde bentonit esaslı örtü serilmiştir. Taban izolasyonunun ikinci bölümünde 2 mm kalınlığında yüksek yoğunluklu Polietilen (HDPE) örtüler kullanılmıştır. Taban izolasyonunun üçüncü bölümünde çöp depolama çalışmaları ve işletme sırasında alttaki tabakaları korumak amacı ile 10 cm 0-2 mm standardında elenmiş kum döşenmiş ve üzerine tüm sahayı kapsayacak şekilde 500gr/m² yoğunluklu koruyucu ve dengeleyici geotekstil örtü ile kaplanmıştır.

Taban izolasyonunun dördüncü bölümünde; deponi zeminindeki geçirimsizlik detayının korunduğu kum ve geotekstil örtü üzerine 30 cm kalınlığında 16-32 mm dere çakılı drenaj tabakası olarak döşenmiş drenaj tabakası içerisine Q315 mm HDPE delikli drenaj boruları döşenerek sahaya depolanacak çöpün süzüntü suyunun drenajı sağlanmıştır.

Depolama sahası zemininde drenajı sağlanan çöp suları yüksek yoğunluklu HDPE borularla toplanıp 1200m mesafedeki arıtma tesisi terfi yapısına ulaştırılmaktadır.³

3.2.4.4. Consolid Sistemi ile Atık Depolama Sistemi

Alt tabaka

Üstteki yüke ve bunun sonucu oluşan basınca göre 250 ila 400 mm. derinlikte işlenir. Gerekli olursa doldurulacak alanın dışında oluşacak herhangi bir kirlenmeyi önlemek üzere toplanacak ve işlenecek her türlü atık sıvı için bir süzgeç olarak iş görecektir bir kum tabakası bu tesisatı kaplamadan önce sıkıştırılmış, işlenmiş zeminin üzerinde toplama boruları ve herhangi bir denetim sistemi kurulmalıdır.

Üst tabaka (kaplama)

Çöple doldurulan alanı kapatmak için gereklidir, tercihen alt tabakada kullanılan yerli zeminin aynısı ile yapılabilir, fakat bu kez zemin önceden karıştırılmış, depolanmış ve gerektiğinde depodan alınıp kullanılabilir durumda olabilir. Bu önceden işlenmiş malzeme alanın kapatılmasını çok kolay hale getirir; sıkıştırılmış çöpün üzerine bu işlenmiş malzemeden uygulanırsa, bu malzeme bir kez sıkıştırıldığında yüzeydeki suyun çöpe sızmasını kesinlikle önleyecektir ve su akışı

³ Antalya Büyükşehir Belediyesi, 2005, Yazılı görüşme, web @antalya.bel.tr

durduğunda kirlilik yapıcı maddeleri dışarı taşıyabilecek hiçbir taşıyıcı kalmayacaktır.⁴

Sıkıştırılmış üst tabakanın üzerinde, tarımsal yapılandırmanın temeli olarak verimli toprağı (humus) yerleştirilebilir. Ölçümler doldurulan alanın içinde oluşacak ve kaçacak veya enerji kaynağı olarak kullanılabilir olan metan gazı dikkate alınarak yapılmalıdır.

⁴ C. Eryılmaz, 2005, sözlü ve yazılı görüşme, www.consolid.com.tr

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu deney çalışmasında, zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğini araştırmak üzere beyaz bentonit numunesi ve Isparta Darıdere kil ocağından alınan doğal toprak numunesi kullanılmıştır. Isparta Darıdere numunesi D.S.İ.'de dolgu amaçlı pek çok işte kullanılan geçirimsizliği düşük, taşıma gücü zayıf olan bir malzemedir. Aynı şekilde beyaz bentonit numunesi de inşaat mühendisliğinde temel ve baraj yapılarında su ve sıvı sızdırmazlığı elde etmede, atık suların temizlenmesinde vb. bir çok işte kullanılan permeabilitesi düşük, şişmesi yüksek, taşıma gücü zayıf olan bir malzemedir. Bu numuneler içerisine zemin özelliklerini iyileştirmek amacıyla kırma çakıl ve kireç, çimento, consolid444 ve solidry katkıları ilave edilmiş ve deneyler S.D.Ü. Jeoloji Mühendisliği Uygulamalı zemin laboratuvarında, Isparta D.S.İ. de, İzmir Karayollarında ve İzbeton A.Ş de gerçekleştirilmiştir.

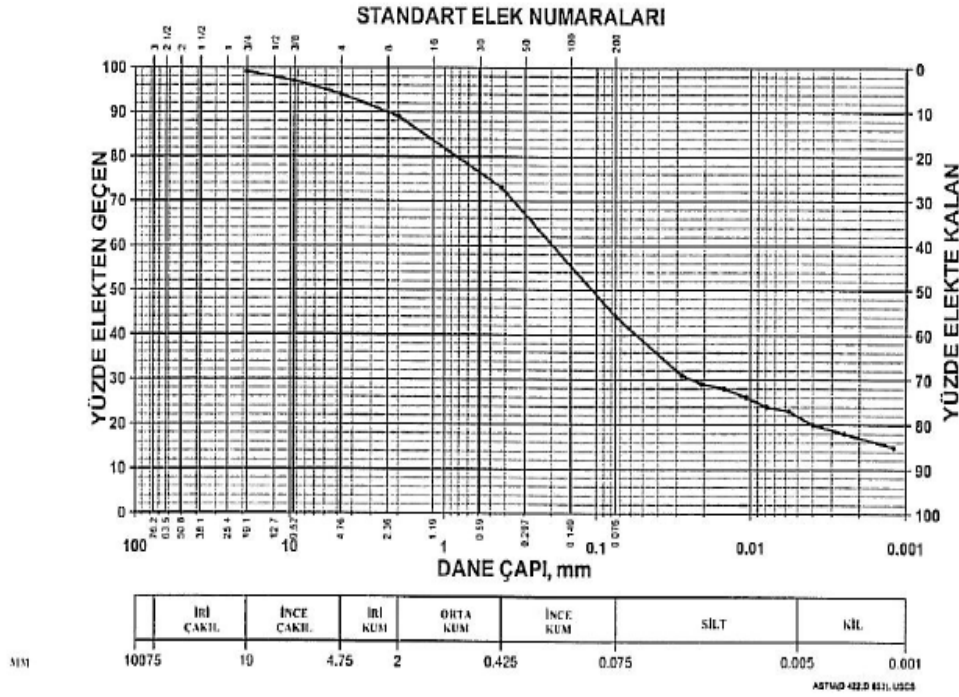
Bu tez kapsamında yapılan tüm deneyler TS 1900'e göre yapılmıştır. Yapılan deneyler şunlardır. Su içeriği, elek analizi, hidrometre, Atterberg limitleri(cassagrande yöntemi), standart proktor, ıslak C.B.R deneyi, piknometre, organik madde tayini, düşen seviyeli permeabilite deneyleridir.

4.1. Isparta Darıdere Doğal Toprak Numunesi

Isparta darıdere kil ocağından alınan doğal toprak numunesi ilk olarak elek analizi, hidrometre ve cassagrande yöntemiyle atterberg limitleri deneylerine tabi tutularak zeminin granülometri grafiği çizilmiş ve zeminin sınıfı (USCS)'ye göre SC olarak belirlenmiştir. Laboratuara getirilen doğal toprak numunesinin tümü elek analizi deneyine tabi tutulmuştur. Elek analizi sonuçları ve granülometri grafiği sırasıyla Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1' de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Toprağın elek analizi ve hidrometre analizi değerleri

ELEK AÇIKLIĞI		%	%
İNÇ	MM	KALAN	GEÇEN
3/4	19	1	99
3/8	9,5	3	97
No:4	4,75	6	94
No:10	2,0	11	89
No:40	0,425	27	73
No:200	0,075	56	44
PAN		100	0



Şekil 4.1. Toprağın iri ve ince kısmının granülometri grafiği

Elek analizi sonucunda 4,75mm'lik elek üzerinde kalan malzeme %6 ve kullanılan kalıp çapı 15.24cm(6'')'lik olduğu için standart proctor deneyinde kullanılan metot (metot B) olarak belirlenmiştir. Doğal toprak bu metoda göre sıkıştırılarak optimum su muhtevası %15, maksimum kuru birim hacim ağırlığı $1,85t/m^3$ olarak bulunmuş ve dört gün süreyle su içerisinde bekletilerek şişme miktarı %0.07 olarak tespit edilmiş ve daha sonra ıslak C.B.R deneyine tabi tutularak C.B.R yüzdesi %3,7 ve zemin tanımı (çok kötü) olarak belirlenmiştir.

Doğal toprak numunesi üzerinde yapılan atterberg limitleri deneyinde likit limit 32, plastik limit 17, plastisite indisi 15 olarak bulunmuştur.

Toprakta organik maddeler az bulunmalıdır, zira bu gibi maddeler toprak-çimentonun mukavemetini azaltacağından, başarılı stabilizasyon yapılmasına engel olur. Bazı zeminler için %0,5 oranında organik madde başarılı stabilizasyona engel olur. Bununla beraber %2 oranında organik madde, stabilizasyona müsait olma kriterinin, maksimum emniyetli üst değeri olarak tatbik edilebilir (Kumbasar vd., 1970).

Yapılan organik madde tayini deneyinde ısparta darıdere doğal toprak numunesinin organik madde içeriği %(6,13) olarak beirlenmiştir. Bu değeri yüksek gözükmele beraber, deney yöntemi numune içindeki toplam karbon miktarını gösterdiği için herhangi bir olumsuzluk içermemektedir. Yapılan deneylerde herhangi bir olumsuz sonuç görülmemiştir.

Isparta darıdere doğal toprak numunesi üzerinde yapılan düşen seviyeli permeabilite deneyinde numune kalıba sıkıştırıldıktan hemen sonra kalıbın kapakları kapatılarak deneye başlanmıştır. Toprak numune dört gün süreyle bekletilmiş ve bu süre sonunda su seviyesindeki düşüş miktarı 5cm olarak ölçülmüş ve permeabilite katsayısı $6,54196 \times 10^{-9}$ olarak hesaplanmıştır.

Toprağın topaklaşmasını önlemek için su, zemine yavaşça ilave edilmiş ve karıştırmadan sonra nemli bir bezle karıştırma kabının üzeri örtülmüş ve uniform nem dağılımını sağlamak amacıyla bir saat süreyle bekletilmiştir. Çizelge 4.2. doğal halde bulunan Isparta darıdere numunesinin geoteknik özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 4.2. Isparta darıdere doğal toprak numunesinin geoteknik özellikleri

	Katkısız Toprak
Likit Limit	32
Plastik Limit	17
Plastisite İndisi	15
T.b.h.a. (gr/cm ³)	2,7
W _{opt} (%)	15
$\gamma_{dry,max}$ (t/m ³)	1,85
Islak C.B.R. (%)	3,7
Şişme Yüzdesi (%)	0,07
Permeabilite Katsayısı (k)	$6,54196 \times 10^{-9}$

4.1.1. Doğal Toprak Numunesi ile Kırma Çakıl Karışımı

Isparta darıdere doğal toprak numunesi üzerinde yapılan ıslak C.B.R deneyi neticesinde zemin tanımı(çok kötü) olarak bulunduğundan C.B.R yüzdesini arttırmak amacıyla zeminin içerisine %10, %20, %30 oranlarında ve 5-15 mm boyutlarında kırma çakıl ilave edilmiş, bu karışım standart proctor yöntemi ile sıkıştırılmış ve optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı belirlenip ıslak C.B.R deneyine tabi tutularak C.B.R yüzdeleri hesaplanmıştır. Kırma çakıl zemine şu şekilde ilave edilmiştir: %10 kırma çakıl katılarak 6000 gr'lık bir karışım elde etmek için bu karışım $6000/1,1=5454$ gr toprak numune, 546 gr kırma çakıl olarak hesaplanmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda başlıklar halinde açıklanmaktadır.

Optimum su içeriği

%10 çakıl katkılı numunenin optimum su içeriği %14, %20 çakıl katkılı numunenin optimum su içeriği %15 ve %30 çakıl katkılı numunenin optimum su içeriği %14,5 olarak bulunmuştur.

Maksimum kuru birim hacim ağırlık

Doğal toprak numunesinin içerisine kırma çakıl ilave edilmesiyle mak. k.b.h.a.'larda artış gözlenmiştir. %10 kırma çakıl katkılı numunenin mak. k.b.h.a.'lığı 1,92; %20 kırma çakıl katkılı toprak numunenin mak. k.b.h.a.'lığı 1,86; %30 kırma çakıl katkılı toprak numunenin mak. k.b.h.a.'lığı 1,90 olarak bulunmuştur.

Islak C.B.R.

Isparta Darıdere doğal toprak numunesinin içerisine taşıma gücünü arttırmak amacıyla ilave edilen kırma çakıl malzemeleri taşıma gücünü arttırmamıştır. %10,20,30 oranlarında çakıl ilave edilmiş toprak numuneler ıslak C.B.R. için 4 gün süreyle suda bekletilmiş, toprak içerisinde bulunan kil malzemesi suyla temas ettiğinde yumuşayarak taşıma gücü düştüğünden dolayı çakıl oranı artmasına rağmen numunede direnç artışının gözlenmediği düşünülmektedir. Ayrıca deneyde kullanılan oranlardaki kırma çakıl yüzdelerinin artışı ile taşıma gücünde artabilir.

Tane birim hacim ağırlık

Doğal toprak numunesinin içerisine kırma çakıl ilave edilmesiyle t.b.h.a.'larında düşüş meydana geldiği görülmüştür. Kullanılan oranlardaki tüm çakıl katkılı numunelerin t.b.h.a.'lıkları $2,6(\text{gr}/\text{cm}^3)$ olarak bulunmuştur. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3.'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Kıırma akıl ilaveli toprak numunelerin geoteknik özellikleri

akıllı Toprak Numuneleri	T.b.h.a. (gr/cm ³)	W_{opt} (%)	$\gamma_{dry_{max}}$ (t/m ³)	Islak C.B.R. (%)
% 10 akıllı	2,6	14	1,92	9,5
% 20 çakıllı	2,6	15	1,86	3,8
%30 çakıllı	2,6	14,5	1,90	3,0

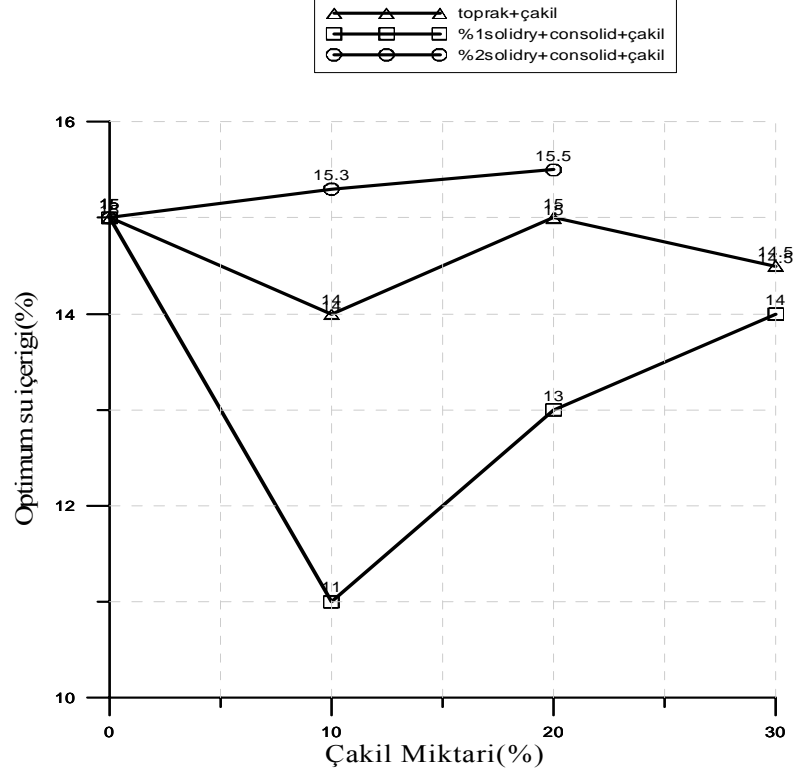
4.1.2. Doğal Toprak Numunesi, Kıırma akıl ve Consolid444 Karışımı

Isparta daridere doğal toprak numunesinin içerisine öncelikle istenilen oranda kıırma çakıl ilave edildikten sonra bu karışım içerisine consolid444(0,8lt/m³) + %1 ve %2 oranlarında solidry katkıları ilave edilerek bir karışım oluşturulmuştur. Solidry toz halinde bir katkı malzemesi olduğundan dolayı doğal toprak numunesinin kuru ağırlığına göre yüzdesi alınarak kullanılan solidry miktarı belirlenmiş ve zemine karıştırılmıştır. Consolid444 ‘‘Doğal Toprak Numunesi ile Consolid444+Solidry Karışımı’’ adlı başlık altında geniş bir şekilde anlatılmıştır.Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda başlıklar halinde açıklanmaktadır.

Optimum su içeriği

Toprak + %10 akıl + consolid444 + %1solidry katkılı numunenin optimum su içeriği (%11), toprak + %20 çakıl + consolid444 + %1 solidry katkılı numunenin optimum su içeriği (%13), toprak + %30 çakıl + consolid444 + %1 solidry katkılı numunenin optimum su içeriği (%14), toprak + %10 çakıl + consolid444 + %2 solidry katkılı numunenin optimum su içeriği (%15,3) ve toprak + %10 çakıl + consolid444 + %2 solidry katkılı numunenin optimum su içeriği (%15,5) olarak bulunmuştur. Bir zemin içerisinde ne kadar çok ince malzeme varsa optimum su içeriğine ulaşmak için o kadar fazla su gerekir. Zemin içerisine çakıl ilave edildiğinde optimum su içeriğinin azaldığı görülmüştür. Bu durum, çakılın kil ile kumun yerini alması ve daha iri bir malzeme olduğu için daha az su ile optimum su

içeriğine ulaşmış olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.2 Toprak, consolid444, solidry karışımlarına çakıl ilavesiyle optimum su içeriği değerlerinde meydana gelen değişimi göstermektedir.

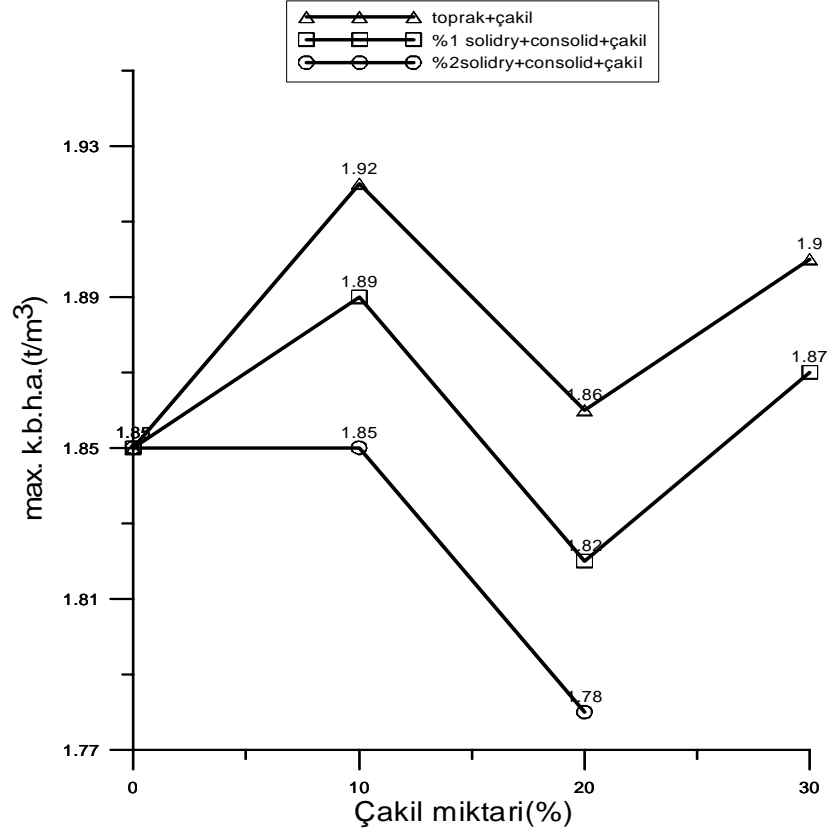


Şekil 4.2. Toprak, consolid444, solidry karışımlarına çakıl ilavesiyle optimum su içeriği değerlerinde meydana gelen değişim

Maksimum kuru birim hacim ağırlık

Toprak + %10çakıl + consolid444 + %1solidry katkılı numunenin mak.k.b.h.a. $1,89\text{t/m}^3$, toprak + %20çakıl + consolid444 + %1solidry katkılı numunenin mak.k.b.h.a $1,82\text{ t/m}^3$, toprak + %30çakıl + consolid444 + %1solidry katkılı numunenin mak. k.b.h.a $1,87\text{ t/m}^3$, toprak + %10çakıl + consolid444 + %2solidry katkılı numunenin mak. k.b.h.a. $1,85\text{ t/m}^3$, toprak + %20çakıl + consolid444 + %2 solidry katkılı numunenin mak. k.b.h.a. $1,78\text{ t/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Doğal toprak içerisine ilave edilen çakıl ve consolid444+solidry katkılı numuneler üzerinde yapılan proktor deneyi neticesinde bulunan max. k.b.h.a. değerleri inişli çıkışlı değerler almıştır. Karıştırma, sıkıştırma, bekleme süreleri gibi etkenler deneyin

neticesini etkilediği için net sonuçlar elde etmek zordur ancak sonuçlar genel olarak birbirine yakındır. Şekil 4.3 Toprak, consolid444, solidry karışımlarına çakıl ilavesiyle mak. k.b.h.a. değerlerinde meydana gelen değişimi göstermektedir.

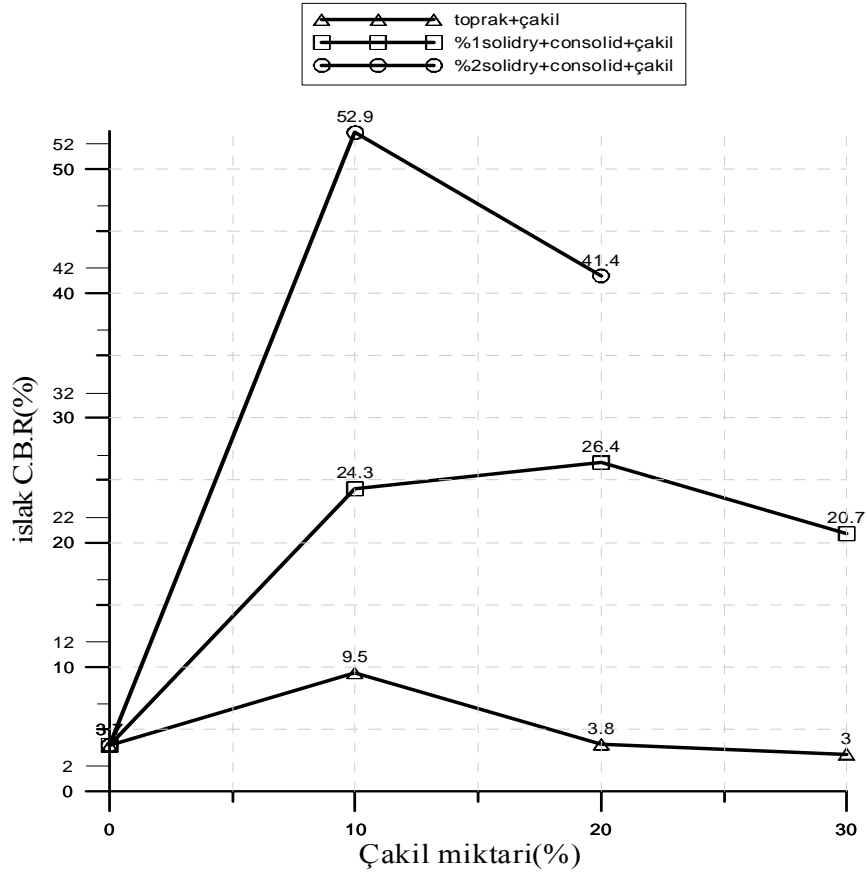


Şekil 4.3. Toprak, consolid444, solidry karışımlarına çakıl ilavesiyle mak. k.b.h.a. değerlerinde meydana gelen değişim

Islak C.B.R.

Toprak + %10çakıl + consolid444 + %1solidry katkılı numunenin ıslak C.B.R yüzdesi %24,3 ve zemin tanımı (iyi), toprak + %20çakıl + consolid444 + %1solidry katkılı numunenin ıslak C.B.R yüzdesi %26,4 ve zemin tanımı (iyi), toprak + %30çakıl + consolid444 + %1solidry katkılı numunenin ıslak C.B.R yüzdesi %20,7 ve zemin tanımı (iyi), toprak + %10çakıl + consolid444 + %2solidry katkılı numunenin ıslak C.B.R yüzdesi %52,9 ve zemin tanımı (çok iyi), toprak + %20çakıl + consolid444 + %2 solidry katkılı numunenin ıslak C.B.R yüzdesi % 41,4 ve zemin

tanımı (iyi) olarak bulunmuştur. Doğal toprak numunesi içerisinde sadece kırma çakıl ilave edildiğinde C.B.R. değerlerinde istenilen artışlar sağlanmamıştır. Doğal toprak+çakıl numuneleri içerisinde consolid444+%1 solidry katkıları ilave edildiğinde zeminin taşıma gücü artış göstermiş fakat artan çakıl oranlarıyla taşıma gücünde ilave bir artış sağlanmamıştır. Aynı şekilde doğal toprak+çakıl içerisinde consolid444+%2 solidry katkısı ilave edildiğinde taşıma gücü daha da artmış fakat çakıl oranı arttırıldığında yine artış olmamıştır. Bu durum çakıllı toprak numunelerine ilave edilen consolid444+solidry katkılarının etkisinden dolayı bir artış olduğunu kullanılan oranlardaki çakıl miktarının çok fazla etkisinin olmadığını göstermektedir. Şekil 4.4 Toprak, consolid444, solidry karışımlarına çakıl ilavesiyle ıslak C.B.R değerlerinde meydana gelen değişimi göstermektedir.



Şekil 4.4. Toprak, consolid444, solidry karışımlarına çakıl ilavesiyle ıslak C.B.R değerlerinde meydana gelen değişim

Tane birim hacim ağırlık

Tüm kırma çakıl, consolid444 + solidry katkıli toprak karışımlarının t.b.h.a' ları $2,6 \text{ gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.4. çakıl ve consolid444+solidry katkıli toprak numunelerin geoteknik özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 4.4. Toprak, kırma çakıl ve consolid444 + solidry katkıli numunelerin geoteknik özellikleri

Toprak, Consolid, Solidry Karışımları	T.b.h.a. (gr/cm^3)	PROCTOR		Islak C.B.R (%)
		W_{opt} (%)	$\gamma_{dry,max}$ (t/m^3)	
Consolid444 +%1 Solidry+ %10 Çakıl	2,6	11	1,89	24,3
Consolid444 + %1 Solidry + %20 Çakıl	2,6	13	1,82	26,4
Consolid444 + %1 Solidry + %30 Çakıl	2,6	14	1,87	20,7
Consolid444 + %2 Solidry + %10 Çakıl	2,6	15,3	1,85	52,9
Consolid444 + %2 Solidry + %20 Çakıl	2,6	15,5	1,78	41,4

4.1.3. Doğal Toprak Numunesi ile Consolid444 + Solidry Karışımı

Isparta darıdere doğal toprak numunesi içerisine öncelikle toz bileşen olan solidry toprağın kuru ağırlığına göre yüzdesi alınarak ilave edilmiş ve daha sonra consolid444 katkısı bu karışım içerisine ilave edilmiştir. Consolid444 zemine $0,8 \text{ t/m}^3$ olarak su içerisine katılıp çalkalanarak ilave edilmiştir. Öncelikle katkısız zeminin optimum su muhtevası (%15) ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı ($1,85 \text{ t/m}^3$) belirlenmiştir. Daha sonra deneyde kullanılmış olan zeminin kuru ağırlığı

6000 gr olduğundan orantı kurularak ilave edilen Consolid444 katkı miktarı hesaplanmıştır.

$$1.85 \text{ ton} = 1.850.000 \text{ gr}$$

$$(6000 \times 0,8) \div 1.850.000 = 0,003 \text{ lt} = 3 \text{ mlt consolid444 gereklidir.}$$

Gerekli olan consolid444 miktarı bulunduktan sonra su miktarı hesaplanmıştır.

$$(6000 \times 15) \div 100 = 900 \text{ gr}$$

Belirlenen 900 gr su içerisinde consolid444 ilave edilip iyice çalkalanarak bir süspansiyon oluşturulmuştur. Consolid444 katkılı zemini standart proctor yöntemiyle sıkıştırırken optimum su muhtevasını henüz bilmediğimiz için belirli oranlarda su miktarını arttırarak sıkıştırma yaptığımızdan başlangıç için kendi belirlediğimiz su miktarını bu süspansiyondan alarak başlangıç sıkıştırması yapıldıktan sonra sıkıştırma işlemine, su miktarı belirli yüzdelerde arttırılarak devam edilmiştir. Bu şekilde consolid444 katkılı zeminin optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı belirlenmiştir. Islak C.B.R deneyi için zemin karıştırıldıktan sonra yarım saat beklenerek karışımın nemini iyice alması sağlanmıştır. Daha sonra standart proctor deneyi ile belirlenen değerlerde zemin sıkıştırıldıktan sonra altı gün süreyle nem odasında ve dört gün süreyle su içerisinde bekletilmiş ve şişme değerinde artış gözlenmediğinde zemin su içerisinden çıkarılarak ıslak C.B.R deneyine tabi tutulmuştur. C.B.R kalıbından çıkarılan zemin içerisinden alınan numune üzerinde atterberg limitleri ve t.b.h.a deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda başlıklar halinde açıklanmaktadır.

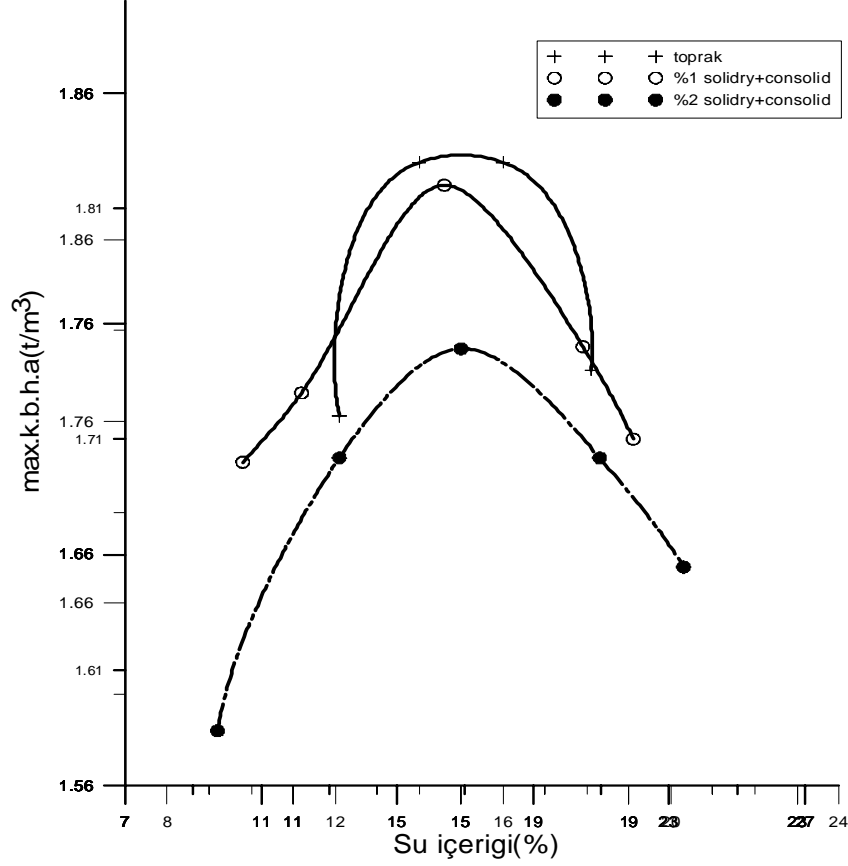
Optimum su içeriği

Kullanılan consolid444 + solidry katkıları Isparta Darıdere doğal toprak numunesinin optimum su içerisinde bir değişim meydana getirmemiştir.

Maksimum kuru birim hacim ağırlık

Kullanılan consolid444 + solidry katkıları doğal toprak numunesinin mak.k.b.h.a.'lıklarında düşüş meydana getirmiştir. Consolid444 + %1 solidry katkılı zeminin mak.k.b.h.a. $1,81 \text{ t/m}^3$ ve consolid444 + %2 solidry katkılı zeminin

mak.k.b.h.a. $1,79t/m^3$ olarak belirlenmiştir. Şekil 4.5. consolid444+solidry katkılı toprak numunelerin proktor grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.5. Toprak , consolid444, solidry karışımlarının su içeriği ile mak. k.b.h.a. değişimleri

Islak C.B.R.

Yapılan ıslak C.B.R. deneyi neticesinde consolid444 + %1 solidry katkılı zeminin ıslak C.B.R yüzdesi %33,3 ve zemin tanımı (iyi) olarak belirlenmiştir. Consolid444 + %2 solidry katkılı zeminin ıslak C.B.R yüzdesi % 51,4 ve zemin tanımı (çok iyi) olarak belirlenmiştir.

Şişme

Kullanılan consolid444+solidry katkıları doğal toprak numunesinin şişme değerlerinde azalma meydana getirmiştir. Consolid444 + %1 solidry katkılı zeminin

şişme yüzdesi % 0,05 ve consolid444 + %1 solidry katkılı zeminin şişme yüzdesi % 0,02 olarak belirlenmiştir.

Atterberg limitleri

Kullanılan katkı oranları likit limit ve plastik limit değerlerinde artış göstermiş ve plastisite indisi değerlerinde azalma meydana getirmiştir. Consolid444 + %1 solidry katkılı zeminin likit limiti 34, plastik limiti 24 ve plastisite indisi 10 olarak belirlenmiştir. Consolid444 + %1 solidry katkılı zeminin likit limiti 34, plastik limiti 31 ve plastisite indisi 3 olarak belirlenmiştir.

Tane birim hacim ağırlık

Kullanılan katkı oranları doğal toprak numunesinin t.b.h.a.'lıklarında azalma meydana getirmiş ve bu değer $2,6\text{gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.5 consolid444 +solidry katkılı numunelerin geoteknik özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 4.5. Consolid444 + solidry katkılı numunelerin geoteknik özellikleri

	t. b.h.a. (gr/cm^3)	PROKTOR		C.B.R (%)	L.L.	P.L.	P.I.	Şişme (%)
		W_{opt} (%)	$\gamma_{dry_{max}}$ (t/m^3)					
Consolid444 + %1 Solidry	2,6	15	1,81	33,3	34	24	10	0,05
Consolid444 + %2 Solidry	2,6	15	1,79	51,4	34	31	3	0,02

4.1.4. Doğal Toprak Numunesi ile Kireç Karışımları

Isparta daridere doğal toprak numunesinin içerisine %4;6;8;10 oranlarında toz kireç katılmıştır. İlave edilen kireç miktarı toprağın kuru ağırlığına göre yüzdesi alınarak belirlenmiş ve toprak içerisine karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlar sıkıştırılmadan önce yarım saat üzeri nemli bezle kapalı şekilde bekletilerek numunenin nemini iyice alması sağlanmıştır. Bu karışımın proktor deneyi ile optimum su içeriği ve mak.

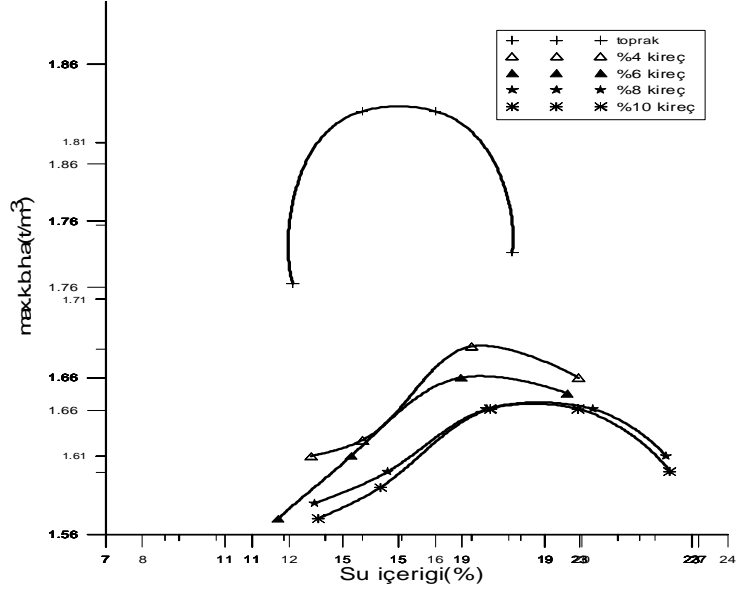
k.b.h.a. belirlenmiştir. Kireç katkılı toprak numune standart proktor deneyi ile belirlenen değerlerde sıkıştırıldıktan sonra yedi gün süreyle nem odasında, üç gün süreyle oda koşullarında küre tabi tutulmuş ve dört gün süreyle su içerisine bırakılarak şişme miktarı sabitlenince sudan çıkarılmış ve ıslak C.B.R deneyine tabi tutulmuştur. Daha sonra C.B.R kalıbından çıkarılan kireç katkılı toprak içerisinden alınan numune üzerinde atterberg limitleri ve t.b.h.a. deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda başlıklar halinde açıklanmaktadır.

Optimum su içeriği

Doğal toprak içerisine ilave edilen kireç miktarı arttıkça optimum su içeriği de artmıştır. %4 kireç katkılı toprağın optimum su içeriği %18, %6 kireç katkılı toprağın optimum su içeriği %18, %8 kireç katkılı toprağın optimum su içeriği %19,2, %10 kireç katkılı toprağın optimum su içeriği %19,5 olarak belirlenmiştir.

Maksimum kuru birim hacim ağırlık

Kireç miktarı arttıkça doğal toprak numunesinin mak. k.b.h.a.'larında azalma meydana geldiği görülmüştür. %4 kireç katkılı numunenin mak. k.b.h.a. $1,69 \text{ t/m}^3$, %6 kireç katkılı toprak numunenin mak. k.b.h.a. $1,67 \text{ t/m}^3$, %8 kireç katkılı toprak numunenin mak. k.b.h.a. $1,65 \text{ t/m}^3$ ve %10 kireç katkılı toprak numunenin mak. k.b.h.a. $1,65 \text{ t/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Kuru birim hacim ağırlığın azalmasıyla basınç mukavemetinde de bir azalma olacağı düşünülebilir fakat gerçekte bunun tam tersi meydana gelir. Toprağın mukavemetindeki ani yükselme hem toprak tanelerinin etrafındaki su filminin değişmesinden ve hem de tanelerin granüler bir hale gelmesindedir. Şekil 4.6. kireç katkılı toprak numunelerin proktor grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.6. Toprak kireç karışımlarının su içeriği ile mak. k.b.h.a. değişimleri

Islak C.B.R.

Doğal toprak içerisine ilave edilen kireç miktarı arttıkça ıslak C.B.R yüzdelerinde başlangıçta büyük artışlar görülmüş, %8 kireç katkısında bu artış maksimum seviyeye ulaşmış fakat %8 kireç katkısından sonra C.B.R yüzdesinde azalma meydana geldiği görülmüştür. %4 kireç katkılı toprağın ıslak C.B.R yüzdesi %16,2; %6 kireç katkılı toprağın ıslak C.B.R yüzdesi %85,7; %8 kireç katkılı toprağın ıslak C.B.R yüzdesi %121,4; %10 kireç katkılı toprağın ıslak C.B.R yüzdesi %112,4 olarak belirlenmiştir. Bu durum şu şekilde açıklanabilir. Kireç ile yapılan zemin stabilizasyonunda optimum bir kireç yüzdesi vardır. Optimum kireç yüzdesine ulaşıldığında maksimum dayanım elde edilir. Kireç yüzdesi arttırılmaya devam edildiğinde dayanım düşmeye başlar.

Şişme

Killi topraklara kireç ilave edildiği zaman hacim değişmelerinde azalma olmaktadır, ilave edilen kirecin tesiri ile büzülme limiti artar ve büzülme oranı azalır. Neticede de toprağın hacim değişmesinde azalma meydana gelir (Atanur, 1973). Elde edilen deney sonuçlarına göre kireç katkılı toprak numunelerde şişme görülmemiştir.

Atterberg limitleri

Likit limiti 51, Plastisite indeksi 30 olan bir killi toprağa %6 kireç ilave edildiğinde plastikliğini yitirmiştir (Atanur, 1973).

Yapılan atterberg limitleri deneylerinde kireç katkı miktarı arttıkça doğal toprağın plastik limit değerlerinde artış, plastisite indisi değerlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür. %4 kireç katkılı toprağın likit limiti 31, plastik limiti 23, plastisite indisi 8 olarak belirlenmiştir. %6 kireç katkılı toprağın likit limiti 33, plastik limiti 29, plastisite indisi 4 olarak belirlenmiştir. %8 kireç katkılı toprağın likit limiti 33, plastik limiti 31, plastisite indisi 2 olarak belirlenmiştir. %10 kireç katkılı toprağın likit limiti 33, plastik limiti 32, plastisite indisi 1 olarak belirlenmiştir.

Tane birim hacim ağırlık

Kullanılan kireç katkıları doğal toprak numunesinin t.b.h.a. değerlerinde herhangi bir değişme meydana getirmemiştir.

Kireç katkılı numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6. 'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.6. Kireç katkılı toprak numunelerin geoteknik özellikleri

	t. b.h.a. (gr/cm ³)	PROKTOR		C.B.R (%)	L.L.	P.L.	P.I.	Şişme (%)
		W _{opt} (%)	$\gamma_{dry_{max}}$ (t/m ³)					
%4 Kireç	2,7	18	1,69	16,2	31	23	8	0,00
%6 Kireç	2,7	18	1,67	85,7	33	29	4	0,00
%8 Kireç	2,7	19,2	1,65	121,4	33	31	2	0,00
%10Kireç	2,7	19,5	1,65	112,4	33	32	1	0,00

4.1.5. Doğal Toprak Numunesi ile Çimento Karışımları

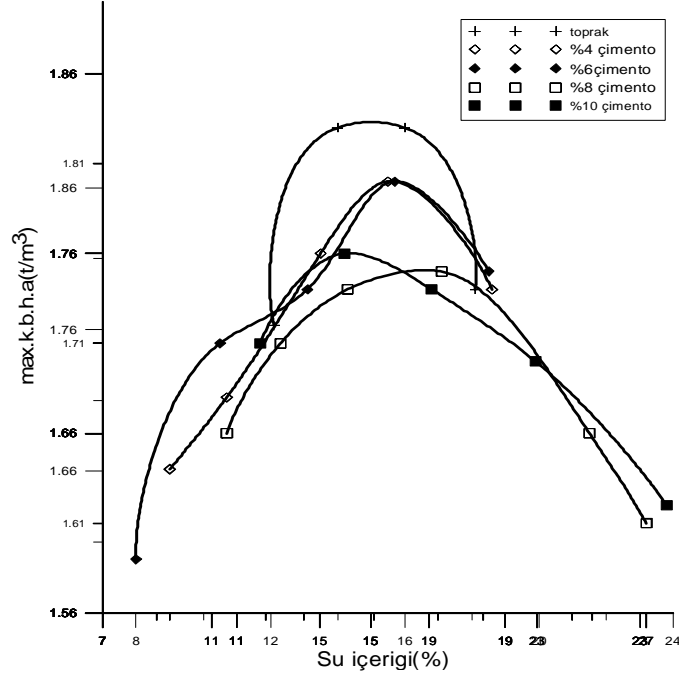
Isparta darıdere doğal toprak numunesinin içerisine %4;6;8;10 oranlarında çimento katılmıştır. İlave edilen çimento miktarı toprağın kuru ağırlığına göre yüzdesi alınarak belirlenmiş ve toprak içerisine karıştırılmıştır. Bu karışımın proktor deneyi ile optimum su içeriği ve mak. k.b.h.a. belirlenmiştir. Islak C.B.R deneyi için zemin karıştırıldıktan sonra yarım saat beklenerek karışımın nemini iyice alması sağlanmıştır. Daha sonra standart proktor deneyi ile belirlenen değerlerde çimento katkılı toprak numune C.B.R. kalıbına sıkıştırıldıktan sonra bir gün nem odasında ve dört gün süreyle su içerisinde bırakılmış ve şişme miktarı sabitlenince sudan çıkarılarak ıslak C.B.R deneyine tabi tutulmuştur. Daha sonra C.B.R kalıbından çıkarılan çimento katkılı toprak içerisinden alınan numune üzerinde atterberg limitleri ve t.b.h.a. deneyleri yapılmıştır.Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda başlıklar halinde açıklanmaktadır.

Optimum su içeriği

%4 çimento katkılı toprağın optimum su içeriği %16, %6 çimento katkılı toprağın optimum su içeriği %15,5, %8 çimento katkılı toprağın optimum su içeriği %16, %10 çimento katkılı toprağın optimum su içeriği % 15 olarak belirlenmiştir.

Maksimum kuru birim hacim ağırlık

Doğal toprak içerisine ilave edilen çimento miktarı arttıkça mak. k.b.h.a.'larda azalma meydana geldiği görülmüştür. %4 çimento katkılı toprağın mak. k.b.h.a. $1,81t/m^3$, %6 çimento katkılı toprağın mak. k.b.h.a. $1,79t/m^3$, %8 çimento katkılı toprağın mak. k.b.h.a. $1,75t/m^3$ ve %10 çimento katkılı toprağın mak. k.b.h.a. $1,76t/m^3$ olarak belirlenmiştir. Şekil 4.7 çimento katkılı toprak numunelerinin proktor grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.7. Toprak çimento karışımlarının su içeriği ile mak. k.b.h.a. değişimleri

Islak C.B.R.

Doğal toprak içerisine ilave edilen çimento miktarı arttıkça ıslak C.B.R. yüzdelerinde de artışlar meydana gelmiştir. %4 çimento katkıli toprağın ıslak C.B.R. yüzdesi % 28,6; %6 çimento katkıli toprağın ıslak C.B.R. yüzdesi % 64,8; %8 çimento katkıli toprağın ıslak C.B.R. yüzdesi % 141,0 olarak belirlenmiştir. %10 çimento katkıli toprağın ıslak C.B.R. yüzdesi ise okunamamıştır.

Şişme

Tüm çimento katkıli toprak numunelerinin şişme yüzdeleri %0,01 olarak belirlenmiştir.

Atterberg limitleri

Yapılan atterberg limitleri deneylerinde çimento katkı miktarı arttıkça doğal toprağın plastik limit değerlerinde artış, plastisite indisi değerlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür. %4 çimento katkıli toprağın likit limiti 37, plastik limiti 24, plastisite indisi 13 olarak belirlenmiştir. %6 çimento katkıli toprağın likit limiti 37, plastik

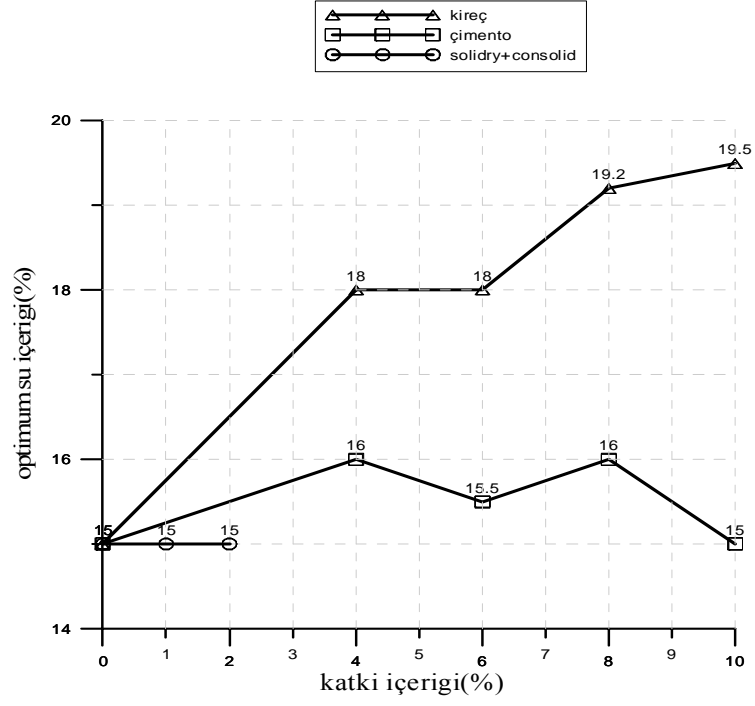
limiti 27, plastisite indisi 10 olarak belirlenmiştir. %8 çimento katkılı toprağın likit limiti 36, plastik limiti 33, plastisite indisi 3 olarak belirlenmiştir. %10 çimento katkılı toprağın likit limiti 36, plastik limiti 35, plastisite indisi 1 olarak belirlenmiştir.

Tane birim hacim ağırlık

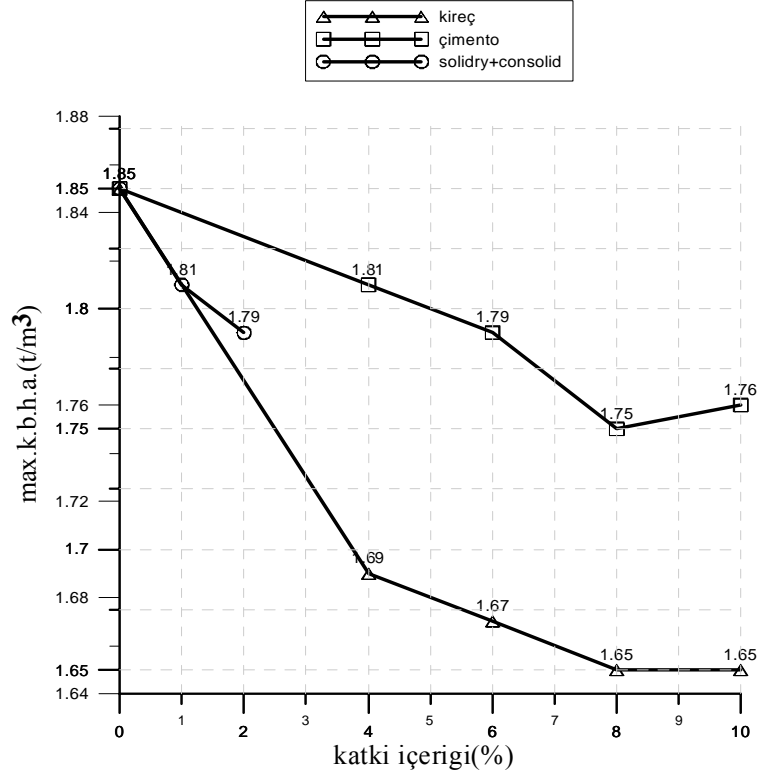
Kullanılan çimento katkıları doğal toprak numunesinin t.b.h.a. değerlerinde herhangi bir değişme meydana getirmemiştir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. Çimento katkılı toprak numunelerin geoteknik özellikleri

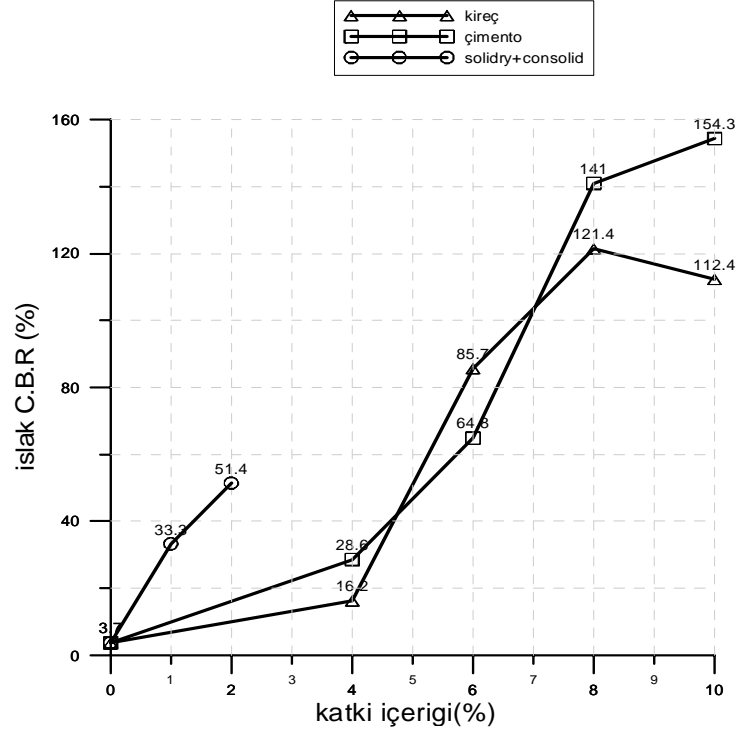
	t. b.h.a. (gr/cm^3)	PROKTOR		C.B.R (%)	L.L.	P.L.	P.I.	Şişme (%)
		W_{opt} (%)	$\gamma_{dry_{max}}$ (t/m^3)					
%4 Çimento	2,7	16	1,81	28,6	37	24	13	0,01
%6 Çimento	2,7	15,5	1,79	64,8	37	27	10	0,01
%8 Çimento	2,7	16	1,75	141,0	36	33	3	0,01
%10 Çimento	2,7	15	1,76	okunama dı	36	35	1	0,01



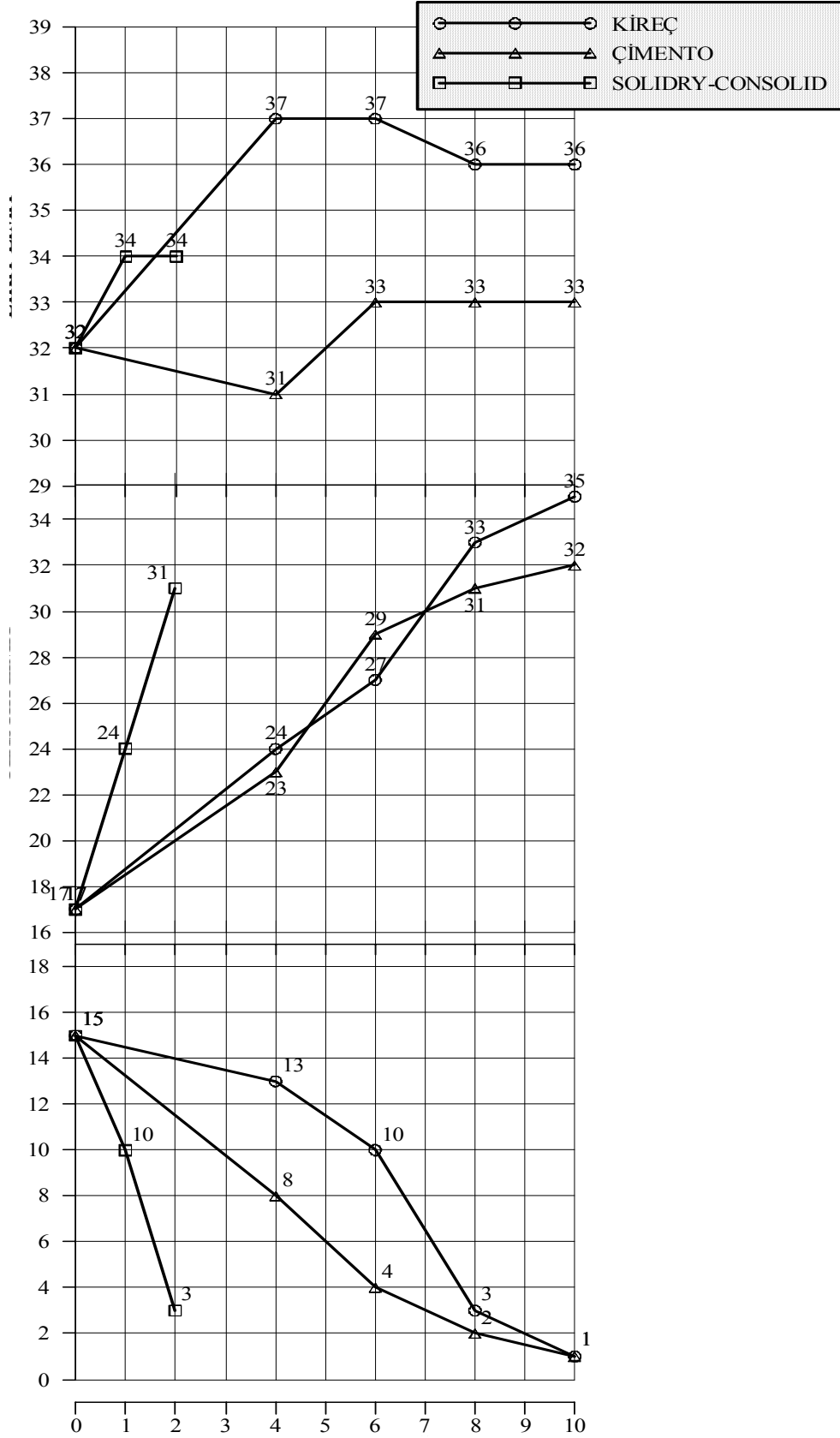
Şekil 4.8. Toprak içerisinde ilave edilen katkı içeriği ile optimum su içeriğinde meydana gelen değişim



Şekil 4.9. Toprak içerisinde ilave edilen katkı içeriği ile mak. k.b.h.a. değişimi



Şekil 4.10. Toprak içerisinde ilave edilen katkı içeriği ile ıslak C.B.R. yüzdelinde meydana gelen değişim



Şekil 4.11 . Toprak içerisine ilave edilen katkı içeriği ile kıvam limitlerinde meydana gelen değişimi

4.2. Bentonitli Numuneler

Bentonite ait hidrometre analizi değerleri Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Ticaret AŞ'den temin edilmiştir. Çizelge 4.8 bentonit numunesinin hidrometre analizi değerlerini göstermektedir.

Çizelge 4.8. Bentonit numunesinin hidrometre analizi değerleri

Elek açıklığı	% Kalan
>60 μ	2,00
<20 μ	90,70
<10 μ	87,40
>2 μ	75,00

Bentonit su ile karıştırıldıktan sonra üzeri nemli bir bezle kapatılmış ve bir saat süreyle bekletilerek nemini alması sağlanmıştır. Bentonit numunesi standart proctor deneyi (metod B) ile optimum su muhtevası (%34,8) ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı(1,12 t/m³) olarak belirlenmiştir. Islak C.B.R deneyi için optimum su içeriği ve mak. k.b.h.a.'nda tekrar sıkıştırılan bentonit numunesi su içerisine batırıldığı anda hızlı bir şekilde şişmeye başlamış, 14 gün boyunca şişme gözlenmiş ve şişme yüzdesi %80 olarak belirlenmiştir. Dial okumalarında şişme değerindeki değişim sona erdiğinde bentonit numunesi sudan çıkarıldığında hamurumsu kıvamda olduğu görülmüş ve bentonit ıslak C.B.R. deneyine tabi tutulduğunda C.B.R yüzdesi (%3,0) ve zemin tanımı (çok kötü) olarak belirlenmiştir. Daha sonra Cassagrande yöntemi uygulanarak bentonitin kıvam limitleri belirlenmiştir. Bentonitin likit limiti 140, plastik limiti 47, plastisite indisi 93 olarak belirlenmiştir. Yapılan piknometre deneyi ile bentonitin t.b.h.a. 2,2(gr/cm³) olarak belirlenmiştir. Daha sonra bentonit numunesi permeabilite deneyi için optimum su içeriği ve mak. k.b.h.a.'nda sıkıştırıldıktan sonra hemen permeabilite kalıbına bağlanarak 4 gün süreyle düşen seviyeli permeabilite deneyine tabi tutulmuş ve bu süre içerisinde bentonitin içerisinden hiçbir su geçişi gözlenmemiş ve permeabilite katsayısı(k) değeri $1,73243 \times 10^{-9}$ cm/s'den daha düşük olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.9 bentonit numunesinin geoteknik özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 4.9. Bentonit numunesinin geoteknik özellikleri

	Bentonit
Likit Limit	140
Plastik Limit	47
Plastisite İndisi	93
T.b.h.a. (gr/cm ³)	2,2
W _{opt} (%)	34,8
$\gamma_{dry_{max}}$ (t/m ³)	1,12
Islak C.B.R. (%)	3,0
Şişme Yüzdesi (%)	80
Permeabilite Katsayısı (k)	$<1,73243 \times 10^{-9}$

4.2.1. Kireç Katkılı Bentonit Numuneleri

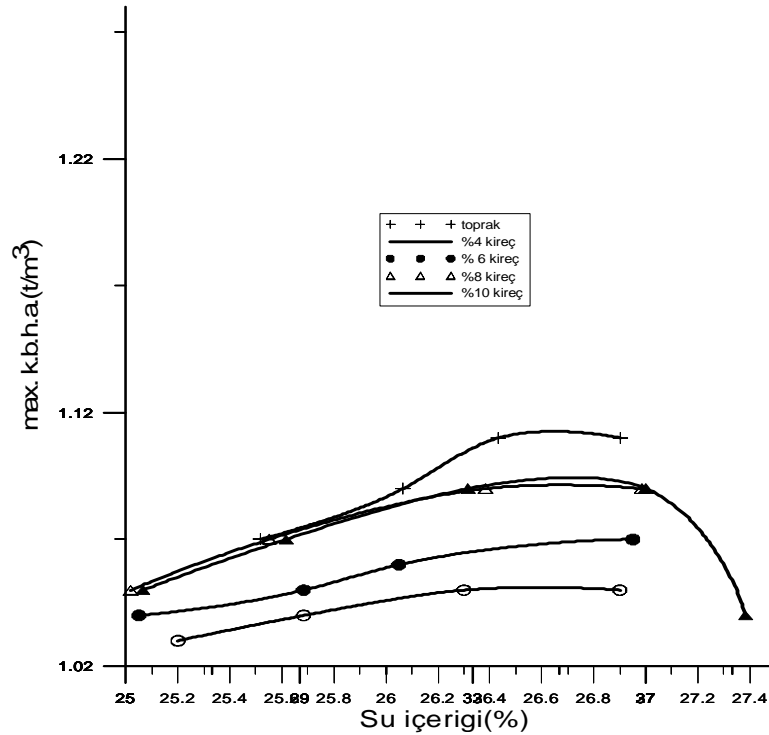
Bentonit içerisine %4,6,8,10 oranlarında toz kireç katılmıştır. İlave edilen kireç miktarı bentonitin kuru ağırlığına göre yüzdesi alınarak belirlenmiş ve bentonitin içerisine karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlar sıkıştırılmadan önce bir saat üzeri nemli bezle kapalı şekilde bekletilerek numunenin nemini iyice alması sağlanmıştır. Bu karışımın proktor deneyi ile optimum su içeriği ve mak. k.b.h.a. belirlenmiştir. Kireç katkılı bentonit numuneleri ıslak C.B.R. deneyi için standart proktor deneyi ile belirlenen değerlerde tekrar sıkıştırıldıktan sonra yedi gün süreyle nem odasında, üç gün süreyle oda koşullarında küre tabi tutulmuştur. Daha sonra su içerisine bırakılan kireç katkılı bentonit numuneleri sudan çıkarılmış ve numuneler ıslak C.B.R. deneyine tabi tutularak C.B.R yüzdeleri belirlenmiştir. Daha sonra C.B.R kalıbından çıkarılan kireç katkılı bentonit içerisinden alınan numuneler üzerinde atterberg limitleri ve t.b.h.a. deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda başlıklar halinde açıklanmaktadır.

Optimum su içeriği

Bentonit içerisine karıştırılan kireç katkıları bentonit numunesinin optimum su içeriği değerlerinde artış meydana getirmiştir. %4 kireç katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %34,8; %6 kireç katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %35; %8 kireç katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %35,3; %10 kireç katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %35,5 olarak belirlenmiştir.

Maksimum kuru birim hacim ağırlık

Kullanılan kireç katkıları bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. 'larında düşüş meydana getirmiştir. %4 kireç katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,05 \text{ t/m}^3$, %6 kireç katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,08 \text{ t/m}^3$, %8 kireç katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,10 \text{ t/m}^3$, %10 kireç katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,10 \text{ t/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Şekil 4.12. Kireç katkılı bentonit numunelerinin proktor grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.12. Kireç katkılı bentonit numunelerinin su içeriği ile mak. k.b.h.a. değişimleri

Islak C.B.R

Kullanılan kireç katkıları bentonit numunesinin ıslak C.B.R. değerlerinde artış meydana getirmiştir. %4 kireç katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi % 7,2 ve zemin tanımı(kötü-orta), %6 kireç katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi % 11,0 ve zemin tanımı(kötü-orta), %8 kireç katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi % 18,3 ve zemin tanımı(kötü-orta), %10 kireç katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi % 25,1 ve zemin tanımı (iyi) olarak belirlenmiştir.

Atterberg limitleri

Plastisite indisi yüksek olan topraklara az miktarda kireç ilave edildiğinde plastisite indeksinde %50-80 arasında bir düşüş meydana geldiği gözlenmiştir (Atanur, 1973).

Kullanılan oranlardaki kireç katkıları bentonit numunesinin likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerlerinde azalma meydana getirmiştir. %4 kireç katkılı bentonit numunesinin likit limiti 125, plastik limiti 47, plastisite indisi 78 olarak belirlenmiştir. %6 kireç katkılı bentonit numunesinin likit limiti 117, plastik limiti 46, plastisite indisi 71 olarak belirlenmiştir. %8 kireç katkılı bentonit numunesinin likit limiti 99, plastik limiti 41, plastisite indisi 58 olarak belirlenmiştir. %10 kireç katkılı bentonit numunesinin likit limiti 97, plastik limiti 40, plastisite indisi 57 olarak belirlenmiştir.

Tane birim hacim ağırlık

Kullanılan oranlardaki kireç katkıları bentonit numunesinin t.b.h.a. değerlerinde artış meydana getirmiş ve tüm kireç katkılı bentonit numunelerinin tane birim hacim değerleri $2,3\text{gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.10 kireç katkılı bentonit numunelerinin geoteknik özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 4.10. Kireç katkılı bentonit numunelerinin geoteknik özellikleri

	T.b.h.a. (gr/cm ³)	PROKTOR		Islak C.B.R. (%)	L. L.	P. L.	P. İ.
		W_{opt} (%)	$\gamma_{dry_{max}}$ (t/m ³)				
%4 kireç	2,3	34,8	1,05	7,2	125	47	78
%6 kireç	2,3	35	1,08	11,0	117	46	71
%8 kireç	2,3	35,3	1,10	18,3	99	41	58
%10 kireç	2,3	35,5	1,10	25,1	97	40	57

4.2.2. Çimento Katkılı Bentonit Numuneleri

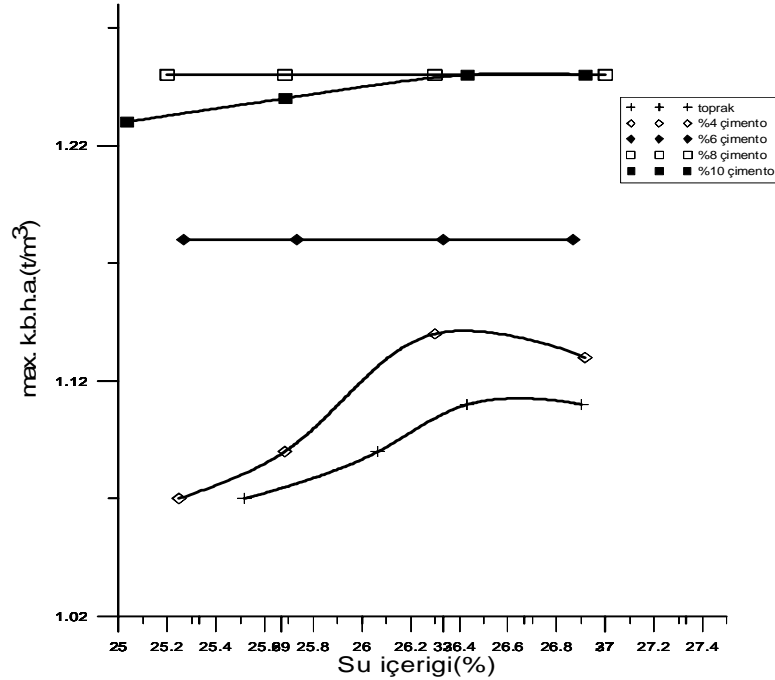
Bentonit numunesinin içerisine %4;6;8;10 oranlarında çimento katılmıştır. İlave edilen çimento miktarı bentonitin kuru ağırlığına göre yüzdesi alınarak belirlenmiş ve bentonit içerisine karıştırılmıştır. Bu karışımın proktor deneyi ile optimum su içeriği ve mak. k.b.h.a. belirlenmiştir. Islak C.B.R deneyi için bentonit numunesi çimento ve su ile karıştırıldıktan sonra yarım saat beklenerek karışımın nemini iyice alması sağlanmıştır. Çimento katkılı bentonit numunesinin yarım saat bekletilmesinin sebebi çimentonun kirece göre çok daha çabuk reaksiyona girip setleşmesinden dolayıdır. Daha sonra standart proktor deneyi ile belirlenen değerlerde çimento katkılı bentonit numunesi C.B.R. kalıbına sıkıştırıldıktan sonra bir gün nem odasında bırakılmış ve sonra su içerisine bırakılmıştır. Şişme miktarındaki artış 14 gün sonra sabitlenmiş çimento katkılı bentonit numuneleri sudan çıkarılarak ıslak C.B.R deneyine tabi tutulmuştur. Daha sonra C.B.R kalıbından çıkarılan çimento katkılı bentonit içerisinden alınan numune üzerinde atterberg limitleri ve t.b.h.a. deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda başlıklar halinde açıklanmaktadır.

Optimum Su İçeriği

%4 çimento katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %34,6; %6 çimento katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %34,8; %8 çimento katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %34,6; %10 çimento katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %34,8 olarak belirlenmiştir.

Maksimum kuru birim hacim ağırlık

Kullanılan oranlardaki çimento katkıları bentonit numunesinin mak. k.b.h.a.'nda artış meydana getirmiştir. %4 çimento katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,15\text{t/m}^3$, %6 çimento katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,18\text{t/m}^3$, %8 çimento katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,25\text{ t/m}^3$, %10 çimento katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,25\text{ t/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Şekil 4.13 çimento katkılı bentonit numunelerinin proktor grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.13. Çimento katkılı bentonit numunelerinin su içeriği ile mak. k.b.h.a. değişimleri

Islak C.B.R.

Kullanılan oranlardaki çimento katkıları bentonit numunesinin ıslak C.B.R. değerlerinde artış meydana getirmiştir. Ancak çimento miktarı arttırıldıkça C.B.R. değerlerinin de lineer olarak artması beklenirken %8 çimento katkısından sonra çimento miktarı arttırıldığında düşüşe geçtiği görülmüştür. Bu durum şu şekilde yorumlanabilir. Çimento ile stabilize edilecek toprağın maksimum plastisite indisi, 30'dan fazla olmamalıdır. Yüksek plastisite indisine sahip olan topraklar önce kireç ile stabilize edilerek plastisite indeksleri düşürülüp, sonra da çimento stabilizasyonuna tabi tutulabilir(Demirel vd., 1991). Bu tez çalışmasında beyaz bentonit numunesinin plastisite indisi 93 olarak bulunmuştur. Ancak bu numune ilk olarak kireç ile stabilize edilmeden direk olarak çimento ile stabilize edilmiştir. Bu yüzden beklenen artış sağlanmamış olabilir. Ya da bentonit çimentodan daha ince bir malzemedir ve su ile temas ettiğinde hemen şişmeye başlayan ve hamurumsu bir kıvama geldiği için zor karışan bir malzemedir. Bu nedenle çimento bentonit numunesi ile iyi karışmamış olmasından dolayı istenilen artışlar sağlanamamış olabilir.

Atterberg Limitleri

Bentonit içerisine ilave edilen çimento katkıları bentonit numunelerinin likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerlerinde azalma meydana getirmiştir. %4 çimento katkılı bentonit numunesinin likit limiti 91, plastik limiti 48, plastisite indisi 43 olarak belirlenmiştir. %6 çimento katkılı bentonit numunesinin likit limiti 85, plastik limiti 49, plastisite indisi 36 olarak belirlenmiştir. %8 çimento katkılı bentonit numunesinin likit limiti 78, plastik limiti 51, plastisite indisi 27 olarak belirlenmiştir. %10 çimento katkılı bentonit numunesinin likit limiti 76, plastik limiti 53, plastisite indisi 23 olarak belirlenmiştir.

Tane birim hacim ağırlık

Kullanılan çimento katkıları bentonit numunesinin t.b.h.a. değerlerinde bir değişme meydana getirmemiştir.

Çimento katkılı bentonit numuneleri üzerinde yapılan tüm deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.11. Çimento katkılı bentonit numunelerinin geoteknik özellikleri

	t.b.h.a. (gr/cm ³)	ω_{OPT} (%)	$\gamma_{dry(max)}$ (t/m ³)	Islak C.B.R (%)	L.L.	P.L.	P.I.
%4 çimento	2,2	34,6	1,15	23,6	91	48	43
%6 çimento	2,2	34,8	1,18	27,1	85	49	36
%8 çimento	2,2	34,6	1,25	27,1	78	51	27
%10 çimento	2,2	34,8	1,25	25,1	76	53	23

4.2.3. Consolid444+Solidry Katkılı Bentonit Numuneleri

Bentonit numunesi içerisine öncelikle toz bileşen olan solidry bentonitin kuru ağırlığına göre yüzdesi alınarak ilave edilmiş ve daha sonra consolid444 katkısı bu karışım içerisine ilave edilmiştir. Consolid444 bentonit içerisine 0.8 lt/m³ olarak su içerisnde katılıp çalkalanarak ilave edilmiştir. Öncelikle bentonitin optimum su içeriği(%34,8) ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı(1,12t/m³) belirlenmiştir. Daha sonra deneyde kullanılmış olan bentonitin kuru ağırlığı 6000 gr olduğundan orantı kurularak ilave edilen Consolid444 katkı miktarı hesaplanmıştır.

$$1.12 \text{ ton} = 1.120.000 \text{ gr}$$

$$(6000 \times 0,8) \div 1.120.000 = 0,004 \text{ lt} = 4 \text{ mlt consolid444 gereklidir.}$$

Gerekli olan consolid444 miktarı bulunduktan sonra su miktarı hesaplanmıştır.

$$(6000 \times 34,8) \div 100 = 2088 \text{ gr}$$

Belirlenen 2088gr su içerisine 4mlt consolid444 ilave edilip iyice çalkalanarak bir süspansiyon oluşturulmuştur. Consolid444 katkılı bentoniti standart proctor

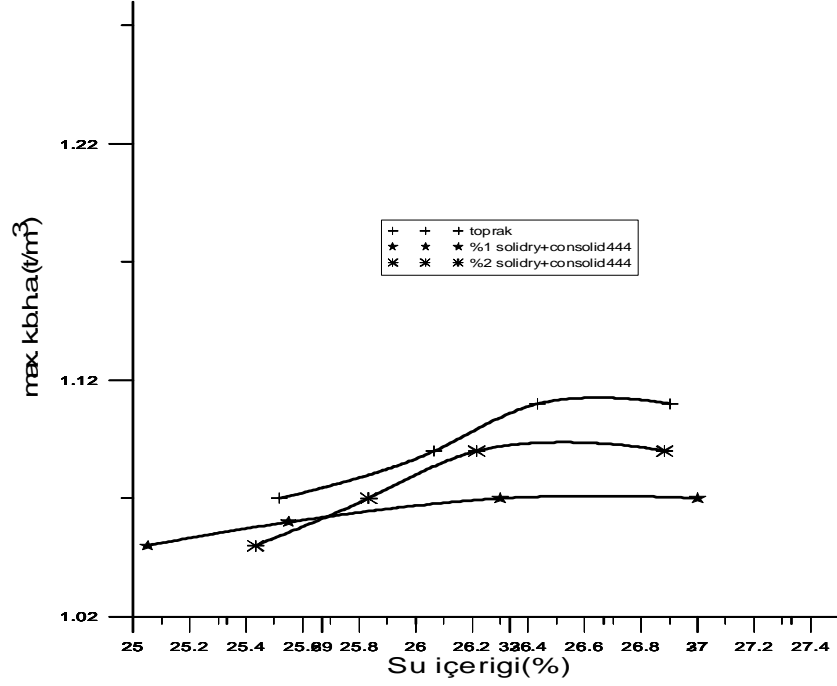
yöntemiyle sıkıştırırken optimum su muhtevasını henüz bilmediğimiz için belirli oranlarda su miktarını arttırarak sıkıştırma yaptığımızdan başlangıç için kendi belirlediğimiz su miktarını bu süspansiyondan alarak başlangıç sıkıştırması yapıldıktan sonra sıkıştırma işlemine, su miktarı belirli yüzdelerde arttırılarak devam edilmiştir. Bu şekilde consolid444 katkıli bentonitin optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı belirlenmiştir. Islak C.B.R deneyi için bentonit karıştırıldıktan sonra bir saat beklenerek karışımın nemini iyice alması sağlanmıştır. Daha sonra standart proktor deneyi ile belirlenen değerlerde bentonit sıkıştırıldıktan sonra altı gün süreyle nem odasında ve dört gün süreyle su içerisinde bekletilmiş ve 14 gün boyunca şişme değerinde artış görülmüştür. Şişme değerinde artış bu süre sonunda sona erdiğinde bentonit su içerisinde çıkarılarak ıslak C.B.R deneyine tabi tutulmuştur. C.B.R kalıbından çıkarılan bentonit içerisinde alınan numune üzerinde atterberg limitleri ve t.b.h.a deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda başlıklar halinde açıklanmaktadır.

Optimum Su İçeriği

Yapılan proktor deneyi neticesinde consolid444+%1solidry katkıli bentonitin optimum su içeriği %34, consolid444+%2solidry katkıli bentonitin optimum su içeriği %34, 5 olarak belirlenmiştir.

Maksimum kuru birim hacim ağırlık

Kullanılan katkı oranları bentonitin mak. k.b.h.a. değerlerinde düşüş meydana getirmiştir. Consolid444+%1 solidry katkıli bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,08t/m^3$, consolid444+%2solidry katkıli bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,11t/m^3$ olarak belirlenmiştir. Şekil 4.14 Consolid444 + solidry katkıli bentonit numunelerinin proktor grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.14. Consolid444 + solidry katkılı bentonit numunelerinin su içeriği ile mak. k.b.h.a. değişimleri

Islak C.B.R.

Kullanılan katkı oranları bentonitin ıslak C.B.R. değerlerinde artış meydana getirmiştir. Consolid444+%1 solidry katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi (%6,9) ve zemin tanımı (kötü-orta), consolid444+%2solidry katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi (%12,0) ve zemin tanımı(orta) olarak belirlenmiştir.

Tane birim hacim ağırlık

Kullanılan katkı oranları bentonitin t.b.h.a. değerlerinde artış meydana getirmiş ve bu değer consolid444+%1ve%2 solidry katkılı bentonit numuneleri için $2,3\text{gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir.

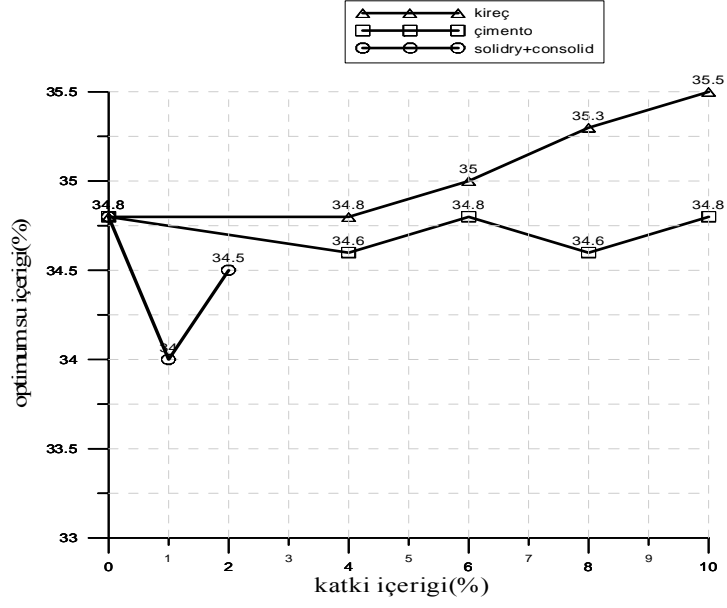
Atterberg Limitleri

Kullanılan katkı oranları bentonit numunesinin likit limit değerlerinde azalma, plastik limit değerlerinde artma ve plastisite indisi değerlerinde azalma meydana getirmiştir. Consolid444+%1solidry katkılı bentonit numunesinin likit limiti 124, plastik limiti 50, plastisite indisi 74 olara belirlenmiştir. Consolid444+%2 solidry katkılı bentonit numunesinin likit limiti 103, plastik limiti 55, plastisite indisi 48 olarak belirlenmiştir.

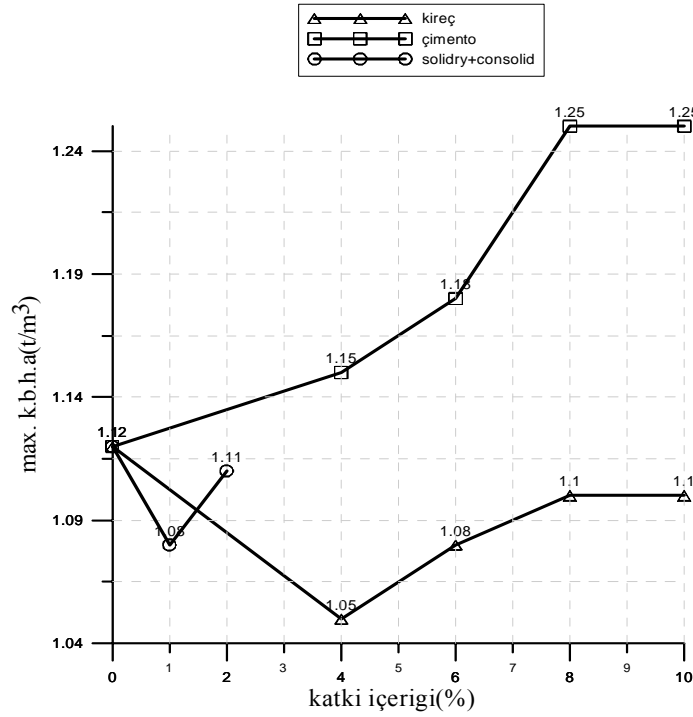
Consolid444 + solidry katkılı bentonit numuneleri üzerinde yapılan tüm deney sonuçları Çizelge 4.12, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve 4.18 'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.12. Consolid444+solidry katkılı bentonit numunelerinin geoteknik özellikleri

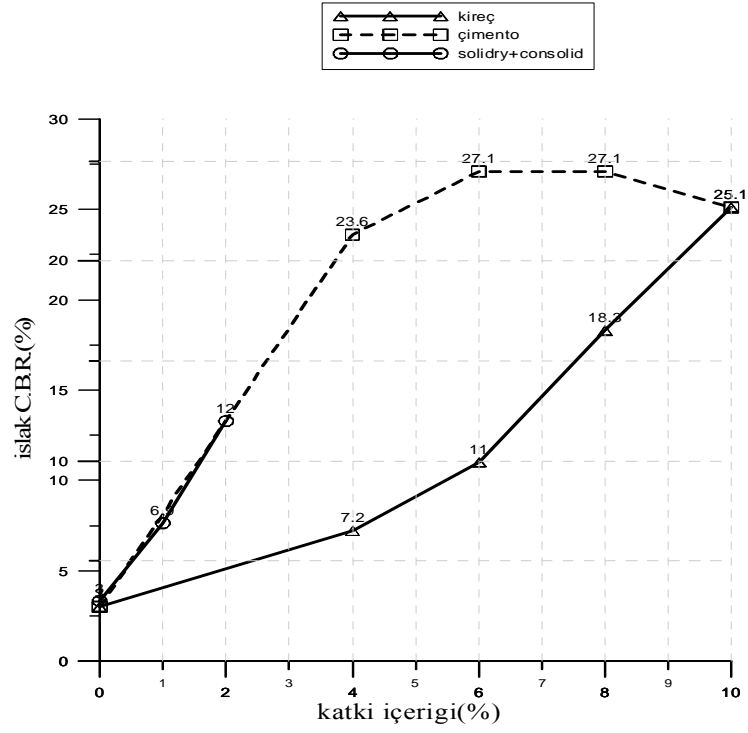
	t.b.h.a. (gr/cm ³)	ω_{OPT} (%)	$\gamma_{dry(max)}$ (t/m ³)	Islak C.B.R (%)	L.L.	P.L.	P.I.
Bentonit+ consolid444+ %1 solidry	2,3	34	1,08	6,9	124	50	74
Bentonit+ consolid444+ %2 solidry	2,3	34,5	1,11	12,0	103	55	48



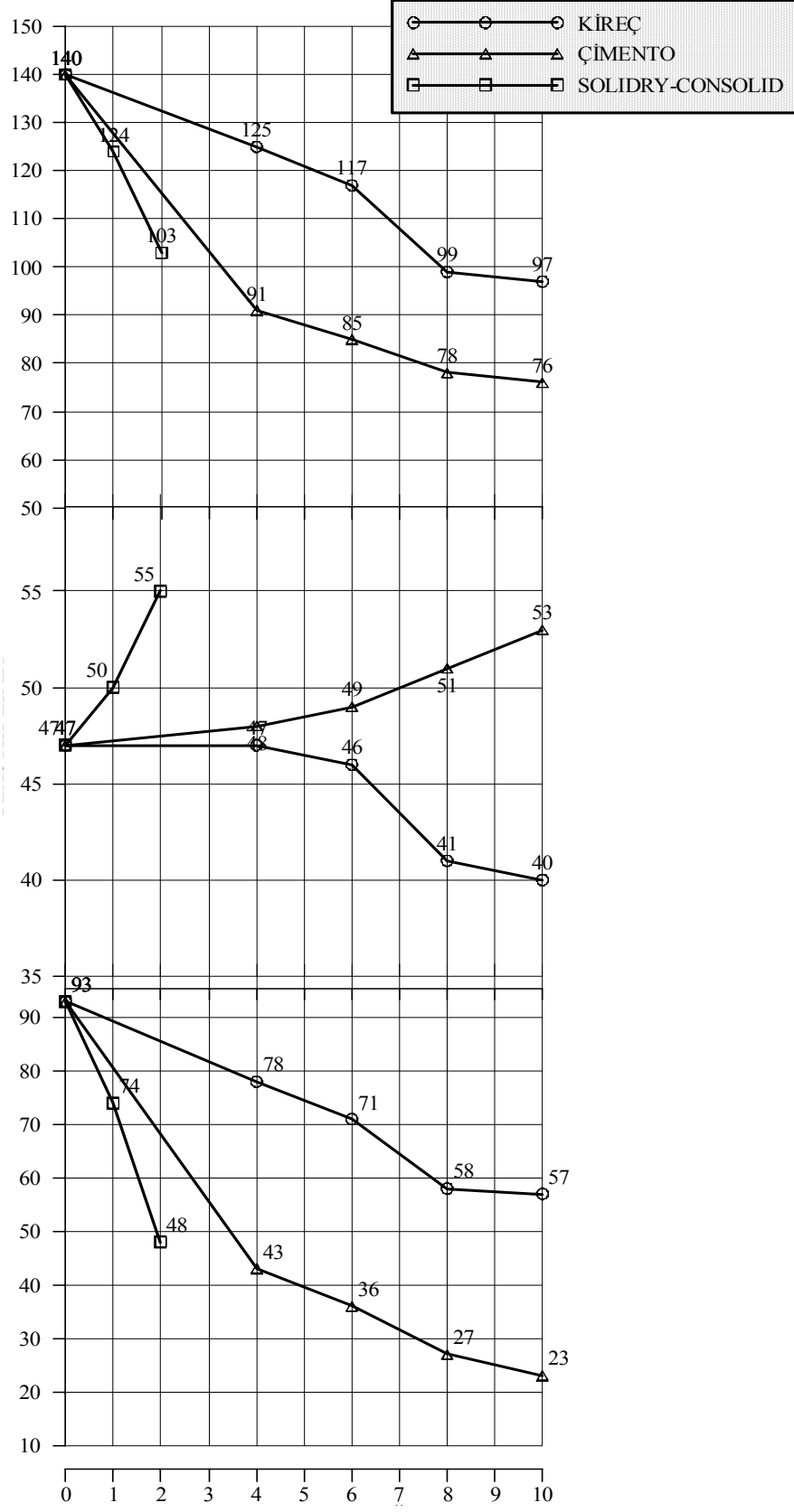
Şekil 4.15. Bentonitli numunelerin içerisine ilave edilen katkı içeriği ile optimum su içeriğinde meydana gelen değişim



Şekil 4.16. Bentonitli numunelerin içerisine ilave edilen katkı içeriği ile mak. k.b.h.a değişimi



Şekil 4.17. Bentonitin, katkı içeriği ile ıslak C.B.R. Yüzdelerinde meydana gelen değişim



Şekil 4.18. Bentonitin katkı içeriği ile likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değişimlerinin birlikte görünümü

5. SONUÇ

Isparta Darıdere doğal toprak numunesi üzerinde yapılan standart proktor deneyi neticesinde optimum su muhtevası %15, maksimum kuru birim hacim ağırlığı $1,85\text{t/m}^3$ olarak bulunmuştur. Islak C.B.R. deneyi için dört gün süreyle su içerisinde bekletilerek şişme miktarı %0.07 olarak tespit edilmiş ve daha sonra ıslak C.B.R deneyine tabi tutularak C.B.R yüzdesi %3,7 ve zemin tanımı (çok kötü) olarak belirlenmiştir. Yapılan atterberg limitleri deneyinde likit limit 32, plastik limit 17, plastisite indisi 15 olarak bulunmuştur. Piknometre deneyi ile toprağın t.b.h.a. $2,7\text{gr/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Yapılan organik madde tayini deneyinde ısparta darıdere doğal toprak numunesinin organik madde içeriği %(6,13) olarak beirlenmiştir. Bu değer yüksek gözükmeyle beraber, deney yöntemi numune içindeki toplam karbon miktarını gösterdiği için herhangi bir olumsuzluk içermemektedir. Yapılan deneylerde herhangi bir olumsuz sonuç görülmemiştir. Yapılan düşen seviyeli permeabilite deneyinde su seviyesindeki düşüş miktarı 5cm olarak ölçülmüş ve permeabilite katsayısı $6,54196 \times 10^{-9}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer zeminin herhangi bir yapı inşasında geçirimsizlik amacıyla rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir.

Toprağın taşıma kapasitesini arttırmak için zemin içerisine %10;20;30 oranlarında 5-15mm'lik çakıl ilave edilmiş ve yapılan deneyler neticesinde %10 çakıl katkılı toprak numunesinin ıslak C.B.R değeri %9,5'e çıkmış fakat %20 ve %30 çakıl katkılı toprak numunelerinin ıslak C.B.R değerleri sırasıyla %3,8 ve %3,0 olarak bulunmuştur. Kullanılan oranlarda çakıl katkılı toprak numuneleri ıslak C.B.R değerlerinde yeterli artış göstermemiştir. %10 kırma çakıl katkılı numunenin optimum su içeriği %14, %20 kırma çakıl katkılı numunenin optimum su içeriği %15 ve %30 kırma çakıl katkılı numunenin optimum su içeriği %14,5 olarak bulunmuştur. Doğal toprak numunesinin içerisine kırma çakıl ilave edilmesiyle mak. k.b.h.a.'larda artış gözlenmiştir. %10 kırma çakıl katkılı numunenin mak. k.b.h.a.'lığı $1,92\text{ t/m}^3$; %20 kırma çakıl katkılı toprak numunenin mak. k.b.h.a.'lığı $1,86\text{ t/m}^3$; %30 kırma çakıl katkılı toprak numunenin mak. k.b.h.a.'lığı $1,90\text{ t/m}^3$ olarak bulunmuştur. Doğal toprak numunesinin içerisine kırma çakıl ilave edilmesiyle

t.b.h.a.'larında düşüş meydana geldiği görülmüştür. Kullanılan oranlardaki tüm çakıl katkılı numunelerin t.b.h.a.'ları $2,6 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur.

Toprak içerisine aynı oranlarda çakıl ilave edildikten sonra her bir malzemeye consolid444 + %1 ve %2 solidry katkıları eklenerek zeminin C.B.R değeri arttırılmaya çalışılmıştır. Toprak + %10çakıl + consolid444 + %1solidry katkılı numunenin ıslak C.B.R yüzdesi %24,3 ve zemin tanımı (iyi), toprak + %20çakıl + consolid444 + %1solidry katkılı numunenin ıslak C.B.R yüzdesi %26,4 ve zemin tanımı (iyi), toprak + %30çakıl + consolid444 + %1solidry katkılı numunenin ıslak C.B.R yüzdesi %20,7 ve zemin tanımı (iyi), toprak + %10çakıl + consolid444 + %2solidry katkılı numunenin ıslak C.B.R yüzdesi %52,9 ve zemin tanımı (çok iyi), toprak + %20çakıl + consolid444 + %2 solidry katkılı numunenin ıslak C.B.R yüzdesi % 41,4 ve zemin tanımı (iyi) olarak bulunmuştur. Toprak + %10 çakıl + consolid444 + %1solidry katkılı numunenin optimum su içeriği (%11), toprak + %20 çakıl + consolid444 + %1 solidry katkılı numunenin optimum su içeriği (%13), toprak + %30 çakıl + consolid444 + %1 solidry katkılı numunenin optimum su içeriği (%14), toprak + %10 çakıl + consolid444 + %2 solidry katkılı numunenin optimum su içeriği (%15,3) ve toprak + %10 çakıl + consolid444 + %2 solidry katkılı numunenin optimum su içeriği (%15,5) olarak bulunmuştur. Toprak + %10çakıl + consolid444 + %1solidry katkılı numunenin mak.k.b.h.a. $1,89 \text{ t/m}^3$, toprak + %20çakıl + consolid444 + %1solidry katkılı numunenin mak.k.b.h.a $1,82 \text{ t/m}^3$, toprak + %30çakıl + consolid444 + %1solidry katkılı numunenin mak. k.b.h.a $1,87 \text{ t/m}^3$, toprak + %10çakıl + consolid444 + %2solidry katkılı numunenin mak. k.b.h.a. $1,85 \text{ t/m}^3$, toprak + %20çakıl + consolid444 + %2 solidry katkılı numunenin mak. k.b.h.a. $1,78 \text{ t/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Tüm kırma çakıl, consolid444 + solidry katkılı toprak karışımlarının t.b.h.a.'ları $2,6 \text{ gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir.

Kullanılan consolid444 + solidry katkıları doğal toprak numunesinin optimum su içeriğinde bir değişim meydana getirmemiştir. Kullanılan consolid444 + solidry katkıları doğal toprak numunesinin mak.k.b.h.a.'lıklarında düşüş meydana getirmiştir. Consolid444 + %1 solidry katkılı zeminin mak.k.b.h.a. $1,81t/m^3$ ve consolid444 + %2 solidry katkılı zeminin mak.k.b.h.a. $1,79t/m^3$ olarak belirlenmiştir. Yapılan ıslak C.B.R. deneyi neticesinde consolid444 + %1 solidry katkılı zeminin ıslak C.B.R yüzdesi %33,3 ve zemin tanımı (iyi) olarak belirlenmiştir. Consolid444 + %2 solidry katkılı zeminin ıslak C.B.R yüzdesi % 51,4 ve zemin tanımı (çok iyi) olarak belirlenmiştir. Kullanılan consolid444+solidry katkıları doğal toprak numunesinin şişme değerlerinde azalma meydana getirmiştir. Consolid444 + %1 solidry katkılı zeminin şişme yüzdesi % 0,05 ve consolid444 + %1 solidry katkılı zeminin şişme yüzdesi % 0,02 olarak belirlenmiştir. Kullanılan katkı oranları likit limit ve plastik limit değerlerinde artış göstermiş ve plastisite indisi değerlerinde azalma meydana getirmiştir. Consolid444 + %1 solidry katkılı zeminin likit limiti 34, plastik limiti 24 ve plastisite indisi 10 olarak belirlenmiştir. Consolid444 + %1 solidry katkılı zeminin likit limiti 34, plastik limiti 31 ve plastisite indisi 3 olarak belirlenmiştir. Kullanılan katkı oranları doğal toprak numunesinin t.b.h.a.'lıklarında azalma meydana getirmiş ve bu değer $2,6gr/cm^3$ olarak belirlenmiştir.

Doğal toprak içerisine ilave edilen kireç miktarı arttıkça optimum su içeriği de artmıştır. %4 kireç katkılı toprağın optimum su içeriği %18, %6 kireç katkılı toprağın optimum su içeriği %18, , %8 kireç katkılı toprağın optimum su içeriği %19,2, %10 kireç katkılı toprağın optimum su içeriği %19,5 olarak belirlenmiştir. Kireç miktarı arttıkça doğal toprak numunesinin mak. k.b.h.a.'larında azalma meydana geldiği görülmüştür. %4 kireç katkılı numunenin mak. k.b.h.a. $1,69 t/m^3$, %6 kireç katkılı toprak numunenin mak. k.b.h.a. $1,67 t/m^3$, %8 kireç katkılı toprak numunenin mak. k.b.h.a. $1,65 t/m^3$ ve %10 kireç katkılı toprak numunenin mak. k.b.h.a. $1,65 t/m^3$ olarak belirlenmiştir. Doğal toprak içerisine ilave edilen kireç miktarı arttıkça ıslak C.B.R yüzdelерinde başlangıçta büyük artışlar görülmüş, %8 kireç katkısında bu artış maksimum seviyeye ulaşmış fakat %8 kireç katkısından sonra C.B.R yüzdesinde azalma meydana geldiği görülmüştür. %4 kireç katkılı toprağın ıslak C.B.R yüzdesi

%16,2; %6 kireç katkılı toprağın ıslak C.B.R yüzdesi %85,7; %8 kireç katkılı toprağın ıslak C.B.R yüzdesi %121,4; %10 kireç katkılı toprağın ıslak C.B.R yüzdesi %112,4 olarak belirlenmiştir. Kireç katkısıyla doğal toprakta şişme görülmemiştir. Yapılan atterberg limitleri deneylerinde kireç katkı miktarı arttıkça doğal toprağın plastik limit değerlerinde artış, plastisite indisi değerlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür. %4 kireç katkılı toprağın likit limiti 31, plastik limiti 23, plastisite indisi 8 olarak belirlenmiştir. %6 kireç katkılı toprağın likit limiti 33, plastik limiti 29, plastisite indisi 4 olarak belirlenmiştir. %8 kireç katkılı toprağın likit limiti 33, plastik limiti 31, plastisite indisi 2 olarak belirlenmiştir. %10 kireç katkılı toprağın likit limiti 33, plastik limiti 32, plastisite indisi 1 olarak belirlenmiştir. Kullanılan kireç katkıları doğal toprak numunesinin t.b.h.a. değerlerinde herhangi bir değişme meydana getirmemiştir.

%4 çimento katkılı toprağın optimum su içeriği %16, %6 çimento katkılı toprağın optimum su içeriği %15,5, %8 çimento katkılı toprağın optimum su içeriği %16, %10 çimento katkılı toprağın optimum su içeriği % 15 olarak belirlenmiştir. Doğal toprak içerisine ilave edilen çimento miktarı arttıkça mak. k.b.h.a.'larda azalma meydana geldiği görülmüştür. %4 çimento katkılı toprağın mak. k.b.h.a. $1,81t/m^3$, %6 çimento katkılı toprağın mak. k.b.h.a. $1,79t/m^3$, %8 çimento katkılı toprağın mak. k.b.h.a. $1,75t/m^3$ ve %10 çimento katkılı toprağın mak. k.b.h.a. $1,76t/m^3$ olarak belirlenmiştir. Doğal toprak içerisine ilave edilen çimento miktarı arttıkça ıslak C.B.R yüzdelere de artışlar meydana gelmiştir. %4 çimento katkılı toprağın ıslak C.B.R. yüzdesi % 28,6; %6 çimento katkılı toprağın ıslak C.B.R. yüzdesi % 64,8; %8 çimento katkılı toprağın ıslak C.B.R. yüzdesi % 141,0 olarak belirlenmiştir. %10 çimento katkılı toprağın ıslak C.B.R. yüzdesi ise okunamamıştır. Tüm çimento katkılı toprak numunelerinin şişme yüzdeleri %0,01 olarak belirlenmiştir. Yapılan atterberg limitleri deneylerinde çimento katkı miktarı arttıkça doğal toprağın plastik limit değerlerinde artış, plastisite indisi değerlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür. %4 çimento katkılı toprağın likit limiti 37, plastik limiti 24, plastisite indisi 13 olarak belirlenmiştir. %6 çimento katkılı toprağın likit limiti 37, plastik limiti 27, plastisite indisi 10 olarak belirlenmiştir. %8 çimento katkılı toprağın likit limiti 36, plastik limiti 33, plastisite indisi 3 olarak

belirlenmiştir. %10 çimento katkılı toprağın likit limiti 36, plastik limiti 35, plastisite indisi 1 olarak belirlenmiştir. Kullanılan çimento katkıları doğal toprak numunesinin t.b.h.a. değerlerinde herhangi bir değişme meydana getirmemiştir.

Bentonit numunesinin standart proctor deneyi (metod B) ile optimum su muhtevası (%34,8) ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı(1,12 t/m³) olarak belirlenmiştir. Bentonit ıslak C.B.R. deneyine tabi tutulduğunda şişme yüzdesi %80, ıslak C.B.R yüzdesi (%3,0) ve zemin tanımı (çok kötü) olarak belirlenmiştir. Bentonitin likit limiti 140, plastik limiti 47, plastisite indisi 93 olarak belirlenmiştir. Yapılan piknometre deneyi ile bentonitin t.b.h.a. 2,2(gr/cm³) olarak belirlenmiştir. Bentonit numunesi 4 gün süreyle düşen seviyeli permeabilite deneyine tabi tutulmuş ve bu süre içerisinde bentonitin içerisinde hiçbir su geçişi gözlenmemiş ve permeabilite katsayısı(k) değeri $1,73243 \times 10^{-9}$ cm/s' den daha düşük olarak belirlenmiştir. Belirlenen permeabilite değeri bentonit numunesinin çöp depolama alanlarında zehirli suların yer altı sularına sızmasını engellemek amacıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

Bentonit içerisine karıştırılan kireç katkıları bentonit numunesinin optimum su içeriği değerlerinde artış meydana getirmiştir. %4 kireç katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %34,8; %6 kireç katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %35; %8 kireç katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %35,3; %10 kireç katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %35,5 olarak belirlenmiştir. Kullanılan kireç katkıları bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. 'larında düşüş meydana getirmiştir. %4 kireç katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. 1,05 t/m³, %6 kireç katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. 1,08 t/m³, %8 kireç katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. 1,10t/m³, %10 kireç katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. 1,10 t/m³ olarak belirlenmiştir. Kullanılan kireç katkıları bentonit numunesinin ıslak C.B.R. değerlerinde artış meydana getirmiştir. %4 kireç katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi % 7,2 ve zemin tanımı(kötü-orta), %6 kireç katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi % 11,0 ve zemin tanımı (kötü-orta), %8 kireç katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi % 18,3 ve zemin tanımı(kötü-orta), %10 kireç katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R.

yüzdesi % 25,1 ve zemin tanımı (iyi) olarak belirlenmiştir. Kullanılan oranlardaki kireç katkıları bentonit numunesinin likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerlerinde azalma meydana getirmiştir. %4 kireç katkılı bentonit numunesinin likit limiti 125, plastik limiti 47, plastisite indisi 78 olarak belirlenmiştir. %6 kireç katkılı bentonit numunesinin likit limiti 117, plastik limiti 46, plastisite indisi 71 olarak belirlenmiştir. %8 kireç katkılı bentonit numunesinin likit limiti 99, plastik limiti 41, plastisite indisi 58 olarak belirlenmiştir. %10 kireç katkılı bentonit numunesinin likit limiti 97, plastik limiti 40, plastisite indisi 57 olarak belirlenmiştir. Kullanılan oranlardaki kireç katkıları bentonit numunesinin t.b.h.a. değerlerinde artış meydana getirmiş ve tüm kireç katkılı bentonit numunelerinin t.b.h.a. değerleri $2,3\text{gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir.

%4 çimento katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %34,6; %6 çimento katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %34,8; %8 çimento katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %34,6; %10 çimento katkılı bentonit numunesinin optimum su içeriği %34,8 olarak belirlenmiştir. Kullanılan oranlardaki çimento katkıları bentonit numunesinin mak. k.b.h.a.'nda artış meydana getirmiştir. %4 çimento katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,15\text{t/m}^3$, %6 çimento katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,18\text{t/m}^3$, %8 çimento katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,25\text{ t/m}^3$, %10 çimento katkılı bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,25\text{ t/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Kullanılan oranlardaki çimento katkıları bentonit numunesinin ıslak C.B.R. değerinde artış meydana getirmiştir. %4 çimento katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi (%23,6)ve zemin tanımı(iyi), %6 çimento katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi (%27,1) ve zemin tanımı(iyi), %8 çimento katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi (%27,1)ve zemin tanımı(iyi), %10 çimento katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi (%25,1) ve zemin tanımı(iyi) olarak belirlenmiştir. Bentonit içerisine ilave edilen çimento katkıları bentonit numunelerinin likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerlerinde azalma meydana getirmiştir. %4 çimento katkılı bentonit numunesinin likit limiti 91, plastik limiti 48, plastisite indisi 43 olarak belirlenmiştir. %6 çimento katkılı bentonit numunesinin likit limiti 85, plastik limiti 49, plastisite indisi 36 olarak belirlenmiştir. %8 çimento katkılı bentonit numunesinin likit limiti

78, plastik limiti 51, plastisite indisi 27 olarak belirlenmiştir. %10 çimento katkıli bentonit numunesinin likit limiti 76, plastik limiti 53, plastisite indisi 23 olarak belirlenmiştir. Kullanılan çimento katkıları bentonit numunesinin t.b.h.a. değerlerinde bir değişme meydana getirmemiştir.

Yapılan proktor deneyi neticesinde consolid444+%1solidry katkıli bentonitin optimum su içeriği %34, consolid444+%2solidry katkıli bentonitin optimum su içeriği %34,5 olarak belirlenmiştir. Kullanılan katkı oranları bentonitin mak. k.b.h.a. değerlerinde düşüş meydana getirmiştir. Consolid444+%1 solidry katkıli bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,08t/m^3$, consolid444+%2solidry katkıli bentonit numunesinin mak. k.b.h.a. $1,11t/m^3$ olarak belirlenmiştir. Kullanılan katkı oranları bentonitin ıslak C.B.R. değerlerinde artış meydana getirmiştir. Consolid444+%1 solidry katkıli bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi (%6,9) ve zemin tanımı (kötü-orta), consolid444+%2solidry katkıli bentonit numunesinin ıslak C.B.R. yüzdesi (%12,0) ve zemin tanımı(orta) olarak belirlenmiştir. Kullanılan katkı oranları bentonitin t.b.h.a. değerlerinde artış meydana getirmiş ve bu değer consolid444+%1ve%2 solidry katkıli bentonit numuneleri için $2,3gr/cm^3$ olarak belirlenmiştir. Kullanılan katkı oranları bentonit numunesinin likit limit değerlerinde azalma, plastik limit değerlerinde artma ve plastisite indisi değerlerinde azalma meydana getirmiştir. Consolid444+%1solidry katkıli bentonit numunesinin likit limiti 124, plastik limiti 50, plastisite indisi 74 olara belirlenmiştir. Consolid444+%2 solidry katkıli bentonit numunesinin likit limiti 103, plastik limiti 55, plastisite indisi 48 olarak belirlenmiştir.

Isparta Darıdere numunesi için bulunan sonuçlar taşıma gücü bakımından değerlendirildiğinde şu sonuca varılmaktadır. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde Isparta Darıdere numunesi için %6 kireç katkıli numunenin aynı oranda kullanılan çimento katkıli numuneye göre ve consolid444+%2solidry katkıli numuneye göre daha yüksek taşıma gücü değerinin elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca kirecin çimento ve consolid444+solidry katkılarına oranla daha ucuz olması sebebiyle bu doğal toprak numunesi için kullanılması gereken en uygun katkının %6 oranında kireç katkısının olduğu düşünülmektedir.

Beyaz bentonit numunesi için bulunan sonuçlar değerlendirildiğinde %10 kireç katkılı bentonit numunesinin ıslak C.B.R. değeri %25,1 olarak belirlenmiştir. %6 ve %8 çimento katkısı kullanıldığında ıslak C.B.R. değeri %27,1 olarak belirlenmiştir. Beyaz bentonit numunesi için kullanılması gereken en uygun katkının %10 oranında kireç veya %6 ile %8 oranında çimento katkılarından biri olarak seçilmesi uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- Acatay, A., Özkan, O., Yılmaz, M., 1973. Zemin mekaniği, D.S.İ., Isparta
- Atanur, A., 1973. Kireç stabilizasyonu ve yol yapımındaki tatbikatı, E.Ü. İnşaat Fakültesi Kütüphanesi
- Ay, Z., 2002. Bentonit üzerine boyarmaddelerin adsorpsiyonu, Sakarya üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, YÖK Merkezi
- Aytekin, M., 2004. Deneysel zemin mekaniği, Teknik yayınevi, Ankara
- Baradan, B., 2000. Yapı malzemesi II, D.E.Ü. inşaat mühendisliği bölümü yayını, yayın no: 207, İzmir
- Bell, F.G., 1993. Department of geology and applied geology, University of Natal, Durban
- Bowles, J.E., 1984. Physical and geotechnical properties of soils, McGraw-Hill Book Company
- Ciason, N., 1964. Toprak stabilizasyonu, Karayolları Genel Müdürlüğü, Yayın no: 122, Ankara
- Coduto, D.P., 1999. Geotechnical engineering, Principles and Practices, California State Polytechnic University, Pomona
- Demirel, Z., Aray, S., Kadioğlu, M., Orhan, F., Ali, A., 1991. Toprak ve stabilizasyon el kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü
- Dunn, I. S., Anderson, L.R., Kiefer, F.W., 1980. Geotechnical analysis, Utah State University, Canada
- Erdin, E., 1981. Çöp ve katı atıklar ders notu, D.E.Ü. Merkez kütüphanesi, İzmir,
- Erdin, E., 2005. web.deu.edu.tr (kişisel web adresi)
- Filibelli, A., 1996. Arıtma çamurlarının işlenmesi, D.E.Ü. Çevre mühendisliği bölümü, İzmir
- Kumbasar, V., Kip, F., 1969. İnşaat mühendisliğinde zemin mekaniği, İstanbul
- Kumbasar, V., Kip, F., Önalp, A., 1970. Yol mühendisleri için zemin mekaniği, İ.T.Ü yayını, yayın no: 783, İstanbul

Karol, R.H., 1960. Soils and soil engineering, New Jersey

Lee, I.K., White, W., Ingles, O.G., 1983. Geotechnical engineering, The University of New South Wales, Australia

Önalp, A., 1982. İnşaat mühendislerine geoteknik bilgisi, Cilt II, K.T.Ü yayını, yayın no: 187, Trabzon

Özaydın, K., 1989. Zemin mekaniği, Yıldız Ü. İnşaat Müh. Böl., İstanbul

Raj, P.P., 1995. Geotechnical engineering, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi

Tschebotarioff, G.P., 1951. Soil mechanics, foundation and earth structures, Princeton University, Tokyo

Uzuner, B.A., 1998. Çözümlü problemlerle temel zemin mekaniği, Teknik yayınevi, Ankara

Uzuner, B.A., 2000. Temel mühendisliğine giriş, Derya kitapevi, Trabzon

Kocasoy, G., Nas, B., Berktaş, A., 2003. 2. Ulusal katı atık kongresi, D.E.Ü. Çevre mühendisliği bölümü ve çevre araştırma ve uygulama merkezi, İzmir

Katı atıkların kontrolü yönetmeliği, 1991

Türk standartları enstitüsü, TS 1900/Nisan 1975. İnşaat mühendisliğinde zemin deneyleri, Ankara

EKLER

Ek Çizelge 1. Kirecin karma oksit bileşenleri (Öztüre kireççilik San ve Tic. A.Ş.)

ANALİZ SONUCU			BULUNAN HESAPLAMA SONUCU		
BİLEŞENLER			BİLEŞENLER		
ADI	FORMÜL Ü	%	ADI	FORMÜL Ü	%
Silisyum di oksit	SiO ₂	0,60	Kalsiyum karbonat	CaCO ₃	10,20
Demir(II) Oksit	Fe ₂ O ₃	0,30	Magnezyum karbonat	MgCO ₃	-
Alüminyum oksit	Al ₂ O ₃	0,20	Toplam kükürt	S	0,20
Kalsiyum Hidroksit	Ca(OH) ₂	87,00	ELEK ANALİZİ		
Kalsiyum oksit	CaO	-	ELEK AÇIKLIĞI	% Dağılım f	Kümülati EÜ
Magnezyum Oksit	MgO	0,60	+38 mikron		
Kızdırma Kaybı	CO ₂	-	+50 mikron		
Kaba nem	H ₂ O	0,80	+90 mikron	8	
Çözünmeyen maddeler	AÇM	0,10	AÇIKLAMALAR		
Diğer edilemeyen maddeler	Diğer tayin	0,00			

Analizler TS EN 459-2 YE GÖRE YAPILMIŞTIR

Ek Çizelge 2. Beyaz bentonitin karma oksit bileşenleri (Esan endüstriyel hammaddeler sanayi ve ticaret A.Ş.)

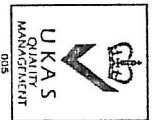
KİMYASAL ANALİZ	(%)
SiO ₂	72,10
Al ₂ O ₃	13,90
Fe ₂ O ₃	0,74
TiO ₂	0,06
CaO	1,69
MgO	1,18
K ₂ O	2,13
Na ₂ O	0,57



GÖLTAŞ GÖLLER BÖLGESİ ÇİMENTO FABRİKASI
KALİTE KONTROL LABORATUVARI

AYLIK ÇİMENTO ANALİZ SONUÇLARI

ÜRÜN : TS EN 197-1-CEM I 42,5 R
TARİH : Temmuz 05



TARİH	Blaine(*) (cm ² /g)	Özgül Ağ.(*) (mm)	Priz Bas. (Dak.)	Genleşme (mm)	Mukavemet Değerleri (MPa)		SO ₃ (%)	K.K (%)	Ç.K (%)	C.I. (%)
					B2	B7(*)				
03.07.2005	2980	3,09	165	1	25,9	38,3	2,67	3,20	0,38	0,006
07.07.2005	2880	3,09	170	1	25,0	37,5	2,67	3,15	0,71	0,005
12.07.2005	2960	3,09	165	0	26,2	39,0	2,73	2,76	0,61	0,004
14.07.2005	2860	3,09	170	0	25,7	38,1	2,67	3,32	0,68	0,005
19.07.2005	2960	3,09	160	2	25,1	38,5	2,58	3,09	0,40	0,003
21.07.2005	2920	3,11	165	2	25,3	38,6	2,69	3,25	0,40	0,002
24.07.2005	2860	3,09	160	1	25,9		2,68	3,47	0,40	0,006
28.07.2005	2860	3,08	160				2,66	3,26	0,35	0,001

Ort	2910	3,09	164	1	25,6	38,3	#SAYI/01	2,67	3,19	0,49	0,004
Min.	2860	3,08	160	0	25	37,5	0	2,58	2,76	0,35	0,001
Max.	2980	3,11	170	2	26,2	39	0,0	2,73	3,47	0,71	0,006

(*)Bu kriterler TS EN 197-1 Çimento Standartlarından kaldırılmıştır. Bilgi edinilmesi amacıyla verilmektedir.

Gülşay Selçuk
Kalite Güvence Şefi
Jeokimya Y. müh.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Şevki EREN

Doğum Yeri : İzmir

Doğum Yılı : 15/08/1979

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Akademik durumu:

1993.1996 : İzmir Çınarlı Endüstri Meslek Lisesinde Lise Öğrenimi

1997.2002 : Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümünde
“Yapı Öğretmeni” ünvanı ile mezuniyet

2003 Şubat : Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi
Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa Başlama