

Kireç, Uçucu Kül Ve Mermer Tozu İle Zemin Stabilizasyonu

Ground Stabilization With Lime, Fly Ash And Marble Powder

Neslihan ÖZPOLAT

* TEİAŞ 13. Bölge Müdürlüğü, Elazığ, Türkiye

Geliş Tarihi : 25.05.2020

Kabul Tarihi : 01.06.2020

ÖZET

Stabilizasyon zemin mekaniğinde daha iyi bir zemin elde etmek için yapılan sıkışmadır. Zayıf dayanım özelliklerine sahip zemin yapısının mekanik, fiziksel ve kimyasal iyileştirme yöntemleri ile dış kuvvetlere dayanıklı hale getirilmesine zemin stabilizasyonu (iyileştirme) denir.

İnşaat sahalarında karşılaşılan zeminlerin her zaman istenilen özelliklere sahip olmadığı durumlarda geoteknik mühendisi, arazide zemin özelliklerinin getirdiği sınırlamaları olduğu gibi kabul etmek veya tasarım kriterlerini sağlayacak şekilde bu özellikleri iyileştirmek durumundadır.

Zemin stabilizasyonu, mekanik araçlarla zeminin boşluk oranının azaltılması, zemin ortamdaki suyun uzaklaştırılması ve zemine donatılar yerleştirilmesi işlemlerinden oluşur. Zeminlerde kuru birim ağırlık-su içeriği ilişkilerinin bulunmasında amaç, o zeminin belirli bir sıkıştırma enerjisiyle maksimum kuru birim ağırlığını ve optimum su içeriğini bulmaktır. Silindrsel bir pistonun belirli bir hızla zemine itilerek elde edilen yük - penetrasyon bağıntısının (kaliforniya taşıma oranı) bulunmasını kapsar. Penetrasyon herhangi bir değer için, ölçülen yükün standart bir yüke oranı olarak tanımlanır. CBR oranı bulunurken 2,5 mm ve 5 mm' lik penetrasyonlara göre CBR değeri seçilir.

Bu çalışmada bentonit kiline %10 kireç, %15 uçucu kül devamında %10 kireç, %15 uçucu kül ve sırası ile %5, %10, %15 mermer tozu ilave edilerek yapılmıştır. Bu numuneler homojen olarak karıştırıldıktan sonra CBR deneyi için günlük, 7 günlük ve 14 günlük küre bırakılmışlardır.

Elde edilen verilere göre bentonit kiline eklenen her katkı maddesinde zeminin mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonit, kireç, uçucu kül, mermer tozu, CBR.

ABSTRACT

Stabilization is the compression made to obtain a better ground in soil mechanics. It is called ground stabilization (improvement) to make the ground structure with weak strength characteristics resistant to external forces by mechanical, physical and chemical improvement methods.

In cases where the floors encountered in construction sites do not always have the desired properties, the geotechnical engineer has to accept the limitations of the ground properties on the land as they are or improve these features to meet the design criteria.

Ground stabilization consists of reducing the space of the ground with mechanical tools, removing water from the ground and placing reinforcements on the ground. The purpose of finding dry unit weight-water content relationships in the floors is to find the maximum dry unit weight and optimum water content of that ground with a certain compression energy. It involves finding the load - penetration relation (california transport rate) obtained by pushing a cylindrical piston into the ground at a certain speed. Penetration is defined as the ratio of the measured load to a standard load for any value. While the CBR ratio is found, the CBR value is chosen according to the penetrations of 2.5 mm and 5 mm.

In this study, 10% lime, 15% fly ash followed by 10% lime, 15% fly ash and 5%, 10%, 15% marble powder were added to bentonite clay. After mixing these samples homogeneously, daily, 7-day and 14-day spheres were left for the CBR experiment. According to the data obtained, it was observed that the strength of the ground increased in each additive added to bentonite clay.

Keywords: Betonite, lime, fly ash, marble powder, CBR.

Sorumlu Yazar: neslihantoy@hotmail.com

1. GİRİŞ

Zeminlerin katkı maddeleri ile iyileştirilmesi işleminde zeminlerin mekanik özelliklerinde çevre ve yükleme koşullarına göre gerekli değişikliklerin sağlanması güvenli, ucuz ve doğal bir malzeme gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Katkı maddeleri ile iyileştirme işlemleri ulaşım, su yapıları, yapı temel inşaattan, katı atık depolama tesislerinde uygulanmaktadır. Çimento, kireç, uçucu kül, bitüm, klorit, lignin, melas ve özel kimyasal bileşikler katkı maddesi olarak sayılabilir [1].

Stabilizasyon işleminin değerlendirilmesinde fiziksel, mekanik tekniklerin yanı sıra kimyasal etkilerin de göz önünde tutulmasıdır. Genel olarak kimyasal işlemler tek yönlüdür. Reaksiyon tamamlandıktan sonra katılan zemin niteliklerini kolayca kaybetmez [2].

Kireç bilinen en eski stabilizasyon malzemesidir. Kil içeren zeminlerin önemli bir bölümü % 3-8 arası sönmüş kireç eklenmesiyle iyileşmektedir. Kireç kil mineralindeki silisle reaksiyona girer. Oluşan jel kil danelerini çevreleyip boşlukları tıkar. Kireçle stabilizasyonda en zararlı etken zeminde bulunabilecek organik malzemedir. Organik madde ve sülfat iyonunun varlığı önceleri stabilizasyonun olumsuz etkilendiğini belli etmemekte, ancak daha sonra kuruma ıslanma olduğunda zemin ufalanmaktadır [3]. Zeminle karıştırıldığında kirecin ilk etkisi plastisiteyi düşürmektir. Ortamın pH'ı azaldığından zemin yapısı flokleşmekte, böylece ağır killerin işlenmesi kolaylaşmaktadır. Kireçle stabilizasyonun başarısını artıran en önemli unsur zeminde amorf durumda bulunan silikat miktarı ve aluminat içeriğidir. Büyük projelerde zeminin hangi yüzdede kirece gereksinimi olduğunu saptamak için en uygun yolun laboratuvar çalışması ile 7-14 -28 gün bekletme (kür) süresi dikkate alınarak, kireç katkı optimum değeri bulunmalıdır [4].

Uçucu küller, kendi başlarına bağlayıcı özelliği olmayan ancak sulu ortamda kireçle birleştiklerinde bağlayıcı özellik kazanan puzolanik malzemelerdir. Kireç ve su ile karıştırıldıktan sonra artan süre ile birlikte uçucu küllerin puzolanik özellikleri nedeniyle uçucu kül katkılı zemin belirli bir süre sonunda dayanım kazanır [5]. Uçucu küllerde puzolonik özelliğin esas olan bu dayanım kazanma özelliği oldukça yavaş olarak ortaya çıkar. Artan süreyle birlikte uçucu küllerin puzolonik özellikleri anar. Ayrıca CaO miktarı yüksek uçucu küller daha iyi puzolanik özellik göstermektedir. Uçucu küllerin puzolonik özelliği ve mekanik dayanım incelikte birlikte artmaktadır. Uçucu külün puzolonik malzeme olarak kullanılabilirliği, uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri tarafından belirlenir. Oluşan değişiklikler sadece uçucu külün meydana geldiği mineral malzemenin değişen miktarından değil, kömürün yakıldığı kazanın çalışma durumundan, kömürün yanmadan önceki öğütülme inceliğinden ve çevre kirliliği kontrolü için kömürle karıştırılan katta maddelerinden de meydana gelir. Küldeki bu değişiklik puzolonik aktivite tayinini ve standart puzolonik aktivite testlerinin yapılmasını engeller[6].

Yol inşaatı ve zemin iyileştirmesinde mermer toz atıklarının çamur halinde büyük hacimde kullanılabileceği bir alandır. Bu alandaki kullanım, diğer alanlardakine oranla çok daha fazla olacaktır. Bu durum yol ve zemin inşaatındaki uygulanabilirliği üzerine araştırmaların yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Yol inşaatında değerlendirilebilirliği ile ilgili farklı çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan biri; kırmızı çöl kumlarının stabilizasyonunda kullanılmış ve verimi artırdığı gözlemlenmiştir [7]. Genellikle kullanılabilirliğini test etmek için Atterberg limit, Kaliforniya taşıma oranı (CBR), basınç, Proctor gibi testler uygulanmıştır[8].

YÖNTEM

Stabilizasyon işlemi için laboratuvarında önceden belirlenmiş oranlarda karışımlar hazırlanmıştır. 24 saat 105±5oC'lık etüvde kurutulmuştur. Kurutulan malzemeler hassas terazide ağırlıkça yüzdelerine tartılarak mikserde karıştırılmıştır. Deneyler farklı karışımlar üzerinde yapılmıştır. İlk deney numunesi %10 Bentonit kili olarak belirlenmiştir. İkinci karışıma sadece %10 Kireç ilave edilmiştir. Üçüncü karışıma sadece %15 uçucu kül ilave edilmiştir. Sonraki karışımlarda ise %10 Kireç ve %15uçucu kül sabit tutularak sırasıyla %5, %10, %15 oranlarında mermer tozu karıştırılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan Katkı Oranları

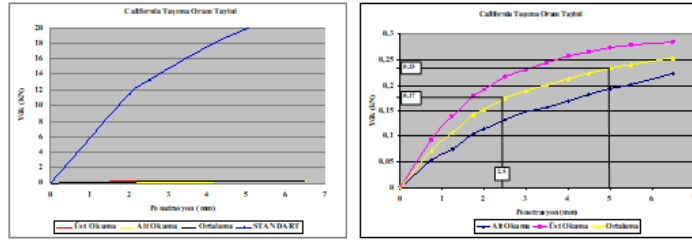
Sıra No	Karışımlar
1	%100 Kil+ %10 Su
2	%100 Kil+ %20 Su
3	%100 Kil+ %30 Su
4	%100 Kil+ %40 Su
5	%100 Kil+ %50 Su
6	%100 Kil+ %10 Kireç+ %10 Su
7	%100 Kil+ %10 Kireç+ %20 Su
8	%100 Kil+ %10 Kireç+ %30 Su
9	%100 Kil+ %10 Kireç+ %40 Su
10	%100 Kil+ %10 Kireç+ %50 Su
11	%100 Kil+ % 15 Uçucu Kül+ %10 Su
12	%100 Kil+ % 15 Uçucu Kül+ %20 Su
13	%100 Kil+ % 15 Uçucu Kül+ %30 Su
14	%100 Kil+ % 15 Uçucu Kül+ %40 Su
15	%100 Kil+ % 15 Uçucu Kül+ %50 Su
16	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %5 Mermer Tozu+ %10 Su
17	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %5 Mermer Tozu+ %20 Su
18	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %5 Mermer Tozu+ %30 Su
19	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %5 Mermer Tozu+ %40 Su
20	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %5 Mermer Tozu+ %50 Su
21	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %10 Mermer Tozu+ %10 Su
22	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %10 Mermer Tozu+ %20 Su
23	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %10 Mermer Tozu+ %30 Su
24	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %10 Mermer Tozu+ %40 Su
25	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %10 Mermer Tozu+ %50 Su
26	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %15 Mermer Tozu+ %10 Su
27	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %15 Mermer Tozu+ %20 Su
28	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %15 Mermer Tozu+ %30 Su
29	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %15 Mermer Tozu+ %40 Su
30	%100 Kil+ %10 Kireç+ % 15 Uçucu Kül+ %15 Mermer Tozu+ %50 Su

Karışımlar suları ilave edilip suyun karışım içerisinde homojen dağılmasını sağlamak amacı ile 1 gün ağzı kapalı olacak şekilde (karışım içerisinde konan su yüzdesi kaybolmayacak şekilde) bekletildikten sonra deneye tabi tutulmuştur. Her deney sonucunda da elde edilen veriler ışığında o karışıma ait deneysel grafik çizdirilerek her bir karışım için optimum su muhtevası (wopt) ve kuru birim ağırlık (γ_{kmak}) tespit edilmiştir.

BULGULAR

Tablo 2. Günlük Kil Numunesinin Sonuçları

KUV. HALK. KATSAYISI(kN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Sadece Kil					
ÖRNEĞİN TANIMI		Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	46	0,09	26	0,05			0,07
1,25	68	0,14	37	0,08			0,11
1,75	88	0,18	52	0,11			0,14
2	94	0,19	56	0,11	11,5	1,33	0,15
2,5	106	0,22	65	0,13	13,24	1,32	0,17
3	113	0,23	73	0,15			0,19
3,5	120	0,24	77	0,16			0,20
4	126	0,26	83	0,17	17,6	1,21	0,21
4,5	130	0,27	89	0,18			0,22
5	134	0,27	95	0,19	19,96	1,17	0,23
5,5	137	0,28	99	0,20			0,24
6,5	140	0,29	109	0,22			0,25

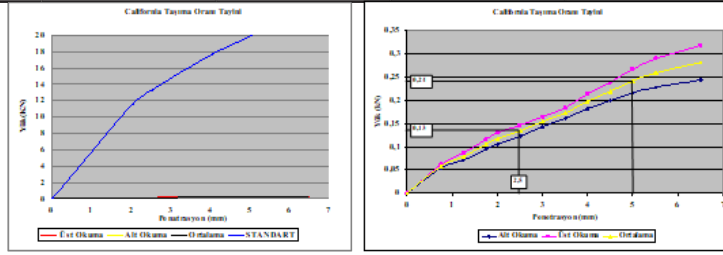


Standart Deney Uygulması
Grafik 1. Günlük Kil Numunesinin Sonuçları

Deney sonunda 2,5 mm ve 5 mm 'lik penetrasyonlara denk gelen CBR oranları karşılaştırılarak ve büyük olan CBR değeri taşıma oranı olarak kabul edilir. 2,5 mm de cbr oranı 1,32 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,17 cbr oranı bulunmuştur. 1,32 değeri daha yüksek olduğu için bu değer kabul edilmiştir.

Tablo 3. 7 Günlük Kil Numunesinin Sonuçları

KUV. HALK. KATSAYISI(kN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Sadece Kil					
ÖRNEĞİN TANIMI		7 Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	30	0,06	27	0,06			0,06
1,25	43	0,09	35	0,07			0,08
1,75	57	0,12	47	0,10			0,11
2	64	0,13	52	0,11	11,5	1,03	0,12
2,5	72	0,15	60	0,12	13,24	1,02	0,13
3	81	0,17	70	0,14			0,15
3,5	90	0,18	79	0,16			0,17
4	105	0,21	89	0,18	17,6	1,12	0,20
4,5	117	0,24	98	0,20			0,22
5	131	0,27	106	0,22	19,96	1,21	0,24
5,5	142	0,29	112	0,23			0,26
6,5	156	0,32	120	0,24			0,28

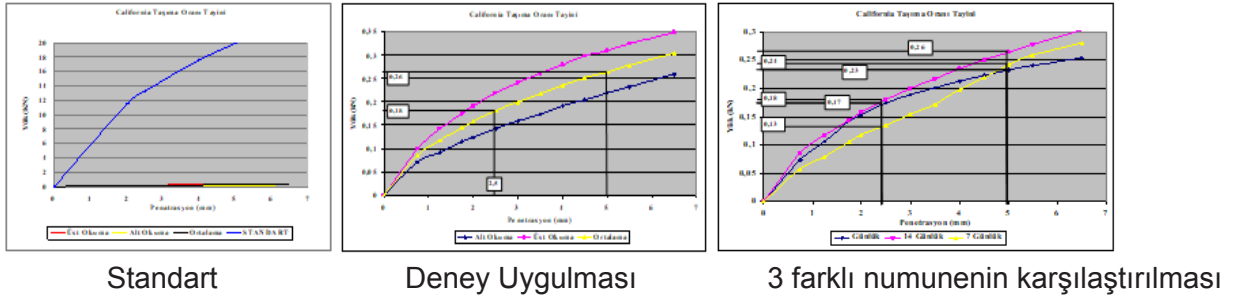


Standart Deney Uygulması
Grafik 2. 7 Günlük Kil Numunesinin Sonuçları

2,5 mm de cbr oranı 1,02 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,21 cbr oranı bulunmuştur. 1,02 ile 1,21 cbr oranları karşılaştırılır ve 5 mm'lik cbr oranı(1,21) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 1,21 seçilir.

Tablo 4. 14 Günlük Kil Numunesinin Sonuçları

KUV. HALK. KATSAYISI(kN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Sadece Kil					
ÖRNEĞİN TANIMI		14 Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	49	0,10	35	0,07			0,09
1,25	70	0,14	45	0,09			0,12
1,75	86	0,18	56	0,11			0,14
2	94	0,19	61	0,12	11,5	1,37	0,16
2,5	107	0,22	70	0,14	13,24	1,36	0,18
3	118	0,24	78	0,16			0,20
3,5	128	0,26	85	0,17			0,22
4	137	0,28	94	0,19	17,6	1,34	0,24
4,5	146	0,30	100	0,20			0,25
5	152	0,31	107	0,22	19,96	1,32	0,26
5,5	159	0,32	114	0,23			0,28
6,5	171	0,35	127	0,26			0,30

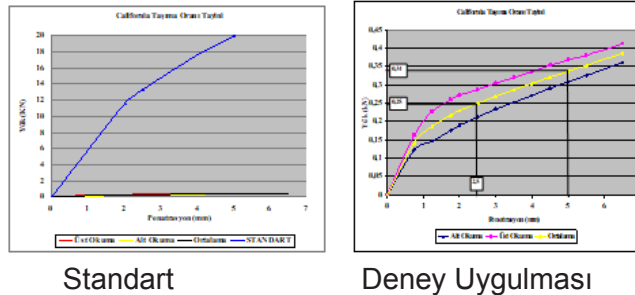


Grafik 3. 14 Günlük Kil Numunesinin Sonuçları

2,5 mm de cbr oranı 1,36 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,32 cbr oranı bulunmuştur. 1,36 ile 1,32 cbr oranları karşılaştırılır ve 2,5 mm'lik cbr oranı(1,36) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 1,36 seçilir.

Tablo 5. 7 Günlük Kil Numunesinin Sonuçları

KUV. HALK. KATSAYISI(KN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil + % 10 Kireç					
ÖRNEĞİN TANIMI		Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	80	0,16	60	0,12			0,14
1,25	112	0,23	72	0,15			0,19
1,75	127	0,26	86	0,18			0,22
2	133	0,27	93	0,19	11,5	2,00	0,23
2,5	141	0,29	104	0,21	13,24	1,89	0,25
3	149	0,30	115	0,23			0,27
3,5	157	0,32	124	0,25			0,29
4	165	0,34	133	0,27	17,6	1,73	0,30
4,5	173	0,35	143	0,29			0,32
5	180	0,37	151	0,31	19,96	1,69	0,34
5,5	187	0,38	160	0,33			0,35
6,5	202	0,41	177	0,36			0,39

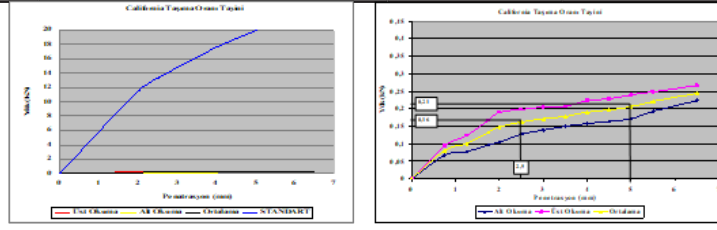


Grafik 4. Günlük Kil+Kireç Numunesinin Sonuçları

2,5 mm de cbr oranı 1,89 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,69 cbr oranı bulunmuştur. 1,89 ile 1,69 cbr oranları karşılaştırılır ve 2,5 mm'lik cbr oranı(1,89) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 1,89 seçilir.

Tablo 6. 7 Günlük Kil Numunesinin Sonuçları

KUV. HALK. KATS. (kN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil + % 10 Kireç					
ÖRNEĞİN TANIMI		7 Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	46	0,09	33	0,07			0,08
1,25	60	0,12	38	0,08			0,10
1,75	82	0,17	47	0,10			0,13
2	93	0,19	51	0,10	11,5	1,28	0,15
2,5	97	0,20	62	0,13	13,24	1,22	0,16
3	100	0,20	68	0,14			0,17
3,5	101	0,21	73	0,15			0,18
4	109	0,22	77	0,16	17,6	1,08	0,19
4,5	112	0,23	80	0,16			0,20
5	117	0,24	84	0,17	19,96	1,03	0,21
5,5	122	0,25	94	0,19			0,22
6,5	130	0,27	109	0,22			0,24



Standart

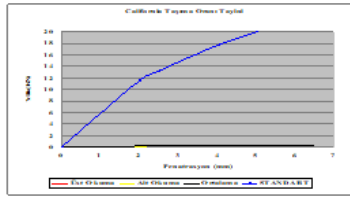
Deney Uygulması

Grafik 5. 7 Günlük Kil+Kireç Numunesinin Sonuçları

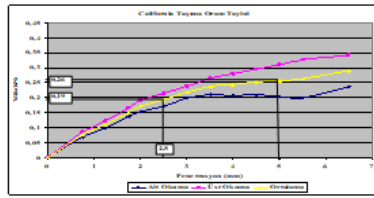
2,5 mm de cbr oranı 1,22 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,03 cbr oranı bulunmuştur. 1,22 ile 1,03 cbr oranları karşılaştırılır ve 2,5 mm'lik cbr oranı(1,22) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 1,22 seçilir.

Tablo 7. 14 Günlük Kil+Kireç Numunesinin Sonuçları

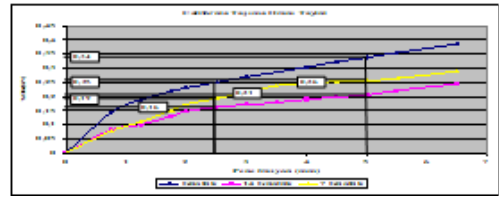
KUV. HALK. KATS. (kN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil + % 10 Kireç					
ÖRNEĞİN TANIMI		14 Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	42	0,09	34	0,07			0,08
1,25	60	0,12	48	0,10			0,11
1,75	81	0,17	67	0,14			0,15
2	94	0,19	75	0,15	11,5	1,50	0,17
2,5	105	0,21	84	0,17	13,24	1,46	0,19
3	117	0,24	97	0,20			0,22
3,5	130	0,27	103	0,21			0,24
4	137	0,28	102	0,21	17,6	1,39	0,24
4,5	145	0,30	103	0,21			0,25
5	152	0,31	100	0,20	19,96	1,29	0,26
5,5	160	0,33	98	0,20			0,26
6,5	168	0,34	116	0,24			0,29



Standart



Deney Uygulaması



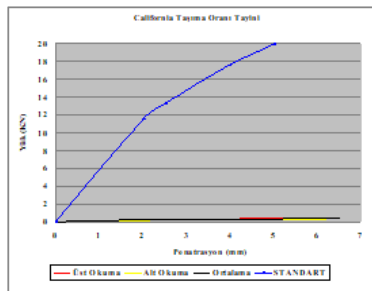
3 farklı numunenin karşılaştırılması

Grafik 6.14 Günlük Kil+Kireç Numunesinin Sonuçları

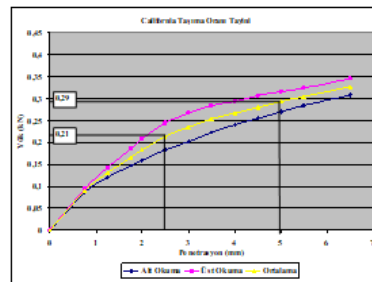
2,5 mm de cbr oranı 1,46 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,29 cbr oranı bulunmuştur. 1,46 ile 1,29 cbr oranları karşılaştırılır ve 2,5 mm'lik cbr oranı(1,46) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 1,46 seçilir.

Tablo 8. Günlük Kil+Uçucu Kül Numunesinin Sonuçları

KUV. HALK. KATS. (kN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil + % 15 Uçucu Kül					
ÖRNEĞİN TANIMI		Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	46	0,09	42	0,09			0,09
1,25	70	0,14	59	0,12			0,13
1,75	91	0,19	72	0,15			0,17
2	102	0,21	78	0,16	11,5	1,60	0,18
2,5	120	0,24	90	0,18	13,24	1,62	0,21
3	131	0,27	99	0,20			0,23
3,5	139	0,28	109	0,22			0,25
4	144	0,29	118	0,24	17,6	1,52	0,27
4,5	150	0,31	125	0,26			0,28
5	155	0,32	132	0,27	19,96	1,47	0,29
5,5	159	0,32	139	0,28			0,30
6,5	169	0,34	151	0,31			0,33



Standart



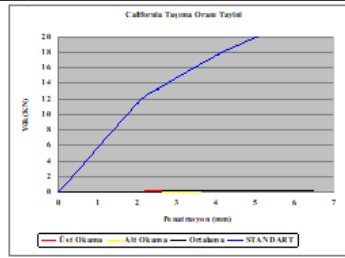
Deney Uygulaması

Grafik 7. Günlük Kil+Uçucu Kül Numunesinin Sonuçları

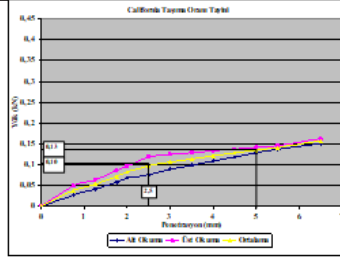
2,5 mm de cbr oranı 1,62 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,47 cbr oranı bulunmuştur. 1,62 ile 1,47 cbr oranları karşılaştırılır ve 2,5 mm'lik cbr oranı(1,62) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 1,62 seçilir.

Tablo 9. 7 günlük Kil+Uçucu Kül Numunesinin Sonuçları

KUV. HALK. KATS. (kN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil + % 10 Kireç					
ÖRNEĞİN TANIMI		7 Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	24	0,05	13	0,03			0,04
1,25	31	0,06	20	0,04			0,05
1,75	42	0,09	28	0,06			0,07
2	47	0,10	33	0,07	11,5	0,71	0,08
2,5	58	0,12	37	0,08	13,24	0,73	0,10
3	61	0,12	43	0,09			0,11
3,5	63	0,13	48	0,10			0,11
4	65	0,13	53	0,11	17,6	0,68	0,12
4,5	67	0,14	58	0,12			0,13
5	69	0,14	63	0,13	19,96	0,67	0,13
5,5	71	0,14	67	0,14			0,14
6,5	79	0,16	74	0,15			0,16



Standart



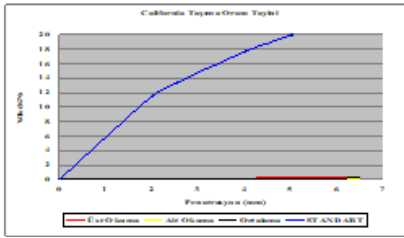
Deney Uygulması

Grafik 8. 7 günlük Kil+Uçucu Kül Numunesinin Sonuçları

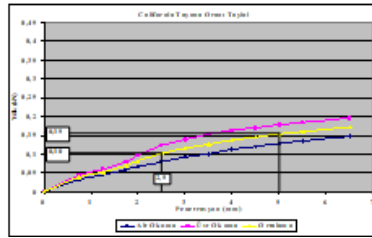
2,5 mm de cbr oranı 0,73 bulunmuştur. 5 mm de ise 0,67 cbr oranı bulunmuştur. 0,73 ile 0,67 cbr oranları karşılaştırılır ve 2,5 mm'lik cbr oranı(0,73) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 0,73 seçilir.

Tablo 10. 14 Günlük Kil+Uçucu Kül Numunesinin Sonuçları

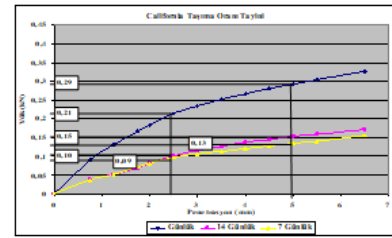
KUV. HALK. KATS. (kN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil + % 15 Uçucu Kül					
ÖRNEĞİN TANIMI		14 Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	21	0,04	16	0,03			0,04
1,25	29	0,06	22	0,04			0,05
1,75	39	0,08	29	0,06			0,07
2	47	0,10	33	0,07	11,5	0,71	0,08
2,5	60	0,12	39	0,08	13,24	0,76	0,10
3	68	0,14	45	0,09			0,12
3,5	75	0,15	49	0,10			0,13
4	80	0,16	55	0,11	17,6	0,78	0,14
4,5	83	0,17	59	0,12			0,14
5	87	0,18	63	0,13	19,96	0,77	0,15
5,5	90	0,18	66	0,13			0,16
6,5	96	0,20	72	0,15			0,17



Standart



Deney Uygulması



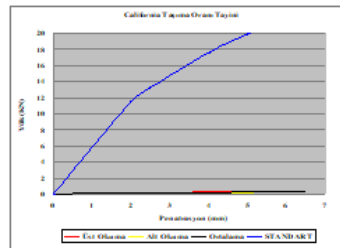
3 farklı numunenin karşılaştırılması

Grafik 9.14 Günlük Kil+Uçucu Kül Numunesinin Sonuçları

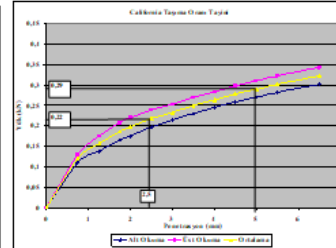
2,5 mm de cbr oranı 0,76 bulunmuştur. 5 mm de ise 0,77 cbr oranı bulunmuştur. 0,76 ile 0,77 cbr oranları karşılaştırılır ve 5 mm'lik cbr oranı(0,77) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 0,77 seçilir.

Tablo 11. Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%5 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

KUV. HALK. KATS. (kN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil+%10 Kireç+%15 Uç. Kül+%5 Mer. Tozu					
ÖRNEĞİN TANIMI		Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	64	0,13	54	0,11			0,12
1,25	86	0,18	68	0,14			0,16
1,75	102	0,21	81	0,17			0,19
2	108	0,22	86	0,18	11,5	1,72	0,20
2,5	117	0,24	97	0,20	13,24	1,65	0,22
3	124	0,25	105	0,21			0,23
3,5	132	0,27	113	0,23			0,25
4	139	0,28	120	0,24	17,6	1,50	0,26
4,5	146	0,30	127	0,26			0,28
5	152	0,31	132	0,27	19,96	1,45	0,29
5,5	158	0,32	138	0,28			0,30
6,5	168	0,34	148	0,30			0,32



Standart



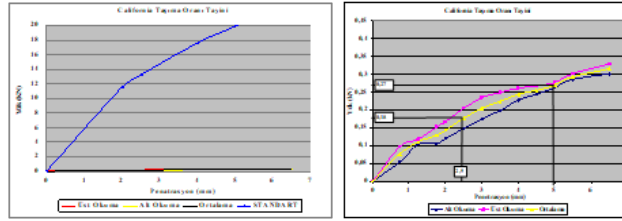
Deney Uygulması

Grafik 10. Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%5 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

2,5 mm de cbr oranı 1,65 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,45 cbr oranı bulunmuştur. 1,65 ile 1,45 cbr oranları karşılaştırılır ve 2,5 mm'lik cbr oranı(1,65) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 1,65 seçilir.

Tablo 12.7 Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%5 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

KUV. HALK. KATS. (kN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil+%10 Kireç+%15 Uç. Kül+% 5 Mer. Tozu					
ÖRNEĞİN TANIMI		7 Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (kN)	Alt Okuma	Yük (kN)	Standart Yük (kN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	48	0,10	27	0,06			0,08
1,25	58	0,12	46	0,09			0,11
1,75	75	0,15	52	0,11			0,13
2	82	0,17	59	0,12	11,5	1,25	0,14
2,5	101	0,21	73	0,15	13,24	1,34	0,18
3	115	0,23	86	0,18			0,21
3,5	123	0,25	98	0,20			0,23
4	128	0,26	112	0,23	17,6	1,39	0,24
4,5	131	0,27	120	0,24			0,26
5	138	0,28	125	0,26	19,96	1,34	0,27
5,5	144	0,29	125	0,26			0,27
6,5	162	0,33	129	0,26			0,30



Standart

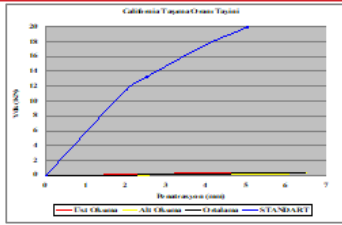
Deney Uygulması

Grafik 11. 7 Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%5 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

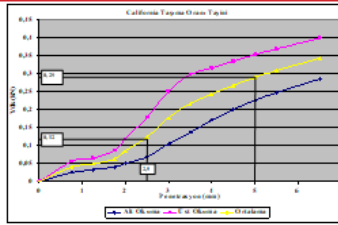
2,5 mm de cbr oranı 1,34 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,35 cbr oranı bulunmuştur. 1,34 ile 1,35 cbr oranları karşılaştırılır ve 5 mm'lik cbr oranı(1,35) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 1,35 seçilir.

Tablo 13. 14 Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%5 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

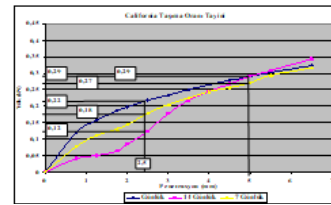
KUV. HALK. KATS. (kN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil+%10 Kireç+%15 Uç. Kül+% 5 Mer. Tozu					
ÖRNEĞİN TANIMI		14 Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (kN)	Alt Okuma	Yük (kN)	Standart Yük (kN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	28	0,06	12	0,02			0,04
1,25	37	0,08	16	0,03			0,05
1,75	49	0,10	20	0,04			0,07
2	58	0,12	25	0,05	11,5	0,74	0,08
2,5	88	0,18	34	0,07	13,24	0,94	0,12
3	123	0,25	51	0,10			0,18
3,5	146	0,30	67	0,14			0,22
4	155	0,32	84	0,17	17,6	1,39	0,24
4,5	164	0,33	98	0,20			0,27
5	173	0,35	111	0,23	19,96	1,45	0,29
5,5	181	0,37	121	0,25			0,31
6,5	196	0,40	140	0,29			0,34



Standart



Deney Uygulması



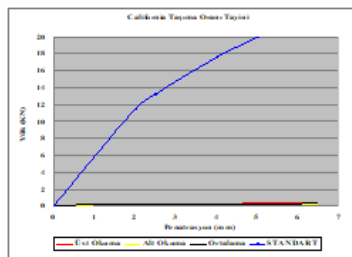
3 farklı numunenin karşılaştırılması

Grafik 12.14 Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%5 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

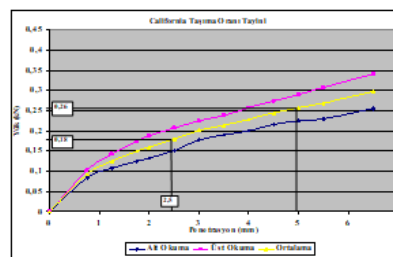
2,5 mm de cbr oranı 0,94 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,45 cbr oranı bulunmuştur. 0,94 ile 1,45 cbr oranları karşılaştırılır ve 5 mm'lik cbr oranı(1,45) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 1,45 seçilir.

Tablo 14. Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%10 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

KUV. HALK. KATS. (kN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil+%10 Kireç+%15 Uç.Kül+%10 Mer. Tozu					
ÖRNEĞİN TANIMI		Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	50	0,10	41	0,08			0,09
1,25	70	0,14	53	0,11			0,13
1,75	86	0,18	61	0,12			0,15
2	92	0,19	65	0,13	11,5	1,39	0,16
2,5	102	0,21	74	0,15	13,24	1,36	0,18
3	110	0,22	87	0,18			0,20
3,5	117	0,24	93	0,19			0,21
4	126	0,26	98	0,20	17,6	1,30	0,23
4,5	134	0,27	106	0,22			0,24
5	142	0,29	110	0,22	19,96	1,29	0,26
5,5	151	0,31	113	0,23			0,27
6,5	167	0,34	125	0,26			0,30



Standart



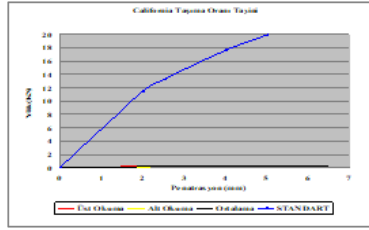
Deney Uygulması

Grafik 13. Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%10 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

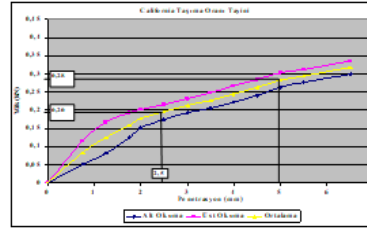
2,5 mm de cbr oranı 1,36 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,29 cbr oranı bulunmuştur. 1,36 ile 1,29 cbr oranları karşılaştırılır ve 2,5 mm'lik cbr oranı(1,36) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 1,36 seçilir.

Tablo 157 Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%10 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

KUV. HALK. KATS. (KN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil+%10 Kireç+%15 Uç. Kül+% 10 Mer. Tozu					
ÖRNEĞİN TANIMI		7 Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	57	0,12	25	0,05			0,08
1,25	82	0,17	40	0,08			0,12
1,75	95	0,19	61	0,12			0,16
2	99	0,20	75	0,15	11,5	1,54	0,18
2,5	106	0,22	86	0,18	13,24	1,48	0,20
3	114	0,23	95	0,19			0,21
3,5	122	0,25	101	0,21			0,23
4	131	0,27	109	0,22	17,6	1,39	0,24
4,5	140	0,29	118	0,24			0,26
5	149	0,30	129	0,26	19,96	1,42	0,28
5,5	153	0,31	136	0,28			0,29
6,5	165	0,34	147	0,30			0,32



Standart



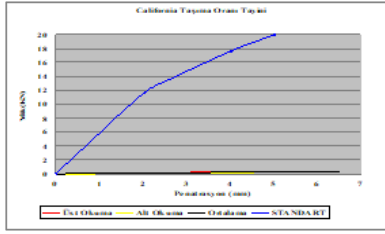
Deney Uygulaması

Grafik 14. 7 Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%10 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

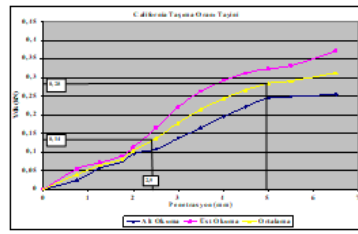
2,5 mm de cbr oranı 1,48 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,42 cbr oranı bulunmuştur. 1,48 ile 1,42 cbr oranları karşılaştırılır ve 2,5 mm'lik cbr oranı(1,48) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 1,48 seçilir.

Tablo 16. 14 Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%10 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

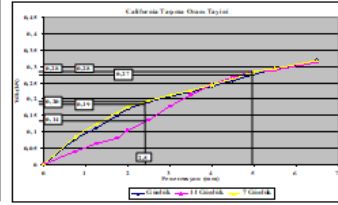
KUV. HALK. KATS. (KN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil+%10 Kireç+%15 Uç. Kül+%10 Mer. Tozu					
ÖRNEĞİN TANIMI		14 Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	27	0,06	12	0,02			0,04
1,25	35	0,07	28	0,06			0,06
1,75	44	0,09	36	0,07			0,08
2	55	0,11	47	0,10	11,5	0,90	0,10
2,5	81	0,17	53	0,11	13,24	1,03	0,14
3	108	0,22	67	0,14			0,18
3,5	129	0,26	81	0,17			0,21
4	143	0,29	96	0,20	17,6	1,39	0,24
4,5	153	0,31	109	0,22			0,27
5	159	0,32	120	0,24	19,96	1,43	0,28
5,5	163	0,33	122	0,25			0,29
6,5	182	0,37	125	0,26			0,31



Standart



Deney Uygulması



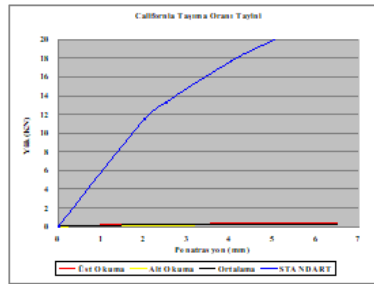
3 farklı numunenin karşılaştırılması

Grafik 15.7 Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%10 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

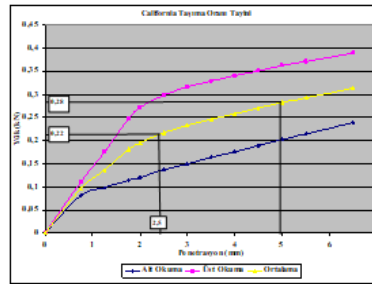
2,5 mm de cbr oranı 1,03 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,43 cbr oranı bulunmuştur. 1,03 ile 1,43 cbr oranları karşılaştırılır ve 5 mm'lik cbr oranı(1,43) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 1,43 seçilir.

Tablo 17. Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%15 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

KUV. HALK. KATS. (KN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil+%10 Kireç+%15 Uç. Kül+%15 Mer. Tozu					
ÖRNEĞİN TANIMI		Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	54	0,11	40	0,08			0,10
1,25	86	0,18	48	0,10			0,14
1,75	121	0,25	56	0,11			0,18
2	133	0,27	59	0,12	11,5	1,70	0,20
2,5	146	0,30	67	0,14	13,24	1,64	0,22
3	155	0,32	73	0,15			0,23
3,5	161	0,33	80	0,16			0,25
4	167	0,34	86	0,18	17,6	1,47	0,26
4,5	172	0,35	93	0,19			0,27
5	178	0,36	99	0,20	19,96	1,42	0,28
5,5	182	0,37	105	0,21			0,29
6,5	191	0,39	117	0,24			0,31



Standart



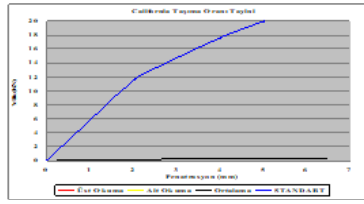
Deney Uygulması

Grafik 16. Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%15 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

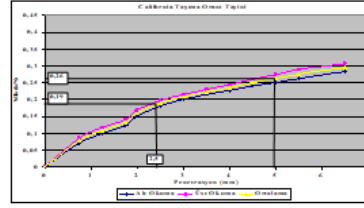
2,5 mm de cbr oranı 1,64 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,42 cbr oranı bulunmuştur. 1,64 ile 1,42 cbr oranları karşılaştırılır ve 2,5 mm'lik cbr oranı(1,64) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 1,64 seçilir.

Tablo 18 7 Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%15 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

KUV. HALK. KATS. (kN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil+%10 Kireç+%15 Uç. Kül+% 15 Mer. Tozu					
ÖRNEĞİN TANIMI		7 Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	42	0,09	35	0,07			0,08
1,25	58	0,12	49	0,10			0,11
1,75	69	0,14	61	0,12			0,13
2	83	0,17	74	0,15	11,5	1,39	0,16
2,5	97	0,20	89	0,18	13,24	1,43	0,19
3	106	0,22	99	0,20			0,21
3,5	113	0,23	106	0,22			0,22
4	120	0,24	111	0,23	17,6	1,34	0,24
4,5	128	0,26	118	0,24			0,25
5	135	0,28	123	0,25	19,96	1,32	0,26
5,5	142	0,29	129	0,26			0,28
6,5	151	0,31	139	0,28			0,30



Standart



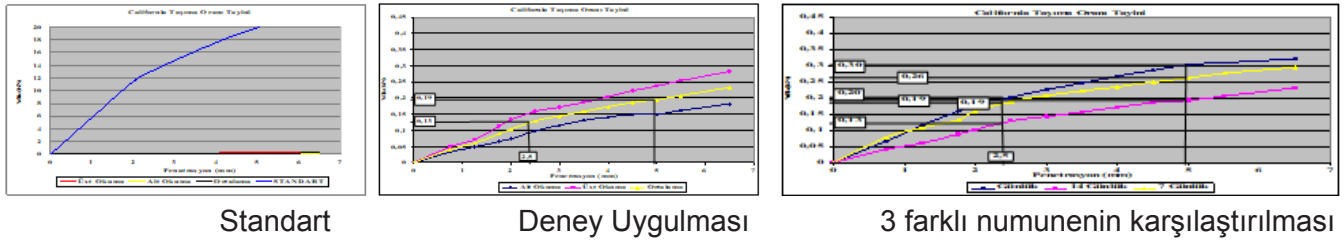
Deney Uygulması

Grafik 17.7 Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%15 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

2,5 mm de cbr oranı 1,43 bulunmuştur. 5 mm de ise 1,32 cbr oranı bulunmuştur. 1,43 ile 1,32 cbr oranları karşılaştırılır ve 2,5 mm'lik cbr oranı(1,43) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 1,43 seçilir.

Tablo 19. 14 Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%15 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

KUV. HALK. KATS. (kN)		0,00204					
ÖRNEĞİN GELDİĞİ YER		Kil+%10 Kireç+%15 Uç. Kül+% 15 Mer. Tozu					
ÖRNEĞİN TANIMI		14 Günlük					
Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (KN)	Alt Okuma	Yük (KN)	Standart Yük (KN)	CBR (%)	Ortalama
0	0	0	0	0	0		0
0,75	24	0,05	16	0,03			0,04
1,25	35	0,07	24	0,05			0,06
1,75	55	0,11	32	0,07			0,09
2	65	0,13	36	0,07	11,5	0,90	0,10
2,5	78	0,16	48	0,10	13,24	0,97	0,13
3	84	0,17	57	0,12			0,14
3,5	91	0,19	64	0,13			0,16
4	100	0,20	69	0,14	17,6	0,98	0,17
4,5	109	0,22	73	0,15			0,19
5	116	0,24	74	0,15	19,96	0,98	0,19
5,5	124	0,25	79	0,16			0,21
6,5	138	0,28	89	0,18			0,23



Grafik 18.14 Günlük Kil+Kireç+Uçucu Kül+%15 Mermer Tozu Numunesinin Sonuçları

2,5 mm de cbr oranı 0,97 bulunmuştur. 5 mm de ise 0,98 cbr oranı bulunmuştur. 0,97 ile 0,98 cbr oranları karşılaştırılır ve 5 mm'lik cbr oranı(0,98) daha büyük olduğu için deneyin CBR oranı 0,98 seçilir.

SONUÇ

CBR deney sonuçlarında bentonit kiline katılan her katkının mukavemeti arttırdığı gözlenmiştir. CBR deneyinde günlük, 7 günlük ve 14 günlük kürde bekletilen deney numunelerinde en yüksek taşıma oranı elde edilen deneyin numunesinin kil+kireç numunesi olduğu görülmüştür.

Bentonit kiline ilave edilen kil+uçucu kül ve kil+kireç+uçucu kül+%15 mermer tozu ile yapılan deneylerin taşıma oranlarında bir istikrarsızlık olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın daha fazla sayıda deneyler, kür süresi ve katkı maddeleri miktarları oranlarının daha ayrıntılı olarak yapıldığı taktirde daha kesin ve net sonuçlar elde edilmiş olur. Bentonit için yapılan deneylerden katkı maddeleri ile farklı alanlarda kullanılabileceği bilinmektedir [9].

Bu çalışmada sonuç olarak kireç, uçucu kül ve mermer tozunun zeminlerin stabilizasyonunda kullanılabileceği ve böylece atık küllerin ufak işlemlerden geçtikten sonra çok faydalı işlerde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Çetin, A. Y. (2011). Yüksek plastisiteli kil zeminlerin alternatif malzemeler ile yüzeysel zemin stabilizasyonu (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [2] Demiröz, A., & Karaduman, M. (2009). ZEMİN İYİLEŞTİRME METOTLARI. Selçuk-Teknik Dergisi, 8(3), 176-192.
- [3] BAĞRIAÇIK, B. Ulaşım Yapıları Temel/Alt Temel Zeminlerinin Kireçle Stabilizasyonu. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(1), 39-48.
- [4] TÜRKÖZ, M. (2006). Şişen Killerin Kireç Katkısı ile Stabilizasyonu ve Eskişehir-Meşelik Killerine Uygulanması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(2), 75-88.
- [5] Çakır, M. (1999). Uçucu Kül ile Zemin Stabilizasyonu (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [6] Alkaya, D. (2009). Uçucu Küllerin Zemin İyileştirmesinde Kullanılmasının İncelenmesi. Electronic Journal of Construction Technologies/Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5(1).
- [7] YILMAZ, F. Uçucu Kül Ve Mermer Tozu Katkılarının Zeminin Stabilizasyonuna ve Donma-Çözülmesine Etkisinin Araştırılması. Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 8(1), 56-61.
- [8] AKSOY, H. S., CANA, Ö., & GÖR, M. KUMLU ZEMİNLERİN MERMER TOZU KULLANILARAK STABİLİZASYONU.
- [9] Şevki, E. R. E. N., & FİLİZ, M. (2007). Beyaz Bentonit Malzemesinde Alternatif Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Consolid Sistemi ile Geleneksel Zemin Stabilizasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(2), 163-172.