

# Uçucu Kül ve Mermer Tozu Kullanarak Yol Altyapısının İyileştirilmesi

K. Ontürk<sup>a</sup>, S. Firat<sup>b\*</sup>, I. Vural<sup>c</sup> and J. M. Khatib<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Sakarya Üniversitesi Geyve Meslek Yüksekokulu Mimari Restorasyon Bölümü, Sakarya, Türkiye

<sup>b</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

<sup>c</sup>Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

<sup>d</sup>Wolverhampton Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Wolverhampton, İngiltere

## ÖZET

Katı atık maddeler dünyanın önemli çevresel sorunlardan biri haline gelmiştir. Atık malzemeler ve sanayi ürünlerinin büyük miktarı üretim işlemleri ve diğer işlemler sırasında açığa çıkarlar. Daha iyi bir yaşam ortamı ve bu ortamın sürekliliği için atık malzemelerin ve yan ürünlerinin tekrar kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Türkiye'de ve dünyanın her yerinde toprak ürünlerinin büyük bir kısmı her yıl yapılarda kullanılmaktadır. Ayrıca, alt temel dolgu malzemeleri, dünyanın birçok yerinde otoyol inşaatı için ortak bir sorundur. Atıkların büyük bir kısmı uygun karışım oranlarında karıştırılarak yol alt temel dolgusunda kullanılabilir potansiyele sahiptirler. Alt temel stabilizasyonu için belirli bir değerdeki düşük taşıma gücü kapasitesine sahip malzeme ile yüksek taşıma gücü kapasitesine sahip malzemenin yeri değiştirilebilmektedir. Diğer bir alternatif yöntem ise düşük dereceli malzemelerin (örnek: atık malzemeler) özelliklerinin iyileştirilmesidir.

Bu çalışmada, uçucu kül ve mermer tozu isimli atık malzemelerin temel tabakalarına stabilizasyonundaki serbest basınç dayanımı ve rijitlikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bu atık malzemeler muhtemel bir otoyol alt temel yapısında değerlendirilmesi için doğal zemine %5, %10 ve % 15 gibi farklı oranlarda ilave edilmiştir. Hazırlanan numuneler 7 ve 14 gün boyunca küre tabi tutulmuştur. Kür süresi tamamlanan tüm karışım numunelerinin hem standart kompaksiyon değerleri hemde kaliforniya taşıma oranı (CBR) değerleri belirlenmiştir. Zemine ilave edilen atık malzemeler(örnek:uçucu kül ve mermer tozu) sonucunda CBR değerlerinde artış olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Uçucu kül, Kaliforniya taşıma oranı, Mermer tozu, Serbest basınç dayanımı, Atık malzemeler.

# Improvement of Road Sub-base Fill by Using Waste Marble Dust and Fly Ash

## ABSTRACT

Solid waste materials have become one of the important environmental concerns in the world. Huge amounts of waste materials and industrial by-products are generated from manufacturing processes and other processes. Utilization of waste materials and by-products is now a necessity for sustainable development and better living environment. Large volumes of earthen materials are used in construction each year in Turkey and elsewhere in the world. Also, sub-base filling materials are a common problem for highway construction in many parts of the world. Large amount of wastes have the potential to be used in the mixtures of the road sub-base filling materials in appropriate proportions. The usual approach for sub-base stabilization is to remove the low-bearing capacity materials, and replace with a high-bearing capacity material. One alternative method is to improve the low grade materials by (e.g. waste material) stabilization.

In this study, the unconfined compressive strength and stiffness of base layers stabilized using industrial wastes, namely fly ash and marble dust are investigated. They were added in different ratios of 5%, 10 %, and 15% into natural soils for assessment of their possible use in highway base construction. The samples were cured for 7 and 14 days. Standard compaction and California Bearing Ratio (CBR) values were determined for all mixed samples at the two curing ages. The addition of wastematerials (i.e. fly ash and marble dust) to the soil showed an enhancement to the CBR values.

**Keywords:** Fly ash, California bearing ratio (CBR), marble dust, unconfined compressive strength, waste materials

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda, ülkemizde meydana gelen depremlerin sonuçlarına baktığımızda coğrafi bölge olarak ciddi sorunlarla karşı karşıya olduğumuzu görmekteyiz. Deprem gibi doğal afetlerde göz önüne gelen bu sorunlarından biri de kuşkusuz geoteknik problemleridir. Ge-

oteknik problemlerini kısaca, zayıf dayanım özelliğine sahip zeminlerdeki sorunlar olarak tanımlayabiliriz.

Gelişmekte olan bir ülkede yaşadığımız için, her geçen gün yeni inşaat alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılacak olan mühendislik çalışmalarının zemin altında yada zemin üstünde yapılması zorunluluğu bulunmaktadır. Bu sebeple zemin her türlü mimari ve mühendislik çalışması için önemli bir yere sahiptir.

Geçmişten günümüze kadar yapılan zemin çalışmalarını incelendiğinde ve kabul görmüş doğa olayları

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: sfirat@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2014.17.Sayı 1, 35-42

neticesinde zeminleri olduğu gibi kabul etmek yerine, üzerine yapılacak mühendislik yapısına uygun bir zemin iyileştirmesi yönteminin uygulanması gerektiği görülmektedir. Katı atık malzemeler ile zemin iyileştirme yöntemleri, son yıllarda ülkemizde üzerinde en çok çalışma yapılan zemin konularının başlarında gelmektedir.

Günümüzde çevre kirliliği her kesimde ele alınan önemli sorunların başlarında gelmektedir. Çevre kirliliğindeki en önemli etkenlerden biri de katı atıklardır. Kullanılma süresi dolan ve yaşadığımız ortamdan uzaklaştırılması gereken her türlü katı malzemeye katı atık denir. Bu katı atıkların meydana getirdiği kirliliğinde büyük bir kısmını inşaat sektöründe kullanılabilecek atıklar meydana getirmektedir. Bu atıkların hammade gibi kullanılarak yeni bir malzemeye dönüştürülmesi mümkündür.

Geri dönüşümü mümkün olan ve ikincil hammadde olarak elde edilen bu nesnelere tüm sektörlerde kullanılabilir. Bu sayede azalmakta olan dünyanın sınırlı rezervlerinden de tasarruf elde edilebilir, özellikle inşaat sektöründe hammadde temininde bozulmaya maruz kalan doğal dengenin korunmasına bir nebze olsun katkı sağlanır ve atıkların doğaya bırakılmasına engel olunarak çevre kirliliğinin önüne geçilmiş olur.

En küçük boyutlu mermer atıklarına mermer tozu denmektedir. Bu mermer tozu bazı sanayi dallarında hammadde olarak kullanılmaktadır. Mermerlerin istenilen boyutlarda ve şekillerde üretilebilmesi için kesme işlemine maruz tutulmaktadır. Kesme işlemi sırasında hem toz bulutuna engel olmak hem de kesme aletinin ısınmasını önlemek için sudan yararlanılmaktadır. Tesislerde işlenen mermerlerden toz ve kırıntı atıkları, işlenen mermerlerin yaklaşık olarak % 30'unu oluşturmaktadır [1].

Bu bildiride inşaat atıklarından olan mermer tozu, uçucu kül ve kireç materyalleri bir arada işlenerek yeni ürünlerin elde edilmesi ve bu yeni ürünün tekrardan kullanılarak sonuçların incelenmesi amaçlanmıştır. Kireç oranı %10 oranında sabit tutularak %10 ve % 15 oranlarındaki uçucu küle ilave olarak % 5, % 10 ve % 15 değişen oranlarında mermer tozu katılarak deney numuneleri hazırlanmıştır. Öncelikle hazırlanan numunelere kompaksiyon deneyi uygulanmıştır ve numunelere ait optimum su içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen optimum su içeriklerine bağlı kalınarak tekrar hazırlanan deney numunelerine sırası ile Günlük, 7 Günlük ve 14 Günlük kür süreleri sonunda deneye tabi tutularak California Taşıma Oranı (CBR) değerleri bulunmuştur.

Gürer C., Afyon bölgesinde bulunan dört farklı kayalık üzerinde jeolojik ve asfalt karışım olarak mekanik özellikleri hakkında standart deneyler yaparak, mermer kesimleri sonucunda elde edilen malzemenin, orta yoğunluğa sahip trafığa açık yollarda dolgu malzemesi olarak kullanılıp kullanılmayacağını araştırmıştır. Mermerden oluşan karışımın diğer karışımlara (volkanik kökenli ve asfalt betonu yapımında kullanılan mal-

zemeler) nazaran yorulma ömrünün % 45 daha düşük olduğunu söylemiştir [2].

Brooks R. M., uçucu kül ve pirinç kabukları (RHA) ile yaptığı çalışmada bu atık malzemelerin zeminine olan etkilerini incelemiştir. Uçucu kül ve pirinç kabukları ile harmanlanmış olan killi zeminler üzerinde dayanıklılık testleri yapmıştır. Çalışmasına başlamadan önce çalışmasının önemini artırmak için öncelikle bir katkısı yapılmamış otoyol projesinin alt temel hazırlığını incelemiştir. Yapılan Serbest basınç dayanımı sonucuna göre gerilme şekil değiştirme sonuçlarında, gerilme ve dayanımlarda %50-106 arasında bir artış, uçucu küle ise % 25 gibi bir artış meydana geldiğini söylemiştir. Pirinç kabuğunun ise %0-12 arasında değişen artışlarında serbest basınç dayanımında %97, CBR değerinde % 47 gibi bir artış meydana getirdiğini söylemiştir. Son olarak pirinç kabuğunun % 12, uçucu külün ise % 25 oranında bir ilavesi ile zemin alt tabakalarının iyileştirilmelerine katkısı olduğunu açıklamış ve belirttiği oranlarda kullanılmasını tavsiye etmiştir [3].

Türköz M., çalışmasında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi kampüs alanında yer alan yüksek şişme potansiyeline sahip Meşelik killilerinin kireç katkısı ile stabilizasyonu artırıp artırmadığını araştırmıştır. Araştırmasında standart ve modifiye enerji seviyelerinde ve farklı sönmüş kireç katkı yüzdelerinde hazırlanmış numunelere klasik ödometre cihazı ile serbest şişme yüzdesi deneyleri yapmıştır. Deneyler sonucunda, sönmüş kireç katkısının killerin şişme potansiyelinin kontrolünde başarıyla kullanılabileceğini ve kireç katkısının % 3 oranının üzerinde etkili olduğunu bulmuştur [4].

Fırat ve Cömert çalışmalarında, iki farklı zemin üzerinde F sınıfı uçucu kül ve çimento katkısının taşıma oranlarına ve dayanım değerlerine katkısını bulmak adına bir çalışma yapmışlardır. Homojen olarak hazırlanan bu matris karışımları 1, 7, 28, 56 günlük süreler ile kür işlemine tabii tutmuşlardır. Kür süreleri sonunda hazırlanmış olan karışımlar üzerinde mekanik ve fiziksel deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarla iki farklı stabilize zemine ait CBR yüzdeleri ve dayanım parametreleri hesaplanmıştır. 28 gün kür sonucunda uçucu kül katkılı zeminlerin taşıma gücünde %4-%160 gibi bir artış çimento katkılı zeminlerde ise %50 'ye varan düşüşler belirlemişlerdir. Yapmış oldukları çalışma sonucunda ise uçucu külün stabilize edilmiş zeminlerin taşıma gücü kontrolünde 28 gün sonunda ele alınması gerektiği tespitini elde etmişlerdir [5].

Sabat K. A., yapmış olduğu çalışmada, atık seramik tozlarının plastik limit, likit limit, CBR, serbest basınç dayanımı, kesme dayanımı parametreleri ve şişme basıncı değerlerinin bir toprak zemin üzerindeki etkilerini incelemiştir. Toprak zemine % 5 artış oranı ile % 0-30 arasındaki değerlerde atık seramik tozları ilave edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Elde ettikleri karışımlar likit limit, plastik limit, CBR, serbest basınç dayanımı, kohezyon ve şişme basıncı gibi mekanik ve fiziksel deneyler uygulanarak analizleri yapılmıştır. Analiz-

ler sonucunda ise atık seramik tozlarının zemin güçlendirmesinde % 30 oranına kadar kullanılabilceği tezini savunmuştur [6].

Bozkurt Y. ve Yılmaz A. Yaptıkları çalışmada katı atıkların miktarındaki artışın yarattığı ciddi çevresel problemlerden dolayı kentsel alanlarda yaşanan en önemli çevresel sorunlardan biri katı atıkların yönetimi olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında kentlerin büyük bir yoğunluğu katı atık yönetiminde, mevcut düzenlemelerin etkin olmayışı, organizasyon ve planlama hakkında bilgi eksikliği finansal kısıtlamalardan dolayı sorunların yaşandığını dile getirmişlerdir. Dünya nüfusunun 2015 yılına kadar 7,2 milyar olacağını ve buna paralel olarak ta nüfusunda 2-3 katına ulaşacağını söyleyerek atık yönetimlerini bugünkü gibi plansız ve düzensiz bir sitem içerisinde yürütmesi halinde büyük bir çevre kirliliği zamanla politik bir sorun haline gelebileceğini belirtmişlerdir. Düzenli depolama sahaları ve geri dönüşüm sahalarına verilecek önem sayesinde yakma yönteminin de kullanılması ile ülkemizde daha rahat bir yaşama ortamının olacağını ve ülke olarak hem ekonomik hem de politik olarak daha elverişli ortamlar yakalayabileceğimiz sonucunu belirtmişlerdir [7].

Ülkemizin temel enerji kaynağını oluşturan düşük ısı değerli linyitler, termik santral kazanlarında ince tane boyutuna getirilerek yakılmaktadır. Bu kazanlarda yakılan kömürlerden inorganik katı artıklar olan uçucu küller elde edilmektedir. Cüruflardan farklı olarak bu atıkların partikül büyüklükleri 1 – 200 µm arasındadır. Toz kömürün yakılması sırasında (yaklaşık 1200 °C’de) baca gazları ile sürüklenen ve hızlı bir biçimde soğurken elektrofiltreler yardımıyla bacalarda tutulan ve genellikle boyutları 100 µm’den daha küçük olan taneçikler uçucu kül taneçikleri olarak ortaya çıkmaktadır [8].

Kireç endüstriyel hammaddeler içinde en çok kullanım alanı olan ve kullanım miktarı açısından 5.sırada olan bir maddedir. Kireçtaşlarının kalsinasyonu ile üretilen kireç insanlık tarihinde inşaat malzemesi olarak uzun zamandır bilinmesine karşın endüstrideki kullanımının çeşitliliği ve önemi çoğu kişi tarafından bilinmemektedir. Kalsiyum karbonat içeren kireçtaşlarının 900-1000 °C de kalsinasyonu ile kireç (CaO) elde edilir. Kirece sönmemiş kireç’de denir. Sönmüş kireç sönmemiş kirecin su ile reaksiyonu neticesinde oluşan kalsiyum hidroksittir (Ca(OH)<sub>2</sub>). Yüksek kalsiyumlu kirecin yanı sıra magnezyum ihtiva eden dolomitik kireç ve sönmüş dolomitik kireçte elde edilmektedir. Kireç antik çağlardan beri bilinen ve çok yönlü kullanımı olan bir maddedir [9].

Mermer fabrikalarından üretim atığı olarak ortaya çıkan tozların kullanılabilirliği endüstriyel açıdan kazanç olduğu kadar çevresel açıdan da bir sorunun giderilmesi anlamını taşımaktadır.

Bu nedenle mermer toz atıklarının değerlendirilmesi konusunda bulunabilecek alternatifler, mermer fabrika işletmecilerine ve ülke ekonomisine kaynak sağlayacağı gibi bu fabrikaların çevre kirlenme özelliğini de tamamen ortadan kaldıracaktır. Mermer fabrikala-

rında işlenen mermerlerin ortalama %30’nun toz olarak atıldığı hesaplanmıştır [10].

## 2. MATERYAL ve METOD (MATERIALS and METHODS)

Bu çalışmada kullanılan esas zemin malzemesi olarak bentonit kili kullanılmıştır. Esas zemin numunesine katkı olarak ise kireç, uçucu kül ve mermer tozu atıkları ilave edilmiştir.

Volkanik kül veya tuf gibi, camsı volkanik gerecin kimyasal ayrışma ve bozulmasıyla ortaya çıkan ve son derece küçük kristaller halindeki kil minerallerinden oluşan yumuşak, şekillenebilir, gözenekli ve açık renkli bir kayadır. Çalışmada kullanılan bentonit kiline ait kimyasal içerik aşağıdaki Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Bentonit Kili Kimyasal Bileşimi

Eleman	%	Eleman	%
SiO <sub>2</sub>	51,64	Na <sub>2</sub> O	2,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,30	K <sub>2</sub> O	2,17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,51	TiO <sub>2</sub>	0,77
MnO	0,08	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13
MgO	3,82	Cr	0,02
CaO	2,73	AIK	10,83

Esas zemin numunesi olarak kullanılan bentonit kiline sırası ile aşağıda Tablo 2’deki farklı oranlarda katkı malzemeleri ilave edilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan karışım oranları

N. No	Esas Z. Numunesi	Kireç	Uçucu Kül	Mermer Tozu
1	100%			
2	90%	10%		
3	85%		15%	
4	70%	10%	15%	5%
5	65%	10%	15%	10%
6	60%	10%	15%	15%

İlk olarak hazırlanacak olan karışıma ait numuneler bir gün süre ile tamamen kuruması için etüvde bekletilir. Etüvden çıkarılan numunelerin kendi hallerinde ve dış ortamdan etkilenmeden soğumaları için desikatöre bırakılır. Deneyin tam olarak standartlara uygun yapılması amacı ile desikatör içerisine de nem ve rutubet emici (silika jeli) bırakılır. Tüm numuneler hazırlandıktan tablo 2’de gösterilen oranlara uygun olarak karışımlar hazırlanır. Bu karışımların mümkün olduğu kadar kısa süre içerisinde gerçekleştirilmesi ortamın suyunu kaybetmemesi açısından son derece önemlidir. Elde edilen homojen karışımlar sudan ve nemden uzak bir ortamda karıştırılmış olarak 24 saat’lik bir süre ile su içeriğinin numune içerisine homojen nüfuz edebilmesi için bekletilmiştir.

Hazırlanan numunelerden her birine %10 su içeriğinden başlanarak % 50 su içeriğine 5 farklı su içeriğine ait  $\gamma_{kmax}$  değerleri bulunur. Bir gün süre ile bekletilen karışımlar sırası ile Standart Kompaksiyon Deneyine tabi tutularak zemin numunesine ait  $\gamma_{kmax}$  değeri bulunmuştur ve zemin içerisindeki geçirimsizliğin azal-

ılarak taşıma gücünün artırılması amaçlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan her deney karışımı için optimum su içerikleri belirlenmiştir.

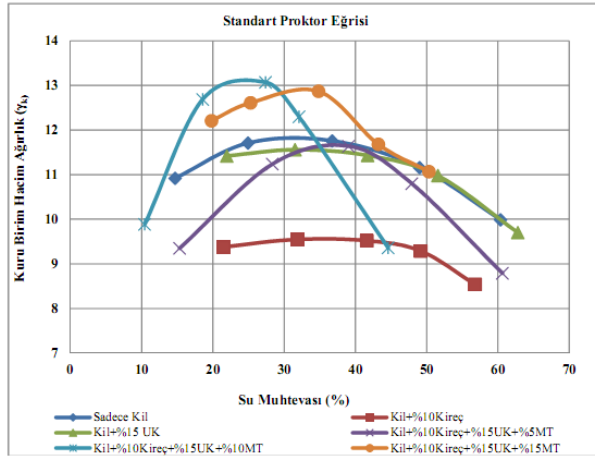
Kompaksiyon deneyinde ele alınan esas konu zeminlerin maksimum derecede sıkışabilirliklerini tayin ederek bu andaki maksimum yüksek mukavemete ulaşmalarını sağlamaktır. Şekil 1'de çalışma esnasında yapılmış olan bir kompaksiyon deneyi sonucunda elde edilen sıkıştırılmış zemin numunesi ve numune bünyesinde meydana gelen boşluklu kısımlar görülmektedir.



Şekil 1. Sıkıştırma işlemi yapılmış bir zemindeki hava boşlukları

Kompaksiyon deneyleri TS-1900/1'de anlatıldığı gibi standartlara uygun bir şekilde yapılmıştır.

% 100 kil (şahit numune) zemin numunesinden başlanarak hazırlanan her deney örneği için standart kompaksiyon deneyi uygulanmıştır ve numuneye  $\gamma_{kmax}$  değeri bulunmuştur. Bulunan  $\gamma_{kmax}$  değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Standart Kompaksiyon Deneyi Sonuçları

Kompaksiyon deneyleri sonucunda 6 farklı  $\gamma_{kmax}$  değeri elde edilmiştir. Elde edilen  $\gamma_{kmax}$  değerinin bulunduğu nokta numunemizin maksimum doygunluğa ulaştığı anlamına gelmektedir. Kompaksiyon deneylerinden çıkan sonuçlara göre en düşük optimum su muhtevası kil+kireç+uçucu kül+%10 mermer tozu ile yapılan deneyde görülmüştür. En yüksek optimum su muhtevası ise kil+kireç ile yapılan deney sonucunda elde edilmiştir.

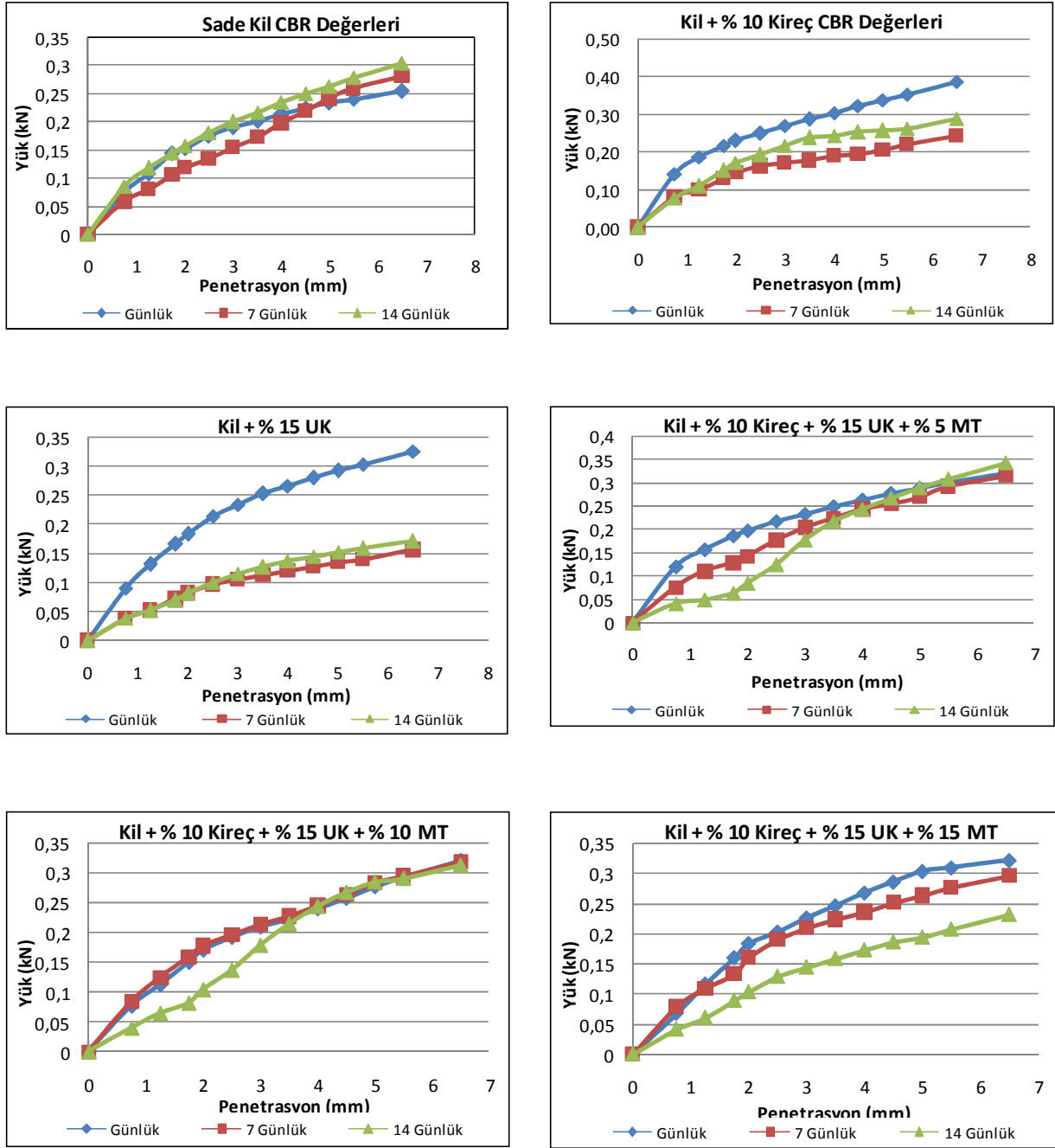
Hazırlanan 6 farklı zemin numunesinin taşıma güçlerinin belirlenmesinde, kompaksiyon deneyinde elde edilen optimum su içerikleri kullanılmıştır. Zeminlerin taşıma gücünü belirlemek için California Bearing Ration (CBR) deneyi uygulanmıştır. Numunelere sırası ile günlük, 7 günlük ve 14 günlük kürler uygulandıktan sonra CBR deneyine tabi tutulmuşlardır. Karışımları yapılan numunelerin küre bırakılması için TS-1900/2 de anlatılan standartlara uygun olarak sıkıştırılması yapılmıştır. Kalıplarda küre bırakılmadan önce numunenin dış ortamla olan temasını kesmek için şekil 3'de görüldüğü gibi alt ve üst yüzeyleri parafinlenmiştir.



Şekil 3. Sıkıştırılmış zemin numunesinin alt, üst yüzeyinin parafin ile kapatılması

Kür süresi tamamlanan numunelere CBR deneyi uygulanarak atık malzemeler ile elde edilen yeni zemin numunelerinin taşıma gücü değerleri saptanmıştır. Yapılan CBR deneyi sonucunda elde edilen değerler ise TS-1900/2'de gösterilen kırmataş (% 100 doygun) eğrisi ile kıyaslanmıştır.

Çizilen CBR deneyi grafikleri sonucunda numunenin CBR değerini belirlemek için 2,5 mm ve 5 mm penetrasyon değerleri arasında bir kıyaslama yapılır ve hangi değer daha büyük ise numunenin CBR değeri belirlenmiş olur.

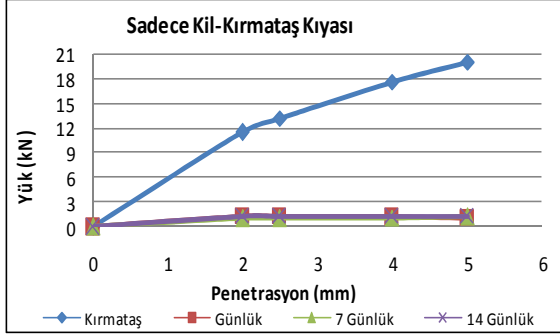


Şekil 4. Homojen zemin numuneleri CBR deneyi taşıma gücü sonuçları

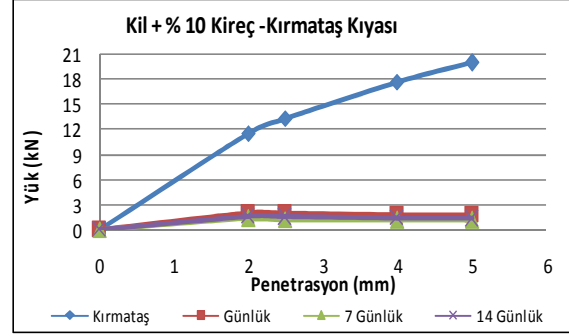
Çizilen grafikler homojen olarak karıştırıldıktan sonra küre bırakılan ve kür süresi tamamlandıktan sonra CBR deneyine tabi tutulan karışımlara ait taşıma gücü değerlerini göstermektedir. Her karışıma ait günlük, 7 günlük, 14 günlük farklı kür süreleri uygulanması ile elde edilen veriler toplanarak tek grafik halinde şekil 4'te gösterilmiştir. Kür süresi tamamlanan zemin

numunesi üzerinde hem alt okuma hem de üst okuma değerleri için okumalar alınır ve alınan bu iki okumanın da ortalama değeri hesaplanır. Hesaplanan bu değer Kırmataş (% 100 doygun) zemin örneğinin taşıma gücü değerine oranlanarak elde edilen yeni zemin numunesinin CBR değeri bulunmuş olur

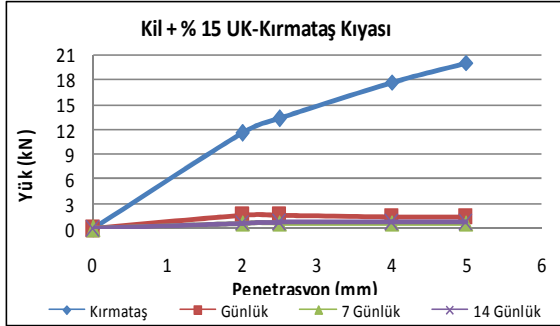
Sadece Kil				
Penetrasyon	Kırma taş	Günlük	7 Günlük	14 Günlük
0	0	0	0	0
2	11,5	1,33	1,03	1,37
2,5	13,24	1,32	1,02	1,36
4	17,6	1,21	1,12	1,34
5	19,96	1,17	1,21	1,32



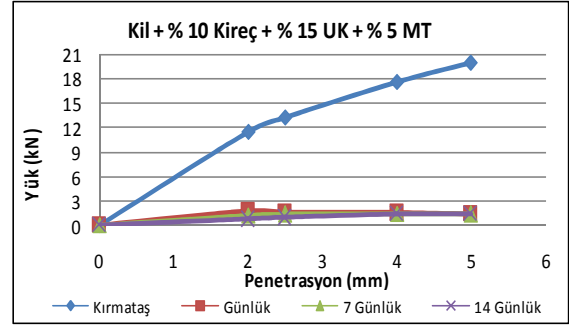
Kil + % 10 Kireç				
Penetrasyon	Kırma taş	Günlük	7 Günlük	14 Günlük
0	0	0	0	0
2	11,5	2	1,28	1,5
2,5	13,24	1,89	1,22	1,46
4	17,6	1,73	1,08	1,39
5	19,96	1,69	1,03	1,29



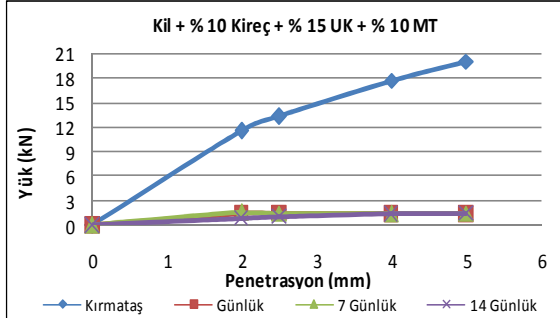
Kil + % 15 UK				
Penetrasyon	Kırma taş	Günlük	7 Günlük	14 Günlük
0	0	0	0	0
2	11,5	1,6	0,71	0,71
2,5	13,24	1,62	0,73	0,76
4	17,6	1,52	0,68	0,78
5	19,96	1,47	0,67	0,77



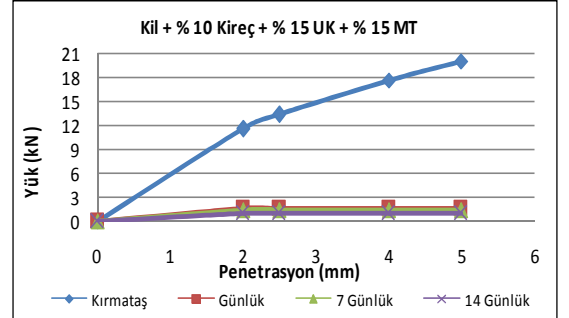
Kil + % 10 Kireç + % 15 UK + % 5 MT				
Penetrasyon	Kırma taş	Günlük	7 Günlük	14 Günlük
0	0	0	0	0
2	11,5	1,72	1,25	0,74
2,5	13,24	1,65	1,34	0,94
4	17,6	1,5	1,39	1,39
5	19,96	1,45	1,35	1,45



Kil + % 10 Kireç + % 15 UK + % 10 MT				
Penetrasyon	Kırma taş	Günlük	7 Günlük	14 Günlük
0	0	0	0	0
2	11,5	1,48	1,54	0,9
2,5	13,24	1,45	1,48	1,03
4	17,6	1,36	1,39	1,39
5	19,96	1,38	1,42	1,43



Kil + % 10 Kireç + % 15 UK + % 15 MT				
Penetrasyon	Kırma taş	Günlük	7 Günlük	14 Günlük
0	0	0	0	0
2	11,5	1,6	1,39	0,9
2,5	13,24	1,53	1,43	0,97
4	17,6	1,52	1,34	0,98
5	19,96	1,52	1,32	0,97

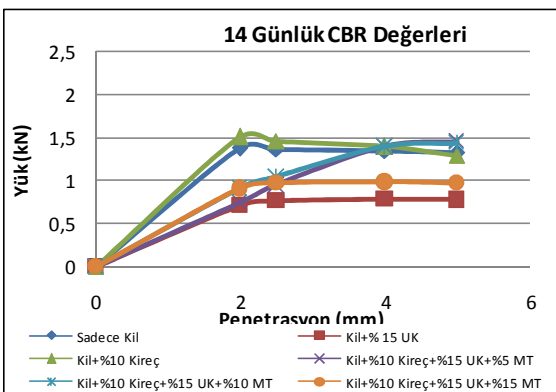
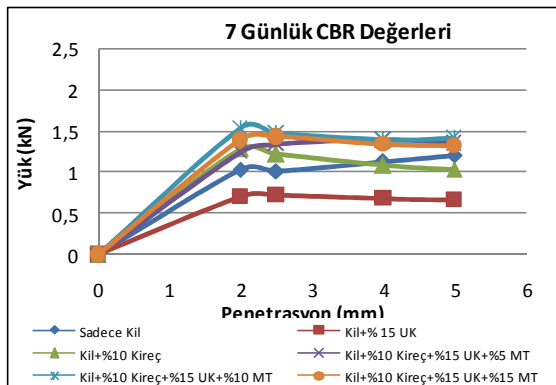
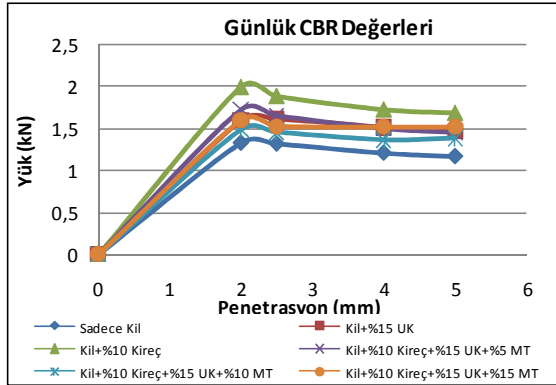


Şekil 5. Kür sonunda CBR deneyi yapılan numuneler ile % 100 doymun zemin numunesinin karşılaştırılması



Yapılan CBR deneyleri sonunda elde edilen alt okuma ve üst okuma değerlerinin ortalamaları alınarak o numuneye ait ortalama bir taşıma kapasitesi değeri bulunmuştur. CBR değeri hesaplanırken bulunan taşıma gücü kapasitelerinde 2,5 mm ve 5 mm penetrasyon değerleri arasında bir kıyaslama yapılarak bulunur. Yapılan karşılaştırma sonucu 2 penetrasyon değerinden hangisi daha büyük ise deneyi yapılan zemin numunesinin CBR değeri olarak seçilir.

Hesaplama kısmı ise ortalaması alınan alt okuma ve üst okumaların kırma taş eğrisi değerlerine oranlanarak yüzdesinin alınması ile bulunmuştur.



Şekil 6. Aynı kür sürelerine ait zemin örneklerinin bir arada gösterimi

Aynı kür sürelerine ait zemin numunesi örneklerinin CBR deneyi sonucu elde edilen deney verileri şekil 6'da gösterilmiştir. 6 farklı karışıma ait olan numunelerden kür süreleri aynı olanlar tek grafikte toplanarak en yüksek taşıma oranına ait numunenin

daha rahat bir şekilde seçilmesi amaçlanmıştır. Şekildeki grafiklerden de anlaşıldığı gibi günlük ve 14 günlük kür süreleri sonunda deneye tabi tutulan numunelerden en yüksek taşıma oranına sahip olan numune içeriği % 90 kil + % 10 kireç numunelerinin birlikte kullanıldığı içeriktir.

### 3. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Homojen olarak hazırlanan numunelerden şahit numune olan sadece kil örneğinin maksimum sıkışabilir olduğu nokta % 33 su içeriğine sahip olduğu nokta olarak belirlenmiştir. % 100 kil numunesinin % 33 su içeriğine sahip olduğu noktada ulaştığı  $\gamma_{kmax}$  (Maksimum kuru birim hacim ağırlık) değeri ise  $11,8 \text{ kN/m}^3$  olarak bulunmuştur. Çalışmada kullanılan karışımlar arasında % 65 kil + % 10 kireç + % 15 UK + % 100 MT içeriğine sahip olan karışımla yapılan kompaksiyon deneyinde % 24 su içeriğinde  $13,12 \text{ kN/m}^3$  gibi bir değere ulaşılmıştır. Kompaksiyon deneyinden ulaşılan sonuçlara göre % 65 kil + % 10 kireç + % 15 UK + % 10 MT karışımından elde edilen değer sadece kil numunesinin taşıma gücü kapasitesini % 11,18 gibi bir oran artırmıştır.

CBR deneylerinde ilk olarak hazırlanan her numune için hangi kür süresi sonucunda hazırlanan numune daha fazla taşıma kapasitesine ulaşmış olduğunun tespiti yapılmıştır. Sadece kil numunesine yapılan CBR deneyi analizi sonucunda günlük zemin numunesinin taşıdığı maksimum taşıma kapasitesi 1,32 kN iken 14 günlük kür süresi sonunda ulaştığı taşıma gücü kapasitesi 1,36 kN değerine ulaşmıştır. Karışımlar içerisinde maksimum taşıma kapasitesine sahip numune ise 0,34 kN'luk bir değerle % 90 kil + % 10 kireç karışımı günlük numunesi olmuştur. Taşıma gücü kapasitesi deneyleri sonucunda % 90 kil + % 10 kireç karışımı numunesinin taşıma gücü kapasitesi sadece kil ile yapılan zemin örneğinden elde edilen taşıma gücü kapasitesine göre % 30 daha fazladır.

6 farklı zemin örneğine ait CBR değerleri arasında kıyaslama yapıldığında % 90 kil + % 10 kireç karışımı numunesinin 1,89 gibi bir CBR değeri ile diğer 5 numuneye oranla en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir.

Aynı kür sürelerine ait numuneler üzerinde yapılan CBR deneyleri sonuçlarına bakıldığında da en yüksek taşıma oranına sahip olan numune içeriği % 90 kil + % 10 kireç karışımı ile hazırlanan içerik olmuştur.

Kompaksiyon deneyinde % 65 kil + % 10 kireç + % 15 UK + % 10 MT karışımı numunesinde en yüksek değere ulaşmış olmamıza rağmen CBR deneyinde en yüksek taşıma oranı değerine % 90 kil + % 10 kireç karışımı numunesinde ulaşılmıştır. Bunun sebebi ise kür süreleri sonucunda zemin numuneleri içerisindeki suyun homojen olarak tüm yapı içerisinde dağılması söylenebilir.

### 4. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Demir İ., 2009, Mermer Tozu ve Atıkların Kullanım Alanları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Afyon

- 2) Gürer C., 2005, Atık Mermer Parçalarının Bitümlü Yol Kaplamalarında Değerlendirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Afyon
- 3) Brooks R. M., 2009, Soil Stabilization with Flyash and Rice Husk Ash, Temple University, Department of Civil and Environmental Engineering, Philadelphia 19122
- 4) [Türköz M., 2006, Şişen Killerin Kireç Katkısı ile Stabilizasyonu ve Eskişehir-Meşelik Killerine Uygulanması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi
- 5) Fırat S., Cömert A., 2011, Uçucu Kül, Kireç ve Çimento ile İyileştirilmiş Kaolinde Kür Süresinin CBR Üzerine Etkileri, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt No 26, No 4, 719-730
- 6) Sabat K.A., 2012, Stabilization of Expensive Soil Using Waste Ceramic Dust, SOA University, Department of Civil Engineering, Bhubaneswar-751030, İndia
- 7) Bozkurt Y., ve Yılmaz A., 2010, Türkiye’de Kentsel Katı Atık Yönetimi Uygulamaları ve Kütahya Katı Atık Birliği (Kükab) Örneği, Dumlupınar Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, C.15, S.1 s.11-28
- 8) Görhan G., Kahraman E. Başpınar S. M., Demir İ., 2009, Uçucu Kül Bölüm II: Kimyasal, Mineralojik ve Morfolojik Özellikler, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 5, No: 2, 33 - 42
- 9) Çiçek T., 1999, Kireç ve Kullanımı, 3.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir
- 10) Ceylan H., 2000, Mermer Fabrikalarındaki Mermer Toz Atıklarının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta